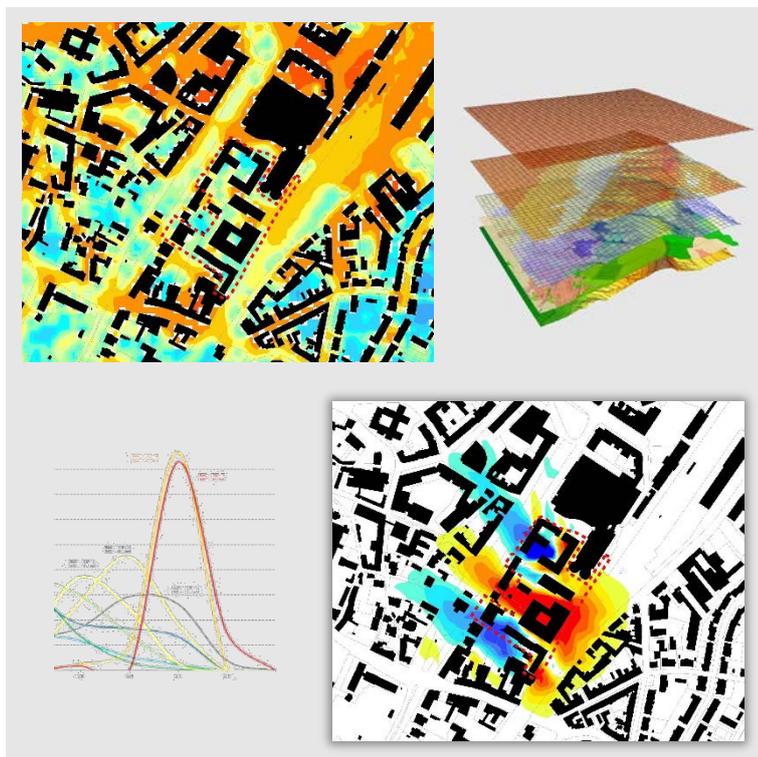


Klimaökologische Untersuchung Bebauungsplan BM 139 "Innenentwicklung Ostallee"



Auftraggeber:

Quartier Ostallee GmbH

Ostallee 7-13

54290 Trier



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a

30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	2
Inhaltsverzeichnis	1
1. Aufgabenstellung und Einleitung	3
1.1 Der Bebauungsplan BK 30 „Quartier Ostallee“	4
2. Methode	6
2.1 Datengrundlage und Modellrechnung	6
2.2 Synoptische Rahmenbedingungen	6
2.3 Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom	6
3. Ergebnisse.....	8
3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt.....	8
3.1.1 Lufttemperatur.....	8
3.1.2 Kaltluftströmungsfeld.....	14
3.1.3 Kaltluftvolumenstrom	20
3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur.....	25
4 Fazit	30
5 Literatur	34
6 Glossar	35

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage	4
Abb. 1.2: Freiflächenplan Quartier Ostallee Trier (Stand 05.06.2023).....	5
Abb. 2.2: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern	7
Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld im Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)	11
Abb. 3.2: Nächtliches Temperaturfeld im Planszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)	12
Abb. 3.3: Differenz der Lufttemperatur zwischen Planszenario und Basisszenario	13
Abb. 3.4: Prinzipskizze Flurwind	14
Abb. 3.5: Bodennahes Windfeld im Bereich Quartier Ostallee in der Klimaanalyse 2014 (links) und der aktuellen Untersuchung (rechts).....	15
Abb. 3.6: Nächtliches Windfeld im Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	17
Abb. 3.7: Nächtliches Windfeld im Planszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	18
Abb. 3.8 Differenz der Windgeschwindigkeit zwischen Planszenario und Basisszenario	19
Abb. 3.9: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.....	20
Abb. 3.10: Kaltluftvolumenstrom im Bereich Quartier Ostallee	21
Abb. 3.11: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Basisszenario (4:00 Uhr).....	22
Abb. 3.12: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Planszenario (4:00 Uhr).....	23
Abb. 3.13: Absolute Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Planzustand und Basisszenario	24
Abb. 3.14: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) im Basisszenario (14:00 Uhr)	27
Abb. 3.15: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) im Planszenario (14:00 Uhr).....	28
Abb. 3.16: Differenz der PET zwischen Planzustand und Basisszenario.....	29
Abb. 4.1: Prozentuale Abnahme des Kaltluftvolumens in den Siedlungsflächen gegenüber dem Istzustand	30
Abb. 4.2: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen	32
Tabellenverzeichnis	
Tab. 4.1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden.....	25

1. Aufgabenstellung und Einleitung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen sind nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt sich die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Aspekte sind somit durch den Menschen beeinflussbar und daher feste Bestandteile der räumlichen Planung. Das Schutzgut „Klima“ ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zu dessen sachgerechter Beurteilung. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas, der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen ableiten, die der Erhaltung günstiger bioklimatischer Verhältnisse dienen bzw. auf eine Verbesserung des Stadtklimas in ungünstig bewerteten Teilräumen abzielen. Um diesen Leitgedanken langfristig verfolgen zu können, ist es zudem erforderlich, die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Mit dem *Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden* im Jahr 2011 sind die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in der Bauleitplanung gestärkt (Novellierung des Baugesetzbuchs (BauGB)) und nun ausdrücklich zu einer Aufgabe der Bauleitplanung nach § 1 (5) BauGB erklärt worden: „Die Bauleitpläne sollen [...] 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 [...].“ Zusätzlich heißt es in § 1a (5) BauGB: „Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem **Klimawandel** entgegenwirken, als auch durch solche, die der **Anpassung an den Klimawandel** dienen, Rechnung getragen werden.“

Im Auftrag der Quartier Ostallee GmbH wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der im Rahmen des Bebauungsplans BM 139 "Innenentwicklung Ostallee" vorgesehenen Flächennutzungsänderungen durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das nähere Umfeld des geplanten Bauvorhabens:

- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabenfläche vor?
- Wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen?
- Wie wird sich das Bebauungsvorhaben voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken?

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 das geplante Quartier gelegt. 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. 1.1**).

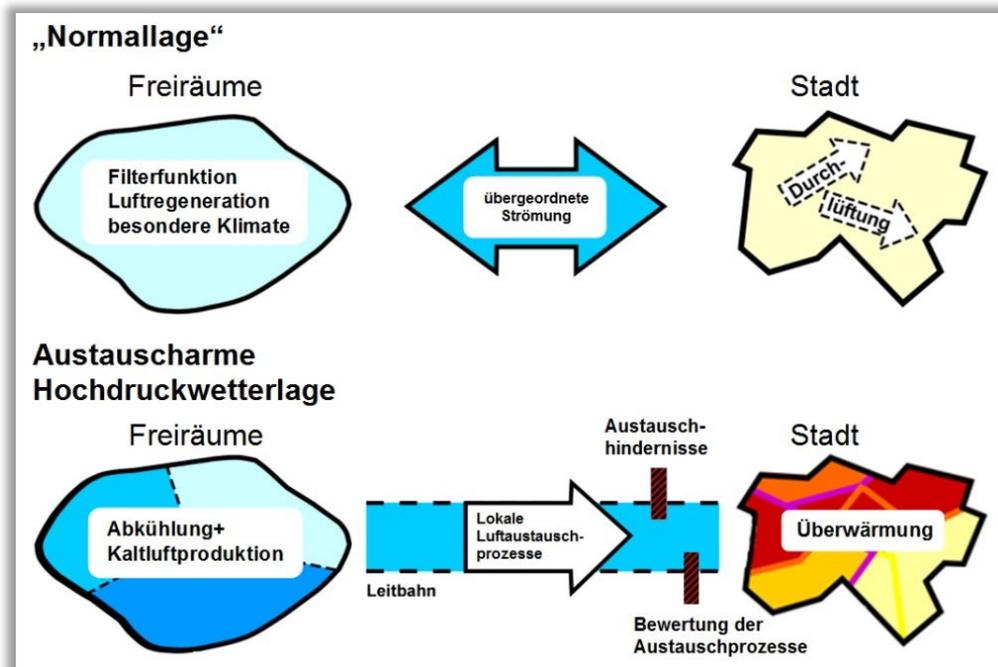


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Diese Wetterlage wird wegen der belastenden Wirkung auf die Gesundheit des Menschen unter besonderer Beachtung von Älteren, Kranken und Kindern zur Beurteilung der bioklimatischen Situation gemäß VDI-RL 3785 Blatt 1 herangezogen. Die Nachtsituation ist dahingehend von Relevanz, da nur dann unter den windschwachen Bedingungen eine im Vergleich zu Siedlungsflächen intensivere Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation erfolgt. Dabei entstehen je nach Größe unterschiedliche Mengen an Kaltluft, welche als lokale Strömungssysteme Kalt-/Frischluft für den Siedlungsbereich liefern und dort die Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeperioden abmildern können. Dargestellt wird eine windschwache, austauscharme sommerliche Wettersituation für die Monate Juli / August, wie sie auch der gesamtstädtischen Klimaanalyse zugrunde liegt. Da im Rahmen der gesamtstädtischen Klimaanalyse Trier (GEO-NET 2008, 2014) für den überplanten Bereich bzw. das nähere Umfeld ein klimaökologisch wirksamer Kaltluftstrom festgestellt werden konnte, welcher einen thermischen Ausgleich in den Nachtstunden angrenzenden bebauten Bereiche erbringt, ergibt sich die Relevanz für eine vertiefende Untersuchung.

1.1 Der Bebauungsplan BM 139 "Innenentwicklung Ostallee"

Die Stadtwerke Trier (SWT) und die Volksbank Trier (VBT) beabsichtigen nach der Verlagerung von Betriebseinheiten der SWT nach Trier-Kürenz die Entwicklung eines neuen Wohn-, Gewerbe- und Dienstleistungsquartiers auf dem dann frei gewordenen Gelände der SWT. Für die weitere Flächenentwicklung des ca. 2,75 Hektar großen Areals sind der Neubau eines Verwaltungsgebäudes, das sowohl der SWT als auch der VBT als städtischer Hauptsitz dienen soll. Daneben sollen Wohnungen (inkl. sozial geförderter Wohnraum) sowie Einheiten für Dienstleistungen und Büronutzungen vorgesehen. Die geplante Bebauung ist im Wesentlichen durch Blockrandtypologien charakterisiert, wobei zwei Bestandsgebäude erhalten bleiben sollen.

Die Gebäude, die versiegelten und unversiegelten Flächenanteile wurden entsprechend dem Gestaltungsplan in die Flächenkulisse eingearbeitet. Die Lage und städtebauliche Strukturierung des geplanten Quartiers zeigt **Abb. 1.2**.



Abb. 1.2: Freiflächenplan Quartier Ostallee Trier mit Geltungsbereich Bebauungsplan BM 139 (Rot, Stand 05.06.2023)

2. Methode

2.1 Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Vom Auftraggeber wurden die Gebäudegeometrien als 3D-Modell mit der jeweiligen Gebäudehöhe zur Verfügung gestellt. Auf Grundlage dieser Informationen wurden den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen jeweils eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden.

2.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wetter-situation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

2.3 Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom

Für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Maßstabes, aufgrund welcher Kriterien eine Klassifizierung in Kategorien wie „Hoch“ und „Niedrig“ oder „Günstig“ und „Ungünstig“ erfolgt ist. In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) wird daher vorgeschlagen, für eine Beurteilung das lokale oder regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen.

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden der Parameter Kaltluftvolumenstrom über eine z-Transformation standardisiert¹. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. **Abb. 2.2**).

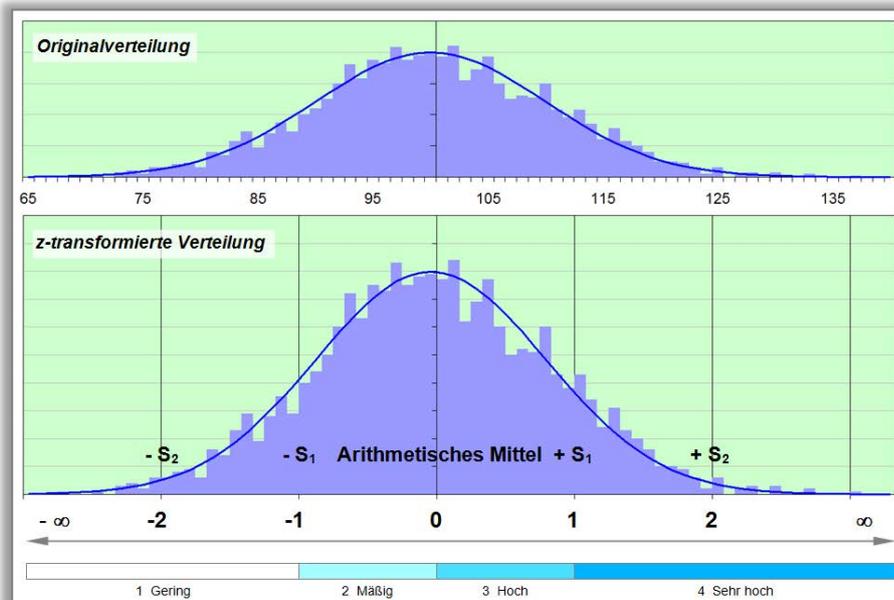


Abb. 2.2: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern (eigene Darstellung)

¹ Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom erläutert. Die Ergebnisse werden für den Istzustand als Basisszenario sowie dem Planfall für die zweite Nachthälfte (Kaltlufthaushalt um 4 Uhr morgens) dargestellt. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. un bebauten Flächen. Der 4 Uhr MEZ Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Die sommerliche Wärmebelastung während der Tagesstunden wird über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt und in einem eigenen Kapitel beschrieben (Kap. 3.2). In Abgrenzung zur Lufttemperatur handelt es sich hierbei um die tatsächlich empfundene Temperatur. Ihre Ausprägung wird vor allem über die Intensität der Sonneneinstrahlung bestimmt.

3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt

3.1.1 Lufttemperatur

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

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

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grünegeprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmestand auf.

Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt.

Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald-, Gehölz- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete haben eine klimatische Ausgleichsfunktion und filtern zudem Luftschadstoffe. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts in 2 m Höhe, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage kühlere Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, überwärmte Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten von Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Denn ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Entlastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas in den Nachtstunden weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Basisszenario

Das mit dem Klimamodell FITNAH für den Basisszenario simulierte Lufttemperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens umfasst unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von etwa 7 °C und erreicht dabei Werte zwischen 13,3 °C und 19,6 °C. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei 14,2 °C. Die höchsten Temperaturen von über 19 °C treten vor allem westlich der Planfläche in der Altstadt im Bereich Hauptmarkt auf (Orange; **Abb. 3.1**). Dies geht mit dem Volumen der Bebauung und der hohen Oberflächenversiegelung einher, da hier die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Beton und Stein deutlich reduziert wird. Abhängig von der Bodenbedeckung bzw. Versiegelungssituation sind Werte zwischen 18,0 °C und 19,0 °C in den übrigen Straßenräumen anzutreffen. Das Planareal selbst weist mit durchschnittlich 18,6 °C eine Überwärmung auf, wobei sich die großflächige Versiegelung im Temperaturfeld abzeichnet (Orange). Gleichzeitig treten auch im Bereich der Kernstadt die größeren durchgrüneten Flächenanteile im Umfeld des Doms sowie der Innenhöfe hervor und unterbrechen das Auftreten einer zusammenhängenden Wärmeinsel in der Altstadt. Die bodennahe Lufttemperatur beträgt hier kleinräumig weniger als 16 °C. Östlich des Planareals nimmt in Richtung auf den Petrisberg die Lufttemperatur im Siedlungsraum auf Werte zwischen 15 °C und 17 °C sukzessive ab, was neben dem intensiven Einwirken von Kaltluft auch auf die Grünanteile der Bebauung zurückzuführen ist.

Die Grünräume am Stadtrand kühlen in den Nachtstunden noch stärker aus. Dahingehend zeichnen sich vor allem die landwirtschaftlich genutzten Hangbereiche des Petrisbergs ab (blaue Farben). Die im dargestellten Ausschnitt tiefsten Werte von 13,5 °C liegen östlich der Kurfürstenstraße vor. Die bewaldeten Areale am

Petrisberg weisen mit bis zu 17 °C ein im Vergleich dazu höheres Temperaturniveau auf, da hier das Kronendach zu einem „Bestandsklima“ führt und die Abkühlung der Bodenoberfläche vermindert wird.

Planszenario

Das Temperaturfeld in 2 m Höhe für das Planszenario ist in **Abb. 3.2** dargestellt. Mit der Realisierung des Quartiers Ostallee ist eine flächenhafte Abnahme der Lufttemperatur zu beobachten. Diese steht innerhalb des Quartiers mit einer lokalen Entsiegelung im Zusammenhang. Außerhalb des Quartiers führt die geplante Bebauung nach Osten hin zu einem Stau der abfließenden Kaltluft, was mit einer Temperaturabsenkung im Bereich Güterstraße einhergeht (s. Differenzendarstellung in **Abb. 3.3**)

Differenzen

Die Abweichungen zwischen dem Planszenario und dem Basisszenario sind in **Abb. 3.3** als Absolutwerte dargestellt. Die Beschreibung von Temperaturdifferenzen in der Wissenschaft erfolgt üblicherweise in der Einheit Kelvin (K). Im Sinne eines guten Verständnisses der Karten werden die Differenzen in °C angesprochen, welche mit Kelvin gleichgesetzt werden können.

Im Planszenario tritt eine Zunahme (braune Farbe) nur ganz kleinräumig über zukünftig versiegelter Oberflächen auf. Es überwiegen Abnahmen in einer Größenordnung von bis zu 3 °C dort, wo eine Entsiegelung zu einer verringerten Abgabe von Wärme an die darüber lagernde Luft führt (grüne Farbe). Insofern führt die Entwicklung des Quartiers Ostallee zu einer Abnahme der nächtlichen Wärmebelastung im Quartier selbst und im näheren Umfeld. Die Beeinflussung des bodennahen Windfeldes führt zu einer leichten Abnahme östlich und südlich des Planareals. Es sind keine negativen Auswirkungen auf andere empfindliche Nutzungen im Stadtgebiet zu erwarten.

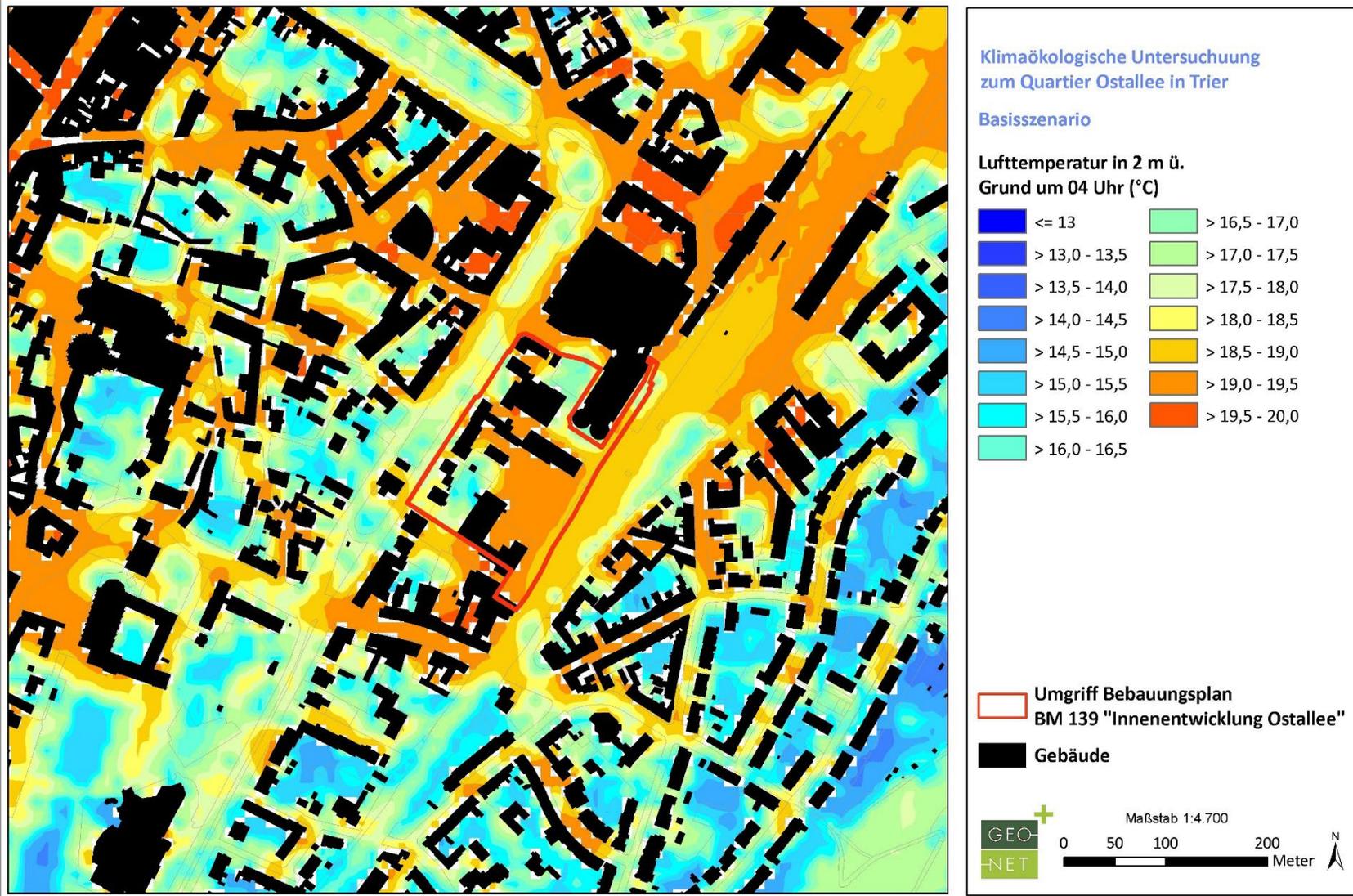


Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld im Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

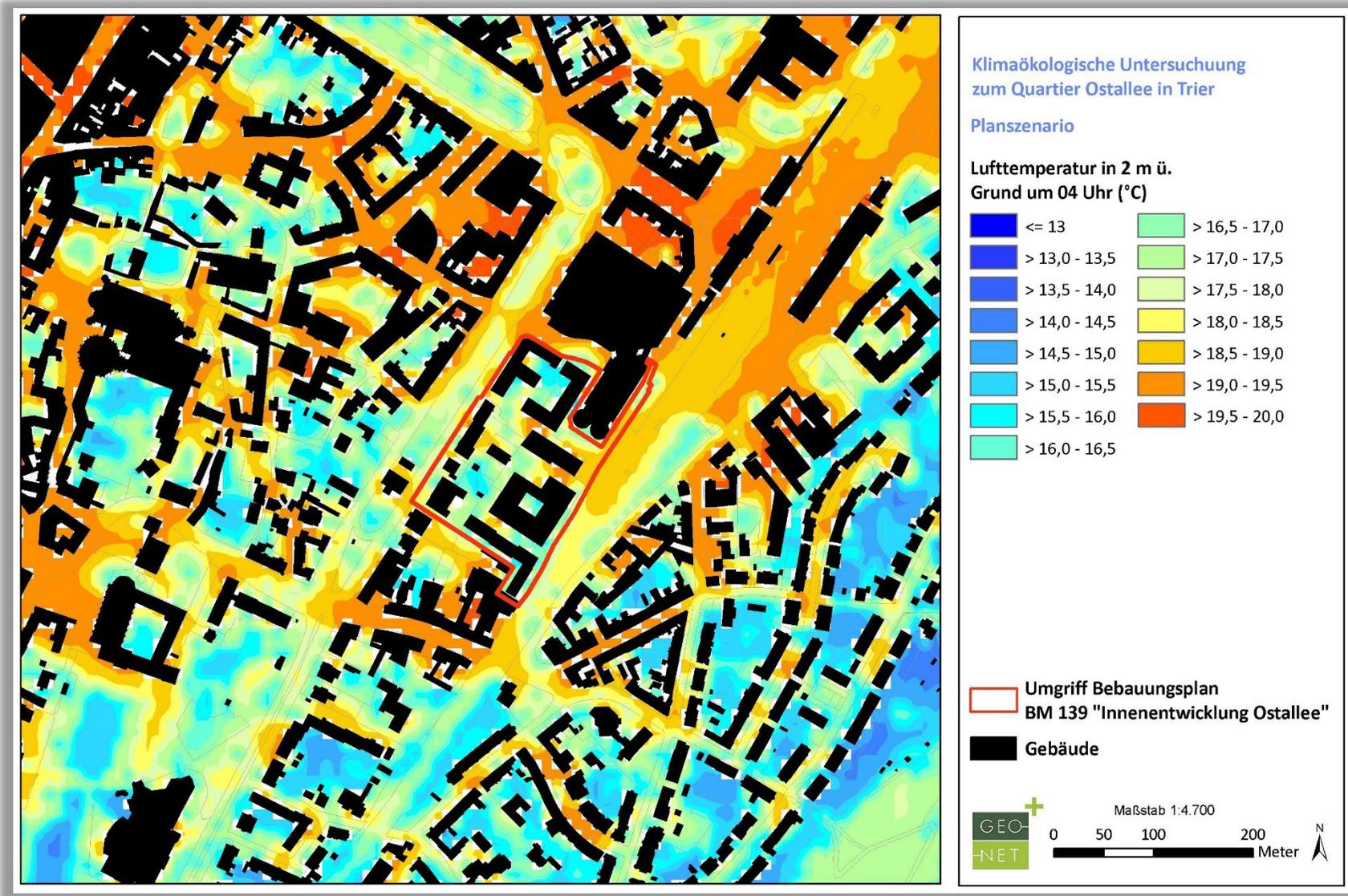


Abb. 3.2: Nächtliches Temperaturfeld im Planszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

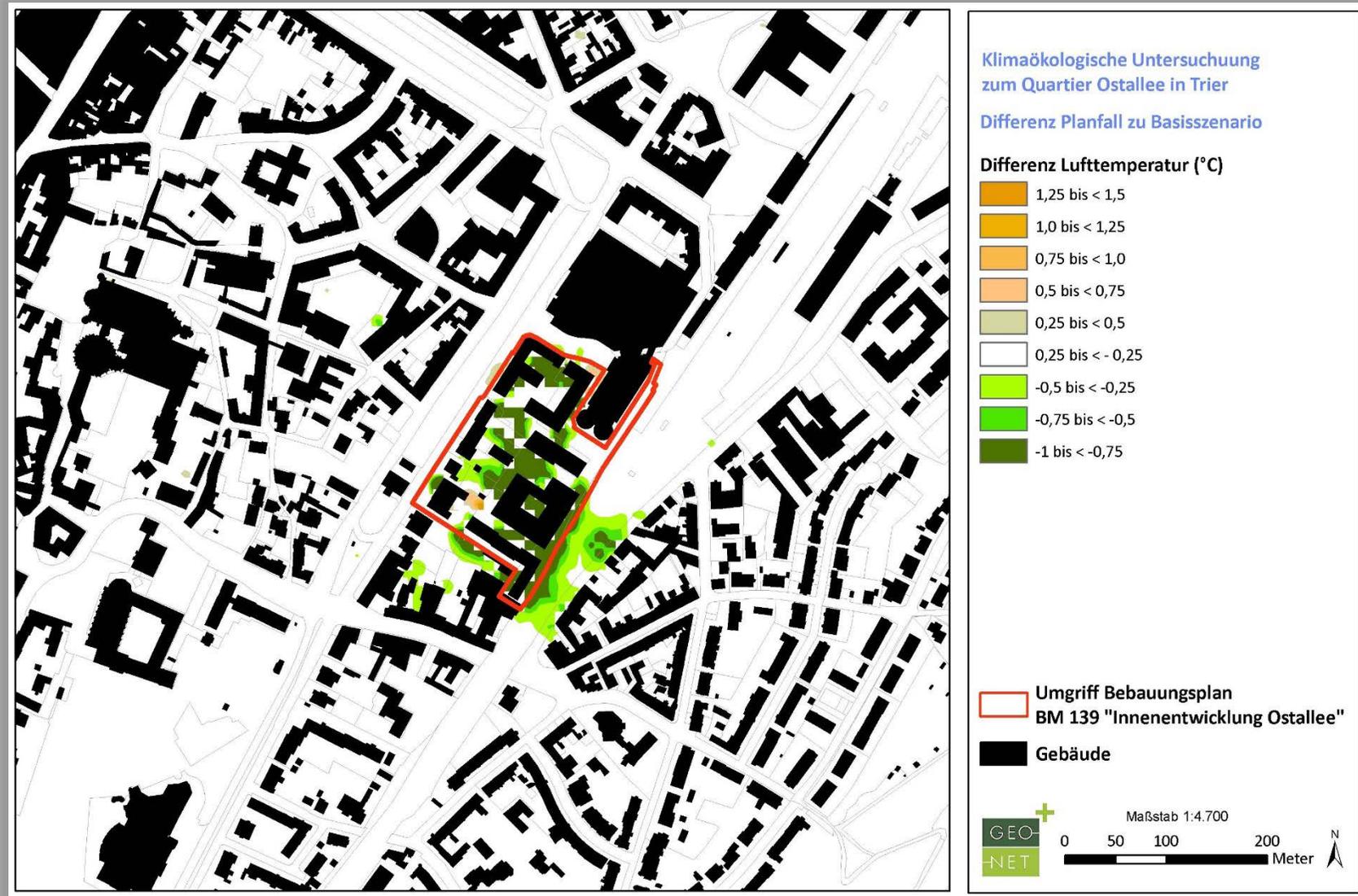


Abb. 3.3: Differenz der Lufttemperatur zwischen Planszenario und Basisszenario

3.1.2 Kaltluftströmungsfeld

Allgemeines

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieser Prozesse sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (**Abb. 3.4**). An den geneigten Flächen setzt sich außerdem abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So können z.B. an Hängen nächtliche Kaltluftabflüsse entstehen (u.a. Mosimann et al. 1999).

Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft bestimmt und durch eine vorhandene Neigung des Geländes $> 1^\circ$ verstärkt. Neben den durch die Geländeform bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck, aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. KIESE et al. 1992).

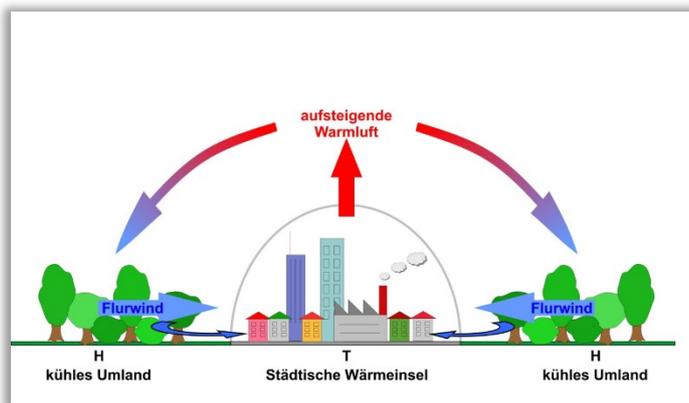


Abb. 3.4: Prinzipskizze Flurwind

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie dichte Baumbestände und Bauten abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die großräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen

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

Die Ergebniskarten stellen das zum nächtlichen Analysezeitpunkt 04:00 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 30 m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von $\geq 0,1$ m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann. Im Gegensatz zu einer austauschstarke „mittleren“

Wettersituation, bei der der Wind Blätter und Äste in den Bäumen bewegt, sind diese Windströmung von mehr als 0,1 m/s gerade noch als kühler Luftzug auf der Haut wahrnehmbar.

Basisszenario

Auf Grundlage der zuletzt durchgeführten Klimaanalyse der Stadt Trier (GEO-NET 2014) wurde ein Kaltluftstrom angenommen, welcher ausgehend vom Petrisberg das Planareal überströmt und sich weiter in Richtung Altstadt fortsetzt (vgl. Pfeilsignatur im linken Bildteil in **Abb. 3.5**). Allerdings wurden in der gesamtstädtischen Analyse, dem damaligen Stand der Technik entsprechend, die Oberflächenstrukturen in einer 25 m x 25 m Auflösung aufgelöst. Einzelne Gebäude wurden nicht wie jetzt explizit berücksichtigt, sondern klassifiziert über eine mittlere bauliche Dichte in der Modellsimulation abgebildet. Zudem war auch die bauliche Entwicklung im Bereich Predigerstraße noch nicht Teil der damaligen Flächenkulisse. Vor allem Letzteres führt in Summe bislang zu einer Überbetonung der Bedeutung der Planfläche als Luftaustauschbereich.

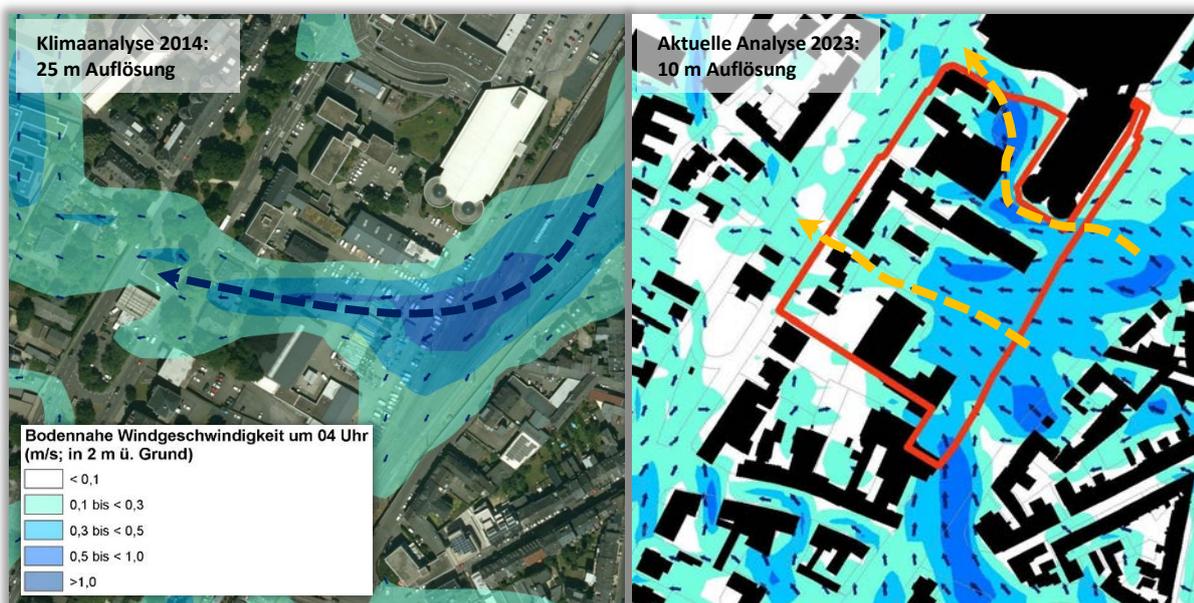


Abb. 3.5: Bodennahe Windfeld im Bereich Quartier Ostallee in der Klimaanalyse 2014 (links) und der aktuellen Untersuchung (rechts)

Die Ergebnisse für den Istzustand zeigen, dass die bodennahe Kaltluft über zwei Strömungsachsen das Planareal überstreicht (orangene Pfeilsignatur), wobei die dichtere Bebauung umströmt wird. Die höhere Auflösung der Nutzungsstrukturen führt somit gegenüber der Analyse 2014 zu einem differenzierteren Bild der Luftaustauschbeziehungen.

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, inwieweit sich die Umsetzung des Bauvorhabens auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. **Abbildung 3.6** zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für das Basisszenario in einer größeren Ausdehnung.

Über den unterschiedlich strukturierten Freiflächen im Umfeld des Plangebietes entsteht durch deren Abkühlung Kaltluft (vgl. Kap. 3.1). Deren Strömungsrichtung wird im Wesentlichen durch den Temperaturgradienten hin zu den wärmeren Siedlungsflächen sowie dem Relief bestimmt. Dabei entstehen vor allem über den Hangbereichen des Petrisbergs intensive Kaltluftabflüsse. Die mit mehr als 2,0 m/s höchsten Strömungsgeschwindigkeiten sind über den unbebauten Hangbereichen des Petrisbergs östlich Kurfürstenstraße anzutreffen (Dunkelblau). Gleichzeitig erfolgt ein Einströmen großer Mengen Kaltluft über die Straßenräume sowie der unbebauten Flächenanteile in Richtung Innenstadt.

Auch das Planareal wird von bodennaher nächtlicher Kaltluft überstrichen, wobei über der versiegelten Stellfläche der SWT eine Strömungsgeschwindigkeit bis zu 0,6 m/s auftritt. Zudem wird die unbebaute Abstandsfläche westlich des Parkhauses Ostallee von bodennaher Kaltluft überströmt. Gleichzeitig stellt sich die Bestandsbebauung im Planareal als Strömungshindernis dar. Die im Bereich der Konstantin-Basilika/Mustorstraße offener ausgeprägte Bebauung ermöglicht über die breiten Abstandsflächen hingegen das Einwirken von Kaltluft bis in Höhe des Doms.

Planszenario

Das nächtliche Strömungsfeld für das Planszenario zeigt **Abb. 3.7**. Dabei zeichnet sich die geplante Bebauung einerseits als Strömungshindernis ab, andererseits kommt es gleichzeitig auch zu geringfügigen Zunahmen der Strömungsgeschwindigkeit durch die Umlenkung des Kaltluftstroms.

Differenzen

Die Differenzenabbildung macht die Beeinflussung des Kaltluftströmungsfeldes noch besser sichtbar (**Abb. 3.8**). Braun und Orange kennzeichnen eine Abnahme der Geschwindigkeit gegenüber dem Basisszenario, die grünen Farben eine Zunahme. Die geplante Bebauung führt zu einer örtlichen Abwandlung der bodennahen Windgeschwindigkeiten um Werte über 0,1 m/s. Vor allem innerhalb des Planareals kommt es zu signifikanten Abnahmen um mehr als 0,2 m/s. Die Abnahmen treten dort auf, wo im Basisszenario noch keine Bebauung vorhanden war. Die Abnahme der bodennahen Strömungsgeschwindigkeit bleibt im Wesentlichen auf das Planareal begrenzt und geht nach Osten hin in Richtung Güterstraße auch darüber hinaus. Die Zunahmen (Grün) sind im Zusammenhang mit Kanalisierungs- und Umlenkungseffekten durch die zukünftigen Gebäude zu sehen.

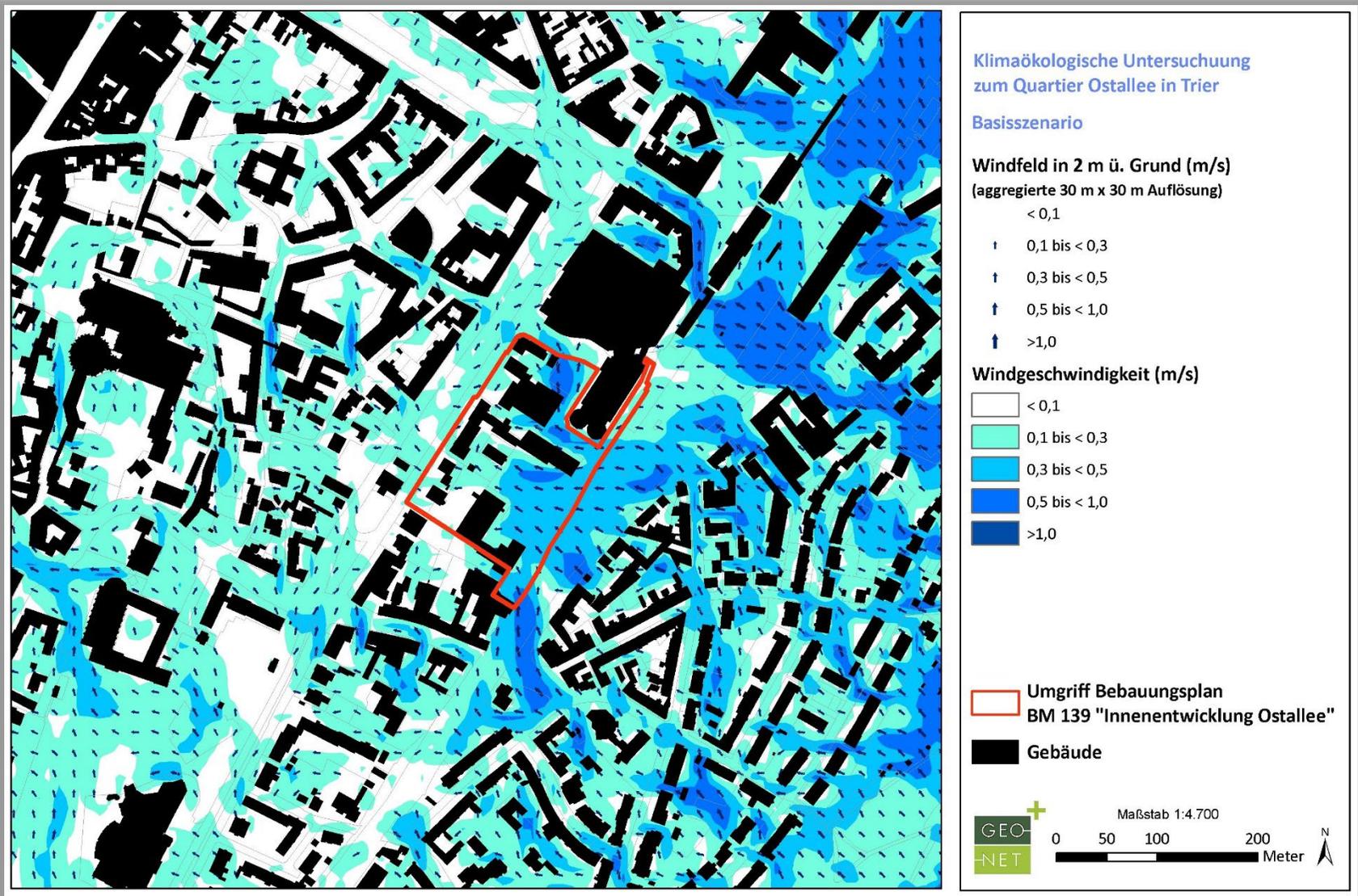


Abb. 3.6: Nächtliches Windfeld im Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

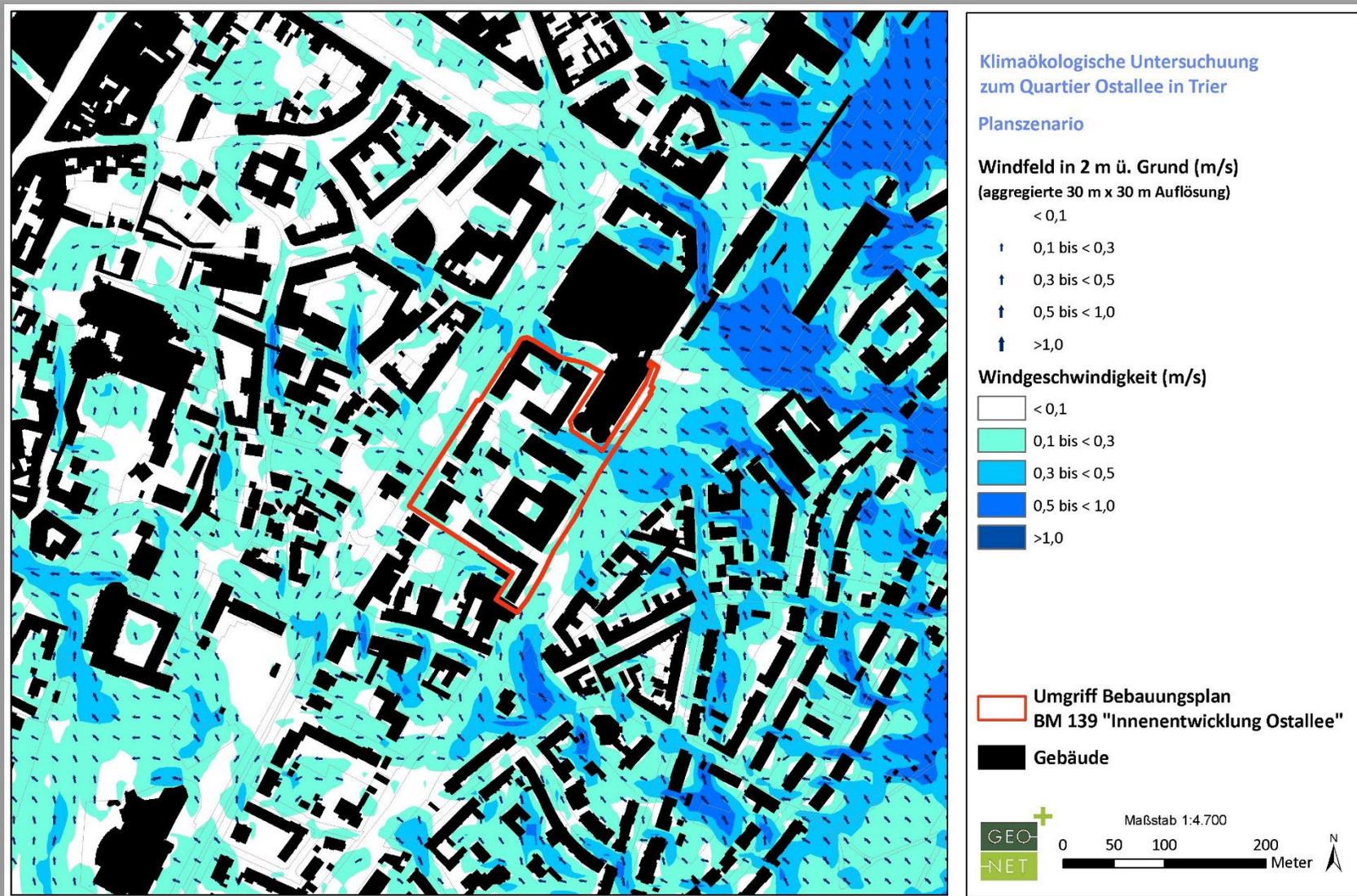


Abb. 3.7: Nächtliches Windfeld im Planszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

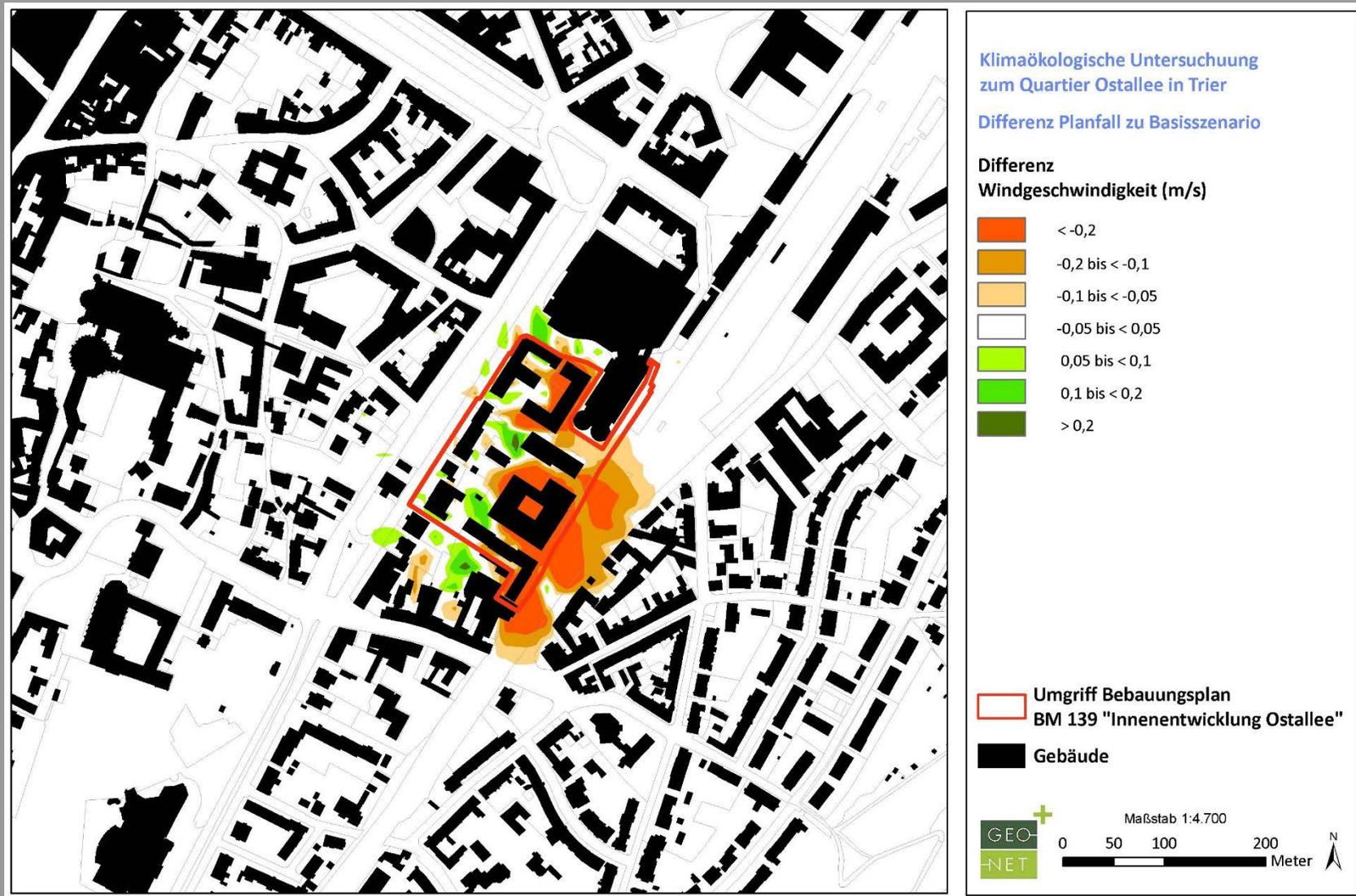


Abb. 3.8 Differenz der Windgeschwindigkeit zwischen Planszenario und Basisszenario

3.1.3 Kaltluftvolumenstrom

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

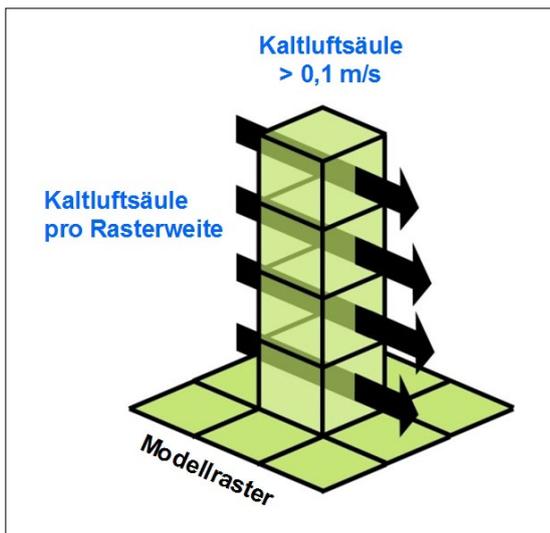


Abb. 3.9: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für dargestellten Ergebnisse bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 10 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-

dichte aufzufassen. Diesen Wert kann man sich veranschaulichen, indem man sich ein 10 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte (**Abb. 3.9**). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Basisszenario

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. **Abbildung 3.10** zeigt den Kaltluftstrom für das Basisszenario in einer quantitativen Abstufung im näheren Umfeld des Quartiers Ostallee. Hier werden die vom Petrisberg ausgehenden und sehr hoch ausgeprägten Kaltluftabflüsse sichtbar (Dunkelblau), welche über die in Kap. 3.2 beschriebenen Zutrittspfade innerhalb des Planareals in Richtung Westen einwirken (orangene Pfeilsignatur in **Abb. 3.10**). Jenseits der Ostallee setzt sich der Kaltluftstrom mit einer hohen bis mäßigen Intensität in die Bebauung fort. Die über das Planareal strömende Kaltluft hat einen Einwirkungsbereich, der sich etwa bis zum Auguste-Viktoria-Gymnasium erstreckt (gelbe Linie). Der Kaltluftstrom mit Bezug zur Altstadt lässt sich hingegen südlich des Planareals lokalisieren. Dieser wirkt bis zum Dom in die Bebauung ein (braune Linie). Daraus lässt sich folgern, dass eine bauliche Entwicklung innerhalb des Quartiers

Ostallee die Durchlüftung lediglich im Nahbereich beeinflussen wird. Die über das Planareal strömende Kaltluft kommt somit in erster Linie dem gegenüber liegenden Bereich Windstraße zugute. **Abbildung 3.11** stellt die Situation für das weitere Umfeld dar.

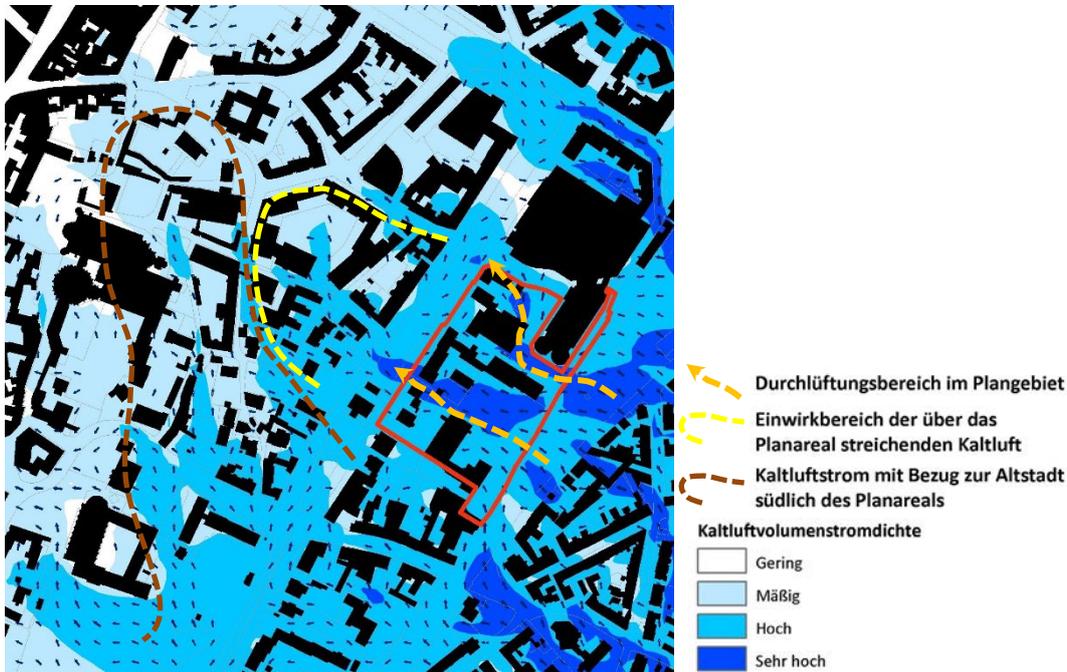


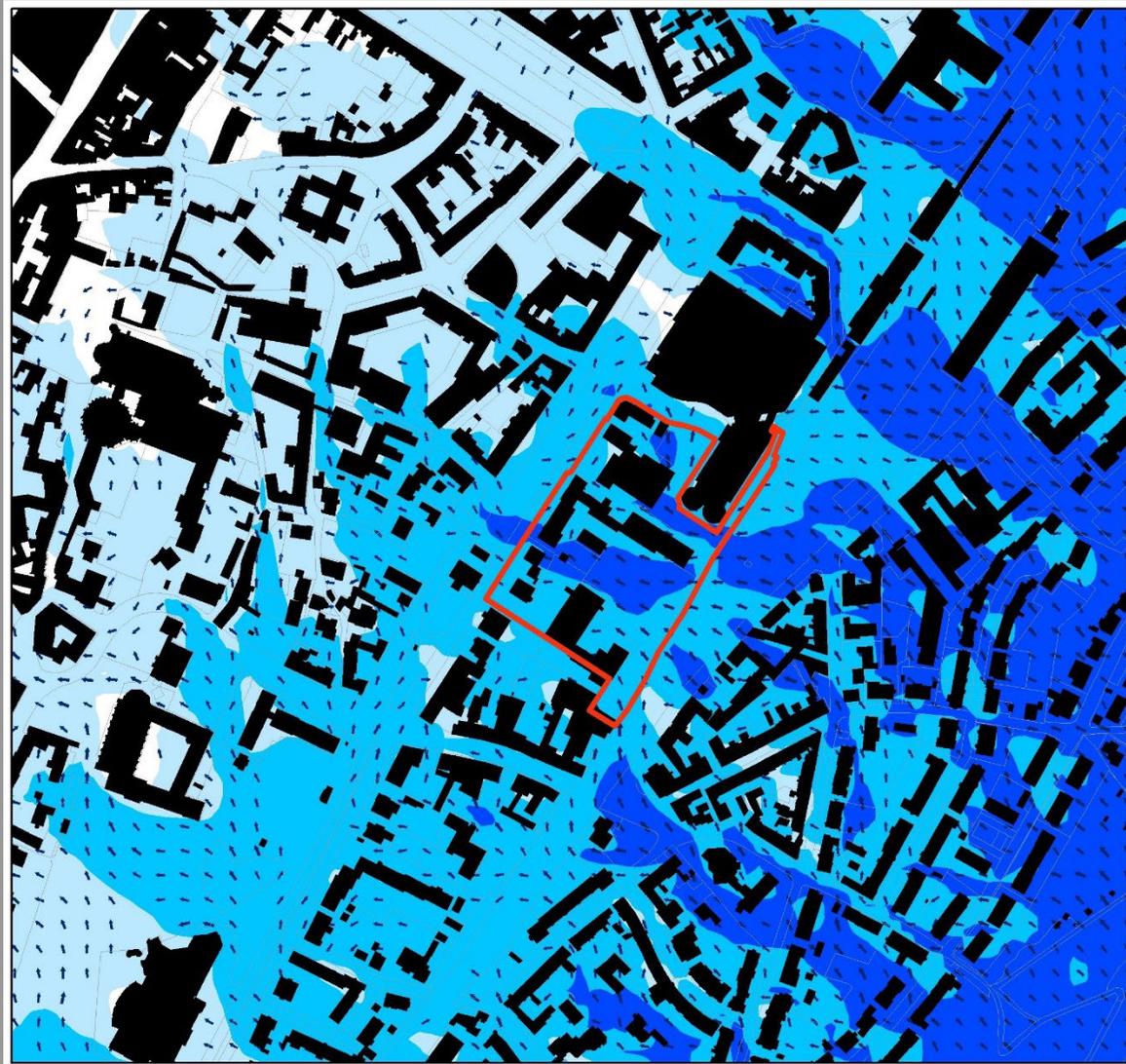
Abb. 3.10: Kaltluftvolumenstrom im Bereich Quartier Ostallee (gegenwärtige Situation)

Planszenario

Wie **Abb. 3.12** für das Planszenario zeigt, führt die zukünftige Bebauung zu einer lokalen Beeinflussung des Kaltluftvolumenstroms im Nahbereich des Plangebietes. Die Gebäude üben eine Hinderniswirkung auf die Kaltluft aus, so dass sich im Planfall die beschriebenen Durchlüftungsbereiche nicht mehr abzeichnen. Allerdings wirkt auch dann die Kaltluft noch mit hoher Intensität bis in Höhe der Deworastraße ein bzw. im Umfeld des Planareals ein flächendeckend hoher Kaltluftvolumenstrom anzutreffen. Darüber hinaus ist keine weitere Beeinflussung zu beobachten. Die Eindringtiefe der Kaltluft im Bestand ist insgesamt gesehen mit dem Basisszenario vergleichbar.

Differenzen

Im Planszenario führen die mit der Realisierung des Quartiers Ostallee einhergehende Neubebauung lokal zu einem Rückgang des Kaltluftvolumens. Dabei zeigt sich, dass die stärkste Hinderniswirkung vom Gebäudeteil „Headquarter“ ausgeht (**Abb. 3.13**; Gelb/Rot). Die Zone mit einer Abnahme des Kaltluftvolumens erstreckt sich bis zur Baldiunstraße/Windstraße. Dem stehen allerdings Zunahmen des Kaltluftvolumens nördlich und südlich davon gegenüber, die auf die Umlenkung und Kanalisierung der vom Petrisberg abfließenden Kaltluft zurückzuführen sind (Blau). Die Abnahmen im Nahbereich führen nicht zu einer substanziellen Verschlechterung der Durchlüftung, da hier weiterhin ein klimatisch wirksamer und hoch ausgeprägter Kaltluftvolumenstrom vorliegt. Dies gilt auch für den Bereich Güterstraße, für den ebenfalls eine Abnahme festgestellt werden kann.



Klimaökologische Untersuchung
zum Quartier Ostallee in Trier

Basisszenario

Windfeld in 2 m ü. Grund (m/s)
(aggregierte 30 m x 30 m Auflösung)

- < 0,1
- ↑ 0,1 bis < 0,3
- ↑ 0,3 bis < 0,5
- ↑ 0,5 bis < 1,0
- ↑ >1,0

Kaltluftvolumenstromdichte

- Gering
- Mäßig
- Hoch
- Sehr hoch

□ Umgriff Bebauungsplan
BM 139 "Innenentwicklung Ostallee"

■ Gebäude

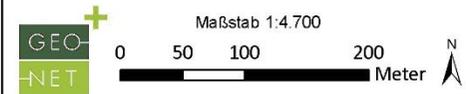


Abb. 3.11: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Basisszenario (4:00 Uhr)

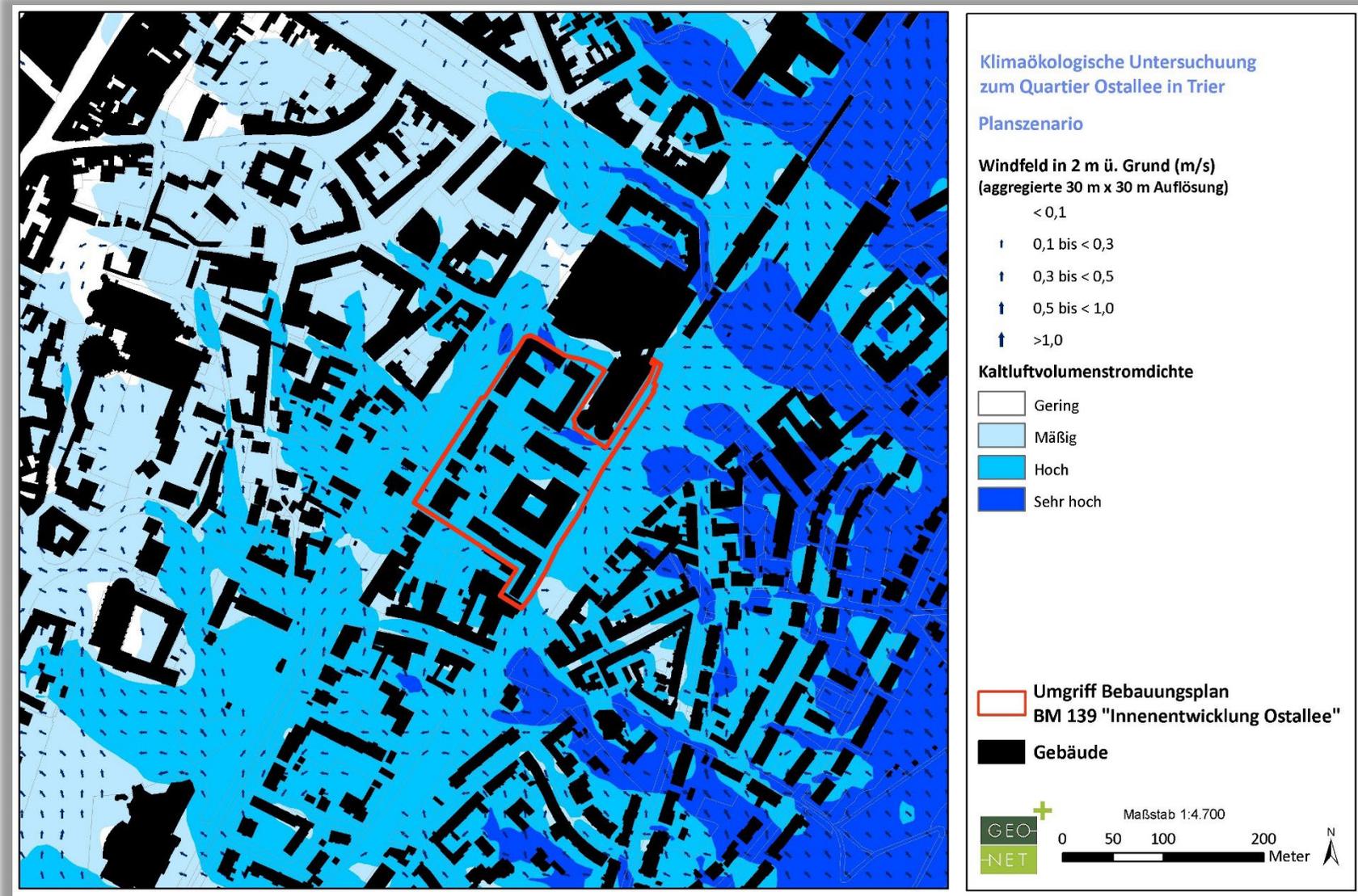


Abb. 3.12: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Planszenario (4:00 Uhr)

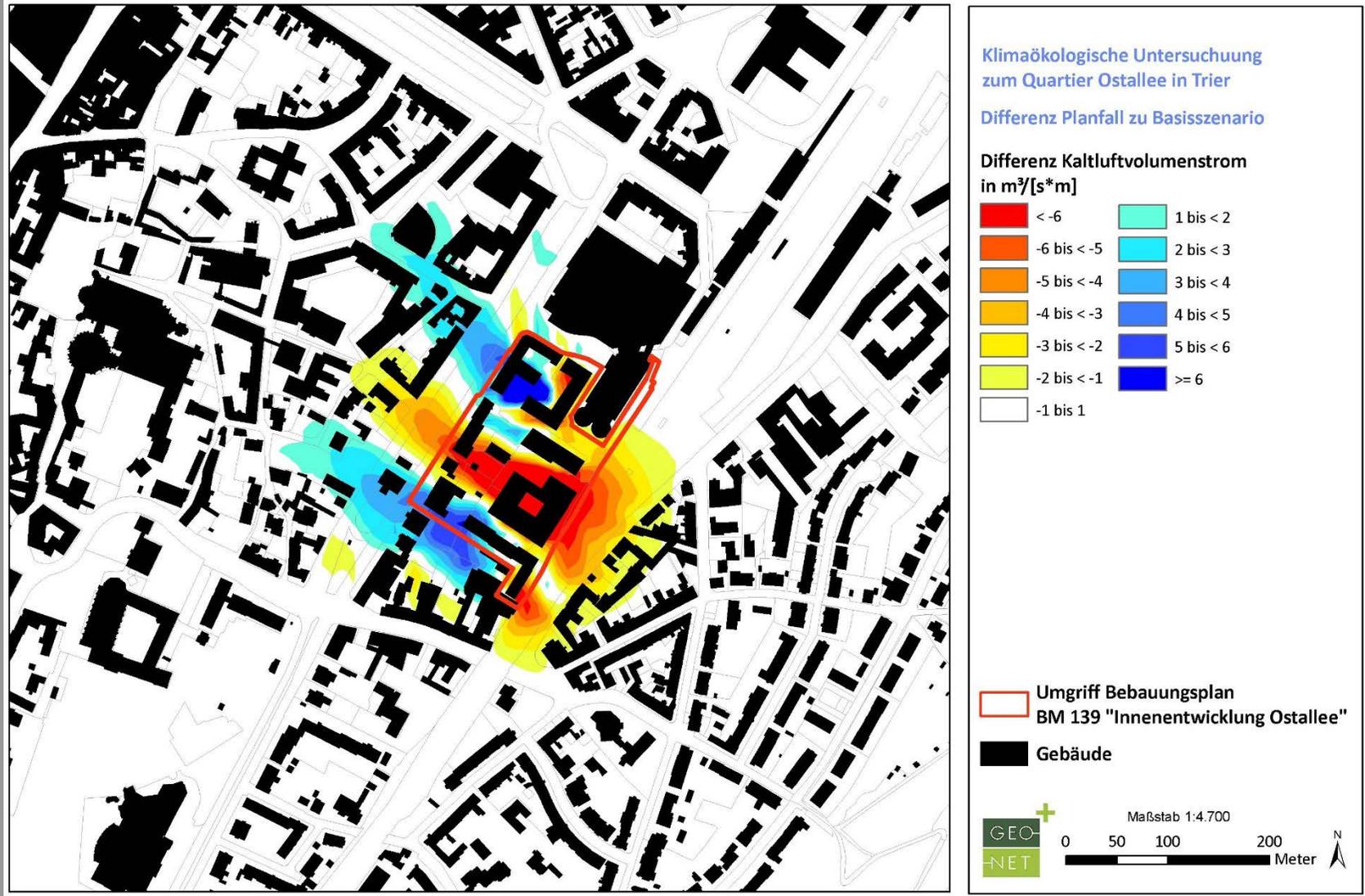


Abb. 3.13: Absolute Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Planzustand und Basisszenario

3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Allgemeines

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen². Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index).

In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr MEZ an einem wolkenlosen Sommertag herangezogen (vgl. Höpfe und Mayer 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Grösse, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte in Deutschland vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar und kann als die tatsächlich empfundene Temperatur angesehen werden.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 4.1; VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mässige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mässige Wärmebelastung
35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

Tab. 3.1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)

² Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, männlich, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).

Basisszenario

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage sowohl im Basisszenario als auch im Planszenario vor allem über die Verschattung beeinflusst wird (**Abb. 3.14**). Eine schwache bis mäßige Wärmebelastung mit einer PET von weniger als 35°C ist vor allem im Palastgarten sowie über den Waldflächen des Petrisbergs zu beobachten. Aber auch im Bereich grösserer Baumgruppen, Gärten und begrünter Straßenräume sind günstige Aufenthaltsbedingungen anzutreffen. Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35°C häufig als stark einzustufen ist (Gelb/Orange). Dies betrifft auch die großen und kaum verschatteten Parkplatzflächen und Straßenräume. Dahingehend ist auch der weitgehend unverschattete Freiraum des Plangebiets als stark belastet einzuordnen. Die höchste Belastung mit Werten von mehr als 41 °C tritt im Plangebiet selbst über den stark versiegelten Flächenanteilen sowie Güterstraße und weiteren Straßenabschnitten auf. Eine durch die Bebauung herabgesetzte Windgeschwindigkeit begünstigt dabei das Auftreten einer sehr starken/extremen Wärmebelastung, weil dadurch im zugrunde liegenden Wärmehaushaltsmodell die Verdunstung über die Haut reduziert wird und das Wärmeempfinden steigt.

Planszenario

Im Planszenario ist das Ausmaß der sommerlichen Wärmebelastung im geplanten Quartier deutlich verändert (**Abb. 3.15**). Mit der Realisierung der Planungen zeigt sich in den nun verschatteten Flächenanteilen lokal ein deutlicher Rückgang der PET und damit auch der Wärmebelastung. Die Standorte der Bäume orientieren sich am Freiflächenplan und können, da die Standorte nicht festgesetzt sind, im weiteren Planverfahren davon abweichen. Da für eine Modellsimulation die Flächenkulisse mit konkreten Strukturen aufgebaut wird, ist die dargestellte klimatische Wirkung von Bäumen als exemplarisch anzusehen. Es zeigt sich in den mit Bäumen bestandenen Blockinnenbereichen sowie den Aufenthaltsflächen eine vorwiegend mäßige Wärmebelastung. Eine Verschattung durch Bäume ist somit aus klimatischer Sicht als sehr positiv anzusehen. Darüber hinaus können perspektivisch noch zu entsiegelnde Flächenanteile zur Verbesserung der Situation beitragen.

Differenzen

Die in **Abb. 3.16** dargestellten Abnahmen (blaue Farbe) treten dort auf, wo die Verschattung zu einer Abnahme der Werte führt. Eine Zunahme (Gelb/Orange) geht im Wesentlichen durch die Veränderung des bodennahen Windfeldes einher. Zudem kann auch eine vorgesehene Versiegelung vormals unversiegelter Oberflächen zu einem lokalen Anstieg der PET führen. Die Modellsimulation zeigt, dass die Planungen durch die Beeinflussung des bodennahen Windfeldes zu einer leichten Erhöhung der PET führen, welche zur Güterstraße hin etwa 50 m über das Planareal hinausgeht. Empfindliche Nutzungen wie Wohnen sind davon nicht betroffen.

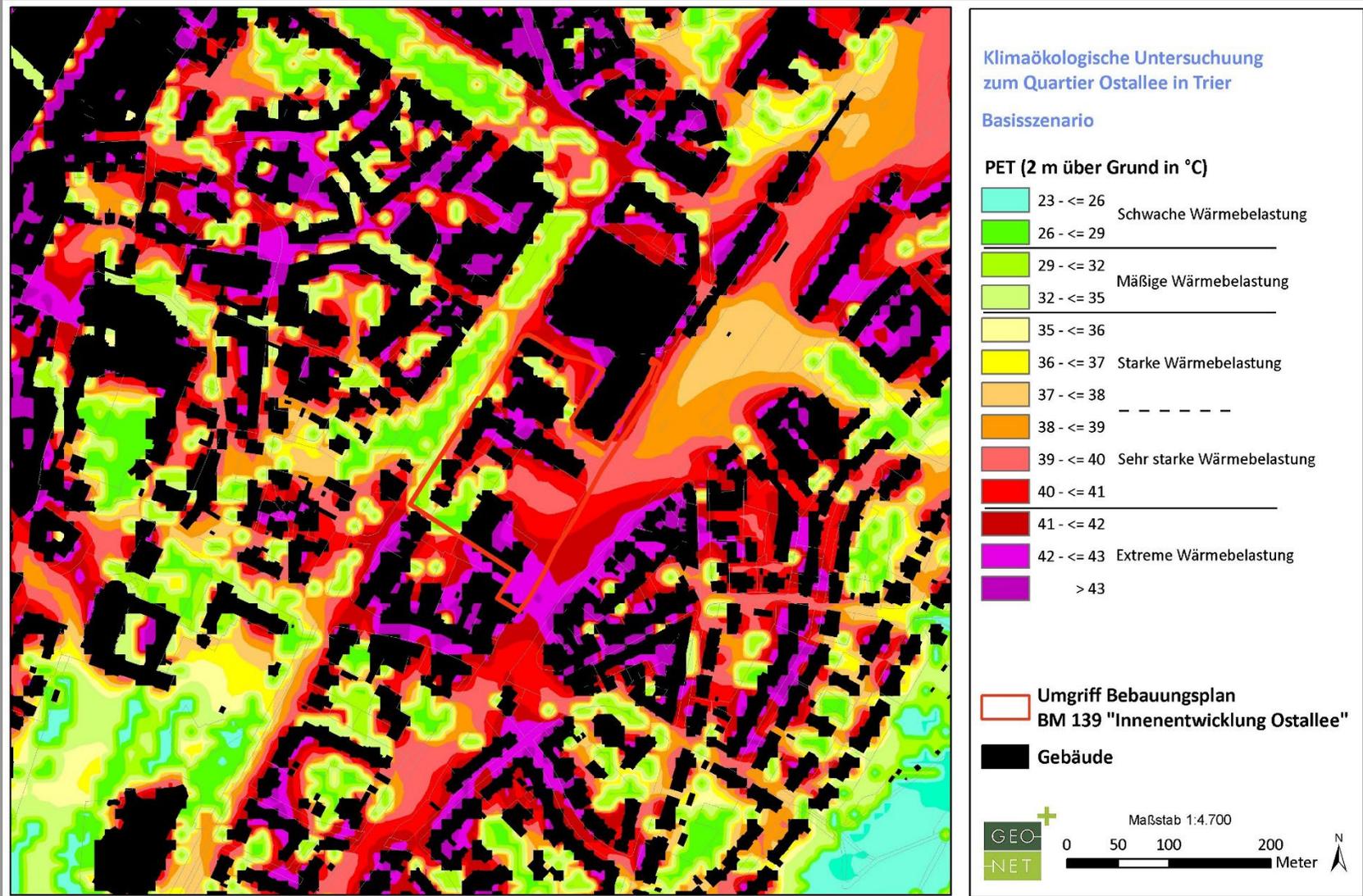
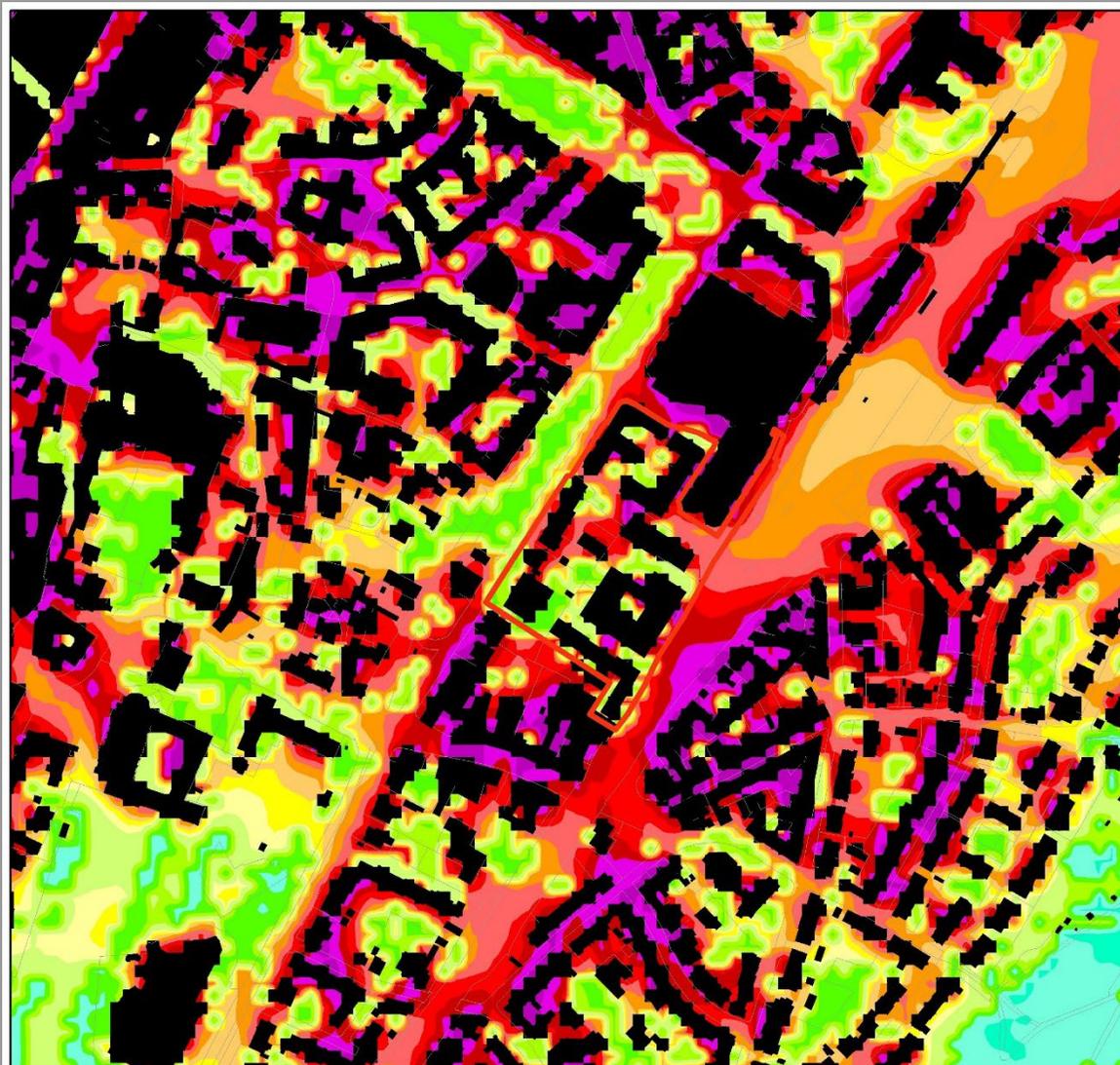


Abb. 3.14: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) im Basisszenario (14:00 Uhr)



Klimaökologische Untersuchung
zum Quartier Ostallee in Trier

Planszenario

PET (2 m über Grund in °C)



Umgriff Bebauungsplan
BM 139 "Innenentwicklung Ostallee"

Gebäude



Abb. 3.15: Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) im Planszenario (14:00 Uhr)

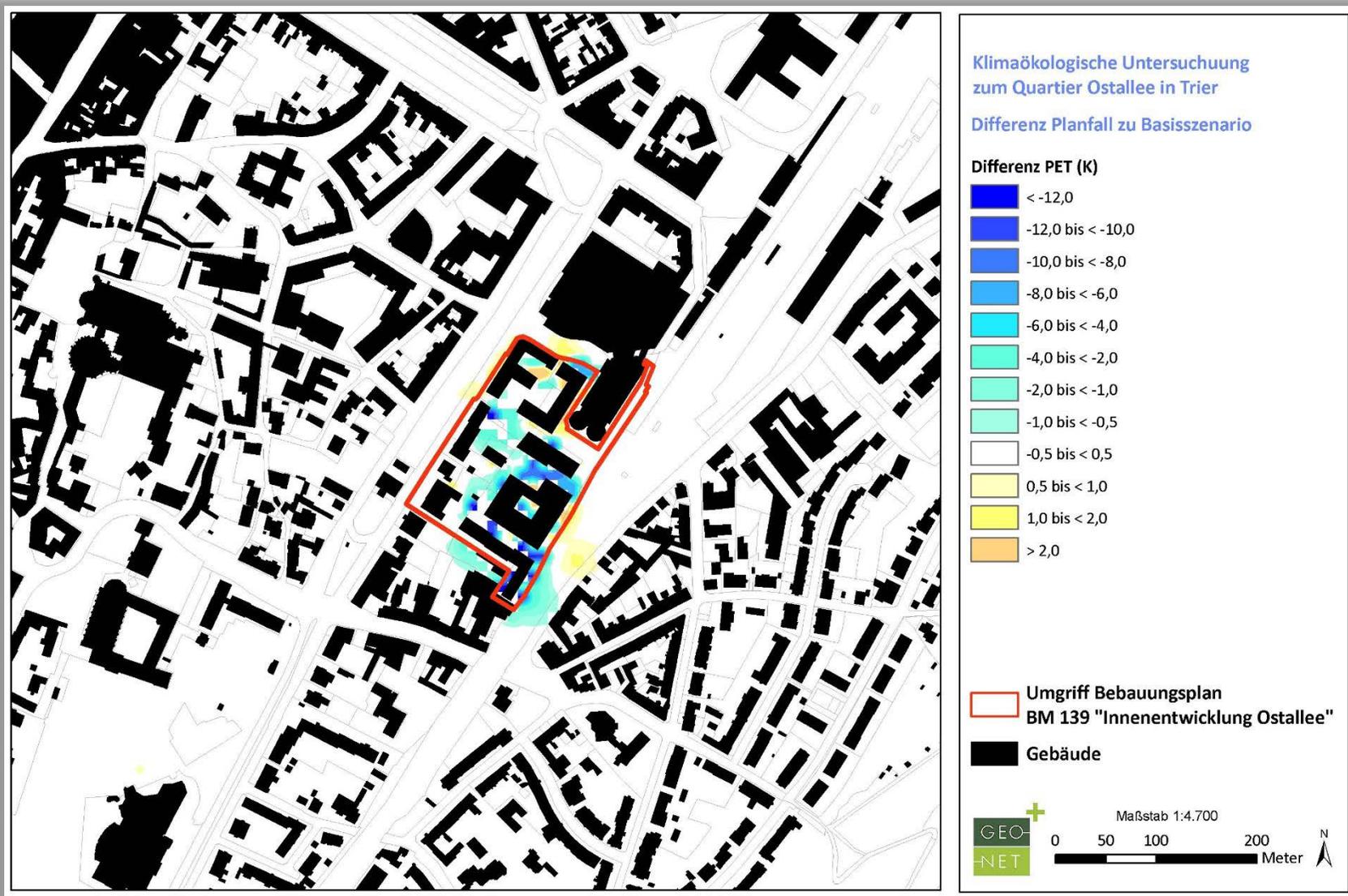


Abb. 3.16: Differenz der PET zwischen Planzustand und Basisszenario

4 Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die Auswirkungen einer Umsetzung des Bebauungsplans BM 139 „Innenentwicklung Ostallee“ in Trier auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt sowie zur Wärmebelastung am Tage zu bewerten. Für die klimaökologischen Auswirkungen lassen sich auf Grundlage der im Modell simulierten Klimaparameter folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Die Beeinflussung des bodennahen nächtlichen Kaltluftströmungsfeldes während sommerlicher Hochdruckwetterlagen führt zu einer lokalen Beeinflussung des Kaltluftvolumens. Die nächtliche Lufttemperatur in den Bestandsflächen verändert sich dadurch aber nicht.

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Lediglich in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, dass eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 Prozent im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten als „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ ausweist. Eine Verringerung um 5 – 10 Prozent wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen.

Die Abweichung des Volumenstroms in Prozentpunkten des Planszenarios gegenüber dem Istzustand wird in **Abb. 4.1** dargestellt. Hier werden die beurteilungsrelevanten Zu- und Abnahmen dargestellt, welche für jede einzelne Rasterzelle berechnet wurden. Analog zur bodennahen Windgeschwindigkeit tritt die stärkste Beeinflussung im nordwestlichen sowie südöstlichen Umfeld der Planfläche auf, wobei die prozentuale Verminderung des Volumenstroms mehr als 25 Prozentpunkte innerhalb der Planfläche beträgt (braune Farbe).

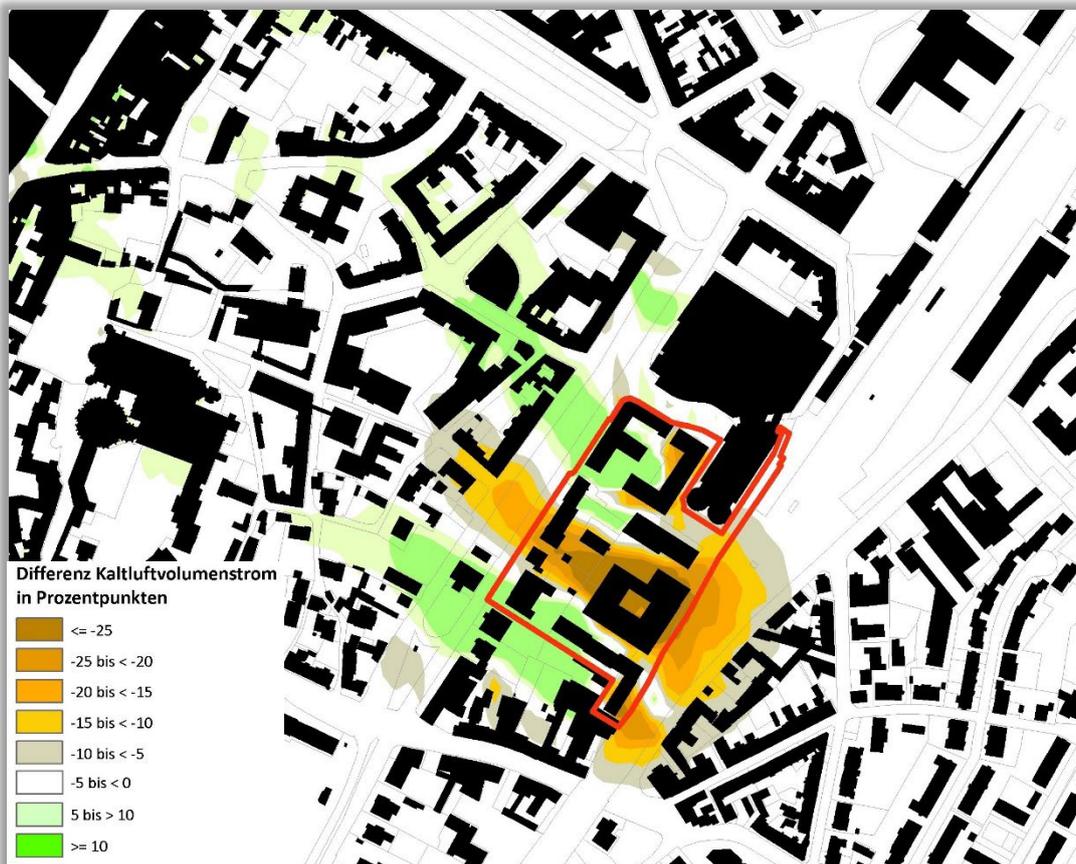


Abb. 4.1: Prozentuale Abnahme des Kaltluftvolumens in den Siedlungsflächen gegenüber dem Istzustand

Dies Abnahmen stehen mit der Hinderniswirkung der geplanten Gebäuden im Zusammenhang, wobei die Reduktion zur Ostallee hin im Wesentlichen vom Gebäudeteil „Headquarter“ ausgeht. Betrachtet man die prozentuale Veränderung des Kaltluftvolumens zwischen Planfall und Istzustand, ist im Bereich Balduinstraße/ Windstraße eine Abnahme von bis zu 15 Prozentpunkte zu verzeichnen. Eine Abnahme in ähnlicher Größenordnung tritt auch der dem Kaltluftstrom zugewandten Seite zur Güterstraße hin auf. Die grüne Farbe kennzeichnet die Bereiche mit einer Zunahme des Kaltluftvolumens, welche sich durch die Windfeldveränderungen durch die geplanten Gebäude ergibt. Eine Zunahme von bis zu 10 Prozentpunkten erstreckt sich bis zur Sichelstraße im Norden sowie Predigerstraße im Süden.

Die Reduktion, welche im Wesentlichen über Gleis- und Verkehrsfläche auftritt, setzt sich etwa 230 m über das Planareal fort und klingt bis zur Franz-Georg-Straße ab. Im Umfeld des Planareals, sowohl in Richtung Innenstadt als auch im Bereich Güterstraße, verbleibt die nächtliche Durchlüftung aber weiterhin auf einem hohen und klimatisch wirksamen Niveau. Rein technisch betrachtet kommt es somit in Teilbereichen zu einer kleinräumigen Verminderung des Kaltluftvolumens. Eine qualitative Verschlechterung des Kaltluftvolumenstroms in den Siedlungsräumen findet aber nicht statt.

Die Modellierung der planbedingten Auswirkungen zeigt auf, dass die Umsetzung des Quartiers Ostallee nur im Nahbereich zu einer Verringerung des Kaltluftvolumens führt. Die Durchlüftung der Altstadt wird durch die Planungen nicht beeinträchtigt.

Die planbedingten Auswirkungen für den Bestand außerhalb des Planareals verbleiben im Mittel unterhalb der in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 beschriebenen Erheblichkeitsschwelle von 10 %. Da hier weiterhin ein klimatisch wirksamer mäßig ausgeprägter Kaltluftstrom und eine bodennahe Durchlüftung vorhanden sind, werden die bioklimatischen Bedingungen nur unwesentlich beeinflusst.

Für die Tagsituation kann festgehalten werden, dass die Entwicklung des Bebauungsplans BM 139 "Innenentwicklung Ostallee" auch zu einer Verringerung der Wärmebelastung am Tage auf der Fläche selbst führt, was auf die Begrünung mit Schatten spendenden Bäumen sowie Flächenentsiegelung zurückzuführen ist (vgl. Freiflächenplan in Kap. 1.1). Damit bestehen hinsichtlich der Umsetzung der Planungen aus klimatischer Sicht keine Bedenken.

Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass die sich die Standorte der Bäume am Freiflächenplan orientieren. Da die Standorte nicht explizit festgesetzt sind, können diese im weiteren Planverfahren auch davon abweichen. Es zeigt sich, dass in den durch Bäumen verschatteten Bereichen bioklimatisch günstige Aufenthaltsbedingungen vorliegen. Ein Entfall von Bäumen würde dementsprechend mit einer lokal höheren Wärmebelastung am Tage einhergehen. Es sollte angestrebt werden, für die Aufenthaltsbereiche im Freien eine ausreichende Verschattung zu ermöglichen.

Hinweise zur Hitzeminderung am Tage

Im Folgenden werden Hinweise zur Verringerung der Wärmebelastung sowie zur Aufenthaltsqualität im Freien gegeben. Für den Bebauungsplan BK 30 „Quartier Ostallee“ lassen sich die folgenden Hinweise zusammenfassen:

- Dächer klimawirksam begrünen; möglichst mit „blaugrünen“ Dächern.
- Begrünung der Süd- und Südwestfassaden. Dabei sind die Fassaden entlang der Erschliessung prioritär, da hier die Mehrfachreflexion der solaren Strahlung zwischen Gebäuden und Straße vermindert werden kann.

- An den übrigen südexponierten Fassaden ist eine Erhöhung der Albedo über die Verwendung heller Oberflächen möglich. Dies reduziert die Wärmeaufnahme der Gebäudewände. Allerdings kann sich die großflächige Verwendung heller Materialien auf Platzbereichen durch Blendwirkung negativ auf die Aufenthaltsqualität auswirken. Sie sollte an diesen Stellen eher durch Begrünung und Verschattung erbracht werden.
- Verschattung von südexponierten Fassaden durch Bäume.
- Außengelände intensiv verschatten (vor allem im Nahbereich der Gebäude). Dabei können Bäume aber auch Pergolen zum Einsatz kommen.
- In den versiegelten Teilbereichen sollten versickerungsfähige Oberflächen verwendet werden.

Grünflächen und Aufenthaltsbereiche im Freien

Eine intensive Begrünung von Wegen, Quartierplätzen und die Aufwertung der Bebauung mit Bäumen steigern die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Ziel sollte sein, das Gehen/Radfahren im Schatten zu ermöglichen. Ein weiteres klimaausgleichendes Gestaltungselement können Brunnenanlagen in Platzbereichen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen können kleinräumig durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden und die Aufenthaltsqualität im Freien verbessern. Städtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen, wobei als Leitbild der erweiterte „Savannentyp“ dienen kann (KUTTLER 2013). Er besteht zu einem großen Anteil aus Strukturen des Offenlandes und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügel Landschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind (Abb. 4.2). Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedliche Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen. Durch diese heterogene Anordnung wird sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Abkühlung der Luft als auch der Aufenthalt am Tage für alle Zielgruppen optimiert ist.



Abb. 4.2: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen

gestaltungselement können Brunnenanlagen in Platzbereichen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen können kleinräumig durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden und die Aufenthaltsqualität im Freien verbessern. Städtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen, wobei als Leitbild der erweiterte „Savannentyp“ dienen kann (KUTTLER 2013). Er besteht zu einem großen Anteil aus Strukturen des Offenlandes und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügel Landschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind (Abb. 4.2). Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedliche Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen. Durch diese heterogene Anordnung wird sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Abkühlung der Luft als auch der Aufenthalt am Tage für alle Zielgruppen optimiert ist.

Priorisierung der Maßnahmen

Ausgehend von ihrer Wirkung lassen sich die genannten Maßnahmen priorisieren. Im Vordergrund stehen die Maßnahmen, die eine unmittelbare Positivwirkung auf die Aufenthaltsqualität im Freien haben:

1. Verschattung des Straßenraums bzw. Verschattung von südexponierten Fassaden sowie des Außen- geländes. Neben der Verbesserung der Aufenthaltsqualität kann über die Verschattung von Fassaden auch das Innenraumklima positiv beeinflusst werden. Mit Blick auf die Standortansprüche von Bäu- men bzw. die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Substrates sollte eine Unterbauung (z.B. für Tiefga- ragen) mit dem Bedarf an Verschattung abgewogen werden (z.B. im Bereich größerer versiegelter Aufenthaltsbereiche).
2. Erhöhung der Albedo über die Verwendung heller Oberflächen als vergleichsweise einfach umsetz- bare Massnahme. Dadurch erwärmt sich die Fassade weniger stark.
3. Umsetzung von Dachbegrünung. Sie wirkt zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert da- mit das Aufheizen darunter liegender Räume. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentem- peratur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht.
4. Umsetzung von Fassadenbegrünung. Sie wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und anderer- seits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird.
5. Verwendung versickerungsfähiger Oberflächen. Diese wirken nicht nur positiv auf den Abfluss von Niederschlagwasser sondern erwärmen sich am Tage auch tendenziell weniger stark als voll versie- gelte Beläge.

Auftrag der

Quartier Ostallee GmbH

Ostallee 7-13

54290 Trier

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Hannover, den 16. Oktober 2023



Dipl.-Geogr. Dirk Funk

5 Literatur

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2008): Klima- und immissionsökologische Funktionen in der Stadt Trier. Auftraggeber: Stadt Trier.

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2014): Aktualisierung der Stadtklimaanalyse Trier. Auftraggeber: Stadt Trier.

KUTTLER, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).

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

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

VDI (2008): VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.

6 Glossar

Ausgleichsleistung: Durch lokalen → Luftaustausch bzw. Lufttransport zwischen → Ausgleichs- und → Wirkungsraum wird eine positive Beeinflussung der bioklimatischen bzw. lufthygienischen Verhältnisse erzielt.

Ausgleichsraum: Grüngestaltete, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über wenig raue Strukturen (→ Leitbahnen) verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

Austauscharme Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthone Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthones Windfeld: Kaltluftabflüsse und Flurwinde, welche sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → Strahlungswetterlage ausbilden.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (=atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf Menschen.

Eindringtiefe: Reichweite einer Kalt-/Frischluchtströmung in den → Wirkungsraum hinein, ausgehend vom Bebauungsrand.

Flurwind: Thermisch bedingte schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Flächen (z.B. innerhalb einer Bebauung oder auch im Umland) und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in das Zentrum der Überwärmung (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum) ein.

Inversion: Wenn am Tage bei intensiver Sonneneinstrahlung der Boden und die darüber lagernde Luft aufgeheizt werden, steigt diese auf und führt zu einer guten Durchmischung der Luftschicht. Die Temperatur der Luft nimmt dabei mit der Höhe allmählich ab. Während einer nächtlichen → Strahlungswetterlage kann eine umgekehrte Situation entstehen, bei der die oberen Luftschichten wärmer sind als die im bodennahen Bereich. Der Luftaustausch mit der Höhe ist dann reduziert, da die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte am Erdboden verbleibt.

Kaltluftabfluss: An wenig rauen Hängen und Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

Kaltluftvolumenstrom: Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige

Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht³ bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

Kelvin (K): SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, die zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet wird. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) interpretiert werden.

PET (Physiologisch äquivalente Temperatur): Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

Klimafunktionen: Prozesse und Wirkungen in der Landschaft, die das örtliche Klima mitbestimmen und Belastungen von Organismen durch besondere Klimabedingungen erhöhen oder abbauen.

Klimaökologie: Analysiert den Einfluss von Klimaelementen und des Klimas auf das Landschaftsökosystem und seinen Haushalt. Untersucht wird weiterhin die Steuerung der bedeutsamen, bodennahen atmosphärischen Prozesse durch die allgemeinen landschaftlichen Strukturgrößen (Relief, Überbauung...).

Komfortraum: Vielfältig strukturierte, bewachsene Freiflächen in Nachbarschaft zum Wirkungsraum mit günstigen bioklimatischen und/oder lufthygienischen Bedingungen. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind Immissionsarmut und Klimavielfalt, d.h. es besteht ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten.

Leitbahnen: Linear ausgerichtet, wenig raue Freiflächen, die den lokalen Luftaustausch fördern, insbesondere den Transport von Kalt-/Frischluft aus dem Ausgleichsraum in den Wirkungsraum. Die Leitbahneigenschaften bestimmen, in welchem Umfang eine Ausgleichsleistung erbracht wird.

Luftaustausch: Transport von Luftmassen mit bestimmten Eigenschaften durch turbulente Diffusion. Es werden austauschschwache Situationen mit Windgeschwindigkeiten $\leq 1,5 \text{ m/s}$ von austauschstarken mit Windgeschwindigkeiten $\geq 5,5 \text{ m/s}$ unterschieden.

Rauigkeit: Gibt die durch Bebauungs- und/oder Vegetationsstrukturen hervorgerufene Veränderungen des Windfeldes wieder. Als Maß der Rauigkeit fungiert der z_0 -Wert, der in Meter angegeben wird.

Reichweite: → Eindringtiefe

Strahlungswetterlage: Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage vornehmlich

³ Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wird

durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

Strömungsfeld: Für den Analysezeitpunkt 04 Uhr morgens simulierte flächendeckende Strömungsfeld der Kaltluftabflüsse und Flurwinde während einer windschwachen → Strahlungswetterlage.

Ventilationsbahn: Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen den Gradientwind aufnimmt und zur Be- und Entlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.

Wärmebelastung: Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenen Unbehaglichkeitsempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

Wärmeinsel: Derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung vor allem abends und nachts eine höhere Lufttemperatur aufweist. Es bilden sich i.d.R. mehrkernige Wärmeinseln in einer Stadt aus. Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 bis 1,5 Kelvin gegenüber dem Umland erhöht.

Wirkungsraum: Bebaute (oder zur Bebauung vorgesehene), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Räume (Belastungsraum), die an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzen oder über wenig raue Strukturen angebunden sind. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischlufte aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.