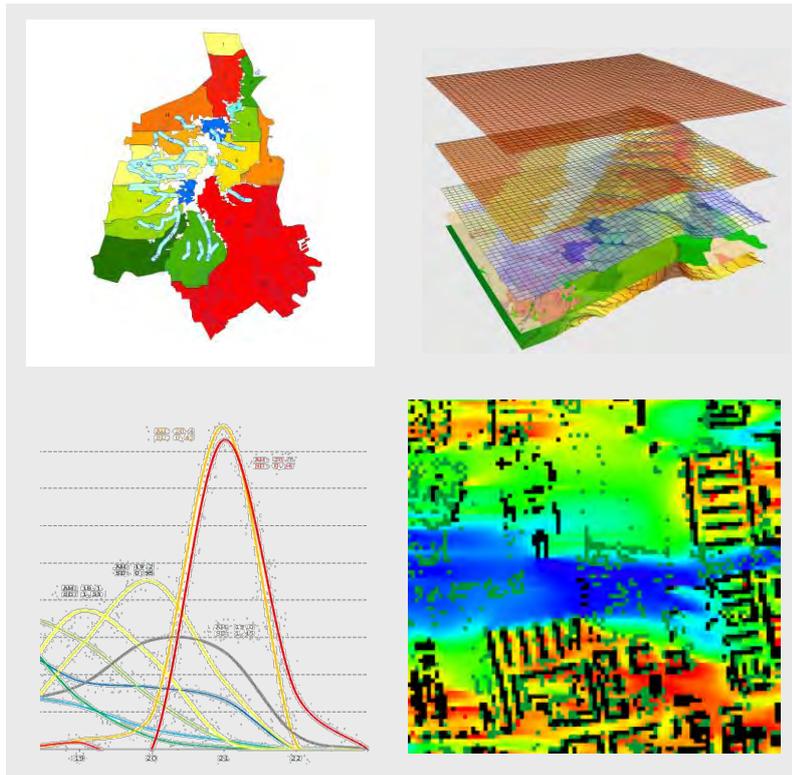


# Eingriffsbewertung Themenkomplex „Kaltlufthaushalt“ in stadtklimatischen Baubeschränkungsbereichen

anhand des exemplarischen Stadtausschnitts „Schrote“



Auftraggeber:

**Landeshauptstadt Magdeburg**

Umweltamt

Stabstelle Klimaschutz/Umweltvorsorge

Julius-Bremer-Straße 8-10

39104 Magdeburg



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a

3 0 1 6 1 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Methode .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Das mikroskalige Modell ASMUS_green.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Analyse der klimaökologischen Auswirkungen von Ist- und Planzuständen .....</b>	<b>9</b>
	3.1 Der Ist-Zustand .....	9
	3.2 Analyse von drei ausgewählten Planzuständen .....	11
	3.3 Vertikalprofile.....	16
	3.4 Auswirkungen der Bebauung auf die angrenzenden Wirkräume .....	17
<b>4</b>	<b>Ableitung der Eingriffsbewertung und Empfehlungen für den Umgang mit Planverfahren in klimaökologischen Baubeschränkungsbereichen .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Klimaökologische Prozessräume im Stadtgebiet von Magdeburg .....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Gesamtstädtische Betrachtung der Kaltluftleitbahnen Magdeburgs .....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>34</b>
	7.1 Maßnahmen im Bereich der Kaltluftleitbahn.....	35
	7.2 Maßnahmen für den thermisch belasteten Siedlungsraum .....	37
	7.3 Leitbahn- und wirkungsraumbezogene Maßnahmen.....	41
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>43</b>
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>44</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die Szenarien im Modellgebiet „Schrote“ .....	5
Abb. 2: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage .....	6
Abb. 3: Räumliche Verteilung von Temperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Ist- zustand .....	10
Abb. 4: Die Bilanzräume „Nord“, „Süd“, „Lee“ und „Ost“ .....	11
Abb. 5: Darstellung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Plan- Zustand sowie Darstellung der Differenz zwischen Plan- und Ist-Zustand für das Szenario 2/3, längs, westliche Position .....	13
Abb. 6: Darstellung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Plan- Zustand sowie Darstellung der Differenz zwischen Plan- und Ist-Zustand für das Szenario 3/3, quer, westliche Position .....	14
Abb. 7: Darstellung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Plan- Zustand sowie Darstellung der Differenz zwischen Plan- und Ist-Zustand für das Szenario 3/3, komplett bebaut, östliche Position .....	15
Abb. 8: Höhenprofil der Differenz der Lufttemperatur, der vertikalen Windgeschwindigkeit und der absoluten Windgeschwindigkeit (Plan minus Ist-Zustand) .....	16
Abb. 9: Gliederung des östlichen Wirkungsraumes in einen nördlichen (gelb), zentralen (blau) und südlichen Bereich (rot) .....	20
Abb. 10: Entscheidungshilfe für den Umgang mit Planverfahren in klimaökologischen Baubeschränkungsbereichen .....	22
Abb. 11: Prozessraum im Bereich „Schrote“ .....	25
Abb. 12: Aggregiertes Windfeld in den Prozessräumen Magdeburgs .....	27
Abb. 13: Kaltlufthaushalt in den Prozessräumen Magdeburgs .....	28
Abb. 14: Zuordnung zu Grün- und Siedlungsflächen .....	29
Abb. 15: Bioklimatische Situation in den Prozessräumen .....	30
Abb. 16: Kaltluftleitbahnen Magdeburgs mit ihrer Kernzone (gelb) und Bebauung (schwarz) .....	32



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Differenz der mittleren Temperatur: Plan – Ist-Zustand.....	17
Tab. 2: Differenz der mittleren Windgeschwindigkeit: Plan – Ist-Zustand.....	18
Tab. 3: Differenz des mittleren Kaltluftvolumenstroms: Plan – Ist-Zustand (sortiert nach Stärke der Reduktion des Kaltluftvolumenstroms im östlich angrenzenden Wirkungsraum); Erklärung der Spalte „Punkte“ vgl. Kapitel 4.....	19
Tab. 4: Differenz des mittleren Kaltluftvolumenstroms im südlichen Teilraum des östlich angrenzenden Wirkungsraumes (Plan – Ist-Zustand) .....	21
Tab. 5: Eigenschaften der Magdeburger Kaltluftleitbahnen .....	33
Tab. 6: Maßnahmen zum Erhalt der Funktionen von Kaltluftleitbahnen und zur Verbesserung der klimaökologischen Situation in belasteten Wirkungsräumen.....	34



## 1 Einleitung und Methode

Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete („Ausgleichsräume“) und belastete Siedlungsräume („Wirkungsräume“) miteinander und sind somit elementarer Bestand des Luftaustausches. Gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten, Friedhöfe, Gleisareale und breite Straßenräume sind geeignete Oberflächenstrukturen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern. Die Stadt Magdeburg verfügt über relativ große Kleingartenareale und in den Stadtrandbereichen eine vorwiegend lockere Bebauung (Einfamilienhäuser, Reihenhausbauung), die auch Teil des klimaökologischen Ausgleichssystems darstellen können. In vorgeschalteten Untersuchungen ist der Bebauungstyp „Einfamilienhäuser mit großen unversiegelten Grundstücken“ (Kenngrößen: 1.000 m<sup>2</sup> Grundstücke, davon nicht mehr als 20 % überbaut) als klimaökologisch günstig bewertet worden, da er die Leitbahnfunktion nicht stört (= kein großes Strömungshindernis).

Anhand eines exemplarischen, aus dem Kaltlufthaushalt abgeleiteten Baubeschränkungsbereich soll geklärt werden, ob eine teilweise Umnutzung von Leitbahnelementen möglich ist, ohne dass die klimaökologisch wichtige Funktion als Kalt-/Frischluftleitbahn nachhaltig gestört oder sogar unterbunden wird. Der Untersuchungsfokus liegt dabei auf dem Gebiet der Schrote, welche das kaltlufthaushaltliche Prozessgeschehen abbildet. Das ca. 2 km<sup>2</sup> große Areal hat eine direkte Anbindung zu den großflächigen, kaltluftproduzierenden, landwirtschaftlich genutzten Flächen zwischen Autobahn und Stadtrand.

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes durch die zusätzlichen Baufelder gelegt. Die Wirkrichtung und Wirkintensität von Flächennutzungsänderungen in der Luftleitbahn wird über eine Sensitivitätsstudie ermittelt. Dazu wird an einer definierten Stelle in der Leitbahn ein Hindernis platziert, dessen Wirkung (Reduzierung des durchströmbaren Leitbahnquerschnitts) sich schrittweise erhöht (Abb. 1). Die Auswirkungen werden anhand von Indikatoren qualitativ und quantitativ bestimmt. Als Indikatoren dienen die Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom.

Je nach Bebauungsgrad (1/3, 2/3 oder 3/3 Bebauung der Leitbahn), der Position (W - westlich, Z - zentral, O - östlich) und der Gebäudeausrichtung (West-Ost bzw. „längs“, Nord-Süd bzw. „quer“, komplett bebaut bzw. „voll“) ergeben sich damit 27 verschiedene Einzelszenarien, die mit dem mikroskaligen Klimamodell ASMUS\_green simuliert werden. Während die West-Ost-Zeilenbebauung in Strömungsrichtung ausgerichtet ist, verläuft die Nord-Süd-Zeilenbebauung quer zum Hauptwindfeld und stellt damit ein größeres Strömungshindernis dar.

Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar



(Abb. 2). Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen.

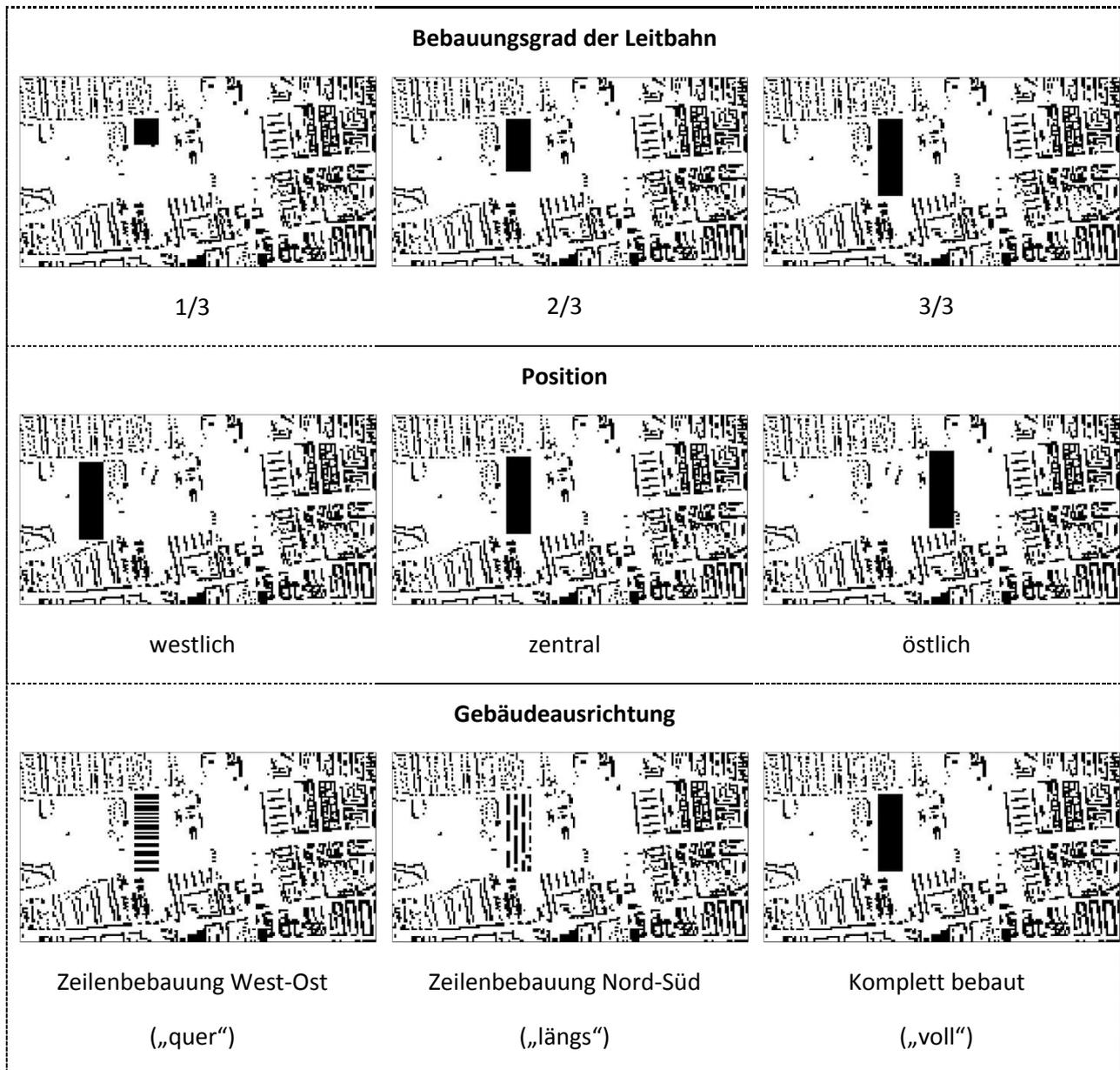
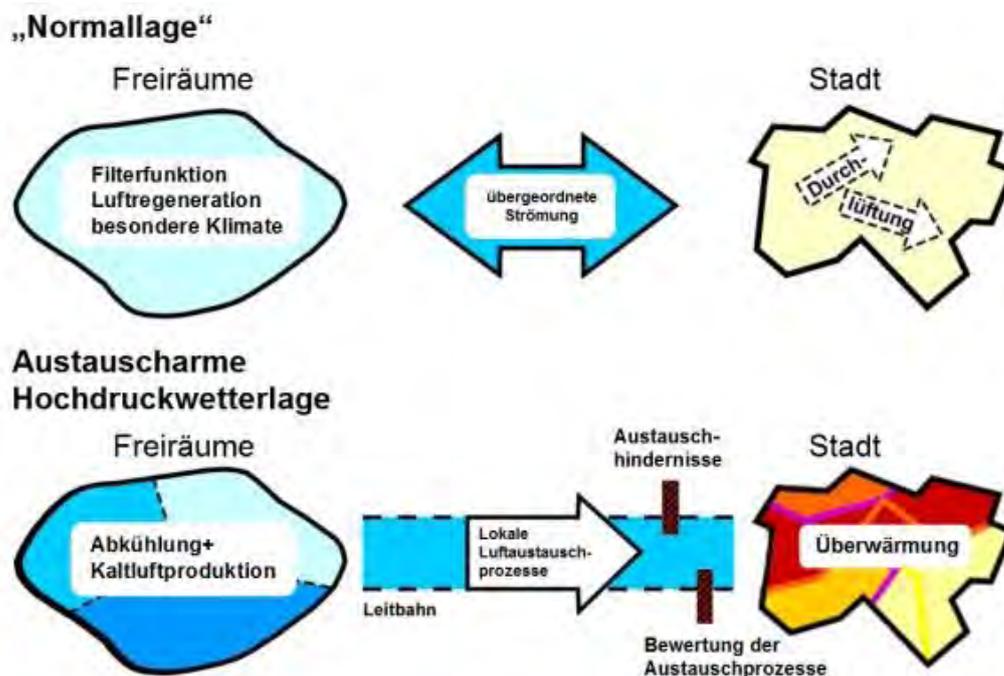


Abb. 1: Die Szenarien im Modellgebiet „Schrote“



**Abb. 2:** Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Das Stadtgebiet von Magdeburg verfügt über ein ausgedehntes Leitbahnsystem. Ziel der Studie ist, die am Beispiel der Schrote gewonnen Erkenntnisse auch auf andere Leitbahnbereiche Magdeburgs zu übertragen, um eine generelle Aussage zur Verträglichkeit von Nutzungsänderungen in diesen Raumstrukturen zu erhalten. Dazu wird ein Bewertungsschema für die Bebauung einer Kaltluftschneise entwickelt.

Für ein besseres Verständnis der gesamtstädtischen Strukturen wird das Stadtgebiet anschließend nach dem Prozessgeschehen „Kaltlufthaushalt“ gegliedert. Basis sind die Ergebnisse der aktuellen Klimaanalyse Magdeburg (2013). Zur Erarbeitung von individuellen Planungshinweisen auf gesamtstädtischer Ebene wird das Leitbahnsystem Magdeburgs in einem weiteren Kapitel untersucht. Aus den gewonnen Erkenntnissen wird zuletzt ein Handlungsleitfaden für den Umgang mit Bautätigkeiten in klimaökologischen Baubeschränkungsbereichen entwickelt. In diesem Leitfaden sind die wichtigsten Maßnahmen für die Kompensation negativer klimatischer Effekte, die durch eine weitere Bebauung hervorgerufen werden, zusammengestellt.



## 2 Das mikroskalige Modell ASMUS\_green

ASMUS\_green (**A**usbreitungs und **S**trömungs-**M**odell für **U**rbane **S**trukturen und **B**egrünung) ist ein numerisches Modell zur mikroskaligen Simulation der dreidimensionalen Wind- und Temperaturverteilung, sowie der thermischen Behaglichkeit innerhalb von Städten. Es gehört zu einer neueren mikroskaligen Modellgeneration und verbindet die Betrachtung der Strömung im Bereich von Gebäuden und Bäumen mit der Berechnung der Energiebilanz von begrünten und unbegrünten Oberflächen.

Die dreidimensionale Dimensionierung, sowie die Bauphysikalischen-/ Vegetationsparameter von Gebäuden und Bäumen haben direkten Einfluss auf die Simulationsergebnisse. So können zum Beispiel der typische Blattflächenindex einer Baumart und die Dachform eines Gebäudes mit in die Strömungsrechnungen einfließen.

Die Oberflächeneigenschaften von Gebäuden und Vegetation beeinflussen die simulierte Lufttemperatur unter anderem über ihre Albedo, Wärmeleiteigenschaften und vegetationspezifischen Charakteristika (z.B. Transmissivität und Verdunstungseigenschaften).

Das Modell basiert auf den üblichen meteorologischen Grundgleichungen: Navier-Stokes- und Kontinuitäts-Gleichung, 1. Hauptsatz der Thermodynamik und einer Gleichung für die spezifische Feuchte. Gebäude und Bäume werden vom Modell explizit als dreidimensionale Körper mit impermeablem beziehungsweise semipermeablem Gittervolumen dargestellt. Ihre Oberflächentemperaturen werden in Abhängigkeit von ihrer spezifischen Orientierung und ihren physikalischen Eigenschaften über eine Energiebilanz berechnet. ASMUS\_green berechnet den kurz- und langwelligen Wärmestrom inklusive diffuser mehrfach Reflektion von Strahlung an Oberflächen und atmosphärischer Gegenstrahlung, den turbulenten fühlbaren Wärmestrom, den Wärmestrom aus der darunterliegenden Fläche (Erdboden bzw. Gebäude), sowie den turbulenten Verdunstungswärmestrom bei Bäumen und Oberflächenbegrünung. Die Verdunstung ist abhängig von der relativen Feuchte der Luft, der solaren Einstrahlung und insbesondere von dem den Pflanzen zur Verfügung stehenden Bodenwassergehalt. Dieser beeinflusst den Stomatawiderstand in Abhängigkeit von der Art der Vegetation. Der Bodenwassergehalt wie auch die Bodentemperatur kann direkt vorgegeben werden oder mit einer Langzeit-Simulation mittels ASMUS\_green berechnet werden.

Das mikroskalige Modellgebiet ist Teil der atmosphärischen Grenzschicht. Die großräumige Wetterlage, ihre Änderung und Wirkung auf das Modellgebiet müssen berücksichtigt werden. ASMUS\_green wird daher entweder mit einem eindimensionalen Grenzschichtmodell oder den Ergebnissen des mesoskaligen Modells FITNAH angetrieben, das den Zustand der Atmosphäre und ihre tageszeitlichen Variationen bis in eine Höhe von 2000 m simuliert. Auf diese Weise ist ein Antrieb des Modells mit unterschiedlichen Ausgangstemperaturen und thermischen Schichtungen möglich.

Als Eingangsdaten benötigt ASMUS\_green neben den meteorologischen und Bodenwasser-Daten Informationen über die Lage und Größe von Gebäuden, Bäumen, Straßen, begrünten und anderen Oberflä-



chen. Ihre Albedo und Wärmeleitfähigkeit sind die wichtigsten physikalischen Eigenschaften die für eine Simulation notwendig sind.

Die Simulationen werden auf einem kartesischen Gitter mit Gitterweiten von 1-10 m in der Horizontalen und 0,5–2 m in der Vertikalen in Bodennähe durchgeführt. In Abhängigkeit von der Auflösung sind Modellgebietsgrößen bis ca. 150 km<sup>2</sup> möglich.

Mit Asmus\_green können von individuellen Tageszeitausschnitten und kompletten Tagesgängen, bis hin zu mehrtägigen (extremen) Wetterlagen und statistisch interpolierten Jahreskenngrößen (z.B. meteorologische Kenntage und Hitzestressanteile) simuliert werden.



### 3 Analyse der klimaökologischen Auswirkungen von Ist- und Planzuständen

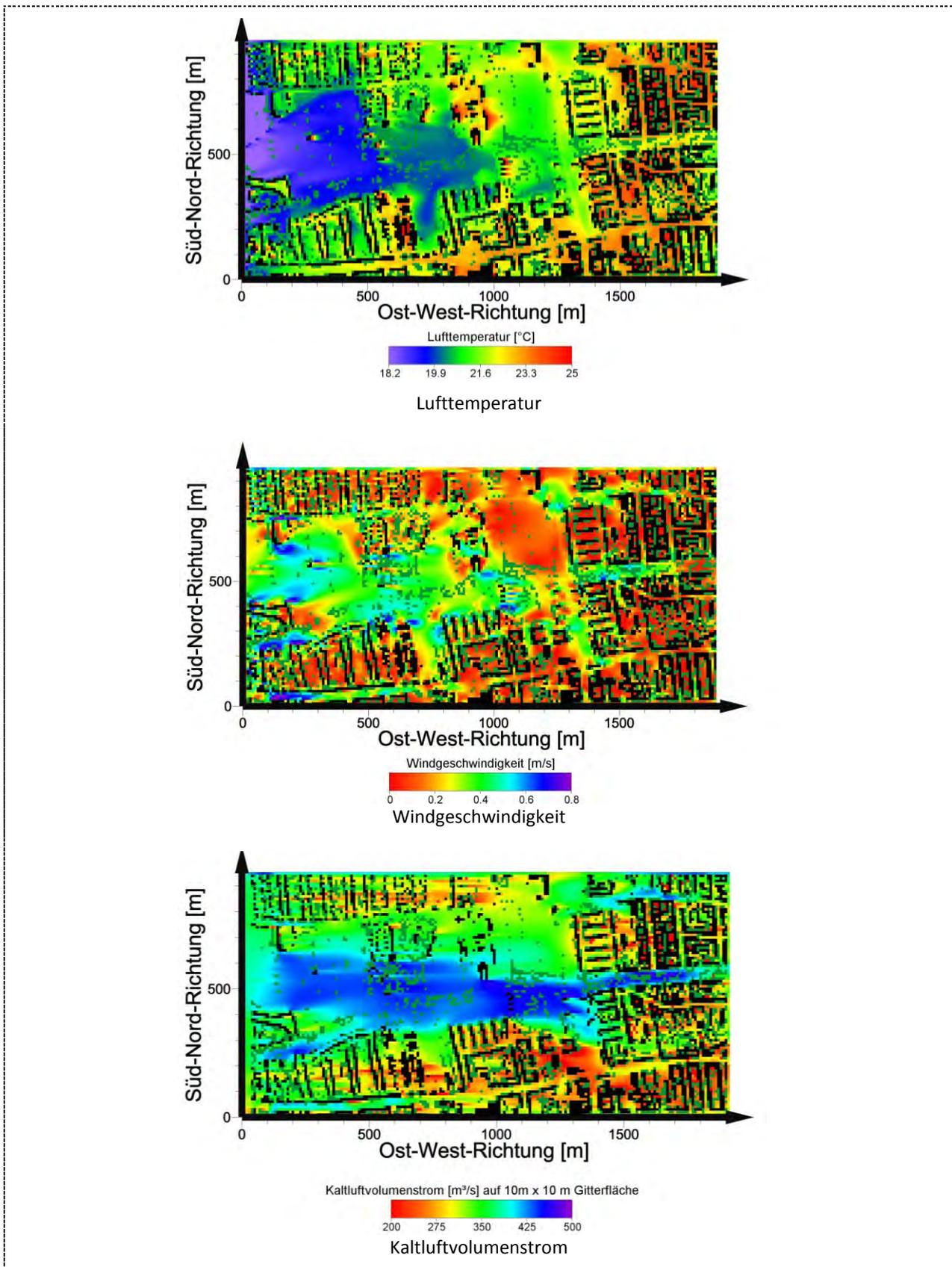
Im Folgenden werden drei klimatologische Kenngrößen (Temperatur, Windgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom) für eine sommerliche, austauscharme Strahlungswetterlage in der Nachtsituation (4 Uhr morgens) analysiert. Der Kaltluftvolumenstrom dient als quantitativer Parameter für die Ausgleichsleistung von Kaltluftentstehungsflächen und gibt das transportierte Volumen an Kaltluft durch eine definierte vertikale Fläche senkrecht zur Strömungsrichtung an. Dabei wird das transportierte Luftvolumen über die absolute Höhe der Kaltluftschicht aufsummiert (integriert). Die horizontale Breite der Fläche entspricht bei den hier durchgeführten Auswertungen der Gitterweite des Strömungsmodells. Der Kaltluftvolumenstrom ist damit ein Maß für die Menge an Kaltluft, die aus einer Gitterzelle des Modells auströmt. Als Mittelwert für eine Grünfläche ist der Kaltluftvolumenstrom damit ein Maß für die Kaltluftlieferung dieser Fläche.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Bebauungsszenarien fasst dieses Kapitel die wichtigsten Ergebnisse der ASMUS-Modellierung zusammen. Die Berechnungen erfolgten auf der Basis eines Gitters mit 10 m Auflösung. Das Untersuchungsgebiet „Schrote“ erstreckt sich auf etwa 2 x 1 km und liegt als Teil des Prozessgebiets Nr. 16 im Stadtteil „Stadtfeld“. (vgl. Kapitel 5, Abb. 11 und Abb. 13) Es befindet sich im westlichen Teil Magdeburgs, ca. 2 km westlich des Stadtzentrums. Eine Kaltluftleitbahn zieht sich von West nach Ost durch das Gebiet, das von Westen her relativ frei angeströmt wird.

#### 3.1 Der Ist-Zustand

In der dreiteiligen Abb. 3 wird die räumliche Verteilung von Temperatur und Windgeschwindigkeit in 2 m über dem Grund (Aufenthaltsbereich des Menschen) sowie der Kaltluftvolumenstrom abgebildet. Klar ist zu erkennen, dass die Temperaturen in der Leitbahn (Frei- und Grünflächenbereich) am niedrigsten sind, während die bebauten Bereiche eine geringere nächtliche Abkühlung anzeigen. Insbesondere die Blockrandbebauung im östlichen Wirkungsraum weist relativ hohe Temperaturen auf. Generell erkennt man im Lee - (d. h. windabgewandten) Bereich, also jeweils östlich der Gebäude, höhere Temperaturen als im Luv - Bereich. Durch die Mitte des östlichen Siedlungsraumes verläuft in Ost-West Richtung ein Band niedrigerer Temperatur, welches dort durch den relativ großen Abstand der Bebauung zueinander sowie der Ausrichtung parallel zur Strömungsrichtung begründet werden kann.

Das lokale Windfeld zeigt erwartungsgemäß die höchsten Windgeschwindigkeiten über der zentralen Freifläche. Diese wird frei von Westen angeströmt. Da West die Hauptwindrichtung ist, zeigt sich im Bereich östlich der Gebäude eine verminderte Windgeschwindigkeit (besonders zu erkennen an den Gebäuden in der Mitte der Abb. 3). Der Kaltluftvolumenstrom im Untersuchungsgebiet wird in Abb. 3 unten dargestellt. Deutlich zieht sich die Strömung von Westen kommend über die zentrale Freifläche bis in den östlichen Wirkungsraum hinein. In den Zonen dichter Bebauung, besonders bei Blockrandbebauung, zeigt der Kaltluftvolumenstrom nur sehr geringes Ausmaß. Der Baum- und Gehölzbestand (dunkelgrün; vor allem im mittleren Bereich der Freifläche) wirkt sich kaum auf den Kaltluftvolumenstrom aus.



**Abb. 3:** Räumliche Verteilung von Temperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Ist-zustand



### 3.2 Analyse von drei ausgewählten Planzuständen

Im Folgenden wird anhand von 3 unterschiedlichen Szenarien für Plan-Zustände beispielhaft der Einfluss der drei Parameter „Bebauungsgrad“, „Position“ und „Gebäudeausrichtung“ dargestellt. Dabei soll Szenario 1 als Beispiel für eine unbedenkliche Variante dienen, während Szenario 2 eine Variante ist, die eventuell kritische Betrachtung erfordert. Szenario 3 dient als Beispiel, das aufgrund der starken negativen Auswirkungen nicht empfohlen wird.

Bei Betrachtung der Auswirkungen der Bebauung auf die angrenzenden Wirkungsräume ist es sinnvoll, den umgebenden Siedlungsraum in verschiedene Abschnitte zu gliedern (Abb. 4).

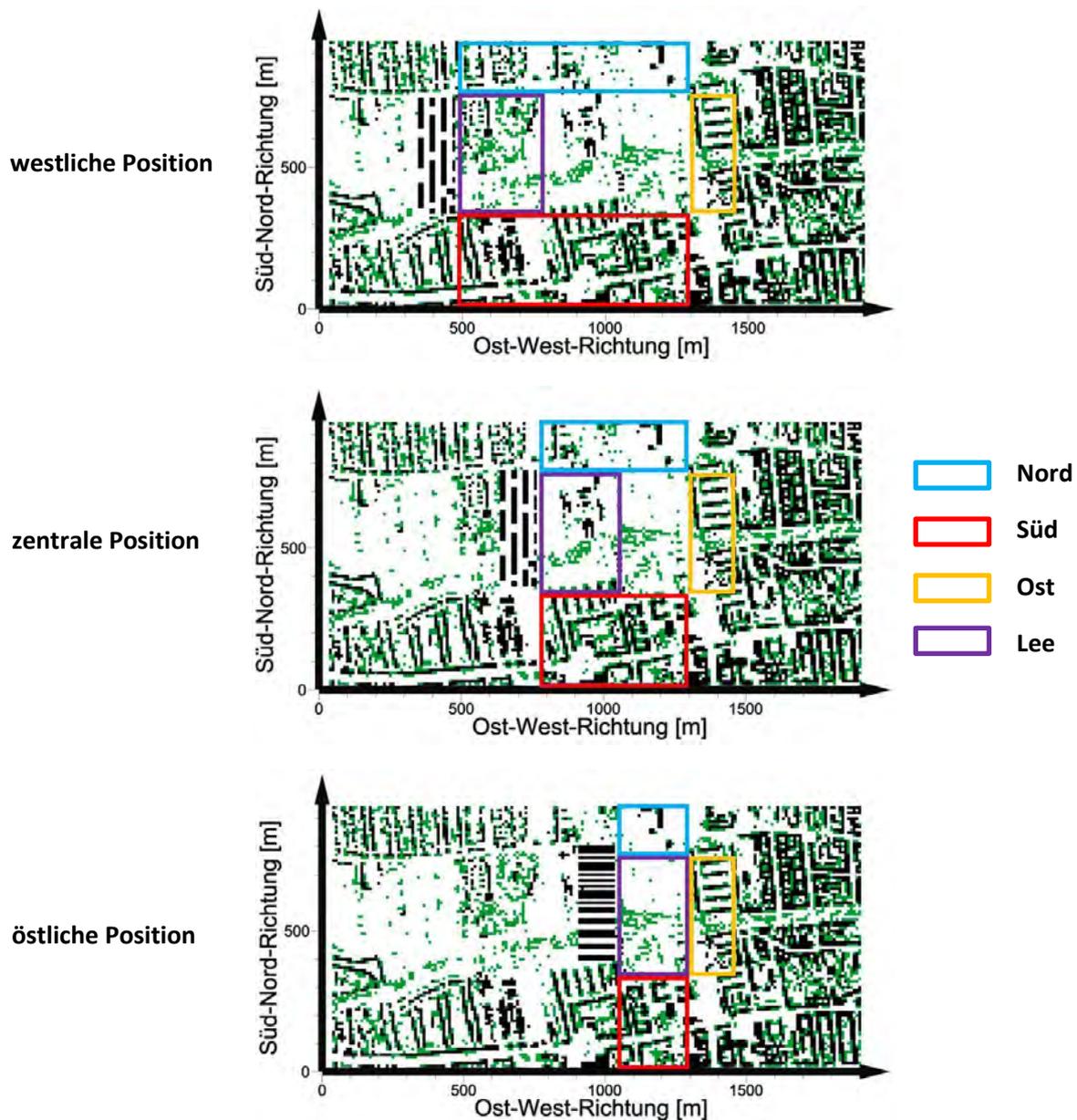


Abb. 4: Die Bilanzräume „Nord“, „Süd“, „Lee“ und „Ost“



Je nach Position des Hindernisses variiert die Lage und Größe der Bilanzräume „Nord“, „Süd“ und „Lee“. In den Tabellen 1 bis 3 (vgl. Kapitel 3.4) wurde das Gebietsmittel der drei Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom für diese einzelnen Bilanzräume ermittelt. Der nachfolgende Abschnitt beschreibt, wie sich eine weitere Bebauung auf die einzelnen Teilbereiche auswirkt.

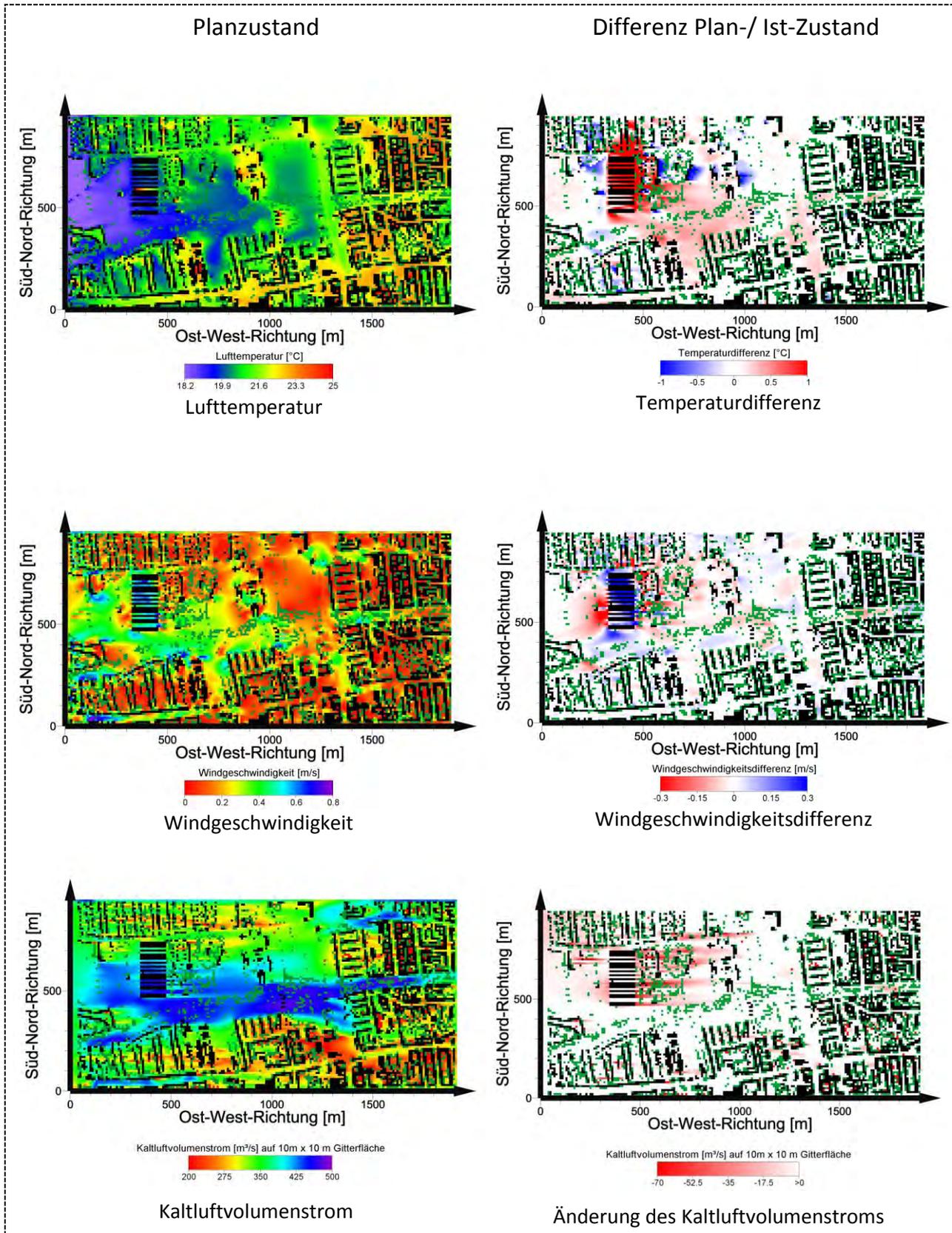
In Szenario 1 ist die Situation für eine in Längsrichtung orientierte 2/3 Bebauung an der westlichen Position dargestellt. Sehr deutlich ist die erhöhte Temperatur im Bebauungsbereich sowie bis einige hundert Meter im Leebereich davon erkennbar, ebenso wie die reduzierte Windgeschwindigkeit im Luv- und im Leebereich. Das Resultat ist ein reduzierter Kaltluftvolumenstrom. Allerdings beschränkt sich diese negativ zu bewertende Auswirkung räumlich lediglich auf die Freifläche im Zentrum des Modellgebietes; die Siedlung im östlichen Bereich wird kaum beeinflusst. Die Windströmung wird durch die Gebäude nach Nord und Süd abgelenkt und dadurch beschleunigt. Dies ist der Grund für eine leicht erhöhte Menge des Kaltluftvolumenstroms im nördlichen und südlichen Wirkungsraum (Abb. 5).

Der Unterschied zwischen Szenario 1 und Szenario 2 liegt in der Gebäudeausrichtung (quer zur Strömungsrichtung) sowie im Bebauungsgrad, der hier 3/3 beträgt. Hier zeigt sich im Leebereich eine stark reduzierte Windgeschwindigkeit und dadurch eine deutlich stärkere Temperaturzunahme als in Szenario 1. Diese Auswirkungen erstrecken sich bis an die Randgebiete des östlichen Wirkungsraums heran (Abb. 6).

Szenario 3 zeigt den „Worst-Case“: Eine volle 3/3 Bebauung im östlichen Bereich des Ausgleichsraums. Die Luftströmung wird hier sehr stark behindert: vor und hinter der geplanten Bebauung nimmt die Windgeschwindigkeit deutlich ab. Kalte Luft wird im Luvbereich des Gebäudeblocks angestaut, während im Leebereich die nächtliche Abkühlung vermindert wird. Dieser negative Effekt erstreckt sich bis in den östlichen Siedlungsraum hinein (Abb. 7).



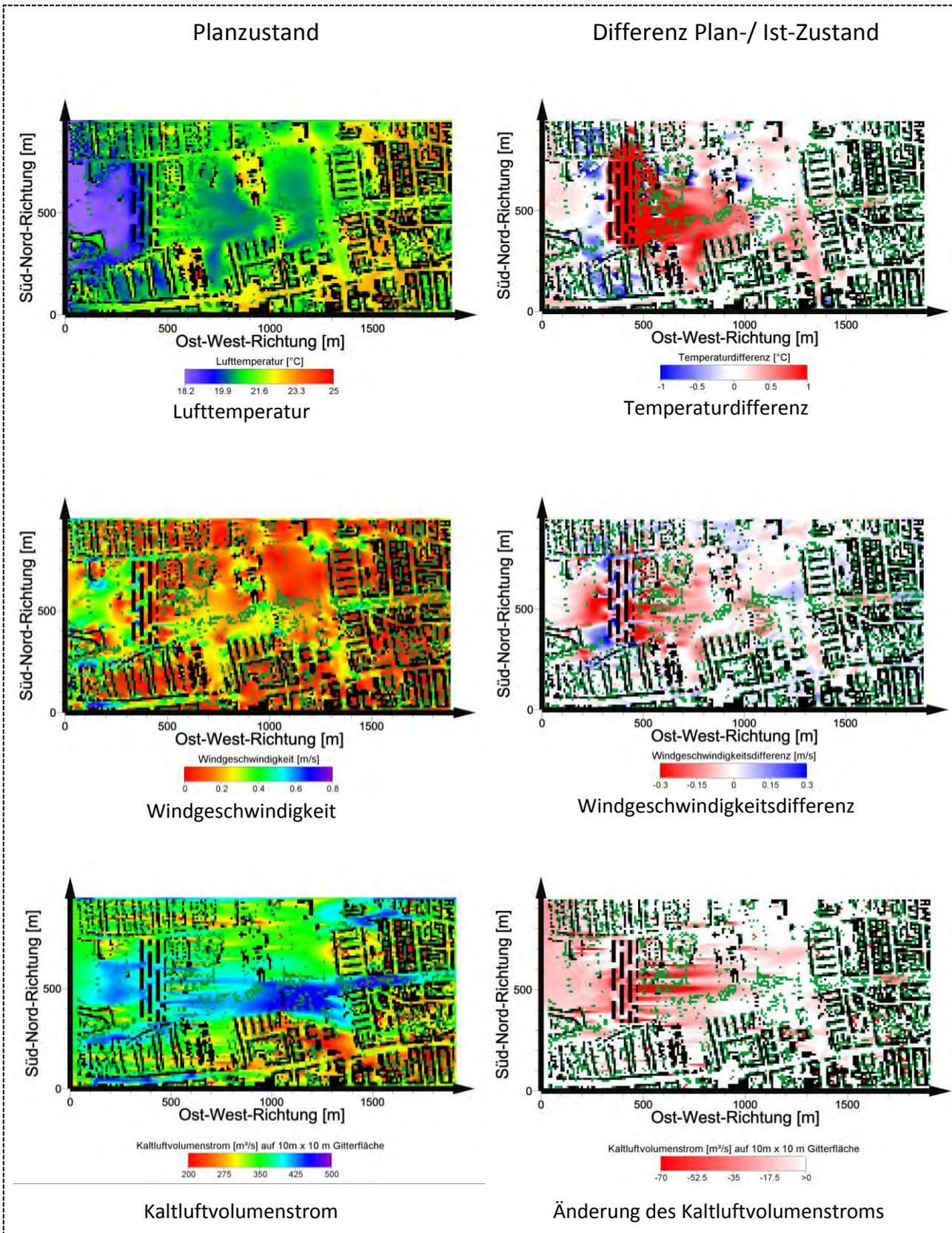
**Szenario 1:** Bebauungsgrad: 2/3, Gebäudeausrichtung: längs, Position: West



**Abb. 5:** Darstellung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Plan-Zustand sowie Darstellung der Differenz zwischen Plan- und Ist-Zustand für das Szenario 2/3, längs, westliche Position



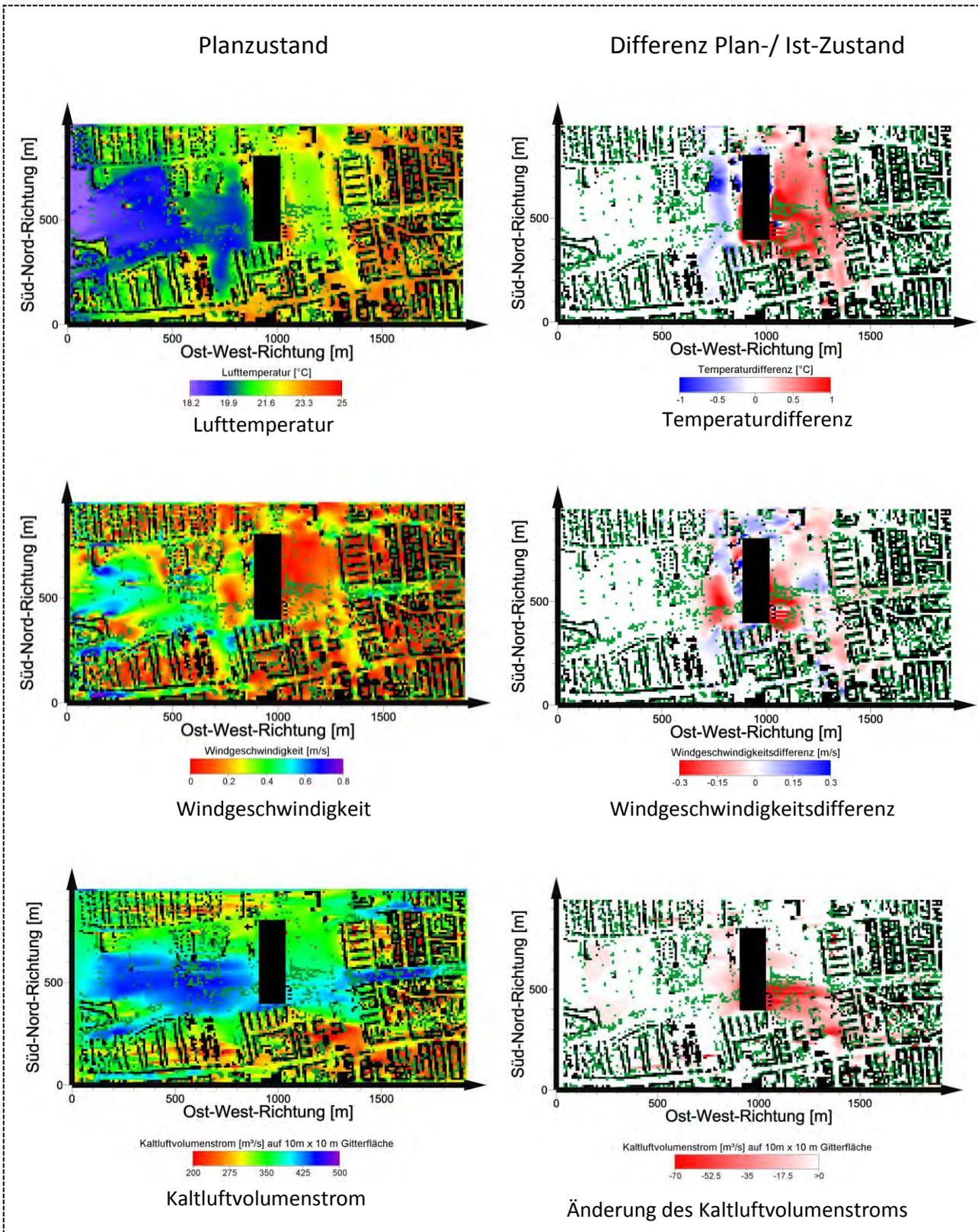
**Szenario 2:** Bebauungsgrad: 3/3, Gebäudeausrichtung: quer, Position: West



**Abb. 6:** Darstellung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Plan-Zustand sowie Darstellung der Differenz zwischen Plan- und Ist-Zustand für das Szenario 3/3, quer, westliche Position



**Szenario 3:** Bebauungsgrad: 3/3, Gebäudeausrichtung: komplett bebaut, Position: Ost

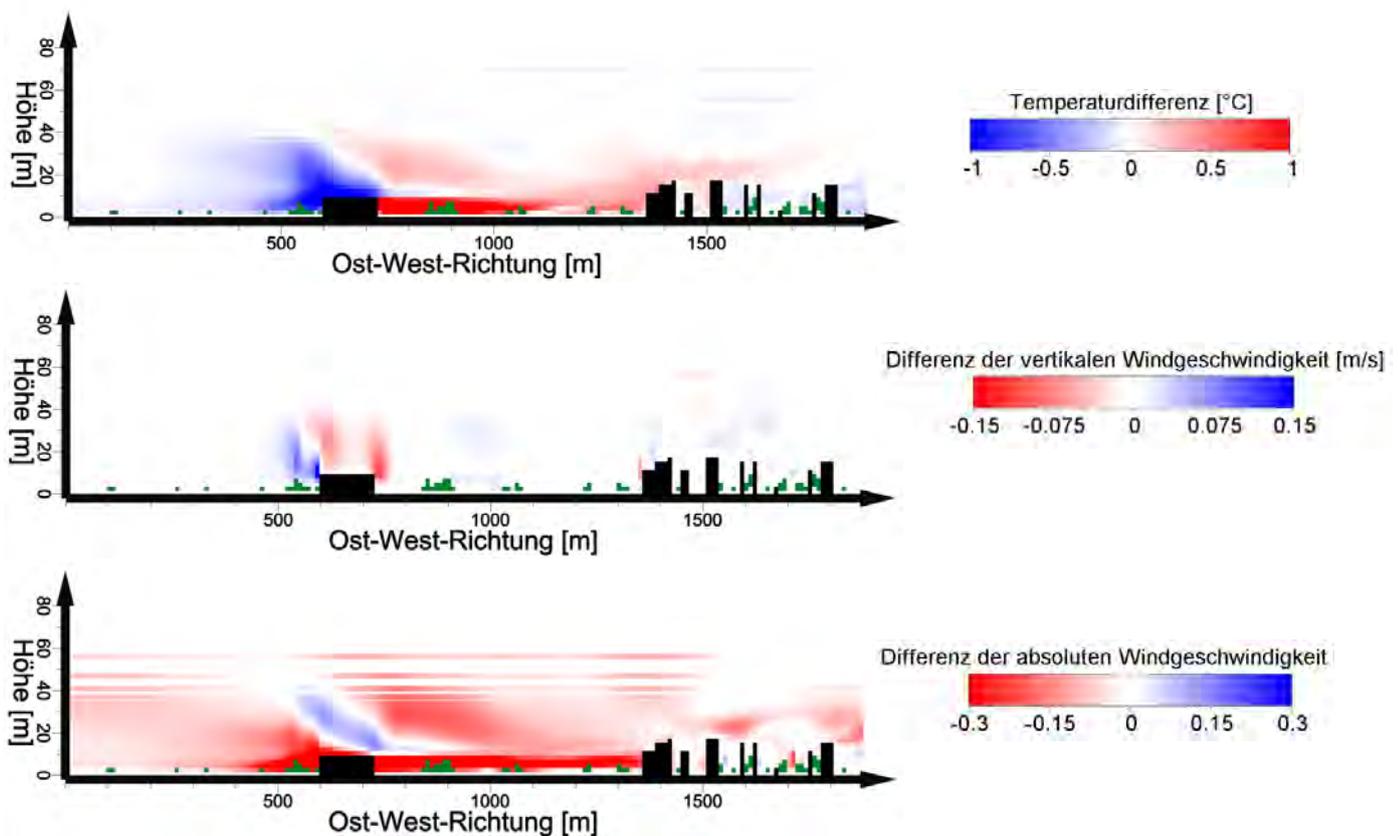


**Abb. 7:** Darstellung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom im Plan-Zustand sowie Darstellung der Differenz zwischen Plan- und Ist-Zustand für das Szenario 3/3, komplett bebaut, östliche Position

### 3.3 Vertikalprofile

Während sich die vorherigen Beispiele auf eine Höhe von zwei Metern beziehen, werden in diesem Abschnitt die Vertikalprofile von Temperatur und Windgeschwindigkeit näher erläutert. Dies erfolgt anhand eines Planszenarios mit kompletter Bebauung, die 3/3 des Leitbahnquerschnitts ausmacht und zentral positioniert ist.

Eine Temperaturänderung aufgrund einer zusätzlichen Bebauung wirkt bis in eine Höhe von 40 m (Abb. 8). Die Aufstellung eines Gebäudes in der Kaltluftleitbahn bewirkt zunächst eine Temperaturabnahme an der Luvseite des Hindernisses. Auch über dem Gebäude ist die Luft in etwa 1 °C kälter als im Ist-Zustand. Dagegen sind die Luftmassen an der Leeseite des Gebäudes in den unteren 10 Metern um etwa 1 °C wärmer. Die Abbildung der vertikalen Windgeschwindigkeit in der Mitte zeigt ein Aufsteigen der Luftmassen vor dem Gebäude (blau) und ein Absinken von Luft über und wenige Meter hinter dem Gebäude (rot). Insgesamt verringert sich die absolute Windgeschwindigkeit im Planzustand durch das neue Strömungshindernis. Lediglich über dem Gebäude ist die Windgeschwindigkeit durch das Überströmen des Hindernisses leicht erhöht. In der Nacht kühlt sich der Boden ab und die Höhenluft ist wärmer als die Bodenluft. Die Bebauung bewirkt, dass wärmere Höhenluft zum Boden transportiert wird und sich im Lee des Hindernisses einmischt, was eine Temperaturzunahme zur Folge hat.



**Abb. 8:** Höhenprofil der Differenz der Lufttemperatur, der vertikalen Windgeschwindigkeit und der absoluten Windgeschwindigkeit (Plan minus Ist-Zustand)



### 3.4 Auswirkungen der Bebauung auf die angrenzenden Wirkräume

Unter Berücksichtigung aller 27 Planzustände wird im Folgenden die Auswirkung der zusätzlichen Bebauung auf Temperatur, Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom in 2 Metern Höhe im südlich, nördlich und östlich angrenzenden Wirkungsraum sowie im Leebereich des Plan-Gebäudes untersucht. Die Werte in den Tab. 1-4 beziehen sich jeweils auf das Gebietsmittel des definierten Raumes (Abgrenzung der Räume siehe Abb. 4, bzw. für Tab. 4 siehe Abb. 9).

Je nach Aufstellungsvariante werden die Wirkräume Süd, Nord und Ost durch die Bebauung im Mittel wärmer bzw. kühler (Tab. 1). Im Leebereich des neuen Gebäudes, auf dem sich aktuell eine Freifläche befindet, nimmt die Temperatur in fast allen Fällen deutlich zu. In Bezug auf Temperatur ist dies somit das gegenüber Nutzungsänderungen empfindlichste Gebiet.

**Tab. 1:** Differenz der mittleren Temperatur: Plan – Ist-Zustand

Planszenario			Differenz der mittleren Temperatur (in K)			
Ausrichtung	Position	Bebauung	Süd	Nord	Ost	Leebereich
längs	W	1/3	0,02	0,04	0,00	0,02
längs	W	2/3	-0,02	-0,02	-0,05	0,29
längs	W	3/3	0,10	0,09	0,03	0,54
längs	Z	1/3	0,06	0,12	0,05	0,03
längs	Z	2/3	-0,05	-0,00	-0,07	0,05
längs	Z	3/3	0,10	0,07	0,00	0,32
längs	O	1/3	-0,19	-0,15	-0,16	-0,20
längs	O	2/3	-0,00	0,12	-0,03	-0,00
längs	O	3/3	0,17	0,28	0,16	0,37
quer	W	1/3	-0,02	0,00	-0,03	0,06
quer	W	2/3	-0,06	-0,07	-0,10	0,39
quer	W	3/3	0,01	-0,05	-0,07	0,89
quer	Z	1/3	-0,01	0,03	-0,01	-0,02
quer	Z	2/3	-0,02	0,05	-0,02	0,21
quer	Z	3/3	0,13	0,10	0,05	0,80
quer	O	1/3	0,07	0,13	0,07	0,06
quer	O	2/3	-0,02	0,11	-0,04	0,08
quer	O	3/3	0,09	0,22	0,15	0,53
voll	W	1/3	-0,07	-0,06	-0,07	0,02
voll	W	2/3	-0,07	-0,09	-0,11	0,49
voll	W	3/3	0,09	0,02	-0,01	1,20
voll	Z	1/3	-0,13	-0,13	-0,12	-0,10
voll	Z	2/3	-0,08	-0,04	-0,08	0,17
voll	Z	3/3	0,22	0,19	0,13	1,08
voll	O	1/3	0,07	0,11	0,07	0,05
voll	O	2/3	0,00	0,15	0,01	0,12
voll	O	3/3	0,13	0,26	0,23	0,71



Die Windgeschwindigkeit verändert sich im Gebietsmittel bei einer weiteren Bebauung nicht so stark (Tab. 2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Windverhältnisse kleinräumig variieren und sich im Mittel relativieren. Tendenziell wird aber deutlich, dass die Windgeschwindigkeit im Planzustand in allen vier Gebieten geringer ausfällt als im Ist-Zustand und dieser Effekt im Leebereich am stärksten ausgeprägt ist.

**Tab. 2:** Differenz der mittleren Windgeschwindigkeit: Plan – Ist-Zustand

Planszenario			Differenz der mittleren Windgeschwindigkeit (in m/s)			
Ausrichtung	Position	Bebauung	Süd	Nord	Ost	Leebereich
längs	W	1/3	-0,000	-0,007	-0,004	0,011
längs	W	2/3	-0,008	-0,012	-0,014	-0,038
längs	W	3/3	-0,008	-0,008	-0,011	-0,048
längs	Z	1/3	0,001	0,002	0,001	0,011
längs	Z	2/3	-0,002	0,000	-0,014	-0,019
längs	Z	3/3	-0,012	0,001	-0,016	-0,026
längs	O	1/3	-0,006	-0,021	-0,007	0,008
längs	O	2/3	-0,003	-0,022	-0,005	0,015
längs	O	3/3	-0,001	-0,012	-0,011	-0,017
quer	W	1/3	-0,003	-0,010	-0,007	0,004
quer	W	2/3	-0,010	-0,014	-0,017	-0,055
quer	W	3/3	-0,017	-0,013	-0,020	-0,118
quer	Z	1/3	-0,000	0,000	-0,003	0,005
quer	Z	2/3	0,001	0,001	-0,013	-0,023
quer	Z	3/3	-0,010	0,004	-0,019	-0,080
quer	O	1/3	0,000	-0,015	0,002	0,025
quer	O	2/3	-0,002	-0,021	-0,006	0,003
quer	O	3/3	-0,004	-0,015	-0,018	-0,066
voll	W	1/3	-0,002	-0,011	-0,007	-0,001
voll	W	2/3	-0,012	-0,016	-0,016	-0,071
voll	W	3/3	-0,015	-0,011	-0,017	-0,148
voll	Z	1/3	-0,006	-0,007	-0,006	-0,013
voll	Z	2/3	-0,001	-0,001	-0,014	-0,029
voll	Z	3/3	-0,009	0,005	-0,016	-0,096
voll	O	1/3	-0,000	-0,015	0,004	0,025
voll	O	2/3	-0,003	-0,021	-0,008	0,001
voll	O	3/3	-0,006	-0,014	-0,019	-0,068

Während die beiden Wirkräume im Norden und Süden bei einer Bebauung der Leitbahn von einem höheren Kaltluftvolumenstrom profitieren, ist der östliche Wirkungsraum unter bestimmten Voraussetzungen von einer Reduktion des Kaltluftvolumenstroms betroffen (Tab. 3). Dies ist insbesondere der Fall bei einer 3/3-Bebauung der Leitbahn und einer geringen Entfernung zwischen dem Hindernis und dem östlichen Wirkungsraum.



**Tab. 3:** Differenz des mittleren Kaltluftvolumenstroms: Plan – Ist-Zustand (sortiert nach Stärke der Reduktion des Kaltluftvolumenstroms im östlich angrenzenden Wirkungsraum); Erklärung der Spalte „Punkte“ vgl. Kapitel 4

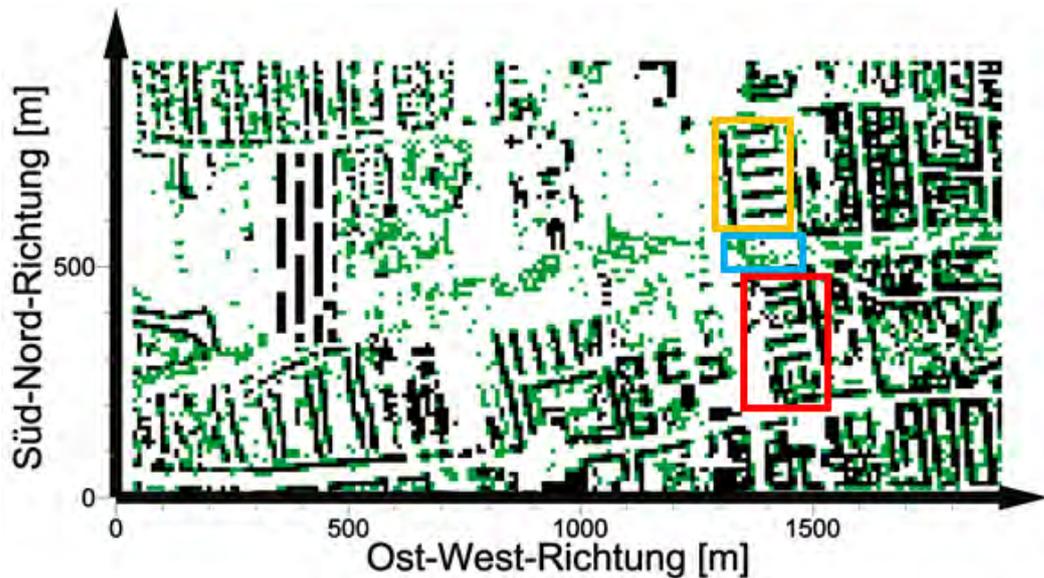
Planszenario			Differenz des mittleren Kaltluftvolumenstroms (m <sup>3</sup> /s)			Punkte *
Ausrichtung	Position	Bebauung	Süd	Nord	Ost	Ost
voll	O	3/3	11,1	15,9	-13,0	16,5
quer	O	3/3	12,0	17,3	-10,1	16,0
voll	Z	3/3	15,8	25,4	-6,1	14,5
quer	Z	3/3	16,5	28,5	-4,4	14,0
längs	O	3/3	7,3	17,3	-2,0	15,5
quer	O	2/3	0,0	5,7	-1,3	13,0
voll	O	2/3	0,7	8,4	0,9	13,5
quer	W	3/3	13,2	28,4	1,6	12,0
voll	W	3/3	9,4	26,4	1,9	12,5
längs	O	2/3	4,3	8,8	2,5	12,5
längs	Z	3/3	13,8	25,4	2,6	13,5
quer	Z	2/3	12,7	22,9	3,6	11,0
voll	O	1/3	1,4	1,2	4,2	10,5
quer	O	1/3	2,7	1,2	4,3	10,0
quer	Z	1/3	4,4	5,6	5,0	8,0
voll	Z	2/3	13,9	21,9	5,1	11,5
längs	Z	1/3	3,2	4,0	5,5	7,5
quer	W	2/3	10,5	17,0	6,3	9,0
längs	W	3/3	8,4	18,1	6,7	11,5
voll	Z	1/3	6,7	5,3	6,9	8,5
quer	W	1/3	6,0	2,1	7,3	6,0
längs	Z	2/3	12,9	21,2	7,9	10,5
voll	W	2/3	12,1	17,0	9,5	9,5
voll	W	1/3	9,2	5,1	11,0	6,5
längs	W	2/3	7,8	12,7	11,0	8,5
längs	O	1/3	4,8	7,7	12,1	9,5
längs	W	1/3	11,7	4,5	17,9	5,5

\* gemäß Abb. 10: < 11,5: unbedenklich; 11,5 – 13,5: Gefährdungspotential; > 13,5 nicht empfohlen

Der östliche Wirkungsraum, der am stärksten von der Nutzungsänderung betroffen ist, wird im Folgenden näher untersucht. Da sich die klimatischen Verhältnisse in diesem Gebiet lokal sehr unterschiedlich ausprägen, wurde der östliche Wirkungsraum in drei Teilbereiche untergliedert (Abb. 9). Dabei war auffällig, dass sich der Kaltluftvolumenstrom insbesondere im südlichen Teilraum durch eine weitere Bebauung reduziert. Die entsprechenden Ergebnisse sind in der Tab. 4 festgehalten. Im Großen und Ganzen geht hervor, dass die absolute Änderung des Kaltluftvolumenstroms im südlichen Teilraum gut mit dem in Kapitel 4 beschriebenen Punktesystem im Einklang steht. Dennoch treten vereinzelte Ausreißer auf, wie z.B. die Variante „quer, westlich, 2/3“, die hier mit -4,1m<sup>3</sup>/s Änderung des Kaltluftvolumenstroms und 9 Punkten als unbedenklich eingestuft ist. In diesem Fall wird deutlich, dass die Größe der

Fläche, auf die sich das Gebietsmittel bezieht, eine entscheidende Rolle spielt. Während kleinere Flächen stärkere Änderungssignale zulassen, sind die absoluten Änderungen bei größeren Flächen oft schwächer ausgeprägt (vgl. Tab. 3 mit Tab. 4). Am Planbeispiel „quer, westlich, 2/3“ zeigt sich, dass der Kaltluftvolumenstrom kleinräumig (auf der südlichen Teilfläche) stark abnimmt, während der Kaltluftvolumenstrom im gesamten Wirkungsraum „Ost“ mit  $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$  deutlich zunimmt. Auf den gesamten östlichen Wirkungsraum bezogen ist diese Bebauungsvariante demnach unbedenklich, in Bezug auf die südliche Teilfläche jedoch bedenklich. Insofern ist es sinnvoll, die Ergebnisse aus Tab. 4 mit denen aus Tab. 3 in Beziehung zu setzen, um einzelne Ausreißer besser nachvollziehen können.

Bei einer Bebauung, die quer zur Strömungsrichtung ausgerichtet ist, ergeben sich stärkere Turbulenzen, die lokal größere Unterschiede in Bezug auf Windgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom hervorrufen.



**Abb. 9:** Gliederung des östlichen Wirkungsraumes in einen nördlichen (gelb), zentralen (blau) und südlichen Bereich (rot)



**Tab. 4:** Differenz des mittleren Kaltluftvolumenstroms im südlichen Teilraum des östlich angrenzenden Wirkungsraumes (Plan – Ist-Zustand)

Ausrichtung	Position	Bebauung	Änderung des Kaltluftvolumenstroms in m <sup>3</sup> /s	Punkte *
voll	O	3/3	-13,8	16,5
quer	O	3/3	-14,4	16
längs	O	3/3	-7,2	15,5
voll	Z	3/3	-5,0	14,5
quer	Z	3/3	-2,5	14
längs	Z	3/3	-2,7	13,5
voll	O	2/3	-2,9	13,5
quer	O	2/3	-1,2	13
längs	O	2/3	3,1	12,5
voll	W	3/3	-9,8	12,5
quer	W	3/3	-6,5	12
längs	W	3/3	-5,5	11,5
voll	Z	2/3	-1,7	11,5
quer	Z	2/3	-1,4	11
längs	Z	2/3	4,4	10,5
voll	O	1/3	3,5	10,5
quer	O	1/3	1,1	10
längs	O	1/3	7,8	9,5
voll	W	2/3	1,8	9,5
quer	W	2/3	-4,1	9
längs	W	2/3	-1,4	8,5
voll	Z	1/3	7,5	8,5
quer	Z	1/3	-2,4	8
längs	Z	1/3	2,9	7,5
voll	W	1/3	5,7	6,5
quer	W	1/3	3,2	6
längs	W	1/3	15,4	5,5

\* gemäß Abb. 10: < 11,5: unbedenklich; 11,5 – 13,5: Gefährdungspotential; > 13,5 nicht empfohlen



#### 4 Ableitung der Eingriffsbewertung und Empfehlungen für den Umgang mit Planverfahren in klimaökologischen Baubeschränkungsbereichen

Die im vorherigen Kapitel exemplarisch gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden auf andere Baubeschränkungsbereiche Magdeburgs übertragen, um eine generelle Aussage zur Verträglichkeit von Nutzungsänderungen in diesen Raumstrukturen zu erhalten. Eine besonders wichtige Größe zur Abschätzung der Veränderungen durch die Bebauung ist der Kaltluftvolumenstrom, weil dieser Parameter nicht nur die Strömungsgeschwindigkeit, sondern auch die Höhe der Kaltluftschicht berücksichtigt. Er fasst somit das Temperatur- und Windgeschehen in einem Parameter zusammen. Die Planszenarios im Bereich der Schrote haben gezeigt, dass überwiegend der östliche Wirkungsraum von einer zusätzlichen Bebauung klimaökologisch beeinträchtigt wird (Tab. 3), vor allem der südliche Teilbereich in diesem Gebiet (Tab. 4). Vor diesem Hintergrund dient die Änderung des Kaltluftvolumenstroms im östlichen Siedlungsraum als Grundlage für die Ableitung der Eingriffsbewertung.

Je nach Aufstellungsvariante ergeben sich drei Eingriffsintensitäten, die in der Abb. 10 zusammengefasst sind. Ob ein Bauvorhaben für einen Siedlungsraum im Leebereich klimaökologisch unbedenklich, ggf. (un)bedenklich oder nicht empfehlenswert ist, hängt vom Bebauungsgrad, dem Abstand der Bebauung zum leeseitigen Wirkungsraum und der Gebäudeausrichtung ab.

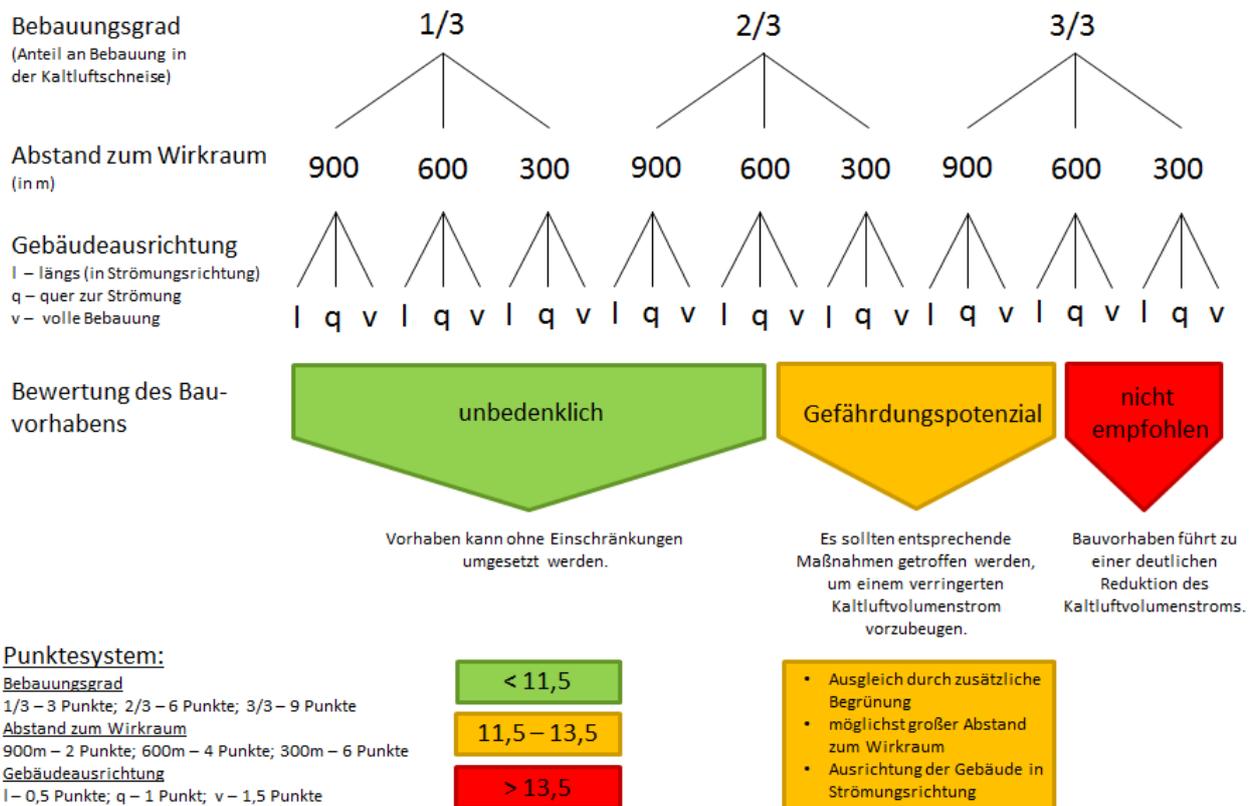


Abb. 10: Entscheidungshilfe für den Umgang mit Planverfahren in klimaökologischen Baubeschränkungsbereichen



Der Anteil an Bebauung in der Kaltluftschneise stellt den wichtigsten Faktor dar. Je nach Bebauungsgrad werden 3, 6 bzw. 9 Punkte bei 1/3, 2/3 bzw. 3/3 Bebauung vergeben. Die Lage des geplanten Gebäudes zum angrenzenden Wirkungsraum stellt den zweitwichtigsten Faktor dar. Im Planbeispiel „Schrote“ beträgt die Entfernung bei einer westlichen/zentralen/östlichen Position des Baukörpers in etwa 900/600/300 Meter. Für die Entfernung des Baukörpers zum leeseitigen Siedlungsraum gibt es 2, 4 oder 6 Punkte bei 900 m, 600 m oder nur 300 m Abstand. Je nach Ausrichtung des Baukörpers (längs, quer oder volle Bebauung) werden 0,5, 1 bzw. 1,5 Punkte vergeben. Entsprechend der Gesamtpunktzahl ergeben sich drei verschiedene Eingriffsintensitäten: Ist die Gesamtpunktzahl größer als 13,5 sind die Auswirkungen auf den Kaltluftvolumenstrom mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit negativ. Ein solches Bauvorhaben kann daher nicht empfohlen werden. Beträgt die Punktzahl zwischen 11,5 und 13,5, besteht die Gefahr auf einen verringerten Kaltluftvolumenstrom. Wenn entsprechende Vorbeugemaßnahmen getroffen werden (klimaökologisch günstige Aufstellungsvariante, zusätzliche Begrünung), ist das Bauvorhaben eher unbedenklich. Erst bei weniger als 11,5 Punkten handelt es sich um eine Bauvariante, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht negativ auf den Kaltluftvolumenstrom des leeseitigen Wirkungsraumes auswirkt.

Zusammenfassend geht man festhalten kann, dass eine Kaltluftleitbahn nicht mehr als 2/3 ihres Querschnittes durch eine Bebauung reduziert werden sollte. Bei einer 2/3-Bebauung ist vor allem auf einen möglichst großen Abstand (etwa 900 m) zwischen dem neu geplanten Gebäude und dem leeseitigen Wirkungsraum zu achten. Eine vollständige Bebauung der Leitbahn (3/3) kann grundsätzlich nicht empfohlen werden. Zudem ist eine Ausrichtung der Baukörper in Strömungsrichtung sinnvoll.

Diese Auswertung stellt eine erste Grundlage für eine weitere Verfeinerung der Eingriffsbewertung dar, welche in Kapitel 6 näher ausgeführt wird. In Kapitel 7 werden anschließend Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für den Umgang mit klimaökologisch beeinträchtigenden Eingriffen aufgezeigt.



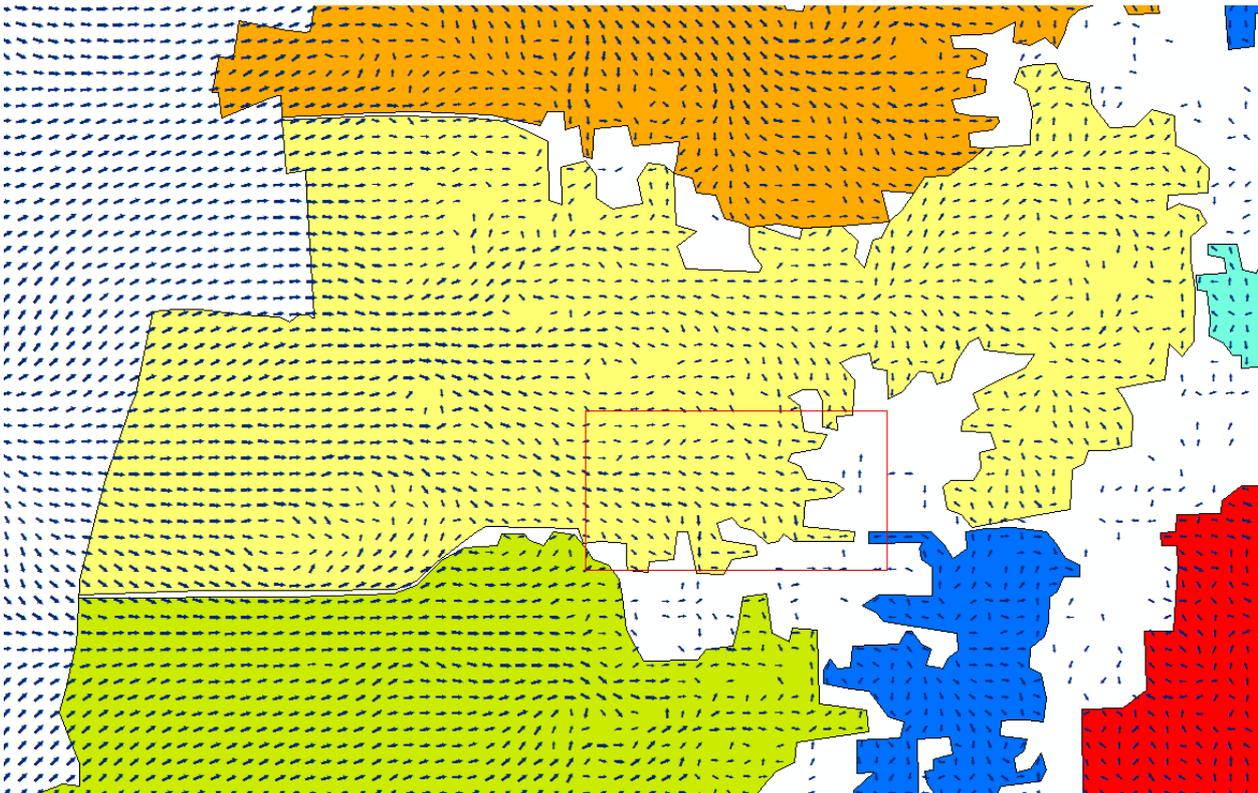
## 5 Klimaökologische Prozessräume im Stadtgebiet von Magdeburg

Für ein besseres Verständnis über gesamtstädtische Strukturen wird das Stadtgebiet im Folgenden nach dem Prozessgeschehen „Kaltlufthaushalt“ gegliedert und kartographisch aufbereitet.

Als klimaökologische Prozessräume werden größere zusammenhängende Gebiete mit einem einheitlichen übergeordneten Strömungsmuster definiert. Oft unterscheidet sich das Prozessgeschehen im Außenbereich einer Stadt deutlich vom Innenbereich. Während die umlandbezogenen Prozessräume anhand der bestehenden Hauptwindrichtung zusammengefasst werden, sind kleinere, innerstädtische Prozessräume meist durch divergente Strömungen, d.h. von einem Zentrum in verschiedene Richtungen nach außen strömend, charakterisiert. Bei einer austauscharmen sommerlichen Hochdruckwetterlage bilden sich eigenbürtige Kaltluftströmungen (Flurwinde) heraus, die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Grünflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden. Die Prozessräume Magdeburgs werden überwiegend durch ihre Thermik bestimmt. Für den südlichen, westlichen und südwestlichen Teil der Stadt spielt jedoch zusätzlich das Relief eine Rolle (Hangabwinde).

Die Elbe als rauigkeitsarme Struktur, die das Stadtgebiet von Magdeburg durchzieht, hat sowohl bei autochthonen als auch bei allochthonen Austauschbedingungen teils eine wichtige klimaökologische Funktion. Bei austauscharmen Wetterlagen fungiert die Elbe nicht als durchgängige Kalt-/Frischluftleitbahn. Sie steht in ihrer Ausgleichsfunktion deutlich hinter Leitbahnen wie Renne-, Schrote- und Klinketal. Allerdings trägt sie in Teilbereichen auch zur Stadtbelüftung bei. In Teilabschnitten, in denen die Elbe von Grünstrukturen gesäumt wird, kann sie wichtige lokale Ausgleichsfunktionen in der Nacht erfüllen. Bei „normalen“, windreicheren Wetterlagen nimmt die Elbe eine Belüftungsfunktion ein. Insbesondere wenn die übergeordneten Strömungen die Richtung des Talverlaufes einnehmen, wird die Durchlüftung der innenstadtquartiere durch das Elbtal positiv beeinflusst.

Die Abgrenzung der Prozessräume Magdeburgs basiert auf den Ergebnissen der Aktualisierung Klimaaanalyse Magdeburg 2013. Die einzelnen Gebiete wurden anhand des Strömungsfeldes (Windgeschwindigkeit und -richtung) identifiziert. Dabei werden nur Windgeschwindigkeiten größer als 0,1 m/s berücksichtigt. Die Abb. 11 zeigt die Abgrenzung eines solchen Raumes am Beispiel des Prozessraumes im Bereich Schrote.



**Abb. 11:** Prozessraum im Bereich „Schrote“

Der Prozessraum ist durch eine lockere Bebauung mit Einzelhäusern und Kleingartenanlagen gekennzeichnet. Das Gebiet verfügt über ausgedehnte Grünflächen, die als Leitbahn fungieren. Dies ermöglicht ein weites Eindringen von Kaltluft aus dem Umland in den innenstadtnahen Bereich. Innerhalb des Prozessraumes gibt es nur wenige Hindernisse, die die Strömung unterbinden. Das Modellgebiet „Schrote“ wird bis auf den östlichen Teil, der außerhalb des Prozessraumes liegt, mit ausreichend Kaltluft aus dem Umland versorgt.

Das Stadtgebiet von Magdeburg lässt sich insgesamt in 18 verschiedene Prozessräume gliedern (Abb. 12 und Abb. 13). Die Prozessräume im Westen, Südwesten und Süden haben die höchsten Windgeschwindigkeiten (Abb. 12), da die Strömungen in diesen Bereichen nicht nur thermisch (Flurwinde), sondern auch orographisch durch das Relief (Hangabwinde) bedingt sind. Dagegen sind die kleineren innerstädtischen Prozessräume nur durch geringe Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet. Im zentrumsnahen, dicht bebauten Bereich Magdeburgs konnte kein Prozessraum (weiß) identifiziert werden. Aufgrund der vielen baulichen Hindernisse beträgt die Windgeschwindigkeit in diesem Areal nicht mehr als 0,1 m/s. Der großer Prozessraum im Südosten (hellblau) ist durch ein komplexes Windfeld charakterisiert und lässt sich in mehrere Teilbereiche gliedern: Während in den drei nördlichen Teilen der Wind überwiegend Richtung stadteinwärts weht, wird die Kaltluft in den südlichen Teilen eher stadtauswärts in die angrenzenden, leicht überwärmten Ortschaften (Osterweddingen und Schönebeck) transportiert. Zwar ist die Kaltluftproduktivität in diesem Prozessraum am stärksten ausgeprägt (Abb. 13), jedoch verfügt der Raum nur über ein Leitbahnelement im nördlichen Bereich. Ähnlich verhält es sich im Norden Magdeburgs, wo viel Kaltluft produziert wird, aber keine Leitbahnstrukturen und nur lokale Luftaustauschbe-

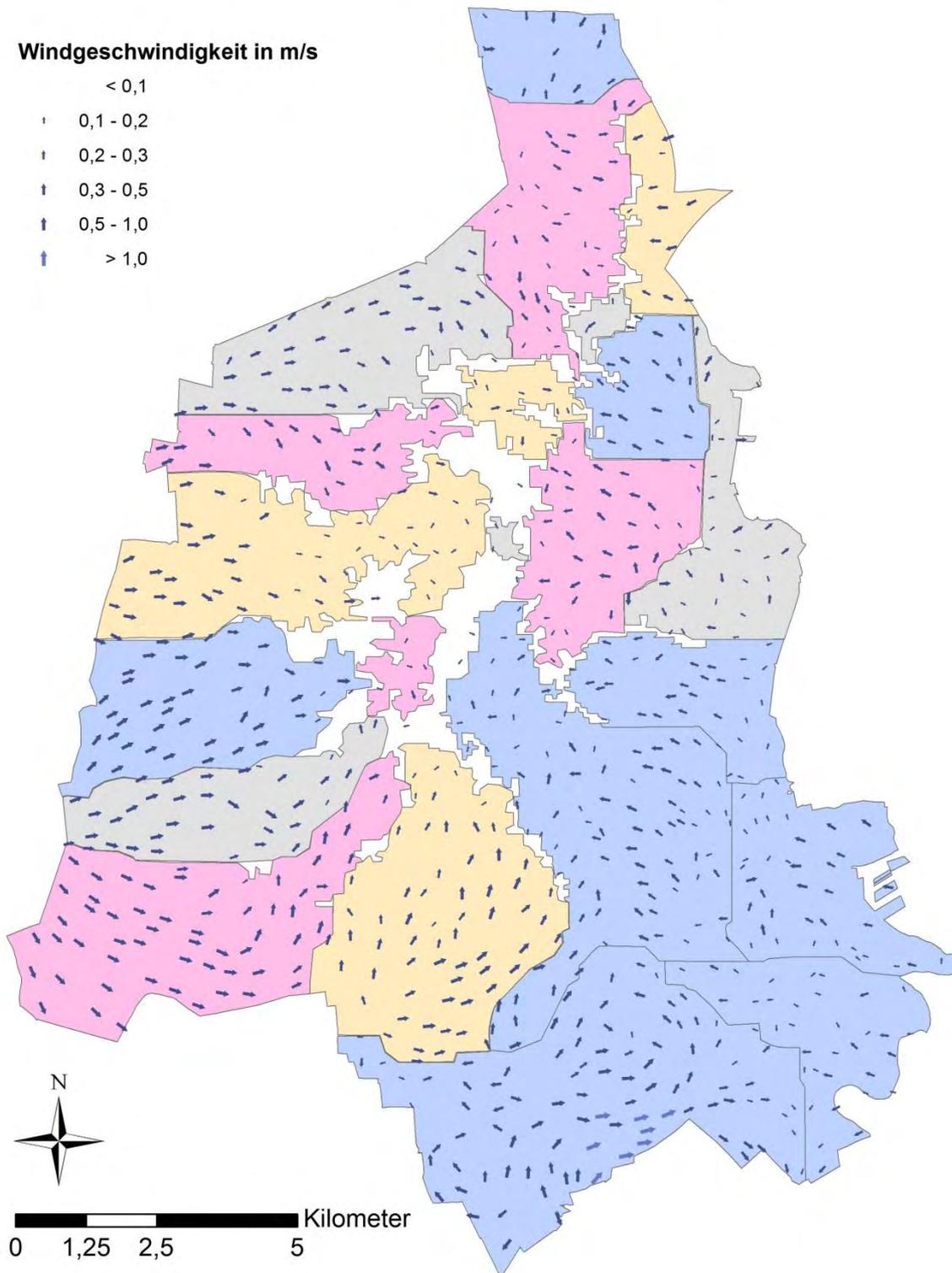


reiche vorliegen. Insgesamt sind die meisten umlandbezogenen Prozessräume mit mindestens einer Kaltluftleitbahn ausgestattet, wobei der Prozessraum Nr. 16 (beige) die am stärksten ausgeprägte Leitbahnstruktur aufweist.

Um die Frage zu beantworten, welche Siedlungs- bzw. Grünfläche Magdeburgs überwiegend welchem Prozessraum angehört, wurde eine zonale Statistik berechnet. Die Abb. 14 zeigt die Prozessräume aggregiert auf die Siedlungs- und Grünflächen. Dadurch ergibt sich eine leicht veränderte räumliche Ausprägung der Prozessräume. Es zeigt sich, dass vor allem der westliche Bereich Magdeburgs vom Strömungsgeschehen profitiert: Dort gibt es einen hohen Siedlungsanteil (meist 50 %) bei gleichzeitig ausgeprägter Leitbahnstruktur. Dagegen wird im Osten Magdeburgs viel Kaltluft produziert, aber das Gebiet verfügt nur über wenig Leitbahnen und ist eher dünn besiedelt. Rund ein Viertel der Siedlungsfläche Magdeburgs gehört keinem Prozessraum an. Die Abb. 15 zeigt die bioklimatische Situation in den einzelnen Prozessräumen. In der Klimaanalysekarte werden die Wirkungsräume hinsichtlich ihrer bioklimatischen Belastungssituation und die Ausgleichsräume hinsichtlich ihres Ausgleichspotenzials bewertet (GEO-NET 2013). Der Bereich Magdeburgs, der keinem Prozessraum angehört, hat eine mäßig bis hohe (orange – rot) bioklimatische Belastung. Dabei handelt es sich überwiegend um Siedlungsbereiche mit Block- und Blockrandbebauung, d.h. dicht bebaute, stark versiegelte Bereiche mit 4-6 geschossigen Mehrfamilienhäusern, die die Strömung unterbinden. Die ausgewiesenen Prozessräume verfügen dagegen über einen großen Anteil an Ausgleichsflächen und über ein günstiges Siedlungsklima.



## Vorherrschende Strömung



**Abb. 12:** Aggregiertes Windfeld in den Prozessräumen Magdeburgs



## Prozessräume

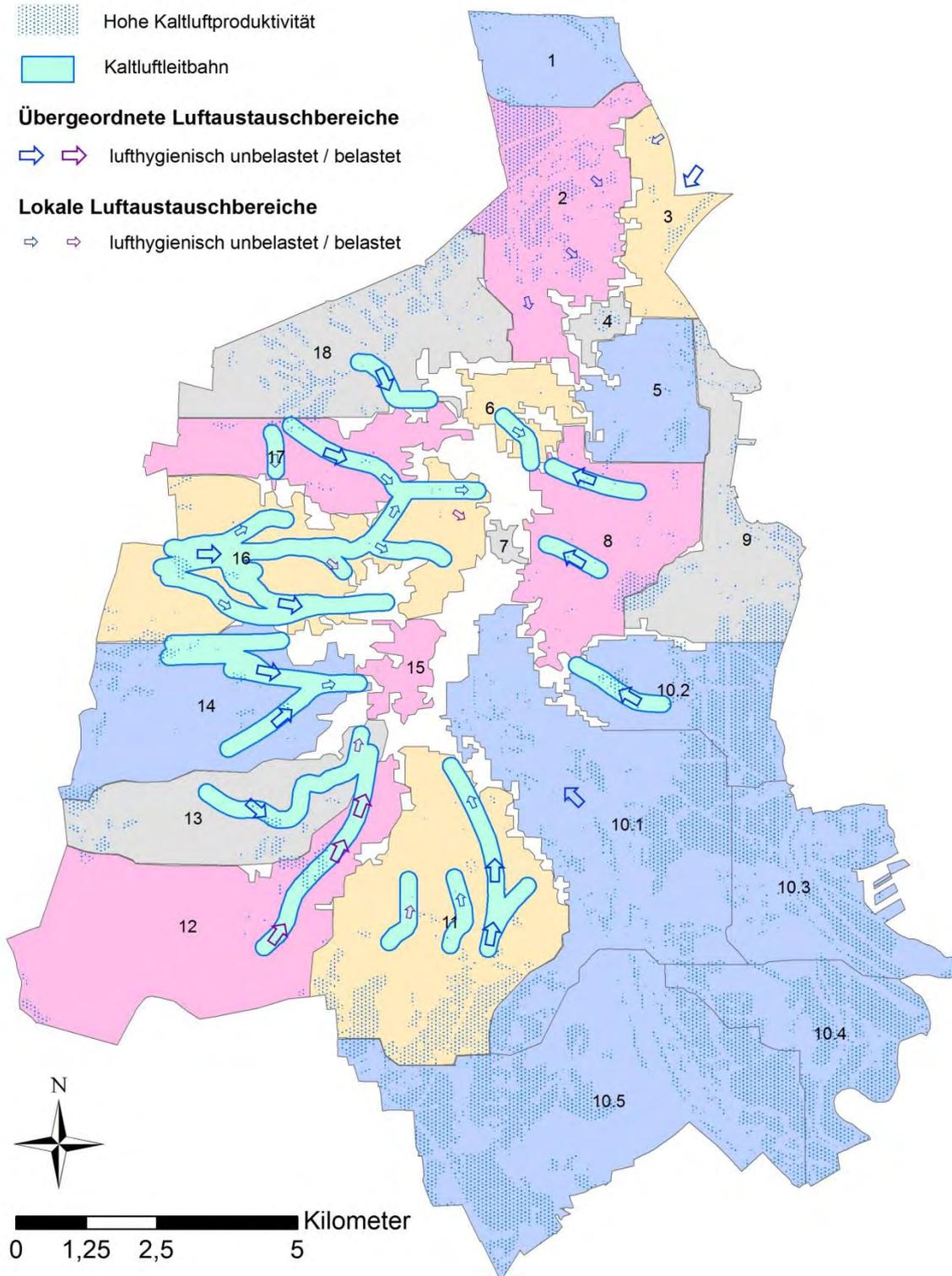
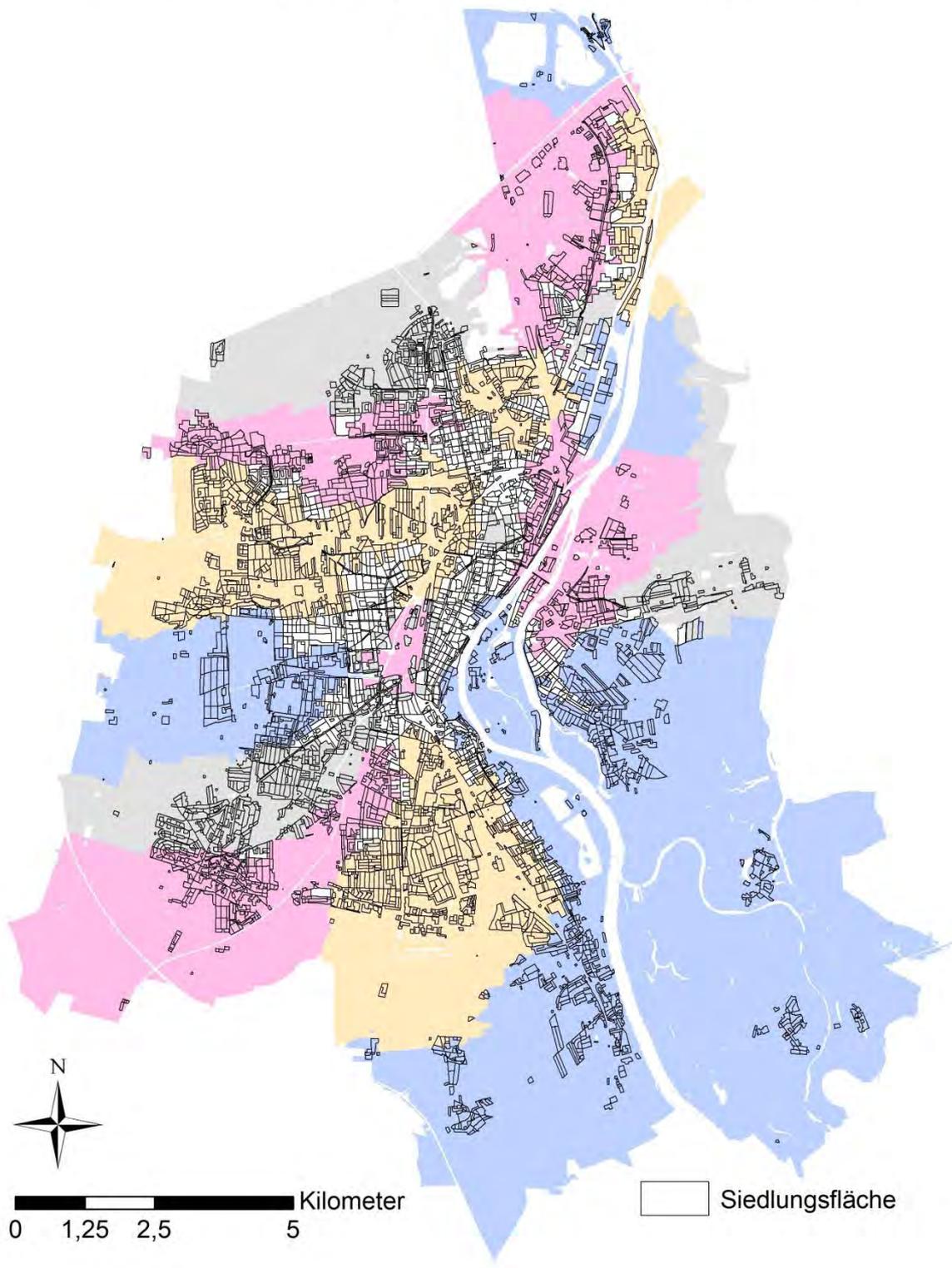


Abb. 13: Kaltlufthaushalt in den Prozessräumen Magdeburgs



## Grün- und Siedlungsflächen in Prozessräumen



**Abb. 14:** Zuordnung zu Grün- und Siedlungsflächen



## Klimaanalysekarte

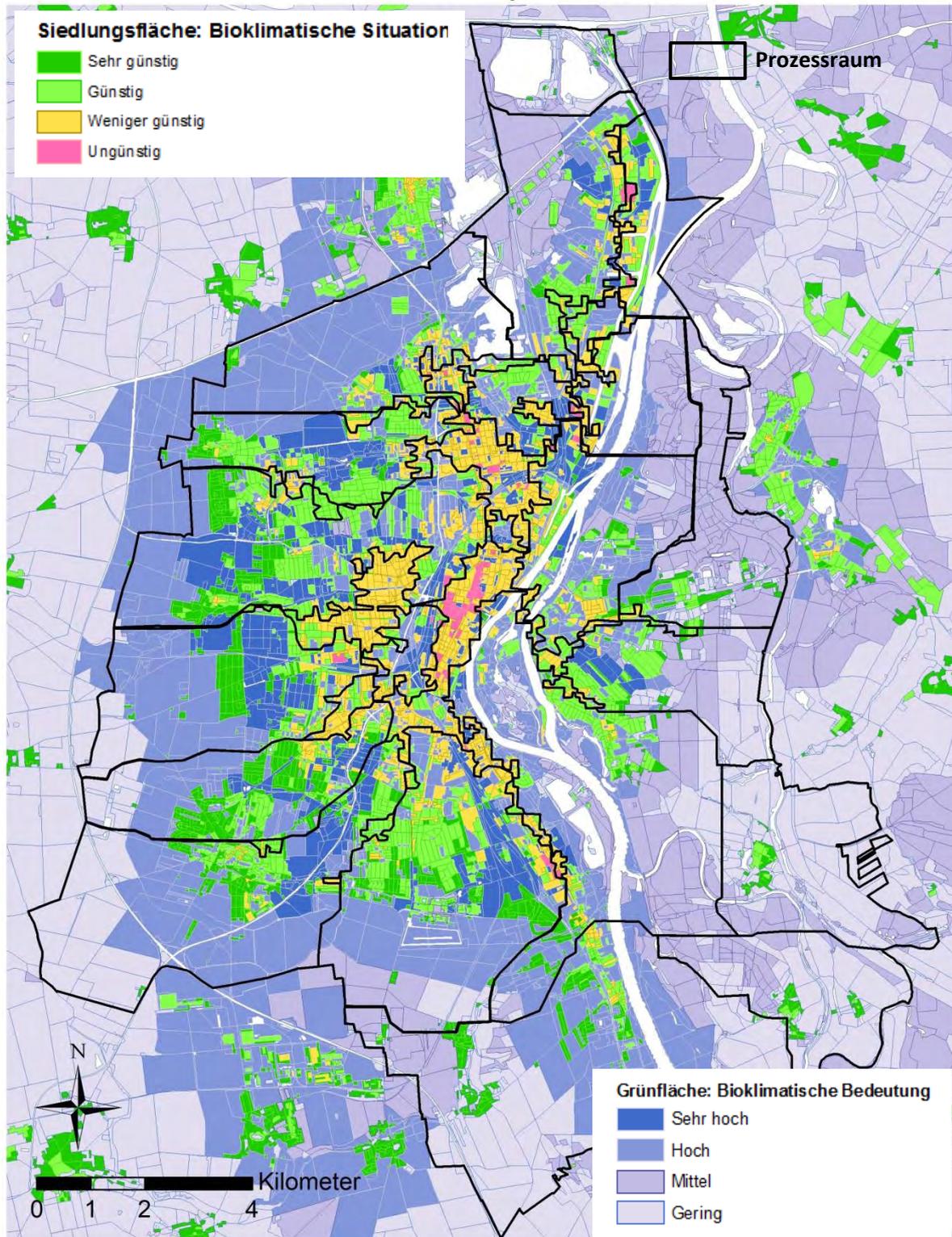


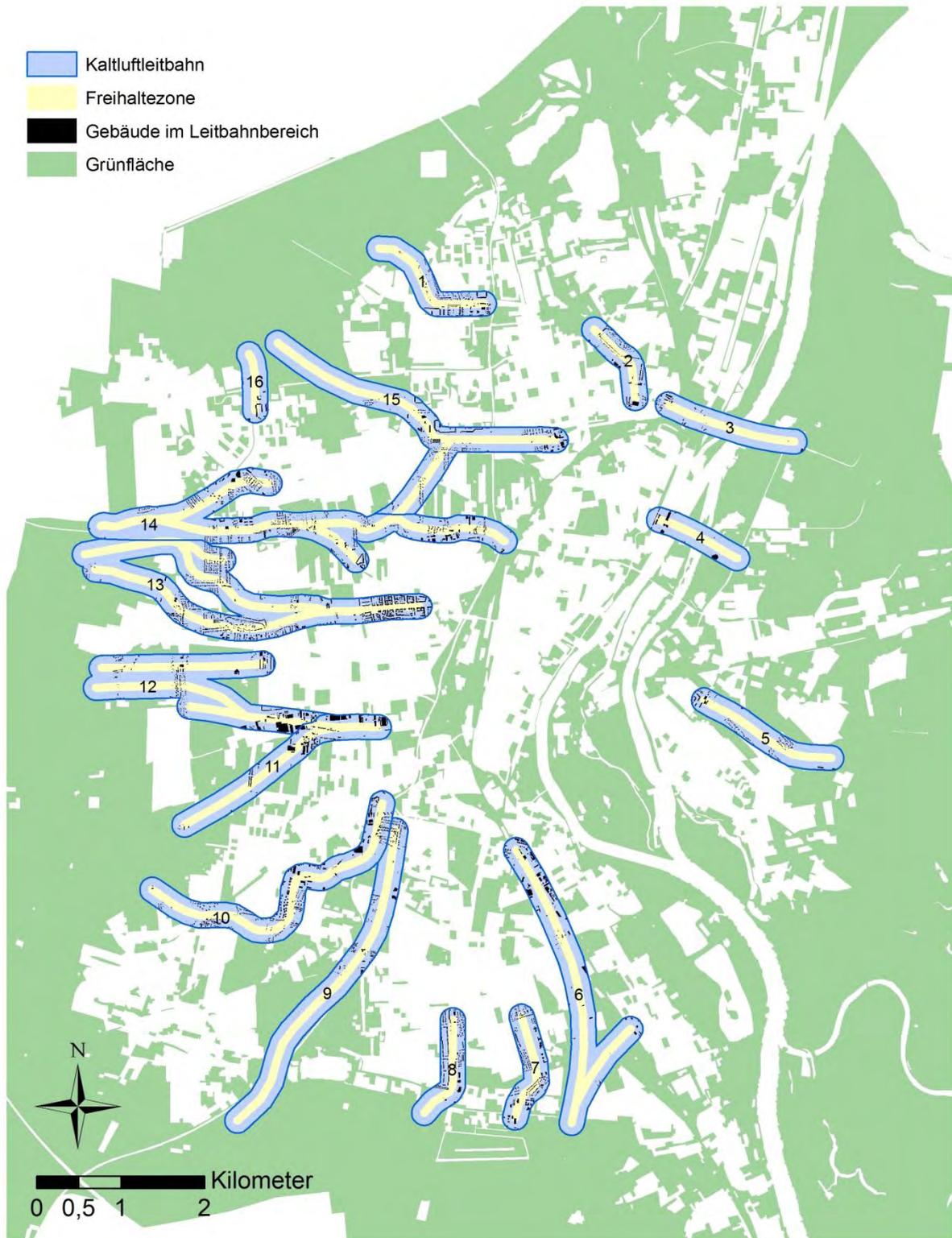
Abb. 15: Bioklimatische Situation in den Prozessräumen

## 6 Gesamtstädtische Betrachtung der Kaltluftleitbahnen Magdeburgs

Frischlufthkorridore sind ein essentieller Bestandteil der Klimaregulation während sommerlicher Hochdruckwetterlagen. Sie ermöglichen das Eindringen von Kaltluft in belastete Siedlungsräume. In der Regel beträgt die Breite einer Kaltluftleitbahn etwa 300 m. Eine derart dimensionierte Durchflussbreite ist in den meisten Fällen geeignet, das Prozessgeschehen und damit die Funktionalität der Flächen als verbindendes Element zwischen Ausgleichs- und Wirkungsräumen zu erhalten (GEO-NET 2014). Die Kernzone einer Leitbahn, also die inneren 100 m, ist der Bereich mit der höchsten Strömungsdynamik. Sie ist somit die klimaökologisch relevanteste Teilfläche in einer Leitbahn und sollte im Hinblick auf Klimaanpassung immer von Bebauung freigehalten werden. Der Planfall „Schrote“ hat dies noch einmal verdeutlicht: Während eine Bebauung des kompletten Leitbahnquerschnitts in jedem Fall zu einer Reduktion des Kaltluftvolumenstroms führt, zeigen Beispiele mit 2/3 Bebauung nicht zwangsläufig negative Ergebnisse (vgl. Tab. 4). Eine Kaltluftleitbahn kann demnach teilweise überbaut werden, solange die innere Kernzone davon unberührt bleibt. Da je nach Umfeldbedingungen klimatische Negativeffekte für den Bestand nicht vollkommen auszuschließen sind, sollten bei einem solchen Eingriff unbedingt Vorsorgemaßnahmen getroffen werden (vgl. Kapitel 7).

Das Stadtgebiet von Magdeburg verfügt über ein System von insgesamt 16 Leitbahnen (Abb. 16), welche jeweils zu einem unterschiedlichen Anteil überbaut sind (Tab. 5). Es empfiehlt sich, die Kaltluftleitbahnen, die bereits einen hohen Gebäudeanteil aufweisen (1, 2, 7, 8, 10, 11, 13 und 14), nicht noch stärker in ihrer Funktionalität einzuschränken. Besonders vulnerabel sind außerdem die Leitbahnen, die bereits einen hohen Anteil an Gebäuden in der Kernzone haben (z.B. 11, 12, 13 und 14). Umgekehrt ergeben sich für die Kaltluftleitbahnen mit bisher geringer Bebauung (z.B. 3, 9, 16) die größten Eingriffspotenziale.

Eine mögliche Bebauungsvariante im Bereich der Kaltluftleitbahn stellen Einfamilienhäuser mit großen Grundstücken und einem Versiegelungsgrad von nicht mehr als 20% dar. Diese Form der leichten Bebauung hat sich als klimaökologisch günstig erwiesen (GEO-NET 2012) und kann für den Bereich außerhalb der 100m-Freihaltezone empfohlen werden. Dagegen sollten Gewerbeflächen im Bereich der Kaltluftleitbahn vermieden werden. Diese heizen sich aufgrund ihres hohen Versiegelungsgrades bei entsprechenden Wetterlagen stark auf und fungieren durch ihre großvolumige Ausprägung als Strömungshindernis.



**Abb. 16:** Kaltluftleitbahnen Magdeburgs mit ihrer Kernzone (gelb) und Bebauung (schwarz)



**Tab. 5:** Eigenschaften der Magdeburger Kaltluftleitbahnen

<b>Leitbahn Nr. (s. Abb. 16)</b>	<b>Grünflächen- anteil [%]</b>	<b>Siedlungs- flächenanteil [%]</b>	<b>Gebäudeanteil [%]</b>	<b>davon in Kern- zone [%]</b>	<b>Mittlerer Kalt- luftvolumen- strom [m<sup>3</sup>/s]</b>
1	64,0	35,2	6,8	18,8	462,8
2	70,1	29,9	8,5	18,7	151,6
3	72,3	14,4	2,1	10,7	444,6
4	54,2	16,9	4,1	22,1	557,9
5	82,0	18,0	3,9	15,6	316,2
6	84,2	15,8	4,2	5,5	745,4
7	55,7	42,0	10,5	17,5	449,3
8	49,6	49,9	9,0	8,6	490,1
9	85,4	11,2	2,3	18,5	775,0
10	57,4	39,4	7,8	10,6	799,8
11	71,5	28,2	8,2	23,1	856,7
12	75,5	24,5	5,9	22,3	1010,3
13	62,0	38,0	8,3	19,4	599,5
14	66,7	30,9	6,4	22,0	525,5
15	73,1	25,7	4,6	16,8	322,2
16	74,0	26,0	3,5	26,8	444,2
∅	<b>68,6</b>	<b>27,9</b>	<b>6,0</b>	<b>17,3</b>	<b>559,5</b>



## 7 Handlungsempfehlungen

Für den Erhalt von klimaökologischen Funktionen hat der Schutz einer Kaltluftleitbahn oberste Priorität. Im Falle von baulichen Eingriffen in ein Leitbahnsystem sollten sich demnach die entsprechenden Vorsorgemaßnahmen direkt auf den Frischluftkorridor beziehen. Ist dies aus bestimmten Gründen nicht möglich, dann sollte zumindest dafür gesorgt werden, dass sich die klimaökologische Situation im angrenzenden Wirkungsraum verbessert, um die negativen Effekte zu kompensieren. Hierbei gibt es ein breites Spektrum an Möglichkeiten (Tab. 6). Vorsorgemaßnahmen sind insbesondere bei stärkeren Eingriffen (z.B. eine Bebauung, die 2/3 Leitbahnquerschnittes ausmacht) von besonderer Wichtigkeit. Dagegen besteht ein deutlich geringeres Risiko, wenn nur 1/3 des Leitbahnquerschnitts bebaut wird (vgl. Tab. 4).

**Tab. 6:** Maßnahmen zum Erhalt der Funktionen von Kaltluftleitbahnen und zur Verbesserung der klimaökologischen Situation in belasteten Wirkungsräumen

Maßnahmen in der Kaltluftleitbahn	Maßnahmen für den Wirkungsraum	leitbahn- und wirkungsraumbezogene Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verschattung im Öffentlichen Raum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Begrünung von Gleistrassen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Erhöhung der Mikroklimatischen Vielfalt in öffentlichen Grünflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Begrünung und Verschattung von Parkplätzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rückbau/Entdichtung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbesserung der Erreichbarkeit von Grünflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entsiegelung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Innen-/Hinterhofbegrünung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage neuer großflächiger Parks / Grünflächen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermeidung von Austauschbarrieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verschattung von Gebäuden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schaffung von Kleinstparks</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz bestehender großflächiger Parks / Grünflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erhöhung der Oberflächen-Albedo</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Schutz von offenen Wasserflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anlage von offenen Wasserflächen im öffentlichen Raum</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energetische Gebäudesanierung</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dachbegrünung</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fassadenbegrünung</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>sommerlicher Wärmeschutz an Gebäuden</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassung des Raumnutzungskonzeptes</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technische Gebäudekühlung</li> </ul>	



## 7.1 Maßnahmen im Bereich der Kaltluftleitbahn

### *Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten*

Die Maßnahme der Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten verfolgt zum einen das Ziel, vorhandene Kaltluftströme und -abflüsse optimal zu nutzen und damit die Versorgung sowohl der neuen Quartiere als auch der Bestände im Umfeld zu sichern. Um dies zu gewährleisten, sollten die Gebäude parallel zur Fließrichtung der Kaltluft angeordnet und nicht zu hoch sein sowie ausreichend (grüne) Freifläche zwischen ihnen erhalten bleiben. Zum anderen kann über die gewählte Bebauungsdichte auch der Grad der gegenseitigen Verschattung der Gebäude gesteuert werden. Hier ist allerdings zu beachten, dass der sommerliche thermische Komfort nicht das einzige Kriterium ist, das die Entscheidung für die Konfiguration von neuen Quartieren bestimmt. So kann eine Optimierung der sommerlichen Verschattung beispielsweise zu einem erhöhten Heizenergiebedarf oder Lichtmangel im Winter führen. Einzelfallbetrachtungen sind daher auch bei dieser Maßnahme unumgänglich. Da die Festsetzung von Baufeldern, Geschoß- und Grundflächenzahlen in den Bebauungsplänen erfolgt, stellt die verbindliche Bauleitplanung zentrale Instrumente zur Umsetzung dieser wichtigen Maßnahme dar.

### *Erhöhung der Mikroklimatischen Vielfalt in öffentlichen Grünflächen*

Damit innerstädtische Grün- und Freiflächen ihr Potential an klimaökologischen Dienstleistungen sowohl für die Tag- als auch für die Nachtsituation umfänglich ausschöpfen können, sollten sie möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen. Als Leitbild kann der erweiterbare, für jedermann kostenlos begehbare „Savannentyp“ (Kuttler 2013) dienen. Er besteht zu einem großen Anteil aus gut wasserversorgten Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügellandschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind. Die Übergangsbereiche zur angrenzenden Bebauung sollten offen gestaltet sein. Unter der Prämisse einer angemessenen großen Fläche von mindestens 1-2 ha wird durch diese Konfiguration sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Kaltluftproduktion und der -abfluss gewährleistet sind als auch der Aufenthalt am Tage für alle Ziel- und Risikogruppen optimiert ist.

### *Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevanten Flächen*

Großräumige, gut wasserversorgte und durch flache Vegetation geprägte Freiflächen wie Wiesen, Felder, Kleingartenanlagen und Parklandschaften sind Quellen für Kalt- und Frischluft und bedürfen daher eines besonderen Schutzes. Die bodennahen Luftmassen kühlen hier nachts sehr viel schneller ab als über den versiegelten Oberflächen urbaner Räume. Die entstehende Kaltluft ist für die Stadtbevölkerung nur dann von Relevanz, wenn sie über hindernisarme Leitbahnen (z.B. zusammenhängende Grünzüge, Gleistrassen, breite Straßen und Fließgewässer) in Richtung der thermisch belasteten Siedlungsräume transportiert werden kann. Grünland produziert während seiner nächtlichen Abkühlung Kaltluftmengen in der Größenordnung von etwa  $10 - 12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ . Bei fehlendem Abfluss würde sich in einer Stunde eine 12 m hohe Kaltluftschicht bilden, die nur durch stark ausgeprägte Hindernisse abgebremst werden könnte. Auch Wälder können Kaltluftquellgebiete darstellen, die nächtlichen Abkühlungsraten sind aber geringer als über dem Freiland. Allerdings sind Wälder in der Lage, auch am Tage Kaltluft für angrenzen-



de Siedlungsflächen zu erzeugen. Besonders wirksam für die Abkühlung am Tage sind stadtnahe Wälder an Nord- und Osthängen (MVI 2012). Auch wenn ihre Wirkung meist überschätzt wird, nehmen neben den großen Kaltluftentstehungsgebieten im städtischen Umland auch größere Grün- und Parkanlagen im innerstädtischen Bereich eine wichtige Funktion für den lokalen Kaltlufthaushalt ein.

#### *Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevanten Flächen*

Die Vernetzung von (urbanen) Frei- und Grünflächen ist eine insbesondere im Zusammenhang mit dem Biotop- und Artenschutz schon länger bekannte Maßnahme (Jedicke 1994). Aber auch für das Stadtklima ist die proaktive Vernetzung von zuvor unzusammenhängenden Grünflächen mithilfe von grünen Trittsteinen eine wichtige Option. Zum einen können auf diese Weise neue großräumige und lokale Leitbahnen geschaffen und damit das übergeordnete und kleinräumige Luftaustauschsystem ausgebaut werden. Neben der Wohlfahrtswirkung für den nächtlichen Kaltlufthaushalt tritt die Erhöhung des Erholungsangebotes für vom Hitzestress am Tage Betroffene. Hier besteht eine enge Verknüpfung zu der Schaffung von Kleinstparks und großflächiger Park- und Grünanlagen. Die Vernetzung muss allerdings nicht zwangsläufig durch die Schaffung neuer Parks und Grünanlagen erfolgen, auch begrünte Radwege und Gleisflächen können eine entsprechende Funktion erfüllen. Aufgrund des Ausströmens der Kaltluft aus den Grünflächen ist auch eine unmittelbare räumliche Verknüpfung nicht unbedingt erforderlich, wenn die trennende Bebauung locker, nicht zu hoch und im Idealfall durch Vorgärten oder grüne Wege geprägt ist.

#### *Vermeidung von Austauschbarrieren*

Der Schutz und die Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevanten Flächen können ihre anvisierte Wirkung nur dann entfalten, wenn auch sichergestellt ist, dass die entstehende Kalt- bzw. Frischluft aus den Flächen möglichst ungehindert ausströmen kann. Die Wirkung einer Kaltluftleitbahn ist desto besser je hindernisfreier sie ist. Austauschbarrieren sollten daher im Einflussbereich von Kaltluftflüssen grundsätzlich vermieden werden. Das gilt für Wälder, Parks, landwirtschaftliche Flächen und Gewässer gleichermaßen. Bei Barrieren kann es sich um quer zur Fließrichtung der Kaltluft verlaufende natürliche (z.B. Baumgruppen) oder bauliche Hindernisse (z.B. Bahndämme, Gebäude) handeln. In Einzelfällen kann eine vorhandene oder absichtlich errichtete Barriere auch der Umleitung von Kaltluft dienen und dadurch die Durchlüftung einer Siedlung verbessern. Relativ dicht aneinander stehende und vor allem hohe Hindernisse verursachen örtliche Turbulenzen. Dieser Effekt führt zwar lokal zu einer Durchmischung der Luftmassen und somit ggf. zur Verdünnung der Luftschadstoffe, aber er führt auch zum Abbremsen des Lufttransports und erschwert so die Belüftung der ferner liegenden Bebauung (Stadt Sindelfingen 2001).

#### *Schutz bestehender großflächiger Parks / Grünflächen*

Großflächige Park- und Grünanlagen sind nicht nur aufgrund ihrer Bedeutung für den Kaltlufthaushalt besonders schützenswert, sondern auch, weil sie wichtige Erholungsflächen darstellen, die von den StadtbewohnerInnen inklusive der klimasensiblen Bevölkerungsgruppen am Tage gezielt aufgesucht werden. Die große Fläche bietet auch Schutz vor Lärmimmissionen. Eine besondere Rolle nehmen in diesem Zusammenhang städtische Wälder ein. Aufgrund der hohen Einwohnerdichte sind die einschlägig bekannten Park- und Grünanlagen im innerstädtischen Bereich besonders schützenswert. Über das



Landschaftsprogramm und den Flächennutzungsplan kann und wird der besonderen Schutzwürdigkeit dieser Flächen Rechnung getragen werden.

### *Schutz von offenen Wasserflächen*

Größere Fließ- und Standgewässer weisen für das Stadtklima grundsätzlich eine doppelte Wohlfahrtswirkung auf. Zum einen stellen sie ruhigkeitsarme Ventilationsbahnen dar, über die vor allem bei al-lochthonen Wetterlage Kalt- und Frischluft z.B. vom Umland in die Innenstadt transportiert wird. Die glatte Wasseroberfläche lässt auch die thermisch induzierten Kaltluftflüsse besser als über einer rauen Landschaft strömen, weshalb die Übergangsbereiche der Gewässer möglichst barrierefrei im klimaökologischen Sinne gestaltet werden sollten. Die Strömungsgeschwindigkeit ist von der Wassertemperatur und dem Volumenstrom abhängig. Wärmt sich das Gewässer tagsüber bzw. über mehrere Tage stark auf, so kann es einen, vor allem geringen, Volumenstrom der nächtlichen Kaltluft auch weiter verringern. Zum anderen weisen offene Wasserflächen aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität gegenüber den bodennahen Luftschichten einen sehr viel ausgeglicheneren Jahres- und Tagesverlauf auf. Während der Sommermonate und speziell während Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld dadurch tagsüber kühlend. Auch bei kleineren Gewässern, Wasserspielplätzen oder Brunnen in Parks und auf Stadtplätzen kommt dieser Effekt zum Tragen. Nachts kann ihre oberflächennahe Temperatur allerdings auch über der umgebenden Lufttemperatur liegen, weshalb sie in den Nachtstunden „den thermischen Komfort kaum verbessern“ (Kuttler 2013) oder sogar die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel verstärken können. Die Wirkung von Gewässern ist daher durchaus ambivalent und im Einzelfall zu beurteilen.

## **7.2 Maßnahmen für den thermisch belasteten Siedlungsraum**

### *Verschattung im Öffentlichen Raum*

Die Verschattung verringert die thermische Belastung durch die direkte Sonneneinstrahlung am Tage. Die beschatteten Straßen und versiegelten Gehwege speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten. Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeineffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden. Die Verschattung erfolgt gegenwärtig in aller Regel mittels Bäumen und Sträuchern, vereinzelt auch durch Gebäudeanbauten (z. B. Markisen in Fußgängerzonen) oder Kleinbauten (z. B. Wartehäuschen an ÖPNV-Haltestellen). Perspektivisch ist auch der großflächigere Einsatz künstlicher Materialien denkbar (z. B. Sonnensegel).

### *Begrünung und Verschattung von Parkplätzen*

Die zumeist ungehinderte Einstrahlung führt tagsüber zu einer hohen Wärmebelastung direkt auf der Parkfläche. Die hohe Wärmespeicherkapazität des Bodenbelags (Asphalt, Beton, Schotter) kann darüber hinaus auch die Abkühlung in den angrenzenden Wohngebieten verringern. Der Einsatz von Vegetation kann diese Effekte reduzieren. Zusätzlich wird die Wärmeemission der an- und abfahrenden Kraftfahrzeuge durch Verschattung und Verdunstungskühlung kompensiert und auch der Aufheizung der PKW-Innenräume wird vorgebeugt. Alternativ oder ergänzend können Überdachungen, Sonnensegel oder



ähnliche Schatten liefernde Bauten eingesetzt werden. Aufgrund der fehlenden Verdunstung ist ihre Wirkung im Vergleich zu Bepflanzung jedoch herabgesetzt. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (Klima-Arten-Matrix von Rolof A. et al., 2008).

#### *Verbesserung der Erreichbarkeit von Grünflächen*

Aus humanbioklimatischer Sicht ist die Verbesserung der Erreichbarkeit von Grünflächen vor allem in den thermisch belasteten und mit Grünflächen unterversorgten Wohngebieten prioritär. Dies kann zum einen durch die Anlage neuer Grünflächen erfolgen. Zum Teil kann aber auch schon eine verbesserte verkehrliche Anbindung der Quartiere an größere und kleine Parkanlagen ausreichend sein. Hierzu gehören vor allem die Beseitigung oder Erleichterung der Querbarkeit von baulichen oder natürlichen Barrieren (Fließgewässer, Gleise oder stark befahrene Straßen), so dass die Öffentliche Hand den zentralen Akteur zur Umsetzung der Maßnahme darstellt.

#### *Innen-/Hinterhofbegrünung*

Das Ziel von Innen-/Hinterhofbegrünungen liegt in der Verbesserung des Mikroklimas direkt am Ort des Eingriffs. Dabei steht die Verbesserung der Tagsituation durch die Bereitstellung von Schattenflächen im Fokus. In Kombination mit einer Entsiegelung und einer Verschattung von sonnenexponierten Gebäude-seiten kann auch eine unmittelbare Verbesserung der thermischen Situation im Gebäudeinneren insbesondere auch für die Nachtsituation erreicht werden.

#### *Verschattung von Gebäuden*

Gebäude können durch Bäume oder Gebäudebegrünung oder auch durch bautechnische Maßnahmen verschattet werden. Das primäre Ziel ist es, die direkte Aufheizung sowie die Wärmespeicherung der Gebäude über die Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster) zu verringern. Sonnenexponierte Gebäudeseiten sind dabei von besonderer Bedeutung. Großkronige Laubbäume sind gegenüber Nadelbäumen zu bevorzugen, da sie im Winter einen vergleichsweise geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Die meisten architektonischen Möglichkeiten bieten Neubauten, viele bautechnische Elemente lassen sich aber auch nachrüsten. Ausführungsbeispiele hierfür sind Vordächer, Vertikallamellen, Markisen und Sonnensegel. Für die Maßnahmen direkt am Gebäude trägt der (private) Eigentümer die Verantwortung. In den eigenen Liegenschaften sowie im Grenzbereich zwischen Straßenraum und Privatgrundstück kann die Öffentliche Hand direkt tätig werden. Eine Verschattung ist in fast allen Flächentypen möglich und sinnvoll.

#### *Erhöhung der Oberflächenalbedo*

Ein Maß für das Rückstrahlvermögen von Oberflächen ist die Albedo. Sie gibt das Verhältnis von einfallender zu reflektierter Strahlung an und wird in Werten von null bis eins angegeben. Eine hohe Albedo hat aus thermischer Perspektive sowohl eine positive Auswirkung auf die Wärmeleitung als auch auf die Lufterwärmung. Je höher also die Albedo der Baumaterialien oder der Fassadenanstriche („cool colors“)



ist, desto mehr einfallende Sonnenstrahlung wird von ihnen reflektiert und desto geringer fällt die Erwärmung der Oberfläche und der angrenzenden Luftmassen aus. Auch die Entsiegelung und Begrünung führen oft zu einer Albedoerhöhung, da Pflanzen ein höheres Rückstrahlvermögen als beispielsweise dunkler Asphalt aufweisen.

#### *Anlage von offenen Wasserflächen im öffentlichen Raum*

Offene Wasserflächen weisen eine positive Wirkung auf die thermische Situation auf. Dies gilt insbesondere für die Tagsituation. Hier findet Verdunstung statt, die Energie aus der umgebenden Luft benötigt und diese abgekühlt („Verdunstungskühlung“). Je größer die Wasseroberfläche, desto stärker ist die kühlende Wirkung. Bewegtes Wasser erzielt eine stärkere kühlende Wirkung als stehendes Gewässer, da die verdunstungsfähige Oberfläche bei der Bewegung vergrößert wird (Xue et al. 2014). In Sommernächten verbessern Wasserflächen aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität hingegen eher nicht den thermischen Komfort. Während langer Wärmeperioden können sie in den Nachtstunden sogar wärmer werden als die umgebende Luft und somit deren Abkühlung verringern (Kuttler 2013). Ausführungsbeispiele für die Maßnahme sind Brunnen, Wasserspielplätze, künstliche Wasserfälle, Regenrückhaltebecken oder Teiche.

#### *Energetische Gebäudesanierung*

Die energetische Gebäudesanierung ist in erster Linie eine Klimaschutzmaßnahme, die durch technische und bauliche Maßnahmen den (Heiz-)Energiebedarf der zu sanierenden Gebäude verringern soll. Allerdings weisen die gängigen Dämmmaterialien auch einen geringeren Wärmedurchgang von außen nach innen auf, so dass im Sommer auch der thermische Komfort im Innenraum verbessert wird. Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2013) regelt die einzuhaltende Qualität der Dämmstoffe. Es besteht eine enge Verbindung zur Maßnahme der Erhöhung der Oberflächenalbedo, auch Fassaden- und Dachbegrünungen weisen dämmende Eigenschaften auf.

#### *Dachbegrünung*

Es gibt grundsätzlich zwei Formen einer Dachbegrünung. Extensive Dachbegrünungen haben eine dünne Substratschicht und eine rasenartige Vegetation. Intensive Dachbegrünungen hingegen zeichnen sich durch mehrere Substratschichten und höhere Vegetation auf. Sie können je nach Platzverfügbarkeit eine Gartenlandschaft mit Bäumen, Teichen, Sumpfböden und Wegen darstellen und bedürfen im Regelfall einer Pflege, sowie ggf. einer Bewässerung und Düngung (FLL 2002, DDV 2011). Die kühlende Wirkung einzelner Dachbegrünungen beschränkt sich auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche. Mit der Maßnahme lässt sich also vor allem das Innenraumklima in den darunter liegenden Dachgeschoßwohnungen verbessern (Groß 2012). Es kann allerdings begründet angenommen werden, dass eine Begrünung vieler Dächer auch einen signifikanten Effekt auf die gesamtstädtische Wärmeinsel aufweist. Intensive Gründächer können zudem begangen werden und bieten damit auch unmittelbar eine thermische Komfortzone. Alle Dachbauweisen bis ca. 45° sind für Begrünungen grundsätzlich geeignet. Eine Prüfung der statischen Verhältnisse ist erforderlich. Vor allem für die intensive Begrünung ist eine massive Baukonstruktion unabdingbar. Außerdem muss das Dach wasserdicht sein und gegen Durchwurzelung geschützt werden (FLL 2008).



### *Fassadenbegrünung*

Der planmäßige und kontrollierte Bewuchs geeigneter oder speziell vorgerichteter Fassaden mit Pflanzen wird als Fassadenbegrünung bezeichnet. Es wird zwischen erd- und fassadengebundenen Systemen unterschieden. In erster Linie wirkt die Grünfassade dämmend auf das Gebäude und führt zu Abmilderung der Innentemperaturextreme im Tages- und Jahresverlauf. Das schattenwerfende Blattwerk, die Luftschicht zwischen der Vegetation und der Hauswand sowie die Evaporation verringern die Wärmeaufnahme und die Oberflächentemperatur der Gebäudehülle und erhöhen den thermischen Komfort in allen Stockwerken des Gebäudeinneren sowie im unmittelbar angrenzenden Außenklima. Es gibt diverse Ausführungsmöglichkeiten einer Fassadenbegrünung. Die Entscheidung hängt hauptsächlich von den Bauwerkseigenschaften ab und sollte gut geplant werden, um eventuelle Schäden am Gebäude oder Begrünung zu vermeiden. Dabei ist sowohl der Aufbau (Pflanzenart, Befestigungsart und die entstehende Last) zu berücksichtigen als auch die späteren pflegerischen Maßnahmen (Bewässerung, Pflanzschnitt) (FLL 2000).

### *Sommerlicher Wärmeschutz an Gebäuden*

Effektive Maßnahmen um möglichst wenig Wärme in das Gebäude zu lassen, beziehen sich vor allem auf Fenster- und sonstige Glasflächen. Hier sind insbesondere außen liegende Sonnenschutzelemente wie Jalousien, Markisen und Fensterläden zu nennen. Eine weitere Möglichkeit stellt reflektierendes oder absorbierendes Sonnenschutzglas oder -folie dar. Innenliegende Elemente sind deutlich weniger effektiv, aber z.B. bei bestimmten Vorgaben des Denkmalschutzes eine gute Alternative (Baudialog 2017).

### *Anpassung des Raumnutzungskonzeptes*

Innerhalb von Wohngebäuden sind Schlafräume, Kinderzimmer und Arbeitszimmer als besonders hitzeschutzbedürftig einzustufen. In Büroräumen soll die Temperatur 26°C nicht übersteigen (ASTA 2010). Bei klimasensiblen Gebäudenutzungen sollte grundsätzlich in von den Risikogruppen genutzten Zimmern ein angenehmes – oder zumindest nicht belastendes - Raumklima herrschen. In Krankenhäusern gilt dies ganz besonders für die Säuglings- und Kinderstation sowie für die Kardiologie. Neben Maßnahmen, die zu einer unmittelbaren Verringerung der Lufttemperatur im Innenraum führen, stellt die Anpassung des Raumnutzungskonzeptes in Bestandsgebäuden bzw. die Optimierung des Grundrisses bei Neubauten eine weitere Option zur Verringerung von thermischem Stress dar. Dies bedeutet vor allem, dass – sofern möglich – sensible Räume (s.o.) nach den Himmelsrichtungen zwischen Norden und Osten (N, NNO, NO, ONO und O) ausgerichtet werden und damit nicht dauerhaft einer unmittelbaren Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind.

### *Technische Gebäudekühlung*

Technische Gebäudekühlung dient der Reduktion der Wärmebelastung in Innenräumen, in denen passive Maßnahmen nicht oder nicht ausreichend angewendet werden können. Aktuell werden nur rund 1-2 % der Wohngebäude aber 50 % aller Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland technisch gekühlt (Bettgenhäuser et al. 2011). Dies erfolgt auf der Basis von DIN 13779. Klassische Klimaanlage weisen aufgrund ihres hohen Energiebedarfs sowie ihrer klimaschädlichen Kältemittel eine schlechte Ökobilanz



auf (UBA 2015). Ressourcenschonende Lösungen sind die Erdkälte-nutzung oder die adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird. Auch Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder KWK-Abwärme angetrieben werden, werden derzeit erprobt und weiterentwickelt (SenStadtUm Berlin 2010).

### **7.3 Leitbahn- und wirkungsraumbezogene Maßnahmen**

#### *Begrünung von Gleistrassen*

Straßenräume mit integrierten Tramgleisen können durch Entsiegelung und Begrünung der Gleistrassen bioklimatisch aufgewertet werden. Während ein mit dunklem Schotter bedeckter Gleiskörper im Sommer Oberflächentemperaturen von mehr als 50°C aufweist, wärmt sich die Vegetation nur auf etwa 25-30°C auf. Die Lufttemperatur im näheren Umfeld wird durch die Transpirationskühlung der Begrünung gesenkt. Besonders effektiv sind großflächige Begrünungen auf langen Strecken (Siegl et al. 2010 und Henze et al. 2003).

#### *Rückbau / Entdichtung*

Durch den Rückbau von Gebäuden werden die Bebauungsdichte und das Bauvolumen verringert, wodurch wiederum der Wärmeinseleffekt lokal reduziert wird. Auf frei werdenden Flächen können klimatische Entlastungsgebiete entstehen (z.B. Kleinstparks). Die geringere Bebauung führt zur Verbesserung der Durchlüftung. Der erhöhte Vegetationsanteil senkt die umgebende Lufttemperatur und es kommt zur Verringerung des Regenwasserabflusses. Rückbaumaßnahmen mit anschließender Begrünung sind am konfliktärmsten in Stadtteilen mit Bevölkerungsrückgang zu realisieren.

#### *Entsiegelung*

Unter Entsiegelung wird der Austausch von komplett versiegelten Flächen zugunsten von teilversiegelnden Oberflächenmaterialien (z.B. Rasengittersteine, Fugenpflaster, Sickerpflaster). Auch eine Komplettentsiegelung mit anschließender Begrünung ist möglich (Sieker, 2014). Das Ziel der Maßnahme ist die (teilweise) Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktionen. Aus klimatischer Sicht sind vor allem die Effekte einer reduzierten Wärmespeicherung sowie einer erhöhten Verdunstungskühlung von Bedeutung.

#### *Anlage neuer großflächiger Parks / Grünflächen*

Die Neuanlage großflächiger Parkanlagen unterstützt unmittelbar das Ziel eines gesunden Stadtklimas. Ihre Bedeutung für den nächtlichen Kaltlufthaushalt und die Erholung vom thermischen Stress am Tage wurde bereits mehrfach betont. Bei der Neuanlage sollte vor allem auf eine ausreichende Mikroklimavielfalt sowie auf eine Vermeidung von Austauschbarrieren geachtet werden.

#### *Anlage von Kleinstparks*

Kleinstparks (sog. „Pocket-Parks“) sind kleine (manchmal auch gärtnerisch gestaltete) Grünflächen im innerstädtischen Raum. Sie werden vornehmlich auf ungenutzten oder brachliegenden Flächen oder



Baulücken errichtet, so dass die zentralen Akteure von den jeweiligen Besitzverhältnissen abhängig sind. Ihre Ausstattung reicht von einfachen Pflanzenbeeten und Bänken unter Bäumen bis hin zu Gartenkunst mit hochwertiger Gestaltung. Dominieren auf der Fläche Bäume und/oder offene Wasserflächen, bieten sie an heißen Sommertagen eine lokale Kühlinself zum Abbau des thermischen Stresses.



## 8 Zusammenfassung

In diesem Gutachten wurde anhand des exemplarischen Baubeschränkungsereich „Schrote“ geklärt, ob eine teilweise Umnutzung von Leitbahnelementen möglich ist, ohne dass die klimaökologisch wichtige Funktion als Kalt-/Frischluftleitbahn nachhaltig gestört oder sogar unterbunden wird. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde anschließend ein Handlungsleitfaden für den Umgang mit Bautätigkeiten in klimaökologischen Baubeschränkungsbereichen entwickelt, welcher auf die gesamte Stadt Magdeburg anwendbar ist.

Anhand des Modellbeispiels „Schrote“ kann abgeleitet werden, dass eine Kaltluftleitbahn um nicht mehr als 2/3 ihres Querschnittes durch eine Bebauung reduziert werden sollte. Bei einer 2/3-Bebauung ist vor allem auf einen möglichst großen Abstand (etwa 900 m) zwischen dem neu geplanten Gebäude und dem leeseitigen Wirkungsraum zu achten, um negativen Effekten (z.B. Reduktion des Kaltluftvolumenstroms) vorzubeugen. Ein deutlich geringeres Risiko besteht, wenn die Kaltluftleitbahn nur zu 1/3 ihres Querschnitts bebaut wird. Eine vollständige Bebauung der Leitbahn (3/3) kann grundsätzlich nicht empfohlen werden. Eine Ausrichtung der Baukörper parallel zur Strömungsrichtung (letztere kann aus Abb. 12 entnommen werden) sowie eine niedrige Gebäudehöhe (z.B. max. 10 m, wie im Modellbeispiel angenommen) ist außerdem sinnvoll (vgl. Kapitel 4).

Klimatische Negativeffekte können je nach Umfeldbedingungen variabel sein. Allgemein kann jedoch festgehalten werden, dass die Kernzone einer Leitbahn, die inneren 100 m, der Bereich mit der höchsten Strömungsdynamik ist. Die Kernzone stellt somit die klimaökologisch relevanteste Teilfläche in einer Leitbahn dar und sollte im Hinblick auf Klimaanpassung immer von Bebauung freigehalten werden. Besonders vulnerabel sind die Leitbahnen, die bereits einen hohen Anteil an Gebäuden in der Kernzone haben. Umgekehrt ergeben sich für die Kaltluftleitbahnen mit bisher geringer Bebauung die größten Eingriffspotenziale. Eine mögliche Bebauungsvariante im Bereich der Kaltluftleitbahn stellen Einfamilienhäuser mit großen Grundstücken und einem Versiegelungsgrad von nicht mehr als 20% dar. Dagegen sollten Gewerbeflächen im Bereich der Kaltluftleitbahn vermieden werden. Diese heizen sich aufgrund ihres hohen Versiegelungsgrades bei entsprechenden Wetterlagen stark auf und fungieren durch ihre großvolumige Ausprägung als Strömungshindernis (vgl. Kapitel 6).

Für den Erhalt von klimaökologischen Funktionen hat der Schutz einer Kaltluftleitbahn oberste Priorität. Im Falle von baulichen Eingriffen in ein Leitbahnsystem sollten sich demnach die entsprechenden Vorsorgemaßnahmen direkt auf den Frischluftkorridor beziehen. Ist dies aus bestimmten Gründen nicht möglich, dann sollte zumindest dafür gesorgt werden, dass sich die klimaökologische Situation im angrenzenden Wirkungsraum verbessert, um die negativen Effekte zu kompensieren. Zu den Klimaanpassungsmaßnahmen in der Kaltluftleitbahn zählen eine optimierte Gebäudeausrichtung, eine mikroklimatische Vielfalt in öffentlichen Grünflächen, der Schutz und die Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen, die Vermeidung von Austauschbarrieren sowie der Schutz von Grün- und Wasserflächen. Maßnahmen für den Wirkungsraum reichen von Fassaden-, Dach- und Innenhofbegrünung über Verschattungsmaßnahmen bis hin zur energetischen Gebäudesanierung (vgl. Kapitel 7).



## 9 Literatur

- Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2010): Technische Regel für Arbeitsstätten: Raumtemperatur, ASR A3.5, Quelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)(28.08.2015). Internet: <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/1108456/publicationFile/89166/ASR-A3-5.pdf> (Zugriff: 23.3.2017).
- Baudialog (2017): Sommerlicher Wärmeschutz. Internet: <http://www.baudialog.de/bauen/infos-fuer-bauherren/sommerlicher-waermeschutz> (Zugriff: 23.3.2017).
- Bettgenhäuser et al. (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Schriftenreihe Climate Change des UBA. UFO-Planvorhaben 3708 41 110.
- DDV (=Deutscher Dachgärtner Verband e.V.) (2011): Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen. Nutzen, Fördermöglichkeiten, Praxisbeispiele.
- FLL (=Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2000): Fassadenbegrünungsrichtlinie – Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen von Kletterpflanzen.
- FLL (=Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2002): Pflege und Wartung von Begrüntem Dächern. FLL: Selbstverlag.
- FLL (=Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2008): Dachbegrünungsrichtlinie - Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. FLL: Selbstverlag.
- GEO-NET (2012): Klimagutachten für das Bebauungsplanverfahren 165-5 „Östlich Grabbestraße“.
- GEO-NET (2013): Klimafunktionskarte und Planungshinweiskarte Klima/Luft für die Landeshauptstadt Magdeburg: Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen im Stadtgebiet von Magdeburg und deren planungsrelevante Inwertsetzung im Rahmen einer vorsorgeorientierten Umweltplanung.
- GEO-NET (2014): Stadtklimatische Baubeschränkungsgebiete für die Landeshauptstadt Magdeburg: Klimaökologische Begleitung diverser raumplanerischer Belange zur Berücksichtigung bioklimatologischer Ausgleichsfunktionen im Rahmen der Neuaufstellung des Flächennutzungsplanes.
- Gross, G. (2012): Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing, Meteorologische Zeitschrift, 21: 173-181.
- Gross, G. (2012): Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments, Meteorologische Zeitschrift, 21: 399-412.
- Günther, R. (2014): The role of soil water content for microclimatic effects of green roofs and urban trees – a case study from Berlin, Germany, Journal of Heat Island Institute International, 9-2.
- Henze; H.J., Kappis, C., Model, N., Siemsen, M., Tapia, O., Treffkorn, A., Tschuikowa, S.: (2003): Grundlagenforschung und Entwicklung von Schienenfahrwegen für den regionalen Personenverkehr - Prognosemodelle ANIRAIL zur Emissionsminderung von schienengebundenen Fahrwegen unter Nutzung von Gleisbett-Naturierungen (LERM), Abschlussbericht Forschungsvorhaben.



- Jedicke, E. (1994): Biotopverbund: Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. Stuttgart: Ulmer Verlag (2.Auflage).
- Kuttler, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).
- UBA (=Umweltbundesamt)(2015): Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebäudeklimatisierung> (Zugriff: 23.3.2017).
- MVI (=Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg) (2012): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- Roloff A., Gillner S., Bonn S., TU Dresden (2008): Klima-Arten-Matrix (KLAM- Stadt) aus der Broschüre des Bundes Deutscher Baumschulen e.V. (BdB): Forschungsstudie Klimawandel und Gehölze.
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung; Bearbeitung: Technische Universität Berlin, Hochschule Neubrandenburg.
- Siegl, A., Kirchner, L., Böhme, D. (2010): Wasserverfügbarkeit, Wasserbedarf und klimatische Auswirkungen von Rasengleisen, Berliner Geographische Arbeiten 116, Das Grüne Gleis - Vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung, Berlin 2010, S. 123-132.
- Sieker, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. mbH (2014): Arbeitsmaterialien Forschungsprojekt KURAS - Maßnahmensteckbriefe. Internes Dokument.
- Stadt Sindelfingen (2001): Belüftungsanalyse für das Stadtgebiet von Sindelfingen Im Internet: [http://www.ima-umwelt.de/fileadmin/Dokumente/Klima/belueftungsanalyse\\_sindelfingen.pdf](http://www.ima-umwelt.de/fileadmin/Dokumente/Klima/belueftungsanalyse_sindelfingen.pdf) (Zugriff: 23.03.2017).
- Xue, F., Xiaofeng Li, Zhiqin Zhang (2014): Numerical Study on Thermal Environment around the Fountain, Proceedings 7. Japanes-German Meeting, Hannover.