

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D - 01445 Radebeul

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

KLIMAFUNKTIONS- UND PLANUNGSHINWEISKARTE FÜR DIE STADT BRÜHL

Auftraggeber: Stadt Brühl
FB Bauen und Umwelt
Uhlstraße 3
50321 Brühl

Dipl.-Met. A. Moldenhauer
Dipl.-Ing. (FH) E. Nitzsche

Dr. rer. nat. I. Düring

April 2018
Projekt 71399-17-02
Berichtsumfang 92 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	1
2	EINLEITUNG	2
3	DATENGRUNDLAGE	4
4	BESCHREIBUNG DES REGIONALEN KLIMAS IN BRÜHL.....	6
4.1	Lage des Untersuchungsgebietes	6
4.2	Relief	6
4.3	Landnutzung	10
4.4	Baupotenziale	13
4.5	Bebauung	15
4.6	Klimatische Gegebenheiten	15
4.7	Mittlere Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet	17
4.8	Kaltluftströmungen	22
4.8.1	Vorgehensweise.....	22
4.8.2	Ergebnis.....	28
4.9	Windfeldberechnung im bebauten Bereich	30
4.9.1	Vorgehensweise.....	30
4.9.2	Ergebnis.....	31
4.10	Ergebnisse aus dem Klimagutachten aus 1991	34
4.11	Emissions- und Immissionssituation	37
4.11.1	Regionale Hintergrundbelastung.....	37
4.11.2	Emissionen im Stadtgebiet und dessen Umgebung	38
4.11.3	Abgeschätzte flächendeckende Immissionsbelastung an NO ₂ und PM10 im Stadtgebiet	44
5	KLIMAFUNKTIONSKARTE DER STADT BRÜHL	46
5.1	Klimatope.....	46
5.2	Luftaustausch	51
5.2.1	Luftleitbahnen	51

5.2.2 Kaltluftabfluss (Flächenhaft)	52
5.2.3 Talwind	53
5.2.4 Hindernis für den Kaltluftabfluss (Barriere)	53
5.2.5 Kaltlufteinzugsgebiete	53
5.2.6 Eindringtiefe	54
5.2.7 Kaltluftstau, -see oder Talnebel	54
5.3 Spezifische Klimaeigenschaften	55
5.3.1 Windrose	55
5.3.2 Windfeldveränderung	55
5.3.3 Gleisanlage	56
5.3.4 Emissionen des Straßenverkehrs.....	56
5.3.5 Hausbrandemissionen in Wohngebieten	57
5.3.6 Gewerbegebiet mit erhöhten Emissionen.....	57
5.4 Auszüge aus der gesamten Klimafunktionskarte der Stadt Brühl	57
6 PLANUNGSHINWEISKARTE BRÜHL	66
6.1 Prinzipien der planungsrelevanten Klimaanalyse	66
6.2 Erläuterungen zur Planungshinweiskarte der Stadt Brühl.....	75
7 FAZIT UND AUSBLICK	85
8 LITERATUR	87
ANHANG A1: BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM ...	89

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

1 AUFGABENSTELLUNG

Der Ausschuss für Planung und Stadtentwicklung der Stadt Brühl hat in seiner öffentlichen Sitzung am 07.04.2016 die Neuaufstellung des Flächennutzungsplanes (FNP) beschlossen. Der derzeitige FNP datiert aus dem Jahre 1996. Das Stadtgebiet umfasst 36 Quadratkilometer.

Die Durchführung einer Klimaanalyse ist aus folgenden Gründen erforderlich:

Der Klimawandel ist auch in unseren Breitengraden angekommen. Extreme Wetterereignisse der letzten Jahre wie heftige Regenfälle und Hitzeperioden machen dies deutlich. Die Belastungen für die Menschen nehmen zu, auch verursacht durch den hohen Versiegelungsgrad, insbesondere in den Innenstädten. Der nächtliche kühlende Luftaustausch kann durch querstehende Bebauung oder durch Vernichtung von Kaltluftentstehungsgebieten erschwert werden.

Nach § 1 Abs. (5) Baugesetzbuch sollen die Bauleitpläne „dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern, ...“

Um auf der Ebene der Flächennutzungsplanung über die Zuordnung einer geeigneten Nutzung entscheiden zu können, ist u. a. die Ermittlung der Schadstoffbelastung und der stadtklimatischen Verhältnisse notwendig.

Aufgrund der veralteten Datenlage ist im Zuge des Umweltberichtes für den neuen FNP eine aktuelle Analyse mit digitaler Aufbereitung sowie eine Bewertung der Daten für zukünftige Planungen erforderlich. Der Arbeitsmaßstab beträgt 1:10.000.

Erarbeitet werden soll eine Klimaanalysekarte für das gesamte Stadtgebiet sowie darauf aufbauend eine Planungshinweiskarte. Darzustellen sind für die Bauleitplanung wichtige Faktoren wie Luftaustauschbahnen und thermische Belastungsräume (Überwärmungsräume) sowie relevante Immissionen.

Für die Kartenerstellung sind die Vorgaben der RL-VDI 3787, Blatt 1 „Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen“ (2015) zu beachten.

2 EINLEITUNG

Als Klima definiert man das langjährige Mittel und die Schwankungen des jährlichen Ablaufs der Witterung eines Gebietes, wobei unter Witterung der Wetterzustand einer Zeitspanne von mehreren Tagen verstanden wird (Scherhag et al., 1977). Der Wetterzustand wird beschrieben durch meteorologische Größen wie Wind, Temperatur, Feuchte, Sonnenscheindauer, Strahlungsmenge und Niederschlag.

Die Kombination der genannten Größen beeinflusst neben dem Pflanzenwachstum die Aktivitäten und die Gesundheit der Bewohner und insgesamt die „Lebensqualität“ in einer Region. Für die Einwirkungen auf den Menschen sind vor allem die Komplexe der thermischen (z. B. der Wärmebelastung durch Schwüle) und der lufthygienischen Bedingungen infolge Änderung der Durchlüftung von Bedeutung.

Man unterscheidet das Großklima (mehrere 100 km), das regionale Klima (mehrere 10 km) und das lokale Klima (ca. 100 m bis mehrere km). Das Großklima wird z. B. beeinflusst durch die geografische Länge und Breite, die Höhenlage, die Lage zum Meer und zu Gebirgszügen. Wichtige Einflussgrößen für das regionale und lokale Klima sind, ausgehend von der geografischen Situation und der Verteilung der großräumigen Wetterlagen, das Relief und die Zusammensetzung der Landnutzung. Das Klima eines Ortes ist die Summe aus den Einflüssen der genannten Maßstabsbereiche.

Unter Stadtklima versteht man das Klima einer Stadt, welches aufgrund der Wechselwirkung der Atmosphäre mit der Bebauung sowie aufgrund von Luftschadstoffemissionen gegenüber den Verhältnissen im Umland modifiziert ist. Die Besonderheiten sind u. a.:

- Änderung des lokalen Windfeldes

Die städtische Bebauung stellt ein Strömungshindernis dar, welches das lokale Windfeld stark beeinflusst.

Die Folgen sind: geringere mittlere Windgeschwindigkeiten und damit Verschlechterung der Durchlüftungsverhältnisse im Mittel, eingeschränkter Luftaustausch mit dem Umland besonders bei stabilen Wetterlagen und damit: schlechterer Abtransport von in der Stadt emittierten Schadstoffen, Erhöhung der Böigkeit durch Kanalisierungseffekte, Wirbelbildung in stärker bebauten Straßenbereichen.

- Änderung der Temperaturverhältnisse

Durch die Energieumsetzungen an künstlichen Oberflächen wird Wärme erzeugt. Dies bewirkt, dass die städtischen Bereiche in der Regel wärmer sind als die Umgebung (Wärmeinseleffekt). Zudem hat die städtische Bebauung ein erhöhtes Wärmespeichervermögen.

Die Folgen sind: erhöhte Wärmebelastung an Sommertagen, geringere Abkühlung in den Nächten.

- Änderung der lufthygienischen Situation

In städtischen Bereichen werden durch anthropogene Nutzungen im Vergleich zum Umland deutlich mehr Schadstoffe emittiert (Hauptquellen sind der Straßenverkehr, die Haushalte und die Industrie).

Die Folgen sind: Lufthygienische Belastungen, die aufgrund der verschlechterten Durchlüftungsverhältnisse (siehe oben) noch verstärkt werden.

Auch auf andere meteorologische Parameter (z. B. Feuchte- und Niederschlagsverhältnisse) wirkt sich die städtische Bebauung modifizierend aus.

Die klimatischen Verhältnisse einer Stadt tragen in ihrer Gesamtheit wesentlich zum Wohlbefinden der Einwohner bei.

3 DATENGRUNDLAGE

Zur Bearbeitung des vorliegenden Werkes standen folgende Materialien zur Verfügung:

Daten und Pläne mit entsprechenden Nutzungsrechten

- Klimagutachten der Stadt Brühl (Overwien, 1991) mit: Temperaturanomalien in Strahlungsnächten sowie gemessenen Kaltluftreichweiten, Stand: 1991
- Flächendeckende Information zum Relief in Brühl und Umgebung (Land NRW, 2017) bzw. im weiteren Umfeld zur Erfassung des gesamten Kaltlufteinzugsgebietes [Datengrundlage: GlobDEM50 V2.0 - metSoft GbR Heilbronn (MetSoft, 2006)]
- Stadtplan der Stadt Brühl in digitaler Form (OpenStreetMap und Google Earth)
- Digitales Gebäudemodell für Brühl und Umgebung (Land NRW, 2017)
- Luftbilder für das Stadtgebiet von Brühl und dessen Umgebung (Google Earth)
- Flächennutzungsplan der Stadt Brühl (Stand: 2017)
- Informationen zu potenziellen Erweiterungsflächen für Wohnbebauung und Gewerbe (Wohnbaupotenziale mit Stand 28.08.2017 und Gewerbepotenziale mit Stand 20.12.2016, digitale Karten vom Auftraggeber)
- Informationen zu rechtskräftigen B-Plänen entsprechend Auskunft des Auftraggebers
- Straßennetz der Stadt Brühl inkl. Verkehrsstärke digital als *.shp (LANUV, 2017a) in einzelnen Teilbereichen ergänzt mit Angaben des Auftraggebers (Stadt Brühl, 2017)
- Information zur Lage von genehmigungspflichtigen Anlagen mit relevanten Emissionsquellen (LANUV, 2017b)
- Emissionskataster für Hausbrand und Kleinf Feuerungsanlagen (LANUV, 2017b)

Messdaten

- Windmessdaten an der DWD-Station Flughafen Köln-Bonn (DWD, 2017)

Klimadaten

- Klimadaten an der Station Köln-Bonn (DWD, 1996)

Rechenergebnisse

- Flächendeckende Immissions-Hintergrundbelastung für Brühl aus dem Fachinformationssystem des LANUV NRW (EURAD-IM-Daten, LANUV, 2017c)
- Synthetisch berechnete Windverteilungen im Bereich von Brühl (Metsoft, 2017a)
- Synthetische Winddaten in Brühl im Bereich des Eisenwerkes (Metsoft, 2017b)

4 BESCHREIBUNG DES REGIONALEN KLIMAS IN BRÜHL

4.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Brühl ist eine Stadt im Rhein-Erft-Kreis in Nordrhein-Westfalen (NRW) und Teil der Metropolregion Rhein-Ruhr, eines Ballungsraumes mit fast zehn Millionen Einwohnern. Die Stadt Brühl liegt in der Kölner Bucht am nördlichen Ende des Vorgebirges. Das Vorgebirge ist eine langgestreckte und bis zu 156 m hohe Anhöhe westlich der Stadt. Die nächstgelegenen größeren Städte sind Köln und Bonn. Dabei grenzt Köln direkt im Nordosten von Brühl an, während im Süden zwischen Brühl und Bonn die Stadt Bornheim liegt.

In **Abb. 4.1** ist der Lageplan der Stadt Brühl und der näheren Umgebung aufgezeigt. Die Stadtgrenze ist mit einer orangen Linie gekennzeichnet. Weiterhin sind dieser Abbildung die Stadtteile, die Hauptverkehrsstraßen (schwarze Linien) sowie weitere wichtige geographische Orientierungspunkte zu entnehmen. Zudem ist der Betrachtungsbereich für die Klimafunktionskarte zu entnehmen.

Die **Abb. 4.2** zeigt separat eine Übersicht über die Hauptverkehrsstraßen im Untersuchungsgebiet inklusive Kennzeichnung wichtiger Straßenabschnitte.

4.2 Relief

Für die Modellsimulationen mit dem prognostischen Modell KALM wurde das ca. 60 km x 38 km große Rechengebiet (= Einzugsgebiet der Kaltluft) hinsichtlich Relief dreidimensional digital erfasst.

Im eigentlichen Untersuchungsgebiet (Stadt Brühl und Umgebung, siehe blaues Rechteck in **Abb. 4.1**) wurden die Daten vom Land NRW (2017) in detaillierter Form im 1 m-Raster zur Verfügung gestellt. Außerhalb dieses Bereiches wurden frei verfügbare GlobDEM50-Höhen-
daten genutzt.

In **Abb. 4.3** ist das Relief im Bereich des gesamten Einzugsgebietes der Kaltluft dargestellt. Gekennzeichnet sind das Stadtgebiet von Brühl sowie das 9 km x 9 km große Betrachtungsgebiet, welches das Stadtgebiet von Brühl einschließt.

Das Relief im Bereich der Stadt Brühl ist in dreidimensionaler Form in **Abb. 4.4** dargestellt. In dieser Abbildung sind das Vorgebirge und die Kölner Bucht gekennzeichnet.

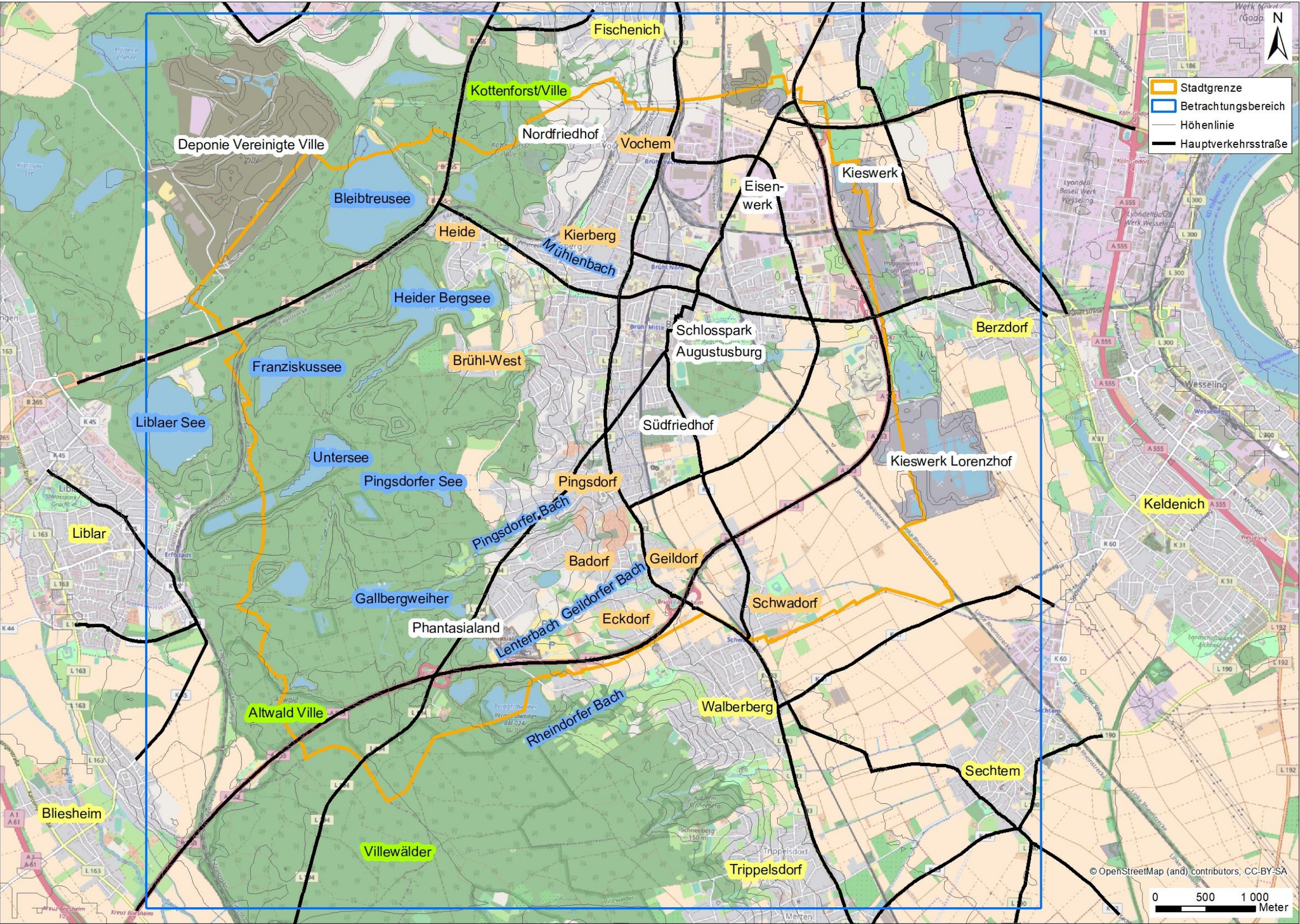


Abb. 4.1: Lageplan der Stadt Brühl. Kartengrundlage: OpenStreetMap

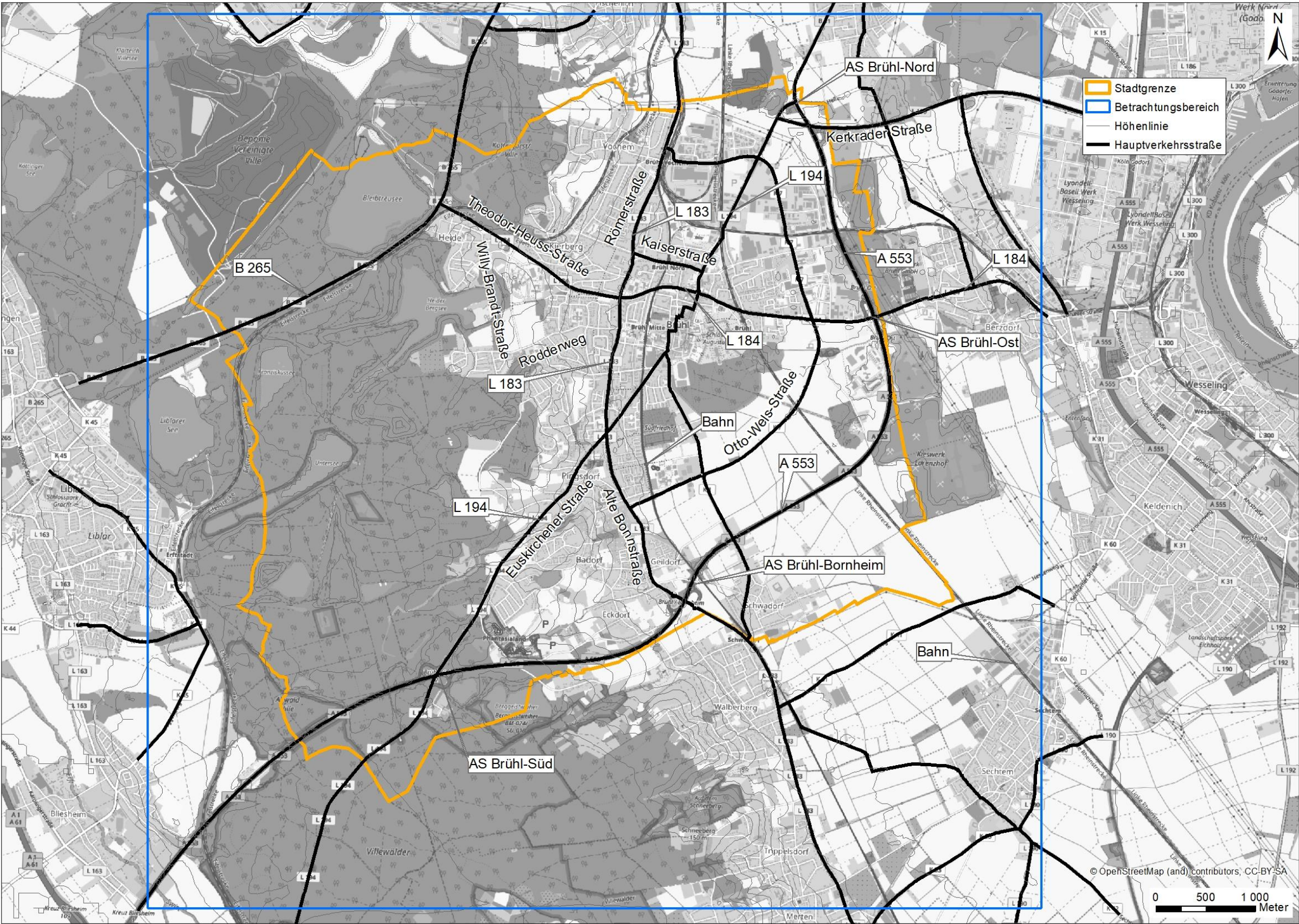


Abb. 4.2: Lageplan der Hauptverkehrsstraßen in Brühl und Umgebung. Kartengrundlage: OpenStreetMap

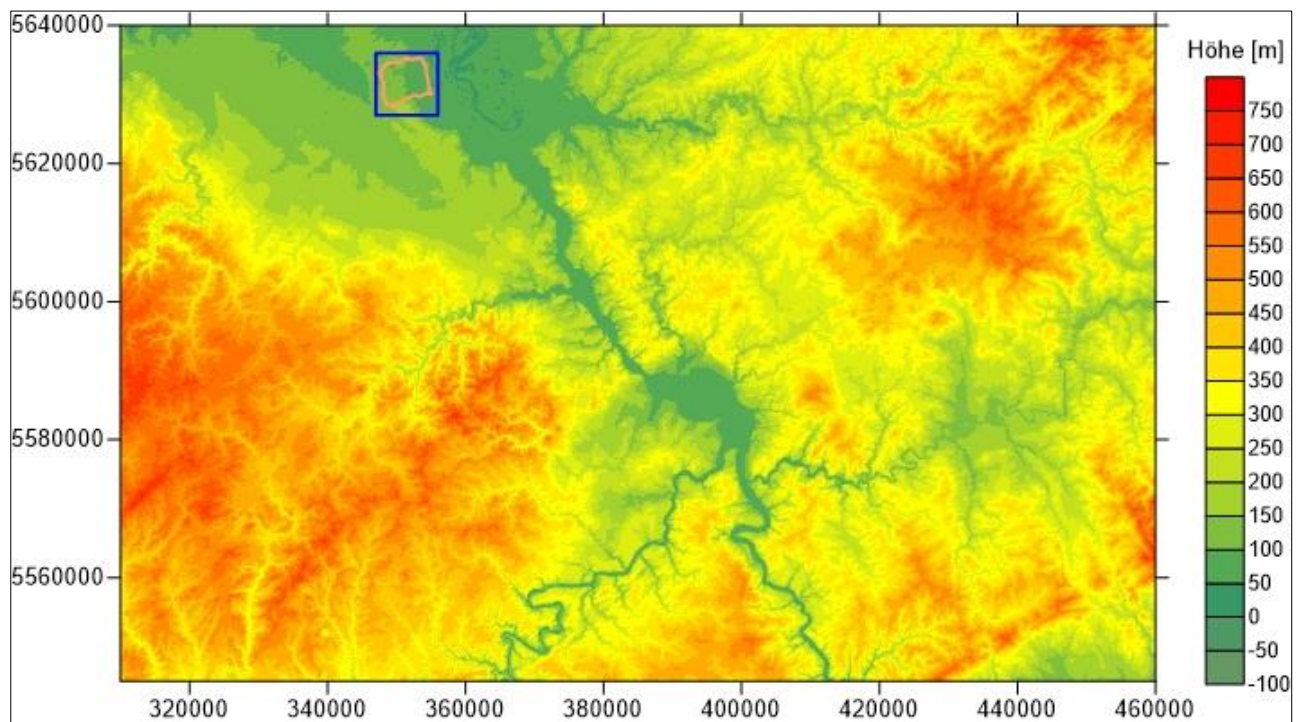


Abb. 4.3: Relief des Untersuchungsgebietes, Betrachtungsbereich: blauer Rahmen, Stadtgrenze Brühl: oranger Umriss

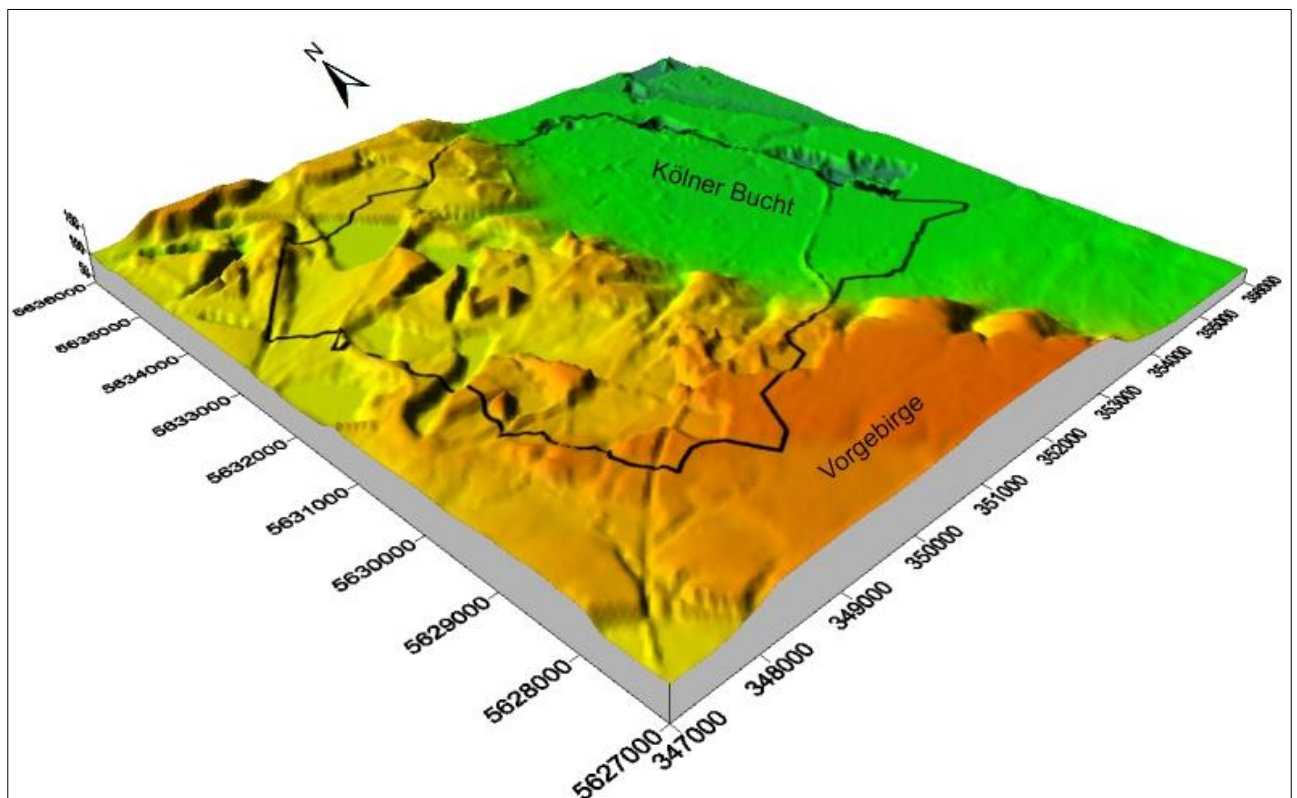


Abb. 4.4: Untersuchungsgebiet in 3-D-Ansicht, Stadtgrenze Brühl: schwarz

Die Siedlungsbereiche von Brühl liegen überwiegend in einer Höhe von etwa 60 m üNN bis 80 m üNN, im Westen steigt das Gelände leicht in Richtung Vorgebirge an. Hier befinden sich die dortigen kleineren Ortsteile bis in Höhenlagen von maximal 130 m üNN. Generell lässt sich feststellen, dass die Niveauhöhe der Stadt Brühl von West nach Ost abnimmt.

Stark geprägt wird die Topographie der "Kölner Bucht" vom Wasserlauf des Rheins, der sie etwa von Südost nach Nordwest durchquert. Die dreidimensionale Darstellung des Untersuchungsgebietes verdeutlicht, dass Brühl in seiner Orographie im Wesentlichen durch die Rheinebene und die umliegenden Höhenzüge des Vorgebirges gekennzeichnet ist.

Die meteorologische Messstation des DWD in Köln/Bonn-Flughafen ist ca. 17 km östlich des Untersuchungsgebietes in einer Höhenlage von 92 m über NN gelegen.

4.3 Landnutzung

Für die Datengrundlage des Landnutzungsrasters wurden außerhalb des Betrachtungsbereiches frei verfügbare CORINE-Daten (Coordinated Information on the European Environment) als flächendeckende Informationen genutzt. Im unmittelbaren Umfeld von Brühl wurden Landnutzungsdaten von Land NRW (2017) herangezogen. Im Stadtgebiet Brühl selbst lagen Angaben aus dem aktuellen Flächennutzungsplan der Stadt Brühl vor.

Diese wurden aufbereitet und entsprechend vorliegenden aktuellen Erkenntnissen in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber ergänzt/modifiziert. Rechtskräftige B-Pläne wurden dabei in Absprache mit dem Auftraggeber als vollständig bebaut angesetzt.

Die Bereiche mit dichter Bebauung wurden für die Stadt Brühl aus den ebenfalls zur Verfügung gestellten dreidimensionalen Gebäudeinformationen abgeleitet.

Die Landnutzungsstruktur ist für das gesamte Einzugsgebiet der Kaltluft in der **Abb. 4.5** dargestellt.

Die Landnutzung im Bereich der Stadt Brühl zeigt die **Abb. 4.6**.

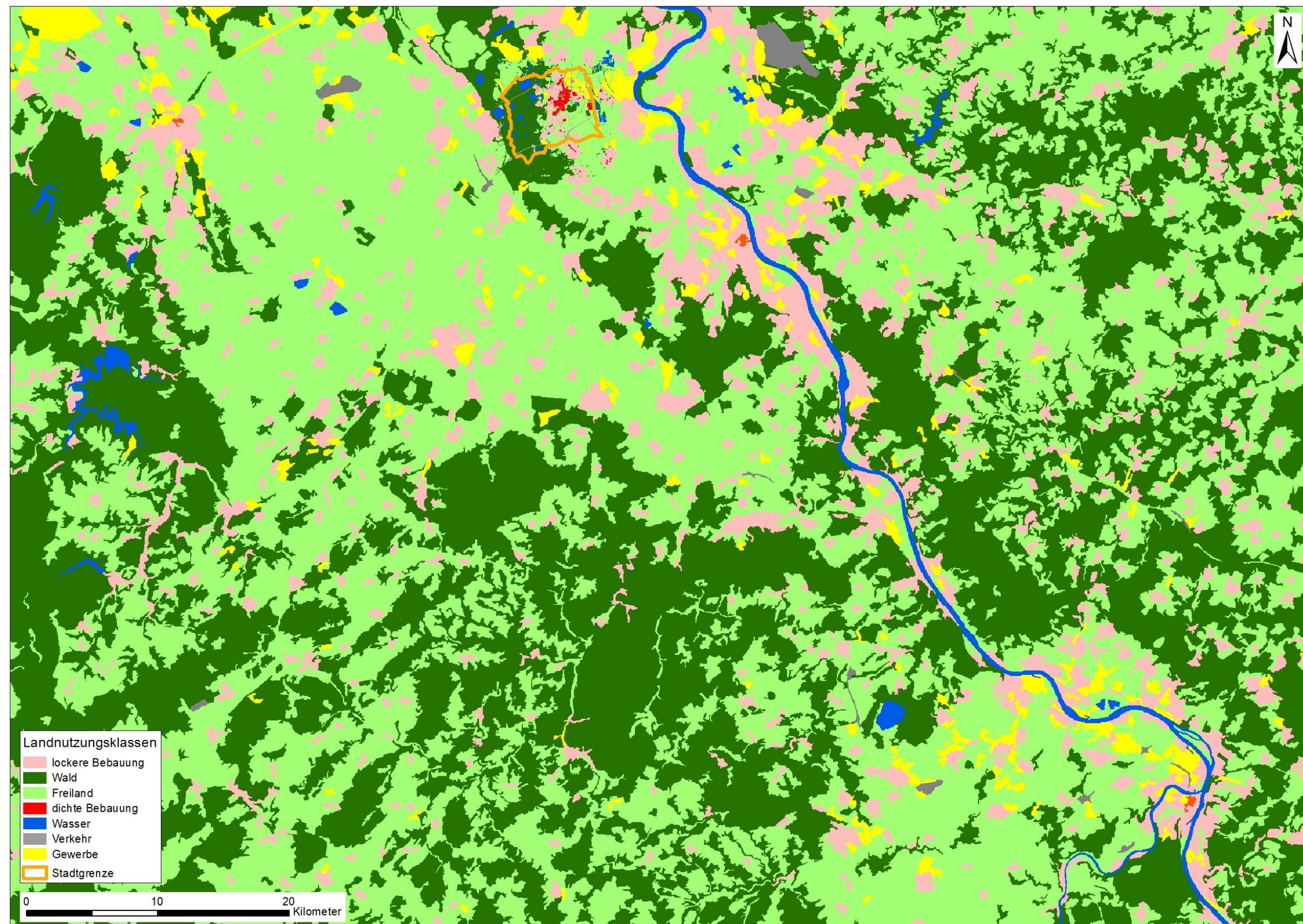


Abb. 4.5: Landnutzung im gesamten Untersuchungsgebiet

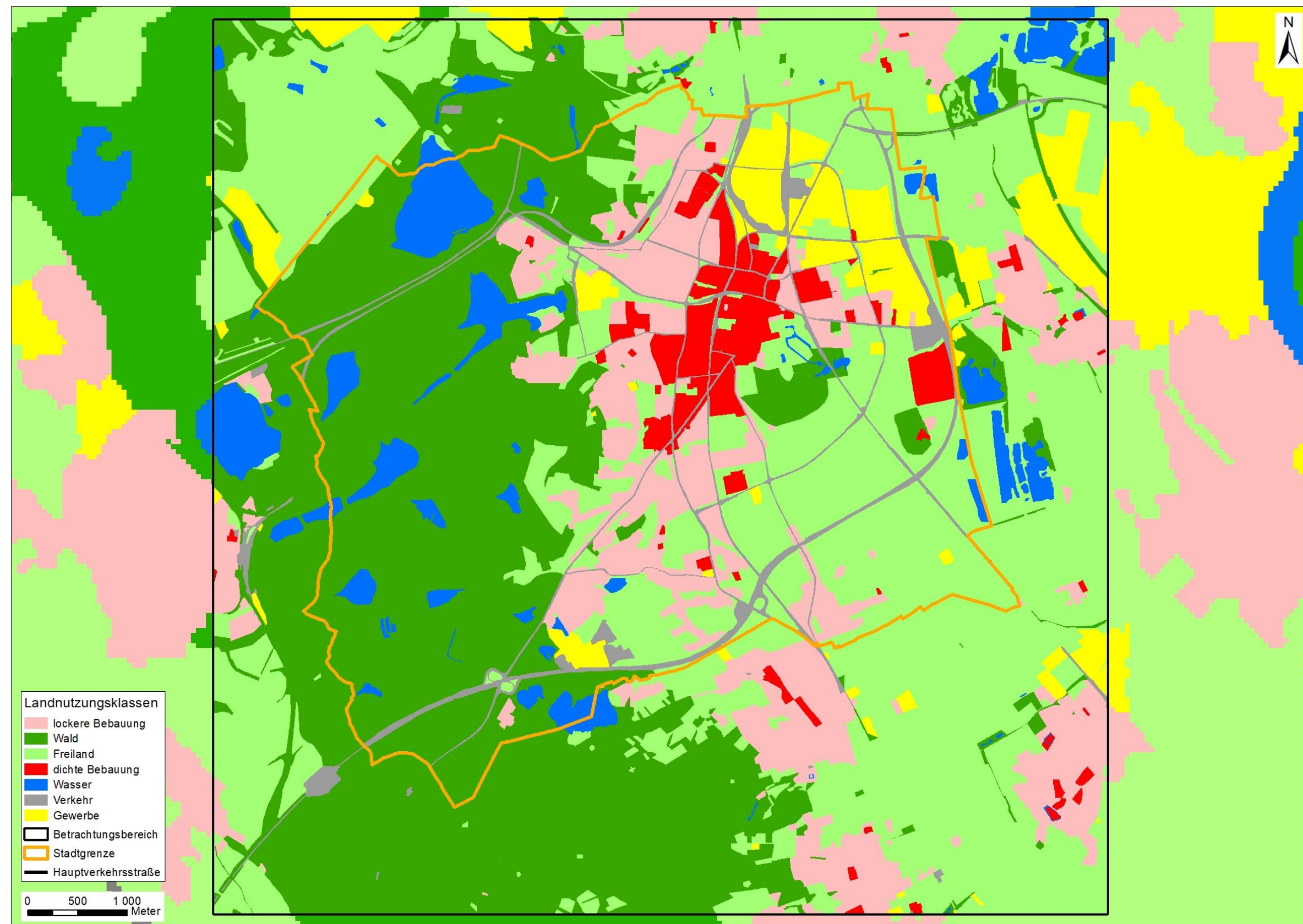


Abb. 4.6: Landnutzung im Bereich der Stadt Brühl

4.4 Baupotenziale

Von der Stadt Brühl wurden Bebauungspotenziale erarbeitet, deren mögliche Umsetzung in Bezug auf lokalklimatische Belange gesondert geprüft werden sollte. Die in diesem Zusammenhang zur Verfügung gestellten Pläne sind den **Abb. 4.7** und **Abb. 4.8** zu entnehmen.

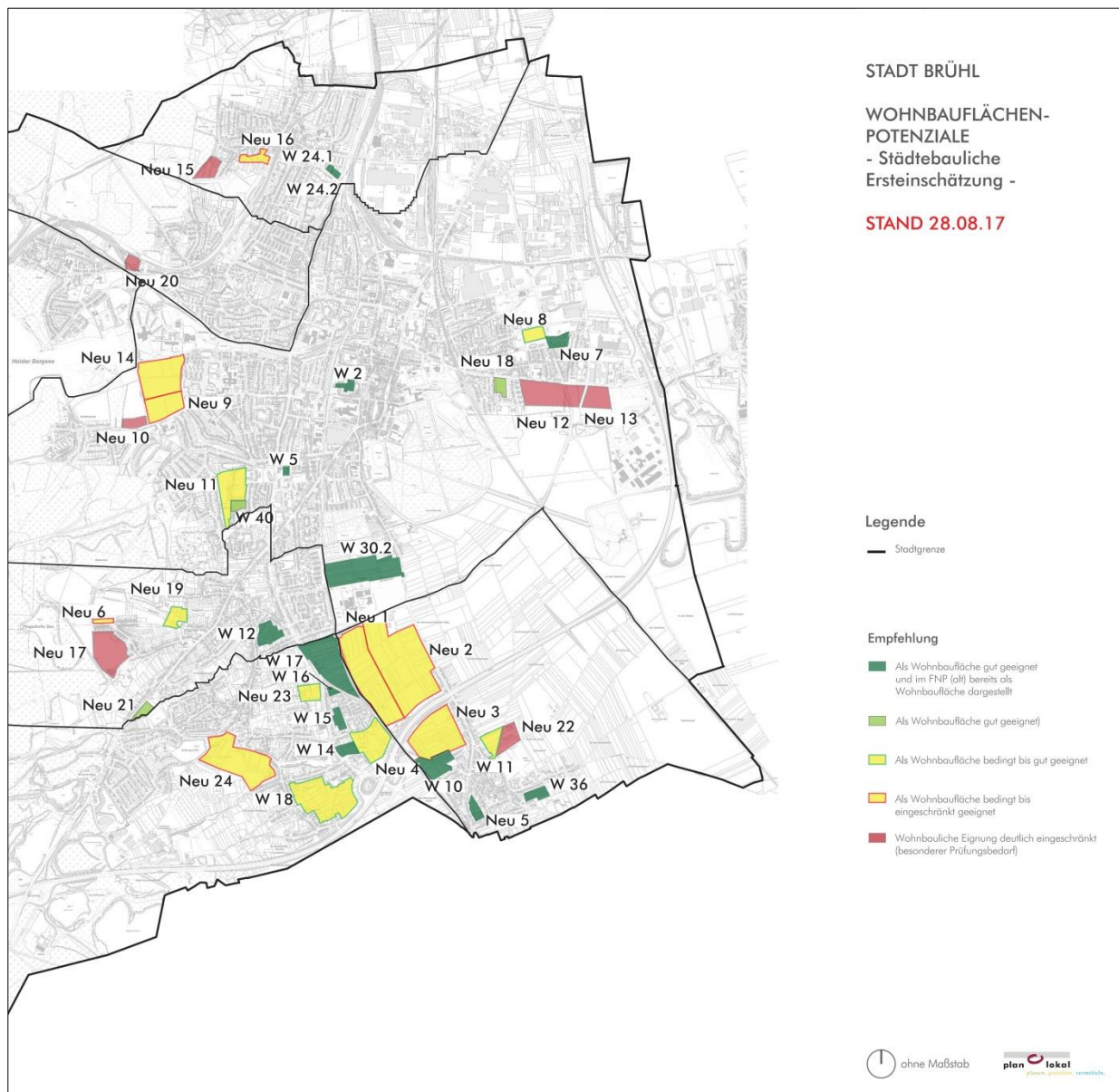


Abb. 4.7: Wohnbauflächenpotenziale der Stadt Brühl (Stand: 28.08.2017)
Kartengrundlage: Auftraggeber

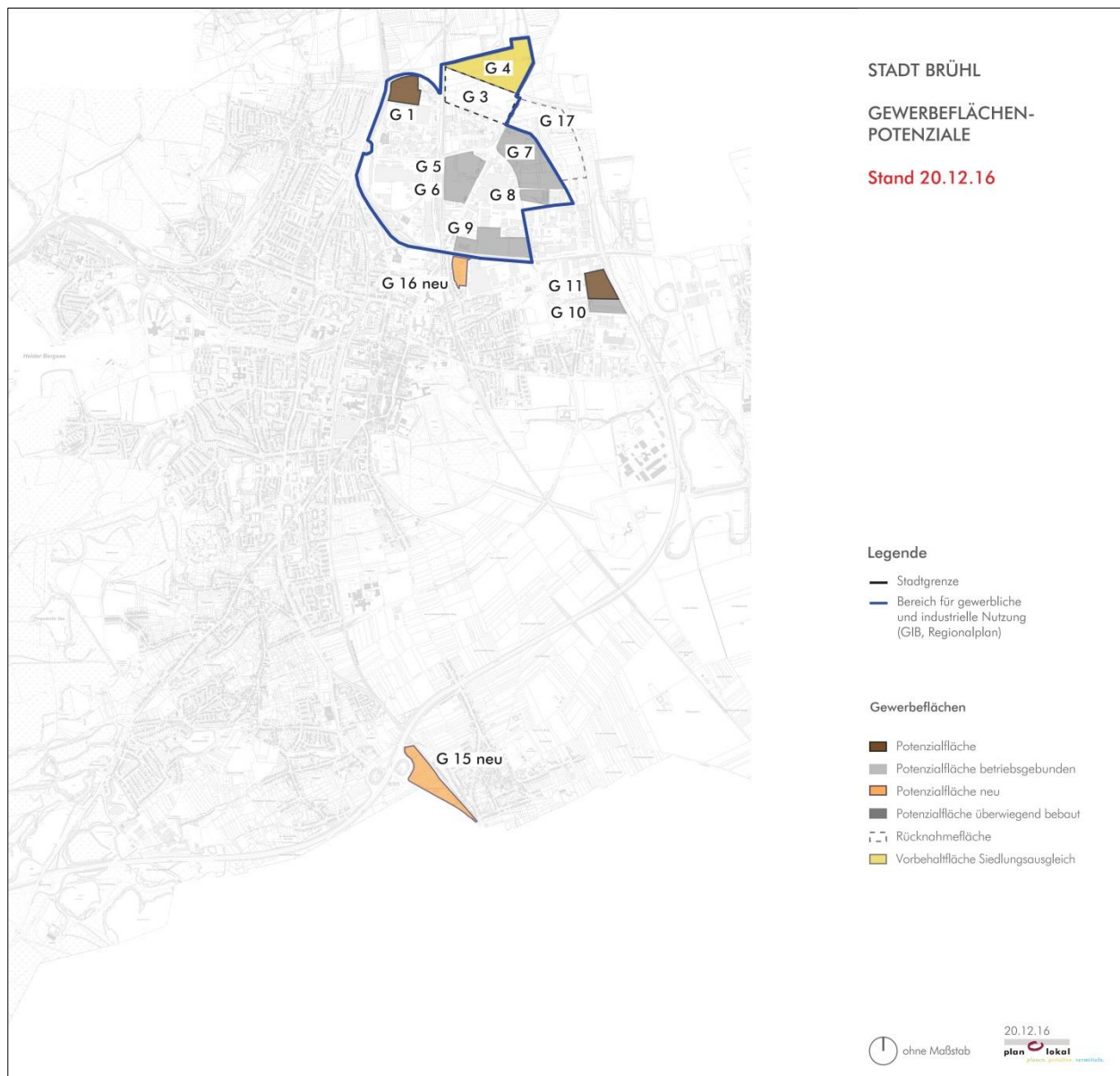


Abb. 4.8: Gewerbeflächenpotenziale der Stadt Brühl (Stand: 20.12.2016)
 Kartengrundlage: Auftraggeber

Für einige dieser aufgezeigten potenziellen Standorte existieren bereits genehmigte B-Pläne bzw. steht eine Genehmigung kurz bevor. Diese Bereiche wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber in den Klimakarten für den Istzustand bereits als bebaut angesehen. Weitere potenzielle Bebauungsbereiche wurden im Rahmen der Planungshinweiskarte auf ihre Eignung in Bezug auf lokalklimatische Belange hin bewertet (siehe Abschnitt 6). In Einzelfällen sind Teilbereiche dieser Flächen bereits rechtskräftig, andere Teile wiederum nicht. In diesem Falle erfolgte eine getrennte Betrachtung der entsprechenden Teilbereiche.

4.5 Bebauung

Die im zu betrachtenden detaillierten Untersuchungsgebiet sowie in dessen unmittelbarer Umgebung vorhandenen Gebäude wurden aus dreidimensionalen Daten abgeleitet, die vom Land NRW (2017) zur Verfügung gestellt wurden. Die Daten sind in **Abb. 4.9** aufgezeigt. Diese Daten wurden stichprobenartig an verschiedenen Stellen im Stadtgebiet anhand von vorliegenden Luftbildern kontrolliert und in Teilbereichen entsprechend der Gegebenheiten vor Ort ergänzt.

4.6 Klimatische Gegebenheiten

Das Klima eines Ortes wird durch die Angabe statistischer Kennzahlen der Klimaelemente beschrieben. Diese werden durch Beobachtungen und Messungen von Wetterstationen über einen längeren Zeitraum erfasst. Üblicherweise werden in der Klimatologie 30-jährige Perioden festgelegt, innerhalb der die sog. „Normalwerte“ ermittelt werden.

Informationen zur mittleren Lufttemperatur an der DWD-Station Köln/Bonn (Flughafen) sind in **Tab. 4.1** zusammengestellt (DWD, 1996).

	Köln/Bonn (Flughafen)
Januar	1.8
Februar	2.5
März	5.3
April	8.8
Mai	13.3
Juni	16.4
Juli	18.0
August	17.5
September	14.3
Oktober	10.4
November	5.7
Dezember	2.9
Jahr	9.7

Tab. 4.1: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur an der DWD-Station Köln/Bonn (Flughafen) (DWD, 1996)

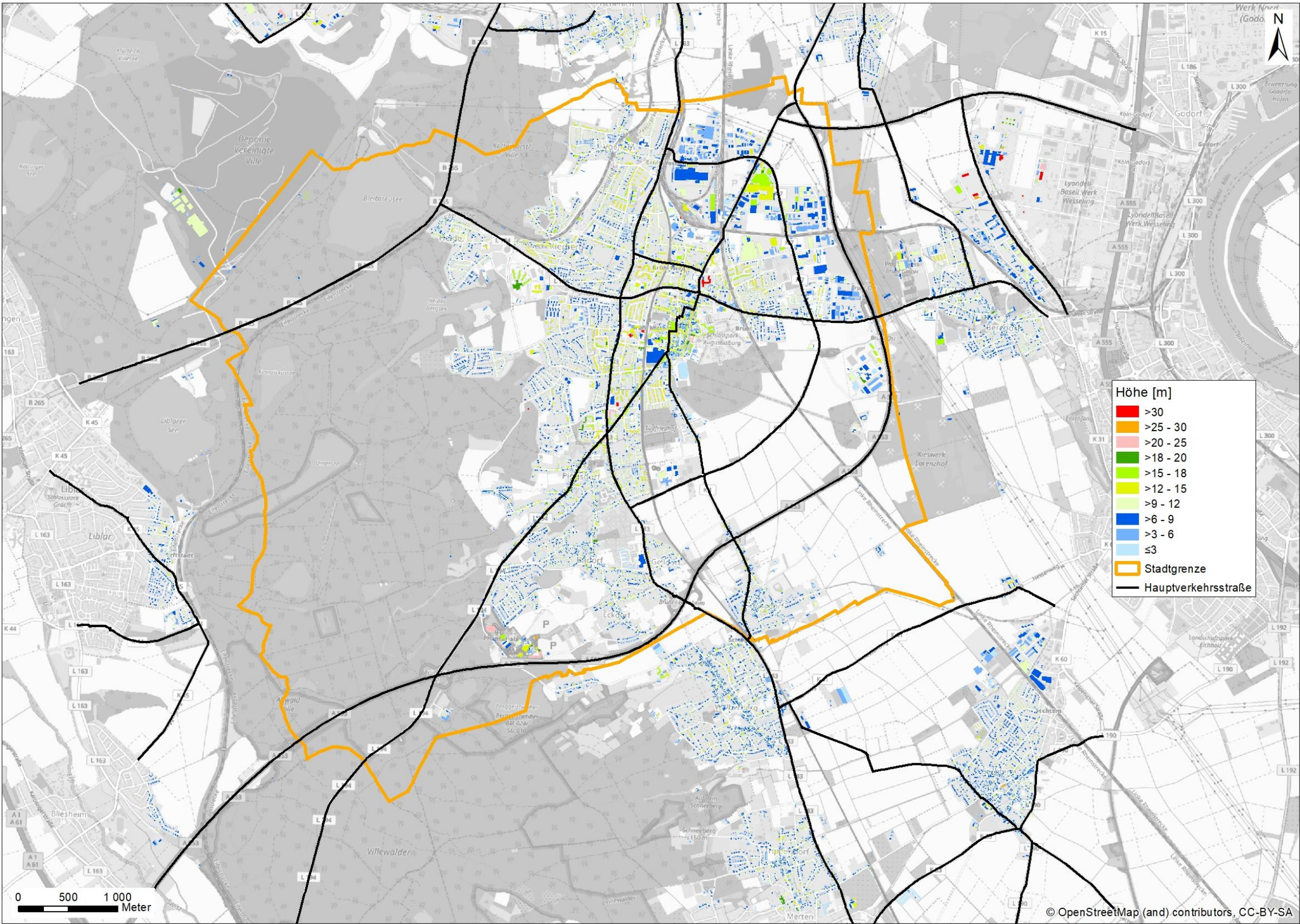


Abb. 4.9: Gebäudehöhen in Brühl. Quelle: Land NRW (2017), Kartengrundlage: OpenStreetMap

An der DWD-Station Köln/Bonn wurden in den Jahren 1961-1990 im Jahresmittel 9.7°C gemessen.

Des Weiteren liegen für diese DWD-Station die Zahl der Eistage, der Frosttage, der Sommertage sowie die Jahresmenge des Niederschlages vor (**Tab. 4.2**).

	1961-1990
Eistage (Temperaturmaximum <0°C)	11
Frosttage (Temperaturminimum <0°C)	73
Sommertage (Temperaturmaximum >25 °C)	34
Niederschlag (mm)	804.1

Tab. 4.2: Jahresmittlere Klimadaten an der DWD Station Köln/Bonn (Flughafen) im Zeitraum 1961-1990 (DWD, 1996)

Demnach gab es in Köln/Bonn im Mittel im Zeitraum 1961-1990 34 Sommertage. Dem stehen 73 Frosttage gegenüber. Die genannten Werte sind repräsentativ für die Freibereiche in der Rheinebene. Im Stadtgebiet Brühl selbst ist die Zahl der Sommertage wegen des Stadteffektes höher.

4.7 Mittlere Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet

Für das zu betrachtende Untersuchungsgebiet wurden Zeitreihen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der DWD-Station Flughafen Köln-Bonn aus dem Internetportal des DWD herunter geladen (DWD, 2017).

Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit an der DWD-Station beträgt in diesem Zeitraum ca. 3.1 m/s, gemessen in 10 m über Grund. Die Hauptwindrichtung ist Südwest, ein Nebenmaximum tritt bei westlichen Winden auf (**Abb. 4.10**).

Die genannte DWD-Station befindet sich östlich des Rheins, während das hier zu betrachtende Untersuchungsgebiet westlich davon liegt. Hinzu kommt, dass der westliche Teil von Brühl in Richtung Vorgebirge ansteigt. Deshalb ist zu erwarten, dass die Windverteilung in Brühl von der Windverteilung am Flughafen abweicht. Um diese Erwartung zu bekräftigen, wurden von der Firma Metsoft flächendeckende synthetische Informationen zu den Windverteilungen in Brühl erworben. Die zugehörigen Windverteilungen sind in **Abb. 4.11** dargestellt. Es handelt sich um synthetische Daten, die auf Modellrechnungen mit dem prognostischen Modell METRAS-PC beruhen.

Tatsächlich ist entsprechend dieser Daten in Brühl im Vergleich zur DWD-Station am Flughafen mit veränderten Windverteilungen zu rechnen. Die Häufigkeit der Südostkomponente ist in Brühl geringer, dafür steigen die Anteile einer westlichen Strömungskomponente an. Zudem ist die südöstliche Windkomponente im Vergleich zum Flughafen ca. 30° in Richtung Süden verdreht und breiter verteilt (die Kanalisierung ist geringer).

Alte Messdaten an der Station Hürth, die sich nördlich von Brühl befand (vor 2004) zeigen ähnliche Windverteilungen. Beides bestätigt die Vermutung, dass die Daten vom Flughafen für Brühl nicht repräsentativ sind.

Für das hier vorliegende Projekt wurde aus diesem Grund die Windverteilung in Brühl käuflich von der Firma Metsoft erworben (Metsoft, 2017b), und zwar für den Bereich des Eisenwerkes im Nordosten der Stadt. Diese Windverteilung ist in **Abb. 4.12** aufgezeigt. Dort beträgt die jahresmittlere Windgeschwindigkeit 2.4 m/s. Die Hauptwindrichtung ist West, ein Nebenmaximum tritt bei südöstlichen Winden auf.

Die dargestellten synthetischen Daten sind repräsentativ für die Windverteilung in Überdachniveau von Brühl.

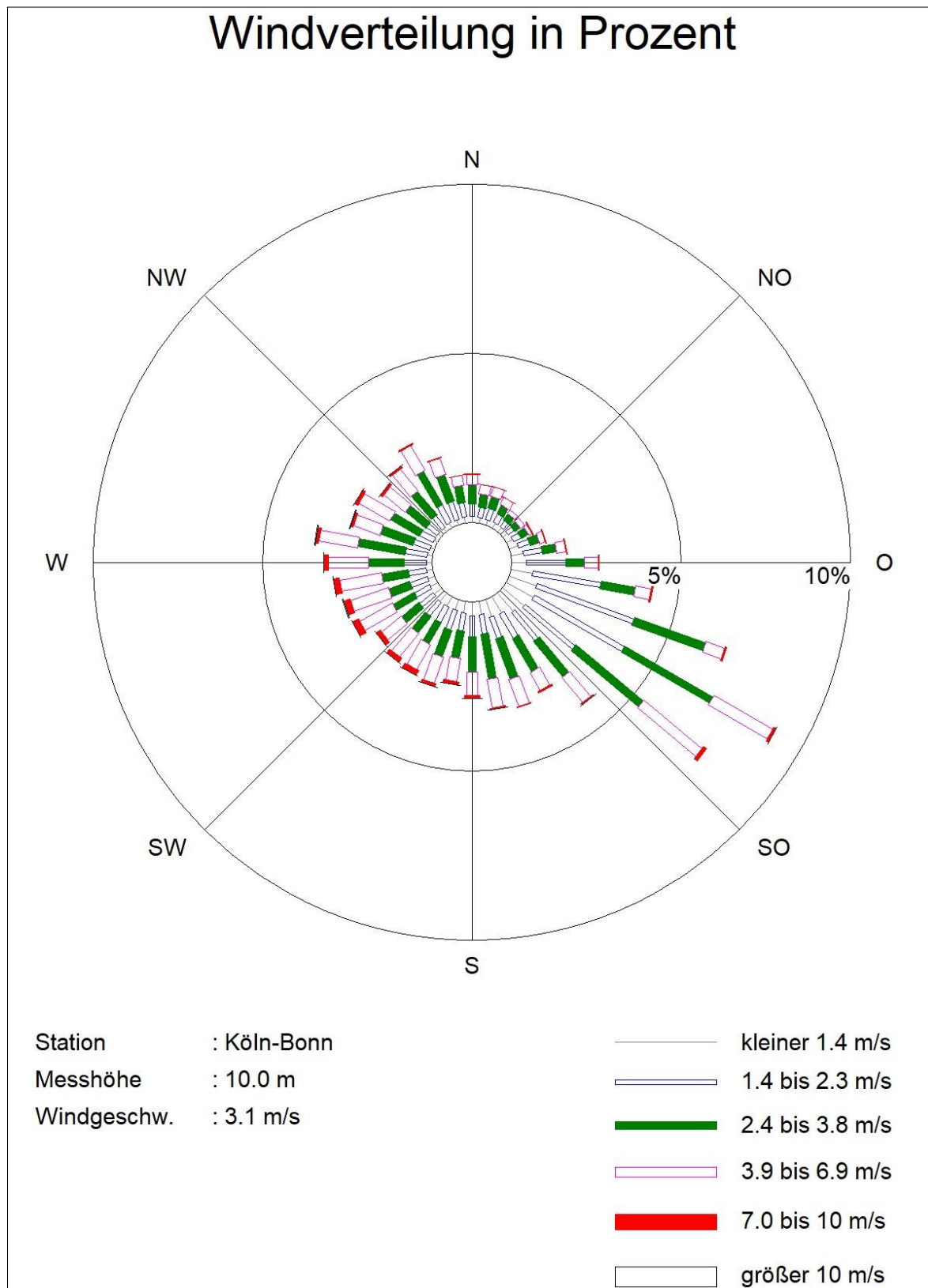


Abb. 4.10: Windrichtungs- und -geschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Köln-Bonn
 Quelle: DWD (2017)

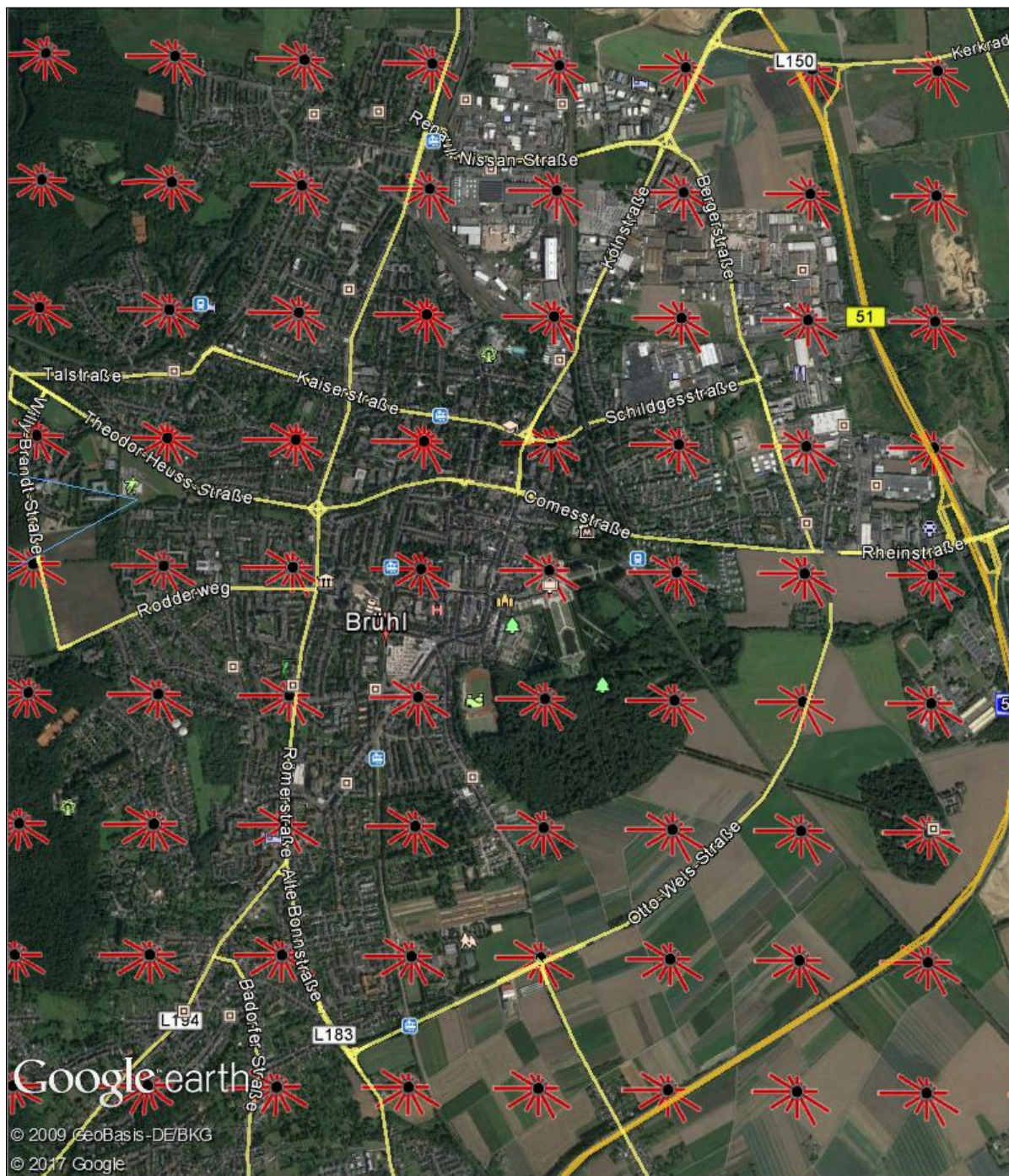


Abb. 4.11: Synthetische Windrichtungsverteilung in Brühl und Umgebung
Quelle: MetSoft (2017a), Kartengrundlage: Google earth

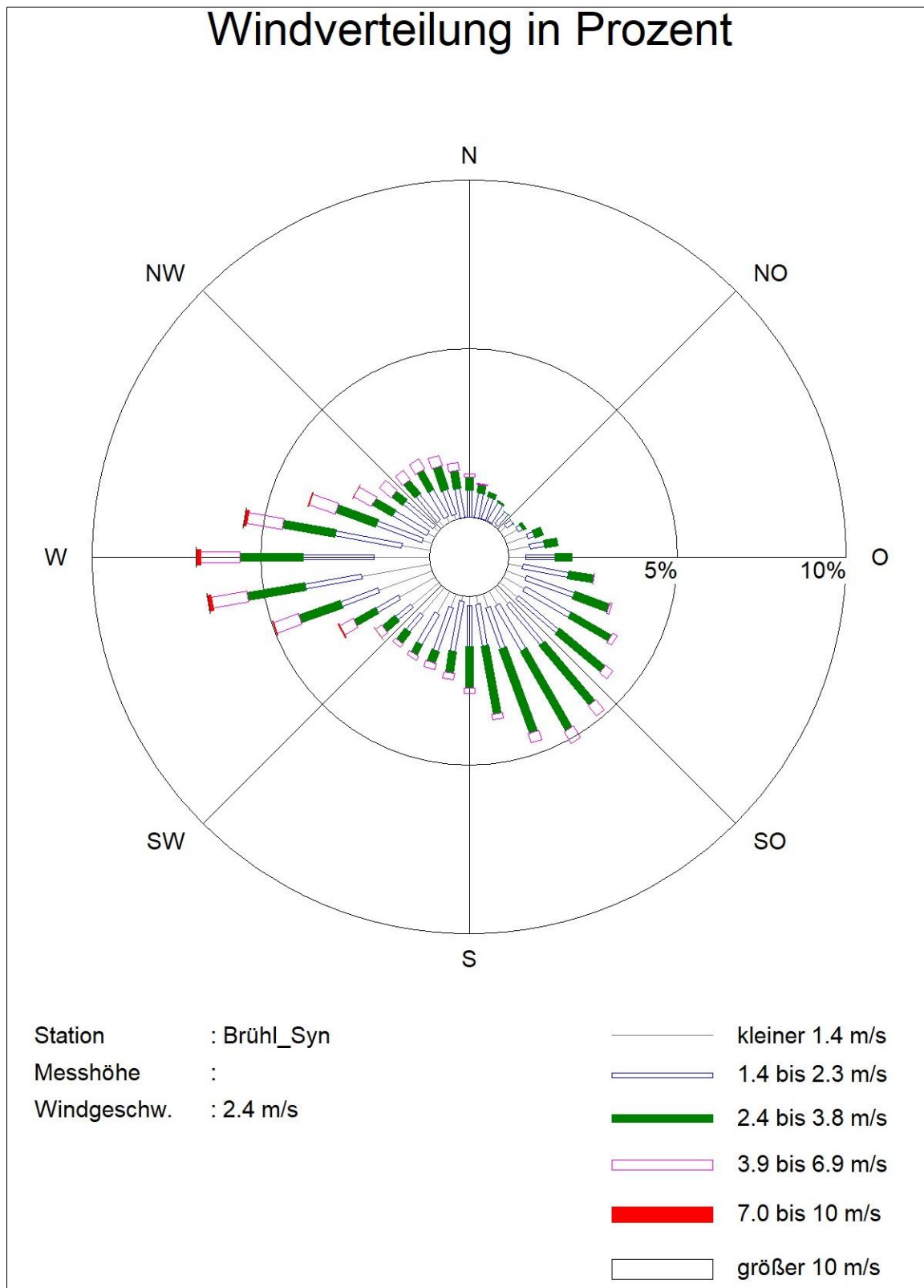


Abb. 4.12: Synthetische Windrichtungs- und -geschwindigkeitsverteilung, repräsentativ für die Stadt Brühl. Quelle: MetSoft (2017b)

4.8 Kaltluftströmungen

4.8.1 Vorgehensweise

Es wurden Kaltluftsimulationen mit dem Kaltluftmodell KALM (Beschreibung siehe Anhang A1) durchgeführt. Dafür wurde ergänzend zum eigentlichen Untersuchungsgebiet (Stadt Brühl und Umgebung) das umliegende Gelände berücksichtigt. Das gesamte Rechengebiet wurde so groß gewählt, dass die Einflüsse der Geländeerhebungen in der Umgebung auf die Kaltluftströmungen im Untersuchungsgebiet vollständig erfasst werden (gesamtes Einzugsgebiet der Kaltluft wird betrachtet).

Das berücksichtigte Rechengebiet umfasst eine Fläche von ca. 2 280 km². Die digitalen Geländedaten für dieses Gebiet wurden in ein Rechengitter mit einer Rasterweite von 50 m überführt.

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen beinhalten die Richtung und die Geschwindigkeit des Kaltluftstroms, die Mächtigkeit der Kaltluft und die daraus resultierende Kaltluftvolumenstromdichte. Die Kaltluftvolumenstromdichte ist die Menge des Volumens in m³, welches innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit durch eine bestimmte Fläche hindurchfließt. In diesem Fall handelt es sich um eine Fläche mit einer horizontalen Ausdehnung von einem Meter und einer Höhe von 15 m. Die vertikale Ausdehnung von 15 m wurde gewählt, um die bodennahe Kaltluftverhältnisse im Bereich der Bebauungshöhe zu erfassen. Die Einheit ist m³/(m s) bzw. m²/s. Falls die Volumenstromdichte über einen Querschnitt konstant ist, lässt sich der Volumenstrom direkt und einfach als Volumenstromdichte mal Länge der Grundlinie dieser Fläche berechnen. Der Kaltluftvolumenstrom kann als Größe zur Beschreibung der Durchlüftungsintensität aufgefasst werden.

Auf den Freilandnutzungen sowie in den umliegenden Waldgebieten im Stadtrandgebiet selbst und im Umland findet bei den entsprechenden Wetterlagen eine intensive Kaltluftentstehung statt. Selbige sammelt sich unter Anderem in den Talbereichen entlang der Theodor-Heuss-Straße, des Pingsdorfer Bachs, des Lenterbachs und des Rheindorfer Bachs (auf dem Gebiet von Bornheim) und durchströmt das Stadtgebiet von Westen her. Großteile der im Westen gebildeten Kaltluft werden von den westlichen Siedlungsbereichen abgebremst und von unten her erwärmt. Deshalb kommen die Kaltluftabflüsse den weiter östlich gelegenen Innenstadtgebieten überwiegend nicht zugute.

Die im Südwesten des Stadtgebietes gebildete Kaltluft kann aufgrund der lockeren Bauweise der dortigen Stadtteile Eckdorf, Geildorf und Schwadorf die Bebauung zum Teil durchdringen und fließt in abgeschwächter Form aus südlichen Richtungen kommend in den Stadtteil Brühl-Ost in der Rheinebene hinein.

Für die Darstellung der Berechnungsergebnisse wurde ein Teilausschnitt des Rechengebietes mit dem Gebiet von Brühl und dessen direkter Umgebung gewählt (= Betrachtungsbereich). In den Abbildungen sind Siedlungsflächen grau gestrichelt dargestellt. Die Höhenlinien des digitalen Höhenmodells sind in grober Auflösung hellgrau dargestellt; kleinere Einschnitte oder Aufschüttungen sind wegen der gewählten Stufung der Höhenlinien nicht erkennbar, sind aber im digitalen Geländemodell enthalten.

Die flächendeckenden Berechnungsergebnisse für die Kaltluftabflüsse sind in **Abb. 4.13** bis **Abb. 4.16** dargestellt.

Zusätzlich wurden aus den berechneten Volumenstromdichten für verschiedene Talquerschnitte Kaltluftvolumenströme abgeleitet. Die betrachteten Querschnitte sind in **Abb. 4.17** dargestellt. Die berechneten Kaltluftvolumenströme zeigt die **Tab. 4.3**.

Querschnitt	Anfangsphase des Kaltluftabflusses	Voll ausgebildete Kaltluft
Rheindorfer Bach	3 400	3 600
Lenterbach	4 100	4 700
Pingsdorfer Bach	2 500	3 000
Rheinebene	5 200	5 300
Theodor-Heuss-Straße (Mühlenbach)	2 900	4 900
Wiese nördlich Rodderweg	4 300	7 200

Tab. 4.3: Kaltluftvolumen in den in **Abb. 4.17** bezeichneten Querschnitten im Istzustand. Werte in m³/s

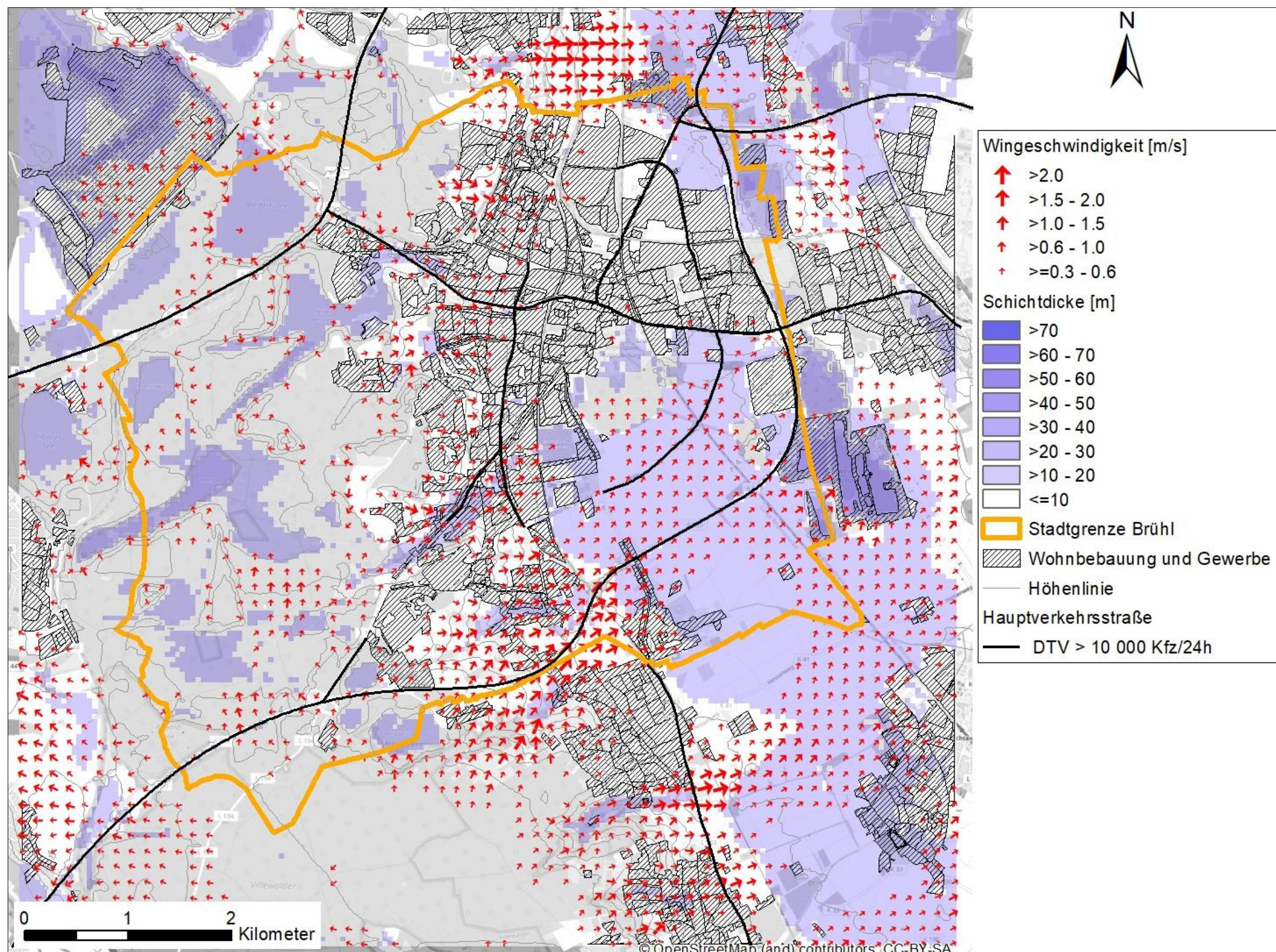


Abb. 4.13: Kaltluftgeschwindigkeit, -fließrichtung und -schichtdicke in der Anfangsphase der Kaltluftbildung. Kartengrundlage: OpenStreetMap

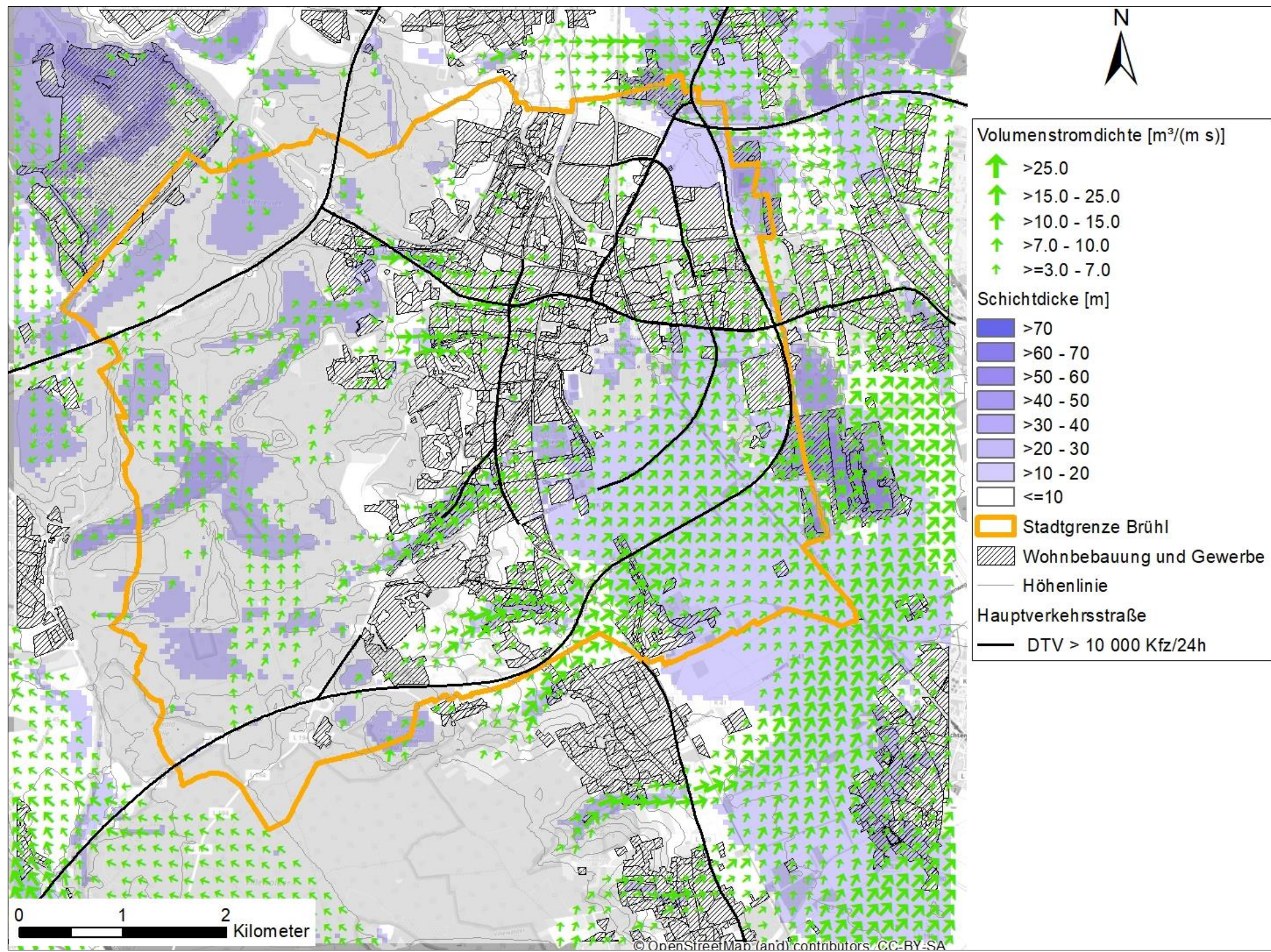


Abb. 4.14: Kaltluftvolumenstromdichte, -fließrichtung und -schichtdicke in der Anfangsphase der Kaltluftbildung. Kartengrundlage: OpenStreetMap

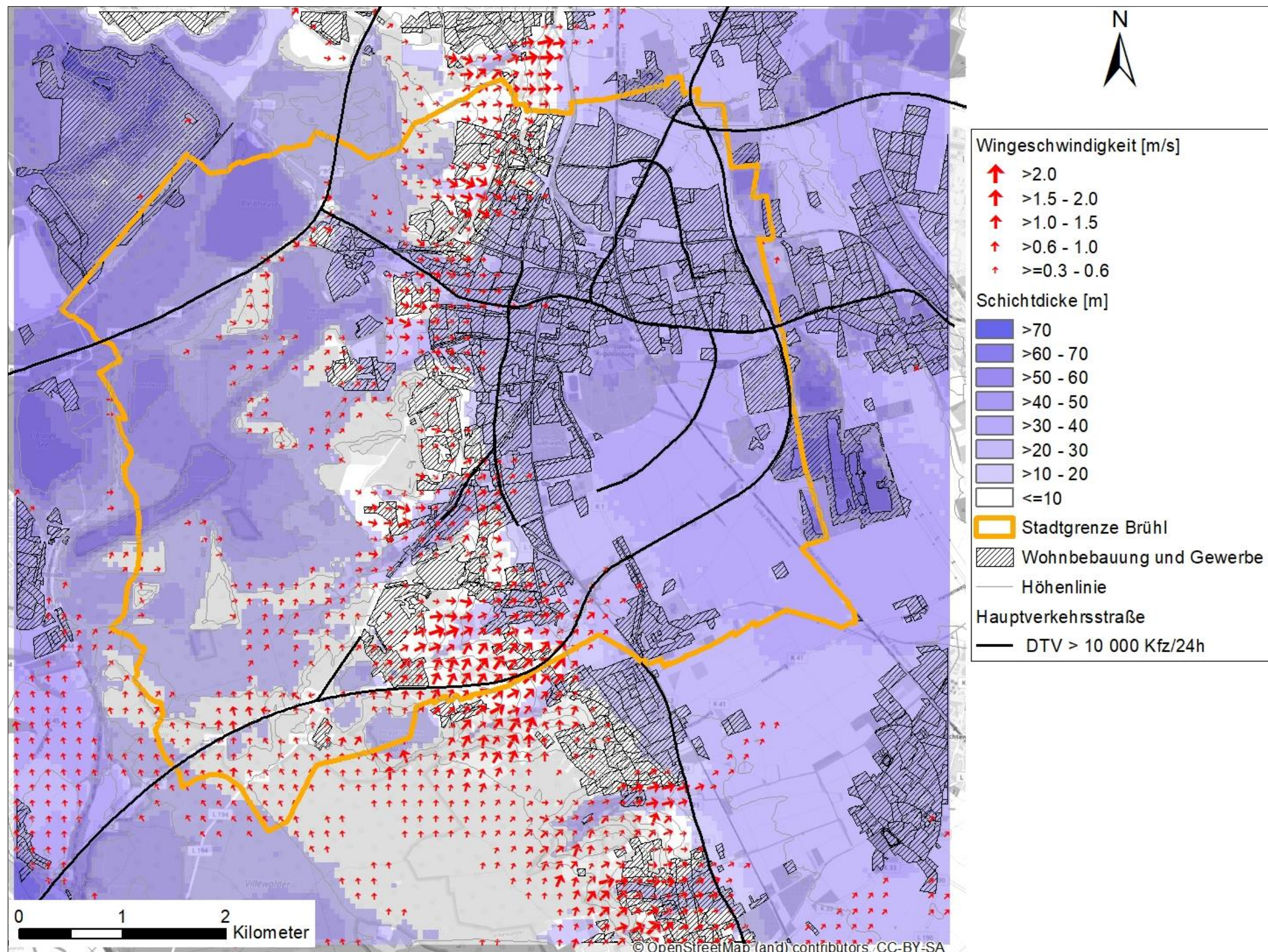


Abb. 4.15: Kaltluftgeschwindigkeit, -fließrichtung und -schichtdicke bei voll ausgebildeter Kaltluft. Kartengrundlage: OpenStreetMap

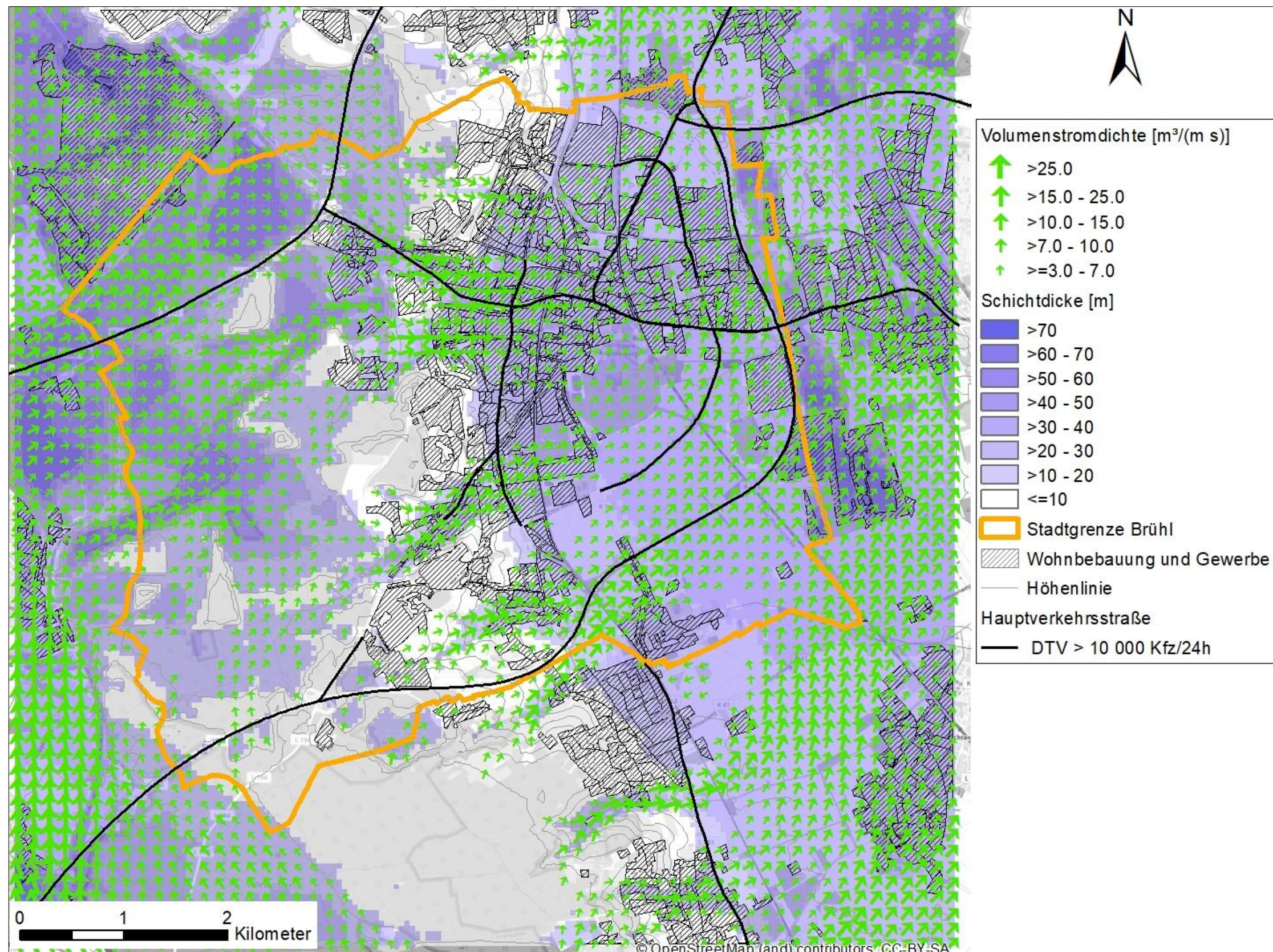


Abb. 4.16: Kaltluftvolumenstromdichte, -fließrichtung und -schichtdicke bei voll ausgebildeter Kaltluft. Kartengrundlage: OpenStreetMap

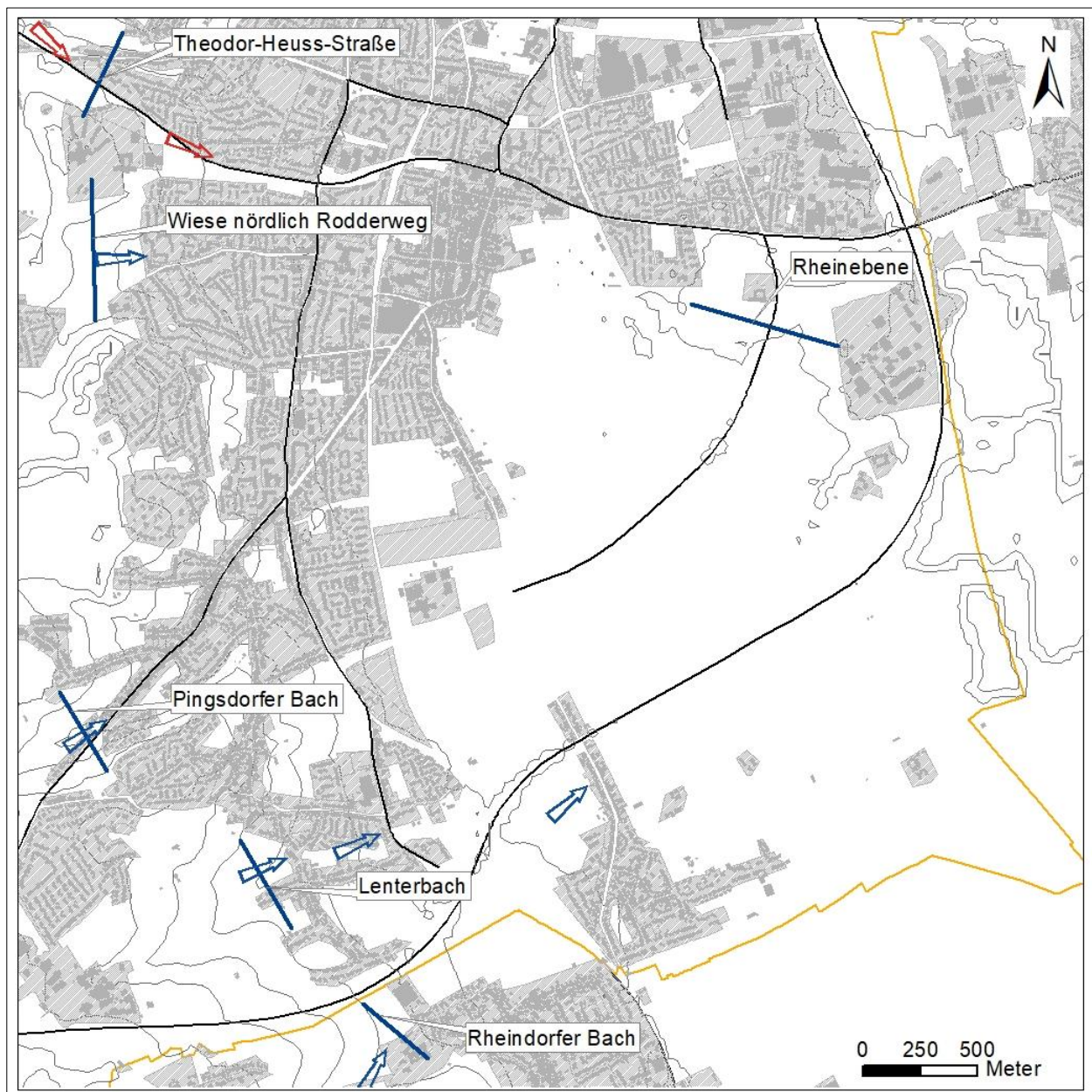


Abb. 4.17: Querschnitte, an denen Kaltluftvolumenströme berechnet wurden mit schematischer Lage der Wohnbebauung (grau gestrichelt)

4.8.2 Ergebnis

Die Kaltluftgeschwindigkeiten, die Kaltluftfließrichtungen und die Kaltluftschichtdicken in der Anfangsphase der Kaltluftbildung sind in **Abb. 4.13** dargestellt. Die Kaltluft wird auf den Freiflächen der Hänge gebildet, fließt entsprechend der größten Hangneigung in die Täler, um dann entsprechend der Geländeneigung weiter zu fließen. Bereits zu Beginn des Kalt-

luftabflusses bilden sich in den Talbereichen leichte Kaltluftseen aus (Kaltluftschichtdicke in den Nebentälern der Rheinebene jedoch nur bis maximal 20 m).

Die auftretenden Kaltluftgeschwindigkeiten liegen in Bereichen mit hoher Längsneigung bodennah bei bis zu 1.5 m/s oder mehr. Dies ist beispielsweise der Fall im südlichen Rand des Stadtgebietes in Höhe Eckdorf und nördlich des Stadtgebietes zwischen Vochem und Fischenich. Ansonsten treten in Hangbereichen überwiegend Kaltluftgeschwindigkeiten zwischen ca. 0.5 m/s und 1.3 m/s auf. In den Tälern, in denen sich die Kaltluft sammelt, sinken die Kaltluftgeschwindigkeiten im dortigen Kaltluftsee überwiegend auf Werte von weniger als 0.5 m/s ab. Im Süden des Stadtgebietes ist die Bebauungsdichte geringer als im Norden und die Menge der heran transportierten Kaltluft größer. Dort dringt ein Teil der Kaltluft bis in die Rheinebene vor und erreicht (allerdings wegen der dortigen geringen Längsneigung) in abgeschwächter Form auch den Stadtteil östlich des Schlossparks der Augustusburg (parallel zur Otto-Wels-Straße).

Abb. 4.13 zeigt die Kaltluftvolumenstromdichte und die Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung. Die höchsten Volumenstromdichten treten in den Tälern auf. Die westlich gebildete Kaltluft fließt überwiegend in Richtung der besiedelten Bereiche von Brühl. In den Hangbereichen, in denen die verhältnismäßig hohen Kaltluftgeschwindigkeiten auftreten, sind die Volumenstromdichten überwiegend gering, da die Kaltluftabflüsse dort keine relevante vertikale Mächtigkeit aufweisen.

Die in den Tälern auftretenden Volumenströme erreichen in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses im gesamten Untersuchungsgebiet keine klimaökologisch wirksame Relevanz [Schwellwert dafür laut Schriftenreihe Raumordnung (1979): 10 000 m³/s, siehe **Tab. 4.3**]. Die Menge der in das Siedlungsgebiet einströmenden Kaltluft ist wegen der geringen Ausdehnung der Kaltluftseen kleiner. Aufgrund der schwachen Ausprägung von Kaltluftabflüssen in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses ist davon auszugehen, dass von der in der Anfangsphase herantransportierten Kaltluft nur die ersten Häuserzeilen profitieren, zumal zu erwarten ist, dass bei den dort vorliegenden sehr geringen Schichtdicken der Kaltluft der großräumige Wind häufig durchgreift und sich in der Realität nur sehr selten Kaltluftabflüsse zeigen.

In **Abb. 4.14** sind die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit sowie die Schichtdicke bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen im Laufe der Nacht aufgezeigt.

Bei andauernden Kaltluftbedingungen ist eine deutliche Zunahme der Kaltluftmächtigkeiten in den Tal-, Mulden- und Senkenbereichen zu erwarten. Es werden in den Talbereichen

Mächtigkeiten von einigen Dekametern berechnet. Außerhalb der Kaltluftseen sind die auftretenden Kaltluftgeschwindigkeiten im reliefierten Gelände überwiegend größer als 0.3 m/s. In den bewohnten Bereichen treten mit einzelnen Ausnahmen (Wohnbereiche am westlichen Stadtrand) überwiegend Kaltluftgeschwindigkeiten von weniger als 0.3 m/s auf.

In **Abb. 4.15** ist die Kaltluftvolumenstromdichte bei voll ausgebildeter Kaltluft dargestellt.

In den Nebentälern der Rheinebene treten auch bei voll ausgebildeter Kaltluft keine starken, sondern eher mittlere Kaltluftvolumenströme zwischen 3 000 m³/s und 7 200 m³/s auf. Somit handelt es sich auch in diesem Stadium des Kaltluftabflusses in allen betroffenen Bereichen um mittlere Kaltluftabflüsse. Diese haben im Vergleich zu lokalklimatisch relevanten Volumenströmen eine geringere Durchschlagskraft in die Bebauung hinein.

In der Rheinebene sind diese Volumenströme mit sehr geringen bodennahen Windgeschwindigkeiten von weniger als 0.3 m/s verbunden. Diesen geringen Kaltluftgeschwindigkeiten sind nicht vom Menschen bewusst wahrnehmbar. Deshalb wurde dieser Bereich in der Klimafunktionskarte (siehe im Vorgriff Kapitel 5) auch nicht als relevante Abflussbahn gekennzeichnet. Trotzdem ist dort in Höhe der L 184 (Rheinstraße) mit einer gewissen Kaltluftbewegung (in diesem Falle in Richtung Norden und damit in Richtung der bebauten Bereiche von Brühl-Ost) zu rechnen.

4.9 Windfeldberechnung im bebauten Bereich

4.9.1 Vorgehensweise

Die Durchlüftungsverhältnisse werden im Wesentlichen durch die Hauptwindrichtungen bei vorherrschenden übergeordneten regionalen Windanströmungen und die örtlichen topografischen Verhältnisse geprägt. Siedlungsgebiete weisen aufgrund der Baukörper und der Ausdehnung der Siedlungen bodennah Behinderungen der regionalen Windanströmungen auf, die sich durch verringerte bodennahe Windgeschwindigkeiten und teilweise durch Umlenkungen der Strömungsrichtungen ausdrücken. In Waldgebieten sind bodennah aufgrund der Bäume ebenfalls deutlich verringerte Windgeschwindigkeiten gegenüber umliegendem Freiland vorherrschend.

Die mikroskaligen Simulationen für die Ermittlung der mittleren Durchlüftungsverhältnisse (außerhalb der Zeiten mit Kaltluft) innerhalb der Siedlungsbereiche erfolgt mit dem mikroskaligen prognostischen Modell MISKAM. MISKAM ist das derzeit am besten validierte mikroskalige Strömungsmodell. Die Berechnungen erfolgen unter expliziter Berücksichtigung der jeweiligen Bebauung im bebauten Bereich von Brühl. Als horizontale Auflösung wird mit

6 m x 6 m gearbeitet. Berechnet wurde flächendeckend für den überwiegenden Teil des besiedelten Bereiches die mittlere Windgeschwindigkeit in Bodennähe (10 m über Grund, siehe **Abb. 4.18**). Diese Höhe entspricht den Vorgaben aus der Richtlinie VDI 3786, Blatt 2 (VDI, 2000), wonach entsprechend internationalem Standard Windmessungen in 10 m über Grund stattfinden sollten. Auch die Messwerte im Umkreis von Brühl liegen in der Regel in 10 m über Grund vor, sofern lokale Hindernisse Messwerte nicht relevant beeinflussen. Aus den Berechnungsergebnissen für 10 m über Grund wird die Lage von Luftleitbahnen abgeleitet.

Zusätzlich erfolgt die Auswertung in einer Höhe von 10 m über dem mittleren Niveau der Verdrängungshöhe (d. h. ca. 16 m über Grund, siehe **Abb. 4.19**). Mit Hilfe dieser Ergebnisse werden die Durchlüftungsbedingungen im Stadtgebiet allgemein und flächendeckend abgeleitet. Als großräumige Anströmung über Dach werden die für Brühl repräsentativen synthetischen Daten der Firma Metsoft (2017b) genutzt.

Hinweis: Da der Fokus auf den Durchlüftungsverhältnissen im Stadtgebiet selbst lag, wurden die Windfeldberechnungen in den Flächen mit Waldbestand ohne Einfluss der dortigen Bäume durchgeführt. Deshalb sind die in Waldgebieten berechneten Werte nicht repräsentativ für die tatsächlich in diesem Bereich zu erwartenden Windgeschwindigkeiten. Dies ist bei der Interpretation der berechneten Ergebnisse zu beachten. Tatsächlich treten in und über Waldgebieten deutlich geringere Windgeschwindigkeiten auf. Dessen unbenommen sind die umliegenden Waldflächen aus lokalklimatischer Sicht sehr wichtig für das Stadtgebiet. Dies wird in den Klimakarten (siehe im Vorgriff Kapitel 5 und 6) auch entsprechend gewürdigt. Mit dem geschilderten Vorgehen wird dies auch nicht konterkariert, da es im hier vorliegenden Fall um die Durchlüftungsverhältnisse in den dicht bebauten Gebieten geht, die alle außerhalb des Waldeinflusses auf die Strömungsverhältnisse liegen.

Die aufgeführten flächenbezogenen Daten werden digital erzeugt und im Shape-Format verarbeitet, sodass eine Übernahme in GIS-Systeme gegeben ist.

4.9.2 Ergebnis

Die mittleren Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund sind in **Abb. 4.19** dargestellt.

Außerhalb des Stadtgebietes herrschen im Bereich von Freiland sehr gute Durchlüftungsbedingungen mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 2.5 m/s und mehr. Im bebauten Stadtgebiet selbst werden die Windgeschwindigkeiten von den dortigen Gebäuden mehr oder weniger stark beeinflusst. Die Stärke der Beeinflussung ist abhängig von der Höhe der Gebäude, deren horizontale Ausdehnung sowie der Bebauungsdichte. Die Berechnungen für

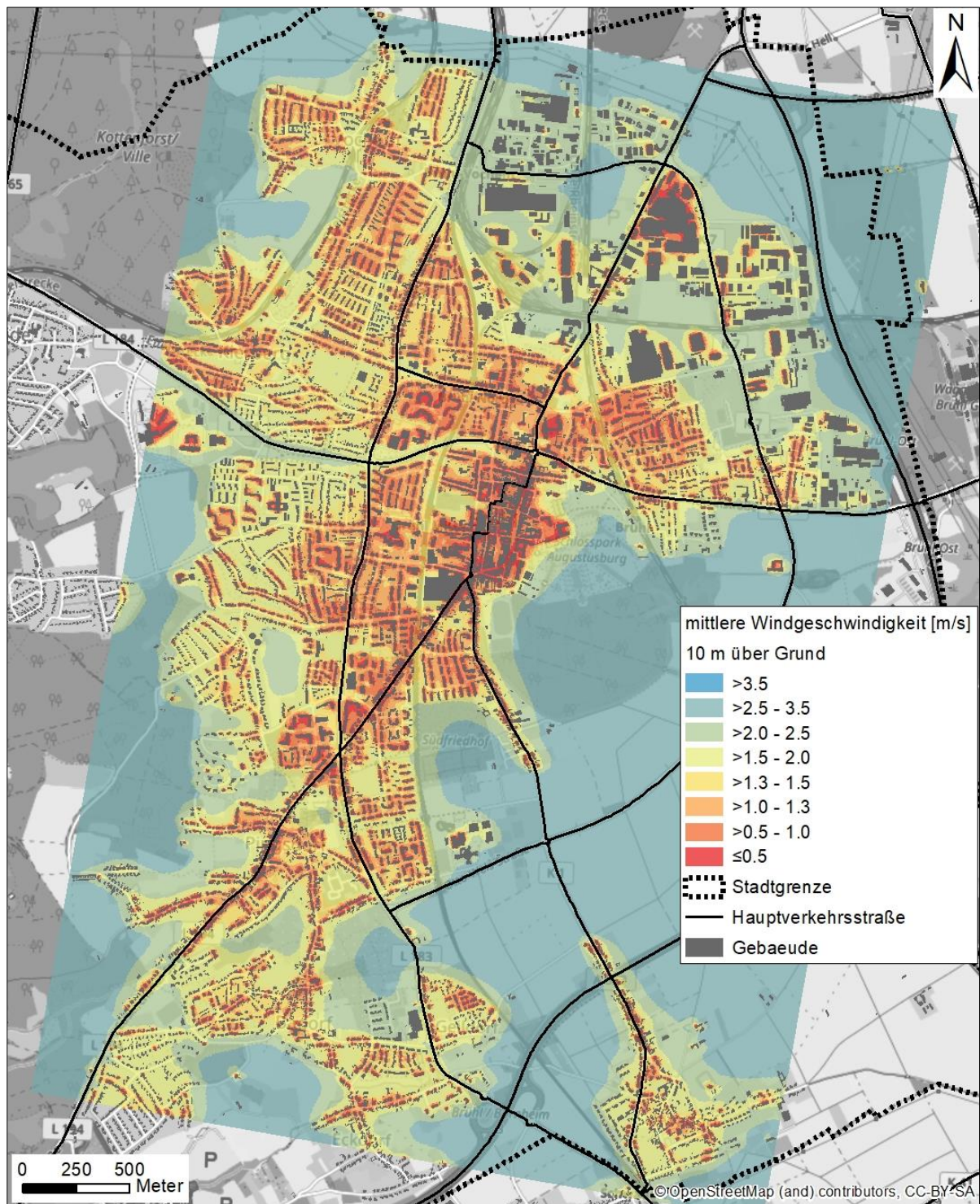


Abb. 4.18: Jahresmittlere Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe über Grund

Kartengrundlage: OpenStreetMap

Hinweis: Waldflächen wurden bei der Berechnung vernachlässigt und als Freiflächen berücksichtigt

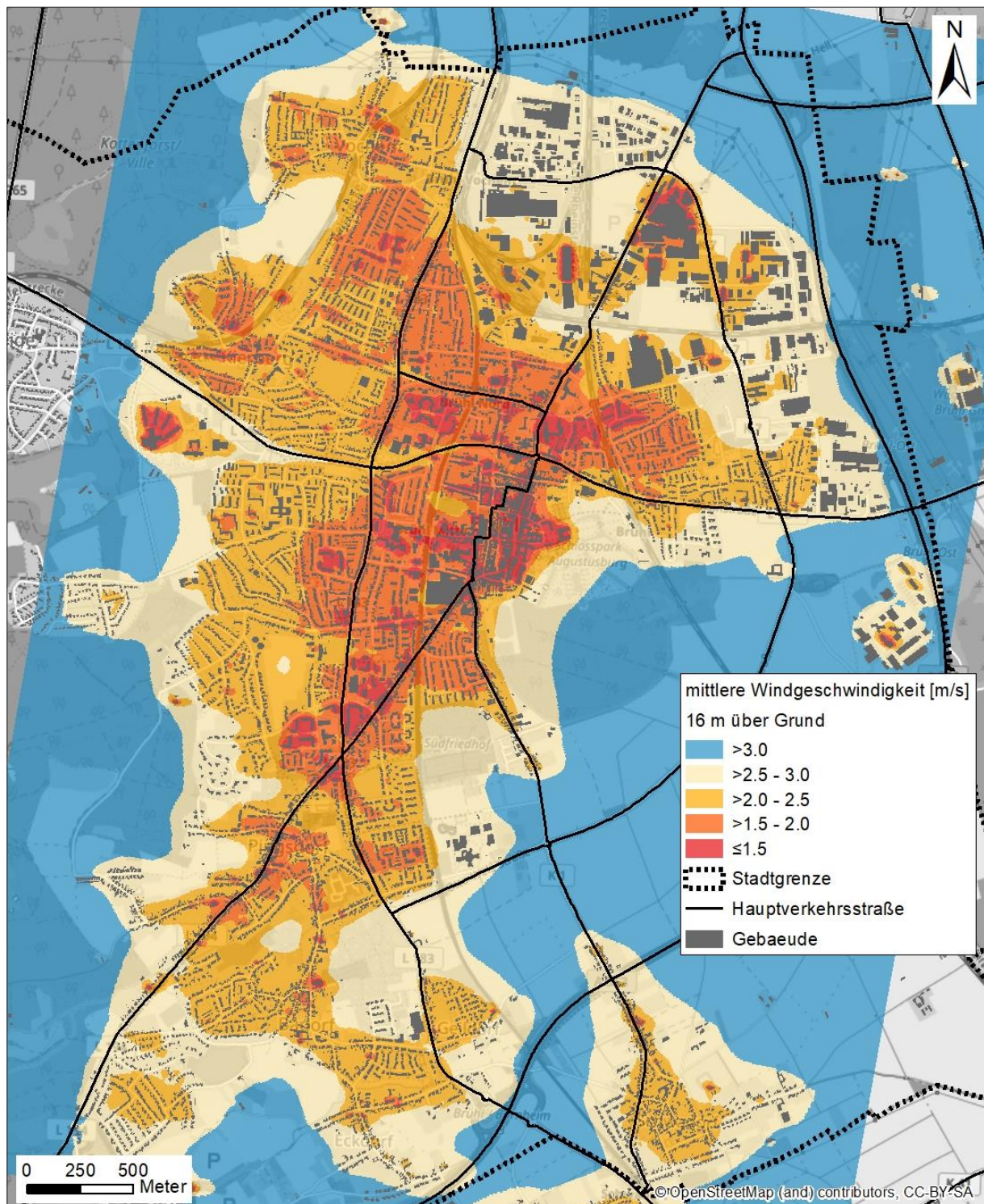


Abb. 4.19: Jahresmittlere Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe über mittlerer Verdrängungshöhe des Stadtgebietes (entspricht ca. 16 m über Grund)
 Kartengrundlage: OpenStreetMap
 Hinweis: Waldflächen wurden bei der Berechnung vernachlässigt und als Freiflächen berücksichtigt

10 m über Grund dienten dazu, mögliche Luftleitbahnen zu identifizieren. Es wurde nach Bereichen gesucht, in denen die Windgeschwindigkeiten im Vergleich zur bebauten Umgebung verhältnismäßig hoch sind und die so ausgerichtet sind, dass sie kühlere Luft vom Umland in Richtung der bebauten Bereiche transportieren können.

Eine wirkungsvolle Luftleitbahn ist beispielsweise die Theodor-Heuss-Straße. Dort treten bis zur Römerstraße parallel zur Trasse mittlere Windgeschwindigkeiten von mehr als 2.5 m/s auf. Auch östlich der Römerstraße werden dort noch Windgeschwindigkeiten von 1.5 m/s bis 2 m/s auf. Auch dies sind im Vergleich zum übrigen bebauten Bereich verhältnismäßig hohe Werte.

Die **Abb. 4.19** zeigt die mittleren Durchlüftungsverhältnisse in den bebauten Bereichen. Es ist deutlich erkennbar, dass die südlichen Ortsteile Schwadorf, Eckdorf, Geildorf und Badorf vergleichsweise gegenüber dem übrigen Stadtgebiet deutlich besser durchlüftet sind. Die dichter und höher bebauten Bereiche der nördlichen Ortsteile (inklusive der Innenstadt) sind deutlich schlechter durchlüftet. Das Gewerbegebiet im Nordosten der Stadt ist ebenfalls vergleichsweise gut durchlüftet (**Abb. 4.19**).

4.10 Ergebnisse aus dem Klimagutachten aus 1991

Für die Bearbeitung der hier vorgelegten Studie wurden auch Daten aus dem Klimagutachten des Jahres 1991 genutzt.

Konkret lagen aus diesen Untersuchungen Informationen vor, wo und bis in welche Bereiche der Stadt die Kaltluft in das Stadtgebiet eindringen kann. Diese Aussagen beruhen auf Windgeschwindigkeitsmessungen in Kaltluftabflussgebieten in Strahlungswetterlagen und passen gut zusammen mit den aktuellen Kaltluftmodellierungen. Unter Beachtung der in der Zwischenzeit geänderten Landnutzung sind diese Daten aus Sicht des Gutachters deshalb nach wie vor als Erkenntnisquelle nutzbar. So wurde dort beispielsweise beschrieben, dass die von Westen kommende Kaltluft zwischen Vochem und Kierberg am Damm der dortigen Bahnlinie aufgestaut wird und im Bereich des Kierberger Bahnhofs (also weiter südlich) in das östlich gelegene Stadtgebiet eindringt. Des Weiteren wurde dort dargelegt, dass die Kaltluft überwiegend nicht weiter als bis zur Römerstraße in das Stadtgebiet eindringen kann.

Des Weiteren wurden in dem Gutachten verschiedene Temperaturmessungen in Strahlungswetterlagen durchgeführt. Die dortigen Werte für Temperaturanomalien abends und am nächsten Morgen wurden zur Erstellung der Klimakarten unter Beachtung der im Folgenden

dargelegten Bemerkungen mit genutzt. Die beiden Darstellungen finden sich in **Abb. 4.20** und **Abb. 4.21**.

Überwärmte Bereiche finden sich vor allem in der Innenstadt, im Stadtkern von Badorf und im nördlichen Stadtbereich. Zu beachten ist hierbei, dass die Temperaturmessungen, auf denen die Abbildungen beruhen, überwiegend im Straßenraum (und damit tendenziell in einem warmen Bereich) durchgeführt wurden. In denjenigen Stadtteilen, in denen in den Hinterhöfen ein hohes Grünvolumen vorliegt und der Versiegelungsgrad gering ist, ist „von hinten her“ mit deutlichen lokalen Entlastungen zu rechnen. Bei fehlender Entlastung aus den Hinterhöfen ist die Situation deutlich ungünstiger. Diese Verschneidung mit der Landnutzung erfolgte in der damaligen flächenhaften Erstellung der Linien gleicher Temperaturanomalien noch nicht. Dies ist bei der Erstellung der Klimakarten entsprechend zu berücksichtigen.

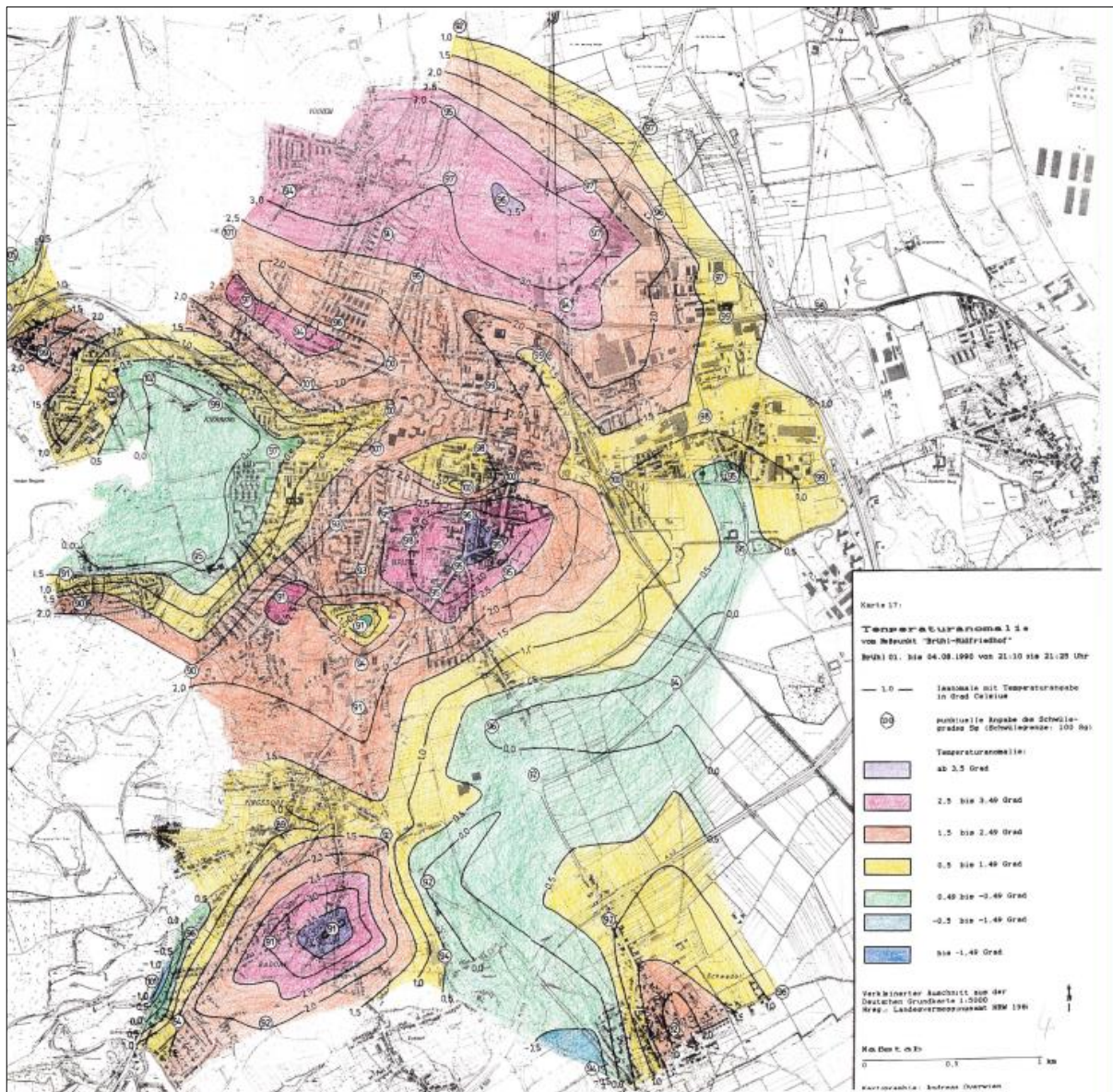


Abb. 4.20: Temperaturanomalien im Stadtgebiet im Vergleich zum Südfriedhof abends nach Sonnenuntergang. Quelle: Overwien (1991), Überwärmte Bereiche: rote und lila Farben, kühle Bereiche: blaue und grüne Farben.

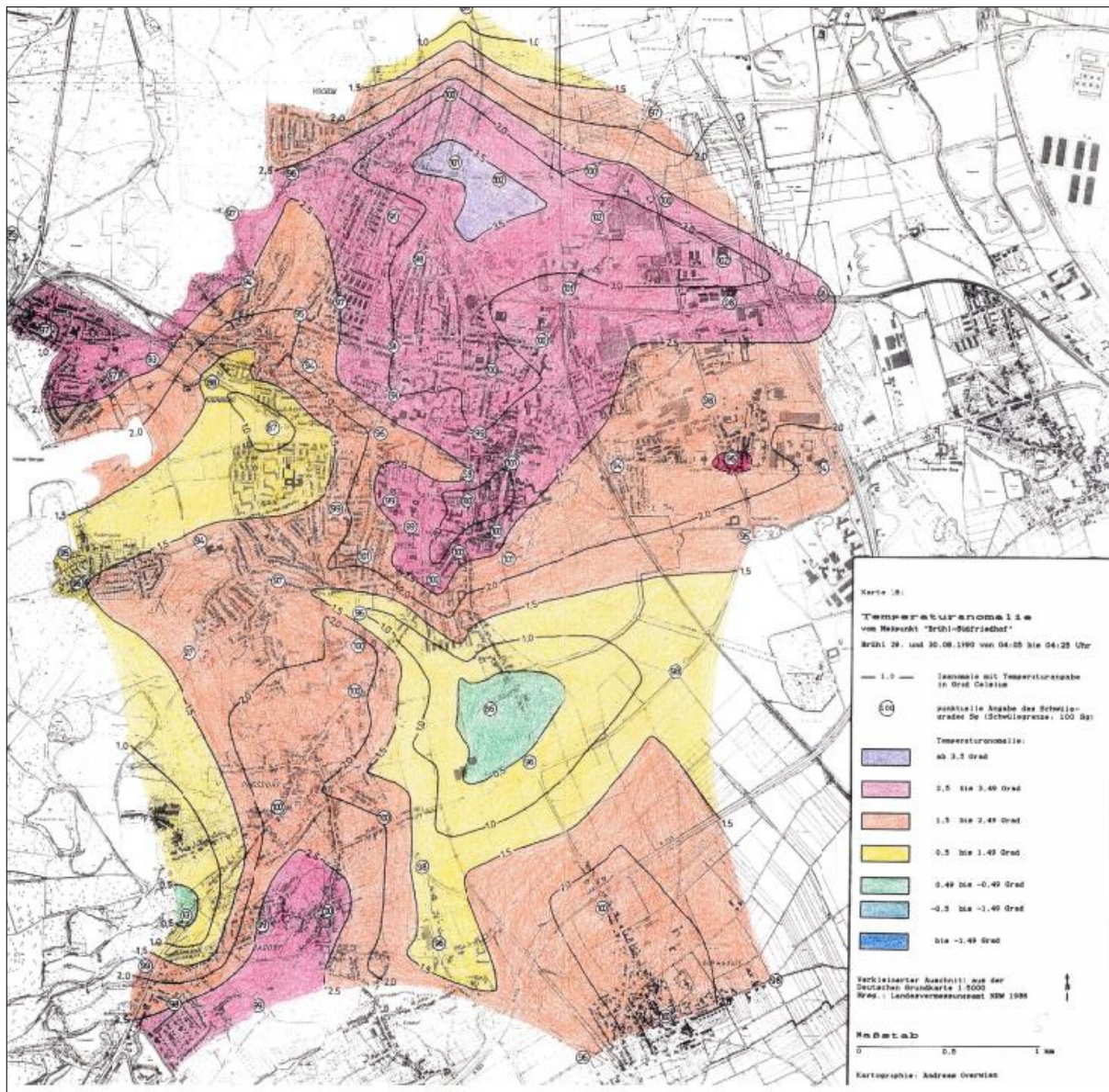


Abb. 4.21: Temperaturanomalien im Stadtgebiet im Vergleich zum Südfriedhof morgens kurz vor Sonnenaufgang. Quelle: Overwien (1991), Überwärmte Bereiche: rote und lila Farben, kühle Bereiche: blaue und grüne Farben.

4.11 Emissions- und Immissionssituation

4.11.1 Regionale Hintergrundbelastung

Für die regionale Hintergrundbelastung wurden vom LANUV (2017c) flächendeckende Daten aus dem Fachinformationssystem des LANUV NRW (EURAD-IM-Daten) zur Verfügung gestellt. Diese Daten stellen die Hintergrundbelastung für Brühl in einer Rastergröße von 1 km x 1 km dar.

Zur Verfügung gestellt wurden die Werte für die verkehrsrelevanten Schadstoffe NO₂ und PM10. Die Daten beruhen auf Modellierungen mit dem Modell EURAD und sind an umliegende Messwerte des Messnetzes NRW angepasst. Die Daten sind in den **Abb. 4.22** und **Abb. 4.23** dargestellt.

Die Hintergrundbelastung von NO₂ steigt von Norden nach Süden leicht an. Dies ist bedingt durch die Annäherung an den Ballungsraum von Köln und erscheint plausibel. Im Südosten des Stadtgebietes werden Hintergrundbelastungen von um die 10 µgNO₂/m³ ausgewiesen, im Nordosten ca. 15 µg/m³ oder leicht darüber.

Die PM10-Hintergrundbelastung ist im gesamten Stadtgebiet nahezu gleichverteilt und schwankt nur um 1 µg/m³. Die höchsten Werte werden im Süden und Osten der Stadt ausgewiesen.

4.11.2 Emissionen im Stadtgebiet und dessen Umgebung

4.11.2.1 Allgemeines

Die wichtigsten Quellen für die Emission der aus jetziger Sicht relevanten Schadstoffkomponenten PM10 und NO_x im Stadtgebiet sind der Straßenverkehr und die genehmigungsbedürftigen Anlagen.

Andere mögliche Quellen wie beispielsweise Luft- und Schienenverkehr sowie Gebäudeheizungen sind von untergeordneter Bedeutung.

Die lufthygienische Situation in Brühl wird nicht kontinuierlich erfasst. Demnach liegen keine Immissionsmessdaten vor.

4.11.2.2 Straßenverkehr - Verkehrsbelastung im Untersuchungsgebiet

Als Hauptquelle von Schadstoffbelastungen wird überwiegend der Straßenverkehr gesehen.

Die Verkehrsbelegungen für Brühl wurden vom LANUV (2017a) zur Verfügung gestellt. Es sind Analysewerte, die für die Jahre 2013 und 2015 repräsentativ sind (Werte für 2013 siehe **Abb. 4.24**). Gleichzeitig wurden von der Stadt Brühl selbst Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt, die auf Daten aus 2013 beruhen (Stadt Brühl, 2017). Deshalb wurde im Folgenden mit den Werten aus 2013 weiter gearbeitet.

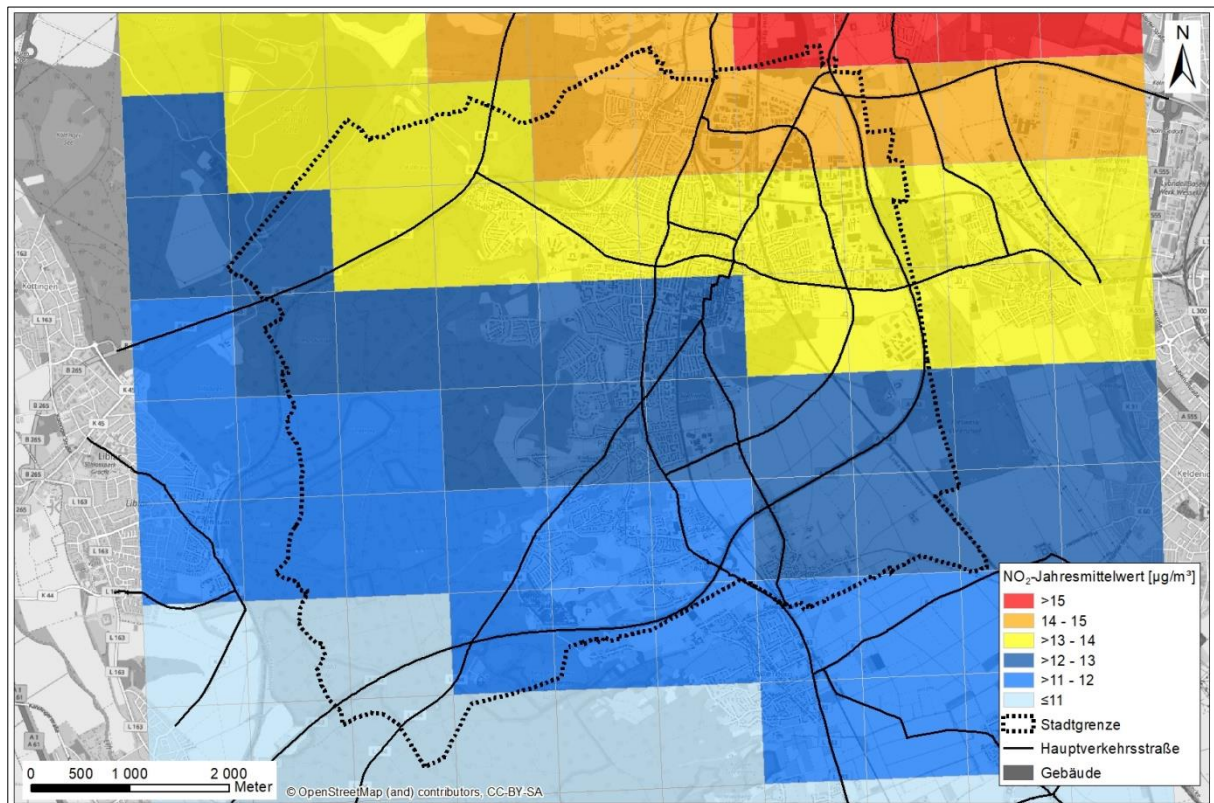
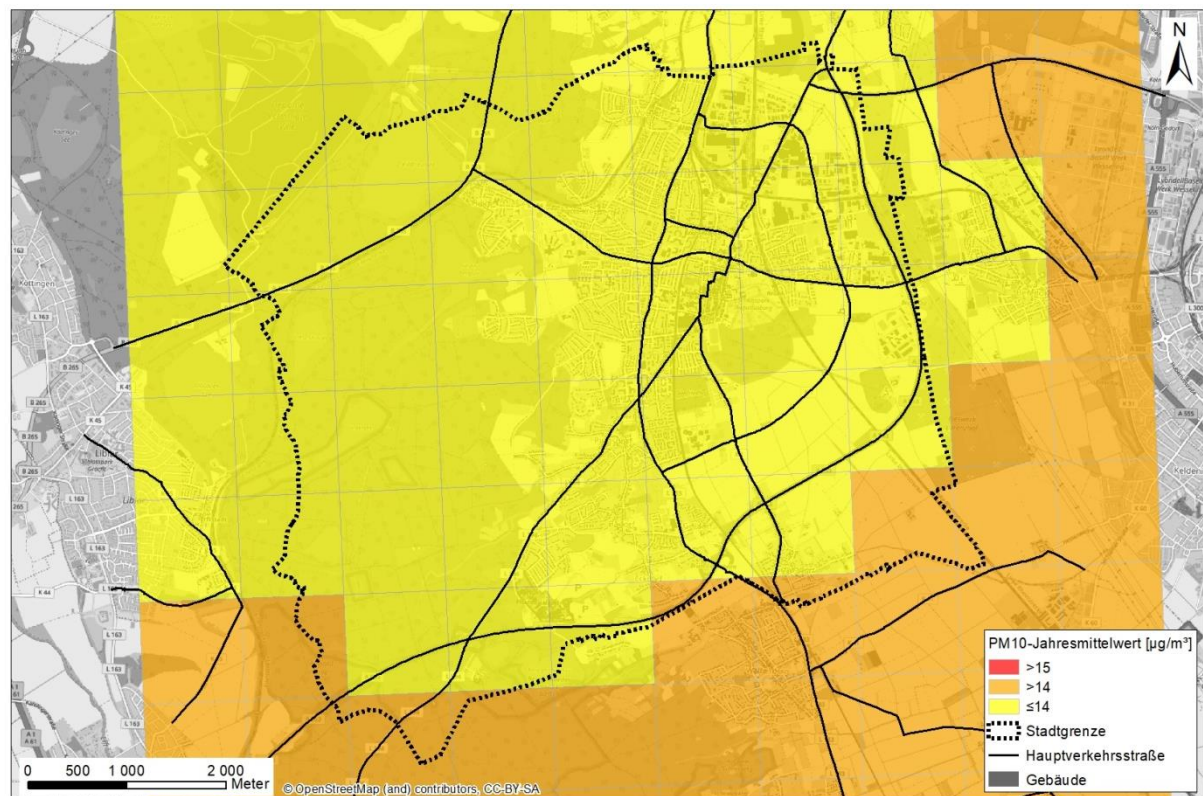
Abb. 4.22: NO₂-Hintergrundbelastung (EURAD-IM-Daten). Quelle: LANUV (2017c)

Abb. 4.23: PM10-Hintergrundbelastung (EURAD-IM-Daten). Quelle: LANUV (2017c)

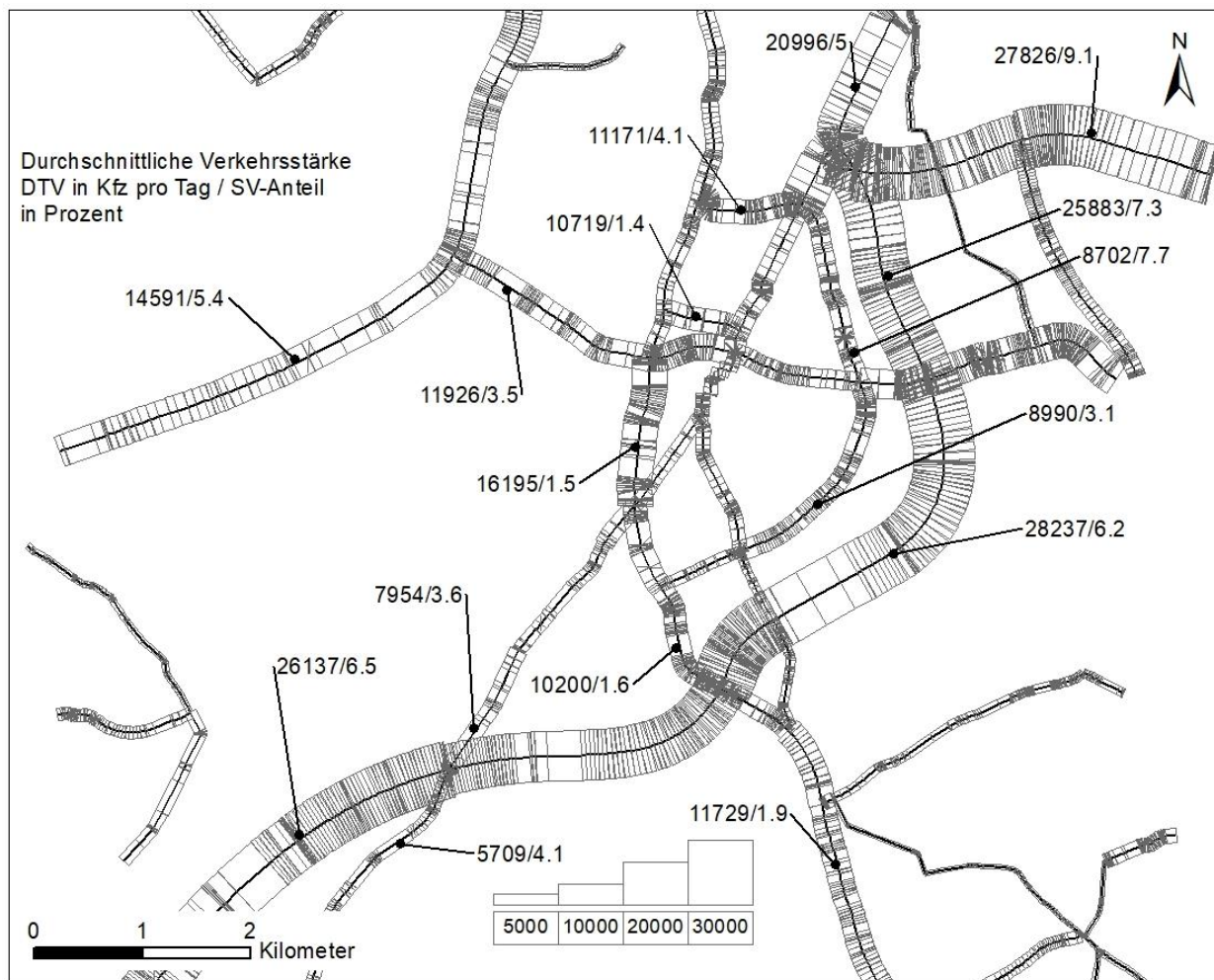


Abb. 4.24: Verkehrsbelegung in Brühl und Umgebung repräsentativ für 2013
Quelle: LANUV (2017a)

In Klimakarten sind Straßenabschnitte zu kennzeichnen, auf denen die Verkehrsbelegung größer als 10 000 Kfz/24 h ist. Die Daten aus 2013 von LANUV (2017a) wurden in denjenigen Bereichen, in denen bei den Verkehrsdaten der Stadt mehr als 10 000 Kfz/24 h angegeben wurden, die Werte bei LANUV aber knapp unter 10 000 Kfz/24 h waren, angepasst, damit in der Klimakarte keine möglicherweise relevanten Bereiche unberücksichtigt bleiben. Außerdem wurden noch Straßenabschnitte hinzugenommen, die entsprechend der LANUV-Daten zusätzlich im Jahr 2015 den Schwellwert von 10 000 Kfz/24 h überschreiten. Eine weitere Anpassung der Daten erfolgte nicht, da dies im Rahmen der Erstellung der Klimakarten nicht notwendig war. Eine Darstellung aller Straßen mit einem DTV-Wert oberhalb der diskutierten Schwelle ist in **Abb. 4.25** dargestellt.

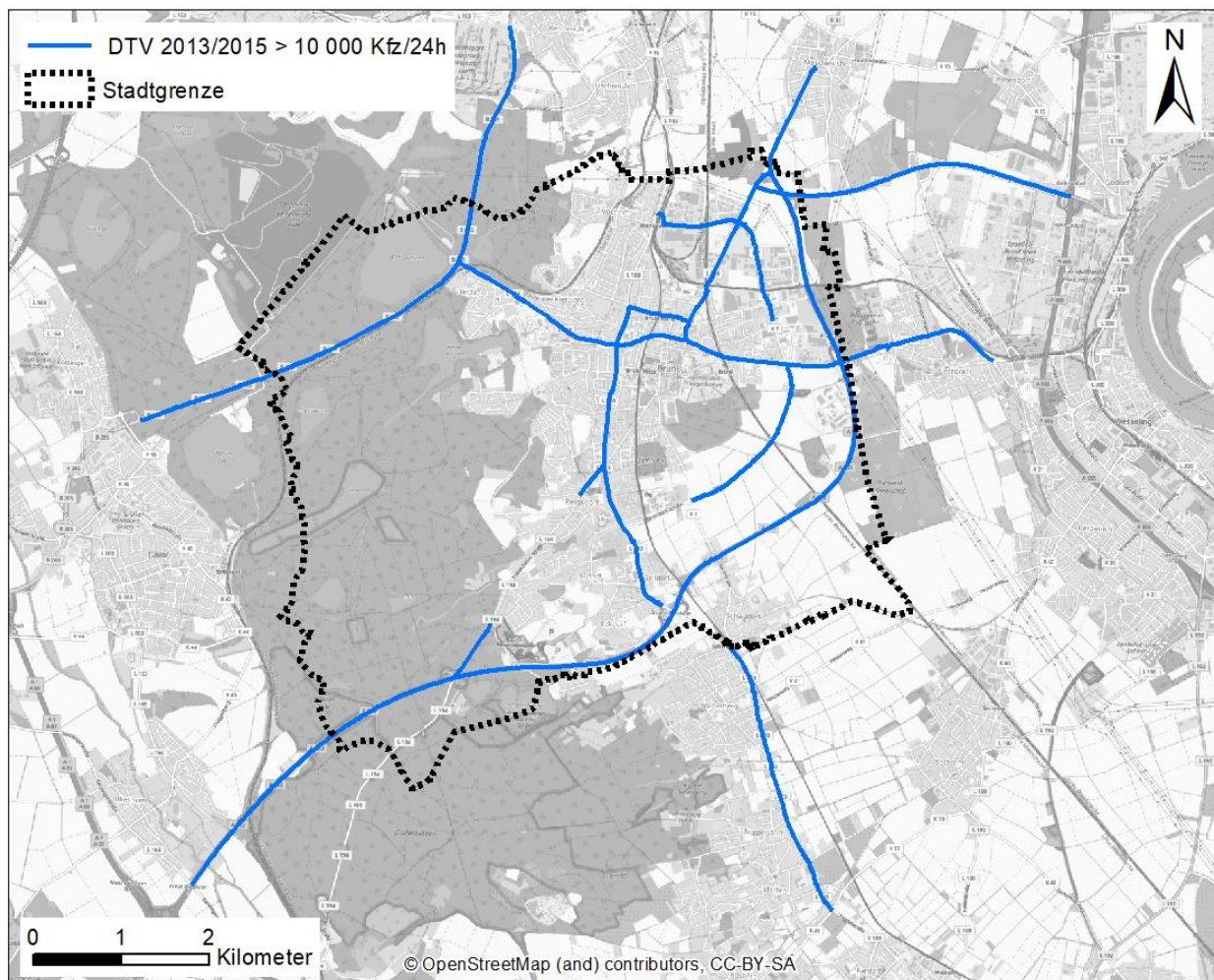


Abb. 4.25: Straßenabschnitte mit DTV-Werten von mehr als 10 000 Kfz/24 h
Quelle: LANUV (2017a) und Stadt Brühl (2017)

Die höchsten Verkehrsstärken mit mehr als 20 000 Kfz/24 h sind auf der Bundesautobahn A 553 zu finden.

Auch die B 265 im Nordwesten des Stadtgebietes ist mit fast 15 000 Kfz/24 h relativ hoch belastet.

Im besiedelten Stadtgebiet selbst sind mehrere Hauptverkehrsstraßen mit relevanter Verkehrsbelegung zu finden. Dies sind beispielsweise die Theodor-Heuss-Straße, die Alte Bonnstraße, die Comesstraße und die Kölnstraße (L 194).

Linienfeine Emissionsdaten für das Stadtgebiet lagen nicht vor. Ebenso keine repräsentative Luftschadstoffgesamtbelastung im Stadtgebiet. Um eine grobe Abschätzung der flächendeckenden verkehrsbedingten Schadstoffbelastung im Stadtgebiet zu bekommen, wurde eine

überschlägige Ausbreitungsmodellierung mit dem Straßennetzmodell PROKAS (Beschreibung siehe www.lohmeyer.de/prokas) vorgenommen. Eine detaillierte Prognose erfolgte nicht und war auch nicht Gegenstand des vorgelegten Gutachtens.

Für die Abschätzung lagen DTV-Werte und LKW-Anteile entsprechend LANUV (2017a) vor (siehe **Abb. 4.24**). Angaben zur Verkehrssituation lagen nicht vor. Für die Abschätzung wurden flächendeckend für alle Straßen folgende Verkehrssituationen vergeben:

- auf Autobahnen: ABS130
- auf allen weiteren Straßen: IOS-HVS50dicht (90 % der Zeit) und IOS-HVS50stau (10 % der Zeit)

Längsneigungen wurden vernachlässigt.

Die Emissionsbestimmung für das Straßennetz erfolgte mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren in der aktuellen Version 3.3 (UBA, 2017).

4.11.2.3 Genehmigungspflichtige Anlagen

Für die genehmigungspflichtigen Anlagen wurden von LANUV (2017b) Emissionsdaten für NO_x und PM₁₀ als Punktquellen zur Verfügung gestellt.

Diese Werte sind in **Abb. 4.26** dargestellt. Die Emission von genehmigungspflichtigen Anlagen beschränkt sich im Stadtgebiet von Brühl überwiegend auf den Bereich des Gewerbegebietes im Nordosten des Stadtgebietes und den Bereich der Deponie „Alte Ville“ im Nordwesten, wobei diese zu einem Großteil im Stadtgebiet Hürth liegt. Weitere Emittenten sind östlich des Stadtgebietes im Industriegebiet Wessling zu finden.

Relevante Emissionen (NO_x>10 000 kg/a und PM₁₀>1 000 kg/a) werden von der Deponie „Alte Ville“ (In Hürth), vom Stahlwerk im Stadtgebiet von Brühl und im Bereich des Gewerbegebietes Wessling östlich des Stadtgebietes von Brühl ausgestoßen.

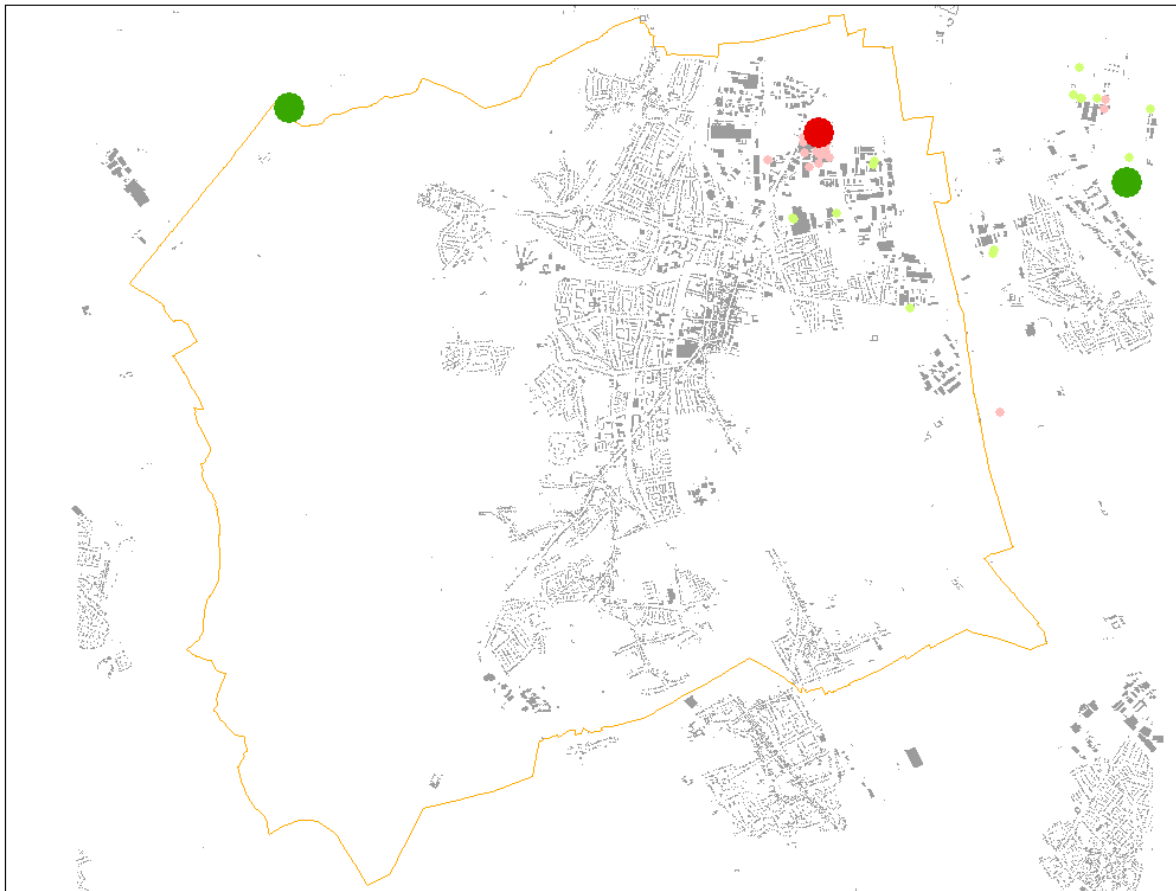


Abb. 4.26: Emissionsquellen (Punktquellen) von genehmigungspflichtigen Anlagen in Bezug auf PM10 (rote Farben) und NO_x (grüne Farben). Werte von mehr als 10 000 kg NO_x/a bzw. 1 000 kg PM10/a sind dunkel und fett gekennzeichnet. Datengrundlage: LANUV (2017b), Karte eingenordet und ohne Maßstab.

4.11.2.4 Nicht genehmigungspflichtige Anlagen

Zu nichtgenehmigungspflichtigen Anlagen liegen keine detaillierten Informationen vor. Um das Stadtgebiet Brühl herum existieren jedoch insgesamt drei Kieswerke. Dort finden Umschlag- und Transportprozesse auf unbefestigten Straßen statt, die im Umfeld eine erhöhte Staubbelastung wahrscheinlich machen. Diese sind in der Klimakarte ebenfalls entsprechend zu würdigen.

4.11.2.5 Hausbrand und Kleinf Feuerungsanlagen

Weitere Emissionsquellen stellen der Hausbrand und die Kleinf Feuerungsanlagen dar. Auch dafür standen flächendeckende Daten im 1 km x 1 km-Raster zur Verfügung (LANUV, 2017b). Eine Differenzierung der Relevanz von Hausbrand im Vergleich zu stadtweiten Werten ist mit dieser groben Auflösung jedoch nicht möglich. Vom Auftraggeber wurde zu-

dem mitgeteilt, dass erfahrungsgemäß kein Stadtteil überproportional hohe Hausbrandemissionen aufweist. Auf eine entsprechende Kennzeichnung wurde aus diesem Grund in der Klimakarte verzichtet. Deshalb werden die vorliegenden flächendeckenden Daten hier nicht im Detail dargestellt.

4.11.3 Abgeschätzte flächendeckende Immissionsbelastung an NO₂ und PM10 im Stadtgebiet

Die mit PROKAS berechneten flächendeckenden Immissionsbelastungen (Raster 250 m x 250 m) wurden mit der flächendeckenden städtischen Hintergrundbelastung überschritten. Die NO/NO₂-Konversion wurde nach Düring et al. (2011) berücksichtigt.

In **Abb. 4.27** und **Abb. 4.28** wurden die abgeschätzten NO₂- und PM10-Jahresmittelwerte für das Jahr 2017 als flächendeckende Gesamtbelastung auf Rasterflächen von 250 m x 250 m Kantenlänge dargestellt.

Die Belastungssituation im Stadtgebiet außerhalb dicht bebauter Straßenräume ist im Vergleich zu anderen Städten als eher gering zu bezeichnen. Bei NO₂ treten im betrachteten Raster maximale Mittelwerte von 23 µg/m³ auf. Die Immissionsbelastung steigt von Süden nach Norden an. Bei PM10 werden maximale Werte von 17 µg/m³ berechnet.

Erhöhte Werte (vor allem beim NO₂) sind entlang der stark befahrenen Straßen zu finden. In der Rasterbetrachtung werden aber keine Grenzwertüberschreitungen erwartet. Dies schließt jedoch nicht aus, dass in stärker bebauten Straßenabschnitten mit viel Verkehr an der dortigen Randbebauung deutlich höhere Belastungen auftreten können. Ob in diesen Bereichen mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen ist, ist nur im Rahmen eines gesonderten Gutachtens nachweisbar, in dem die Schadstoffbelastung kleinräumiger direkt an der Straßenrandbebauung betrachtet wird. Für die Erstellung der Klimakarten sind die flächendeckenden Rasterdarstellungen aber ausreichend.

Ziel sollte sein, die Austauschbedingungen nicht weiter zu verschlechtern und wenn möglich, sogar zu verbessern. Letzteres könnte einen besseren Abtransport der in der Stadt emittierten Schadstoffe bewirken. Dies ist besonders bei austauscharmen Wetterlagen von großer Bedeutung.

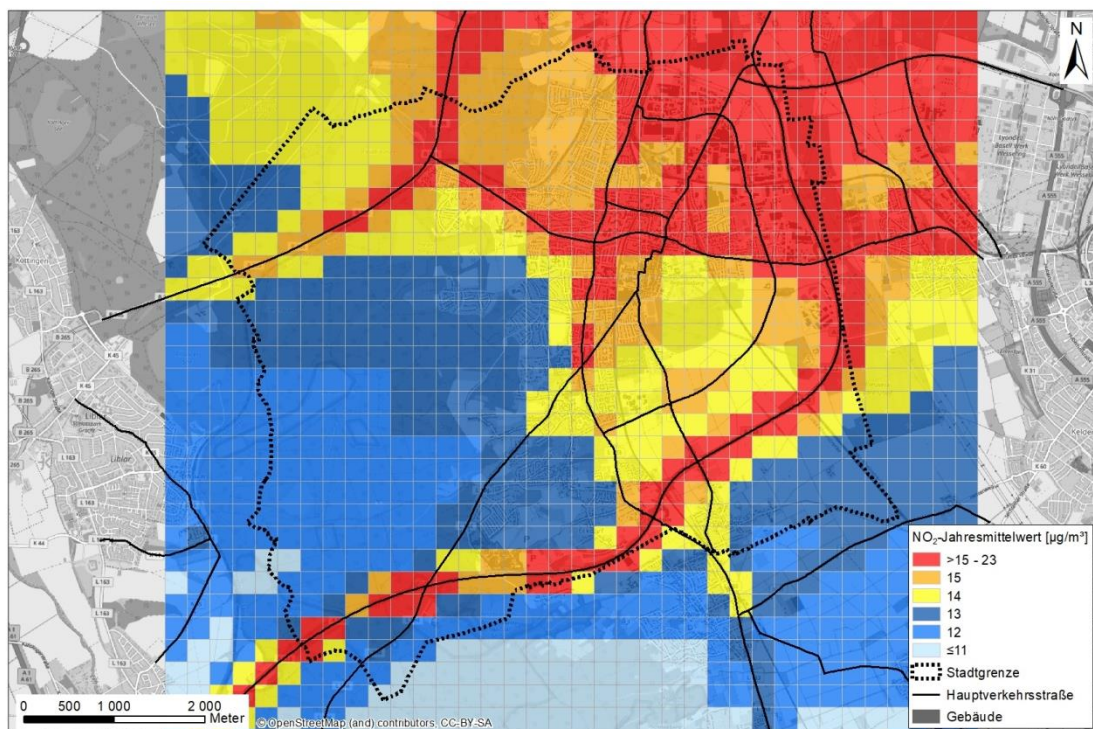


Abb. 4.27: Abgeschätzte NO_2 -Jahresmittelwerte für das Jahr 2017 als flächendeckende Gesamtbelastung auf Rasterflächen von 250 m x 250 m Kantenlänge, berechnet mit PROKAS

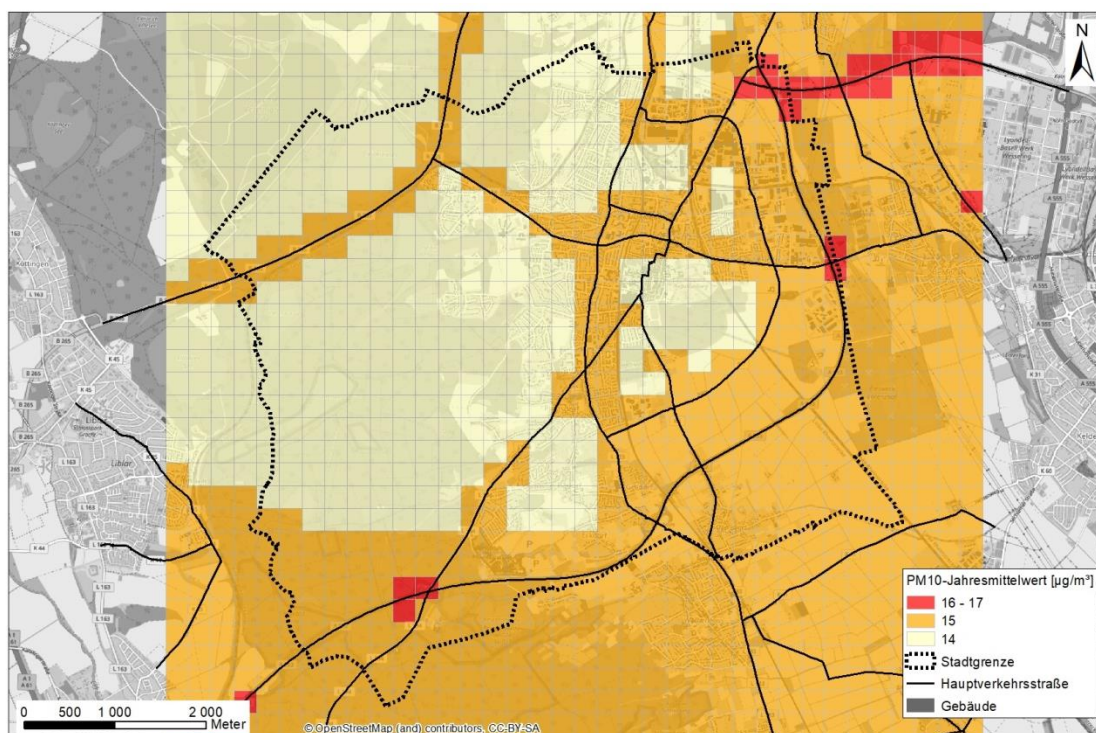


Abb. 4.28: Abgeschätzte PM_{10} -Jahresmittelwerte für das Jahr 2017 als flächendeckende Gesamtbelastung auf Rasterflächen von 250 m x 250 m Kantenlänge, berechnet mit PROKAS

5 KLIMAFUNKTIONSKARTE DER STADT BRÜHL

Die Klimafunktionskarte stellt die lokalklimatischen Gegebenheiten in Brühl als flächenhafte Übersicht dar. Das in Kapitel 3 und 4 beschriebene Datenmaterial, die flächendeckenden Berechnungen für das Kaltluftwindfeld (autochthone Wetterlage), die mittleren Windverhältnisse, die Abschätzung der flächendeckenden lufthygienischen Belastung, die vorliegende Verteilung von Temperaturanomalien in Strahlungsnächten und die daraus abgeleiteten Karten sind dazu die wesentliche Grundlage.

Zum Verständnis der Klimafunktionskarte sei darauf hingewiesen, dass die Ausweisung der Klimatope sich an den Maßstab des Flächennutzungsplanes orientiert und nicht als parzellenscharf beziehungsweise metergenau aufzufassen ist. Es ergeben sich Toleranzen von 50 m bis 100 m. Für genauere Aussagen sind fachliche Detailgutachten notwendig.

Die in den Karten verwendeten Signaturen und Symbole entsprechen den Vorgaben der Richtlinie VDI 3787, Blatt 1 (VDI, 2015). Dargestellt sind Klimatope und Strömungsparameter, das heißt neben der flächenhaften Zusammenfassung beziehungsweise Differenzierung des Stadtgebietes nach klimatischen Gesichtspunkten wurden die für die Siedlungsgebiete relevanten Luftströmungen durch Pfeilsignaturen symbolisch veranschaulicht.

Als Mindestgröße für klimatisch wirksame Freiflächen im innerstädtischen Bereich wird in der Literatur (z. B. VDI, 2015) 100 m x 100 m (1 ha) angegeben. Die Auswirkungen in die Randbereiche der Umgebung sind dann im Allgemeinen gering. Diese Flächengröße zur Ausbildung typischer klimatischer Eigenschaften ist auch auf andere Klimatope übertragbar.

Betrachtet wurde der Istzustand mit Stand von 2017. Zu diesem Zeitpunkt noch unbebaute Bereiche von rechtskräftigen B-Plänen wurden in Absprache mit dem Auftraggeber als bebaut angenommen.

5.1 Klimatope

Klimatope beschreiben Gebiete mit ähnlichen mikroklimatischen Ausprägungen. Diese unterscheiden sich vornehmlich vor allem nach der Art der realen Flächennutzung, der Bebauungsdichte bzw. dem Versiegelungsgrad, nach der Oberflächenstruktur und der Rauigkeit. Des Weiteren spielen das Relief, die Vegetationsart und -struktur sowie die Lage im Stadtgebiet eine wichtige Rolle.

Da in besiedelten Räumen die mikroklimatischen Ausprägungen im Wesentlichen durch die reale Flächennutzung und insbesondere durch die Art der Bebauung bestimmt sind, werden die Klimatope nach den dominanten Flächennutzungsarten benannt.

Gewässer-Klimatop

Das Gewässer-Klimatop hat gegenüber der Umgebung einen ausgleichenden thermischen Einfluss. Aufgrund der hohen Wärmekapazität des Wassers sind die tagesperiodischen Temperaturschwankungen an der Gewässeroberfläche nur schwach. An einem Sommertag sind die Lufttemperaturen tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung. Die Dämpfung des Temperaturtagesganges wird umso deutlicher, je größer die Wasseroberfläche ist. Die klimatische Wirksamkeit dieses thermischen Ausgleichs beschränkt sich allerdings bei den im Untersuchungsgebiet vorhandenen Gewässern auf einen schmalen Uferbereich. Das Gewässer-Klimatop zeichnet sich durch hohe Luftfeuchtigkeit und Windoffenheit aus. Die Windoffenheit bewirkt günstige Ventilationsbedingungen, so dass Gewässer unter Umständen als Frischluftbahnen wirken können.

Freiland-Klimatop

Das Freiland-Klimatop weist einen extremen Tages- und Jahresgang der Temperatur und Feuchte sowie sehr geringe Windströmungsveränderungen auf. Damit ist während Strahlungswetterlagen eine intensive nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verbunden. Dies trifft insbesondere auf ausgedehnte Wiesen- und Ackerflächen sowie auf Freiflächen mit lockerem Gehölzbestand zu.

Wald-Klimatop

Das Wald-Klimatop zeichnet sich durch gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Temperatur und Feuchte aus. Während tagsüber durch die Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts relativ milde Temperaturen auf. Zudem besitzt der Wald durch trockene und nasse Deposition eine Filterfunktion gegenüber Luftschadstoffen, so dass die Wald-Klimatope besonders als Regenerationszonen für die Luft und als Erholungsraum für den Menschen geeignet sind. In Hanglagen stellen Wälder auch intensive Kaltluftproduktionsbereiche dar. Aufgrund der hohen Rauigkeit führen Wälder zu Windfeldstörungen. Im Stammraum herrscht nahezu Windstille.

Grünanlagen-Klimatop

Innerörtliche Grünflächen (meist Rasenfläche mit Baumbestand) weisen je nach Bewuchs mehr oder weniger stark gedämpfte Tagesgänge der Klimaelemente auf. Durch die relativ

starke nächtliche Abkühlung (geringe Wärmespeicherung, Verdunstung) und der damit verbundenen Kalt- und Frischluftproduktion wirken sie thermisch ausgleichend auf die bebaute und meist überwärmte Umgebung, allerdings ohne relevante Fernwirkung: Im Normalfall reicht sie mindestens 10 m in die umgebende Bebauung hinein und überschreitet nur in den seltensten Fällen maximal 200 m (Kommunalverband Ruhrgebiet, 1992). Größere Grünflächen dienen als Ventilationsschneisen. Innerörtliche Grünflächen mit dichtem Baumbestand stellen durch Verschattung tagsüber kühle Ausgleichsflächen mit hoher Luftfeuchtigkeit gegenüber der erwärmten Umgebung dar. Der Einfluss auf das Windfeld ist gering. Die Filterfunktion bezüglich Luftschadstoffe hängt von der Größe und dem Baumanteil ab, erreicht aber im Allgemeinen nicht die Wirksamkeit des Wald-Klimatops.

Vorstadt-Klimatop

Das Vorstadt-Klimatop stellt den Übergangsbereich zwischen Freilandflächen und den bebauten Flächen dar und wird durch eine grün geprägte Flächennutzung und Oberflächenstruktur geformt. Es ist charakteristisch für Vorstadtsiedlung, Gartenstädte oder Ortsränder die oft im unmittelbaren Einflussbereich des Freilandes stehen und dadurch günstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Die bebauten Flächen bestehen aus einer offenen, ein- bis dreigeschossigen Bebauung und reichhaltigen Grünflächen (Versiegelungsgrad ca. 20 % bis 30 %). Gegenüber dem Freiland-Klimatop sind alle Klimaelemente leicht modifiziert, wobei eine merkliche nächtliche Abkühlung stattfindet und Regionalwinde nur unwesentlich gebremst werden.

Stadttrand-Klimatop

Das Stadttrand-Klimatop wird durch dichter stehende, maximal dreigeschossige Einzelgebäude, Reihenhäuser oder Blockbebauung mit Grünflächen oder durch maximal fünfgeschossige freistehende Gebäude mit Grünanlagen bestimmt (Versiegelungsgrad in der Regel ca. 30 % bis 50 %). Die nächtliche Abkühlung ist stark eingeschränkt und im Wesentlichen von der Umgebung abhängig. Die lokalen Winde und Kaltluftströme werden behindert, während Regionalwinde stark abgebremst werden.

Stadt-Klimatop

Mehrgeschossige geschlossene Bebauung (Blockbebauung) mit wenig Grünflächenanteilen und frei stehende Hochhäuser prägen das Stadt-Klimatop. Der hohe Versiegelungsgrad (in der Regel ca. 50 % bis 70 %) führt bei starker Aufheizung am Tage zu einer lediglich sehr geringen nächtlichen Abkühlung. Dadurch entsteht gegenüber der Umgebung ein Wärmeinseleffekt mit relativ niedriger Luftfeuchtigkeit. Die dichte und zum Teil hohe Bebauung be-

einflusst die regionalen und überregionalen Windsysteme in erheblichem Umfang, so dass der Luftaustausch eingeschränkt ist und eine insgesamt hohe Schadstoffbelastung besteht. In den stärker bebauten Straßenabschnitten sind in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung sowohl hohe Luftschadstoff- und Lärmeinwirkungen als auch böenartige Windverwirbelungen anzutreffen.

Innenstadt- Klimatop

Dichte und hohe innerstädtische Bebauung mit sehr geringen Grünanteilen führt tagsüber zu starker Aufheizung und nachts zur Ausbildung einer deutlichen Wärmeinsel bei im Durchschnitt geringer Luftfeuchtigkeit. Die massive Bebauung (Versiegelungsgrad >70 %) führt im Einklang mit der ausgeprägten Wärmeinsel zu bedeutender Beeinflussung der regionalen und überregionalen Winde. Bei austauscharmen Wetterlagen treten hohe Luftschadstoffkonzentrationen auf, im Sommer zusätzlich Hitzestress und Schwülebelastung. In den stärker bebauten Straßenabschnitten treten neben böenartigen Windverwirbelungen je nach Verkehrsbelastung hohe Luftschadstoff- und Lärmbelastungen auf.

Gewerbe- und Industrie-Klimatop

Gewerbe und Industriebereiche werden entsprechend VDI (2015) zu einem Klimatop zusammen gefasst. Gewerblich genutzte Bereiche entsprechen im Wesentlichen dem Klimatop der verdichteten Bebauung (Stadttrand), das heißt: Wärmeinseleffekt, geringe Luftfeuchtigkeit, erhebliche Windfeldstörung. Der Versiegelungsgrad ist im Allgemeinen <70 %. Zusätzlich sind vor allem ausgedehnte Zufahrtsstraßen und Stellplatzflächen sowie erhöhte Emissionen zu nennen. Im nächtlichen Wärmebild fällt teilweise die intensive Auskühlung im Dachniveau großer Hallen auf (insbesondere mit Blechdächern), während die von Gebäuden gesäumten Straßenbereiche und Stellplätze weiterhin stark erwärmt bleiben.

Schüttgutlagerstätten aller Art werden aufgrund ihrer möglichen Emissionen diesem Klimatop zugewiesen, auch wenn sie unbebaut sind.

Industriegebiete sind mit dem Innenstadt- und Stadt-Klimatop vergleichbar, weisen aber großflächige Verkehrsflächen und weit höhere Emissionen auf (eventuell genehmigungsbedürftige Anlagen). Der Versiegelungsgrad ist im Allgemeinen >70 %, Bei intensiver Aufheizung am Tage bildet sich auch nachts aufgrund der Ausdehnung versiegelter Flächen eine deutliche Wärmeinsel aus, obwohl die Dächer der Hallen teilweise bemerkenswert auskühlen. Die am Boden befindlichen Luftmassen sind erwärmt, trocken und mit Schadstoffen angereichert. Die massiven Baukörper und die bodennahe Erwärmung verändern das Windfeld wesentlich.

Die Bebauung in den einzelnen Wohnbereichen führt zu einer Aufheizung am Tage sowie zur Behinderung von Abkühlungseffekten in der Nacht bei einer Verringerung der Luftfeuchtigkeit (siehe z. B. auch **Abb. 5.1**). Des Weiteren wird dadurch der Luftaustausch reduziert bei gleichzeitiger Verstärkung von Turbulenzen und Entstehung von Böigkeit mit Zugerscheinungen. Die gegebenenfalls vorhandenen Grünflächen wirken diesen Effekten entgegen und unterstützen die Durchlüftung.

Bei allen Wohngebieten weist das Innenstadtklima, wie erläutert, gegenüber dem Freiland die stärksten Veränderungen auf. Aus diesem Grund ist dort die stärkste bioklimatische (Hitze stress) und die höchste lufthygienische Belastung zu erwarten (siehe Schema in **Abb. 5.2**).

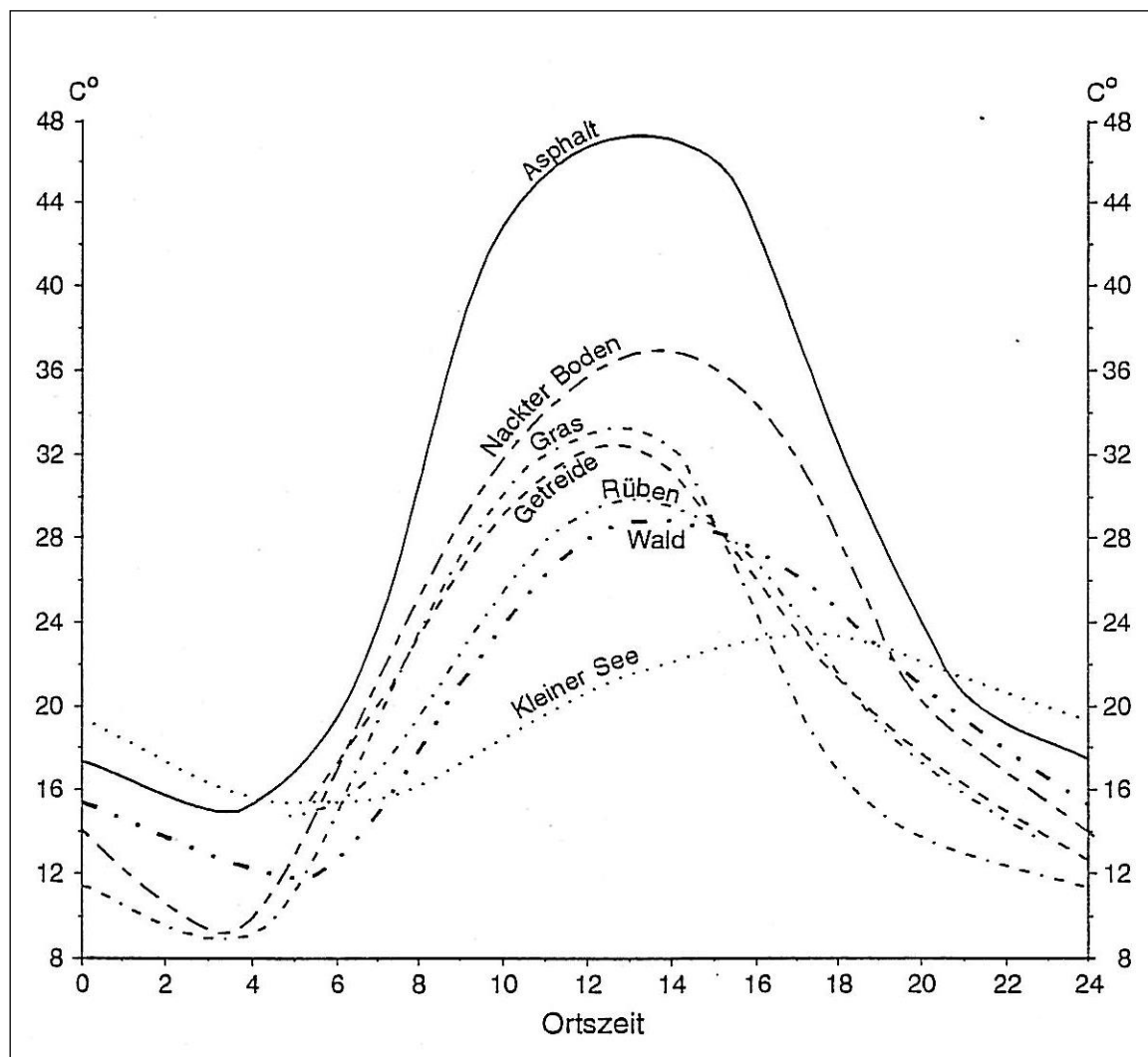


Abb. 5.1: Temperatur verschiedener Oberflächen an einem Hochsommertag auf 50 Grad geografischer Breite. Quelle: Fezer (1977)

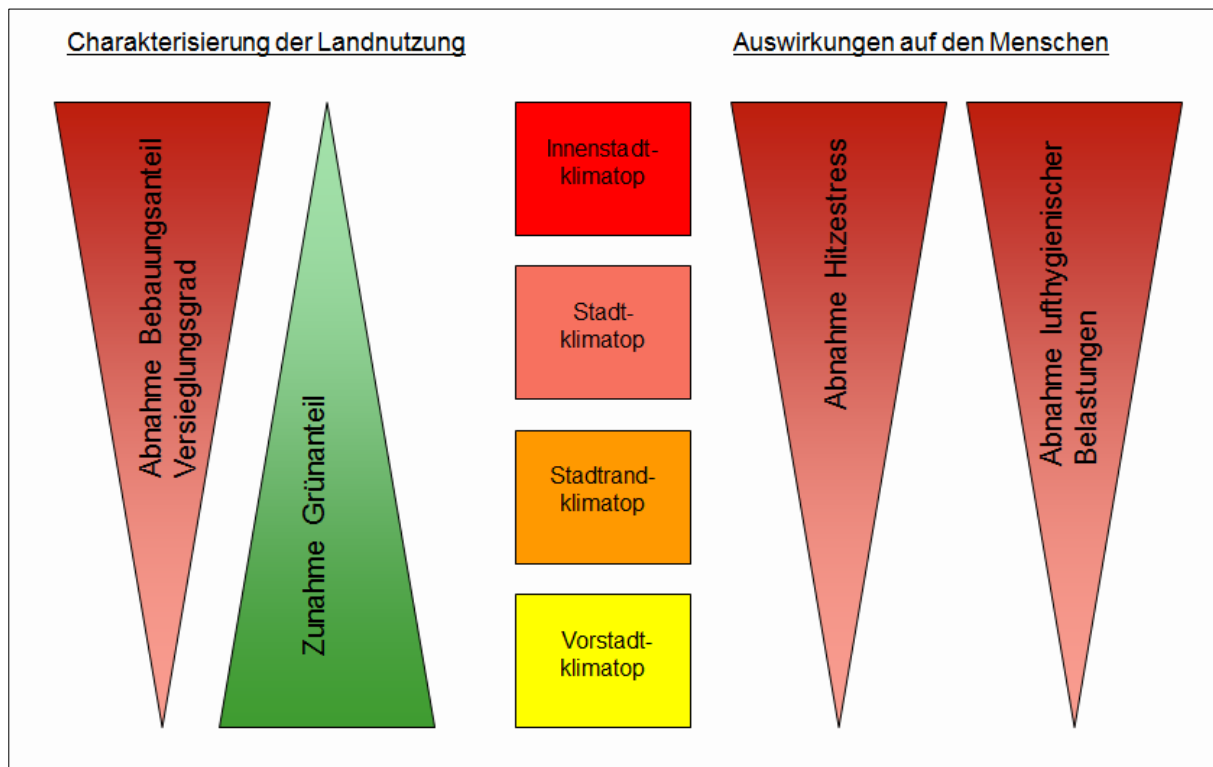


Abb. 5.2: Schematische Darstellung der Einordnung der städtischen Wohnbebauung in Klimatope nach VDI (2015) in Abhängigkeit von Landnutzung sowie deren Auswirkungen auf den Menschen

5.2 Luftaustausch

5.2.1 Luftleitbahnen

Luftleitbahnen (ein anderer Begriff dafür ist Ventilationsbahn) sind Bereiche, in denen sich der regionale Windeinfluss, insbesondere bezüglich der Hauptwindrichtung, unbehindert entfalten kann. Voraussetzungen sind geringe Bodenrauigkeit, ausreichend Länge und Breite sowie ein möglichst geradliniger Verlauf der Strömungsbahnen. Mayer & Matzarakis (1992) empfehlen folgende Mindestanforderungen für Luftleitbahnen:

- Lineare Ausrichtung auf den Wirkungsraum
- Generell geringe Oberflächenrauigkeit $Z_0 < 0.5 \text{ m}$
- Mindestbreite: 50 m, optimal $> 300 \text{ m}$
- Keine Austauschhindernisse, die den Leitbahnquerschnitt abriegeln

Die in den Luftleitbahnen transportierten Luftmassen können sowohl belastet (z. B. bei Straßen) als auch unbelastet sein (z. B. bei Grünanlagen). Deswegen werden schadstoffunbelastete Luftleitbahnen häufig auch als „**Frischlufthahn**“ (bzw. primäre Luftleitbahn) bezeichnet. Liegen dagegen industrielle, gewerbliche und/oder landwirtschaftliche Einzelemittenten und/oder stark befahrene Straßen (>10 000 Kfz/d) in diesem Bereich, dann liefert die Leitbahn nur noch Kaltluft oder mechanische Turbulenz in den Wirkungsraum, aber keine Frischluft mehr.

Gute Luftleitbahnen stellen z. B. breite Flussauen und breite, geradlinige Straßen dar. Letztere allerdings meist mit hoher Schadstoffbelastung (VDI, 2015).

Als Luftleitbahnen wurden regionale Winde berücksichtigt, die im Jahresmittel mit einer Windgeschwindigkeit von 1.3 m/s in 10 m über Grund vorherrschen. Je nach Nutzung und Emissionen können die Luftleitbahnen lufthygienisch belastet sein. Führt die Luftleitbahn über eine Straße mit größerer Verkehrsbelegung oder verläuft sie parallel zu derselben, wird von einer belasteten Luftleitbahn ausgegangen. Ansonsten ist die Luftleitbahn unbelastet.

5.2.2 Kaltluftabfluss (Flächenhaft)

Die Belüftung der Siedlungsgebiete hat eine wesentliche Funktion insbesondere während austauscharmer Wetterlagen. Deshalb sind die Kaltluftflüsse, welche die nächtliche Frischluftzufuhr bewirken, in der Klimafunktionskarte besonders gekennzeichnet. Hierbei handelt es sich um thermische, während der Nacht induzierte Windströme. Die am Hang bodennah in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses erzeugte Kaltluft fließt aufgrund ihrer Temperatur- und Dichteunterschiede zur umgebenen Luft ab (= Hangabwinde). Grundlage der Kennzeichnung bildet die Kaltluftrechnung mit KALM für die Anfangsphase des Kaltluftabflusses (siehe Abschnitt 4.8).

An Hand der flächenhaft berechneten Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses werden diejenigen Hangbereiche gekennzeichnet, die zu dem genannten Zeitpunkt Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 0.5 m/s aufweisen und zudem einen direkten Siedlungsbezug haben. Dadurch ist es möglich, Hangabwinde mit deutlicher Intensität zu berücksichtigen (RVMO, 2010). Mit der genannten unteren Schwelle der Windgeschwindigkeit ist zu erwarten, dass diese Strömungen messtechnisch erfasst werden können, für Anwohner (gerade zu Beginn der Nacht eines warmen Tages) spürbar sind und eine kontinuierliche Strömung beschreiben.

Bei den blau dargestellten Kaltluftabflüssen handelt es sich um unbelastete, bei den rot gekennzeichneten um belastete Luftmassen (VDI, 2015).

5.2.3 Talwind

Die von den Hängen fließende Kaltluft sammelt sich in Tälern und Geländeeinschnitten. Bei ausreichender Neigung der Talsohle bilden sich ab einer bestimmten vertikalen Mächtigkeit der Kaltluft Kaltluftströme (auch Talabwinde genannt) heraus, die bei austauscharmen, wind-schwachen Wetterlagen für eine gewisse Minstdurchlüftung von Stadtgebieten sorgen. In die Klimafunktionskarte werden nur die klimatisch relevanten Kaltluftströme eingezeichnet (Grundlage: flächendeckende Kaltluftrechnung mit KALM bei voll ausgebildeter Kaltluft). Dichte Bebauung, wie sie in den Innenstadtbereichen anzutreffen ist, bewirkt eine teilweise Erwärmung der diesen Gebieten zufließenden Kaltluftmassen. Dadurch werden diese Kaltluftströme vom Boden abgehoben beziehungsweise sogar aufgelöst. Eine charakteristische Größe für einen klimatisch relevanten Volumenstrom ist nach der Schriftenreihe Raumordnung (1979) eine Abflussmenge des Kaltluftabflusses von mindestens $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Volumenströme von geringerer Größe haben weniger weitreichende klimatische Wirkung.

Im hier vorliegenden Projekt werden Kaltluftvolumenströme bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen berücksichtigt, die durch ihre Intensität Teile von Siedlungen belüften können (VDI, 2015). Aus den Ergebnissen der Kaltluftberechnungen (siehe Abschnitt 4.8) werden die Bereiche gekennzeichnet, die eine Volumendichte von mindestens $10\text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ und einen direkten Siedlungsbezug aufweisen.

5.2.4 Hindernis für den Kaltluftabfluss (Barriere)

Im Bereich der Kaltluftströme führen quer zur Strömungsrichtung angeordnete Gebäudeverdichtungen, Dämme oder Waldriegel zu einem **Kaltluftstau**. Damit ist sowohl eine erhöhte Nachtfrostgefahr als auch eine Behinderung des Kalt- und Frischluftflusses verbunden. Diese Örtlichkeiten werden in der Klimafunktionskarte gekennzeichnet. Erst mit zunehmender Mächtigkeit der Kaltluft können Hindernisse überströmt werden.

5.2.5 Kaltlufteinzugsgebiete

Ein Kaltlufteinzugsgebiet wird von den Flächen gespeist, über denen aufgrund der nächtlichen Energiebilanz eine stärkere Abkühlung der Luft erzielt wird (Kaltluftentstehungsgebiete) und die einen direkten Bezug zu einem Wirkungsraum haben. Wenn entsprechende Gelän-

deneigungen vorhanden sind, können die Kaltluftmassen als Kaltluftabfluss aus dem dazugehörigen Kaltlufteinzugsgebiet heraus wirksam werden (VDI, 2015).

Im hier vorliegenden Projekt werden als Kaltlufteinzugsgebiet diejenigen Bereiche des Freilandklimatops bzw. des Waldklimatops gekennzeichnet, in denen in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten von mehr als 0.5 m/s oder bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen Kaltluftvolumenstromdichten von mehr als $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ vorliegen und ein direkter Siedlungsbezug gegeben ist.

Die Darstellung von Kaltlufteinzugsgebieten erfolgt über eine blaue Schraffur.

5.2.6 Eindringtiefe

Zu Beginn der Kaltluftbildung entstehen insbesondere auf geneigten Flächen Hangabwinde, die auch an Siedlungsrändern positive Auswirkungen auf überwärmte Bereiche ausüben. Dabei reichen schon wenige Stunden andauerndes Aufklaren des Himmels in den Abend und Nachtstunden aus. In diesem Fall ist die Mächtigkeit dieser anfänglichen Kaltluftabflüsse meist noch klein, so dass die Eindringtiefe dieser Kaltluft in den Siedlungen geringer ist als bei vertikal mächtigeren Kaltluftvolumenströmen bei voll ausgebildeter Kaltluft. Die Eindringtiefe selbst und die Bereiche, die dadurch abgekühlt werden, hängen von der jeweiligen Kaltluftgeschwindigkeit, der Kaltluftschichtdicke und der Konfiguration der Bebauung ab (RVMO, 2010).

Im hier vorliegenden Projekt werden diejenigen bebauten Bereiche gekennzeichnet, in denen in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten von mehr als 0.5 m/s oder bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen Kaltluftvolumenstromdichten von mehr als $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ vorliegen und die vorliegende Bebauungssituation ein Eindringen der Kaltluft ermöglicht. Erkenntnisse aus dem Klimagutachten für die Stadt Brühl aus 1991 wurden zusätzlich zur Kennzeichnung der relevanten Bereiche genutzt.

Die Darstellung der Eindringtiefe der Kaltluft in die Bebauung erfolgt über eine schräge schwarze Schraffur.

5.2.7 Kaltluftstau, -see oder Talnebel

Ein Kaltluftsee bezeichnet ein größeres, räumlich zusammenhängendes Gebiet, in dem sich durch Kaltluftabfluss aus Kaltlufteinzugsgebieten und/oder durch Kaltluftbildung vor Ort deut-

lich tiefere Lufttemperaturen als in der Umgebung einstellen; dort bestehen u. a. erhöhte Nachtfrostgefahr sowie eine verstärkte Neigung zu Dunst- und Nebelbildung.

Dies wird verstärkt durch geringe Kaltluftgeschwindigkeiten, sodass die in der Nacht gebildete Kaltluft nicht abfließen kann und schon zu Beginn der Nacht stagniert. Dort können sich mit höherer Wahrscheinlichkeit Talnebel ausbilden.

Luftschadstoffe, die in solchen Bereichen emittiert werden, werden aufgrund der dortigen eingeschränkten Austauschbedingungen nur schlecht abtransportiert, was teilweise zu hohen Schadstoffbelastungen führen kann.

Im hier vorliegenden Projekt wurden alle Freibereiche gekennzeichnet, in denen die berechnete bodennahe Kaltluftabflussgeschwindigkeit zu Beginn des Kaltluftabflusses kleiner gleich 0.4 m/s ist oder eine Kaltluftschichtdicke bei voll ausgebildeter Kaltluft von mehr als 30 m berechnet wird. Gleichzeitig wurde als Bedingung gesetzt, dass die Volumenstromdichte bei voll ausgebildeter Kaltluft $8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ nicht überschreitet.

Die Darstellung dieses flächenhaften Parameters erfolgt über eine blaue Punktierung. Die Bereiche sind auf das Freilandklimatop beschränkt.

5.3 Spezifische Klimaeigenschaften

5.3.1 Windrose

Üblicherweise werden hier im Stadtgebiet gemessene Windverteilungen dargestellt. Im Stadtgebiet von Brühl und dessen unmittelbaren Nahbereich existieren aber keine langjährigen validierten Messungen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Es liegen jedoch für den Bereich des Stahlwerkes synthetische Daten von Metsoft (2017b) vor, die für das Stadtgebiet von Brühl im Überdachniveau repräsentativ sind. Diese Daten werden in der Klimakarte dargestellt.

5.3.2 Windfeldveränderung

Auf Grund von hoher Bebauung, von hohen Industrieanlagen oder Halden kann eine starke Störung des bodennahen Windfeldes auftreten. Durch das Symbol „Windfeldveränderungen“ werden erhöhte turbulente (Böigkeit) oder drastische (Wirbelbildung, Umströmung) Windgeschwindigkeitsveränderungen gekennzeichnet.

Diese Windfeldveränderungen wurden dargestellt, wenn die Haushöhe einzelner Gebäude mehr als doppelt so hoch wie die Haushöhe des Umfeldes ist.

5.3.3 Gleisanlage

Gleisanlagen sind durch eine intensive Erwärmung am Tag und eine rasche nächtliche Abkühlung gekennzeichnet; allerdings liegen die Oberflächentemperaturen dort höher als im Freiland. Schadstoffemissionen spielen auf diesen Flächen i. d. R. keine große Rolle. Die Luftfeuchtigkeit ist generell herabgesetzt. Die Gleiskörper sind aufgrund ihrer geringfügigen Überbauung windoffen und dienen in bebauten Gebieten oftmals als Luftleitbahnen beziehungsweise Luftaustauschflächen. Ihre Berücksichtigung in der Klimafunktionskarte erfolgt ab einer Breite in der Größenordnung von ca. 100 m, das heißt nur im Falle mehrgleisiger Bahnstrecken. Die Funktion als Luftleitbahn kann nur für den Fall gewährleistet werden, dass die Ausrichtung der Gleisanlage parallel zu häufig vorkommenden Windrichtungen ist und eine geradlinige Verbindung nach außen besteht. Deshalb ist nicht jede Gleisanlage automatisch eine Luftleitbahn. Sie fördert aber in jedem Falle den Luftaustausch.

5.3.4 Emissionen des Straßenverkehrs

Der Straßenverkehr stellt in Brühl eine wichtige Quelle für Luftschadstoffemissionen dar.

Die Belastung durch Verkehrsemissionen wird in 3 Klassen eingeteilt, die durch unterschiedlich farbliche Punktraster dargestellt werden:

- a) Straße mit extrem hoher Verkehrsbelastung: Autobahnen oder autobahnähnliche Straßen mit DTV >50 000 Kfz
- b) Straße mit sehr hoher Verkehrsbelastung: Hauptdurchgangsstraßen mit DTV zwischen 30 000 Kfz und 50 000 Kfz
- c) Straße mit hoher Verkehrsbelastung: wichtige Verkehrsstraßen mit DTV zwischen 10 000 Kfz und 30 000 Kfz.

Die angegebene Signatur dokumentiert entsprechend VDI (2015) aufgrund des DTV entstehende hohe Schadstoff- und Lärmemissionen, ohne im Einzelnen die räumliche Ausdehnung der belasteten Bereiche darzustellen. Im Nahbereich der gekennzeichneten Straßen ist mit erhöhten Schadstoffbelastungen zu rechnen, besonders wenn die dortigen Austauschbedingungen durch Randbebauung zusätzlich herabgesetzt sind oder im Rahmen von Planungen herabgesetzt werden könnten.

Die bei VDI (2015) definierten Klassen von Straßen mit Verkehrsstärken von 30 000 Kfz/24 h oder mehr trifft man in Brühl nicht an und wurde aus diesem Grund auch nicht vergeben.

5.3.5 Hausbrandemissionen in Wohngebieten

In der Klimafunktionskarte sollen nach VDI (2015) Wohngebiete mit vergleichsweise erhöhten Hausbrandemissionen gekennzeichnet werden. Laut Auskunft der Stadt Brühl sind viele Haushalte an die Fernwärmeversorgung angeschlossen. Ein Problem bezüglich hoher Hausbrandemissionen für bestimmte Stadtteile wird von der Behörde nicht gesehen. Aus diesem Grund wird auf diese Kennzeichnung in der vorliegenden Karte verzichtet.

5.3.6 Gewerbegebiet mit erhöhten Emissionen

In der Karte sind durch Piktogramme Gewerbegebiete mit vergleichsweise erhöhten Emissionen ausgewiesen. Hierbei sollte die Ableithöhe berücksichtigt werden, wobei zwischen bodennahen Emittenten <50 m (z. B. Kieswerk) und abgehobenen Emittenten >50 m (z. B. Kraftwerk) unterschieden wird (VDI, 2015).

In Brühl wurden Bereiche gekennzeichnet, in denen Kiesabbau stattfindet, da davon auszugehen ist, dass in diesem Zusammenhang Staubemissionen durch Transport- und Umschlagprozesse wahrscheinlich sind und zudem die Emissionen bodennah erfolgen. Ebenfalls gekennzeichnet sind der Bereich des Eisenwerkes, der Deponie „Vereinigte Ville“ in Hürth und des Gewerbegebietes Wessling östlich von Brühl. Dort ist ebenfalls mit Staub- aber auch mit Geruchsemissionen zu rechnen.

5.4 Auszüge aus der gesamten Klimafunktionskarte der Stadt Brühl

In den **Abb. 5.3** ist ein Auszug aus der Klimafunktionskarte aufgezeigt, wobei hierfür der Innenstadtbereich ausgewählt wurde. (Die gesamte Karte liegt getrennt im A0-Format separat bei.) Die Klimafunktionskarte erstreckt sich über das gesamte Stadtgebiet von Brühl und darüber hinaus in einem Gesamtbereich von 9 km x 9 km. Die dazugehörige Legende ist in **Abb. 5.4** gegeben.

Die Erläuterung der zugeordneten Parameter ist den vorangegangenen Abschnitten 5.1 bis 5.3 zu entnehmen.



Abb. 5.3: Auszug aus der vollständigen Klimafunktionskarte für die Stadt Brühl (Legende siehe **Abb. 5.4**)

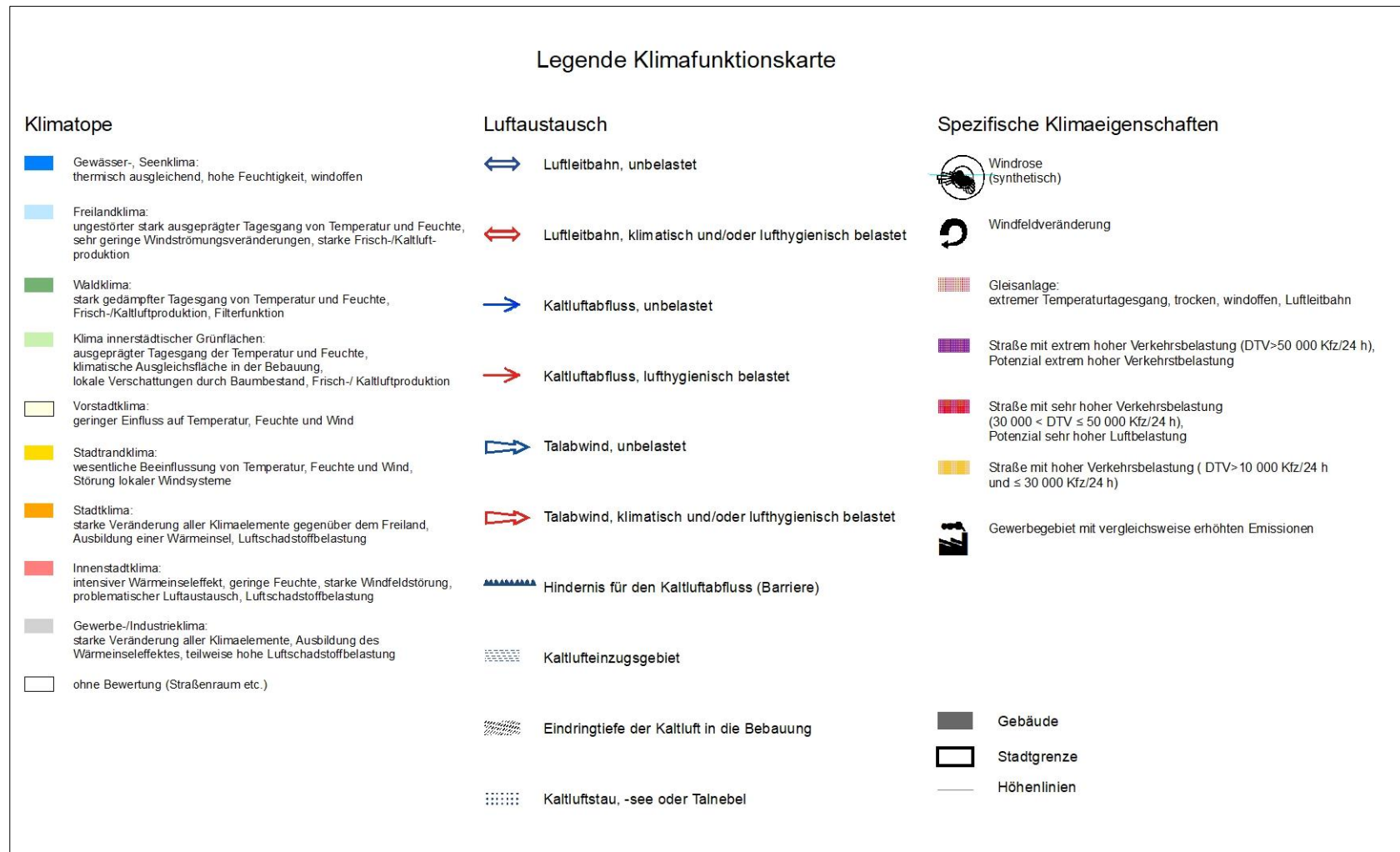


Abb. 5.4: Legende zur Klimafunktionskarte

Festlegungen für Brühl

Klimatope können nicht aus den vorliegenden Grundlagendaten automatisch berechnet werden, sondern wurde entsprechend der Einschätzung des Fachplaners (unter Zuhilfenahme aller zur Verfügung stehenden Informationen) zugewiesen. Die Zuordnung erfolgte unter Beachtung u. a. der jeweiligen Bebauungsdichte, der Bebauungshöhe, des Versiegelungsgrades, der Struktur der Bebauung (Einzelgebäude, Reihenhausbauung, Blockbauung), der Struktur der vorhandenen Vegetation, der Lage des betrachteten Bereiches in Bezug auf das Stadtgebiet und in Bezug auf die berechneten Durchlüftungsverhältnisse, der Immissionsbelastung sowie der vorliegenden Temperaturanomalien in Strahlungsnächten.

Klimatope

Das Stadtgebiet von Brühl ist im Westen durch Waldflächen (= Waldklimatop), im Zentrum durch Siedlungsgebiete (= Siedlungsbezogene Klimatope) und im Nordosten durch Gewerbeansiedlungen (= Gewerbe-/Industrieklimatop) geprägt. Im Südosten des Stadtgebietes befindet sich überwiegend das Freilandklimatop.

Als Gewässer-Klimatop zählen Seen mit einer überwiegenden Mindestgröße von etwa einem Hektar. Dazu gehören die Seen, die in die westlich gelegenen Waldbereiche eingebettet sind, wie beispielsweise der Heider Bergsee oder der Bleibtreusee. Im bebauten Bereich selbst ist das Gewässer-Klimatop eher von untergeordneter Bedeutung. Zu nennen wären hier der Gallbergweiher in Badorf und die Gewässer im Bereich des Parkes von Schloss Augustsburg. Weitere Wasserflächen sind im Osten des Stadtgebietes zu finden, und zwar überwiegend in den Bereichen, in denen Kies abgebaut wird.

Die Beurteilung der Wohnbereiche in Bezug auf ihre thermische und lufthygienische Belastung fällt von Ortsteil zu Ortsteil bzw. auch innerhalb der Ortsteile unterschiedlich aus. Kleinere Teilbereiche von Vochem, der südliche Bereich von Heide, der westliche Bereich von Brühl-West sowie gut durchlüftete Bereiche von Pingsdorf, Badorf, Geildorf und Schwadorf werden aufgrund der dortigen aufgelockerten Bebauung in Verbindung mit den überwiegend guten Durchlüftungsverhältnissen und guter Durchgrünung dem Vorstadt-Klimatop zugeordnet. Dies gilt auch für die überwiegenden Teile des Stadtteils Eckdorf, die Bebauung östlich des Bahnhofs Brühl und für die Bebauung östlich des Südfriedhofes. Dort werden nur leichte Modifizierungen aller Klimaelemente auftreten.

Die dem Stadtrand nahe gelegenen und noch gut durchgrünten Wohnviertel von Vochem und Kierberg, die Siedlungsgebiete nordöstlich des Bahnhofs Brühl sowie die Siedlungsbe-
reiche in Pingsdorf und südlich davon werden überwiegend dem Stadtrand-Klimatop zuge-
ordnet. Hier ist ein größerer Einfluss auf alle meteorologischen Parameter gegeben.

Als Stadtklimatop wurde im südlichen Stadtbereich lediglich der Ortskern von Badorf dekla-
riert. Ansonsten sind die Lokalklimatischen Verhältnisse im Süden des Stadtgebietes im All-
gemeinen günstiger als im nördlichen Bereich. Dies ist bedingt durch die in diesem Bereich
aufgelockerte Bebauung, die auch eine kleinere Fläche einnimmt und die ausgedehnten
Freibereiche im Umkreis dieser Siedlung bzw. der guten Durchgrünung innerhalb dieser
Siedlungen. Auch die Schadstoffbelastung, und hier vor allem die Belastung mit Stickstoffdi-
oxid, ist in den südlichen Stadtteilen überwiegend geringer als im Norden.

Ein Wärmeinseleffekt bildet sich jedoch im Ortskern von Badorf aus, da dort der Versieg-
lungsgrad vergleichsweise hoch ist und vor allem die thermische Entlastung durch gute Be-
grünung in den Hinterhöfen fehlt.

Die höchsten thermischen Belastungen treten im südlichen Bereich der Innenstadt auf. Die
dortigen am stärksten bebauten Bereiche wurden deshalb dem Innenstadt-Klimatop zuge-
ordnet.

Die vorliegenden Berechnungsergebnisse für die autochthone Wetterlage haben zudem ge-
zeigt, dass die Durchlüftungsverhältnisse in diesen Bereichen am schlechtesten sind. Das
drückt sich insbesondere in erhöhten Temperaturen in der Nacht aus, da hier wegen der
kompakten Bebauung ein Wärmeinseleffekt vorliegt und Kaltluft keine Entlastung bringen
kann.

Der Bereich des Innenstadt-Klimatops reicht im Norden bis zu den Straßen Carl-Schurz-
Straße/An der Bleiche/Kirchstraße/Bahnhofstraße, im Westen bis zur Straße „An der alten
Brauerei“ und dem Balthasar-Neumann-Platz, im Osten bis über den Bereich der Uhlstraße
und den Marktplatz und im Süden schließt es die Giesler-Galerie zwischen der Uhlstraße
und der Straße „An der alten Brauerei“ mit ein.

In allen Richtungen schließt sich ein Bereich mit Stadt-Klimatop an. Dies umfasst auch den
nördlichen Teil der Innenstadt. Dort bringt die aus Westen zum Teil in das Stadtgebiet ein-
dringende Kaltluft in autochthonen Wetterlagen im Vergleich zum südlichen Teil eine leichte

Entlastung, wenn auch die Belastungssituation insgesamt im Vergleich zum Stadtrand trotzdem noch ungünstiger ist.

Westlich der Innenstadt befindet sich der Alte Friedhof, der als Grünanlagen-Klimatop gekennzeichnet wurde. Innerstädtische Grünanlagen, wie die genannte, zeichnen sich besonders durch diversen Baumbestand aus, der ausgleichend auf die Temperaturen wirkt. Außerdem geht man davon aus, dass in Parkanlagen eine regelmäßige Pflege der Grünanlagen erfolgt, sodass in allen Bereichen mit Vegetationsbestand (Rasenflächen, Blumenbeete, Buschbepflanzung u. ä.) zu rechnen ist, was im Vergleich zu brach liegenden Freiflächen thermisch günstiger ist.

Weitere Grünanlagen-Klimatope wurden unter anderem für folgende Bereiche vergeben: für den Bereich des Südfriedhofs und des Friedhofs Pingsdorf.

Luftaustausch

Der siedlungsklimatisch bedeutsame Gesichtspunkt des Luftaustausches ist durch Pfeilsignaturen kenntlich gemacht. Diese Signaturen betreffen sowohl lokale thermisch induzierte Windsysteme (Kaltluftabfluss und Talwind) als auch die Begünstigung regionaler Windeinwirkung, etwa durch Kanalisierung der Hauptwindrichtung.

Bei der Kennzeichnung relevanter Luftaustauschbereiche wurde differenziert zwischen lufthygienisch belasteten und unbelasteten Luftaustauschbahnen. Belastete Luftaustauschbahnen liegen vor, wenn der Luftstrom durch stark befahrene Straßen gequert wird oder bei parallel zu breiten Straßenzügen verlaufenden Austauschbahnen. Luftleitbahnen entlang von Bahnstrecken sind überwiegend unbelastet.

Luftleitbahnen existieren beispielsweise entlang der Stadtbahnlinie 18 „Köln-Bonn“ im Bereich nördlich des Südfriedhofs. Diese Luftleitbahn ist lufthygienisch unbelastet und bringt Frischluft in die westlich gelegenen Teile der Innenstadt. Auch die Bahnlinie der DB „Köln-Bonn“ östlich davon stellt eine Luftleitbahn dar. Diese quert jedoch die stark befahrene Comestraße und wird aus diesem Grund als belastete Luftleitbahn geführt. Weitere Luftleitbahnen befinden sich im nördlichen Bereich von Brühl, z. B. im Schienenbereich des Betriebswerks Vochem, westlich der Römerstraße und im Norden der Stadt quer zur DB-Linie Köln-Erfstadt-Euskirchen. Hierbei handelt es sich jeweils um unbelastete Luftleitbahnen.

Relevante Kaltluftabflüsse dringen überwiegend von Westen oder Südwesten (vereinzelt auch Nordwesten) her in die westlichen Stadtrandbereiche ein. Die Innenstadt sowie die östlich gelegenen Stadtteile nördlich der A 553 können davon jedoch nicht profitieren.

Als einziger Ortsteil kann Schwadorf von solchen Kaltluftabflüssen profitieren, da die Freibereiche westlich dieses Ortsteils die Ausbildung und die Weiterleitung der kühleren Luft in Richtung der bebauten Bereiche von Schwadorf fördern.

Siedlungsbezogene Talwinde können in insgesamt fünf Bereichen in das Stadtgebiet eindringen. Dabei sind die südlichen Stadtteile vergleichsweise bevorzugt. Im nördlichen Teil stellt die Theodor-Heuss-Straße einen (allerdings lufthygienisch belasteten) Talabwindbereich dar. Dort kann unterstützt durch weit ins Stadtgebiet vorhandene Freibereiche südlich der Straße die Kaltluft relativ weit ins Stadtgebiet eindringen. Auch nördlich des Rodderweges tritt ein Talwind auf. Dieser wird jedoch zum Teil durch hohe querstehende Gebäude am Ortsrand von Brühl behindert.

Talwinde im Süden treten entlang des Pingsdorfer Bachs, des Lenterbachs und des Rheindorfer Baches auf.

Im Bereich von Vochem, der südlichen Innenstadt sowie der östlich der Innenstadt vorliegenden bebauten Bereiche spielt der Talwind nur eine untergeordnete Rolle. Leichte thermische Entlastungen können im westlichen Bereich der nördlichen Innenstadt erreicht werden. Dies spiegelt sich auch in den vor Ort ermittelten Temperaturanomalien in Strahlungsnächten wider.

In Bereichen, in denen Kaltluftabflüsse auf Siedlungsbereiche stoßen, können Hindernisse bzw. Kaltluftbarrieren das Einfließen der Kaltluft in die Stadtgebiete abbremsen oder (bei geringen Kaltluftschichtdicken) sogar zum Erliegen bringen. Als Kaltluftstaubereiche werden langgestreckte Gebäuderiegel quer zum Talwind und zum Kaltluftabfluss gekennzeichnet. In Luv dieser Kennzeichnung kann es wegen des Aufstauens kalter Luft zu erhöhter Frostgefahr und zur Erhöhung der Häufigkeit von Nebelbildung kommen. Der jeweilige Staubereich erschließt sich im Zusammenhang mit den Kennzeichnungen für Bereiche mit relevantem Kaltluftabfluss bzw. Talwind.

Der im Norden des Stadtgebietes zwischen Vochem und Kierberg auftretende Kaltluftabfluss wird durch den Damm der Bahnlinie der DB von Köln nach Erftstadt-Euskirchen behindert. Westlich davon entstehen entsprechende lokale Kaltluftseen. Messungen des Kaltluftabflus-

ses aus dem Jahr 1991 haben gezeigt, dass die Kaltluft den Damm nicht überwinden kann. Vielmehr wurde festgestellt, dass die Kaltluft entlang des Dammes in Richtung Süden fließt und dann im Bereich des Bahnhofs Kierberg nach Südosten umschwenkt. Dies ist auch nach vorliegenden aktuellen Kaltluftabflussmodellierungen plausibel und wurde deshalb in der Klimakarte entsprechend umgesetzt.

Ein weiterer Querriegel befindet sich nördlich des Rodderwegs.

Kaltlufteinzugsgebiete mit Siedlungsbezug befinden sich beidseitig von definierten Kaltluftabflussbahnen/Talwinden im westlichen Teil des Stadtgebietes. Im Süden der Stadt sind die Einzugsgebiete deutlich größer als in den nördlichen Stadtteilen.

Die Eindringtiefen der Kaltluft in das Stadtgebiet hinein sind von der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, von der vorliegenden Gebäudekonfiguration und der Kaltluftschichtdicke abhängig und wurden für die jeweils betroffenen Bereiche individuell festgelegt. Kaltluftabflüsse zu Beginn der Nacht haben dabei wegen ihrer vergleichsweise geringen Mächtigkeit weniger Durchschlagskraft als Talwinde. Für die Festlegung der Eindringbereiche wurden neben den Modellierungsergebnissen auch die Ergebnisse aus den Kaltluftabflussmessungen von 1991 mit heran gezogen.

Bereiche mit Kaltluftseen, in denen relevante Kaltluftschichtdicken auftreten und in denen die Kaltluftwindgeschwindigkeiten herab gesetzt sind, sind in Teilbereichen der Rheinebene zu finden. Große Bereiche befinden sich beispielsweise nördlich des Dammes der A 553 bis an das Waldgebiet des Brühler Schloßparks heran. Weitere Bereiche sind teilweise auf Freiflächen am Waldrand zu finden. Dort sind zwar die Kaltluftschichtdicken überwiegend geringer, die Abflussgeschwindigkeiten sind dort aber bereits in der Anfangsphase des Kaltluftabflusses gering. Luftschadstoffe, die in die so gekennzeichneten Bereiche hinein emittiert werden, werden schlecht abtransportiert, was zu hohen Schadstoffbelastungen führen kann.

Spezifische Klimaeigenschaften

Die für Brühl für das Überdachniveau repräsentative synthetische Windrose wurde im Bereich des Eisenwerkes dargestellt. Die Hauptwindrichtung ist West, ein Nebenmaximum tritt bei südöstlichen Winden auf. Windfeldveränderungen sind in allen Bereichen rund um Hochhäuser zu finden, die die Höhen der umliegenden Gebäude um Faktor 2 oder mehr überragen. Dies betrifft im Bereich von Brühl insgesamt 4 Standorte.

Als Gleisanlage wurden beispielsweise die Bahngleise im Bereich des Betriebshofs Vochem sowie die Gleise östlich der Römerstraße gekennzeichnet.

Straßen mit extrem hoher oder sehr hoher Verkehrsbelastung finden sich in Brühl nicht. Es gibt aber eine Reihe von Straßen, die im Sinne der Richtlinie VDI 3787, Blatt 1 eine hohe Verkehrsbelastung zwischen 10 000 und 30 000 Kfz/24 h aufweisen. Diese sind in der Karte separat durch eine gelbe Punktierung parallel zu den betroffenen Straßenzügen gekennzeichnet. Gekennzeichnet sind beispielsweise die A 553, die Theodor-Heuss-Straße, Teile der Römerstraße und der Alten Bonnstraße sowie große Teile der Otto-Wels-Straße. Auch durch das Gewerbegebiet im Nordosten der Stadt führen einige Straßen mit hoher Verkehrsbelastung.

Von diesen Straßen werden relevante verkehrsbedingte Emissionen erwartet. Bei Neuanlage von Wohnraum in diesem Bereich sollte eine Überprüfung erfolgen, ob die Immissionsgrenzwerte der 39. BImSchV eingehalten werden können.

Als weitere relevante Quellen mit bodennahen Emissionen sind die im Umfeld der Stadt befindlichen Kieswerke, die Deponie Vereinigte Ville in Hürth, das Stahlwerk sowie das Industriegebiet Wessling im Osten von Brühl separat gekennzeichnet. Hier ist im Umfeld mit erhöhten Schadstoff- bzw. Geruchsbelastungen zu rechnen.

6 PLANUNGSHINWEISKARTE BRÜHL

6.1 Prinzipien der planungsrelevanten Klimaanalyse

Die Klimafunktionskarte stellt eine Bestandsaufnahme der stadtklimatischen Gegebenheiten für den Istzustand dar und ist durch eine Vielzahl zu berücksichtigender Einzelinformationen gekennzeichnet. Bei der Ausweisung der Klimatope und der Durchlüftungsverhältnisse fanden unter fachlichen Gesichtspunkten Bewertungen statt, um die verfügbaren klimatisch-lufthygienischen Informationen auf die Fläche des Stadtgebietes zu übertragen. Diese bewerteten Übertragungen sind durch überschlägige Ausbreitungsmodellierungen mit dem Netzmodell PROKAS (zur Ermittlung der flächenhaften Verteilung der Schadstoffbelastung im Stadtgebiet), vorliegende ältere Temperaturmessdaten in Strahlungsnächten (siehe Abschnitt 4.10) und aktuellen Simulationen mit dem Kaltluftabflussmodell KALM (siehe Abschnitt 4.8) gestützt. Somit erweist sich die Interpretation dieser synthetischen Fachkarte und die Umsetzung in bewertende Planungsaussagen als eine sehr komplexe Aufgabe.

Die Ergebnisse der vorliegenden Klimauntersuchung sollen vorrangig der fachlichen Unterstützung der Flächennutzungsplanung sowie der Bauleitplanung aus klimaökologischer Sicht dienen. Diesem Ziel soll die Karte mit Hinweisen für die Planung gerecht werden.

Für die Bauleitplanung und verschiedene Fachplanungen werden aus den Informationen der Klimafunktionskarte Planungshinweise erarbeitet und in einer Karte aufbereitet. Die Inhalte und Darstellungen der Planungshinweiskarte orientieren sich an den Vorschlägen der Richtlinie VDI 3787, Blatt 1 (VDI, 2015). Die Karte enthält eine integrierende Bewertung der in der Klimafunktionskarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange. Die flächenhaften Kennzeichnungen beinhalten Hinweise über die Empfindlichkeit der jeweiligen Bereiche unter klimatisch-lufthygienischen Aspekten gegenüber Nutzungsänderungen. Daraus lässt sich die Notwendigkeit beziehungsweise die Dringlichkeit klimatisch begründeter Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der Bauleitplanung entnehmen.

Bei der Erstellung der Karten erfolgte eine gesonderte Prüfung der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Wohnbauflächenpotenziale (Stand: 28.08.2017) sowie der Gewerbeflächenpotenziale (Stand: 20.12.2016). Entsprechende Informationen hierzu lagen vor.

Die flächendeckenden Hinweise für die Planung sind in sieben Gruppen zusammengefasst. Drei Planungsempfehlungen beziehen sich auf den bisher weitgehend nicht überbauten Raum (mit Ausnahme einzeln stehender Gebäude im Außenbereich und der Verkehrswege),

also auf Freiland- und Waldflächen. Vier Empfehlungen werden für bereits baulich genutzte Gebiete ausgesprochen. Weitere Hinweise dienen der Kennzeichnung der immissionsrelevanten Bereiche (Hauptverkehrsstraßen und emittierende Industrieanlagen). Im Flächennutzungsplan separat ausgewiesene Straßenzüge sowie Wasserflächen werden von der Bewertung ausgenommen und sind in der Planungshinweiskarte separat gekennzeichnet. Des Weiteren werden Hinweise zur Intensivierung der Begrünung gegeben.

Die Hinweise für die Planung beziehen sich ansonsten vornehmlich auf bauliche Nutzungsänderungen, insbesondere dreidimensionaler Art (Gebäude, Dämme und andere Baulichkeiten). Eine Änderung der Vegetationszusammensetzung hat in der Regel geringere klimatische Auswirkungen als großflächige Versiegelungsmaßnahmen und die Errichtung von Bauwerken. In speziellen Fällen kann sich auch eine Änderung der Vegetationszusammensetzung, wie z. B. Waldanpflanzung im Bereich einer Luftleitbahn, durchaus ungünstig auswirken. Fälle dieser Art sind bei den Aussagen zur Beurteilung von Nutzungsänderungen im unbebauten Bereich jedoch mit berücksichtigt.

Die Kartierung flächenhafter Planungsempfehlungen beruht im Einzelnen auf entsprechenden Darstellungen der Klimafunktionskarte, die einer klassifizierenden Bewertung unterzogen wurden. Damit stellen die Planungsempfehlungen im Wesentlichen keine parzellenscharfen Aussagen dar, sondern beinhalten so wie die Darstellungen der Klimafunktionskarte Toleranzen zwischen 50 m und 100 m. Die Größe des Untersuchungsgebietes beziehungsweise die Maßstäblichkeit der Untersuchung bedeuten zwangsläufig, dass vertiefende Detailfragen im Zusammenhang mit Bebauungsplänen gegebenenfalls durch gesonderte Gutachten erarbeitet werden müssen. Dabei werden die Karten der Klimauntersuchung in jedem Fall von Nutzen sein, zumal der Gesamtzusammenhang der klimatisch-lufthygienischen Aspekte der Stadt Brühl dargestellt ist.

Die Hinweise für die Planung enthalten neben ihrer Beschreibung auch Aussagen darüber, ob aus klimatisch-lufthygienischer Sicht fachgutachterliche Stellungnahmen oder Fachgutachten bei geplanten Nutzungsänderungen erforderlich sind. Diese Aussagen und die Erforderlichkeit definieren sich aus rein fachlichen Gesichtspunkten. Die Erstellung der fachlichen Stellungnahmen bzw. Fachgutachten erfordert klimatisch-lufthygienische Fachkenntnisse, sodass deren Erarbeitung und Verfassung durch das Fachpersonal der Stadtverwaltung bzw. durch externe Fachgutachter erfolgen sollte.

Neben lokalen Besonderheiten des Untersuchungsgebietes liegen den Hinweisen für die Planung folgende Prinzipien zugrunde:

Vegetationsflächen haben eine bedeutende Wirkung auf das Lokalklima, da sie einerseits die nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verursachen und andererseits bei hohem Baumanteil tagsüber thermisch ausgleichend sind. Innerstädtische und siedlungsnaher Grünflächen beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Vegetationsflächen am Siedlungsrand fördern den Luftaustausch. Größere zusammenhängende Vegetationsflächen stellen das klimatisch-lufthygienische Regenerationspotenzial dar. Insbesondere bei vorhandenem räumlichen Bezug zum Siedlungsraum sind sie für den Luftaustausch sehr wichtig. Deshalb sollten solche Freiflächen aus klimatischer Sicht für bauliche Nutzungen nicht in Anspruch genommen werden.

Größere Waldanpflanzungen haben lokalklimatisch mehrfache Bedeutungen. Im geeigneten Gelände führen sie wie Freiflächen zu Kaltluftproduktionen und Kaltluftabfluss. Die Temperatur dieser Kaltluft ist zwar höher als über Freiland gebildete Kaltluft, dafür ist das Kaltluftvolumen jedoch ebenfalls höher.

Nachteilig wirkt sich jedoch aus, dass die Bäume ein Strömungshindernis darstellen, sodass sich in Luv Kaltluftstaubereiche bilden können und der großräumige Wind (auch Kaltluftabfluss und Talwind) abgebremst wird. Deshalb kann eine Neuanpflanzung von Wald im Bereich von Leiteitbahnen oder Bereichen mit relevantem Kaltluftabfluss bzw. Talwind nicht empfohlen werden.

Aus diesen Gründen ist auch eine Verbauung der genannten Bereiche nachteilig zu beurteilen, da dort einerseits bei Schwachwindlagen der Kalt- und Frischlufttransport stattfindet und sie andererseits als Luftleitbahnen für stärkere regionale Winde dienen.

Aus lufthygienisch-klimatischer Sicht empfehlen sich prinzipiell eine Umrandung der Siedlungen mit möglichst weiträumigen Grünzonen sowie eine Durchdringung von Ortschaften mit Grünzügen, die sich an der Oberflächengestalt der Umgebung orientieren. Das bedeutet eine Erhaltung beziehungsweise Schaffung von Belüftungsschneisen und Luftleitbahnen im besiedelten Bereich, um den Luftaustausch zu fördern.

Einer Zersiedelung der Landschaft durch zahlreiche Streusiedlungen sowie der Entstehung von abriegelnden Bebauungsgürteln ist entgegenzuwirken. Das betrifft insbesondere das Zusammenwachsen benachbarter Ortslagen. Bei städtischen Siedlungen muss auf entsprechend große nahegelegene Frisch- und Kaltluftproduktionsgebiete und Belüftungsbahnen geachtet werden.

Bei der Ansiedlung von Gewerbe- und Industriegebieten ist zu berücksichtigen, dass die unmittelbar angrenzenden Wohngebiete nicht aufgrund der lokalen Windverhältnisse durch erhöhte Immissionen belastet werden.

GRÜN- UND FREIFLÄCHEN

Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung

Dies sind vor allem klimaaktive Freiflächen mit direktem Bezug zum Siedlungsraum wie z. B. innerstädtische und siedlungsnahen Grünflächen oder solche, die im Einzugsgebiet eines Berg-Talwindsystems liegen. Des Weiteren werden nicht bebaute Täler, insbesondere deren Talsohlen und Geländeeinschnitte, in den Kaltluftabfluss auftritt, eingeschlossen. Diese Bereiche sind mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung und Nutzungsänderungen belegt. Außerdem sind große zusammenhängende Freiflächen (inkl. Waldflächen) im Umfeld der Stadt aus klimatisch-lufthygienischen Gründen von großer Bedeutung. Die so deklarierten Flächen fungieren als Kaltluftentstehungsgebiete. Kaltluftabfluss lässt die Kaltluftmassen aus dem zugehörigen Kaltlufteinzugsgebiet heraus wirksam werden.

Auch innerstädtische Grünanlagen wurden vollständig dieser Kategorie zugeordnet. Dies trifft auch auf einen Großteil der innerstädtischen Freiflächen zu. Diese Flächen sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d. h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen. Dasselbe gilt für Maßnahmen, die den Luftaustausch behindern, wie z. B. dichte Aufforstung in Bereichen mit Kaltluftabfluss.

Sollten trotz des Bestehens klimatischer Bedenken Planungen in Erwägung gezogen werden, besteht die Notwendigkeit einer verstärkten Berücksichtigung dieser Belange in der Planung auf der Grundlage von detaillierten Fachgutachten.

Ausgleichsraum mit mittlerer Bedeutung

Diese Freiflächen haben entweder keine direkte Zuordnung zum Siedlungsraum, d. h. dort entstehende Kalt- und Frischluft fließt nicht direkt in Richtung bebauter Gebiete, oder nur eine geringe Kaltluftproduktion aufgrund der Ausstattung (z. B. Schotterflächen, Deponieflächen).

Sie werden mit einer geringeren Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet. Hier ist aus klimatischer Sicht eine maßvolle Bebauung, die den regionalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt, möglich.

Klimatisch bedeutsame lokale Gegebenheiten wie z. B. Einschnitte, Schneisen, Bachläufe etc. sind jedoch bei der Planung zu berücksichtigen. Für eine möglichst geringe klimatische Beeinträchtigung sind die Erhaltung von Grünflächen und Grünzügen, die Schaffung von Dach- und Fassadenbegrünungen und möglichst geringe Gebäudehöhen sowie windoffene Gebäudeanordnungen zu empfehlen.

Bei Planungen von Baumaßnahmen in derart ausgewiesenen Flächen ist eine Beurteilung durch einen klima-lufthygienischen Sachverständigen bezüglich der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie der Sicherung von Grün- und Ventilationsschneisen von Vorteil. Bei bedeutsamen baulichen Eingriffen, die den Rahmen der in diesen Bereichen bestehenden ortsüblichen Bebauung überschreiten, sind Beurteilungen auf der Grundlage von detaillierten Fachgutachten angemessen.

Ausgleichsraum mit geringer Bedeutung

Diese Flächen haben klimatisch betrachtet nur einen geringen Einfluss auf Siedlungsgebiete, da sie aufgrund ihrer Lage und Exposition von Siedlungen abgewandt oder für die Kalt- und Frischluftproduktion relativ unbedeutend sind. Hierzu zählen auch Bereiche innerhalb eines ausgedehnten Klimapotenzials, das nicht in unmittelbarer Verbindung zu einem Ballungsraum liegt. Dort sind teilweise bauliche Eingriffe mit nur geringen klimatischen Veränderungen verbunden, d. h. sie sind relativ stabil gegenüber begrenzten nutzungsändernden Eingriffen.

Solche Flächenausweisungen treffen insbesondere auf Kuppenlagen zu, wo eine gute Durchlüftung und eine geringe Neigung zur Wärmeinselbildung gegeben ist. Diese Lagen wirken sich jedoch ungünstig auf den winterlichen Heizbedarf aus. Diese Klassifizierung ergibt sich für gut durchlüftete Gebiete mit schwach ausgeprägten Reliefverhältnissen, die nicht in unmittelbarer Nähe zu dichten Siedlungsbereichen liegen.

Aus klimatischer Sicht sind in diesen Gebieten selbst Bauwerke wie Hochhäuser oder großflächige Gewerbebetriebe möglich. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass bzgl. der Hauptwindrichtung die Durchlüftungsmöglichkeit erhalten bleibt. Allerdings können im Nahbereich von Gebäuden auch Nutzungskonflikte bezüglich des Windkomforts durch erhöhte Windgeschwindigkeiten und Böigkeiten entstehen. Zudem ist das schon vorhandene Emissionsaufkommen zu beachten, so dass in der Nähe von Gewerbestandorten und stark frequentierten Verkehrswegen keine empfindlichen Nutzungen geplant werden sollten.

BEBAUTE FLÄCHEN/LASTRÄUME

Bebaute Flächen mit geringer klimarelevanter Funktion

Dies sind bereits bebaute Gebiete mit geringen klimatischen Funktionen, die aufgrund ihrer Lage keine hohen thermisch-lufthygienischen Belastungen aufweisen und benachbarte Siedlungsbereiche nicht wesentlich beeinträchtigen.

Ihnen ist keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen und Bebauungsverdichtung zuzuschreiben.

Dabei handelt es sich um bebaute, gut durchlüftete Kuppenlagen oder um bebaute Gebiete, deren thermisch-lufthygienische Emissionen nicht zu Verschlechterungen in nahegelegenen Siedlungsbereichen führen. Bei einer zusätzlichen Verdichtung ist keine nennenswerte klimatisch-lufthygienische Auswirkung zu erwarten, da sich bei diesen überwiegend kleindimensionalen Gebieten kein relevanter Wärmeinseleffekt ausbildet.

Allerdings ist darauf zu achten, dass bestehende Belüftungsmöglichkeiten erhalten werden und zusätzliche Emissionen keine nachteilige Wirkung auf Siedlungsräume nach sich ziehen. Durch Dach- und Fassadenbegrünung und Beibehaltung von Grünflächen kann einer thermischen Belastung vorgebeugt werden.

Bebaute Flächen mit klimarelevanter Funktion

Dies sind bebaute Gebiete, die aufgrund ihrer Lage und ihrer Bebauungsart klimarelevante Funktionen übernehmen. Darunter fallen z. B. locker bebaute und durchgrünte Siedlungen bzw. Siedlungsränder, die nachts merklich abkühlen und relativ windoffen sind, oder gut durchlüftete verdichtete Siedlungsbereiche (z. B. Kuppenlagen). Diese Gebiete zeigen weder intensive thermisch-lufthygienische Belastungen auf, führen nicht zu Beeinträchtigungen des Luftaustausches und weisen im Allgemeinen geringe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsintensivierungen auf.

Damit sind z. B. Arrondierungen an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken gemeint, wobei das in diesem Gebiet vorhandene bauliche Nutzungsmaß beibehalten werden sollte. Solche relativ geringfügigen und der Umgebung angemessenen Nutzungsänderungen ziehen im Bereich der so bezeichneten Flächen keine wesentlichen klimatisch-lufthygienischen Veränderungen nach sich.

Allerdings ist bei der Planung von Baumaßnahmen in diesen ausgewiesenen Flächen eine Beurteilung der Dimensionierung und Anordnung von Bauwerken sowie die Erhaltung und

Schaffung von Grün- und Ventilationsschneisen durch einen Sachverständigen vorteilhaft. Die Bodenversiegelung ist so gering wie möglich zu halten und durch Schaffung von Vegetationsflächen sowie Dach- und Fassadenbegrünung auszugleichen. Generell sollte eine emissionsarme Energieversorgung (Fernwärme) realisiert werden. Bei bedeutsamen baulichen Eingriffen, die den Rahmen der in diesen Bereichen bestehenden ortsüblichen Bebauung überschreiten, sind Beurteilungen auf der Grundlage von detaillierten Fachgutachten angemessen.

Bebaute Fläche mit bedeutender klimarelevanter Funktion

Diese gekennzeichneten Bereiche übernehmen für sich und angrenzende Besiedlungsbereiche bedeutende klimarelevante Funktionen, bzw. weisen eine hohe klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Die Art und Dimension der vorhandenen Bebauung kann dabei sehr unterschiedlich sein.

Am Siedlungsrand ermöglichen locker bebaute und gut durchgrünte Gebiete mit geringen Gebäudehöhen einen nahezu ungestörten Luftaustausch, der auch lokale Windsysteme beinhaltet. Dies trifft insbesondere auf Hanglagen zu, an deren Fuß sich bebaute Gebiete befinden, wobei diese Hanglagen auch zu Kaltluftbildungen und Kaltluftabfluss beitragen.

Bebaute Bereiche mit aufgelockerter Bebauung innerhalb von Gebieten mit relevantem Kaltluftabfluss/Talwind schränken den Luftaustausch ein. Das betrifft auch die Wirkung als Luftleitbahn. Durch die bestehenden Durchlüftungsverhältnisse sind dort keine hohen thermischen Belastungen vorherrschend. Bei Nutzungsintensivierungen können diese Begünstigungen entfallen.

Gebiete mit vereinzelt freistehenden Hochhäusern stellen zwar eine Behinderung des Windfeldes dar, lassen jedoch einen Luftaustausch zu und führen aufgrund vorhandener Grünflächen nicht zu übermäßiger Erwärmung.

In diese Kennzeichnung sind auch verdichtete Siedlungsbereiche aufgenommen, deren klimatisch-lufthygienische Belastung nicht übermäßig hoch ist, da die bestehenden Durchlüftungsverhältnisse hohe Belastungen verhindern. Diese Bereiche weisen teilweise mittlere bis hohe thermische Belastungen auf, die durch Nutzungsintensivierungen deutlich verschlechtert würden.

Bei Sanierungsmaßnahmen sollten Barrierewirkungen, zum Beispiel durch bestehende Baustrukturen beseitigt werden. Umnutzungen baulicher Art (z. B. Neubauten) sollten aus stadt-

klimatischen Gründen ausgeschlossen bleiben oder unter Berücksichtigung belüftungsstruktureller Gegebenheiten nur in Ausnahmefällen und unter Zugrundelegung strengster Auflagen ermöglicht werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die genannten Gebiete allesamt eine erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen aufweisen. Weitere Bau- und Versiegelungsmaßnahmen führen zu negativen Auswirkungen auf die klimatische Situation. Für diese Gebiete wird daher eine Vergrößerung des Vegetationsanteils und eine Betonung bzw. Erweiterung der Belüftungsflächen empfohlen.

Bei nutzungsändernden Planungen für diese ausgewiesenen Flächen sind detaillierte klimatisch-lufthygienische Fachgutachten notwendig.

Bebaute Gebiete mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen

Diese Ausweisung umfasst in Brühl verdichtete Siedlungsräume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind.

Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten **sanierungsbedürftig**.

Gleichermaßen sind Gebiete **sanierungsbedürftig**, in denen aufgrund störender Bauwerke die Belüftung der Stadt eingeschränkt wird.

In beiden Fällen sollten unter stadtklimatischen Gesichtspunkten dieselben gegensteuernden Maßnahmen erfolgen: Verringerung des Versiegelungsgrades bzw. Entsiegelung, Erhöhung des Vegetationsanteils bzw. intensive Begrünung (einschließlich Fassaden- und Dachbegrünung) sowie Verringerungen des Emissionsaufkommens, insbesondere der Verkehrsemissionen. Zudem wird eine Schaffung bzw. Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen empfohlen; damit ist auch gegebenenfalls die Entfernung oder Verlagerung störender Bauwerke verbunden. Bei der Begrünung sollten nur solche Pflanzenarten verwendet werden, die keine oder nur in geringen Mengen biogene Kohlenwasserstoffe freisetzen und die eine Ozonproduktion begünstigen.

Bei allen Planungen innerhalb dieser Flächenausweisungen sind detaillierte klimatisch-lufthygienische Fachgutachten notwendig.

RAUMSPEZIFISCHE HINWEISE

a) Stadträume

Begrünung im Stadtraum

Neben den lufthygienischen Belastungen und den Lärmemissionen durch den Kfz-Verkehr sind auch die human-biometeorologischen Belastungen innerhalb einiger Stadträume häufig sehr hoch. Hierfür werden Empfehlungen für die Begrünung gegeben. Dies sollte in erster Linie durch den Erhalt vorhandener großkroniger Laubbäume oder durch deren Anpflanzung erreicht werden.

Begrünung in Wohngebieten

Neben den städtischen Grünanlagen und Freiflächen können auch kleinteilig begrünte Areale in bebauten Gebieten eine bioklimatische Entlastung der Anwohner bewirken. Die klimatischen Auswirkungen beschränken sich gegenüber den größeren Flächen auf die Flächen selbst, d. h. es ist keine Fernwirkung vorhanden. Die Bepflanzung und Begrünung größerer Innenhöfe und Plätze sowie die Begrünung von Fassaden und Dächern zählen zu den Begrünungsmaßnahmen in Wohnbereichen.

b) Immissionen

Hauptverkehrsstraßen

Diese Signatur kennzeichnet Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 10.000 Fahrzeugen pro Tag. Die dadurch entstehenden hohen Schadstoff- und Lärmbelastungen sind zu beachten, d. h. bei Planungen im Einwirkungsbereich der Straßen sind je nach Nutzungsabsicht eventuell Immissionsprognosen erforderlich.

Die durch hohe Verkehrsbelastung entstehenden hohen Schadstoffemissionen sind in die Planung mit einzubeziehen. Das bedeutet, dass empfindliche Nutzungen wie Wohngebiete, Erholungsgebiete, landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Flächen in angemessenen Abständen zur Straße bzw. mit adäquaten Schutzmaßnahmen zu planen sind. Unempfindliche Nutzungen verlangen keine besondere Rücksichtnahme; sie können sogar als Schutz gegen die Schadstoff- und Lärmausbreitung verwendet werden.

Bei Planungen von Nutzungsänderungen, die empfindlich gegenüber Schadstoff- und Lärmimmissionen sind, sollten klimatisch-lufthygienische Gutachten bzw. Immissionsprognosen erstellt werden.

Nachteilig erweisen sich insbesondere die Schadstoffemissionen vor allem auf den Straßen, die sich innerhalb von Bereichen mit relevantem Kaltluftabfluss/Talwind bzw. Luftleitbahnen

befinden, da hier mit den für die Belüftung der Stadt so wichtigen lokalen Windsystemen Schadstoffe verfrachtet werden, die zu lufthygienischen Nachteilen in den betreffenden Gebieten führen können. Bei zukünftigen Verkehrsplanungen sollte verstärkt darauf geachtet werden, die Verkehrsströme außerhalb der Luftleitbahnen zu führen.

Ebenfalls von Nachteil sind starke Verkehrsemissionen innerhalb der in der Klimafunktionskarte markierten Bereiche mit Kaltluftstau, -see oder Talnebel, da in ihnen der Luftaustausch stark eingeschränkt ist und einmal emittierte Schadstoffe während Strahlungswetterlagen in der Nacht kaum bzw. nur sehr langsam verdünnt werden.

Emissionen von Industrieanlagen

Diese Signatur wurde aus der Klimafunktionskarte unverändert übernommen. Gekennzeichnet werden Betriebe mit relevanten Schadstoff- und/oder Geruchsemissionen. Bei Planungen von Nutzungsänderungen, die empfindlich gegenüber Schadstoffemissionen sind, sollten entsprechende klimatisch-lufthygienische Gutachten bzw. Immissionsprognosen erstellt werden. In diesem Rahmen sind auch Erweiterungsmöglichkeiten dieser Anlagen mit einzurechnen.

6.2 Erläuterungen zur Planungshinweiskarte der Stadt Brühl

In der **Abb. 6.1** (Legende siehe **Abb. 6.2**) sind Ausschnitte der Karte mit Hinweisen für die Planung beispielhaft dargestellt, wobei hierfür analog zur Klimafunktionskarte der Innenstadtbereich ausgewählt wurde. (Die gesamte Karte liegt im A0-Format separat bei.) Die Hinweise zur Planung unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten erstrecken sich über das gesamte Stadtgebiet von Brühl. Für die Bereiche außerhalb der Stadtgrenze werden keine Planungshinweise dargestellt. Die Planungshinweise beziehen sich überwiegend auf mögliche Nutzungsänderungen, die zu ungünstigeren lokalklimatischen Verhältnissen beitragen, wie beispielsweise zusätzliche Bebauung, Versiegelung etc. Ohne in den Kategorien der Planungshinweise gesondert aufgeführt zu sein, sind selbstverständlich Nutzungsänderungen, die zur Verbesserung der lokalklimatischen Verhältnisse beitragen, zu begrüßen.



Abb. 6.1: Auszug aus der vollständigen Planungshinweiskarte für die Stadt Brühl (Legende siehe **Abb. 6.2**)



Abb. 6.2: Legende zur Planungshinweiskarte

Das sind beispielsweise Maßnahmen zur Erhöhung des Freiflächen- und Vegetationsanteils, zur Beseitigung von Strömungshindernissen, zur Reduzierung von Schadstofffreisetzungen etc.

Die Karte mit den Hinweisen für die Planung wird durch die dunkelgrüne Farbe dominiert, das heißt durch Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung. Hier spiegelt sich das angesetzte Prinzip wider, dass Vegetations- und Freiflächen zu den geringsten Störungen des Lokalklimas führen. Die Waldflächen vor allem im westlichen Teil der Stadt sowie die umliegenden Freiflächen rund um das Stadtgebiet tragen zu den relativ klimatisch günstigen Bedingungen in einem Großteil des Untersuchungsgebietes bei. Dies gilt insbesondere für Bereiche, in denen relevante Kaltluftabflüsse bzw. Talwinde vorhanden sind. Dementsprechend sollte in diesen Gebieten aus klimatischer Sicht keine Nutzungsänderung und insbesondere keine Bebauung abseits der Siedlungen durchgeführt werden. Gleichermaßen ist eine Zersiedlung des Untersuchungsgebietes nicht zu begrüßen.

In den östlichen Teilen der Stadt treten überwiegend keine relevanten Kaltluftabflüsse und Talwinde auf. Trotzdem sollte auch dieser Bereich nur mäßig und nur in Teilbereichen bebaut werden, um die Durchlüftungsbedingungen der Stadt nicht relevant zu verschlechtern.

Eine weitere große Rolle spielen die innerstädtischen Freiflächen, die Ausgleichsräume mit hoher Bedeutung darstellen, da diese zumindest in den angrenzenden bebauten Bereichen für thermischen Ausgleich sorgen. Von besonders hoher Bedeutung sind diese Flächen, wenn sie sich innerhalb von Sanierungszonen bzw. innerhalb von Flächen mit erheblicher klimatisch-lufthygienischer Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen (rote und lila Flächen in der Planungshinweiskarte) befinden. Dies betrifft beispielsweise den Alten Friedhof Mühlenstraße westlich der Innenstadt und den Spielplatz östlich der Römerstraße im Südwesten der Innenstadt.

Zusätzlich sind in der Karte unbebaute Bereiche dargestellt, die als Ausgleichsraum mittlerer Bedeutung zählen. Dies betrifft Ränder bestehender baulicher Nutzungen bzw. Bereiche, in denen maßvolle Bebauung zu keiner relevanten Behinderung von bedeutenden Kaltluftabflüssen oder Talwinden führt, wie z. B. die so gekennzeichneten Bereiche östlich des Ortsteils Schwadorf (z. B. im Bereich des Wohnbaupotenzials W 36) oder östlich von Geildorf (nördliche Bereiche des Wohnbaupotenzials „Neu1“ und „Neu2“). Auch die Bereiche mit Kiesabbau sowie der nordwestlich gelegenen Deponie werden dieser Kategorie zugeordnet, da die Kaltluftproduktion in diesen Flächenbereichen herabgesetzt ist und zudem kein Siedlungsbezug vorliegt.

In Ausgleichsräumen mit geringer Bedeutung sind Entwicklungsmöglichkeiten der baulichen Nutzungen gegeben. Solche Flächen haben im Raum Brühl nur relativ geringe räumliche Ausdehnungen. Dabei handelt es sich insbesondere um Bereiche im Nordosten des bereits bestehenden großräumigen Gewerbegebietes ohne direkten Siedlungsbezug im Bereich des Gewerbepotenzials G 17 (nächstliegende Wohnbebauung ist mehr als 500 m vom gekennzeichneten Bereich entfernt). Dort wären bauliche Eingriffe mit nur geringen klimatischen Veränderungen in Siedlungsbereichen verbunden.

Weitere Signaturen der Karte beziehen sich überwiegend auf bebaute Bereiche bzw. Siedlungsgebiete. Diese sind mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten gegenüber Nutzungsänderungen belegt. Bebaute Gebiete mit geringen klimarelevanten Funktionen wurden in kleineren Teilbereichen (z. B. im Bereich der bebauten Gewerbepotenziale G 10 und G 11, für eine Gebäudeansammlung südlich der Anschlussstelle Brühl-Süd sowie ein Tierhaltungsbetrieb ca. 700 m östlich von Schwadorf) vergeben. Diese Bereiche werden gut durchlüftet und haben keinen Siedlungsbezug.

Locker bebaute Stadtbereiche, die überwiegend aus Vorstadt- und Stadtrandklimatopon bestehen und Kaltluftabflüsse und Talwinde in weiteren Siedlungsbereichen nicht relevant beeinflussen bzw. sich in keiner Luftleitbahn befinden, werden bebauten Bereichen mit klimarelevanten Funktionen zugeordnet. Dies sind beispielsweise große Teile der Ortsteile Vochem, Kierberg, Schwadorf und Badorf sowie Bebauung im Karree südlich der Euskirchner Straße, östlich der Alten Bonnstraße, nördlich der Otto-Wels-Straße und westlich der Bahnschienen.

Die genannten Bereiche beinhalten auch Gebiete, in denen die von den Freiflächen im Umland der Stadt gebildete Kaltluft sich aufgrund von Einflüssen der Bebauung bereits von unten her erwärmt hat und deshalb in diesen Bereichen und weiter stromab keine relevanten Temperaturerniedrigungen in der bebauten unteren Schicht mit sich bringen kann. Dies betrifft beispielsweise die Ostseite der Ortsteile Schwadorf oder die Ostseite von Geildorf sowie auch das o. g. Karree südlich der Innenstadt gegenüber des Südfriedhofs.

In den orange gekennzeichneten Bereichen ist eine maßvolle Nutzungsintensivierung, wie z. B. Arrondierung an den Siedlungsrändern und das Schließen von Baulücken, möglich. Diese sollte jedoch der Umgebung angemessen erfolgen.

Die in der Stadt Brühl aus klimatischer Sicht sanierungsbedürftigen Bereiche sind in der Planungshinweiskarte mit einem lila Farbton gekennzeichnet. Dies sind verdichtete Siedlungs-

räume, die klimatisch-lufthygienisch stark belastet sind. Dazu zählt die laut Klimafunktionskarte als Innenstadt-Klimatop ausgewiesene Fläche im Innenstadtbereich. Das Gebiet reicht im Norden bis zu den Straßen Carl-Schurz-Straße/An der Bleiche/Kirchstraße/Bahnhofstraße, im Westen bis zur Straße „An der alten Brauerei“ bzw. in Teilbereichen (zwischen Clemens-August-Straße und Schlaunstraße) darüber hinaus, im Osten bis über den Bereich der Uhlstraße und den Marktplatz und im Süden schließt es die Giesler-Galerie zwischen der Uhlstraße und der Straße „An der alten Brauerei“ mit ein.

In dem gekennzeichneten Sanierungsbereich sind aufgrund der hohen klimatischen und/oder lufthygienischen Belastung dringend Maßnahmen zur Verbesserung der klimatisch-lufthygienischen Situation anzuraten.

Gleichermaßen sind Gebiete als sanierungsbedürftig im Sinne des Stadtklimas zu bezeichnen, in denen aufgrund störender Bauwerke die Belüftung der Stadt stark eingeschränkt wird. Solche Bereiche werden in Brühl nicht gesehen.

Für die als sanierungsbedürftig gekennzeichnete Fläche sollten unter stadtklimatischen Gesichtspunkten folgende gegensteuernden Maßnahmen erfolgen: Verringerung des Versiegelungsgrades bzw. Entsiegelung, Erhöhung des Vegetationsanteils bzw. intensive Begrünung (einschließlich Fassaden- und Dachbegrünung), Durchgrünung von Innenhöfen, Begrünung von Straßenräumen sowie Verringerungen des Emissionsaufkommens, insbesondere der Verkehrsemissionen (Verkehrsberuhigung, Förderung des ÖPNV). Zudem wird eine Schaffung bzw. Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen empfohlen; damit ist auch gegebenenfalls die Entfernung oder Verlagerung störender Bauwerke verbunden.

Bei allen Planungen innerhalb dieser Flächenausweisungen sind detaillierte klimatisch-lufthygienische Fachgutachten notwendig.

Die rot gekennzeichneten Bereiche stellen bebaute Gebiete mit bedeutender klimarelevanter Funktion dar. Diese schließen sich im Innenstadtbereich an die dortigen Sanierungszonen an. Sie sind etwas lockerer bebaut als die Sanierungszonen und besser durchlüftet. Eine Nutzungsintensivierung dieser Gebiete würde zu einer Ausweitung der klimatischen Sanierungszone im Innerstadtbereich führen und sollte deshalb vermieden werden. Im Innenstadtbereich reichen die roten Bereiche auf der Ostseite bis zum Schlosspark bzw. zum Schloßparkstadion heran. Dies soll gewährleisten, dass die Luftzufuhr in die Innenstadt hinein möglichst nicht durch weitere Bebauung stärker eingeschränkt wird. Aus den gleichen Gründen

sollte auch eine Intensivierung der Bebauung südlich des Alten Friedhofes sowie nördlich des Südfriedhofes vermieden werden.

Weitere rote Bereiche befinden sich in Gebieten, die überwiegend als Stadtklimatop ausgewiesen wurden. Dies sind beispielsweise stärker versiegelte Flächen in den Ortsteilen um die Innenstadt herum, in Teilbereichen beidseitig der Bahnschienen nördlich des Bahnhofes Brühl, aber auch Teilbereiche der Ortsteile Kierberg, Vochem und Badorf.

Auch in Bereichen, in denen ein relevanter Talwind in das Stadtgebiet eindringt, sollte eine Nutzungsintensivierung vermieden werden. Dies betrifft beispielsweise die Bebauung entlang der Theodor-Heuss-Straße westlich der Innenstadt, die Bebauung beidseitig der Euskirchener Straße in Pingsdorf sowie der nördliche Teil von Eckdorf.

Auch Stadtrandbereiche, in denen Kaltluftabflüsse zu Beginn der Nacht ins Stadtgebiet hinein sickern, sollten von einer Nutzungsintensivierung freigehalten werden (z. B. Teile des Stadtrandes von Vochem, der Bereich östlich des Kierberger Bahnhofs, Teile von Heide, Brühl-West, der südliche Bereich von Eckdorf und der westliche Teil von Schwadorf u. a.).

Des Weiteren sollten auch bestehende Luftleitbahnen (z. B. entlang der Stadtbahnlinie Köln-Bonn im Bereich Brühl-Süd, nördlich des Bahnhofes Brühl, westlich der Römerstraße sowie in Vochem) erhalten oder möglichst nicht weiter zugebaut werden.

Bei Sanierungsmaßnahmen sollten in rot gekennzeichneten Bereichen Barrierewirkungen, zum Beispiel durch bestehende Baustrukturen beseitigt werden. Umnutzungen baulicher Art (z. B. Neubauten) sollten aus stadtklimatischen Gründen ausgeschlossen bleiben oder unter Berücksichtigung belüftungsstruktureller Gegebenheiten nur in Ausnahmefällen und unter Zugrundelegung strengster Auflagen ermöglicht werden. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die genannten Gebiete allesamt eine erhebliche klimatisch-lufthygienische Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen aufweisen. Weitere Bau- und Versiegelungsmaßnahmen führen zu negativen Auswirkungen auf die klimatische Situation. Für diese Gebiete wird daher eine Vergrößerung des Vegetationsanteils und eine Betonung bzw. Erweiterung der Belüftungsflächen empfohlen.

Bei nutzungsändernden Planungen für diese ausgewiesenen Flächen sind detaillierte klimatisch-lufthygienische Fachgutachten notwendig.

Für die von der Stadt Brühl vorgegebenen Potenziale für Wohnraum und Gewerbegebiete sind der Planungshinweiskarte folgende Einschätzungen getrennt für bereits rechtskräftige

(oder nahezu rechtskräftige) B-Pläne und weitere Gebiete zu entnehmen (siehe **Tab. 6.1** und **Tab. 6.2**).

Kenn Nr.	Beb. Ist	PHK1	PHK2	PHK3	Bemerkung	Planungshinweis
W	10 Ja	6			B-Plan weit fortgeschritten im Verfahren, hier als bebaut berücksichtigt	Ausrichtung der Bebauung parallel zu Kaltluftfließrichtung
W	12 Ja	5			Rechtskräftiger B-Plan	
W	16 Ja	5			Rechtskräftiger B-Plan	
W	17 Ja	5	6		B-Plan in Aufstellung, Rechtskräftig im Laufe 2018	Vorhandenen Westteil nicht verdichten
W	30.2 Ja	5			Rechtskräftiger B-Plan	
G	3 Ja	5			Rechtskräftiger B-Plan	
G	8 Ja	5			Rechtskräftiger B-Plan	
G	10 Ja	4			Rechtskräftiger B-Plan	
G	11 Ja	4	5		Rechtskräftiger B-Plan	
G	15 Nein				Rechtskräftiger B-Plan, nur Parkplätze, deshalb keine Planungshinweise	

Tab. 6.1: Einschätzung der einzelnen von der Stadt Brühl vorgegebenen Bebauungspotenziale entsprechend vorliegender Planungshinweiskarte für rechtskräftige B-Pläne PHK1/PHK2/PHK3: der jeweiligen Fläche zugeordnete flächenhafte Planungshinweis (durchnummeriert entsprechend der Karte von oben nach unten mit jeweiliger Farbgebung analog zur Planungshinweiskarte)
Hinweis: wenn pro Fläche nur ein Hinweis gegeben wird, ist nur in der Spalte PHK1 ein entsprechender Wert eingetragen, wenn mehrere Hinweise je Fläche gegeben werden, ist dies separat unter PHK2 und PHK3 vermerkt.

Rechtskräftige B-Pläne (oder solche, die es nahezu schon sind) wurden in der vorliegenden Untersuchung bereits als vollständig bebaut angesehen. Mit einer Ausnahme sind dort ortsübliche Bebauungen nicht hinderlich. Im westlichen Bereich des Gebietes W 17 (Bereich, der zum Teil bereits heute bebaut ist) sollte nach Möglichkeit keine Verdichtung der Bebauung stattfinden, da in diesem kleineren Teilbereich Kaltluft in das Gebiet W 17 eindringen kann (siehe **Tab. 6.1**). Im Gebiet W 10 sollte die Ausrichtung der Bebauung parallel zur Kaltluftfließrichtung beibehalten werden.

Das Gewerbepotenzial G 15 befindet sich im Kaltluftstrom, der den Ortsteil Schwadorf belüftet. Für diesen Bereich existiert ein rechtskräftiger B-Plan, der dort überwiegend Parkplätze vorsieht. Damit ist die Anlage von Bauwerken auf diesem Gebiet ausgeschlossen und die in Richtung Schwadorf einfließende Kaltluft in diesem Bereich wird nicht durch Bauwerke behindert. Deshalb entfallen für diesen Bereich die Planungshinweise.

Die Einschätzungen für alle weiteren Flächen sind in **Tab. 6.2** dargestellt.

In 14 Wohnpotenzialgebieten ist eine maßvolle ortsübliche Bebauung möglich, für weitere 9 Gebiete ist dies in Teilbereichen möglich. 11 Gebiete sind aus lokalklimatischer Sicht für eine

Bebauung weniger geeignet (Zuordnung Kategorie 1), da sie sich vollständig in Bereichen befinden, die einen Ausgleichsraum mit hoher Bedeutung darstellen.

Bei den Potenzialgebieten für Gewerbe ist eine Bebauung in 4 Gebieten möglich, in 3 weiteren Gebieten ist es mit Ausnahme kleinerer Randbereiche überwiegend möglich. In einem Bereich ist eine Bebauung lokalklimatisch ungünstig. Dies betrifft das Gebiet G 1.

In der Planungshinweiskarte werden des Weiteren Hinweise für mögliche Begrünungen gegeben. Dies sind Hinweise, die über die allgemeinen Begrünungshinweise aus der flächendeckenden Information hinausgehen.

Dabei sind beispielsweise Hinweise für Straßenräume (z. B. an den Straßen beidseitig des Eisenwerkes oder in der Uhlstraße in Höhe der Giesler-Galerie) zu nennen. Dort sollten großkronige Laubbäume angepflanzt werden, um die thermische Belastungssituation in diesem Bereich zu entspannen.

Des Weiteren werden zusätzliche Empfehlungen gegeben, um Wohngebiete zu begrünen. Dies soll dazu dienen, mögliche Grünzüge zu erhalten und/oder auszubauen. Beispiele für solche Art der Bepflanzung wären die Stärkung des vorhandenen Grünzugs nördlich der Theodor-Heuss-Straße, die Schaffung eines Grünbereiches vom Alten Friedhof in Richtung Osten sowie den Ausbau eines etwa von West nach Ost orientierten Grünzugs östlich des Ortsteils Brühl-West bis zur Pingsdorfer Straße. Auch der von Südwest nach Nordost verlaufende Grünzug von der Euskirchener Straße in Richtung Gallbergweiher im Ortsteil Badorf sollte auf diese Art und Weise gestärkt werden.

Kenn Nr.	Beb. Ist	PHK1	PHK2	PHK3	Bemerkung	Planungshinweis	Ortsübliche Bebauung
W	2 Nein	1			Neben Altem Friedhof, Beeinträchtigung Innenstadt		Nein
W	5 Nein	1				Grünzug erhalten bzw. ausbauen	Nein
W	11 Nein	2					Ja
W	14 Nein	2					Ja
W	15 Nein	2					Ja
W	18 Nein	2	1		NO-Teil in Kaltluftabfluss, Südteil nahe der A553 (Immission)		in Teilbereichen (ca. 1/2)
W	24.1 Nein	2					Ja
W	24.2 Nein	2					Ja
W	36 Nein	2					Ja
W	40 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Römerstraße		Nein
Neu	1 Nein	2	1		Südteil (ca. 1/4 der Fläche) in Luv des Talwindes des OT Schwadorf (Nordteil)		in Teilbereichen (ca. 3/4)
Neu	2 Nein	2	1		Südteil (ca. 1/3 der Fläche) in Luv des Talwindes des OT Schwadorf (Nordteil)		in Teilbereichen (ca. 2/3)
Neu	3 Nein	1			In Luv des Talwindes des OT Schwadorf		Nein
Neu	4 Zum Teil	2	5	1	Südteil im Nahbereich der A 553 (Immission)		in Teilbereichen (ca. 1/2)
Neu	5 Nein	2					Ja
Neu	6 Nein	2					Ja
Neu	7 Ja	5					Ja
Neu	8 Nein	2					Ja
Neu	9 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Römerstraße		Nein
Neu	10 Nein	2	1		Ostteil im Kaltluftabfluss Richtung Römerstraße (ca. 1/2)		in Teilbereichen (ca. 1/2)
Neu	11 Nein	2	1		Ostteil im Kaltluftabfluss Richtung Römerstraße (ca. 2/3)		in Teilbereichen (ca. 1/3)
Neu	12 Nein	2	1		Behinderung des Einfließens von Kaltluft aus Richtung Süd		in Teilbereichen (ca. 1/2)
Neu	13 Nein	2	1			Geplante Bebauungslücke zu "Neu 12" vergrößern wegen Kaltlufteinfluss	in Teilbereichen (ca. 2/3)
Neu	14 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Römerstraße		Nein
Neu	15 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung östliche Wohnbebauung		Nein
Neu	16 Nein	2					Ja
Neu	17 Nein	2					Ja
Neu	18 Nein	2					Ja
Neu	19 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Pingsdorf		Nein
Neu	20 Nein	1			Im Talwind parallel zur Theodor-Heuss-Straße		Nein
Neu	21 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Pingsdorf		Nein
Neu	22 Zum Teil	2	5				Ja
Neu	23 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Geildorf		Nein
Neu	24 Nein	2	1		Im Talwind und Kaltluftabfluss Richtung Eckdorf		in Teilbereichen (ca. 1/4)
G	1 Nein	1			Im Kaltluftabfluss Richtung Gewerbegebiet		Nein
G	4 Nein	2	1			Straßenrand unbebaut lassen	überwiegend ja
G	5 Zum Teil	2	5				Ja
G	6 Ja	5			zzt. überwiegend Parkplatz		Ja
G	7 Zum Teil	3	2	1		Straßenrand unbebaut lassen	überwiegend ja
G	9 Nein	2					Ja
G	16 Zum Teil	2	5				Ja
G	17 Nein	1	3			Straßenrand unbebaut lassen	überwiegend ja

Tab. 6.2: Einschätzung der einzelnen von der Stadt Brühl vorgegebenen Bebauungspotenziale entsprechend vorliegender Planungshinweiskarte. PHK1/PHK2/PHK3: der jeweiligen Fläche zugeordnete flächenhafte Planungshinweis (durchnummeriert entsprechend der Karte von oben nach unten mit jeweiliger Farbgebung analog zur Planungshinweiskarte)
Hinweis: wenn pro Fläche nur ein Hinweis gegeben wird, ist nur in der Spalte PHK1 ein entsprechender Wert eingetragen, wenn mehrere Hinweise je Fläche gegeben werden, ist dies separat unter PHK2 und PHK3 vermerkt.

7 FAZIT UND AUSBLICK

Die Stadt Brühl ist im Vergleich zu Großstädten wie zum Beispiel Stuttgart oder Dresden bezüglich der Durchlüftung eher bevorteilt. Im Zentrum der Stadt befinden sich jedoch Bereiche mit klimatisch-lufthygienischen Nachteilen, in denen bereits jetzt erhöhte Wärme- und Schadstoffbelastungen vorliegen. Aufgrund zukünftiger Klimaänderungen hin zu höheren Temperaturen wird dort selbst ohne Änderung der Bedingungen der Hitzestress zunehmen.

Die bei Strahlungswetterlagen einsetzenden Kaltluftabflüsse zu Beginn der Nacht und Talwinde in der zweiten Nachthälfte sowie vorliegende Luftleitbahnen tragen zu einer Mindestbelüftung des Stadtgebietes bei. Deshalb sollten die für diese Durchlüftung bedeutsamen Bereiche (Teilgebiete der roten und dunkelgrünen Flächen der Planungshinweiskarte) möglichst nicht weiter bebaut werden.

Die in der Planungshinweiskarte rot und lila gekennzeichneten Siedlungsbereiche stellen jedoch nicht zwangsläufig Bereiche dar, die in keinem Falle bebaut werden dürfen. Bei geplanten Nutzungsänderungen in diesen Bereichen sollten jedoch strenge Auflagen den jeweiligen Eingriff zumindest mildern. Vorstellbar wäre beispielsweise das Vorschreiben der Einbindung von Vegetation (Büsche, Bäume, Dach- und Fassadenbegrünung) in die Genehmigungen und eine damit verbundene Erhöhung des Grünvolumens. In jedem Falle sollte in diesen Bereichen Riegelbebauung quer zum Kaltluftabflüssen bzw. Talwind oder zur Luftleitbahn vermieden werden. Außerdem sollten ortstypische Bebauungshöhen nicht überschritten werden.

Allgemein können Nutzungsänderungsvarianten sehr vielfältig sein und in unterschiedlich sensiblen Stadtbereichen zu unterschiedlich großen Beeinträchtigungen führen. So beeinflussen beispielsweise einzelne Garagen wegen ihrer niedrigen Höhe und geringen Grundflächen die Wind- und Temperaturverhältnisse kaum, während hohe Riegelbebauung von mehrstöckigen Häusern in Luftleitbahnen oder Talwindschneisen die Durchlüftung stark herabsetzen können.

Im vorliegenden Bericht werden allgemeine Hinweise zur Wirkung von Bebauung gegeben. Detaillierte Vorgehensweisen für Genehmigungen im Einzelfall können im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht erarbeitet werden, da in der Maßstabsebene des Flächennutzungsplanes gearbeitet wird. Es wird aber empfohlen, bei stark nutzungsändernden Planungen in sensiblen Bereichen detaillierte klimatisch-lufthygienische Fachgutachten anfertigen zu lassen.

Weiterführend zum vorliegenden Projekt wäre es eventuell hilfreich, eine Checkliste bzw. einen Leistungskatalog zu erstellen, der zusätzliche Hilfestellung für die Bewertung klimatischer Belange im Rahmen der Bauleitplanung gibt, da je nach Plangebietsgröße, Art und Größe der Nutzungsänderung, klimatischer Sensitivität des Plangebietes etc. unterschiedliche Anforderungen an einen notwendigen Untersuchungsumfang gestellt werden müssen. Bei kleinen Plangebieten mit geringen Nutzungsänderungen reicht oftmals schon eine gutachterliche Stellungnahme aus. Für große Planungen in klimatisch sensiblen Räumen sind dagegen umfangreiche Gutachten ggf. mit komplexen Modellrechnungen notwendig, um die Auswirkungen ausreichend genau beschreiben zu können und ggf. auch Optimierungen durchführen zu können.

8 LITERATUR

- Düring, I., Bächlin, W., Ketzel, M., Baum, A., Friedrich, U., Wurzler, S. (2011): A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 20 067-073 (February 2011).
- DWD (1996): Klimadaten von Deutschland Zeitraum 1961 - 1990 (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sonnenschein, Bewölkung). ISBN 3-88148-324-1. Bearbeiter: G. Müller-Westermeier. Deutscher Wetterdienst 1996. Offenbach am Main.
- DWD (2017) Winddaten an der Station Köln-Bonn im Zeitraum 2007-2016. Download am 17.11.2017. ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/hourly/wind/historical/.
- Fezer, F. und Seitz, R. (1977): Klimatologische Untersuchungen im Rhein-Neckar-Raum. *Heidelberger Geographische Schriften*, Heft 47.
- Kommunalverband Ruhrgebiet (1992): Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet, Essen 1992.
- Land NRW (2017): Digitales Höhenmodell, Landnutzungsmodell und Gebäudemodell von Brühl und Umgebung, Geobasisdaten vom Land NRW (2017): Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).
- LANUV (2017a): Verkehrsbelegungsdaten für den Bereich in und um Brühl als shape-Dateien, E-Mail von Frau Scheuermann vom 08.08.2017.
- LANUV (2017b): Rasterdaten des Emissionskatasters (Emittentengruppe Hausbrand/Kleinf Feuerungen, Stand 2012) sowie Daten der Emittentengruppe Industrieanlagen (Stand 2016) als Punktquellen. E-Mail von Herrn Kobs vom 24.08.2017.
- LANUV (2017c): Daten zur flächenhaften Schadstoffhintergrundbelastung (EURAD-IM-Modellsimulationen für 2015) mit einer Auflösung von 1 km x 1 km, E-Mail von Frau Hebinghaus vom 18.10.2017.
- Mayer, H., Matzarakis, A. (1992): Stadtklimarelevante Kartierungen in München. In: *Annalen der Meteorologie* 28, Internationale Tagung für Human-Biometeorologie vom 16. bis 18. September 1992 in Freiburg. Hrsg.: Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- MetSoft (2006): GlobDEM50 V2.0, Deutschland, Digitale Höhendaten. Hrsg.: metSoft GbR, Heilbronn.
- Metsoft (2017a): Synthetische Windrosen im Bereich Brühl zur Darstellung in Google Earth. E-Mail von Frau Anke vom 21.09.2017.
- Metsoft (2017b): Synthetische Ausbreitungsklassenstatistik für den Standort des Eisenwerks in Brühl. E-Mail von Frau Anke vom 09.10.2017.

- Overwien, A. (1991): Untersuchung der Überwärmung und der Kaltluftzufuhr während austauscharmer Wetterlagen im Bereich der Stadt Brühl (Erftkreis). Teil I Wissenschaftliche Hausarbeit zur Erlangung des Diplomabschlusses im Fachbereich Geographie an der Rheinischen Friederich-Wilhelms-Universität zu Bonn und Teil II Karten, Grafiken und Tabellen. Köln, im August 1991.
- RVMO - Regionalverband Mittlerer Oberrhein (2010): Klimaanalyse Region Mittlerer Oberrhein 2010, Ermittlung natürlicher klimatischer Ausgleichsfunktionen. Karlsruhe, November 2010.
- Schädler, G., Lohmeyer, A. (1994): Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. In: Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3 167-171.
- Scherhag, R., Blüthgen, J., Lauer, W. (1977): Klimatologie. 9. Aufl. Braunschweig: Westermann Verlag, Braunschweig. ISBN N 3-14-160284-0, pp. 204.
- Schriftenreihe Raumordnung (1979): Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe "Raumordnung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Nr. 06.032.
- Stadt Brühl (2017): Zusätzliche Informationen zur Verkehrsbelastung in Brühl. E-Mail Herr Stoiber vom 04.09.2017.
- UBA (2017): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.3. (HBEFA 3.3) (aktualisierte Version vom 02.05.2017). Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit MKC Consulting GmbH und IVT/TU Graz. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.
- VDI (2000): Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung - Wind. Richtlinie VDI 3786, Blatt 2. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, Düsseldorf, Dezember 2000.
- VDI (2015): Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Richtlinie 3787, Blatt 1. Verein Deutscher Ingenieure, September 2015.

A N H A N G A1:
BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM

A1 Beschreibung des Kaltluftabflussmodells KALM

A1.1 Allgemeines

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über geneigtem Gelände sog. Kaltluftabflüsse bilden; dabei fließt in Bodennähe (bzw. bei Wald über dem Kronenraum) gebildete kalte Luft hangabwärts. Die Dicke solcher Kaltluftschichten liegt meist zwischen 1 m und 50 m, in sog. Kaltluftseen, in denen sich die Kaltluft staut, kann die Schicht auf über 100 m anwachsen. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt in der Größenordnung von 1 m/s bis 3 m/s. Die folgenden beiden meteorologischen Bedingungen müssen für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen erfüllt sein:

- i) wolkenarme Nächte: durch die aufgrund fehlender Wolken reduzierte Gegenstrahlung der Atmosphäre kann die Erdoberfläche kräftig auskühlen
- ii) großräumig windschwache Situation: dadurch kann sich die Tendenz der Kaltluft, an geeigneten Flächen abzufließen, gegenüber dem Umgebungswind durchsetzen.

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf, während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten.

Unter Umweltgesichtspunkten hat Kaltluft eine doppelte Bedeutung: zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Nimmt sie zu viele Schadstoffe auf, kann ihr Zufluss von Schaden sein. Vom Standpunkt der Regional- und Stadtplanung her ist es daher von großer Bedeutung, eventuelle Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können. Als Hilfsmittel dazu ist das im Folgenden beschriebene Modell erstellt worden.

A1.2 Modellbeschreibung

Das Modell verwendet die sog. Flachwassergleichungen, eine vereinfachte (vertikal integrierte) Form der Grundgleichungen der Strömungsmechanik. Durch diese Vereinfachung ist es möglich, das Modell mit relativ geringem Rechenzeit- und Speicherbedarf auch auf Personal Computern zu betreiben.

Die Bezeichnung "Flachwassergleichungen" hat sich eingebürgert; die Gleichungen eignen sich jedoch genauso zur Beschreibung der Strömung jedes relativ zur Umgebung schweren Fluids, z. B. von Wasser oder von kalter Luft. Eine solche Strömung hat folgende Charakteristika:

- Abfluss über geneigtem Gelände entsprechend der Hangneigung
- Weiterbewegen der "Kaltluftfront" auch über ebenem Gelände
- Auffüllen von Becken (Kaltluftseen)
- Einfluss der Schichtdicke auf Strömungsrichtung und -geschwindigkeit (Druckgradienten).

Angetrieben wird die Strömung durch die auftriebskorrigierte Erdbeschleunigung. Innerhalb der Flachwassergleichungen werden folgende Einflüsse auf die Strömung berücksichtigt:

- Advektion (Transport der Kaltluft mit der Strömung)
- Reibung zwischen Erdoberfläche und Luft: diese Reibung variiert mit der Landnutzung (Freiland: niedrige Reibung, Siedlung: hohe Reibung)
- Beschleunigung oder Abbremsen der Strömung durch Änderung der Geländehöhe und/oder der Kaltluftschichtdicke
- von der Landnutzung abhängige Nullpunktverschiebung des Geländeniveaus zusätzlich zur topografischen Geländehöhe
- von der Landnutzung abhängige Kaltluftproduktion.

Das Lösungsverfahren ist ein Differenzenverfahren mit variabler Gitterpunktzahl und Gitterweite, d. h. Topografie und Landnutzung müssen an den einzelnen Gitterpunkten digitalisiert vorliegen; es wird ein versetztes Gitter verwendet. Um großskalige Einflüsse (z. B. Flusstäler) bei gleichzeitiger hoher Auflösung im interessierenden Gebiet zu berücksichtigen, kann das Modell auf einem geschachtelten Gitter ("Nesting") betrieben werden.

Falls keine Kaltluftseebildung auftritt, wird die Rechnung nach etwa 1 h simulierter Zeit stationär, d. h. die berechneten Werte ändern sich dann nicht mehr signifikant. Im Allgemeinen Fall ist es sinnvoll, etwa 3 h bis 6 h zu simulieren; dies entspricht den Verhältnissen in der Natur.

A1.3 Eingabedaten und Ergebnisse des Modells

Vorausgesetzt wird die in Abschnitt 1 genannte für Kaltluftabflüsse optimale Situation, d. h. eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung, ausgehend vom Ruhezustand (keine Strömung) bei gegebener zeitlich konstanter

Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Zurzeit werden 8 Landnutzungsklassen berücksichtigt: dichte Bebauung, lockere Bebauung, Gewerbegebiete, Wald, Freiland, Wasser, Gleisanlagen und Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze). Für die Kaltluftproduktionsraten, Reibungskoeffizienten und Nullpunktverschiebungen sind Standardwerte vorgesehen, welche aber bei Bedarf geändert werden können. Die Kaltluftproduktionsrate von Wald wird in Abhängigkeit von der lokalen Hangneigung variiert. Weiterhin benötigt das Modell die Topografie in digitalisierter Form. Die Skala des Modells ist beliebig (i. a. etwa 10 km x 10 km), die Auflösung liegt zwischen etwa 20 m und 200 m.

Berechnet wird die Dicke der Kaltluftschicht sowie die beiden horizontalen Geschwindigkeitskomponenten (West-Ost und Süd-Nord), gemittelt über die Dicke der Kaltluftschicht. Aus diesen Größen kann dann auch der Kaltluftvolumenstrom berechnet werden.

Zur Weiterverarbeitung der Modellergebnisse stehen Postprozessoren u. a. zur grafischen Darstellung der berechneten Felder (Vektor- und Rasterdarstellung), zur Berechnung und Darstellung von Kaltluftvolumenströmen durch wählbare Schichten, zur Visualisierung der Strömung durch Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien und zur Darstellung von Zeitreihen an ausgewählten Punkten zur Verfügung.

Durch Kopplung der von KALM berechneten Windfelder mit Eulerschen oder Lagrangeschen Ausbreitungsmodellen, wie z. B. LASAT, kann die Schadstoffausbreitung in Kaltluftabflüssen berechnet und z. B. in Immissionsstatistiken eingearbeitet werden.