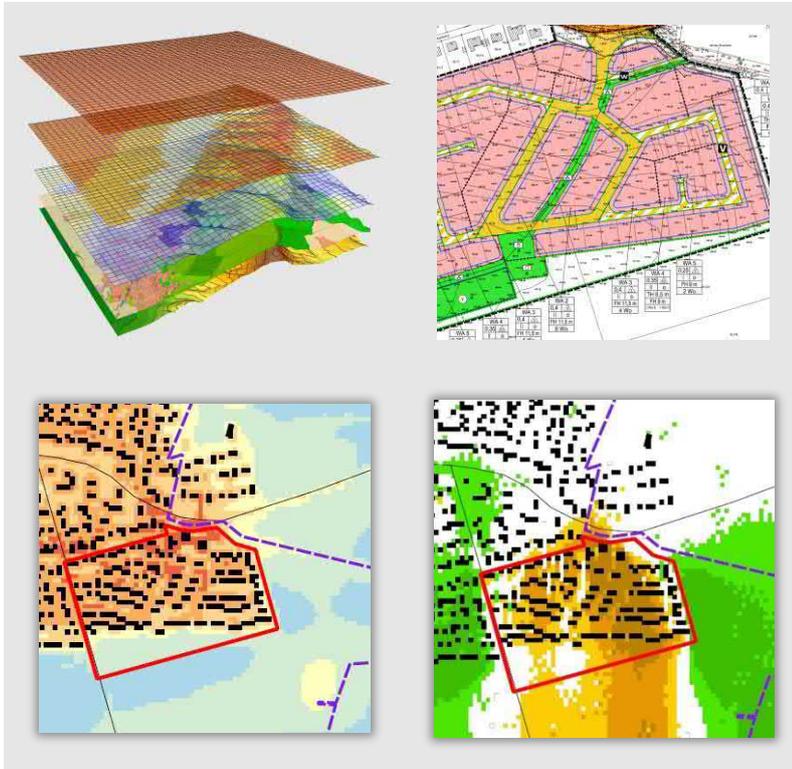


Klimaökologisches Fachgutachten für den Bebauungsplan Nr. 40 „Schnellenberger Weg“ in Reppenstedt



Auftraggeber:
Gemeinde Reppenstedt
Der Gemeindedirektor



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

Abbildungsverzeichnis.....	2
1. Aufgabenstellung	3
2. Methode	6
2.1 Datengrundlage und Modellrechnungen.....	6
2.2 Synoptische Rahmenbedingungen	6
3. Modellergebnisse	8
3.1. Lufttemperatur nachts.....	8
3.2 Kaltluftströmungsfeld nachts.....	11
3.3 Kaltluftvolumenstrom nachts	14
3.4 Situation am Tage	16
4. Klimaökologische Bewertung des Bauvorhabens	19
5. Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation im Plangebiet	20
6. Quellen	22
7. Glossar	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Vorentwurf des Bebauungsplanes Nr. 40	3
Abbildung 2: Modellergebnisse aus der Klimaanalyse Lüneburg für den Untersuchungsraum, Nachtsituation.....	4
Abbildung 3: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte Lüneburg für den Untersuchungsraum, Tagsituation.....	5
Abbildung 4: Nächtliches Temperaturfeld: Plan-Zustand	10
Abbildung 5: Nächtliches Temperaturfeld: Differenz zwischen Ausgangssituation und Plan-Zustand	10
Abbildung 6: Prinzipskizze Flurwind	11
Abbildung 7: Nächtliches Strömungsfeld: Ausgangssituation	12
Abbildung 8: Nächtliches Strömungsfeld: Plan-Szenario	13
Abbildung 9: Nächtliches Strömungsfeld: Differenz der Geschwindigkeit zwischen Ausgangssituation und Plan-Szenario	13
Abbildung 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.....	14
Abbildung 11: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom: Plan-Szenario	15
Abbildung 12: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom: prozentuale Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Ausgangssituation und Plan-Szenario	16
Abbildung 13: PET Tags: Plan-Szenario	18
Abbildung 14: Tagsituation (PET): Differenz zwischen Ausgangssituation und Plan-Zustand	18

1. Aufgabenstellung

Die Gemeinde Reppenstedt plant eine neue Wohnbaufläche am südöstlichen Siedlungsrand. Die Planung soll im Bebauungsplan Nr. 40 festgelegt werden. Der Vorentwurf beinhaltet eine Mischung aus Einfamilienhäusern, Doppelhäusern, Reihenhäusern, Mehrfamilienhäusern sowie eine Kita mit jeweils maximal I bis II zulässigen Vollgeschossen (vgl. Abbildung 1). Die Grundflächenzahl beträgt 0,25 bis 0,4 (Gemeinde Reppenstedt, 2020).

Das ca. 12,5 Hektar große Plangebiet weist ein leichtes Gefälle von Nordost bis Südwest auf (maximaler Höhenunterschied: 7 Meter) und ist bisher eine landwirtschaftlich genutzte Fläche. Westlich und nördlich grenzt die Wohnbebauung der Gemeinde Reppenstedt an. Östlich grenzt das Kommunalgebiet der Hansestadt Lüneburg an, für die im Jahre 2019 eine Stadtklimaanalyse erstellt wurde (GEO-NET, 2019). Laut dieser sind die landwirtschaftlichen Acker- und Grünflächen zwischen den Siedlungsgebieten von Reppenstedt und Lüneburg Teil eines Systems von Kaltluftleitbahnen, die die Lüneburger Stadtteile Weststadt, Oedeme und Mittelfeld nachts mit kühler Luft versorgen und so dem städtischen Wärmeinseleffekt entgegen wirken (vgl. Abbildung 2). Die hier untersuchte geplante Baufläche ist Teil der Kaltluftentstehungsgebiete, die diese Leitbahnen speisen.

Abbildung 2 zeigt das nächtliche Kaltluftströmungsfeld sowie die Lufttemperatur im Siedlungsraum in 2 m Höhe um 4 Uhr als Ergebnis aus der Stadtklimaanalyse Lüneburg (GEO-NET, 2019). Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für die Tagsituation (GEO-NET, 2019).

Aufgabenstellung ist die Untersuchung, inwieweit eine Bebauung des Plangebiets diese Kaltluftprozesse verändert und ggfs. eine weitere Erwärmung der umliegenden Wohnquartiere während windschwacher Sommernächte verursacht. Des Weiteren soll die Wärmebelastung am Tage in den bestehenden und geplanten Siedlungsbereichen untersucht werden bzw. wie weit die zusätzliche Baumasse eine weitere Erwärmung der Quartiere während windschwacher Sommernächte verursacht.

Auf Basis der Berechnung des Ist-Zustands (Ausgangssituation) und des Plan-Szenarios, werden die Auswirkungen der Bauvorhaben ausgewertet und beurteilt. Für den Ist-Zustand wurde die bereits fortgeschrittene Planung der benachbarten Stadt Lüneburg (Bebauungsplan Nr. 155 „Digitalcampus / Grüngürtel-West“) einbezogen (Hansestadt Lüneburg, 2019).



Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Vorentwurf des Bebauungsplanes Nr. 40 (Gemeinde Reppenstedt, 2020)

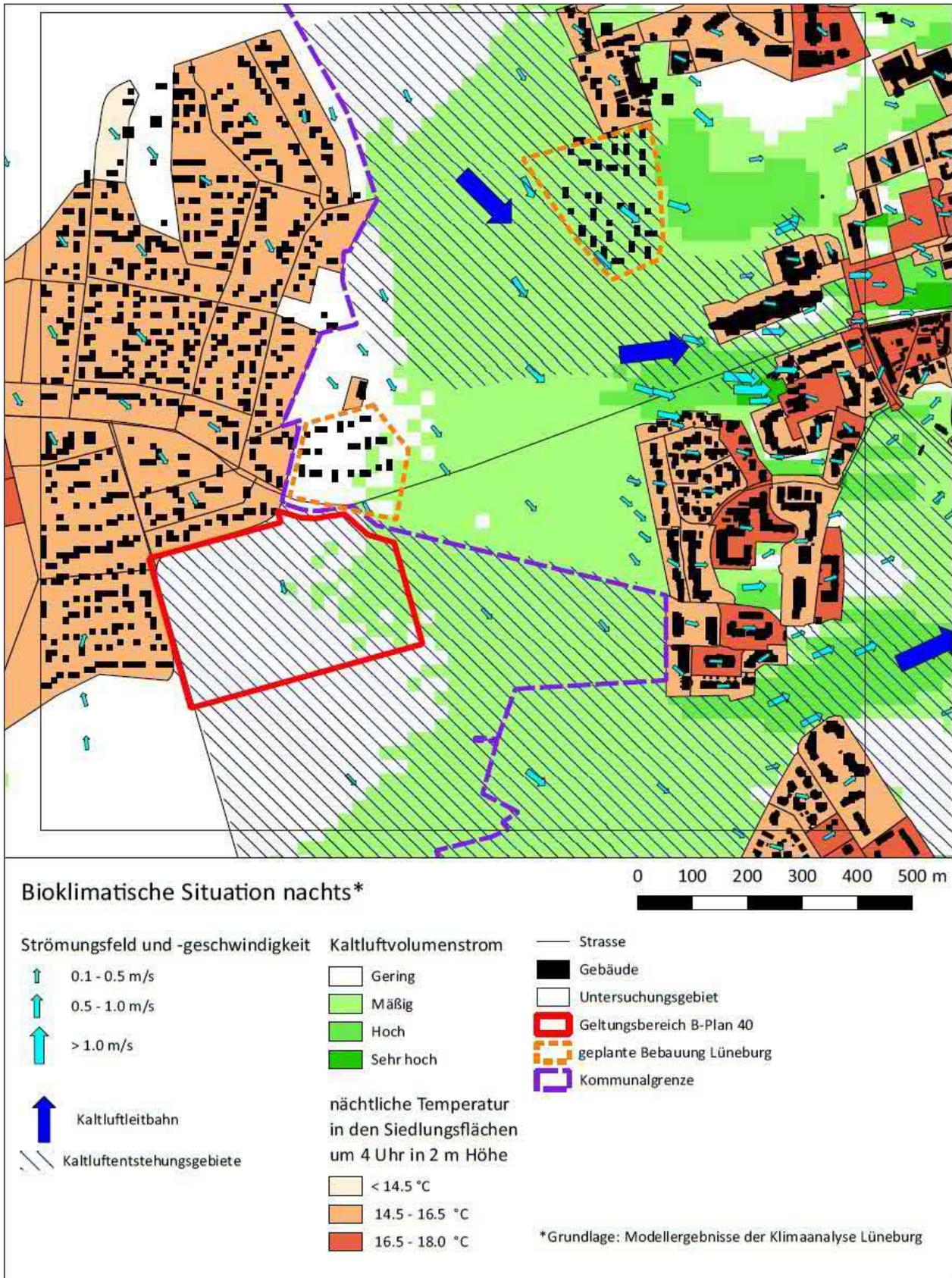


Abbildung 2: Modellergebnisse aus der Klimaanalyse Lüneburg für den Untersuchungsraum, Nachtsituation (GEO-NET, 2019)



Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte Lüneburg, Tagsituation

Grün- und Freiflächen bioklimatische Situation*

	<= 26.0 °C	Schwache Wärmebelastung
	> 26.0 bis 29.0 °C	Mäßige Wärmebelastung
	> 29.0 bis 32.0 °C	Mäßige Wärmebelastung
	> 32.0 bis 35.0 °C	Starke Wärmebelastung
	> 35.0 °C	Starke Wärmebelastung

Siedlungsräume bioklimatische Situation*

	<= 29.0 °C	Schwache Wärmebelastung
	> 29.0 bis 32.0 °C	Mäßige Wärmebelastung
	> 32.0 bis 35.0 °C	Mäßige Wärmebelastung
	> 35.0 bis 38.0 °C	Starke Wärmebelastung
	> 38.0 °C	Starke Wärmebelastung

sonstiges

	Gebäude
	Wasserflächen
	Kommunalgrenze
	Strasse
	Geltungsbereich B-Plan 40
	geplante Bebauung Lüneburg
	Untersuchungsgebiet

*basierend auf der PET um 14 Uhr.

Abbildung 3: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte Lüneburg für den Untersuchungsraum, Tagsituation (GEO-NET, 2019)

2. Methode

2.1 Datengrundlage und Modellrechnungen

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. Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Am Tage entstehen in den unterschiedlichen Flächen große Differenzen in der Wärmebelastung.

Die oben beschriebenen Prozesse wurden mit dem Klima- und Strömungsmodell FITNAH simuliert und basieren auf einem beispielhaften Gebäudebestand einer Vorplanung zum Bebauungsplan (Stand 2015) sowie der Planung zum Bebauungsplan Nr. 155 auf den benachbarten Flächen der Hansestadt Lüneburg (Hansestadt Lüneburg, 2019). Auch wenn der aktuelle Vorentwurf gemäß Abbildung 1 noch keine abschließende Gebäudekulisse enthält, können die Modellergebnisse für den aktuellen Planentwurf als repräsentativ angesehen werden, da die in der Modellierung implementierte Gebäudekulisse unter klimaökologischen Gesichtspunkten weitestgehend den Vorgaben der aktuellen Vorentwurfsplanung des Bebauungsplanes entspricht. Aus fachlicher Sicht bleiben die zentralen Aussagen gleichermaßen gültig, insb. zu der im Fokus stehenden Fragestellung des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens im Umfeld des Plangebiets.

Bei numerischen Modellen 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. Zusätzlich werden die Gebäudehöhen in den Simulationen berücksichtigt. Das gesamte Untersuchungsgebiet hat bei einer Abmessung von 1500 m x 1500 m eine Fläche von insgesamt 2,25 km². Während die Modellierung der meteorologischen Parameter in der Stadtklimaanalyse Lüneburg mit einer Zellengröße 25 m x 25 m erfolgte, wurde in der vorliegenden Analyse in einer mikroskaligen Auflösung von 10 m x 10 m gerechnet.

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 wurden die großräumigen Rahmenbedingungen für eine sommerliche austauscharme Wetterlage wie folgt festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- 20°C Lufttemperatur über Freiland zum Zeitpunkt 21 Uhr,
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. In dieser Studie wird eine sommerliche austauscharme Wetterlage herangezogen, da bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden können. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung von Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

3. Modellergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den klimaökologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstromdichte für die Nachtsituation sowie PET (Physiologisch äquivalente Temperatur, siehe Glossar) für die Tagsituation erläutert. Zum Zeitpunkt 4 Uhr nachts haben sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen vollständig ausgebildet. Für die Tagsituation wurde der Zeitpunkt 14 Uhr gewählt, da dieser die stärkste Erwärmung darstellt.

3.1. Lufttemperatur nachts

Allgemeines

In der Nacht ist weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 weist darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ für die bioklimatische Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann (VDI 2008). 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 ein 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 6 °C Temperaturabweichung 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. 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, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Nächtliches Temperaturfeld im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet kann man deutlich die Temperaturunterschiede zwischen Siedlungsgebieten und Freiflächen erkennen. Im Bereich des Bebauungsplans Nr. 40 ist mit Temperaturen zwischen über 19 °C und unter 16 Grad (letzteres über den unversiegelten Grünflächen im Süden) zu rechnen. Damit ist das Temperaturniveau vergleichbar mit den angrenzenden Wohngebieten in Reppenstedt (Abbildung 4). Auf den landwirtschaftlichen Freiflächen zwischen den Siedlungsgebieten von Reppenstedt und Lüneburg verteilt sich die Lufttemperatur auf unter 14 bis 16 °C. Mit einigen Zehnermetern Abstand vom Siedlungsrand wird die Temperatur vor allem durch das Geländere relief, und die dadurch geleitete Strömung der Kaltluft mit dem Gefälle bedingt. Der kühlste Punkt am Südrand des Untersuchungsgebiets liegt mit einer Geländehöhe von ca. 36 Meter ü. NN bis zu 6 Meter tiefer als die nördlich anschließenden Kaltluftentstehungsgebiete.

Abbildung 5 zeigt die absolute Differenz in der Lufttemperatur zwischen der Ausgangssituation (Ist-Zustand) und dem Plan-Szenario. Erwartungsgemäß steigen die Werte im Plangebiet um bis zu 4 °C. Über das Plangebiet hinaus ist von keiner signifikanten Erhöhung der nächtlichen Lufttemperatur um mehr als 1 °C auszugehen. Außerhalb des Plangebiets ist lediglich in einigen Stellen eine zu vernachlässigende Abnahme der Lufttemperatur um bis zu -0,3 °C zu verzeichnen, die durch eine teils veränderte Kaltluftströmungsrichtung begründet werden kann (vgl. Kapitel 3.2).

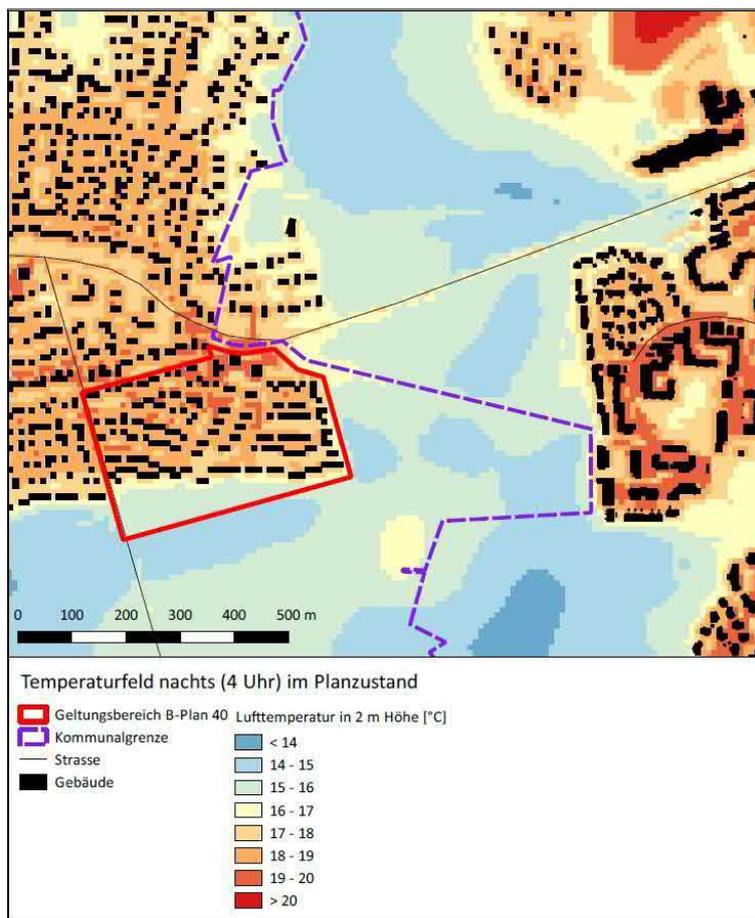


Abbildung 4: Nächtliches Temperaturfeld: Plan-Zustand

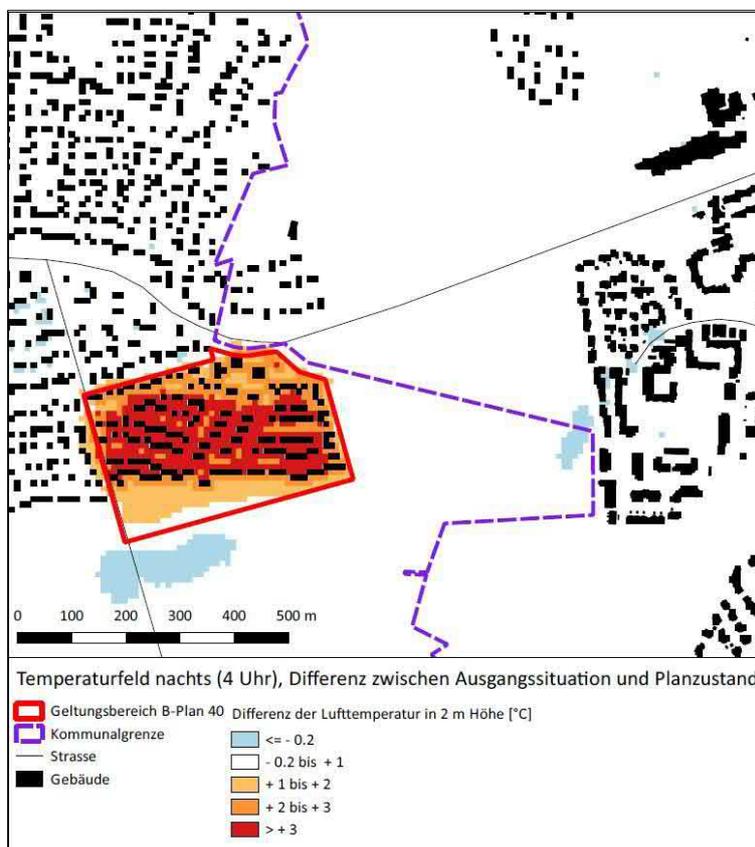


Abbildung 5: Nächtliches Temperaturfeld: Differenz zwischen Ausgangssituation und Plan-Zustand

3.2 Kaltluftströmungsfeld nachts

Allgemeines

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (Abbildung 6). 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 orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. Kiese et al. 1988).

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bäume und Bauten abgebremst wird.

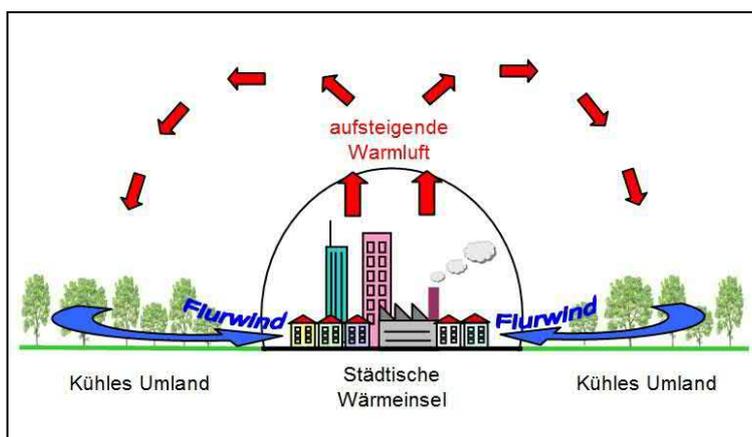


Abbildung 6: Prinzipskizze Flurwind

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.

Nächtliches Kaltluftströmungsfeld im Untersuchungsgebiet

Abbildung 7 und Abbildung 8 stellen das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Strömungsgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abbildung 7 stellt die

Ausgangssituation dar, während Abbildung 8 das Strömungsfeld im Plan-Szenario wiedergibt. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt in beiden Fällen verbreitet zwischen 0,1 m/s bis zu 1,5 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten sind erwartungsgemäß über den Freiflächen zu erkennen. Die Strömung verläuft grundsätzlich in Nord-Süd-Richtung und dringt aufgrund der Temperaturunterschiede jeweils kleinräumig in die bebauten Flächen ein. Im Plan-Zustand wird die Strömung südlich des Plangebiets deutlich abgeschwächt, und geringfügig in Richtung Nordwest (Plangebiet) abgelenkt.

Abbildung 9 veranschaulicht die Differenzen der Strömungsgeschwindigkeit (in m/s) sowie die Strömungspfeile für den Plan-Zustand. Es zeigt sich, dass die Auswirkungen der geplanten Bebauung bis in mindestens 300 Meter (und voraussichtlich über den südlichen Rand des Untersuchungsgebiets hinaus) feststellbar sind. Auf den Freiflächen südlich des Plangebiets ist mit Geschwindigkeitsabnahmen von bis zu 0,4 m/s zu rechnen. Im Bereich der ohnehin höchsten Strömungsgeschwindigkeiten – südöstlich des Plangebiets – ist dagegen eine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 0,3 m/s zu erwarten, die sowohl durch die Kanalisierung der Strömung infolge der Bebauung als auch durch steigende Temperaturen im Plangebiet und damit verbundene Ausgleichsströmungen erklärt wird.

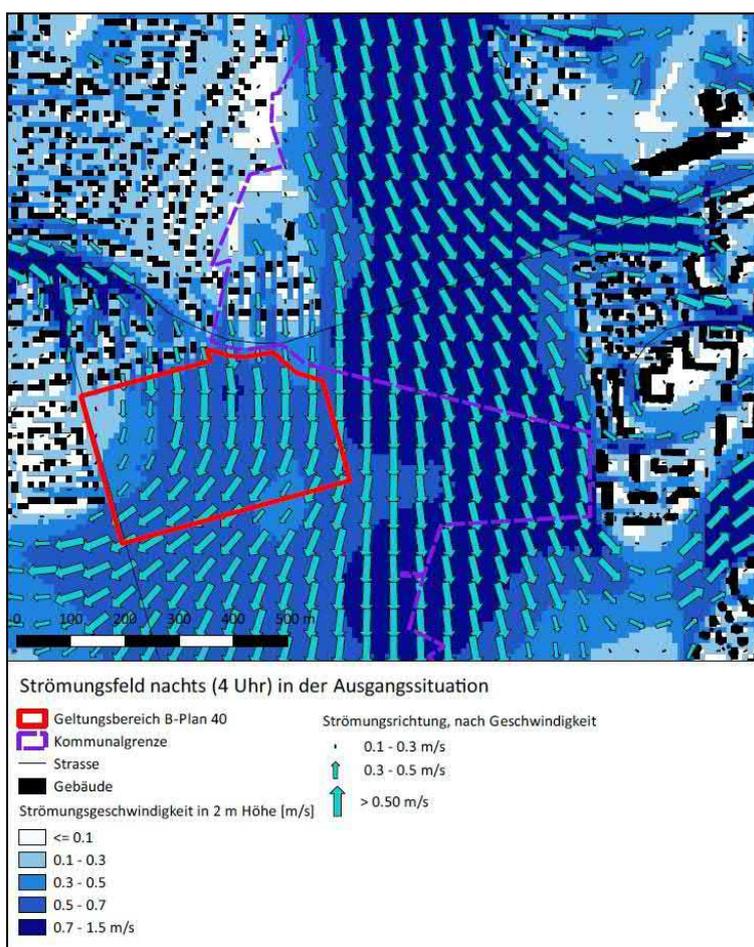


Abbildung 7: Nächtliches Strömungsfeld: Ausgangssituation

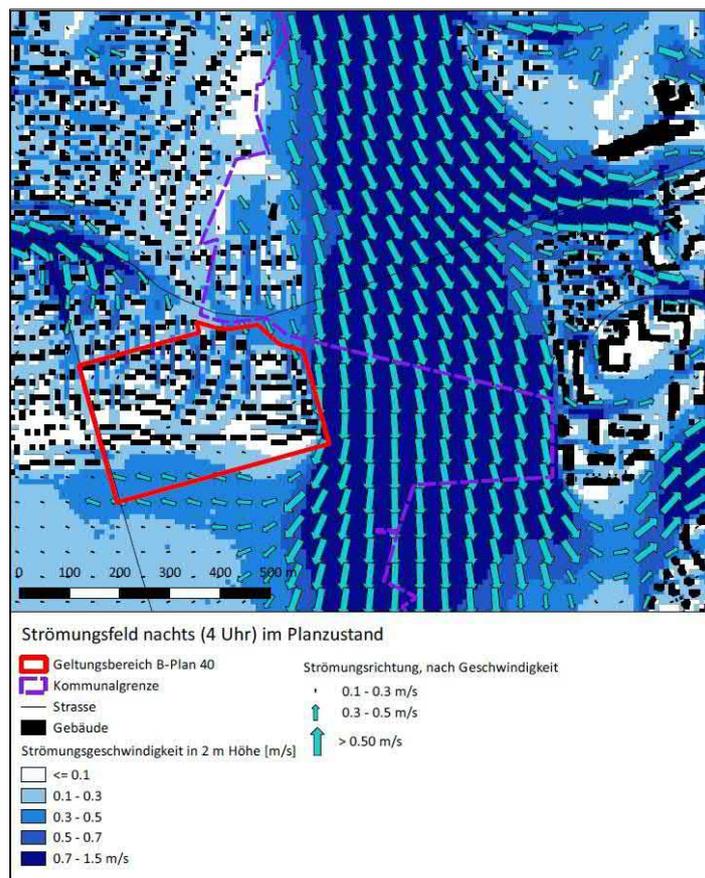


Abbildung 8: Nächtliches Strömungsfeld: Plan-Szenario

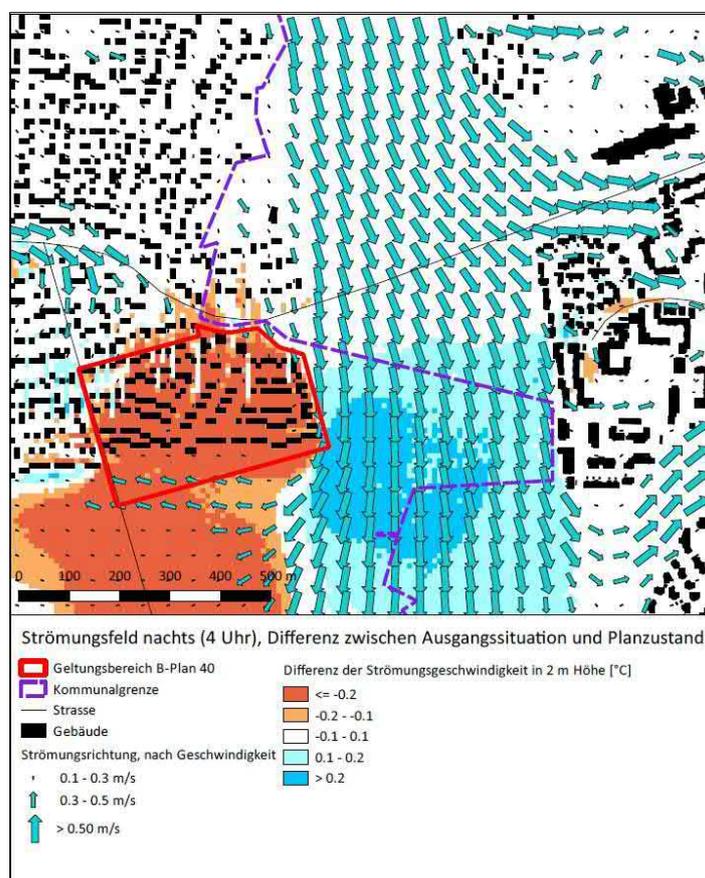


Abbildung 9: Nächtliches Strömungsfeld: Differenz der Geschwindigkeit zwischen Ausgangssituation und Plan-Szenario

3.3 Kaltluftvolumenstrom nachts

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.

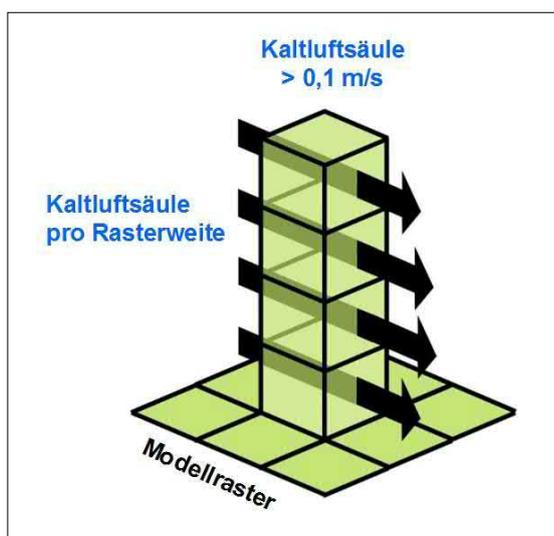


Abbildung 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Vereinfacht ausgedrückt stellt der Begriff Kaltluftvolumenstrom 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 dargestellte 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. Dieser Wert kann über ein 10 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz veranschaulicht werden, 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 (Abbildung 10). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Räumliche Verteilung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsgebiet

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 11 zeigt den Kaltluftvolumenstrom für das Plan-Szenario. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte über Grün- und Freiflächen sowie nordwestlich des Plangebiets entlang der locker bebauten Lüneburger Landstraße auf (Dunkelblau). Vor allem im Südosten des Untersuchungsgebiets nimmt die Menge der einströmenden Kaltluft mit Eintritt in die Lüneburger Siedlungsbereiche rasch ab. Dieses Phänomen ist konträr zu den Modellergebnissen der Klimaanalyse für die Stadt Lüneburg, wo in diesen Bereichen eine hohe Kaltluftvolumenstromdichte verortet ist (vgl. Abbildung 2). Grund hierfür ist, dass die östlich liegenden Siedlungsbereiche als Wirkungsraum der Kaltluft sowie die leitbahnhaften Grünflächenstrukturen (Kleingartenanlagen westlich des Städtischen

Klinikums) außerhalb des Untersuchungsgebiets der vorliegenden Untersuchung liegen und somit deren Klimafunktionen im Modell nicht zum Tragen kommen können. Nichtsdestotrotz ist das Modellergebnis in Bezug auf die Fragestellungen der vorliegenden Untersuchung aussagekräftig. Da an diesen Stellen in 2 Metern Höhe weder das Lufttemperaturniveau noch die Strömungsgeschwindigkeit signifikant niedriger ist als in den Siedlungsflächen von Reppenstedt (vgl. vorige Kapitel), ist davon auszugehen dass sich die Reduktion der Kaltluftmenge in den darüber liegenden Luftschichten abspielt, bzw. die Obergrenze der Kaltluftschicht sinkt.

Die Auswirkungen der Bauvorhaben auf den Kaltluftvolumenstrom sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan-Szenario und Ausgangssituation wird in Prozent dargestellt, um eine Bewertung in Anlehnung an die Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) vornehmen zu können (siehe weiter unten). Im Freiflächenbereich südlich der geplanten Bebauung ist die größte Minderung des Kaltluftstroms zu erkennen: Durch den Wegfall der Freifläche fließt dort bis zu 15 % weniger Kaltluft. Andererseits bewirkt die zusätzliche Bebauung und die damit einhergehende gestiegene Lufttemperatur im Baubereich eine Stärkung des Kaltluftvolumenstroms in Richtung des neu hinzugekommenen Wohngebiets. In Verbindung mit Kanalisierungseffekten kann daher auf den Freiflächen östlich des Plangebiets mit einer Zunahme des Kaltluftvolumens von bis zu 15 % gerechnet werden.

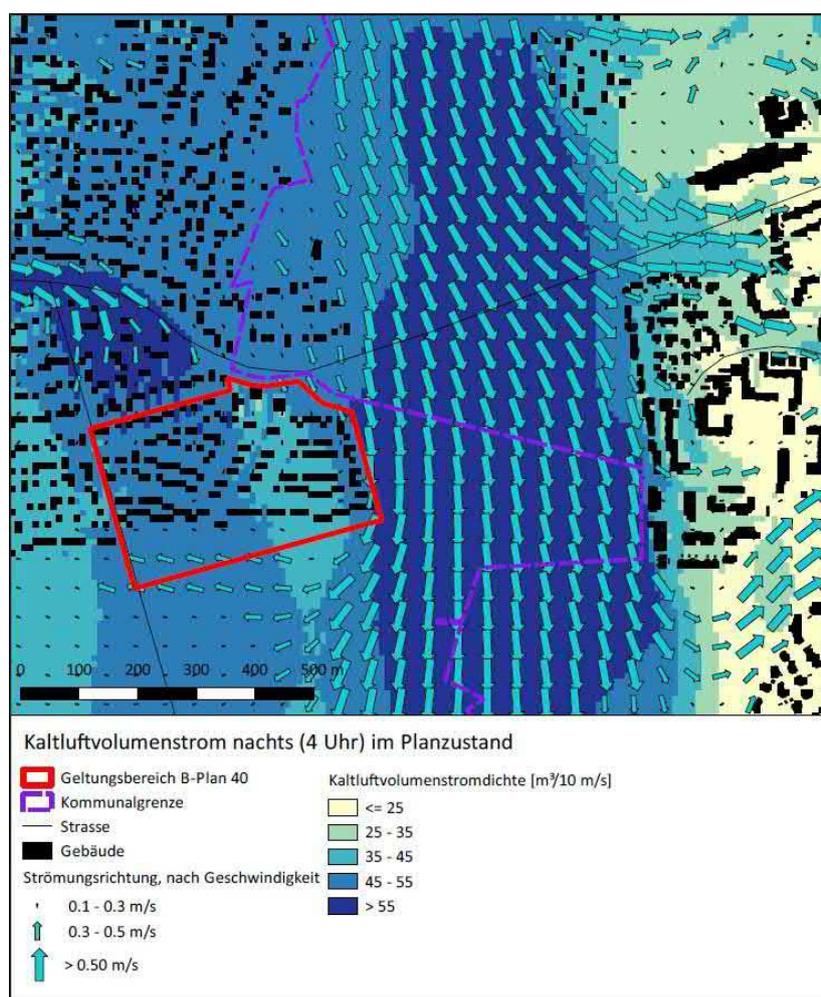


Abbildung 11: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom: Plan-Szenario

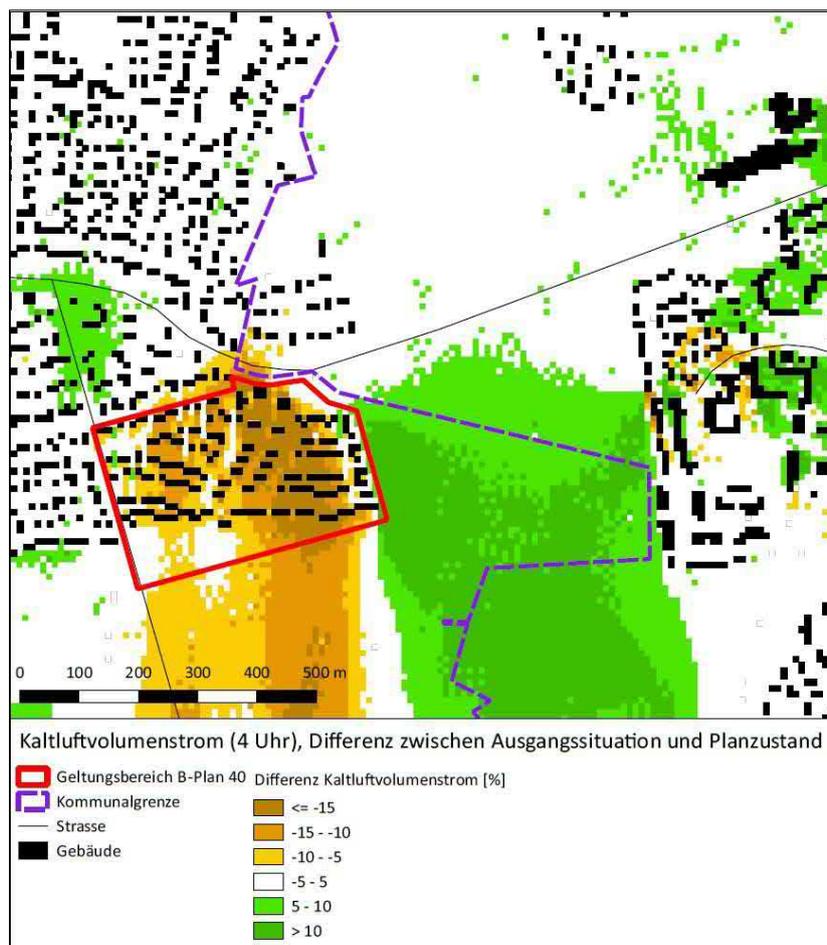


Abbildung 12: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom: prozentuale Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Ausgangssituation und Plan-Szenario

3.4 Situation am Tage

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 abschätzen. In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (Physiologisch Äquivalente Temperatur; vgl. Höpfe & Mayer 1987 und Glossar). 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 vorliegenden Ergebnisse mit denen anderer Städte 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.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C, Tabelle 1, VDI 2004)

Tabelle 1: Schwellenwerte für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach 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

Thermische Situation am Tage im Untersuchungsgebiet

Abbildung 13 (folgende Seite) zeigt die räumliche Verteilung der thermischen Situation am Tage im Untersuchungsgebiet. Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die PET eine höhere Spannweite auf. PET-Werte ≤ 23 °C (keine Wärmebelastung) sind einzig über der Wasseroberfläche des Kalkbruchsees zu finden, welcher tagsüber eine kühlende Wirkung auf seine direkte Umgebung hat. Die Wohnquartiere sind überwiegend starker (> 35 °C), stellenweise auch extremer Wärmebelastung (> 41 °C) ausgesetzt. Die lockere Bebauung entlang der Lüneburger Landstraße schlägt sich in PET-Werten um 36 °C nieder. Auf den weitläufigen Freiflächen in der Mitte des Untersuchungsgebiets kann die Sonnenstrahlung ungehindert auftreten. Entsprechend verteilt sich die Werteskala dort auf 36 bis 40 °C und liegt somit im Durchschnitt auf vergleichbarem Niveau wie in den Siedlungsflächen. Im südlichen Bereich des Plangebiets sorgt die geplante Bepflanzung mit Gehölz und Bäumen für geringere PET-Werte mäßigen Belastungsniveaus um 33 - 34 °C. In der Bilanz zwischen Ausgangssituation und Plan-Zustand (Abbildung 14) schlägt sich diese geplante Begrünung mit einer kühlenden Wirkung von bis zu 4 °C nieder.

Leicht kühlend wirkt sich auch der Schattenwurf der Bebauung auf die direkt östlich angrenzenden Rasterzellen der Modellrechnung aus (hellblaue Bereiche in Abbildung 14). In den überbauten Bereichen des Plangebiets selbst sind im Vergleich zur Ausgangssituation Zunahmen der PET-Werte von durchschnittlich 3 bis 4 °C zu erwarten (Abbildung 14). Die direkt westlich angrenzenden Wohngebiete weisen bis zu 2 °C höhere PET-Werte im Vergleich zur Ausgangssituation auf, was auf eine geringere Durchlüftung schließen lässt. Eine weiter als 200 bis 300 Meter reichende Auswirkung auf die bioklimatische Situation am Tage ist nicht zu erwarten.

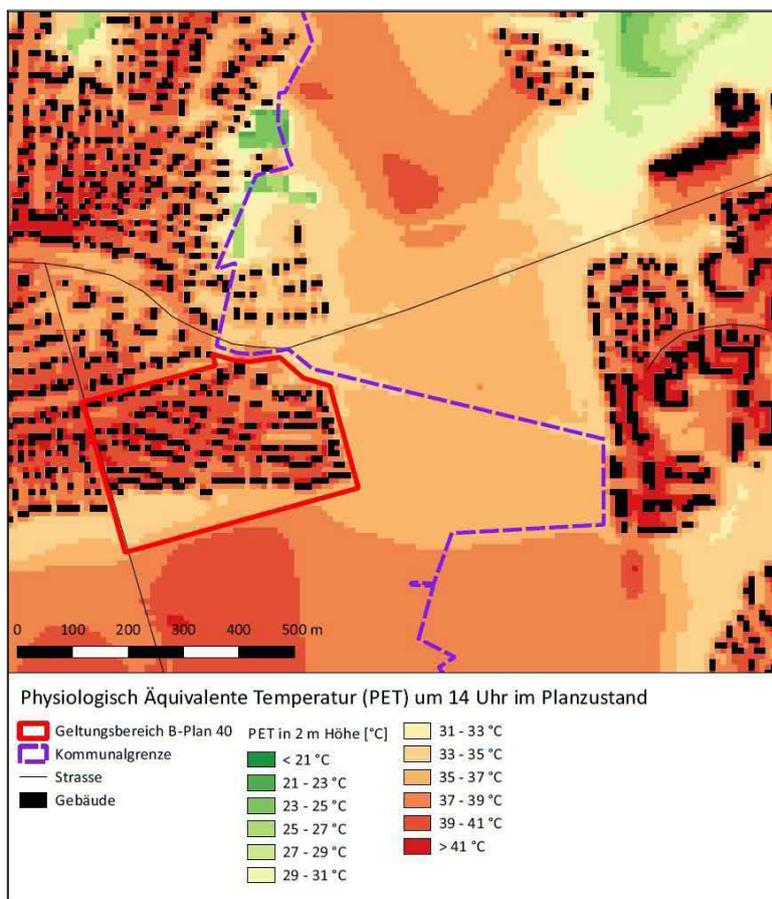


Abbildung 13: PET Tags: Plan-Szenario

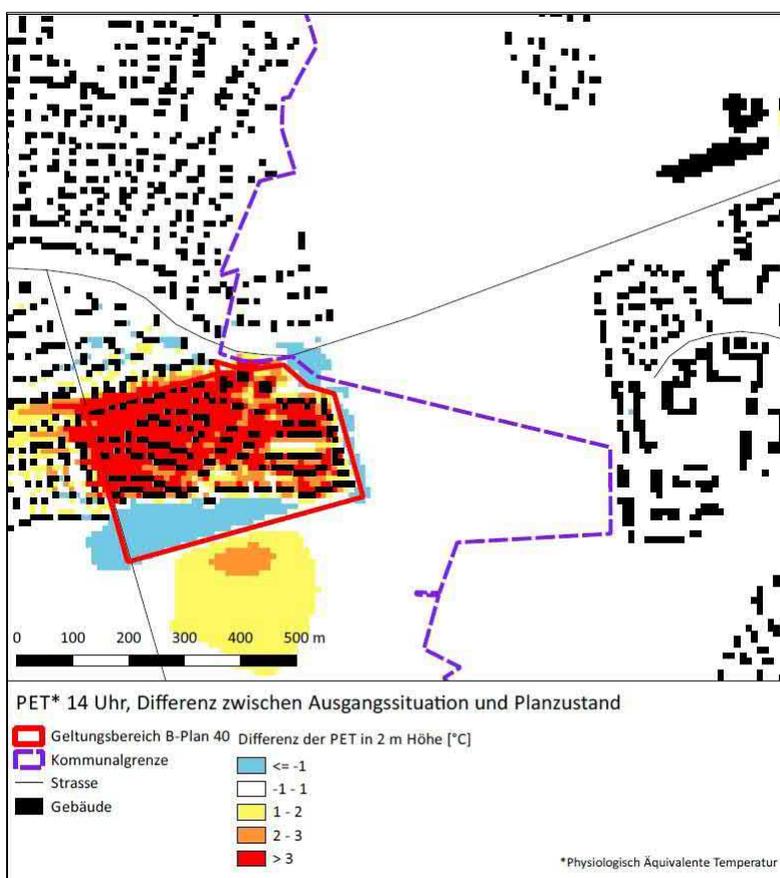


Abbildung 14: Tagsituation (PET): Differenz zwischen Ausgangssituation und Plan-Zustand

4. Klimaökologische Bewertung des Bauvorhabens

Zur Ermittlung der klimaökologischen Auswirkungen der Vorentwurfsplanung des Bebauungsplans Nr. 40 („Schnellenberger Weg“) in Reppenstedt wurden mit dem Klimamodell FITNAH für eine exemplarische, repräsentative Gebäudekulisse verschiedene meteorologische Parameter zum Kaltfluthaushalt und zur Wärmebelastung simuliert (unter der Annahme einer windschwachen Sommernacht). Die aktuellen Planungen der Hansestadt Lüneburg im Bereich des Bebauungsplan Nr. 155 wurden dabei in die Ausgangssituation eingerechnet. Inwieweit diese den Kaltfluthaushalt und die Wärmebelastung beeinflussen, ist hier somit nicht Teil der Untersuchung.

Sowohl die gesamtstädtische Klimaanalyse für Lüneburg (GEO-NET, 2019) als auch der vorliegende Fachbeitrag lassen erkennen, dass die Freiflächen zwischen Reppenstedt und Lüneburg eine wichtige Funktion als Kaltluftentstehungsgebiet für die Kaltluftleitbahn in Richtung der angrenzenden Lüneburger Wohnquartiere erfüllen. Für die Beurteilung der lokalklimatischen Auswirkungen steht einerseits die Versorgung dieser Leitbahn mit nächtlicher Kalt-/Frischlufte im Vordergrund, des Weiteren wird die Wärmebelastung am Tage im Plangebiet sowie den angrenzenden Wohnquartieren untersucht.

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltfluthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Lediglich in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, das 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 10 % Schwelle wird im direkten Bereich des Plangebiets und auf den südlich anschließenden Agrarflächen überschritten. Diese Bereiche sind zwar Teil des Kaltluftentstehungsgebiets für die Kaltluftleitbahn in Richtung Lüneburg-Mittelfeld (vgl. GEO-NET, 2019 Klimaanalysekarte Nachtsituation sowie Abbildung 2), weisen dort aber lediglich einen geringen bis mäßigen Kaltluftvolumenstrom auf, ist also als ergänzende – aber nicht notwendige – Fläche in Bezug auf Kaltluftspeisung der Leitbahn zu bewerten. Die Bedeutung der Fläche als Ausgleichsraum – in Bezug auf den städtischen Wärmeinseleffekt – ist gering.

Weiterhin wird in kleinen Teilbereichen entlang der William-Watt Straße in Lüneburg die 10 % Schwelle der Kaltluftreduzierung überschritten (rechts in Abbildung 12). Die Reduzierung des Kaltluftvolumens in diesem Bereich geht allerdings nicht mit einer erhöhten Lufttemperatur einher, sondern beschränkt sich auf die höheren Luftschichten. Eine hohe Auswirkung der Planung des Bebauungsplans Nr. 40 auf bereits bestehende Wohnquartiere ist somit nicht zu erwarten. Die bestehenden Kaltluftleitbahnen werden ihre Funktionalität im Bereich der bestehenden Siedlungsgebiete uneingeschränkt beibehalten.

Die Wärmebelastung am Tage ändert sich durch die geplante Bebauung nur im unmittelbaren Umfeld des Plangebiets selbst. Aufgrund der relativ lockeren Bebauung mit Einzelhäusern, geringem Versiegelungsgrad und Bäumen besteht die Möglichkeit, die Erwärmung relativ gering zu halten.

Bei einer Umsetzung der Planungen sollte geprüft werden, inwieweit (ggfs. weitere) geeignete Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung innerhalb der betroffenen Flächen umsetzbar sind. Eine Auswahl an geeigneten Maßnahmen wird im folgenden Kapitel gegeben.

5. Maßnahmen zur Verbesserung der bioklimatischen Situation im Plangebiet

Im Folgenden werden Hinweise zur Verringerung der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sowie zur Aufenthaltsqualität im Freien gegeben.

Entsiegelung

Wege, Plätze, Parkplätze und Randbereiche der Fahrradwege sollten möglichst wenig versiegelt werden, um die Oberflächentemperaturen zu reduzieren. Für die Gestaltung der Parkierungsflächen gibt es viele Möglichkeiten, wie Pflasterrasen, Rasengittersteine, Schotterrassen.

Verschattung von Straßen, Wegen, Plätzen und Stellflächen

Eine intensive Begrünung sowohl des Straßenraumes als auch des geplanten Quartiers 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 Autostellplätze sowohl im privaten als auch im öffentlichen Raum durch Bäume und Sträucher beschattet werden.

Erhöhung der Oberflächenalbedo (Reflexion)

Die Beschaffenheit der nicht natürlichen Oberflächen (vor allem Gebäude, Dächer, Straßen) bestimmt die Wärmeleitfähigkeit ins Gebäude (bzw. in den Boden) sowie die Oberflächentemperatur und damit die Lufttemperatur im angrenzenden Außenraum. Die Energieumsätze am Erdboden bzw. an den Wänden werden u.a. sehr stark von den Reflexionseigenschaften (Albedo) des Untergrunds bestimmt. Insbesondere weiße und helle Oberflächen reflektieren die Sonnenstrahlung stark. Der reflektierte Anteil trägt damit nicht mehr zur Erwärmung der Oberfläche bei.

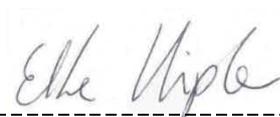
Dach- und Fassadenbegrünung

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählen Dach- und Fassadenbegrünung. Letztere wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung 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. Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. 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 bei einer hohen Traufhöhe von Gebäuden zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühlereffekt beitragen. 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 und können sogar darüber hinausgehen. Der

Kühlungseffekt für die Innenräume 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. Die Wirkung einer Dachbegrünung wird daher auch über die Dicke des Substrats beeinflusst.

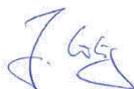
GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Hannover, den 06.04.2020

Erstellt von:



 Elke Hipler (Dipl. Geographin)

Geprüft von:



 Janko Löbig (M.Sc. Geoökologie)

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

6. Quellen

- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2017): Doppelte Innenentwicklung – Perspektiven für das urbane Grün, Bonn
- GEMEINDE REPPENSTEDT (2020): Gemeinde Reppenstedt, Vorentwurf des Bebauungsplanes Nr. 40 „Schnellenberger Weg“, Stand 01.04.2020.
- GEO-NET (2019): Stadtklimaanalyse Lüneburg. Im Auftrag der Hansestadt Lüneburg. GEO-NET Umweltconsulting GmbH Hannover
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- GROSS, G. (2012): Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments, Meteorologische Zeitschrift, 21, pp. 399-412.
- HANSESTADT LÜNEBURG (2019): Präsentation zur Bürgerversammlung am 10. Januar 2019: Bebauungsplan Nr. 155 „Digital-Campus / Grüngürtel-West“
- HÖPPE, P., MAYER, H. (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadt-klimas. Landschaft und Stadt 19 (1): S. 22-29.
- KIESE, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt 20, H. 2: 67-71
- KUTTLER, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13.
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- 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.
- VDI (2008): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.

7. Glossar

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

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.

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 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 Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht¹ bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

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.

Luftaustausch: Transport von Luftmassen mit bestimmten Eigenschaften durch turbulente Diffusion.

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.

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 hervorgerufenes Unbehagenempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

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.

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