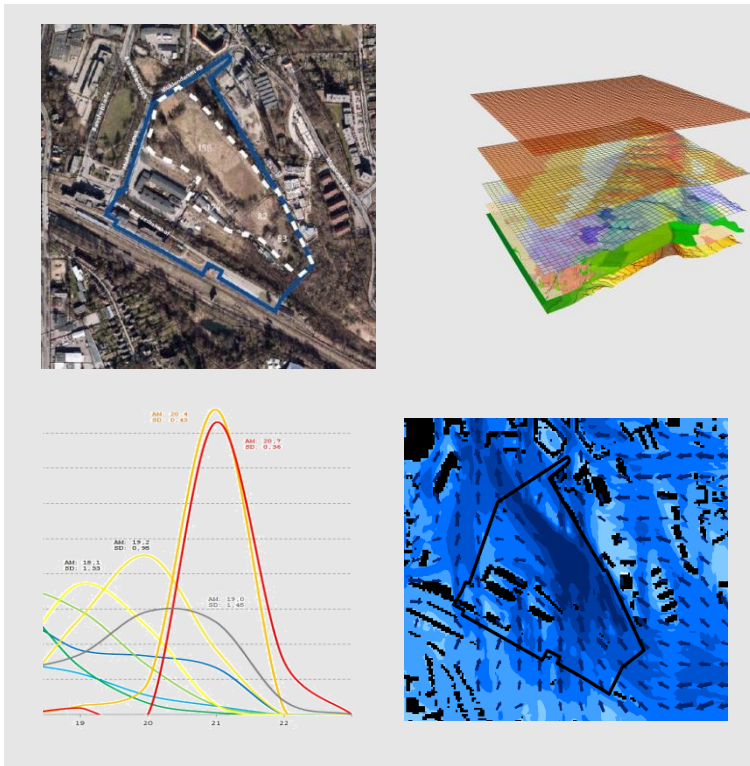


Stadtklimatisches Gutachten und Empfehlungen für den Auslobungstext des Wettbewerbs Quartier am Gleisbach | Flensburg



Auftraggeber:

IHR Sanierungsträger
Flensburger Gesellschaft für Stadterneuerung
Am Pferdewasser 14
24937 Flensburg



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
Tel. (0511) 3887200
FAX (0511) 3887201
www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	1
1 Aufgabenstellung und Einleitung.....	3
2 Datengrundlage und Modellrechnung	7
2.1 Synoptische Rahmenbedingungen	8
3 Ergebnisse	10
3.1 Lufttemperatur in der Nacht.....	10
3.2 Kaltluftströmungsfeld	16
3.3 Kaltluftvolumenstrom	21
3.4 Kaltluftproduktionsrate	26
3.5 Physiologisch Äquivalente Temperatur	30
4 Schlussfolgerungen und planerische Hinweise für den Wettbewerb	35
5 Literatur	39
6 Glossar	41

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage	5
Abb. 2: Ausschnitt aus der Karte des modellierten Kaltluftvolumenstroms, entnommen aus dem Klimaanpassungskonzept (Stadt Flensburg, 2023).	6
Abb. 3: Testentwurf einer möglichen Bebauung im Wettbewerbsgebiet (Quelle: IHR Sanierungsträger, Februar 2023).....	8
Abb. 4: Nächtliche Lufttemperatur (2 m über Grund) der Bestandssituation in °C zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	13
Abb. 5: Nächtliche Lufttemperatur (2 m über Grund) der Entwurfssituation in °C zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	14
Abb. 6: Abweichung der nächtlichen Lufttemperatur (2 m ü. Grund) in °C vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.	15
Abb. 7: Prinzipskizze Flurwind.....	16
Abb. 8: Bodennahes Kaltluftströmungsfeld in m/s (2 m ü. Grund) der Bestandssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	18
Abb. 9: Bodennahes Kaltluftströmungsfeld in m/s (2 m ü. Grund) der Entwurfssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	19
Abb. 10: Abweichung der nächtlichen Kaltluftströmungsgeschwindigkeit (2 m ü. Grund) in m/s vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.....	20
Abb. 11: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	21
Abb. 12: Kaltluftvolumenstrom in $m^3/s \cdot m$ und bodennahes Kaltluftströmungsfeld der Bestandssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	23
Abb. 13: Kaltluftvolumenstrom in $m^3/s \cdot m$ und bodennahes Kaltluftströmungsfeld der Entwurfssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	24
Abb. 14: Abweichung des Kaltluftvolumenstroms in $m^3/s \cdot m$ vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.....	25
Abb. 15: Kaltluftproduktionsrate in $m^3/m^2/h$ der Bestandssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.	27
Abb. 16: Kaltluftproduktionsrate in $m^3/m^2/h$ der Entwurfssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.	28
Abb. 17: Abweichung der Kaltluftproduktionsrate in $m^3/m^2/h$ vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.....	29
Abb. 18: PET der Bestandssituation in °C zum Zeitpunkt 14 Uhr.	32
Abb. 19: PET der Entwurfssituation in °C zum Zeitpunkt 14 Uhr.....	33
Abb. 20: Abweichung der PET vom Entwurf zum Bestand um 14 Uhr.	34
Abb. 21: Darstellung der freizuhaltenden Kaltluftschneise im Wettbewerbsgebiet.	38

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 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 des IHR Sanierungsträgers, wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den möglichen klimaökologischen Auswirkungen der im Rahmen des städtebaulichen Wettbewerbs zum Projekt *Quartier am Gleisbach in Flensburg* vorgesehenen Flächennutzungsänderungen durchgeführt. Aus der modellgestützten Analyse der Bestandssituation des Bahnhofstals, welches eine zentrale Kaltluftleitbahn für Flensburg darstellt (Stadt Flensburg, 2023), und der zusätzlichen Modellierung der Auswirkungen eines Testentwurfs auf die Klimaökologie vor Ort, werden für das Wettbewerbsverfahren Klimaleitplanken als Hinweise für eine klimaökologisch optimierte Planung im Wettbewerbsgebiet formuliert. Für die planerische Berücksichtigung des Schutzguts Klima 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 Wettbewerbsgebiets:

- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabenfläche vor und wie wird diese möglicherweise durch das bereits planungsrechtlich beschlossene Zentralkrankenhaus beeinflusst?
- Wie wird sich ein Bebauungsvorhaben des Wettbewerbsgebiets voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken und welche Hinweise zur Beachtung bzw. zum Schutz der Luftaustauschprozesse im Zusammenhang mit dem Gebiet lassen sich für den Wettbewerb mitgeben?

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Berücksichtigung des Schutzguts Klima innerhalb des Wettbewerbsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird ein Hauptaugenmerk auf die Erhaltung des Kaltlufthaushaltes innerhalb des Wettbewerbsgebietes sowie der direkten Umgebung gelegt. Zudem ist die thermische Belastung am Tage im Wettbewerbsgebiet zu untersuchen und durch entsprechende Hinweise in den Wettbewerbsprozess gestützt zu verbessern oder bei günstigem Bioklima vor Ort zu schützen, je nach Ausgangssituation.

Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen 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. Die Austauschströmung wird in dieser untersuchten Wettersituation von Temperaturunterschieden zwischen den verschiedenen Nutzungen (Gegensatz der Freiflächen zur überwärmten Siedlung) und der Hangneigung durch das Induzieren von Kaltluftabflüssen im Untersuchungsgebiet angetrieben. Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Die Strömungen, welche durch die Temperaturunterschiede zwischen den Nutzungen induziert werden, sind als Flur- und Strukturwinde bezeichnet. (Abb. 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage). Auch die regionalen Kaltluftströmungen werden bei der Analyse modelltechnisch, durch ein Einbetten der aktuellen Modellierung in eine großräumige Modellierung der regionalen Windsysteme in Deutschland, berücksichtigt.

Die beschriebene 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.

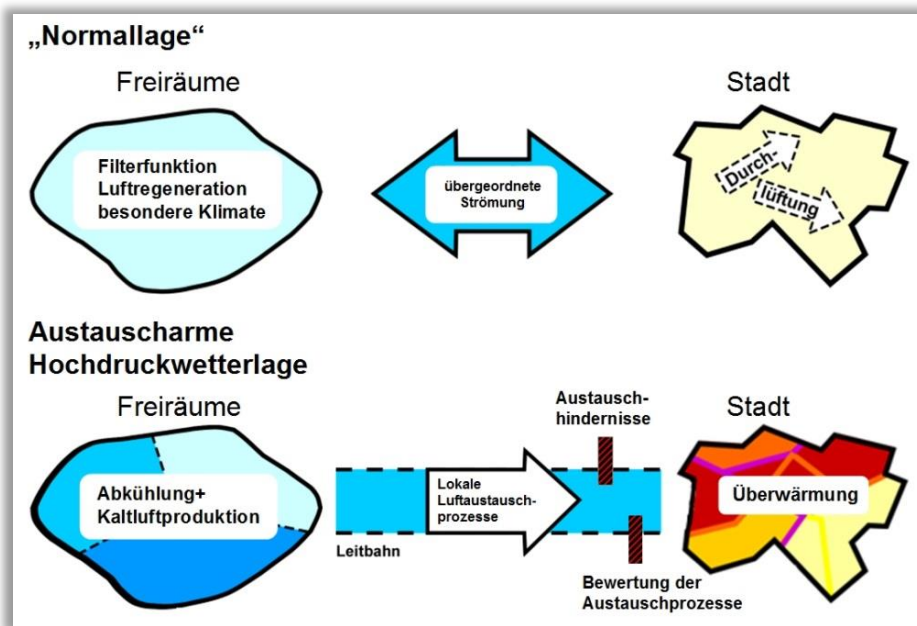
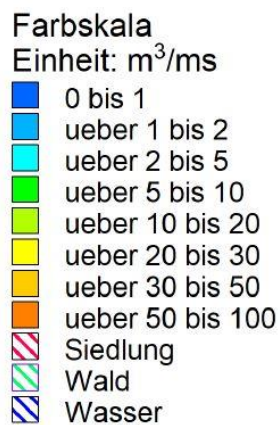
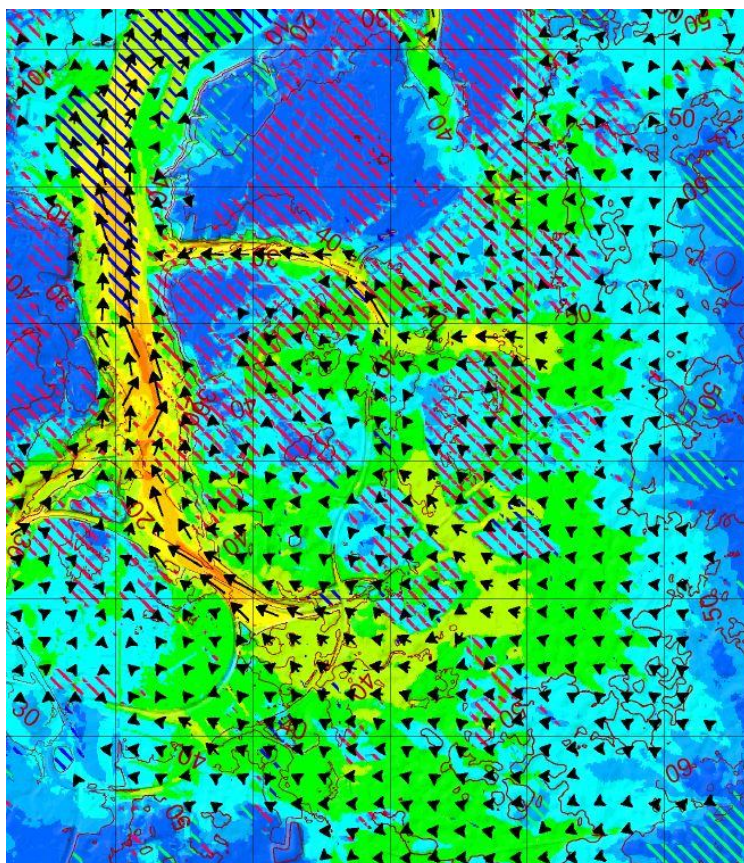


Abb. 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

1.1 Darstellung der Bestandssituation aus dem Klimaanpassungskonzept für die Stadt Flensburg

Das Klimaanpassungskonzept wurde zur Zeit der Verfassung der vorliegenden Analyse im Entwurf von der IHR Sanierungsträger- Flensburger Gesellschaft für Stadterneuerung mbH bereitgestellt. Ein wichtiger Part des Klimaanpassungskonzepts beschäftigt sich mit dem Kaltluftgeschehen im Bestand Flensburgs. Dabei wurden drei große Leitbahnen festgestellt, die durch nächtliche Zufuhr von Kaltluft aus den Randbereichen der Stadt in die Siedlungsgebiete einwirken können. Eine dieser zentralen Leitbahnen ist der etwa 200 m breite Kaltluftstrom im Bachtal des Gleisbachs, welche im Klimaanpassungskonzept als besonders wichtig für das Flensburger Stadtklima bezeichnet wurde. Aus Südosten kommend wird effektiv Kaltluft aus den Grünflächen des Umlandes Flensburgs über die Bahngleise hinweg in Richtung der Siedlungsflächen Flensburgs transportiert (s. Abb. 2). Somit ist auch das Wettbewerbsgebiet laut der Analyse des Klimaanpassungskonzept Teil dieser wichtigen Leitbahn. In der vorliegenden Analyse wird deshalb zunächst untersucht, wie das zeitnah kommende Zentralkrankenhaus eventuell bereits diese Kaltluftleitbahn beeinflusst und welche Bedingungen sich daraus im Wettbewerbsgebiet ergeben. Auch ein Testentwurf einer möglichen Bebauung wurde modelliert, um die Auswirkungen einer möglichen Bebauung gezielter untersuchen und daraus Hinweise für eine möglichst klimaoptimierte Bebauung für die Teilnehmer des Wettbewerbsverfahrens abzuleiten.



Deutscher
Wetterdienst
Modell KLAM_21
V2.012

Abb. 2: Ausschnitt aus der Karte des modellierten Kaltluftvolumenstroms, entnommen aus dem Klimaanpassungskonzept (Stadt Flensburg, 2023).

2 Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei einem numerischen Modell wie FITNAH müssen 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.

Die Aufbereitung der Modelleingangsdaten erfolgte auf Basis der frei verfügbaren Geodaten des Landes Schleswig-Holstein, die außerdem anhand eines Luftbildes visuell geprüft wurden. Für die Modellierung wurde die Bestandssituation um eine Bebauung im Geltungsbereich des B-Plans „Zentralkrankenhaus Flensburg/Peelwatt (Nr. 305)“ ergänzt, um direkt die Beeinflussung der Kaltluftströmung durch das Krankenhaus im Bahnhofstal und damit auch auf das Wettbewerbsgebiet mit zu untersuchen. Da für die Umsetzung des Krankenhauses im Geltungsbereich des B-Plans aber noch kein städtebauliches Konzept zum Zeitpunkt der Durchführung der vorliegenden Untersuchung vorlag, wurde von einer Worstcase-Situation der zukünftigen Bebauung vor Ort ausgegangen. Anhand der GRZ aus dem B-Plan wurden somit die Nutzungsverteilungen im Gebiet wie folgt verteilt:

- Bei einer GRZ von 0,7 wurden 70 % Gebäudefläche innerhalb der Baugrenzen und zudem weitere 10 % ebenerdige Versiegelung und 20 % Grünfläche angenommen.
- Bei einer GRZ von 0,6 wurden 60 % Gebäudefläche innerhalb der Baugrenzen und zudem weitere 10 % ebenerdige Versiegelung und 20 % Grünfläche angenommen.

Diese Nutzungsanteile wurden dann zufällig im entsprechenden Gebiet verteilt und die Höhe der Gebäude und die Gebäudehöhe wurde anhand der maximal zulässigen Bebauungshöhe aus dem B-Plan umgesetzt. Da das zentrale Untersuchungsziel der zusätzlichen Berücksichtigung des Zentralkrankenhauses in der Modellierung des Bestandes ist, den größtmöglichen Einfluss des zukünftigen Krankenhauses auf die nächtliche Kaltluftströmung zu berücksichtigen, wurde mit dem Wissen über die Strömungsrichtung der Kaltluft aus dem Klimaanpassungskonzept (Stadt Flensburg, 2023) zudem festgelegt, dass sich das Hauptgebäude des Krankenhauses direkt an der östlichen Baugrenze des B-Plans befinden soll. Hier stellt es den größtmöglichen Strömungswiderstand dar.

Neben der Bestandsmodellierung wurde eine weitere Modellierung eines Planszenarios mit umgesetzter Nutzungsänderung anhand eines Testentwurfs im Wettbewerbsgebiets umgesetzt. Zusätzlich erfolgte für die Umsetzung eine enge Absprache mit dem im Projekt tätigen Planer der Wasserwirtschaft von Reese+Wulf und so flossen bereits geplante Maßnahmen aus Richtung des Wirkungskomplexes Wasserwirtschaft wie die beschriebenen Dachbegrünungen, eine Teilversiegelung im Bereich der Platzgestaltungen sowie die Vernachlässigung des zentral eingezeichneten Wasserspiels als teilende Achse im Gebiet (wurde von Reese+Wulf als unrealistisch eingestuft) mit in das Modell ein. Der Testentwurf einer möglichen Bebauung im Wettbewerbs-

gebiet, welcher die Hauptgrundlage zur Einspeisung der städtebaulichen Struktur bildete, ist in Abb. 3 dargestellt. Aufgrund der aktuellen Maßstabebene der Planung konnte lokales Grün im Gebiet nicht immer genau bestimmt werden, wie es für den Eingang in das Klimamodell notwendig wäre. Aus diesem Grund wurde im gebäudenahen Bereich eine zufällige Verteilung von Grünflächen und versiegelten Bereichen anhand der zulässigen GRZ im Gebiet von 0,4 durchgeführt. Somit wurden neben den Gebäuden weitere 20 % der Grundstücksflächen mit ebenerdiger Versiegelung versehen, die restlichen Teile der Grundstücke wurden zu Grünflächen. Die Lage der jeweiligen Pixel mit der jeweiligen Nutzung wurden wiederum vom Modell zufällig verteilt. Zudem wurde die vom Wasserwirtschaftler geplante extensive Dachbegrünung auf allen Gebäuden des Testentwurfs (im Plan rot gekennzeichnet) umgesetzt.



Abb. 3: Testentwurf einer möglichen Bebauung im Wettbewerbsgebiet (Quelle: IHR Sanierungsträger, Februar 2023).

2.1 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausdrücken, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagerten

synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- Kein überlagernder geostrophischer Wind, lediglich Strömung aus dem großräumigen topographischen Zusammenhang
- 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 bzgl. der Kaltluftzufuhr und Belüftung der Stadtstrukturen dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist neben abfließender Kaltluft aus Gebirgs- oder Hanglagen die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

Wie global zu beobachten, spielt auch in Flensburg der Klimawandel eine relevante Rolle. Gerade die Hitzebelastung im Sommer und auch Starkregenereignisse werden mit dem Fortschreiten der Jahre in vermehrter Häufigkeit auftreten (Stadt Flensburg, 2023). Das Klimaanpassungskonzept weist dabei als klimaanaloge Region für das Flensburger Klima im Zeitraum 2071 bis 2100 Küstenregionen in der Bretagne und der Normandie, dabei besonders die Orte Saint-Malo und Dinan, aus. Somit ist deutlich, dass trotz der günstigen Küstenlage in hitzebelasteten Sommersituationen auch Flensburg von Klimaanpassung und einem Mitdenken der klimaökologisch angepassten Planung profitieren wird.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom erläutert. Die Ergebnisse werden für die Bestandssituation als Basisszenario sowie der Variante mit Umsetzung des Testentwurfs für die zweite Nachthälfte (Kaltlufthaushalt um 4 Uhr morgens) dargestellt. Der 4 Uhr MESZ Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Die sommerliche Wärmebelastung wird als Repräsentierung der Tagsituation um 14 Uhr MESZ über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt. In Abgrenzung zur Lufttemperatur handelt es sich hierbei um die empfundene Temperatur als Wärmebelastung. Ihre Ausprägung wird vor allem über die Intensität der Sonneneinstrahlung bestimmt.

3.1 Lufttemperatur in der Nacht

Allgemeines: Der Tagesgang der Lufttemperatur ist in der untersuchten Wetterlage direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel eine ausgeprägte Abnahme während der Abend- und Nachtstunden. Die Abkühlung erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ihr 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 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 grüneprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand 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.

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft, sodass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008, 25). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten.

Bestandssituation

Das mit dem Klimamodell FITNAH für die Bestandssituation simulierte Lufttemperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens umfasst unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von etwa 6°C und erreicht dabei Werte zwischen 14,5 °C und über 20,0 °C.

Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbebauung, das Gleisbett, Straßenbereiche sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Abb. 4 zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr für den derzeitigen Bestand mit umgesetztem Zentralkrankenhaus. Die höchsten Temperaturen von über 20 °C treten in vollversiegelten Innenhöfen, wie dem der Flensburger Brauerei an der Schleswiger Straße, auf. Neben diesen eher kleinräumigen Temperaturmaxima zeigen sich die höchsten Temperaturen von etwa 19,7 °C in den stark gewerblich genutzten Bereichen südlich der Gleise entlang der Schleswiger Straße. Diese Temperaturmaxima im anthropogen überprägten Gebiet gehen mit dem überdurchschnittlichen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung einher. In diesen Bereichen wird die nächtliche Abkühlung durch den großen Wärmespeicher der Materialien wie Beton und Stein deutlich reduziert. Aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität wird hier die tagsüber aufgenommene Strahlungsenergie bis tief in die Nacht in Form von Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben. Die Baukörper sowie die ebenerdige Versiegelung wirken nachts wie eine Heizung.

Ein mit 14,5 °C bis 16,5 °C niedrigeres Temperaturniveau ist dagegen auf den großräumigen Grün- und Freiflächen im Untersuchungsraum zu finden. Auch im Wettbewerbsgebiet selbst wird auf den Grün- und Freiflächen großflächig dieses geringe Temperaturniveau erreicht. Allgemein zeichnen sich diese Flächen durch einen hohen Grünanteil und nicht durchgängigen Baumbestand aus, wodurch eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Die mit Bäumen bestandenen Teile des Wettbewerbsgebiets weisen gegenüber Grünflächen ohne Baumbestand ein höheres Temperaturniveau mit Werten von bis zu 18 °C auf.

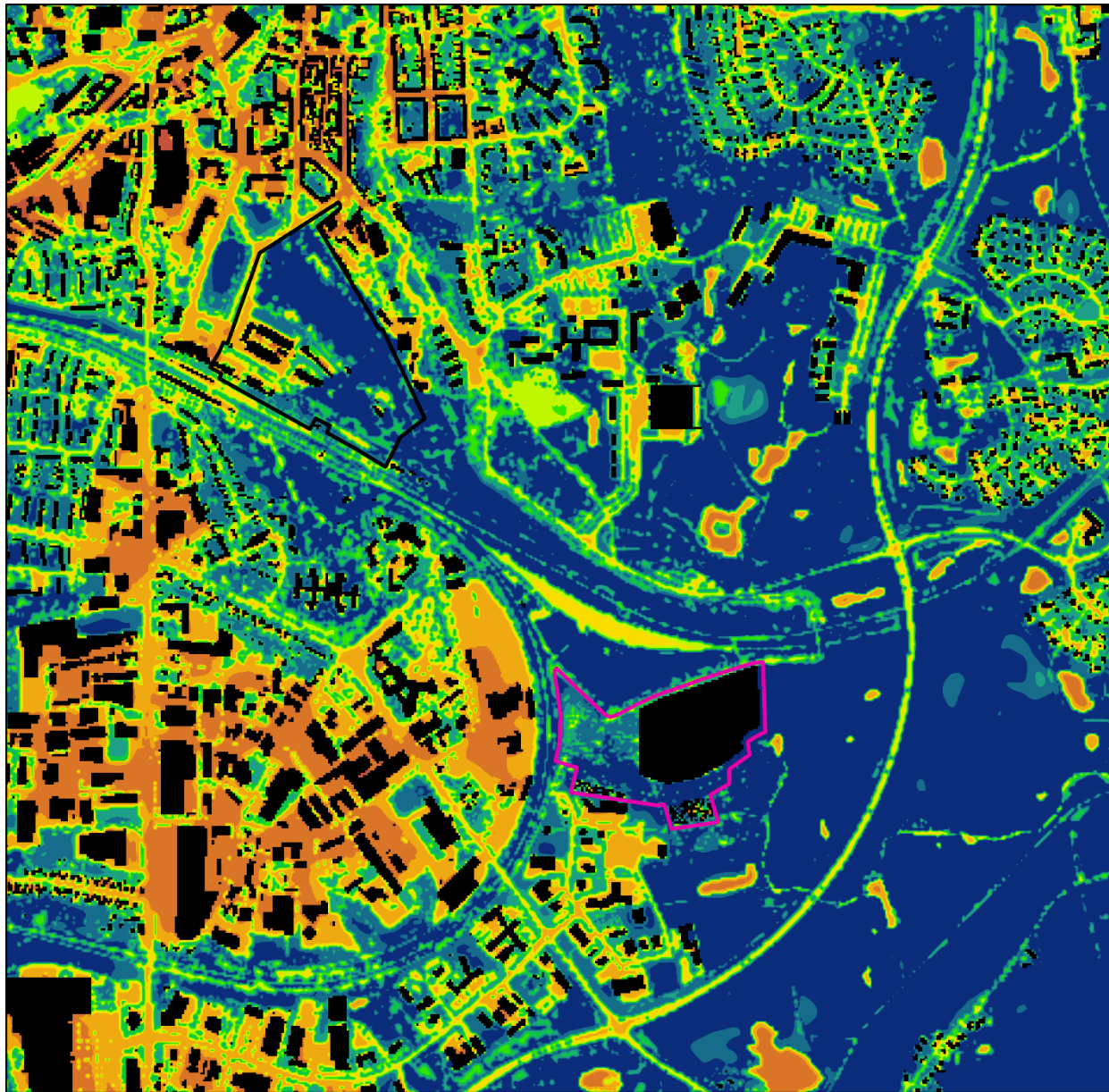
Entwurfssituation und Differenzenbetrachtung

Durch die Realisierung des Testentwurfs wird die bisherige Grünfläche des Wettbewerbsgebiets in den Charakter einer Wohnsiedlung umgewandelt. Mit lokalen Temperaturmaxima von bis zu 19,5 °C zeigt sich jedoch insgesamt ein geringeres Niveau der nächtlichen Lufttemperatur im Wettbewerbsgebiet, welche dem hohen angedachten bodennahen Grünflächenanteil des Testgebiets zuzusprechen ist. Das Temperaturfeld in 2 m Höhe für die Entwurfssituation ist in Abb. 5 dargestellt. Teilversiegelte Bereiche, wie die Platzgestaltungen im

Testentwurf zeigen sich mit etwa 17 °C in der Nacht in einem Temperaturniveau, welches zwischen dem einer Grünfläche und der ebenerdigen Vollversiegelung liegt.

Eine deutlichere Einschätzung der Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur durch die Realisierung des Testentwurfs liefert die Betrachtung der absoluten Abweichungen zwischen der Entwurfs- und der Bestandssituation (vgl. Abb. 6). Durch Überbauung und Versiegelung bisheriger Grünflächen ergibt sich um die Bebauung eine Erwärmung von bis zu 4 °C im Maximum. Gleichzeitig zeigen sich Temperaturabnahmen durch Entsigelung von Teilbereichen durch die Umsetzung des Testentwurfs (Abbruch Gebäude und Bodenbelag Flurstück 170 bzw. Abbruch Beläge Flurstück 83). Mit einem dezidierteren Entwurfskonzept wären noch ausführlichere Aussagen zu der Temperaturveränderung möglich. Auf der derzeitigen Maßstabsebene der Planung lässt sich vorrangig die Temperaturzunahme durch eine Versiegelung der bisherigen Grünflächen erkennen, aber es ist auch bereits ablesen, wie wirkungsvoll Entsigelungsvorhaben als Maßnahmen für den Hitzeschutz sein können.

Insgesamt beschränkt sich die Änderung der nächtlichen Lufttemperatur jedoch lediglich auf das Plangebiet selbst. Negative Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur der angrenzenden Siedlungsflächen oder empfindliche Nutzungen im Stadtgebiet sind anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht zu erwarten.



**Klimaökologische Untersuchung
Quartier am Gleisbach in Flensburg**

Nächtliche Lufttemperatur der Bestandssituation
in °C, um 4 Uhr morgens und in 2 m ü. Gr.

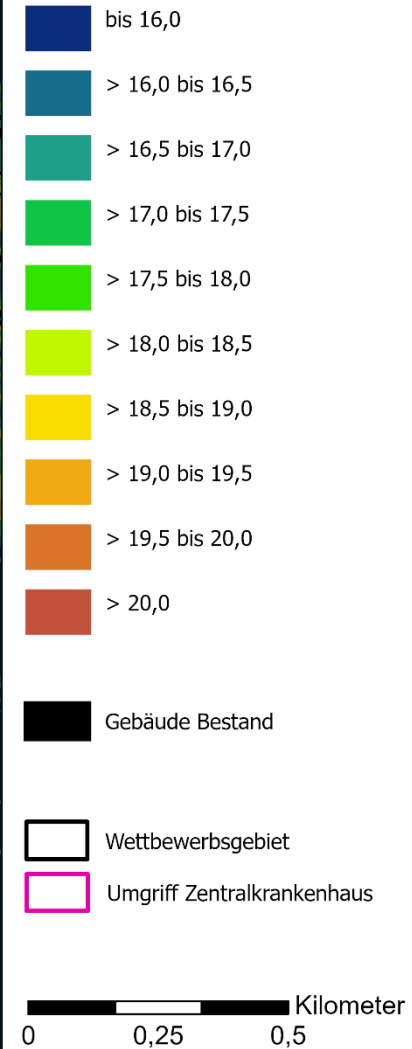


Abb. 4: Nächtliche Lufttemperatur (2 m über Grund) der Bestandssituation in °C zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

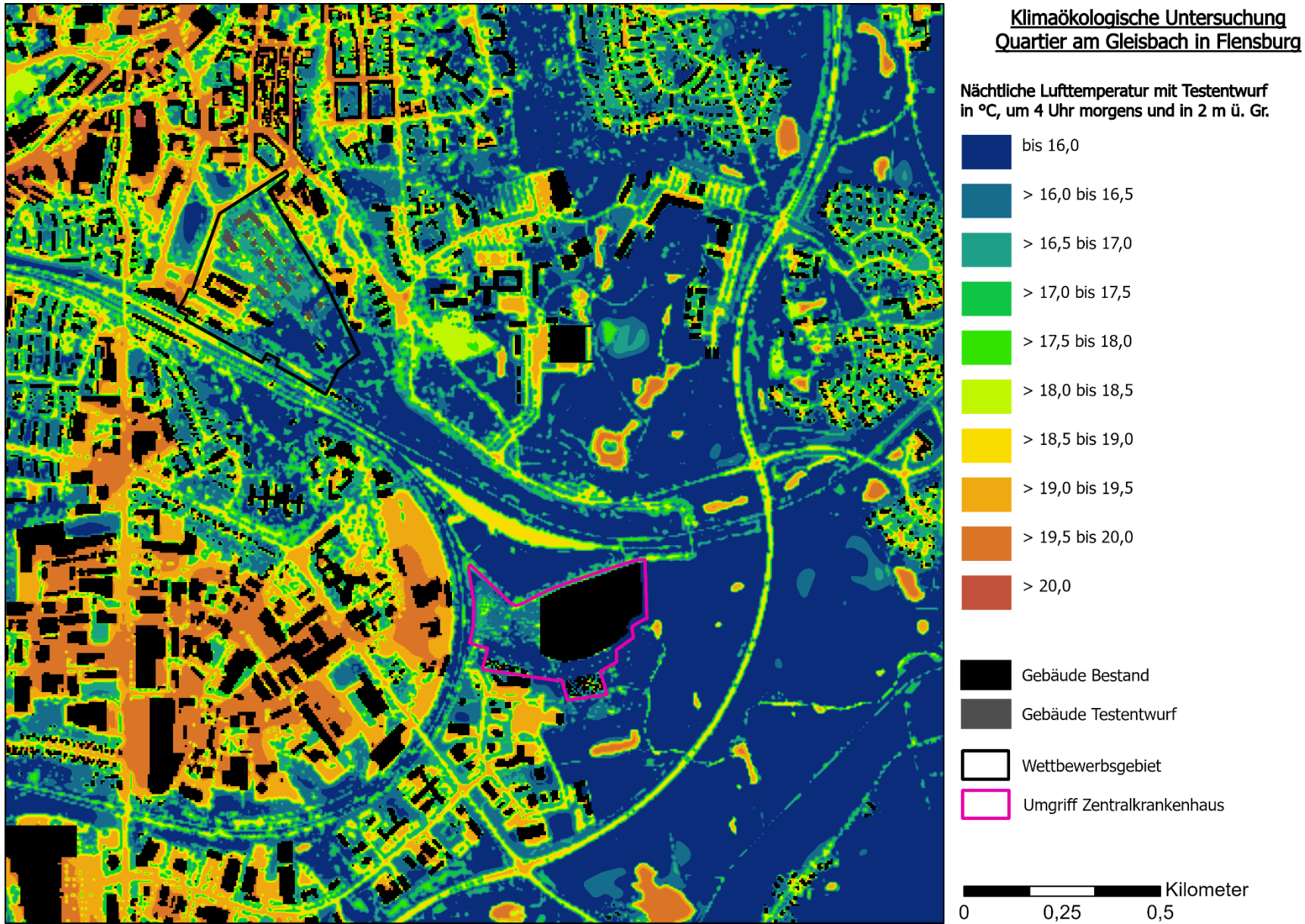


Abb. 5: Nächtliche Lufttemperatur (2 m über Grund) der Entwurfssituation in °C zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

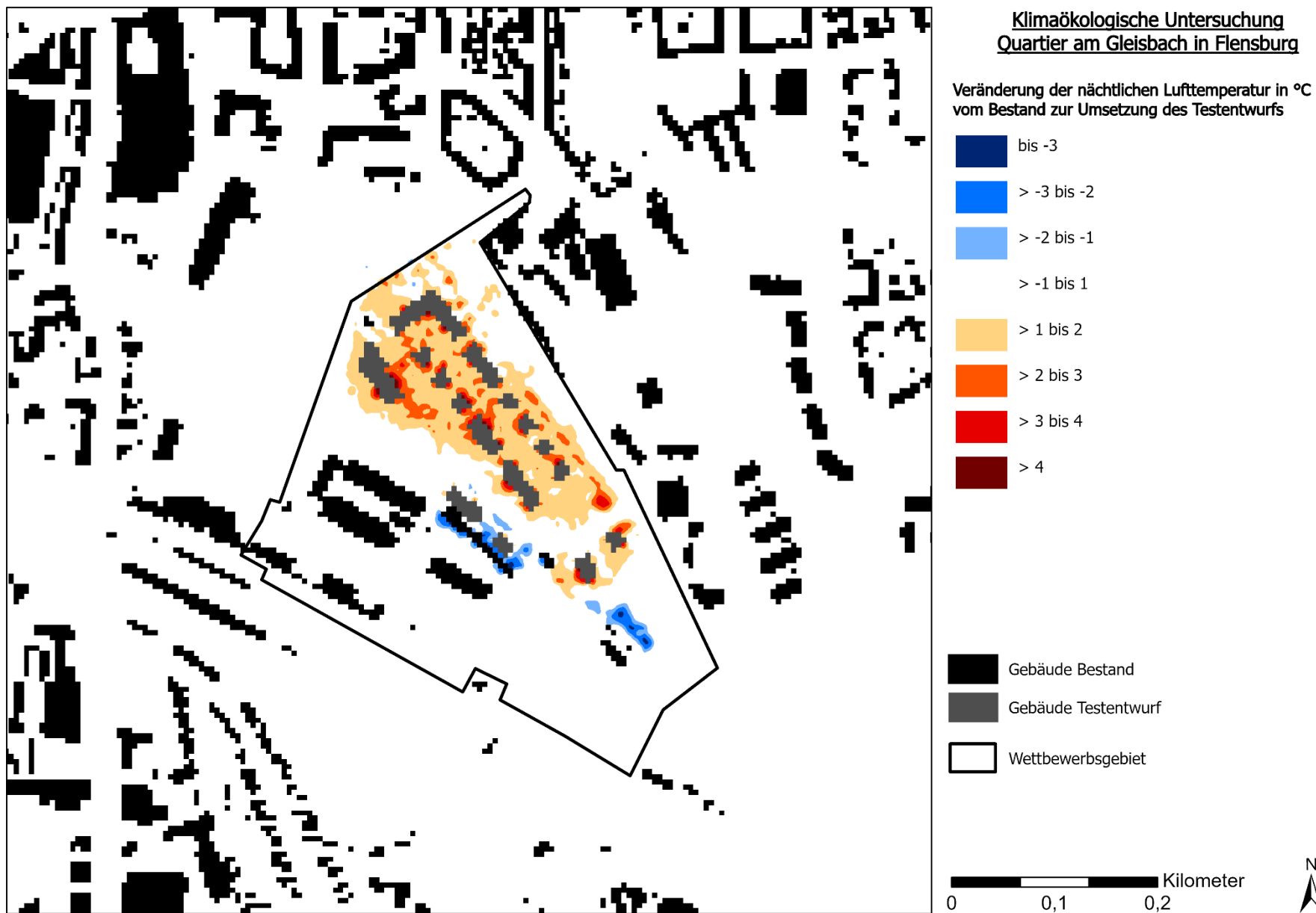


Abb. 6: Abweichung der nächtlichen Lufttemperatur (2 m ü. Grund) in °C vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.

3.2 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. 7). An den geeigneten 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).

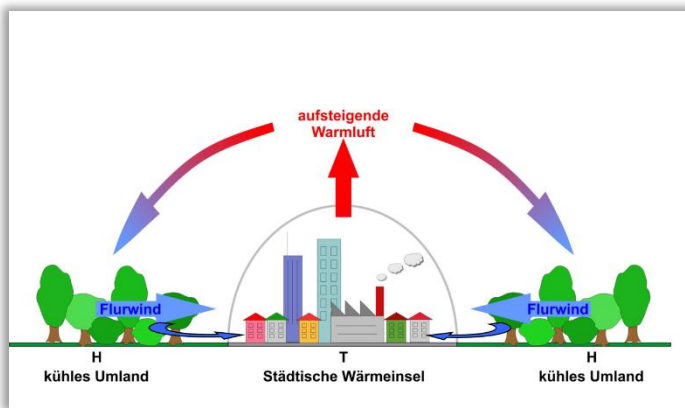


Abb. 7: Prinzipskizze Flurwind.

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 wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung 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.

Bestandssituation

Die vorliegende Untersuchung geht u.a. der Frage nach, inwieweit sich die Umsetzung des Zentralkrankenhauses sich bereits auf die Kaltluftschneise im Bahnhofstal auswirkt und wie eine mögliche Bebauung des Wettbewerbsgebiets sich zusätzlich auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. Abb. 8 zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für die Bestandssituation, die sich während einer sommerlichen, windschwachen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Strömungsrichtung der Kaltluft wird sowohl durch den Temperaturgradienten hin zu den wärmeren Siedlungsflächen als auch durch das Relief bestimmt.

Auch in der aktuellen Bestandssituation mit Zentralkrankenhaus zeichnet sich die von Südosten in das Bahnhofstal fließende Kaltluftströmung ab. Diese wird jedoch nun aus ihrer reinen Strömungsrichtung aus Südost durch das Zentralkrankenhaus abgelenkt und lokal abgeschwächt. Im Gros ist aber selbst mit der Worstcase-Berücksichtigung des Krankenhauses kein deutlicher Abriss der Kaltluftströmung in das Bahnhofstal und somit auch für die Fläche des Wettbewerbs selbst ersichtlich. Das Wettbewerbsgebiet wird somit dem Gelände folgend aus südöstlichen Richtungen mit Kaltluft aus den Grün- und Freiflächen des Umlandes Flensburgs sowie aus dem Gleisareal selbst versorgt. Zudem ist im Gebiet selbst durch die starke Geländeneigung das Geschwindigkeitsmaximum der Kaltluftströmung mit Geschwindigkeiten von mehr als 1 m/s zu erkennen. Dies weist bereits darauf hin, dass die Grünflächen des Wettbewerbsgebiet trotz Realisierung des Zentralkrankenhauses einen wichtigen Teil zum Kaltlufttransport in die umliegende Bebauung beiträgt.

Entwurfssituation und Differenzenbetrachtung

Das nächtliche Strömungsfeld für die Entwurfssituation zeigt Abb. 9. Aufgrund der baulichen Änderungen innerhalb des Wettbewerbsgebietes kommt es dabei zu einer lokalen Veränderung der Durchlüftungssituation. Die zentralen Zuströme der Kaltluft aus dem Südosten bleiben erhalten und grundlegend sind die Gebäuderiegel bereits begünstigend für eine geringe Strömungsbeeinflussung in Strömungsrichtung ausgerichtet. Dennoch verringert gerade die für die Durchströmbarkeit zu dicht stehende Bebauung mit Querriegel im nördlichen Teil des Wettbewerbsgebiets die Strömungsgeschwindigkeit.

Die Differenzenabbildung macht die Beeinflussung des Strömungsfeldes noch besser sichtbar (Abb. 10). Durch Bebauung der bisherigen Grünflächen nimmt die Strömungsgeschwindigkeit zwischen den Gebäuden maximal um etwa 0,7 m/s ab, was in der strömungsschwachen Wetterlage bereits der Hauptteil des Strömungsgeschehens darstellt. Zwar sind auch an den Gebäudekanten Zunahmen der Strömungsgeschwindigkeit durch Beschleunigung der Geschwindigkeit bei Umströmung der Gebäude zu erkennen. Diese kompensieren aber nicht die flächenhafte Reduzierung der bodennahen Fließgeschwindigkeit der Kaltluft.

Neben den Auswirkungen innerhalb des Plangebietes, ist darüber hinaus auch ein Einfluss auf das Strömungsgeschehen im Bestand zu erwarten. Mit der Umsetzung des aktuellen Testentwurfs beschränkt die Auswirkung sich jedoch auf die angrenzenden Grundstücke, die derzeit eher weniger der Wohnnutzung zufallen. Sollte zukünftig eine Wohnsiedlung/Bürobebauung auf den angrenzenden Grundstücken geplant werden, könnte es in Wechselwirkung mit der Bebauung des Wettbewerbsgebiets selbst zu einer weiteren Reduzierung der Kaltluftprozessgeschehens für in der Strömung nachfolgende Siedlungen bedeuten. Im Wettbewerbsgebiet selbst und auf den angrenzenden Grundstücken ist die derzeit absehbare Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit jedoch vernachlässigbar gering.

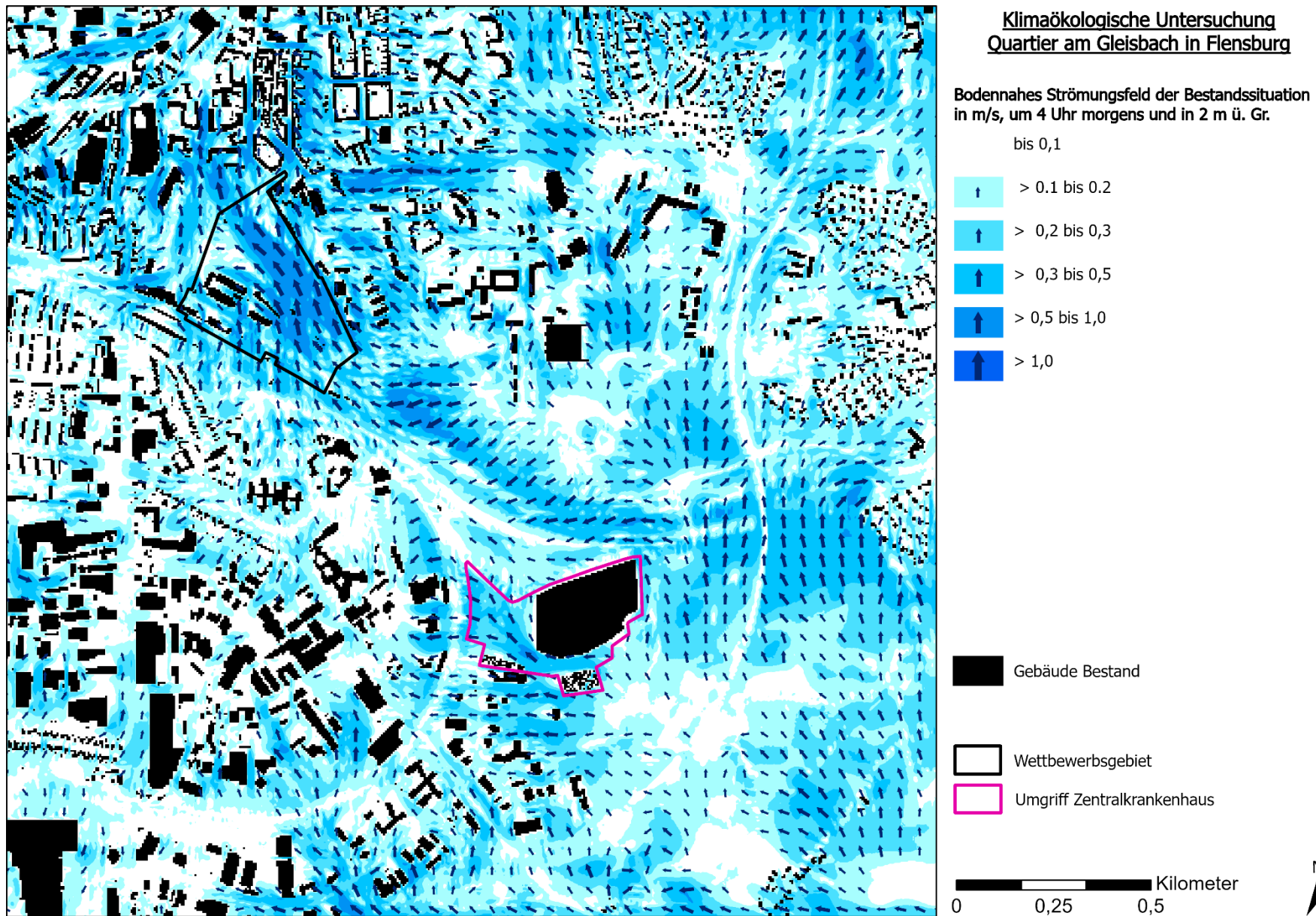


Abb. 8: Bodennahes Kaltluftströmungsfeld in m/s (2 m ü. Grund) der Bestandssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

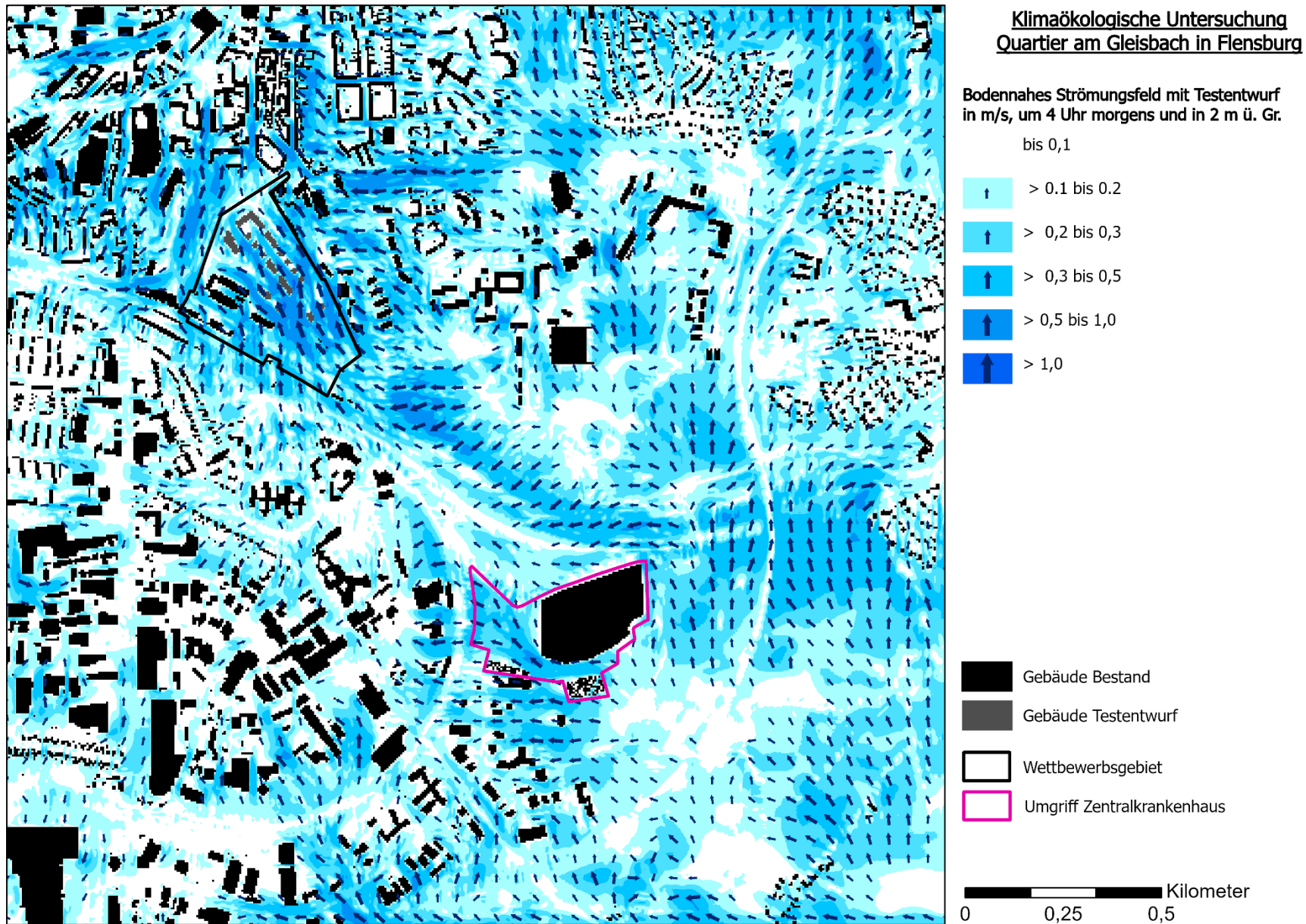


Abb. 9: Bodennahes Kaltluftströmungsfeld in m/s (2 m ü. Grund) der Entwurfssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

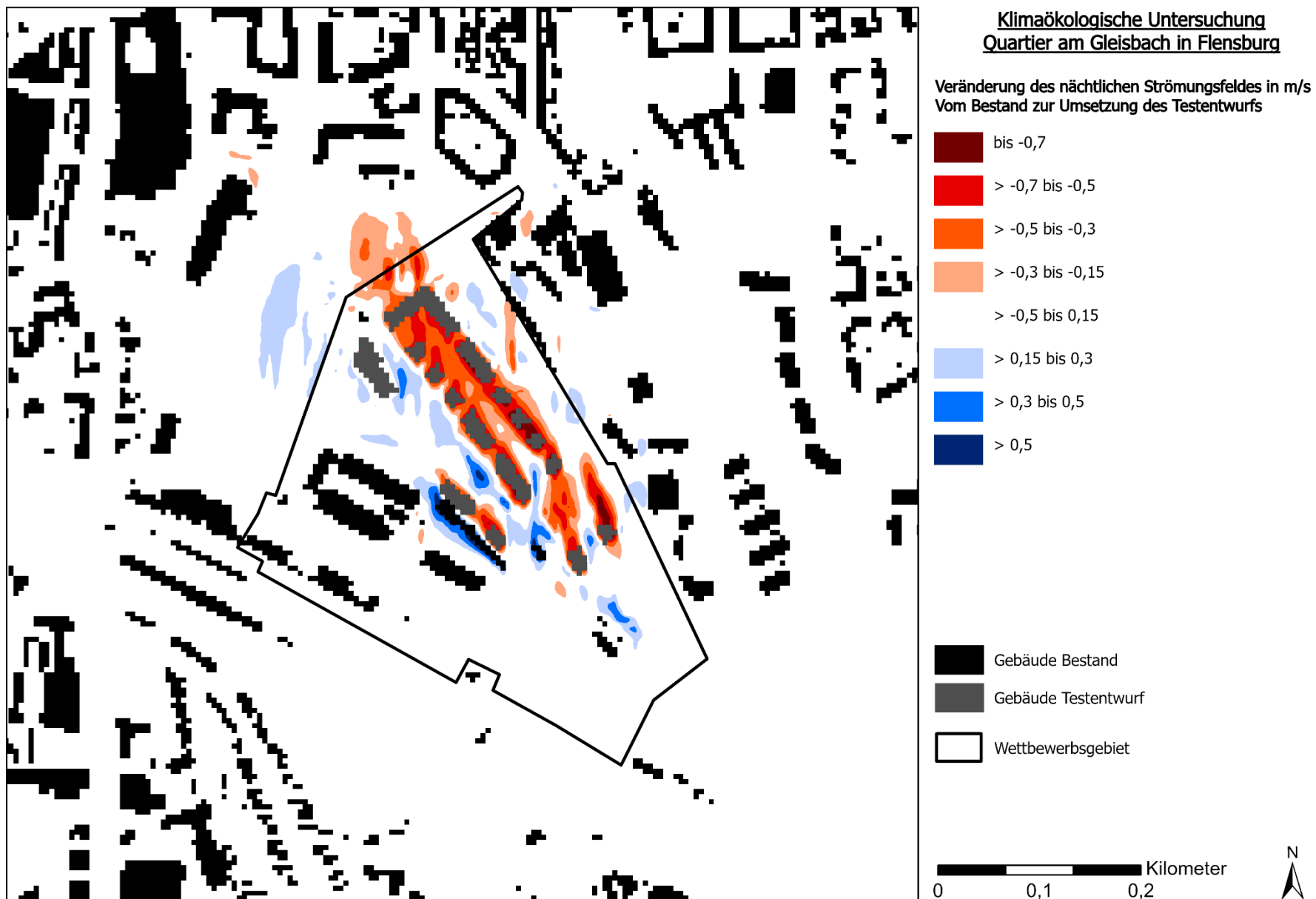


Abb. 10: Abweichung der nächtlichen Kaltluftströmungsgeschwindigkeit (2 m ü. Grund) in m/s vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.

3.3 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

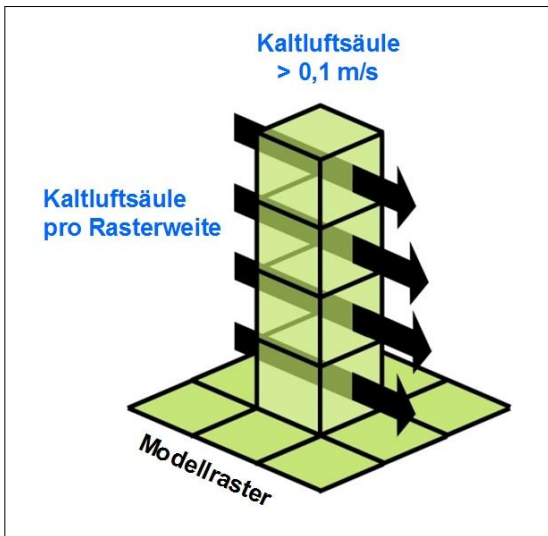


Abb. 11: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom (KVS).

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 5 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 5 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. 11). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Bestands-, Entwurfssituation und Differenzenbetrachtung

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms ist im Wesentlichen an das vorherig behandelte Kaltluftströmungsfeld gekoppelt (vgl. Abb. 12/Abb. 13). So zeigen sich ähnlich zu den Maxima der Strömungsgeschwindigkeit auch Maxima des Kaltluftvolumenstroms mit bis zu $35 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ in Bestand und Entwurf und die jeweilige Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms bestätigt die zentralen Gebiete, aus denen Kaltluft an das Plangebiet herantransportiert wird. So ist auch im Kaltluftvolumenstrom die Leitbahnfunktion des Bahnhofstals deutlich ersichtlich und auch die Relevanz der Grünflächen im Wettbewerbsgebiet für den Kaltlufttransport zeigt sich prägnant, wobei auch durch die Umsetzung der Bebauung des Wettbewerbsgebiets die Reduzierung der Stärke des Kaltluftvolumenstroms bereits in der absoluten Darstellung des Kaltluftvolumenstroms in Abb. 13 zu erkennen ist. Noch deutlicher wird diese Reduzierung durch die Realisie-

rung des Testentwurfs in der Differenzenbetrachtung (Abb. 14). Hier zeigt sich eine Reduzierung in Strömungsrichtung mit den maximalen Werten von mehr als $20 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ im direkten Gebäudeumfeld, das Groß der Fläche ist von einer Reduzierung zwischen $10 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ und $20 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ betroffen. Auch über das Gebiet des Wettbewerbs hinaus in die Bestandsbebauung reicht die Beeinflussung des Kaltluftgeschehens.

Grundlegend zeigt sich in der Analyse des Strömungsgeschehens und der Stärke des Kaltluftvolumenstroms, dass das Wettbewerbsgebiet derzeit und auch bei zukünftiger Realisierung des Zentralkrankenhauses ein relevanter Teil der Kaltluftleitbahn im Gebiet des Bahnhoftals darstellt. Aus rein klimaökologischer Sicht wäre die Freihaltung einer Fläche wie das Wettbewerbsgebiet im Bahnhofstal und eine zusätzliche Verschattung durch Gehölzpflanzungen der Idealfall. Im Rahmen der Quartiersplanung sollte somit versucht werden, diesem Idealfall möglichst nahe zu kommen. In erster Linie kann das erreicht werden, indem die Wettbewerbs Teilnehmer einen besonderen Fokus auf eine möglichst geringe Beeinflussung des Kaltluftthaushaltes im Gebiet legen. Dazu werden im Kapitel 4 Hinweise zur Umsetzung dieser Ziele erfolgen.

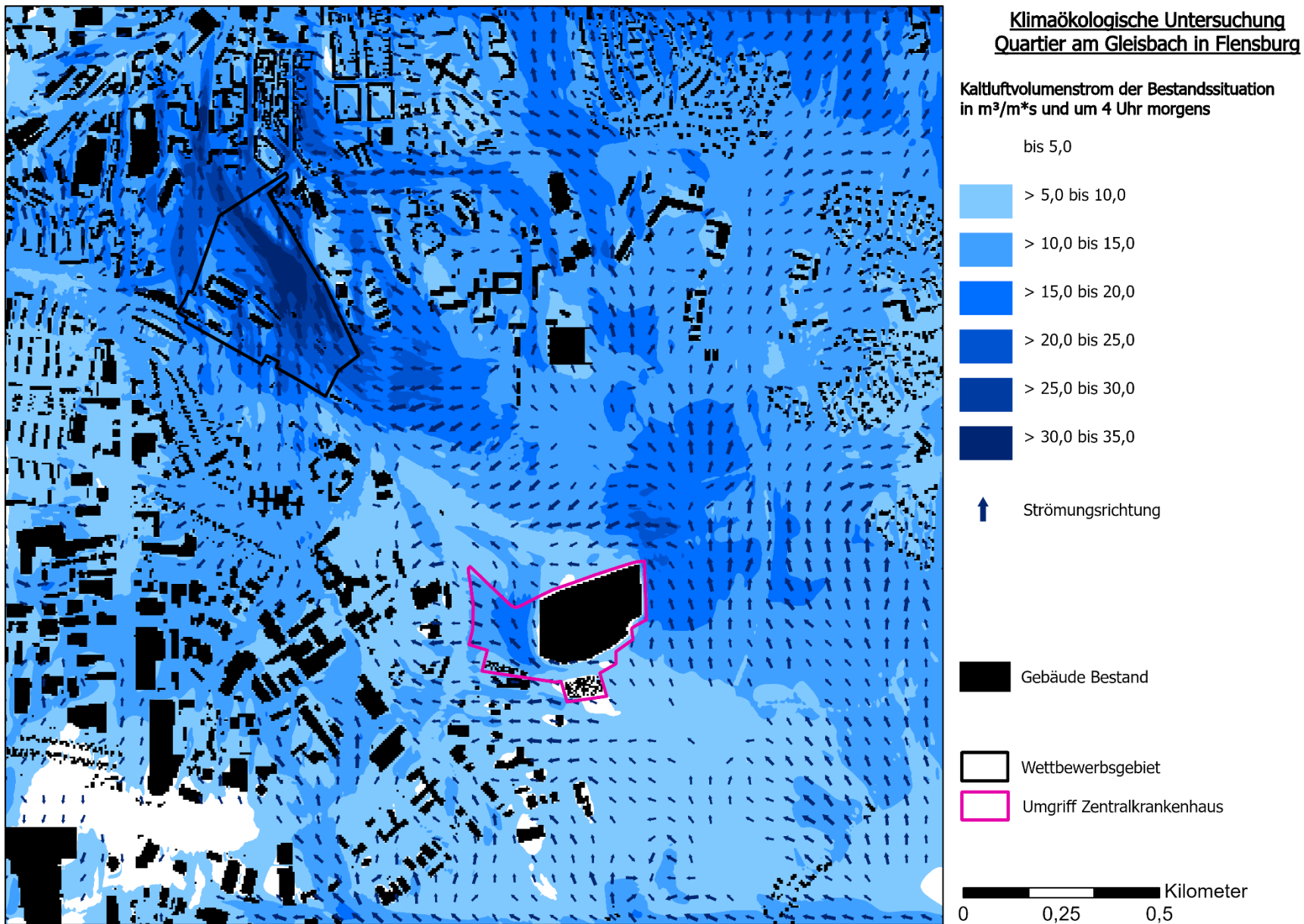


Abb. 12: Kaltluftvolumenstrom in $m^3/s*m$ und bodennahes Kaltluftströmungsfeld der Bestandssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

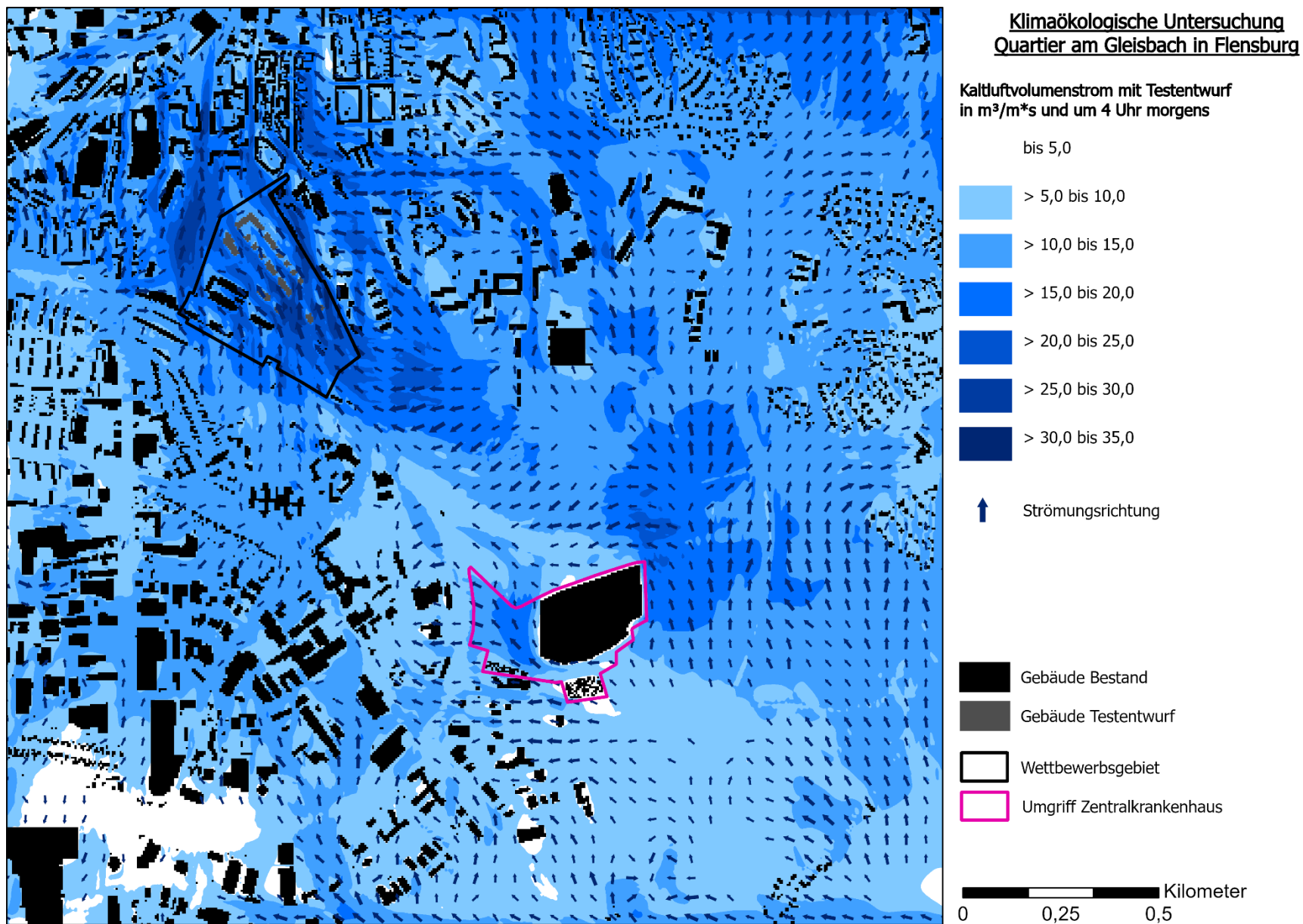


Abb. 13: Kaltluftvolumenstrom in $m^3/s*m$ und bodennahes Kaltluftströmungsfeld der Entwurfssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.



Abb. 14: Abweichung des Kaltluftvolumenstroms in $m^3/s*m$ vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.

3.4 Kaltluftproduktionsrate

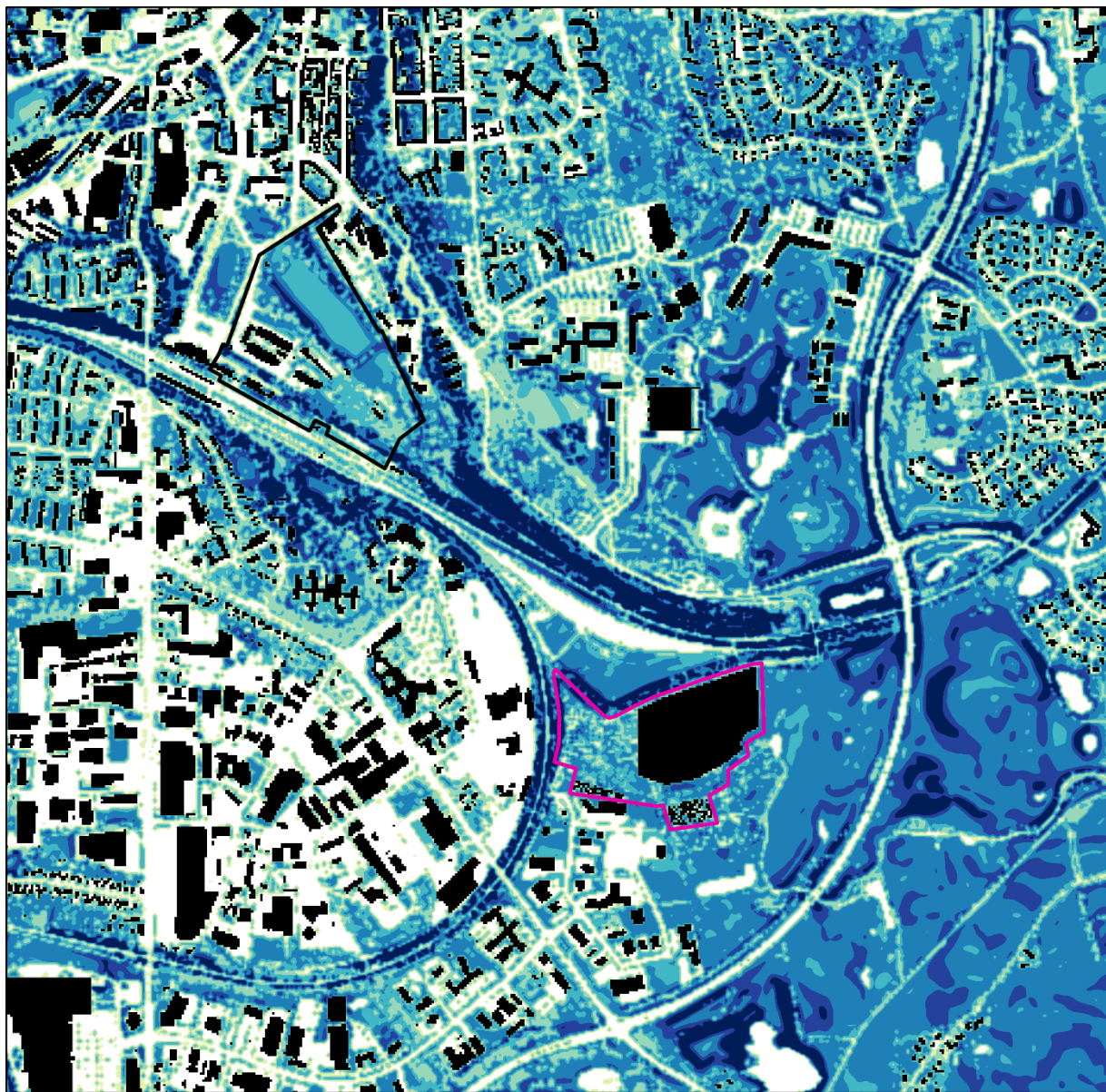
Allgemeines

Die Kaltluftproduktionsrate gibt an, wie viele Kubikmeter Luft sich pro Quadratmeter innerhalb einer Stunde lokal durch Ausstrahlung abgekühlt hat. Die Abkühlungsrate hängt unter anderem von der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens ab. Für die Berechnung der Kaltluftproduktionsraten sind somit Kenntnisse über die thermischen Eigenschaften des Untergrundes von großer Bedeutung. Die in der Literatur zu findenden Werte zu den wichtigsten Bodeneigenschaften decken eine große Bandbreite ab, sodass die Parametrisierung der Wärmeleitung im Boden für Modellsimulationen stets mit Unsicherheiten behaftet ist. Die Bestimmung der Kaltluftproduktion kann daher erhebliche Fehler aufweisen, was sowohl für modellhafte Berechnungen als auch für Geländemessungen gilt. In der hier durchgeführten Modellsimulation wurden einheitliche thermische Eigenschaften für den nicht versiegelten Untergrund angenommen. Eine Berücksichtigung variierender Bodenfeuchtigkeiten und daraus resultierender Abkühlungsraten fand damit nicht statt. Das Wertefeld der Kaltluftproduktionsrate weist somit eine starke Abhängigkeit von der jeweiligen vergebenen Landnutzungsklasse auf. Kaltluftproduktion ist überdies stark reliefbedingt, weshalb die größten Kaltluftproduktionsraten im Untersuchungsraum an naturbelassenen Hängen erreicht werden.

Bestands-, Entwurfssituation und Differenzenbetrachtung

Soeben beschriebene Prozesse sind direkt in Abb. 15, der räumlichen Darstellung der Kaltluftproduktionsrate um 4 Uhr nachts ersichtlich. So werden in den Gebieten der größten Geländeneigung in Verbindung mit Grün- und Freiflächen, wie dem Gleisbereich, dem Bahnhofstal und dem Wettbewerbsgebiet selbst, lokal die höchsten Werte der Kaltluftproduktionsrate mit mehr als $50 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ erreicht. Auch die zu beplanende zentrale Grünfläche des Wettbewerbsgebiets weist mit Werten zwischen 30 und $40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ überdurchschnittlich hohe Werte der Kaltluftproduktionsrate auf. Die geringsten Werte der Kaltluftproduktionsrate sind in den vollversiegelten Teilen der Wohngebiete, des Straßenraums und der Gewerbeflächen zu finden.

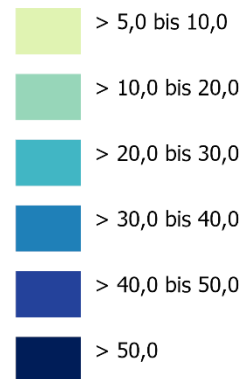
Durch die Umsetzung des Testentwurf im Wettbewerbsgebiet reduziert sich die Kaltluftproduktionsrate vorrangig durch die Erhöhung der Versiegelung bzw. der Überbauung von kaltluftaktiven Grünflächen im Gebiet. Diese Bereiche sind durch die Gelb- bis Rottöne in Abb. 17 direkt zu erkennen. Aber auch die Entsiegelung in Teilbereichen schlägt sich mit einem Änderungssignal nieder. Hier nimmt die Kaltluftproduktionsrate im Vergleich zum Bestand um bis zu $30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ zu.



**Klimaökologische Untersuchung
Quartier am Gleisbach in Flensburg**

Nächtliche Kaltluftproduktionsrate der Bestandssituation
in m³/m²/h, um 4 Uhr morgens und in 2 m ü. Gr.

bis 5,0



Gebäude Bestand

Wettbewerbsgebiet

Umgriff Zentralkrankenhaus

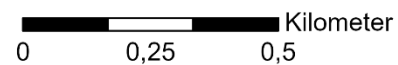


Abb. 15: Kaltluftproduktionsrate in m³/m²/h der Bestandssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

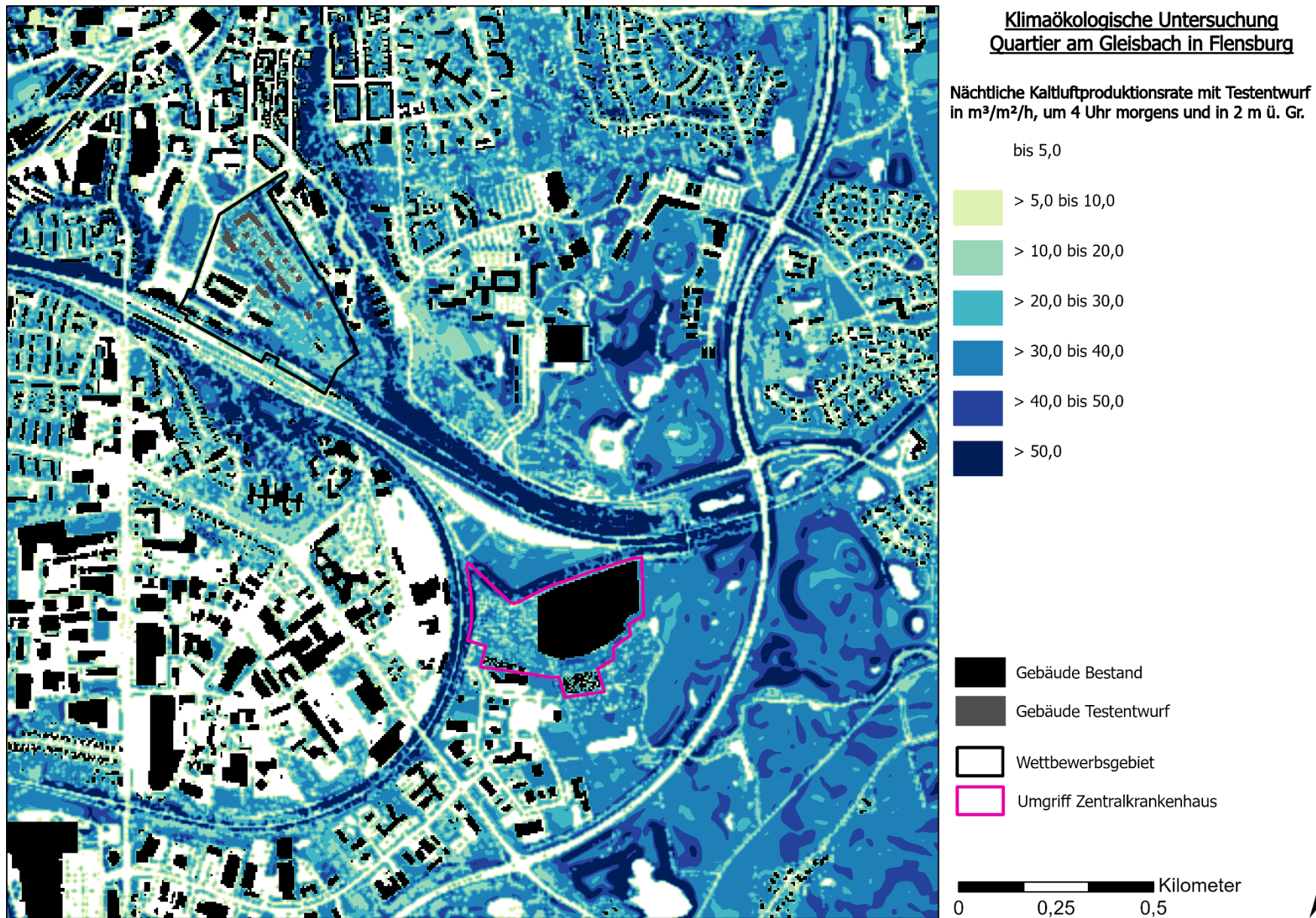


Abb. 16: Kaltluftproduktionsrate in $m^3/m^2/h$ der Entwurfssituation zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.

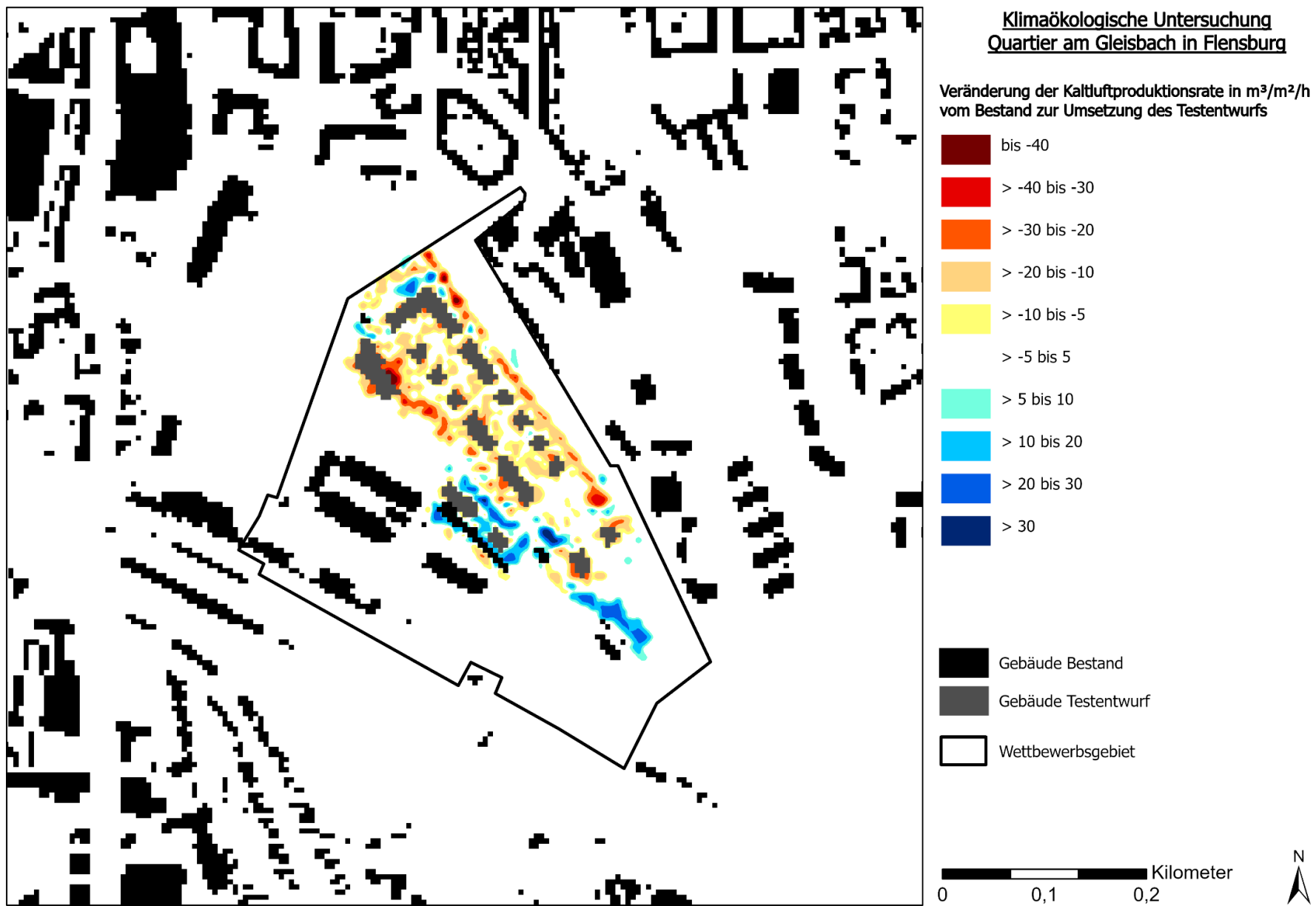


Abb. 17: Abweichung der Kaltluftproduktionsrate in $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ vom Entwurf zum Bestand um 4 Uhr morgens.

3.5 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 abschätzen¹. 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. Höppe 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. 1.1; VDI 2004).

Tab. 1 : Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden.

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

¹ 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).

Bestandssituation

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage maßgeblich über die Verschattung beeinflusst wird (vgl. Abb. 18). Eine schwache Wärmebelastung mit einer PET bis zu 29 °C ist vor allem innerhalb der dichten Baumbeständen im Untersuchungs- und auch im Wettbewerbsgebiet zu erkennen. Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35 °C häufig als stark einzustufen ist (Farbton: kräftiges Grün/gelb/orange/rot). Auch der noch nicht überplante und weitgehend unverschattete Bereich der jetzigen Grünfläche des Wettbewerbsgebiets ist neben den verschatteten Baumstandorten als am Tage thermisch belastet mit hauptsächlich starken oder auch extremen Wärmebelastungen einzuordnen.

Entwurfssituation und Differenzenbetrachtung

In der Entwurfssituation ist das Ausmaß der sommerlichen Wärmebelastung im Plangebiet in etwa als vergleichbar zur Ausgangssituation zu bewerten (Abb. 19), aber es sind lokal auch bereits weniger belastete Flächen, wie im Umfeld geplanter Baumpflanzungen, zu finden. Mit der Realisierung der Planungen zeigt sich, dass die PET vor allem in unverschatteten Gebieten in direkter Gebäudenähe die höchsten Werte annimmt.

Die Differenz der PET zeigt noch eindrücklicher die Auswirkungen des Testentwurfs im Wettbewerbsgebiet. Wie Abb. 20 zeigt, ist dabei vorrangig durch den Schattenwurf der geplanten Gebäude und durch die zusätzlichen Baumpflanzungen eine Verringerung der PET am Tage um bis zu 11 °C erreicht worden. Gerade die geplanten Bäume zeichnen sich durch dieses für die Klimaanpassung positive Signal durch, wenn auch gleichzeitig ersichtlich wird, dass die Effekte eben auch nur im direkten Schattenwurf des Baumes direkt wirksam sind.

Durch den noch groben Entwurf der Bebauung kann bereits jetzt erkannt werden, wie essentiell es ist, Grünflächen mit Bäumen und auch andere Schattenspender zur Entlastung der Bevölkerung vor Ort am Tage zu gewährleisten. Für die gezielte Platzierung von hitzereduzierenden Maßnahmen lässt der aktuelle Testentwurf noch viel Spielraum.

Insgesamt zeigt sich, dass die bioklimatische Situation durch das Planvorhaben großflächig etwa auf einem vergleichbaren, mäßig bis stark belasteten thermischen Niveau geblieben ist, lokal die Wärmebelastung aber schon stark durch Baumpflanzungen verringert werden konnte. Dabei sind keine signifikanten Auswirkungen des Planvorhabens auf angrenzende Wohnbauflächen zu beobachten.

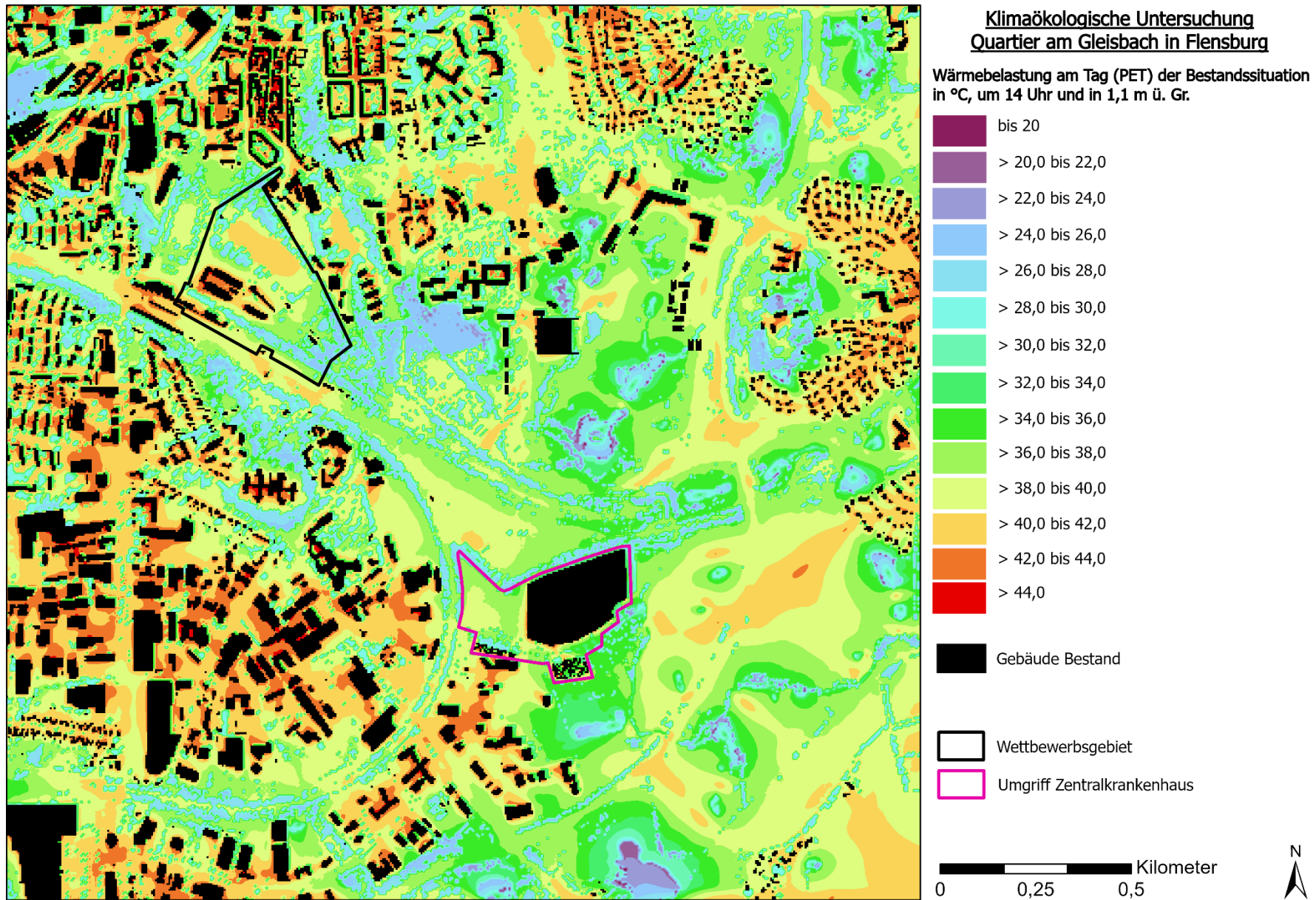


Abb. 18: PET der Bestandssituation in °C zum Zeitpunkt 14 Uhr.

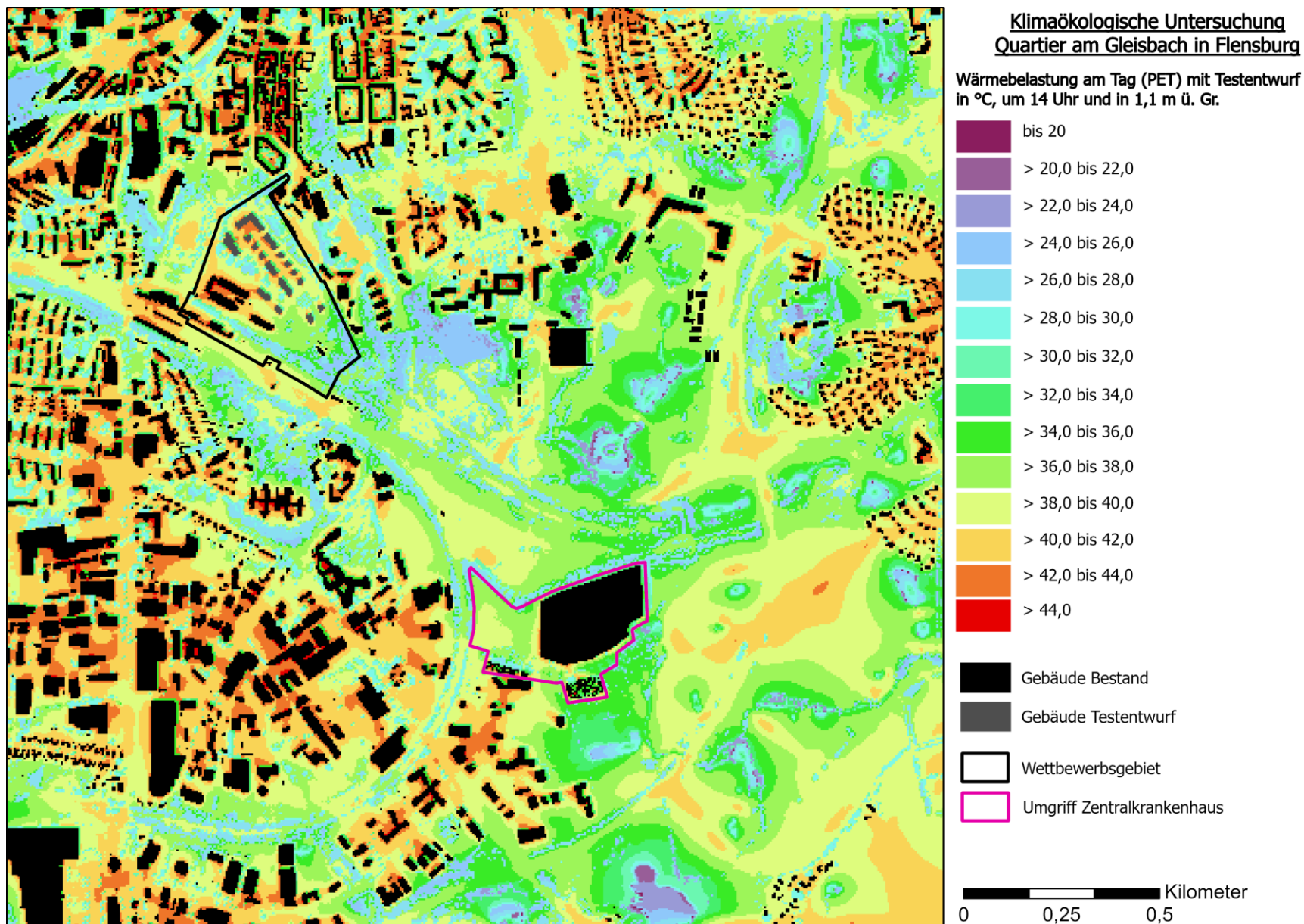


Abb. 19: PET der Entwurfssituation in °C zum Zeitpunkt 14 Uhr.

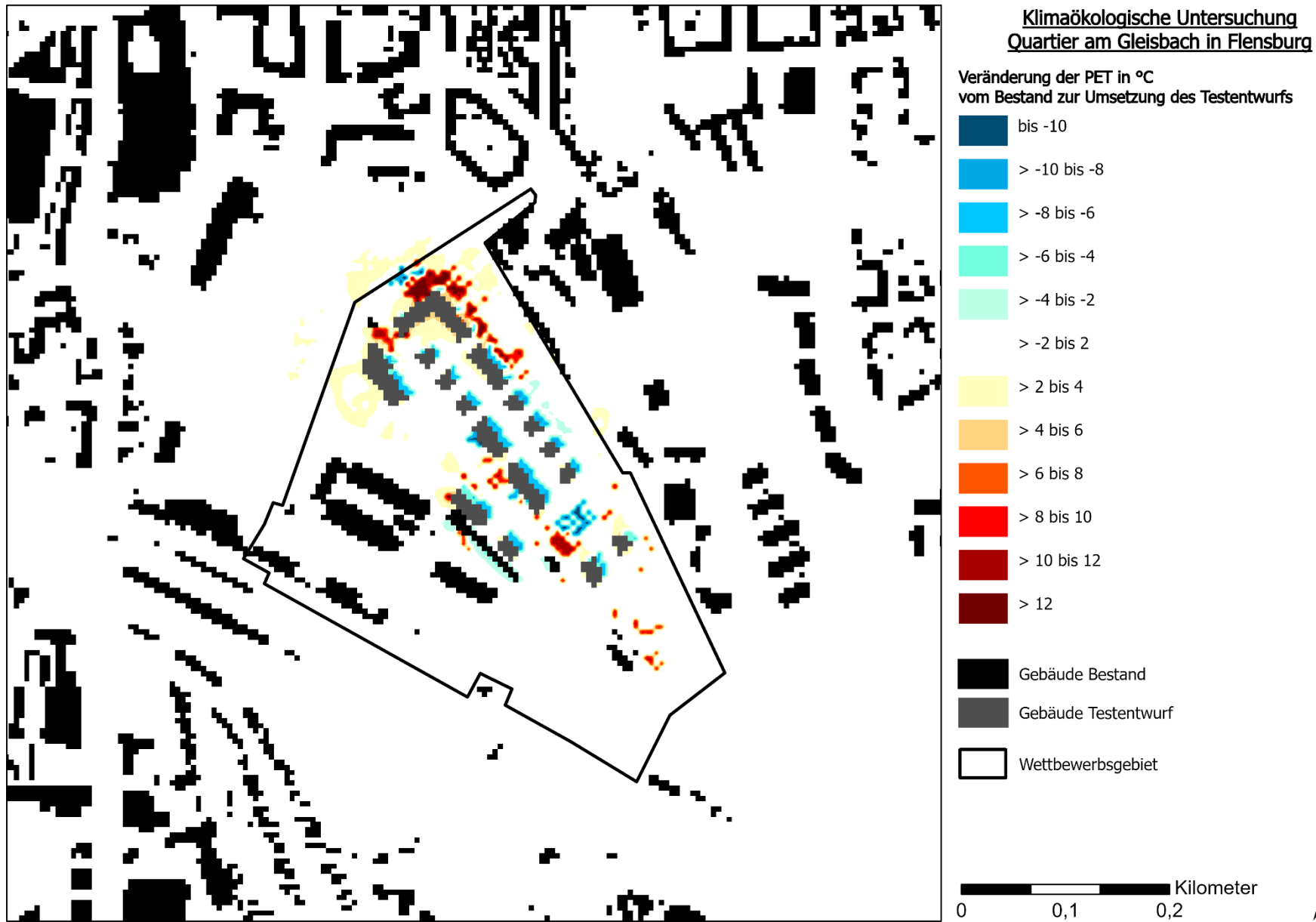


Abb. 20: Abweichung der PET vom Entwurf zum Bestand um 14 Uhr.

4 Schlussfolgerungen und planerische Hinweise für den Wettbewerb

Die vorliegende modellgestützte Untersuchung hatte zum Ziel, die Auswirkungen einer Umsetzung des Planvorhabens auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt sowie zur Wärmebelastung am Tage zu bewerten und daraus Hinweise für den städtebaulichen Wettbewerb zu formulieren. Für die klimaökologischen Auswirkungen lassen sich auf Grundlage der im Modell simulierten Klimaparameter folgende zentrale Ergebnisse zusammenfassen:

Das Wettbewerbsgebiet ist trotz der Berücksichtigung des zukünftigen Zentralkrankenhaus als maximales Strömungshindernis Teil der Kaltluftleitbahn des Bahnhofstals, die laut des Klimaanpassungskonzepts Flensburg einen wichtigen Anteil zur Kaltluftversorgung der Siedlungsbereiche Flensburgs beiträgt. Somit wäre aus rein klimaökologischer Sicht die Freihaltung einer Fläche wie das Wettbewerbsgebiet im Bahnhofstal einer Fläche wie das Wettbewerbsgebiet im Bahnhofstal und eine zusätzliche Verschattung durch Gehölzpflanzungen der Idealfall. Im Rahmen der Quartiersplanung sollte somit versucht werden, diesem Idealfall möglichst nahe zu kommen. In erster Linie kann das erreicht werden, indem die Wettbewerbsteilnehmer einen besonderen Fokus auf eine möglichst geringe Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes im Gebiet legen.

Am Tage hingegen bietet die bisherige Grünfläche lediglich in den baumbestandenen Randgebieten Erholungsmöglichkeiten von der Hitzebelastung und der zentrale, unverschattete Hauptteil der Fläche weist nach VDI-Kategorisierung mit einer extremen Wärmebelastung das höchste Maß an Wärmebelastung auf. Dies zeigt den Aufwertungsbedarf der Fläche, um den Aufenthalt für die Bevölkerung vor Ort so angenehm wie möglich und einen zukünftigen Rückzugsort im Quartier zu gestalten. Ziel muss somit sein, neben Freiflächen, die ein Auskühlen in der Nacht ermöglichen, tagsüber genügend Schattenflächen bereit zu halten, um ein zu starkes Aufheizen der Flächen am Tage zu vermeiden und somit ein gutes Wohnklima zu erschaffen.

Im Folgenden sind die klimaökologischen Bedingungen für die Bebauung des Wettbewerbsgebiets zusammengestellt.

- Erhalt der Durchströmbarkeit des Wettbewerbsgeländes, um eine Belüftung der angrenzenden Siedlungsflächen zu gewährleisten. Hierbei ist zentral ein Korridor von etwa 50m Breite von Südost nach Nordenwest bis an den Mühlendamm freizuhalten. Dieser Korridor sollte möglichst frei von Hindernissen sein und einen großen Anteil an ebenerdigen Grün aufweisen (verorteter Korridor in der optimalen Lage s. Abb. 21). Eine andere Krümmung oder Verschiebung der Fläche im Spielraum von etwa 5 m wäre denkbar, so lang die geforderte Breite der Schneise eingehalten wird. Eine Orientierung der Schneise an der Tiefenlinie des Gleisbachs wäre aber empfehlenswert, sollte diese nicht aus städtebaulichen Gründen eh noch angepasst werden. Die benötigte Breite einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn ist von vielen Faktoren abhängig, allgemein hin kann davon ausgegangen werden, dass 50 m Breite ein guter Richtwert für die Ausbildung einer effektiven Strömung sind (vgl. Mayer et al. 1994).
- Die Bebauung auf dem Wettbewerbsgelände sollte zwingend strömungsparallel erfolgen, Querriegel zur Strömungsrichtung sind gänzlich zu vermeiden.
- Für das gesamte Gelände gilt, ein möglichst gutes Bioklima zu schaffen. Hierbei sind folgende Hinweise zu beachten:
 - Verschattung von Straßen, Wegen, Stellflächen und Aufenthaltsbereichen
 - Entsiegelung von Straßen und Parkplätzen
 - Schaffung von mikroklimatischer Vielfalt über vielfältig strukturierte Grünflächen
 - Verschattung von Gebäuden
 - Erhöhung der Oberflächenalbedo (Reflexion)

- Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung der Gebäude im Wettbewerbsgebiet

Ein großer Grünanteil, der tagsüber schattige Aufenthaltsflächen kreiert und nachts eine gute Auskühlung des Geländes ermöglicht sowie eine sinnvolle Anordnung der Bebauung, die ein Durchströmen der Fläche und ein Zuströmen der Kaltluft in die Siedlungsgebiete Flensburgs ermöglicht, sind entscheidend für eine gute klimaökologische Situation im Gebiet und der angrenzenden Bebauung. Insbesondere im Hinblick auf den Klimawandel ist die Schaffung von klimatisch sinnvoll geplanten Siedlungsflächen von großer Bedeutung.

Nachfolgend werden die oben angeführten Planungshinweise in allgemeiner Form näher erläutert:

Entsiegelung, mikroklimatische Vielfalt

Wege, Plätze, Parkplätze und Randbereiche der Rad- und Fußwege sollten möglichst wenig versiegelt werden, um die Oberflächentemperaturen zu reduzieren und Verdunstungskühle zu ermöglichen. Für die Gestaltung der Parkierungsflächen und Nutzflächen gibt es viele Möglichkeiten, wie Pflasterrasen, Rasengittersteine oder Schotterrassen.

Zwischen den Gebäuden liegende Freiflächen können mit gut wasserversorgten Wiesenflächen und kleinen Baumgruppen gestaltet werden, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügellandschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind. Dieser vielfältige „Savannentyp“ ermöglicht die Ausbildung eines optimalen Bioklimas sowohl am Tag als auch in der Nacht.

Verschattung von Straßen, Wegen, Stellflächen und Aufenthaltsbereichen

Eine intensive Begrünung mit Bäumen steigert die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Vor allem Fußgängerwege sowie Fahrradwege bedürfen im Sommer guter Verschattung. Ebenso sollten Fahrzeugstellplätze sowie Aufenthaltsbereiche soweit möglich durch Bäume und Sträucher beschattet werden. Um die nächtliche Abkühlung durch einen zu dichten Baumbestand nicht zu sehr einzuschränken, sollten neben verschatteten Bereichen aber auch offene Grünflächen vorgehalten werden. Ein Baumbestand von ca. 30 % einer Grünfläche gilt hier als zielführend. Bei der Auswahl der Bäume sollte auf deren Trockenheits- und Hitzeresistenz geachtet werden. Die GALK-Broschüre „Zukunftsbäume für die Stadt“ (GALK 2020) sowie die für das Planungsgebiet erstellten „Vorschläge zu Standortgestaltung und Artenwahl bei Neupflanzungen“ in Kapitel 6 des Textteils zum Baumkataster „Quartier am Gleisbach“ kann in diesem Zusammenhang als Orientierung dienen.

Verschattung von Gebäuden

Die Verschattung von Gebäuden und Freiflächen durch Bäume oder auch durch bautechnische Maßnahmen (Ausführungsbeispiele hierfür sind Vordächer, Vertikallamellen, Markisen und Sonnensegel) ist eine gute Maßnahme der Hitzevorsorge. Das primäre Ziel ist es, die direkte Aufheizung sowie die Wärmespeicherung der Gebäude über die Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster) oder auch der befestigten Erschließungsflächen zu verringern. Sonnenexponierte Gebäudeseiten sind dabei von besonderer Bedeutung. Laubbäume mit weiten Kronen sind gegenüber Nadelbäumen zu bevorzugen, da sie im Winter einen vergleichsweise geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von ggfs. Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können.

Erhöhung der Oberflächenalbedo (Reflexion)

Die Anwendung von geeigneten Baumaterialien und hellen Anstrichen kann dazu beitragen, der Aufheizung von versiegelten Oberflächen und Gebäuden am Tage entgegenzuwirken, so dass sie nachts weniger Wärme an ihre Umgebung abgeben. Gleiches gilt für Dachbegrünung sowie für Fassadenbegrünung. Letztere wirkt

sogar zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits die Verdunstungskälte des Wassers an Pflanzenbestandteilen einen abkühlenden Effekt auf umgebende Luftmassen hat. Anwendungsschwerpunkte sollten in diesem Fall die nach Süden ausgerichteten Gebäudefassaden sein.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

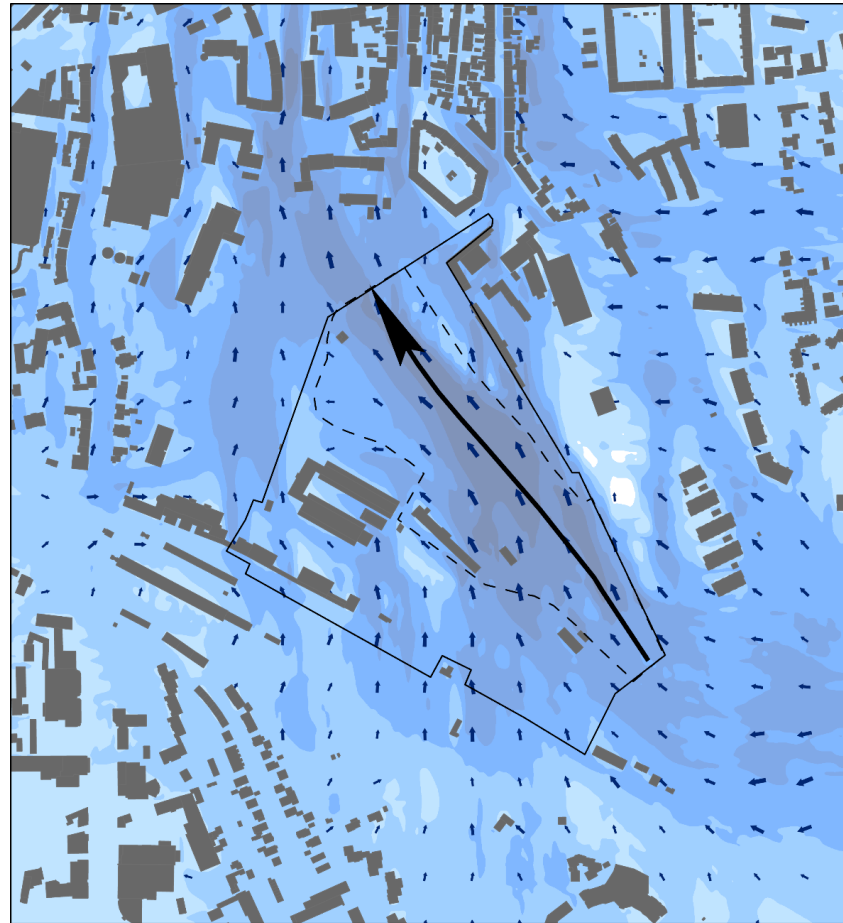
Die Dach- und Fassadenbegrünung zählt zu den effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen. Sie wirken zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden. Die Möglichkeiten bei der Realisierung einer Fassadenbegrünung werden allerdings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt. Es wird jedoch dringend empfohlen, eine großflächige Installation von Fassadengrün im Gebiet mitzudenken, gerade wenn keine anderweitige Verschattung der Fassade geplant ist.

Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegender Räumlichkeiten. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es hier durch die Traufhöhe der höheren Gebäude zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 6 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 3-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt, jedoch profitieren die oberen Geschosse aufgrund der kühleren Luftmassen von einem verbesserten Innenraumklima. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an. Der Kühlungseffekt für die Innenräume des obersten Geschosses bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird. Außerdem tragen extensive Dachbegrünung zur Artenvielfalt bei und können als ökologische Ausgleichmaßnahmen fungieren.

+ Hinweise Wettbewerb Klimaökologie

Planungshinweise Klimaökologie

- Erhalt der Durchströmbarkeit | Freihalten einer Kaltluftleitbahn von ca. 50 m Breite
- Strömungsparallele Ausrichtung der Baukörper | Minimierung einer potenziellen Hinderniswirkung
- Ziel: Gutes Bioklima Tag/Nacht
 - Verschattung Bewegungsräume/Aufenthaltsräume im Freien
 - „Versiegelungsarm“ planen | ins. „Ruhender Verkehr“
 - Freiflächen: Mikroklimavielfalt
 - Verschattung von Gebäuden
 - Erhöhung der Albedo
 - Dach-/Fassadenbegrünung

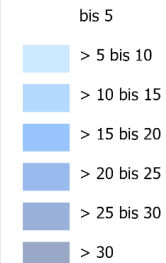


Karte der verortbaren Klimahinweise

↑ Hauptströmungsbereich der Kaltluft: 40 m bis 50 m breite Strömungsachse mit ebenerdigen Grün als kaltluftaktive Fläche zu realisieren (gänzlich von Bebauung freizuhalten, Erhaltung von Bestandsbäumen in der Achse oder Neupflanzungen von Einzelbäumen sind anzustreben)

↑ Strömungsrichtung

Kaltluftvolumenstrom in $m^3/m*s$



□ Wettbewerbsgebiet

⌈ ⌋ Baugrundstück

■ Gebäude

0 0,05 0,1 0,2 Kilometer



5 Literatur

Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020): Nationaler Klimareport. 4. Korrigierte Auflage. Stand Errata 8. Juni 2020.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2021): Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Rasterdaten. ftp://open-data.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2021): CDA – Climate Data Analyzer, ein Tool zur Analyse und Auswertung von Klimadaten. Dresden.

GIORGI F., JONES C., ASRAR G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, WMO Bulletin, 58(3):175-183.

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

LFU (2021): Landesweite Schutzgutkarte Klima/Luft für die Landschaftsrahmenplanung (Bayerisches Landesamt für Umwelt, unveröffentlicht).

LINKE C. ET AL. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam.

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

MOSS R. H., EDMONDS J. A., HIBBARD K. A., MANNING M. R., ROSE S. K., VAN VUUREN D. P., CARTER T. R., EMORI S., KAINUMA M., KRAM T., MEEHL G. A., MITCHELL J. F. B., NAKICENOVIC N., RIAHI K., SMITH S. J., STOUFFER R. J., THOMSON A. M., WEYANT J. P., WILBANKS T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–756.

PETERS G.P., ANDREW R.M., BODEN T., CANADELL J.G., CIAIS P., LE QUÉRE C., MARLAND G., RAUPACH M.R., WILSON C. (2013): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nat. Clim. Change 3, 4–6.

STADT FLENSBURG (2023) – Klimaanpassungskonzept für die Stadt Flensburg (ENTWURF).

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

Ausgleichsraum: Grüengeprägte, 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-/Frischluftrömung 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.

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 m³, 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 Kaltluftschicht² bis hinab auf die Erdoberfläche

² Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als 0,1 m·s⁻¹ wird

reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

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 Klimatelementen 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...).

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

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.

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


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: Bebauter (oder zur Bebauung vorgesehener), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belasteter Raum (Belastungsraum), der an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzt oder über wenig raue Strukturen angebunden ist. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischlufte aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Hannover, den 06.07.2023

Erstellt von: 

Katja Mendzigall (M.Sc. Meteorologie)

Gepüft von: 

Dipl.-Geogr. Peter Trute

Die Erstellung der Klimaexpertise erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach bestem Wissen und Gewissen. Die Klimaexpertise bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Eigentum und Nutzungsrecht liegen bei der Auftraggeberin.