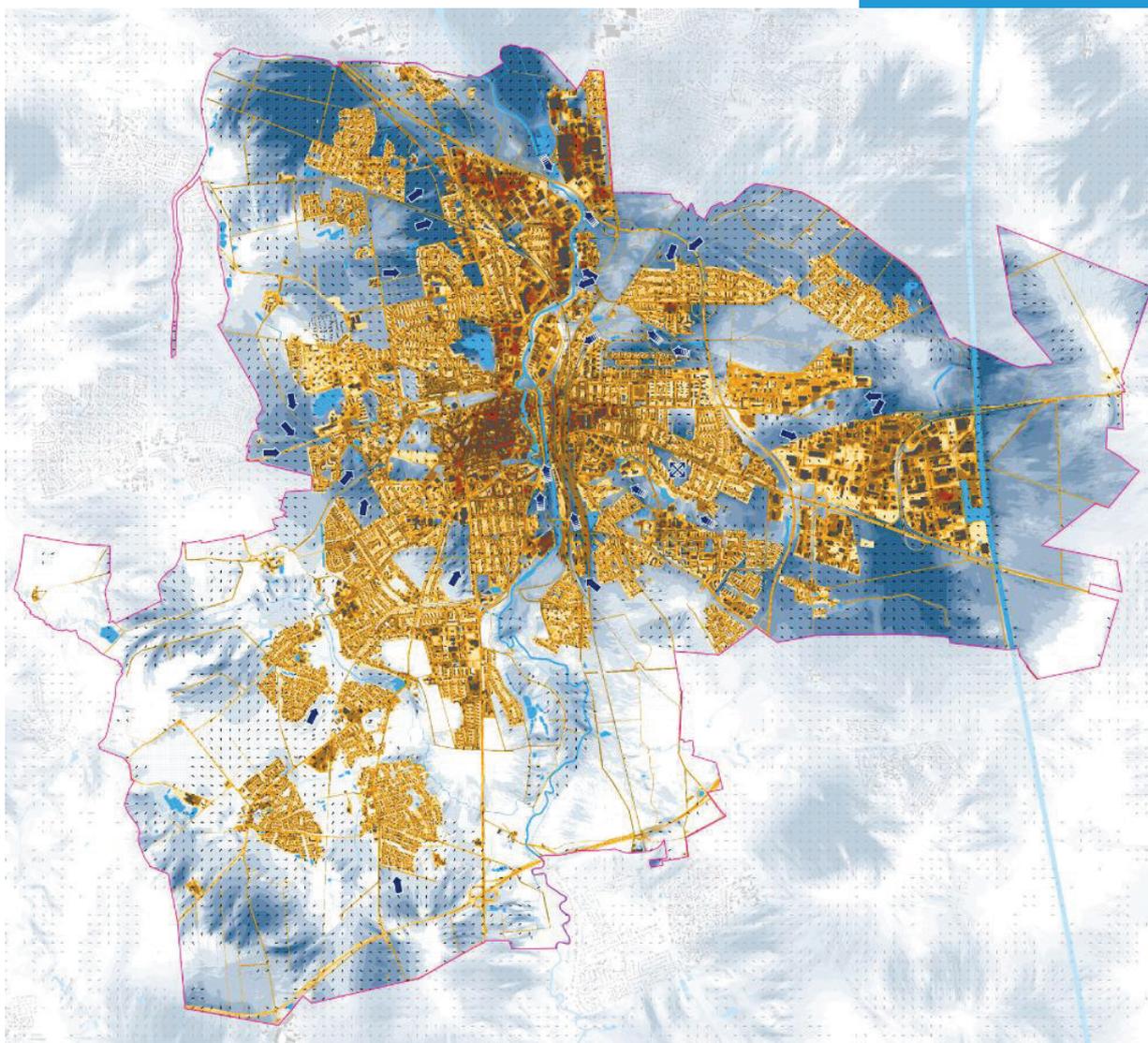


Aktualisierung der **Klimaanalyse Lüneburg**



Erstellt von:

GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover



Auftraggeber:

Hansestadt Lüneburg

Fachbereich Stadtentwicklung

November 2022

INHALTSVERZEICHNIS

GLOSSAR	III
1. EINFÜHRUNG.....	5
2. FACHLICHE GRUNDLAGEN.....	6
2.1 Der Wärmeinseleffekt und Kaltluftströmungen.....	6
2.2 Klima in Lüneburg.....	8
3. METHODIK DER MODELLGESTÜTZTEN STADTKLIMAANALYSE.....	10
3.1 Untersuchungsgebiet.....	10
3.2 Betrachtete Wetterlage	10
3.3 Das Modell FITNAH 3D.....	11
3.4 Modelleingangsdaten	13
4. MODELLERGEBNISSE.....	14
4.1 Nächtliches Temperaturfeld	14
Ergebnisse.....	14
4.2 Kaltluftproduktion	16
Ergebnisse.....	16
4.3 Kaltluftströmungsfeld	16
Ergebnisse.....	17
4.4 Thermische Belastung am Tage	20
Ergebnisse.....	20
4.5 Klimaanalysekarte	21
5. ZUSAMMENFASSUNG UND WEITERE SCHRITTE	23
Steckbriefe.....	24
QUELLENVERZEICHNIS	25
ANHANG	I

Glossar

Albedo: Rückstrahlvermögen einer Oberfläche (Reflexionsgrad kurzwelliger Strahlung). Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Lichtmenge. Die Albedo ist abhängig von der Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung.

Allochthone Wetterlage: Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert.

Austauscharme Wetterlage: → *Autochthone Wetterlage*

Autochthone Wetterlage: Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.

Bioklima: Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen.

Humanbioklima: Auswirkung des Klimas und einzelner Klimaelemente auf den Menschen.

Bioklimatische Belastung: Beeinträchtigung des menschlichen *Bioklimas*, die zu Unwohlsein oder sogar gesundheitlichen Auswirkungen führen kann.

Flurwind: Thermisch bedingte, relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Flurwinde strömen vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in Richtung der Überwärmungsbereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum).

Grünfläche: Als „Grünfläche“ werden in dieser Arbeit unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung diejenigen Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal ca. 25 % ihrer Gesamtfläche auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Forsten und Wälder.

Kaltluft: Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgröße des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht (VDI 2003).

Kaltluftvolumenstrom: Das Produkt der Fließgeschwindigkeit der *Kaltluft*, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite; Einheit $m^3/(s \cdot m)$). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an *Kaltluft*, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges fließt. Anders als das *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Klimaökologie: untersucht Funktionsbeziehungen zwischen Klimaelementen und dem Landschaftsökosystem.

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.

Rauigkeit: Größe zur Beschreibung der „Unebenheit“ des Untergrundes. Die Erdoberfläche ist nicht glatt sondern wird aufgrund der vorhandenen Rauigkeitselemente wie Sandkörner, Bewuchs und Bebauung beschrieben. Diese Elemente bremsen beispielsweise den Wind in Bodennähe stark ab.

Städtische Wärmeinsel (*Urban Heat Island*): Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet.

Strahlungswetterlage → *Autochthone Wetterlage*

Strömungsfeld: Für den Analysezeitpunkt 04:00 Uhr morgens simulierte flächendeckende Angabe zur Geschwindigkeit und Richtung der *Flurwinde* in 2 m über Grund während einer *autochthonen Wetterlage*.

1. Einführung

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.

Dicht bevölkerte Städte mit dicht bebauten und hochversiegelten Siedlungsflächen unterliegen insbesondere nachts einer Überwärmung im Vergleich zu den sie umgebenden Grünflächen. Aber auch Städte mit einer kleineren Einwohnerzahl und einer vermeintlich geringen Baudichte können einer gewissen Überwärmung unterliegen und weisen humanbioklimatische Belastungen auf.

Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Klimas ableiten. Dieser Leitgedanke zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse ab.

Bereits im Jahre 2019 wurde für die Stadt Lüneburg eine Analyse zur gesamtstädtischen mikroklimatischen Situation in einer horizontalen Auflösung von 25 m erstellt. Auf Grundlage von Modellsimulationen wurde die Tag- sowie die Nachtsituation analysiert und auf dieser Basis überdurchschnittlich belastete Gebiete identifiziert und Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Erhalt des thermischen Komforts sowie zur Reduzierung von Hitzestress zusammengefasst.

Die vorliegende Analyse wurde mit dem Ziel erstellt, nun den Fokus auf vulnerable Einrichtungen zu setzen und die dortige humanbioklimatische Situation zu untersuchen. Dazu zählen Kindergärten, Krankenhäuser, Seniorenheime und Schulen. Die hier sich aufhaltenden Menschen gehören zu den besonders hitzesensiblen Bevölkerungsgruppen und bedürfen einer besonderen Aufmerksamkeit. Im Unterschied zur Stadtklimaanalyse von 2019 werden in der vorliegenden Analyse nicht mehr ganze Stadtbereiche oder Stadtteile miteinander verglichen, sondern es wird eine Grundlage geschaffen, einzelne Einrichtungen und Gebäude in den Fokus nehmen zu können. Aus diesem Grund wurde die flächendeckende Modellanalyse in einer höheren horizontalen Auflösung von 5 m durchgeführt. Durch die kleinräumige Erfassung von Gebäuden und Grünstrukturen, samt derer individueller Strukturhöhe, können detaillierte Aussagen zur kleinräumigen mikroklimatischen Situation in der Umgebung der vulnerablen Einrichtungen getroffen werden. Die Ergebnisse der Modellrechnung beschreiben neben der Nachtsituation auch die bioklimatische Belastung am Tage und erlauben somit eine umfassende Betrachtung des lokalen Mikroklimas.

2. Fachliche Grundlagen

2.1 DER WÄRMEINSELEFFEKT UND KALTLUFTSTRÖMUNGEN

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke 1973). Gründe hierfür sind bspw. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenübersteht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion der Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss). Im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als *Städtische Wärmeinsel* bezeichnet.

Für die Stadtbevölkerung können Belastungen vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen, die durch einen ausgeprägten Tagesgang von Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung bestimmt sind (autochthone Wetterlagen), entstehen. Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Als Folge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen auf, d.h. Luftmassen aus dem Umland können bis in das Stadtgebiet hineinströmen (Abb. 1). Am Tag führen Flurwinde in der Regel nicht zum Abbau der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen, da im Umland meist ein ähnliches Temperaturniveau vorherrscht. Sie können jedoch zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht beitragen und eine Verdünnung von Luftschadstoffen bewirken. Nachts dagegen kann kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen (und ggf. innerstädtischen) Grünflächen in das wärmere Stadtgebiet strömen und für Entlastung sorgen. Der bodennahe Zufluss dieser „Kaltluft“ erfolgt mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und reagiert sensibel auf Strömungshindernisse, sodass er nur entlang von Flächen ohne blockierende Bebauung bzw. sonstige Hindernisse erfolgen kann (insb. über sogenannte Kaltluftleitbahnen)¹.

¹ In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen durch stabile Temperaturschichtungen der bodennahen Luft gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld, das entsprechend sensibel auf Hindernisse reagiert. Tagsüber sind die Verhältnisse weniger stabil. Durch das Aufsteigen von Warmluftblasen aus der bodennah nachströmenden Luft (Böigkeit) ist eine vertikale Durchmischung der Luftschichten möglich, sodass Strömungshindernisse ggf. überwunden werden können.

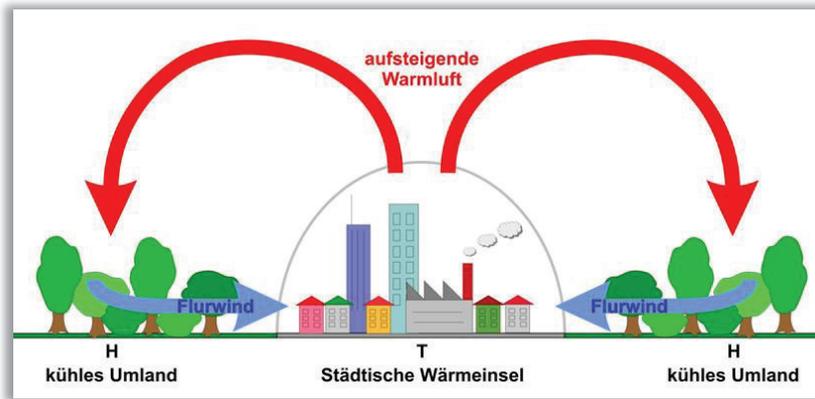


Abbildung 1: Prinzipskizze Flurwind.

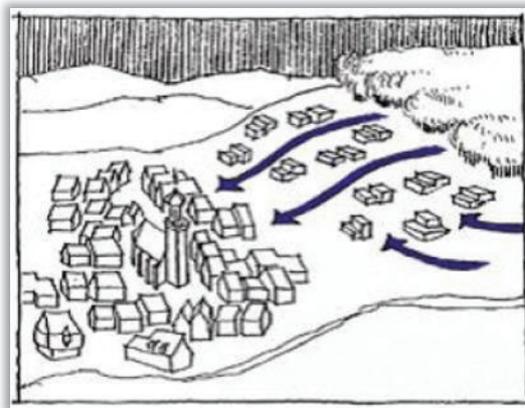


Abbildung 2: Prinzipskizze Hangabwind.

Neben den Flurwinden kommt den Hangabwinden als weiteres lokales Strömungssystem eine wichtige Bedeutung zu (Abb. 2). Bildet sich auf einer Freifläche oberhalb eines Hanges kühlere Luft, strömt diese flächenhaft hangabwärts in die am Fuß des Hanges stehende Siedlungsbebauung hinein.

Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme, kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad zu einer Erwärmung des Stadtgebietes. Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beispielsweise Beton und Asphalt besitzen eine geringe Albedo², sodass viel Strahlung absorbiert wird und sich die Flächen am Tag stark aufwärmen. In der Nacht kann die gespeicherte Wärme als langwellige Ausstrahlung an die Atmosphäre abgegeben werden (Häckel 2012, Malberg 2002). Aufgrund der stärkeren Versiegelung bzw. des geringeren Grünanteils im Vergleich zum Umland (und zudem meist geringerer Wasserverfügbarkeit) ist die Verdunstung und damit verbundene Kühlleistung in der Stadt herabgesetzt (Schönwiese 2008).

Verkehr, Industrie und Hausbrand bewirken nicht nur einen anthropogenen Wärmefluss, sondern führen auch zu vermehrten Emissionen. Entsprechend weist die Luft in der Stadt erhöhte Verunreinigungen durch Schadstoffe und Staub auf, die sich negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken können. Da die Windgeschwindigkeiten in der Stadt in der Regel herabgesetzt sind, kann kein ausreichender Luftaustausch stattfinden, um die Luftqualität merklich zu verbessern (Kuttler 2009).

² Rückstrahlvermögen einer Oberfläche

2.2 KLIMA IN LÜNEBURG

Das aktuelle Klima Lüneburgs wurde anhand von DWD-Daten abgeleitet. Das langjährige Mittel der Lufttemperatur liegt bei 9,2 °C (DWD 2021). Die Jahresmitteltemperatur ist Schwankungen unterworfen, doch es zeigt sich ein klar zunehmender Trend über die letzten knapp 140 Jahre – insbesondere seit den 1990er Jahren wurden vorwiegend überdurchschnittlich warme Jahre beobachtet und so sind auch die fünf wärmsten Jahre in eben diesem Zeitraum zu finden (Abb. 3).

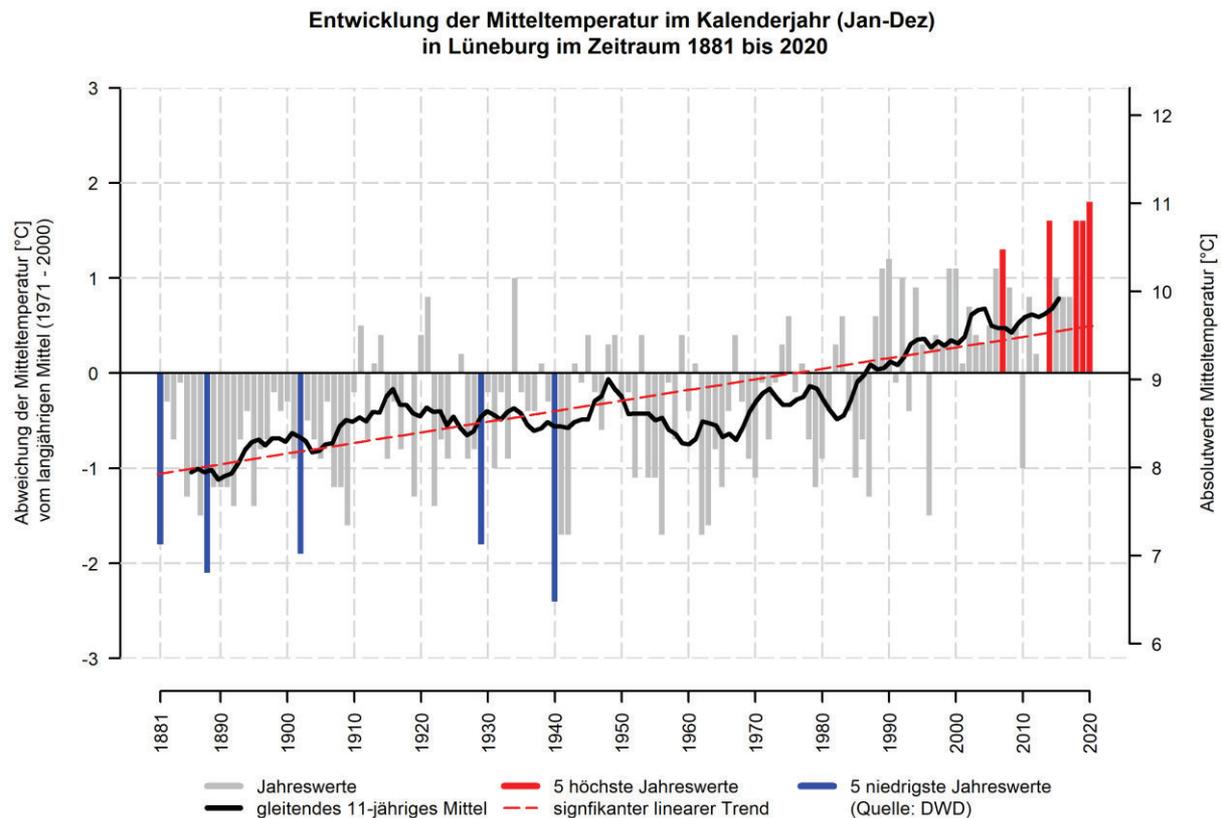


Abbildung 3: Entwicklung der Mitteltemperatur in Lüneburg im Zeitraum von 1881 bis 2020 (Quelle: eigene Berechnung nach DWD, 2021).

Die langjährige Windrichtungsverteilung im Raum Lüneburg zeigt vornehmlich südwestliche bzw. westliche Anströmungen (Abb. 4). Fällt während autochthoner Sommernächte die übergeordnete Strömung weg, reduziert sich die Durchlüftung des Stadtgebiets (umgangssprachlich heißt es dann meist „die Luft steht“), was zu einer höheren thermischen Belastung führt. Entsprechend simuliert die vorliegende Stadtklimaanalyse eine solche Wetterlage, bei der Ausgleichsströmungen in den Vordergrund rücken. In der Vergangenheit traten diese „windschwachen Strahlungs Nächte“ im Sommer an etwa 6 - 8 Nächten pro Monat auf³ (ca. 20 % der Sommernächte; vgl. Abb. A 1 im Anhang). Im gesamten Jahr

³ Monatliches Mittel der Anzahl windschwacher Strahlungsnächte an der DWD-Station Fassberg im Zeitraum 2000-2020 anhand folgender Kriterien nach Augter/DWD (1997):

- Windgeschwindigkeit ≤ 2.7 m/s in 10 m ü.Gr. und Bedeckungsgrad höchstens vier Achtel in der Nacht

stellen sich in Lüneburg an 60 Nächten (ca. 16 % der Nächte) autochthone Wetterverhältnisse ein. Aber nur in den Sommermonaten Juni, Juli und August bedeutet eine autochthone Wetterlage auch eine erhöhte Hitzebelastung für die Bevölkerung, deshalb wird der Fokus der vorliegenden Stadtklimaanalyse auf die Situation einer autochthonen Sommernacht gelegt.

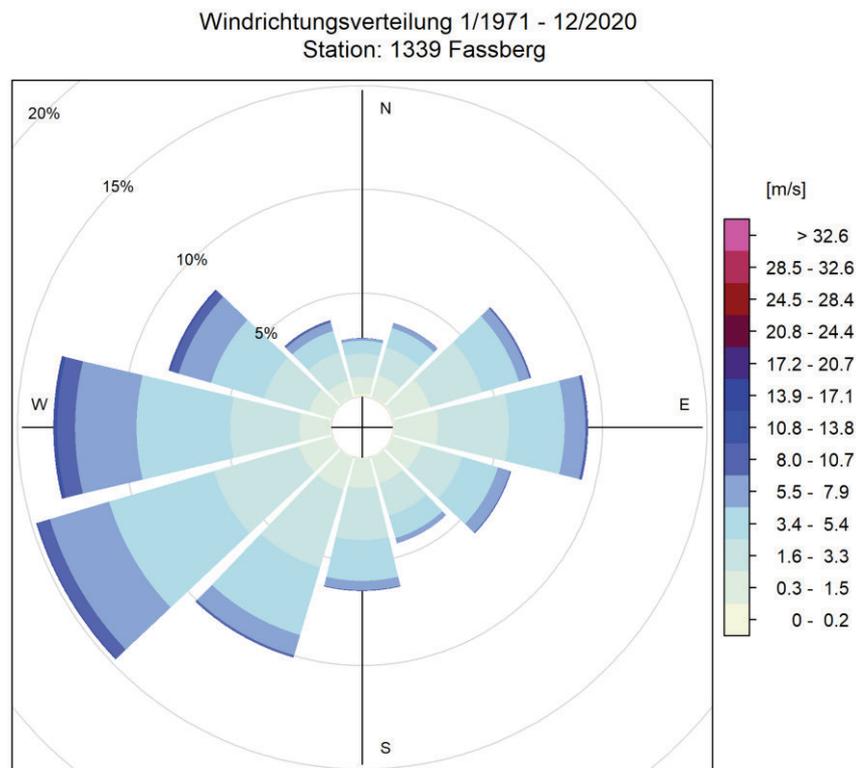


Abbildung 4: Windrichtungsverteilung in 10 m über Grund für den Zeitraum 1971-2020 an der DWD-Station Fassberg (bezogen auf stündliche Werte; eigene Berechnung nach DWD 2021).

- Kriterien müssen für zehn Stunden innerhalb des Zeitraums 17:00 - 05:00 MEZ (Lücken erlaubt) oder an sieben aufeinanderfolgenden Stunden innerhalb desselben Zeitraums erfüllt sein (ohne Lücke)

3. Methodik der modellgestützten Stadtklimaanalyse

3.1 UNTERSUCHUNGSGBIET

Die Stadt Lüneburg liegt im Norden Niedersachsens an der Ilmenau, etwa 35 km südöstlich von Hamburg. Das Stadtgebiet erstreckt sich über eine Fläche von 70,5 km². Das für die Modellrechnung verwendete rechteckige Untersuchungsgebiet spannt eine Fläche von etwa 255 km² auf (ca. 17 km x 15 km), damit die im Umland gelegenen Höhenunterschiede sowie die angrenzenden Grünflächen miterfasst werden (Abb. 5a und b).

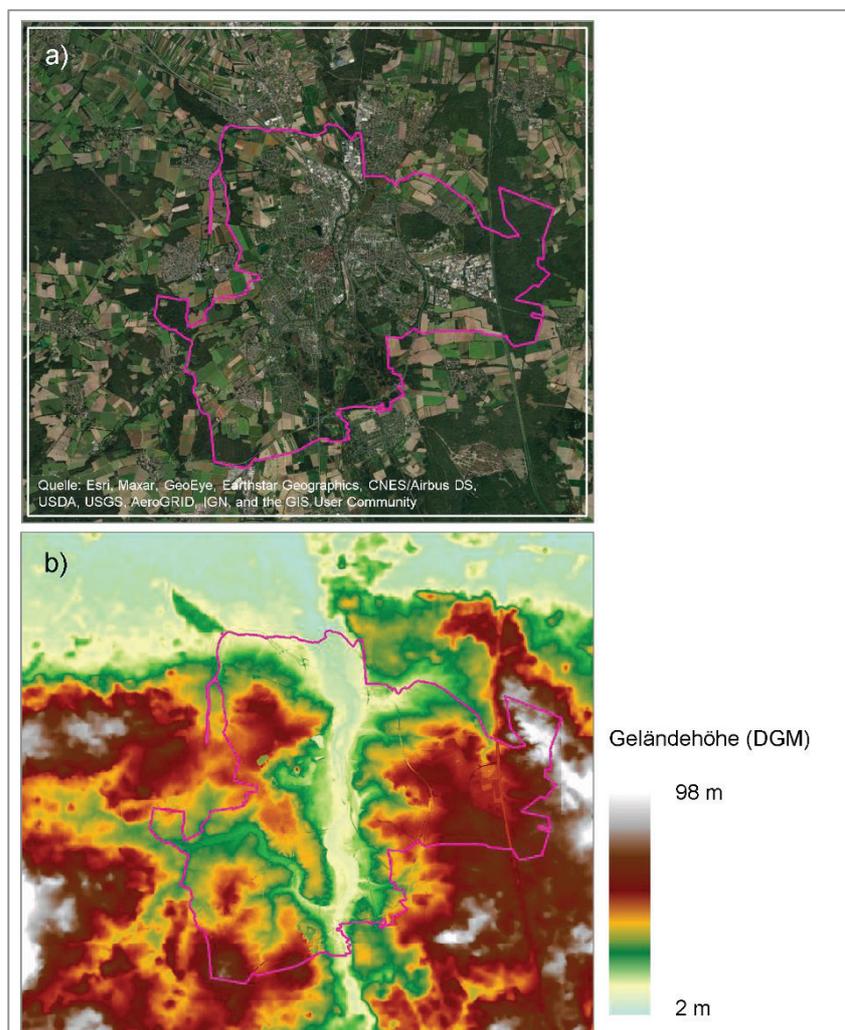


Abbildung 5: Untersuchungsgebiet für die Modellanalyse. Die pinke Umrandung zeigt das Stadtgebiet. Abb. 5 a) gibt einen Überblick mit Hilfe eines Luftbildes, Abb. 5 b) zeigt die Geländehöhe im Stadtgebiet.

3.2 BETRACHTETE WETTERLAGE

Die Klimaanalyse legt einen autochthonen Sommertag als meteorologische Rahmenbedingung für die Modellrechnung zugrunde. Autochthone Bedingungen herrschen im Sommer (Juni, Juli, August) in

Lüneburg an 6 – 8 Tagen/Monat vor. Diese werden durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt bzw. Region besonders gut ausprägen. Charakteristisch für solch eine (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung von Flurwinden, d.h. durch den Temperaturunterschied zwischen kühleren Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetriebene Ausgleichsströmungen.

In Abbildung 6 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass unversiegelte Freiflächen wie z.B. Wiesen und bebaute Flächen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, während die nächtliche Abkühlung über Siedlungsflächen deutlich geringer ist (Wärmeinseleffekt). Waldflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird die Hinderniswirkung von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen Luftaustauschs zu den höchsten thermischen Belastungen. Auch wenn es sich dabei um eine besondere Situation handelt, tritt solch eine Wetterlage regelmäßig und jeden Sommer mehrfach auf (in Lüneburg in etwa 16 % der Nächte insgesamt und in 20 % der Sommernächte).

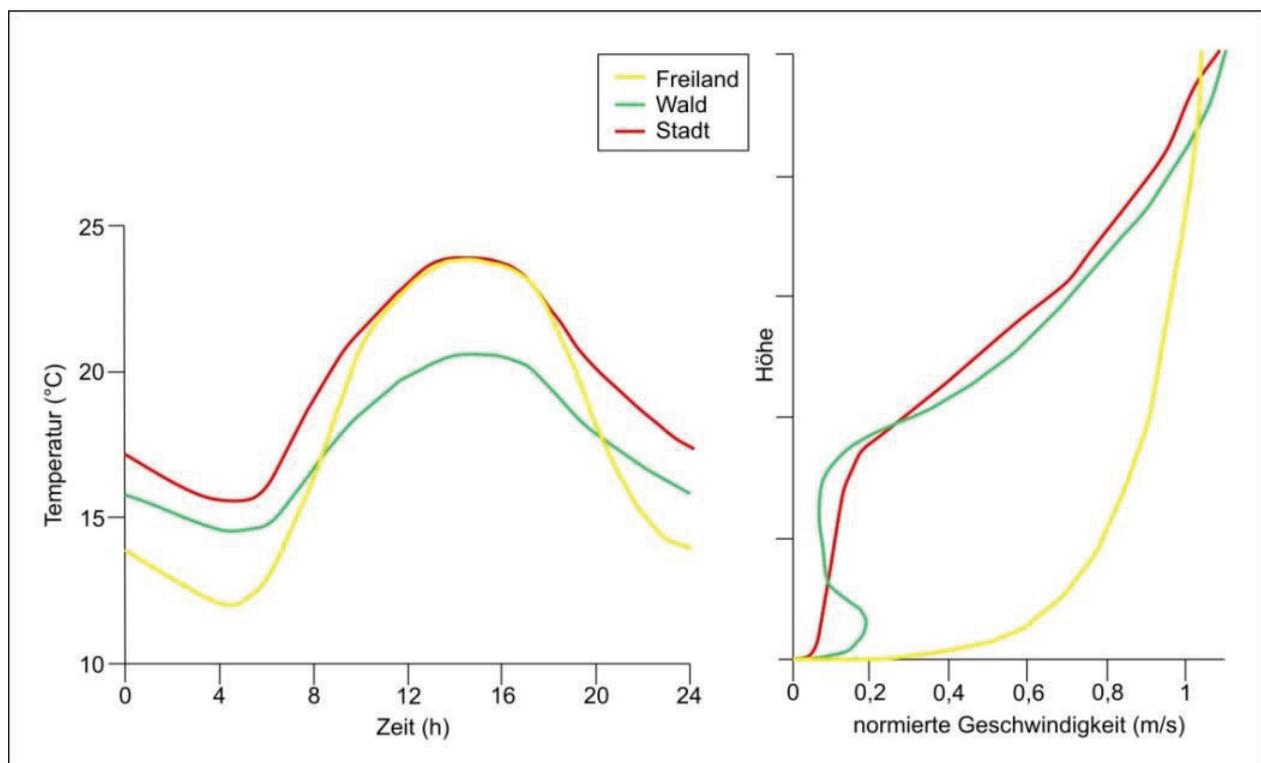


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Tagesgangs der Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen (eigene Darstellung nach Groß 1992).

3.3 DAS MODELL FITNAH 3D

In der Praxis spielen sich umweltmeteorologische Fragestellungen meist in der Größenordnung einer Stadt bzw. Region ab. Die dabei relevanten meteorologischen Phänomene weisen eine räumliche

Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis Stunden auf. Als mesoskalige Phänomene werden dabei bspw. Flurwinde, Land-See-Winde oder die städtische Wärmeinsel bezeichnet, während der Einfluss von Hindernissen auf den Wind (z.B. Kanalisierung, Umströmung) oder die Wirkung verschattender Maßnahmen mikroskalige Effekte darstellen.

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen solch lokalklimatischer Phänomene im Wesentlichen bekannt sind, gibt es nach wie vor offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Zwar kann die Verteilung meteorologischer Größen wie Wind und Temperatur durch Messungen ermittelt werden, aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung (insb. in komplexen Umgebungen) in benachbarte Räume nur selten möglich. Entsprechend schwierig ist es, aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende (also flächenhafte) stadtklimatologische Bewertung vornehmen zu können.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in Deutschland eine Reihe meso- und mikroskaliger Modelle konzipiert und realisiert (DFG 1988) und der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch. Zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht somit, neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien, ein weiteres leistungsfähiges Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in der Stadt- und Landschaftsplanung zur Verfügung. Die Modelle basieren, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (*Navier-Stokes Bewegungsgleichung*), der Massenerhaltung (*Kontinuitätsgleichung*) und der Energieerhaltung (*1. Hauptsatz der Thermodynamik*). Für tiefergehende Informationen zu FITNAH 3D wird u.a. auf Groß (1992) verwiesen.

Modelle wie FITNAH 3D können demnach deutlich besser zur Beantwortung stadtklimatologischer Fragestellungen herangezogen werden als rein aus Messkampagnen gewonnene Werte, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst. Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 5 m (mikroskalige Modellrechnung). Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m über Grund (ü.Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü.Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind.

3.4 MODELLEINGANGSDATEN

Ein numerisches Modell wie FITNAH 3D benötigt spezifische Eingangsdaten, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Geländehöhe und Nutzungsstruktur sind wichtige Eingangsdaten für die Modellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Von der Stadt Lüneburg wurden die Gebäudegeometrien als 3D-Modell zur Verfügung gestellt. Auf Grundlage dieser Informationen sowie unter Zunahme eines hochauflösten digitalen Oberflächenmodells (DOM) wurden den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen jeweils eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden. Ebenso war es anhand des DOM möglich Einzelbäume inklusive Strukturhöhe abzuleiten. Insgesamt wurden für das Lüneburger Stadtgebiet elf Landnutzungsklassen, welche jeweils unterschiedliche physikalische Eigenschaften besitzen, definiert (Abb. 7).

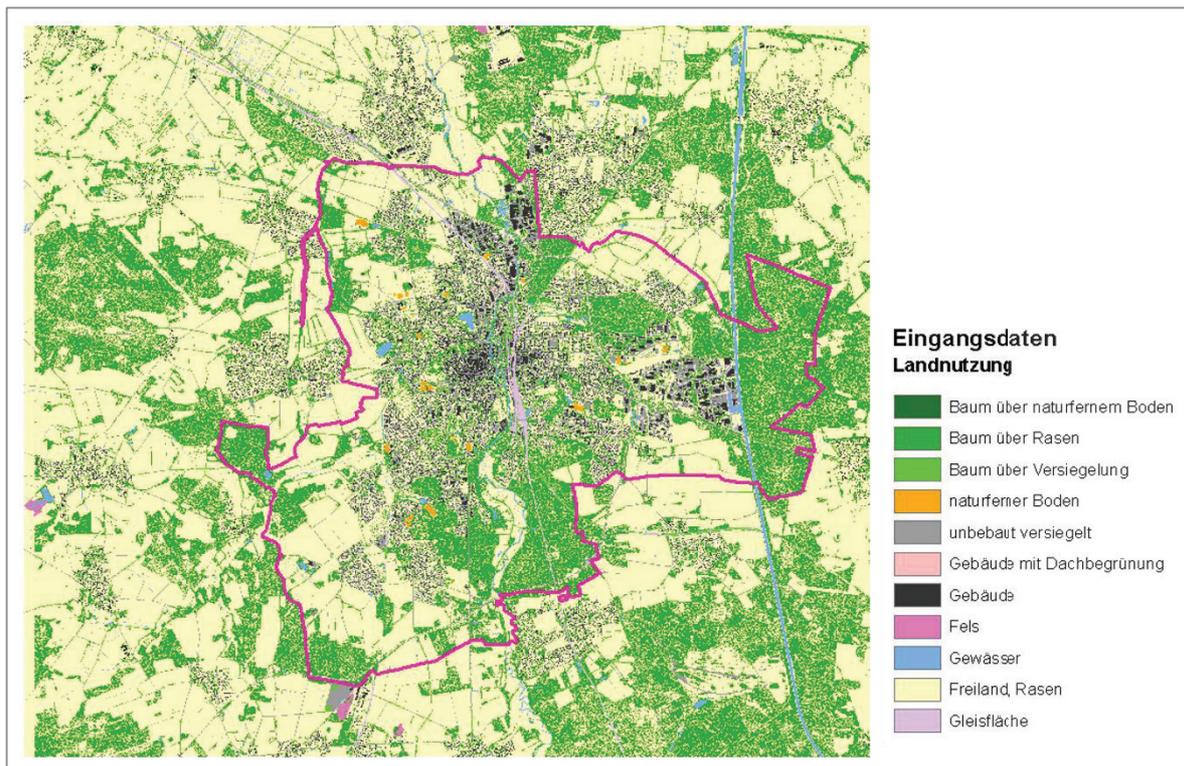


Abbildung 7: In das Modell eingegangene Nutzungsklassen.

4. Modellergebnisse

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur, Kaltluftproduktion, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom (Nachtsituation) sowie Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET; Tagsituation) beschrieben. Die Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 5 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage. Sie gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen in 2 m über Grund und betrachten den Zeitpunkt 04 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) bzw. gelten für 1,1 m über Grund und den Zeitpunkt 14 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung). Für die Darstellung in den Ergebniskarten wurden die Werte mittels einer bilinearen Interpolation geglättet.

4.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Die aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine autochthone Sommernacht in Lüneburg als besondere Wetterlage zu verstehen. Die daraus abgeleiteten relativen Unterschiede innerhalb verschiedener Bereiche bzw. zwischen den Nutzungsstrukturen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

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 Innenraumlufte, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten.

ERGEBNISSE

Abbildung 8 zeigt die Modellergebnisse für die nächtliche Lufttemperatur für einen Teil des Stadtgebiets Lüneburgs. Je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage bzw. Höhe des Standorts und den Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften kann die nächtliche Abkühlung merkliche Unterschiede aufweisen, was auch für Lüneburg mit seinen verschiedenen Flächennutzungen deutlich wird. So umfasst die nächtliche bodennahe Lufttemperatur bei Minimalwerten von um die 15,5 °C über offenen Freiflächen und Maximalwerten bis knapp über 21,5 °C im Bereich hoch versiegelter Gebiete mit hoher Baudichte eine Spannweite von etwa 6 °C. Das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich im Vergleich zur Umgebung ist vor allem von der Dichte der Überbauung abhängig. Dort wo die höchsten Bebauungsdichten bzw. ein hoher Versiegelungsgrad vorzufinden sind, tritt die stärkste nächtliche Überwärmung auf. So werden innerhalb der historischen Altstadt sowie im Bereich des Bahnhofs und über Gewerbeflächen relativ hohe nächtliche Temperaturen von über 21 °C erreicht. Auch die Gleisanlagen, die die Stadt von Nord nach Süd durchqueren, stellen sich mit Temperaturen von über 20,5 °C relativ warm dar.

In weniger dicht bebauten Gebieten, wie beispielsweise in der Wohnsiedlung *Rotes Feld* südlich der Altstadt mit vorherrschender Einzelhausbebauung liegen die Temperaturen flächendeckend auf einem niedrigeren Niveau. Im nahen Bereich der Gebäude und im Straßenraum werden jedoch auch hier höhere Temperaturen von bis zu 21 °C erreicht. Grünflächen innerhalb der Siedlungsflächen kühlen während der Nacht relativ stark ab, die Lufttemperatur erreicht hier Werte von etwa 17 °C.

Über großen Grün- und Freiflächen entwickeln sich im Laufe der Nacht die niedrigsten Temperaturen von um die 16,5 °C, beispielsweise über den Flächen der Kleingartenvereine am Stadtrand oder über den Freiflächen des Parks *Liebesgrund* nördlich der Altstadt. Kleine innerstädtische Grünflächen, wie der Rathausgarten und der Kirchhof der Kirche *St. Johannes* kühlen sich nachts in geringerem Maße ab, weisen allerdings immer noch niedrigere Temperaturen auf als die sie umgebenden hochversiegelten Flächen.

Über mit Bäumen bestandenen Flächen dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und verringert damit die Abkühlung der nächtlichen Lufttemperatur in 2 m ü.Gr., sodass hier je nach Höhe und Dichte des Bewuchses Werte um bis zu 19,5 °C erreicht werden.

Über den Wasserflächen im Stadtgebiet zeigen sich Temperaturen von etwa 18,5 °C (Ilmenau) bzw. 19,5 °C (Kreidebergsee) und damit höhere Werte als über den Grün- und Freiflächen. Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser sorgt für einen verringerten Tagesgang der Temperatur, sodass die nächtlichen Werte meist höher als in der Umgebung liegen.

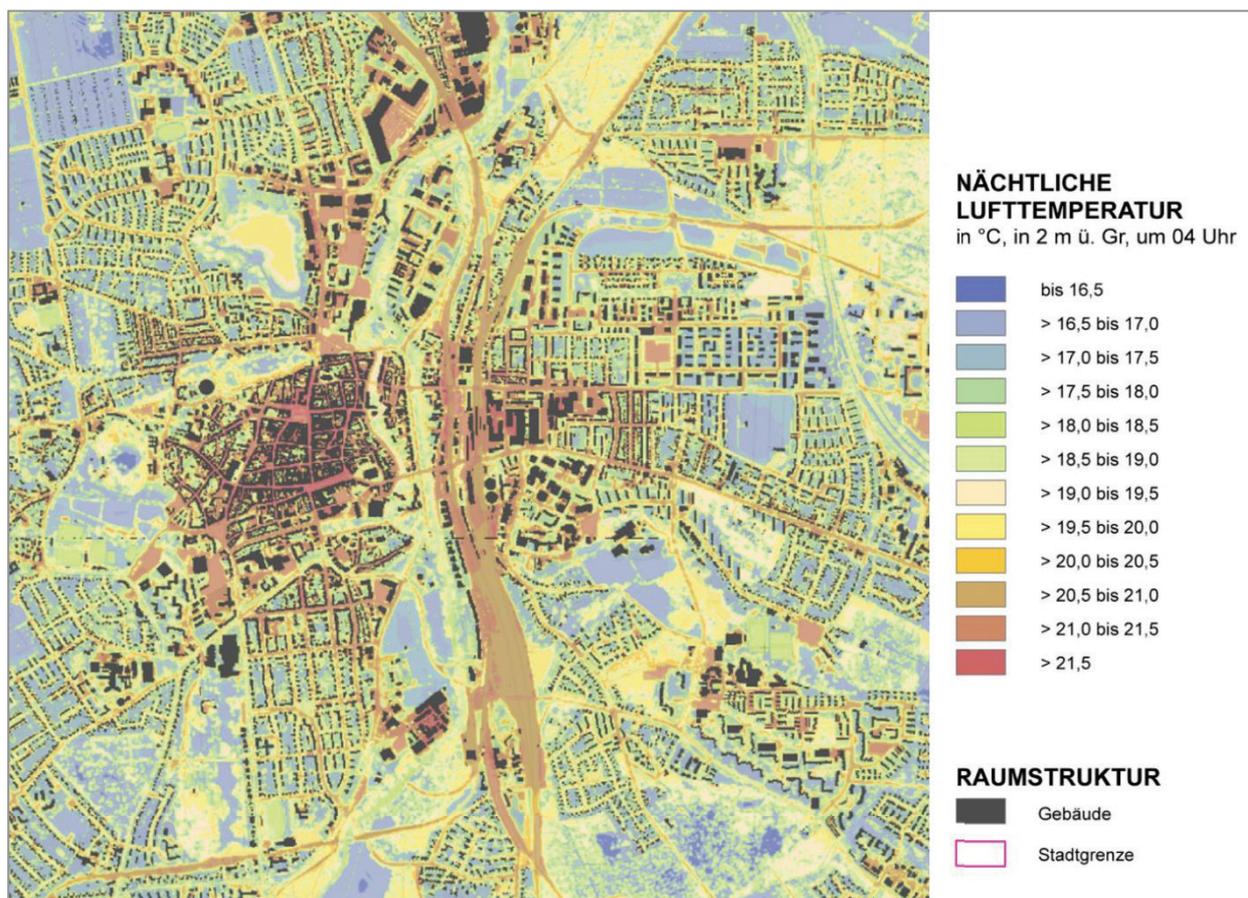


Abbildung 8: Ausschnitt des nächtlichen bodennahen Temperaturfeldes.

4.2 KALTLUFTPRODUKTION

Wie im vorherigen Kapitel gesehen, wirkt die Abkühlung der Bodenoberfläche maßgeblich auf das nächtliche Temperaturfeld. Als Maß für die Abkühlung kann die Kaltluftproduktionsrate dienen, die anzeigt wie viel Kaltluft über einer Fläche um 04 Uhr nachts entsteht. Sie wird in $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ angegeben.

ERGEBNISSE

Abbildung 9 zeigt die Ausprägung der nächtlichen Kaltluftproduktionsrate für einen Ausschnitt Lüneburgs. Es wird deutlich, dass die meiste Kaltluft über außerstädtischen Freiflächen ohne hohe Vegetation gebildet wird, aber auch über Grünflächen in Siedlungsgebieten mit lockerer Bebauung findet eine gewisse Kaltluftproduktion statt. Nahezu gar keine Kaltluft wird über Wasser- und Gleisflächen und hoch versiegelten Flächen wie innerhalb der Altstadt produziert, da die nächtliche Abkühlung hier relativ gering ist.

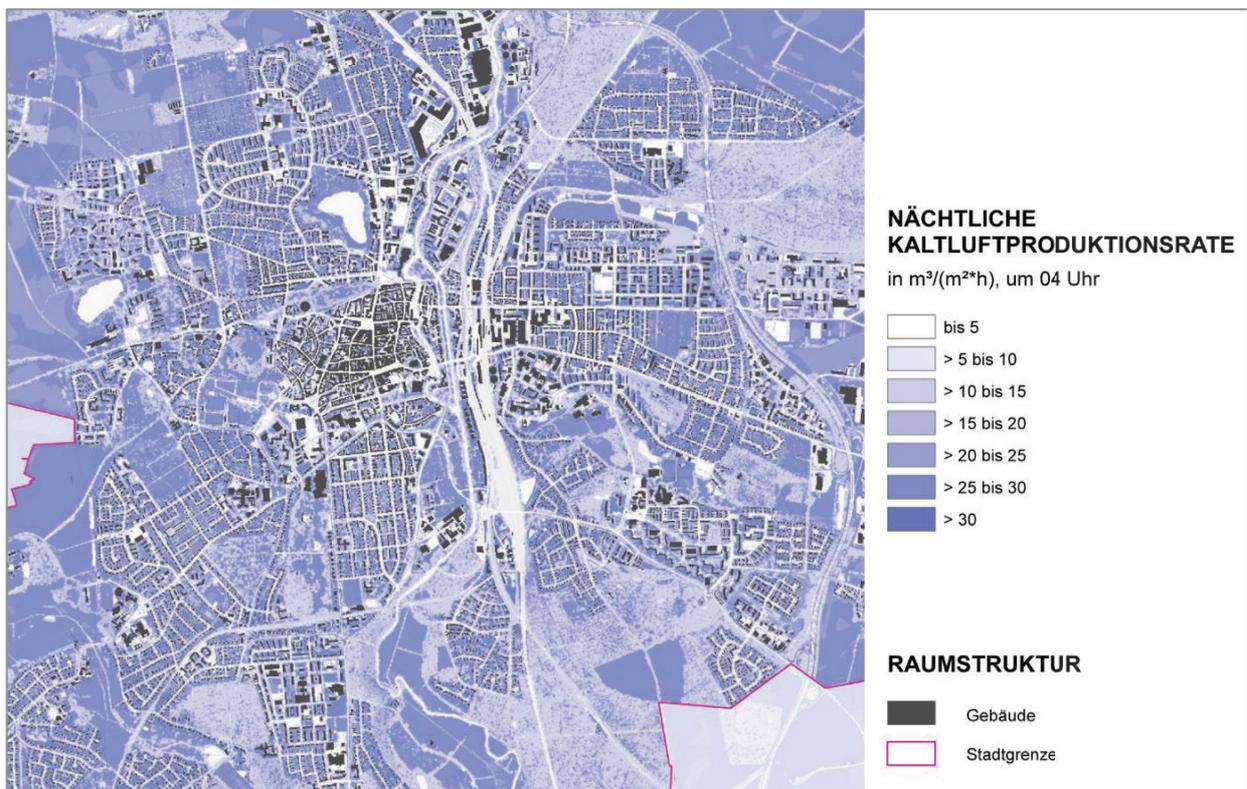


Abbildung 9: Ausschnitt der Ausprägung der nächtlichen Kaltluftproduktionsrate.

4.3 KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

Lokalen Strömungssystemen wie Flurwinden oder Hangabwinden kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis, sodass die Durchlüftung der Stadtkörper herabgesetzt ist. Die Abfuhr überwärmter und schadstoffbelasteter Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer und frischer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Weil die Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), muss zur Bewertung der Grünflächen ein umfassenderer Klimaparameter herangezogen werden: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom. Vereinfacht ausgedrückt stellt er das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts dar. Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt bspw. eines Hanges oder einer Leitbahn fließt (Abb. 10).

Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab. Die Mächtigkeit der Kaltluftschicht nimmt im Verlaufe einer Nacht in der Regel zu und ist, genau wie die Luftaustauschprozesse allgemein, meist erst in der zweiten Nachthälfte vollständig entwickelt.

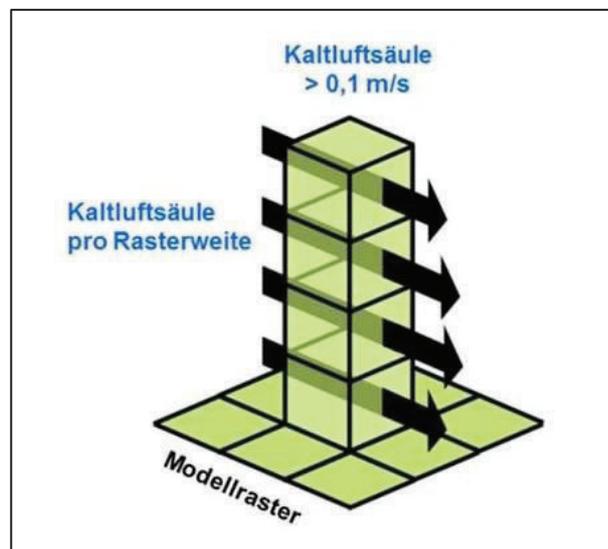


Abbildung 10: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

ERGEBNISSE

Abbildung 11 zeigt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte bodennahe Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen. Die Strömungsrichtung wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet. Der Übersichtlichkeit halber sind sie nicht in der originalen Auflösung von 5 m dargestellt, sondern wurden auf 100 m aggregiert. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Strömungsgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufungen dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen $< 0,1 \text{ m/s}$ und über $0,5 \text{ m/s}$, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit wird dabei ab einer Windgeschwindigkeit von $0,1 \text{ m/s}$ angenommen.

Der Farbgebung im Kartenausschnitt zeigt, dass relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu $> 0,5 \text{ m/s}$ insbesondere über den Freiflächen mit einer geringen Rauigkeit auftreten.

Die Kaltluft strömt insbesondere von Osten und Westen und in eingeschränktem Maße von Süden in Richtung der Siedlungsbebauung. Dabei folgt sie vorzugsweise dem Gelände und fließt hangabwärts in die niedrig gelegenen Bereiche. In Gebieten mit dichtem Baumbewuchs, wie beispielsweise im *Lüner Holz* und in der *Neuen Forst* wird die Strömung fast vollständig abgebremst. Im Bereich der Siedlungsbebauung wird die bodennahe Strömung weiter modifiziert. Locker bebaute Gebiete in Stadtrandlage wie beispielsweise der Stadtteil *Ebensberg* im Nordosten der Stadt haben nur einen eingeschränkten Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit und werden relativ gut durchströmt. Dahingegen bremsen Bereiche mit höherer Bebauungsdichte die bodennahe Windgeschwindigkeit stärker ab und werden in geringerem Maße durchströmt. In der dicht bebauten Altstadt findet entlang der breiten Straßen noch ein eingeschränkter Luftaustausch statt, im Bereich der zahlreichen Innenhöfe kommt dieser jedoch fast vollständig zum Erliegen.

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher (Abb. 12). Hohe Kaltluftströme bilden sich insbesondere im Bereich der Hanglagen ohne hohe Vegetation. Weiterhin strömt Luft von Süden entlang der Gleisanlagen und der Ilmenau nach Norden in Richtung Altstadt und Bahnhof. Im Bereich der Altstadt wird der Kaltluftvolumenstrom durch die erhöhte Rauigkeit sowie die relativ hohen Lufttemperaturen abgebremst. Da die Lüneburger Altstadt von relativ niedrigen Gebäuden geprägt ist, wird sie teilweise von der Kaltluft überströmt, so dass auch im Bereich von engen Straßen und Innenhöfen ein gewisser Kaltluftaustausch erreicht wird, wenn auch auf einem relativ niedrigen Niveau.

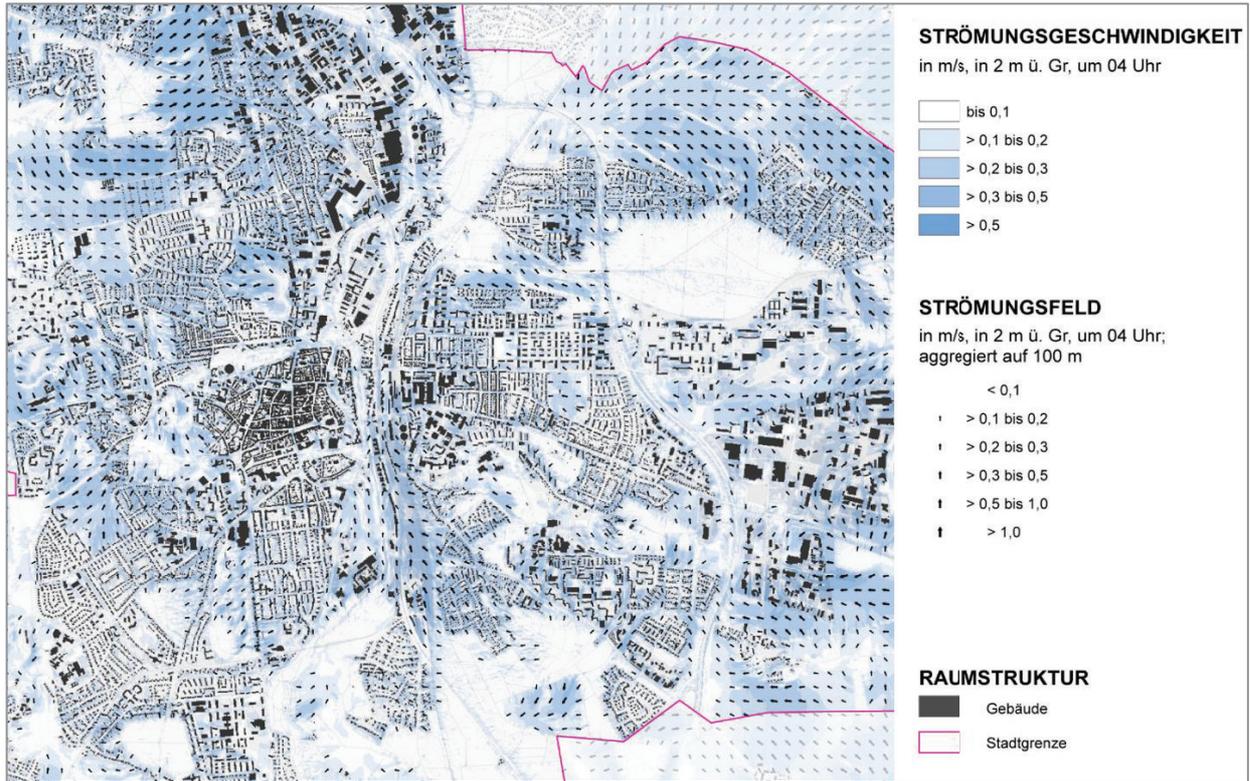


Abbildung 11: Ausschnitte der Ausprägung des Strömungsfeldes und der Strömungsgeschwindigkeit.

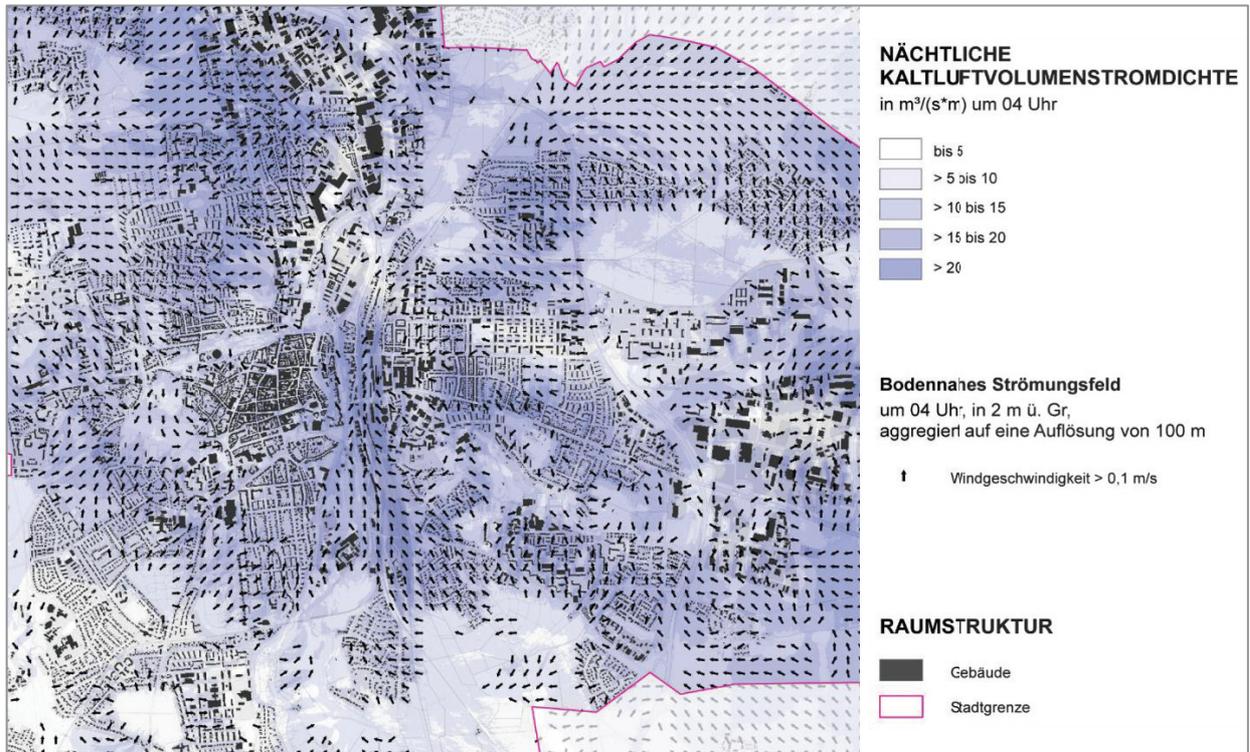


Abbildung 12: Ausschnitte der Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms.

4.4 THERMISCHE BELASTUNG AM TAGE

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 abschätzen⁴.

In der vorliegenden Analyse wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14 Uhr herangezogen (Physiologisch Äquivalente Temperatur; Matzarakis & Mayer 1996). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat die PET den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit besser nachvollzogen werden zu können⁵. Darüber hinaus hat sich die PET in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt, sodass sich die 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 und am Tage 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; Tab. A 1 im Anhang). Die PET bezieht sich auf eine Höhe von 1,1 m über Grund, dabei handelt es sich um den Körperschwerpunkt eines Norm-Menschen mit 1,75 m Körpergröße.

ERGEBNISSE

Im Vergleich zur nächtlichen Lufttemperatur weist die PET eine höhere Variabilität mit einer Spannbreite zwischen etwa 26 und 44°C im Untersuchungsgebiet auf (siehe Abb. 13). Der Aufenthaltsbereich des Menschen in 1,1 m. ü. Gr. liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, so dass hohe Vegetation als Rückzugsort mit verminderter Wärmebelastung dient. Dabei bietet dichter Baumbestand wie Wälder oder größere Baumgruppen die größte Entlastung. So werden beispielsweise unterhalb des dichten Baumbewuchses im *Liebesgrund* relativ geringe PET-Werte von etwa 26 °C erreicht. Aber auch durch einzelnstehende Bäume kann eine immer noch deutliche Wärmeentlastung erreicht werden. Dies wird beispielsweise auf dem Marktplatz deutlich: Unterhalb der Bäume am Rand des Platzes werden PET-Werte von etwa 30 °C erreicht, wohingegen auf den offenen sonnenbeschienenen Flächen Werte bis zu 43 °C auftreten.

Weiterhin wird über den größeren Wasserflächen wie denen der Ilmenau, des Kreidebergsees und des Kalkbruchsees eine relativ geringe Wärmebelastung mit Temperaturen von etwa 25 bis 27 °C erreicht. Die angrenzenden Flächen profitieren von der kühlenden Wirkung des Wassers und weisen eine geringere Wärmebelastung als weiter entfernt liegende Gebiete auf.

Maximale PET-Werte von über 44 °C werden über unbeschatteten Freiflächen erreicht. Die offenen Wiesen- und Ackerflächen im Umland und die hochversiegelten Gewerbeflächen im Norden und Osten der Stadt zeigen hierbei ein ähnliches Temperaturniveau. Die ungehinderte Sonneneinstrahlung sowie die fehlende Verdunstungskühlung über hochversiegelten Flächen sorgen hier für eine extreme Wärmebelastung. Eine vergleichbare Wärmebelastung zeigen verbreitet auch locker bebaute Siedlungsflächen: Als Beispiele sind hier Bereich in den Stadtteilen *Schützenplatz*, *Moorfeld*, *Ebensberg*

⁴ 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, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).

⁵ Beispiele für weitere Kenngrößen sind der PMV (Predicted Mean Vote) und UTCI (Universeller thermischer Klimaindex).

und *Mittelfeld* zu nennen. Dabei handelt es sich zwar weitgehend um eine lockere Einzelhausbebauung mit einem relativ hohen Anteil an Grünflächen, dennoch wird, aufgrund von vielen unbeschatteten Flächen, eine hohe Wärmebelastung erreicht. Eine hohe Wärmebelastung wird auch in vielen Bereichen der Altstadt erreicht. Zwar wird die Wärmebelastung lokal durch den Schattenwurf von Bäumen und Gebäuden vermindert, jedoch überwiegen hochversiegelte und unbeschattete Freiflächen. Die enge Baukörperstellung sorgt darüber hinaus für eine Verminderung der Windgeschwindigkeit, was ebenfalls zur erhöhten Wärmebelastung beiträgt.

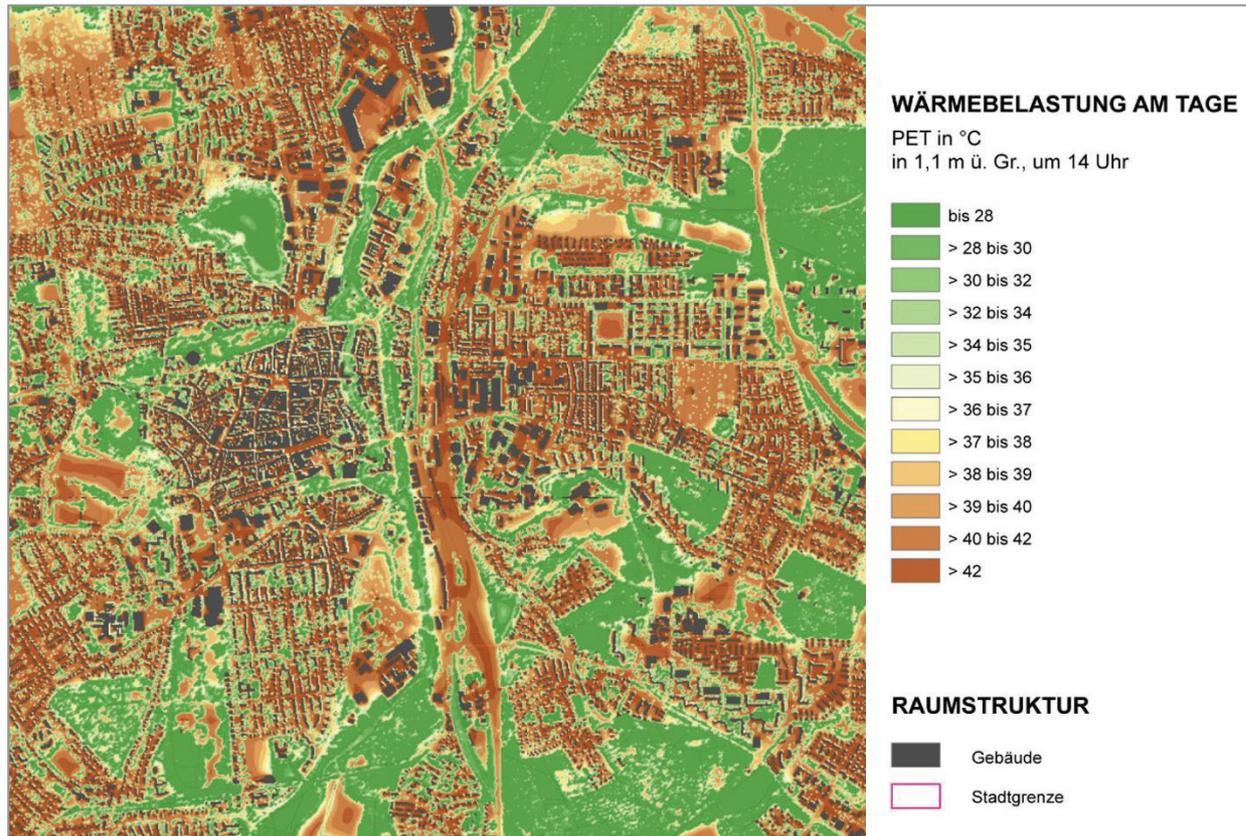


Abbildung 13: Ausschnitt der Ausprägung der Wärmebelastung am Tage (PET).

4.5 KLIMAANALYSEKARTE

Die Klimaanalysekarte (Abb. 14) fasst die einzelnen Analyseparameter der Nachtsituation zusammen und bildet die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches im gesamten Untersuchungsraum ab (Strömungsfeld, Kaltluftaustauschprozesse). Für Siedlungsflächen stellt sie die nächtliche Überwärmung dar (Wärmeinseleffekt), basierend auf der bodennahen Lufttemperatur in einer autochthonen Sommernacht um 04 Uhr morgens. Für die Situation um 14 Uhr ist die PET der einzige ausschlaggebende Parameter, so dass auf die Erstellung einer Klimaanalysekarte für die Tagsituation verzichtet wurde. Die Karte der PET kann jedoch auch als „Klimaanalysekarte für die Tagsituation“ verstanden werden.

In der Klimaanalysekarte für die Nachtsituation sind für die Grün- und Freiflächen die Modellergebnisse des Kaltluftvolumenstroms dargestellt. Bei den Siedlungs- und Verkehrsflächen steht dagegen die nächtliche Überwärmung im Vordergrund, welche anhand der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. beschrieben wird. Weiterhin ist das bodennahe Strömungsfeld ab einer als klimaökologisch wirksam angesehenen Windgeschwindigkeit von 0,1 m/s mit einer Pfeilsignatur abgebildet. Das Strömungsfeld wurde für eine bessere Lesbarkeit der Karte auf eine Auflösung von 100 m aggregiert. Neben dem modellierten

Strömungsfeld sind in der Karte besondere Kaltluftprozesse hervorgehoben, welche in der Stadt Lüneburg eine wichtige Rolle spielen. Dazu zählen die Systeme von Kaltluftleitbahnen, Kaltluftabflüssen und Parkwinden. Ebenso sind Kaltluftentstehungsgebiete abgebildet.

Kaltluftleitbahnen sind lineare Strukturen, die Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander verbinden und einen elementaren Bestandteil des Luftaustausches darstellen. Sie sind in ihrer Breite räumlich begrenzt, mindestens jedoch 50 m breit (Mayer et al., 1994) und zum belasteten Siedlungsraum ausgerichtet. Insbesondere entlang von Grünachsen dringt Kaltluft in die Bebauung ein und kann dort die thermische Belastung senken. Im Laufe einer (autochthonen) Sommernacht steigt die Kaltluftmächtigkeit i.d.R. an, sodass geringe Hindernisse überwunden werden können. In Lüneburg sind diese im Süden der Stadt entlang der Ilmenau und der Gleisanlagen in Richtung Norden zu finden sowie im Osten der Stadt, wo über langgestreckten Grün- und Freiflächen Kaltluft in Richtung überwärmte Siedlungsbereiche transportiert wird (im Bereich Freibad *Hagen Lüneburg*, zwischen dem Industriegebiet *Lüner Heide* und *Goseburg* sowie südlich des Stadtteils *Moorfeld*).

Neben den Kaltluftleitbahnen als linienhafte Strukturen gibt es weiterhin **Kaltluftabflüsse**, welche flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftreten. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt diese sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Durch die Geländeunterschiede im Lüneburger Stadtgebiet spielen Kaltluftabflüsse hier eine wichtige Rolle. Insbesondere von Westen und Nordosten her sorgen sie für eine Kaltluftzufuhr in die Stadtteile am Stadtrand.

Zudem gibt es innerstädtische Grünflächen, welche in der Nacht ihre kühle Luft radial in die bebaute Umgebung transportieren. Im Bereich des Vogelparks ist dies in besonderem Maße der Fall. Diese sogenannten **Parkwinde**, d.h. thermisch hervorgerufene Ausgleichsströmungen aus einer umbauten Grünfläche, treten auf größeren Grünflächen auf, die in eine deutlich wärmere Umgebung eingebettet sind. Da die Parkwinde im Vergleich zu Kaltluftabflüssen eher schwach sind, hängt die Reichweite dieser Ausgleichsströmungen auch stark von den Strömungshindernissen in der Umgebung ab. Breite Straßenzüge bzw. rauigkeitsarme Strukturen und eine strömungsparallele Ausrichtung der Gebäudekörper begünstigen ein weites Eindringen von kühlerer Parkluft.

Kaltluftentstehungsgebiete kennzeichnen Grünflächen mit einer besonders hohen Kaltluftproduktionsrate und speisen die verschiedenen Kaltluftströmungen bzw. reichen teilweise sogar über diese hinaus. Grünflächen wurden als Kaltluftentstehungsgebiete gekennzeichnet, wenn sie mindestens $25,9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ Kaltluft produzieren. Die Grenze entspricht dem Mittelwert der Kaltluftproduktionsrate der Grünflächen im Lüneburger Stadtgebiet.

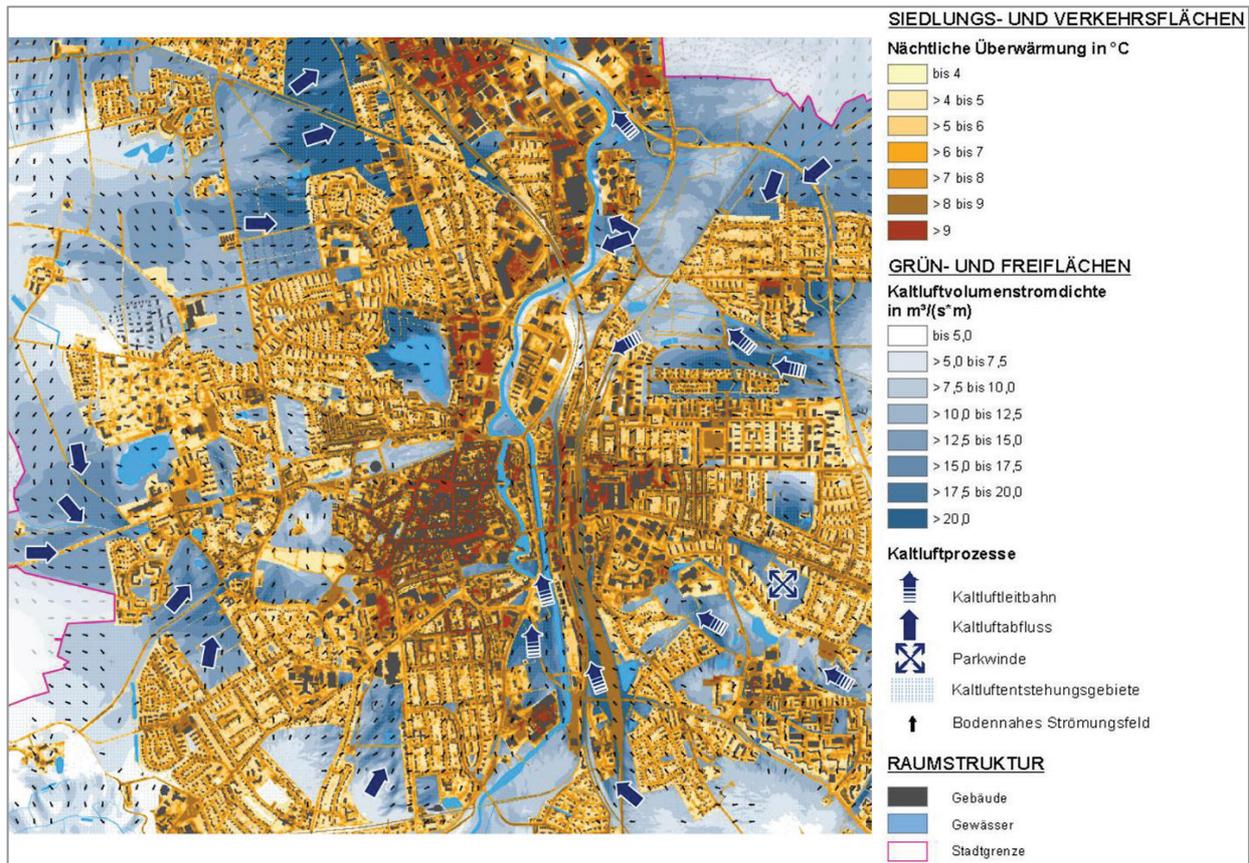


Abbildung 14: Ausschnitt der Klimaanalysekarte für die Nachtsituation.

5. Zusammenfassung und weitere Schritte

In der vorliegenden Analyse wurde für das Stadtgebiet Lüneburg eine Klimaanalyse durchgeführt. Dem Stand der Technik gemäß wurde eine mikroskalige Rechnung mit einer 5 m-Auflösung mit dem Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt, um hochaufgelöste flächendeckende Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet zu erhalten. Die Modellrechnung beruht auf der Annahme einer sommerlichen Strahlungswetterlage (d.h. ohne Bewölkung), die typischerweise zu den höchsten Belastungen führt. In solch einer „autochthonen Sommernacht“ ist der Wärmeinseleffekt besonders stark ausgeprägt und kein übergeordneter Luftaustausch vorhanden („die Luft steht“). Lokal können sich jedoch Ausgleichsströmungen in Form von Flurwinden und Hangabwinden bilden und für Entlastung im Stadtgebiet sorgen.

Bei Betrachtung der modellierten Parameter zeigt sich während der Nacht eine deutliche Überwärmung der historischen Altstadt sowie der Bereiche um den Bahnhof sowie der Gewerbeflächen im Stadtgebiet gegenüber den umliegenden Grün- und Freiflächen. Der hohe Versiegelungsgrad sowie die hohe Baudichte vermindern eine stärkere nächtliche Abkühlung. Dahingegen entwickeln locker bebaute Siedlungsflächen während der Nacht eine deutlich geringere Überwärmung.

Für einen Luftaustausch sorgen Kaltluftleitbahnen und flächenhafte Kaltluftabflüsse, die Kaltluft aus den angrenzenden Grün- und Freiflächen in die Siedlungsgebiete hineintransportieren, wo sie durch die Bebauung und die erhöhte Lufttemperatur abgebremst wird.

Während des Tages wird die höchste Wärmebelastung über unbeschatteten Flächen erreicht. Demensprechend tritt sie nicht nur über den Wiesen- und Ackerflächen in der Umgebung auf, sondern auch innerhalb der Siedlungsgebiete. Vereinzelte Bäume oder Gebäudeschatten sorgen nur lokal für eine Entlastung. Die niedrigste Wärmebelastung wird über bewaldeten Flächen sowie über den großen Wasserflächen von Ilmenau und den Seen im Stadtgebiet erreicht.

STECKBRIEFE

Die vorliegenden Modellergebnisse sind dazu geeignet, den Fokus auf einzelne vulnerable Einrichtungen zu legen und die dortige mikroklimatische Situation einzuschätzen. In Form von Steckbriefen können die verschiedenen Einrichtungen differenziert betrachtet und individuelle Planungshinweise für zukünftige mikroklimatische Optimierungen gegeben werden. Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden exemplarisch fünf solcher Steckbriefe für verschiedene soziale Einrichtungen erstellt. In diesen wird eine Einordnung gegeben, welche mikroklimatischen Parameter für die Einrichtung besonders relevant sind und wie sie in der Realisierung zukünftiger Planungen berücksichtigt werden können. Über die Umsetzungsmöglichkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen muss dann im Einzelfall entschieden werden.

Quellenverzeichnis

- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn.
- DWD (2021) – Deutscher Wetterdienst: Climate Data Center (freier Online-Zugang zu Klimadaten). Online: <https://cdc.dwd.de/portal/>
- Groß, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.
- Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. Atmospheric Environment (1967), Volume 7, Issue 8: S. 769-779.
- Häckel, H. (2012): Meteorologie. 7. Auflage. Stuttgart.
- Jendritzky, G., et al. 1990. Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan. Nr. 114.
- 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
- Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Paderborn.
- Malberg, H. (2002): Meteorologie und Klimatologie- Eine Einführung. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg.
- Matzarakis, A. und H. Mayer (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10.
- Mayer, H., W. Beckröge und A. Matzarakis (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-report 5/94, S. 265-268.
- Schönwiese, C.- D. (2008): Klimatologie. 3. Auflage. Stuttgart.
- UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur (17.05.2022).
- VDI (2003): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5. Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen.
- 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.

Anhang

langjährige mittlere monatliche Anzahl an autochthonen Nächten (59.8 pro Jahr)
2000 - 2020, Station: 1339 - Fassberg

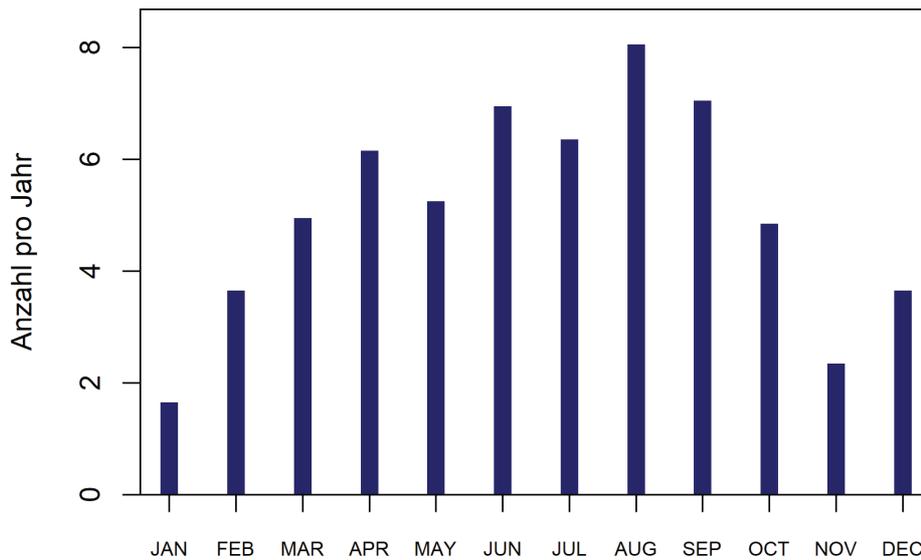


Abb. A 1: Langjähriges Monatsmittel der Anzahl autochthoner Nächte an der DWD-Station Fassberg (2000 – 2020, Quelle: eigene Berechnung nach DWD 2021)

Tab. A 1: Zuordnung von Schwellenwerten des Bewertungsindex PET während der Tagstunden (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

GBS-Seniorenresidenz

Nutzung: Seniorenheim, ganztägige Nutzung

Erscheinungsbild: Historischer Altbau aus rotem Backstein mit Neubauelementen, Innenhof mit Aufenthaltsbereich

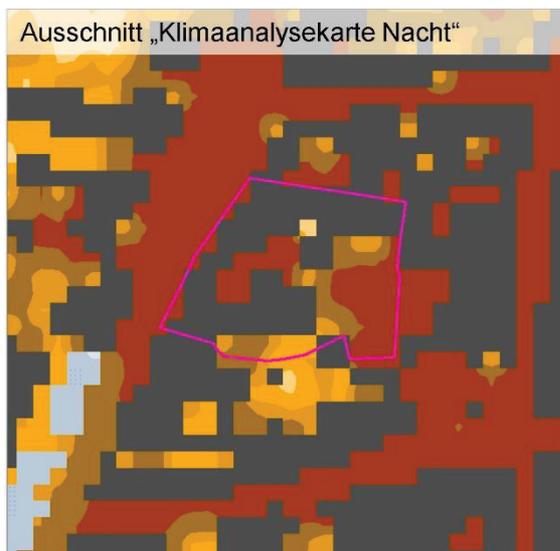
Lage: In der Lüneburger Altstadt, südwestlich des Marktplatzes



Luftbild: Stand 2020, Stadt Lüneburg

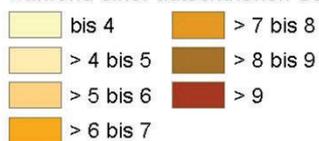
Überblick (der pinke Rahmen beschreibt die zugehörigen Flächen der Einrichtung).

Derzeitige mikroklimatische Situation

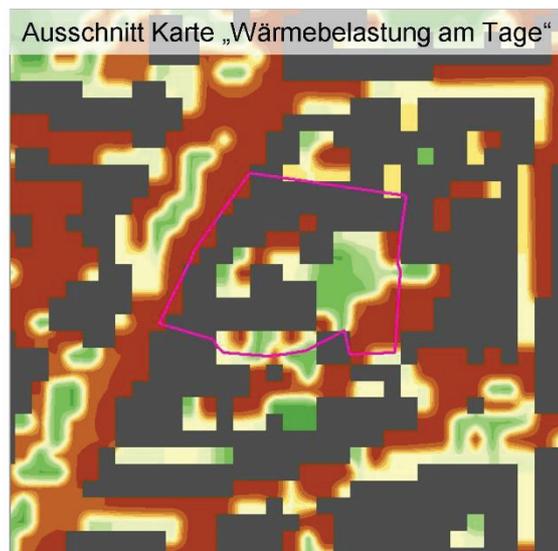


NÄCHTLICHE ÜBERWÄRMUNG

Lufttemperaturabweichung gegenüber den Grünflächen, in K um 04 Uhr, in 2 m ü. Gr. während einer autochthonen Sommerwetterlage

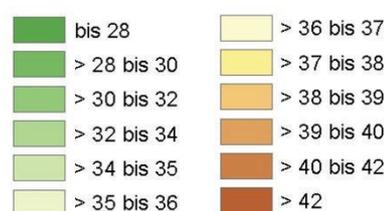


Die vollständige Legende findet sich im Bericht und auf der Karte



WÄRMEBELASTUNG AM TAGE

PET in °C, in 1,1 m ü. Gr., um 14 Uhr während einer autochthonen Sommerwetterlage



Relevante Indikatoren: Die Einrichtung wird ganztägig bewohnt, daher sind hier die nächtliche Überwärmung sowie die Wärmebelastung am Tage relevant.

Die GBS-Seniorenresidenz liegt in der Lüneburger Altstadt, die insgesamt einer relativ hohen nächtlichen Überwärmung unterliegt. So erfährt der Bereich entlang der angrenzenden Straße *Neue Sülze* eine **nächtliche Überwärmung** von über 9 K. Auch der Innenhof sowie der angrenzende Parkplatz sind stark überwärmt. Aufgrund der hohen und eng stehenden Baumasse findet nur wenig Durchlüftung statt, die vom Tage aufgeheizte Baumasse sorgt für weitere Erwärmung. Im Bereich der

nach Süden ausgerichteten Fassaden treten geringere Temperaturen auf. Die hier bestehende Vegetation sorgt für eine verringerte Aufheizung während des Tages und kühlt sich während der Nacht schneller ab.

Die **Wärmebelastung am Tage** ist insbesondere von der Sonneneinstrahlung abhängig. So unterliegen vor allem die unbeschatteten Bereiche im Innenhof sowie entlang der zur Straße gerichteten Fassade einer hohen Wärmebelastung von bis zu über 42 °C. In den durch Bäume und Gebäudeteile beschatteten Bereichen ist die Wärmebelastung mit etwa 28 bis 30 °C deutlich geringer ausgeprägt.

Weitere relevante Informationen

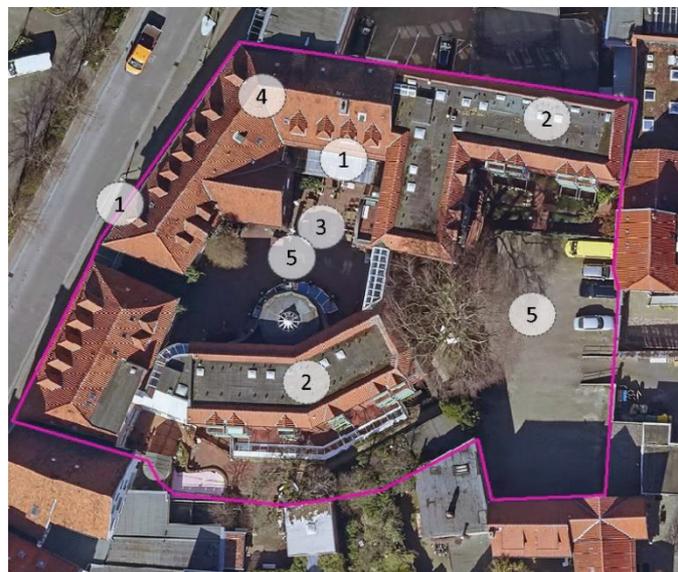
Bei der Gestaltung der Außenanlagen muss die teilweise eingeschränkte Mobilität der BewohnerInnen berücksichtigt werden. Das Gelände sollte weiterhin für sie zugänglich bleiben.

Im Rahmen der im September 2019 erstellten Stadtklimaanalyse wurde zusätzlich eine Vulnerabilitätsanalyse erstellt. Hieraus wird ersichtlich, dass in unmittelbarer Nähe (<300 m) zur Einrichtung kein öffentlicher Erholungsraum liegt, in den man sich während heißer Tage zurückziehen kann. Mikroklimatisch optimierte Aufenthaltsbereiche auf dem Gelände der Einrichtung sind daher von besonderer Bedeutung.

Planungshinweise

Ziel: Verminderung der Wärmebelastung am Tage im Gebäude und in den Außenbereichen sowie Verringerung der nächtlichen Überwärmung im Außen- und Innenbereich.

① Isolation der Bausubstanz und Verminderung der Sonneneinstrahlung auf die nach Süden und Westen ausgerichteten Fassaden, auf die die Sonne derzeit noch ungehindert einstrahlt: Die Installation von baulichen Maßnahmen (z.B. innenliegende Rollläden) gewährleistet eine sofortige Verschattung der zu schützenden Innenräume und kann nach Bedarf eingesetzt werden. Alternativ kann eine Beschattung der Außenfassade durch ein zielgerichtetes Anpflanzen von Grünstrukturen erreicht werden: Baumpflanzungen vor dem Gebäude werfen ihren Schatten auf die Fassade und schützen so vor direkter Sonneneinstrahlung während der Sommermonate. Großflächige Fassadenbegrünung bewirkt ebenfalls eine direkte Verschattung der Fassade und verhindert, dass sich das Mauerwerk stark aufheizt.



Verortung der Planungshinweise.

② Isolation der Dachflächen: Durch das Anlegen von extensiver oder intensiver Dachbegrünung auf den flachen Dachflächen wird eine zusätzliche Isolation erreicht und ein Aufheizen der Innenräume

vermindert. Weitere Synergien sind ein verringerter Regenwasserabfluss, Schutz der Dachsubstanz und Förderung der Biodiversität. Die statischen Möglichkeiten sind vorher zu prüfen.

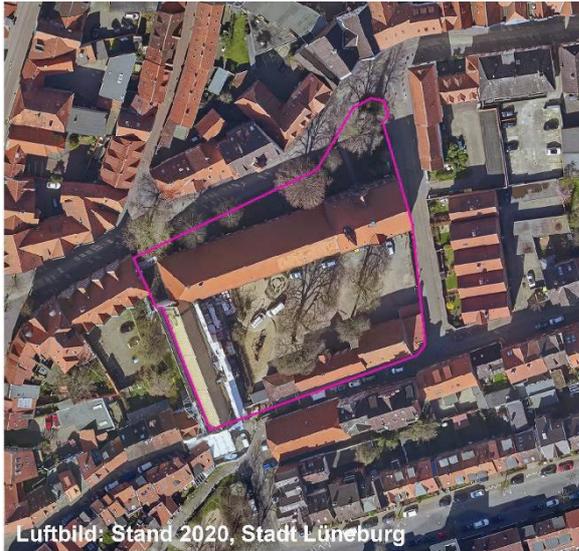
3 Schaffung von kühlen Rückzugsorten im Außenbereich: Durch Verschattung und Verdunstungskühlung kann die thermische Belastung lokal verringert werden. Auf begrenztem Raum bietet sich beispielsweise eine Kombination aus mobilem Sonnenschutz und Fassadenbegrünung an. Weiterhin kann der Gebäudeschatten genutzt werden, um hier Aufenthaltsbereiche zu schaffen. Auch kleine Bäume eignen sich für lokale Beschattung in den sonnenbeschienenen Bereichen. Große Bäume mit ausladenden Kronen sorgen während des Tages zwar für eine optimale Abkühlung und Gebäudebeschattung, jedoch vermindern sie auch den Lichteinfall in die unteren Stockwerke. Daher ist eine Variation an Maßnahmen zu bevorzugen.

4 Schaffung von kühlen Rückzugsorten im Innenraum: Aufenthaltsräume, die während des Tages genutzt werden, sollten sich auf der beschatteten (=kühleren) Gebäudeseite befinden, beziehungsweise in gut isolierten Gebäudeteilen.

5 Verminderung der nächtlichen Überwärmung: Durch Teilentsiegelung im Innenhofbereich kann eine verstärkte Abkühlung der Bodenoberfläche während der Nachtstunden erreicht werden. Es ist zu beachten, dass die Mobilität der BewohnerInnen der Einrichtungen weiterhin gewahrt bleibt und geeignete Entsiegelungsmaßnahmen gewählt werden, beziehungsweise begehbare Wege bestehen bleiben.

Verhalten Es wird empfohlen, nur in den kühlen Morgen- und Nachtstunden zu lüften, ab den Mittagsstunden sollten die Fenster geschlossen bleiben, so dass die wärmere Außenluft nicht für ein weiteres Aufheizen der Innenräume sorgt. Während der heißen Mittagsstunden sollten kühle Räume aufgesucht werden. Der Einbau technischer Kühlverfahren sollte in Betracht gezogen werden. Insbesondere bei Risikogruppen, die bei Hitzeereignissen besonders gefährdet sind, ist auf eine verstärkte Flüssigkeitszufuhr zu achten sowie auf eine angemessene Kleidung (Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit).

Heiligengeistschule



Luftbild: Stand 2020, Stadt Lüneburg

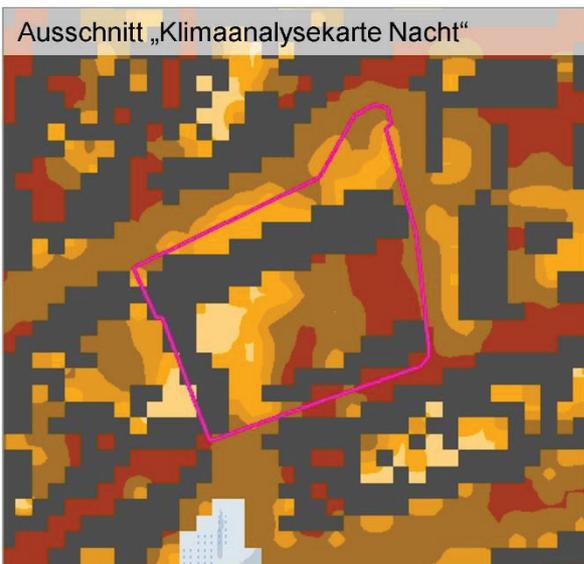
Überblick (der pinke Rahmen beschreibt die zugehörigen Flächen der Einrichtung).

Nutzung: Grundschule, Betreuungszeiten von morgens ins nachmittags

Erscheinungsbild: Backsteingebäude mit Giebeldach, das Haupthaus ist unter Denkmalschutz stehend. Derzeit (Frühjahr 2022) werden die Außenanlagen sowie die Nebengebäude umgebaut.

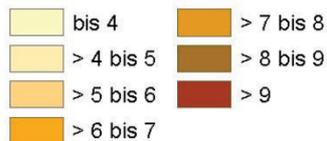
Lage: Im Südwesten der Lüneburger Altstadt

Derzeitige mikroklimatische Situation

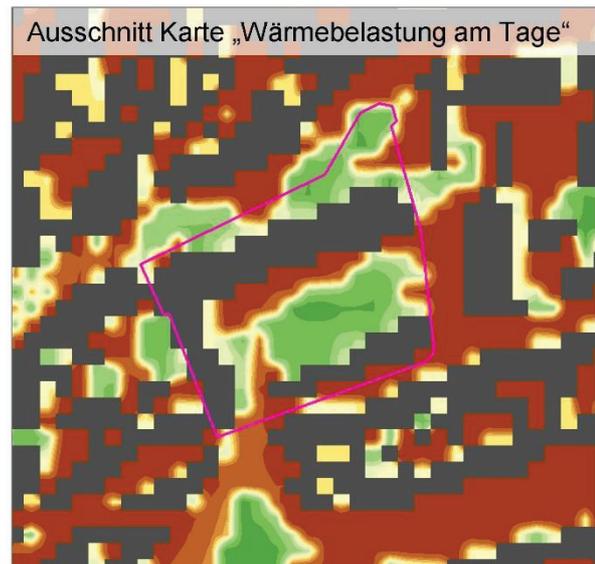


NÄCHTLICHE ÜBERWÄRMUNG

Lufttemperaturabweichung gegenüber den Grünflächen, in K um 04 Uhr, in 2 m ü. Gr. während einer autochthonen Sommerwetterlage

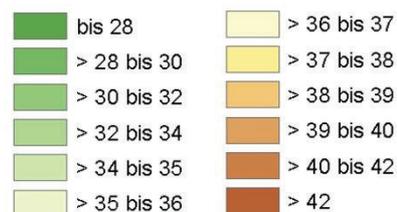


Die vollständige Legende findet sich im Bericht und auf der Karte



WÄRMEBELASTUNG AM TAGE

PET in °C, in 1,1 m ü. Gr., um 14 Uhr während einer autochthonen Sommerwetterlage



Relevanter Indikator: Da die Einrichtung ausschließlich während des Tages benutzt wird, ist als Indikator insbesondere die Wärmebelastung am Tage relevant.

Während des Tages ist die **Wärmebelastung** heterogen ausgeprägt. Entlang der sonnenbeschienen Südfassaden werden PET-Werte von bis zu über 42 °C erreicht. Ebenso über unbeschatteten

Freiflächen wie im Bereich der Spielflächen im Innenhof werden relativ hohe thermische Belastungen von bis zu 41 °C erreicht. An den verschatteten Nordfassaden und über den beschatteten Bereichen fällt die thermische Belastung aufgrund der verminderten Sonneneinstrahlung deutlich geringer aus. Hier werden PET-Werte von 28 bis 35 °C erreicht.

Die Heiligengeistschule liegt im innerstädtischen Bereich, der insgesamt einer relativ hohen **nächtlichen Überwärmung** unterliegt. So muss auch hier mit relativ hohen thermischen Belastungen gerechnet werden. Da sich in der Einrichtung nachts jedoch keine Personen aufhalten, ist dieser Parameter nur wenig relevant.

Weitere relevante Informationen

Innerhalb des Hauptgebäudes erfahren die SchülerInnen und LehrerInnen während strahlungsintensiver Sommertage eine starke Wärmebelastung, insbesondere in den Räumen an der sonnenbeschienenen Südseite. Derzeit (Stand Frühjahr 2022) werden die Außenanlagen sowie die Nebengebäude umgestaltet. Planungsskizzen liegen nicht vor. Die Beschreibung der mikroklimatischen Situation in der unmittelbaren Umgebung des Gebäudes ist daher möglicherweise nicht mehr aktuell.

Das große Hauptgebäude steht unter Denkmalschutz. Die Installation von Markisen und Rollläden als Sonnenschutz ist hier ausschließlich innenliegend genehmigungsfähig.

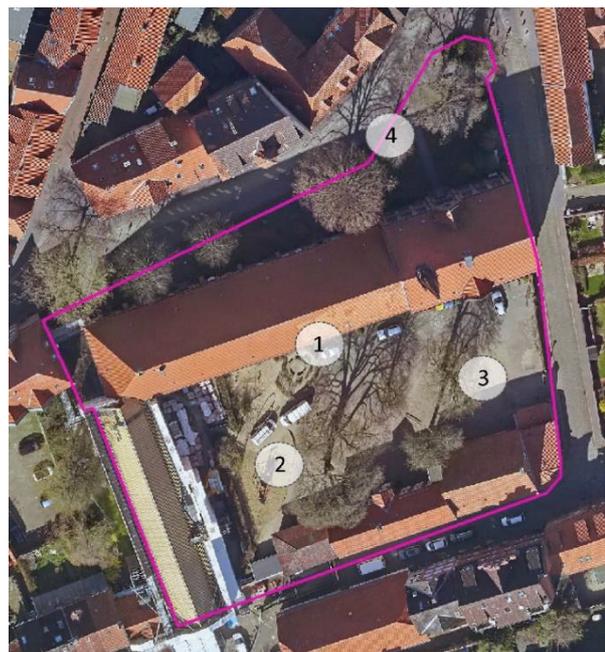
Bei der Heiligengeistschule handelt es sich um eine Grundschule, der Sicherheitsaspekt muss daher besonders berücksichtigt werden. So sollte beispielsweise bei der Gestaltung der Außenbereiche auf ungeschützte offene und tiefe Wasserflächen verzichtet werden.

Weiterhin sollte die Multifunktionalität des Schulhofes (mögliche zusätzliche Nutzung als Veranstaltungsort und Parkplatz) berücksichtigt werden).

Planungshinweise

Ziel: Verminderung der Wärmebelastung am Tage im Gebäude und in den Außenbereichen des Schulgeländes.

① Verminderung der Sonneneinstrahlung an der Südfassade: Die Installation von baulichen Maßnahmen (z.B. innenliegenden Rollläden) bewirkt eine direkte Verschattung der zu schützenden Innenräume und kann nach Bedarf eingesetzt werden. Alternativ kann eine Beschattung der Außenfassade durch ein zielgerichtetes Anpflanzen von Grünstrukturen erreicht werden. Baumpflanzungen vor dem Gebäude werfen ihren Schatten auf die Fassade und schützen so vor direkter Sonneneinstrahlung während der Sommermonate. Großflächige Fassadenbegrünung bewirkt ebenfalls eine direkte Verschattung der Fassade und verhindert, dass sich das Mauerwerk stark aufheizt.



Verortung der Planungshinweise.

2 Verschattung der Spielflächen: Auf diese Weise werden die dort spielenden Kinder vor direkter Sonneneinstrahlung und hoher Wärmebelastung geschützt. Dies kann durch Sonnensegel oder Baumpflanzungen geschehen.

3 (Teil-)Entsiegelung einzelner Bereiche: Entsiegelte Bereiche heizen sich während des Tages in geringerem Maße auf. Insbesondere bei der Wahl von Oberflächenmaterialien im Bereich von Aufenthalts- und Spielbereichen sollte darauf geachtet werden, Materialien zu wählen, die sich unter Sonneneinstrahlung nicht zu stark aufheizen, so dass keine Verbrennungsgefahr besteht.

4 Verschattung von Wartebereichen, wie Bushaltestellen und Abholbereichen: Auf diese Weise kann ein längerer Aufenthalt ohne Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung vermieden werden.

Verhalten Gelüftet werden nur in den kühlen Morgenstunden, ab den Mittagsstunden sollten die Fenster geschlossen bleiben, so dass die wärmere Außenluft nicht für ein weiteres Aufheizen der Innenräume sorgt.

Kindertagesstätte Stadtmitte

Nutzung: Kindertagesstätte und Krippe für etwa 100 Kinder | ganztägige Betreuung bis 16 Uhr

Erscheinungsbild: Eingeschossiger Flachdachbau aus dem Jahre 1973. 2011/12 wurde ein ergänzender Verbindungsbau errichtet. Der Gebäudeteil, der die Krippe beherbergt, wurde in den letzten Jahren saniert. Die Außenfassade ist großflächig mit dunklen Holzpanelen und weißen Ziegeln gestaltet.

Die Aufenthaltsräume der Betreuungsgruppen sind nach Südwesten ausgerichtet, große Fensterflächen prägen das Erscheinungsbild. Vor diesen sind nur teilweise handbetriebene Rollläden angebracht.

Die Außenbereiche mit Spielflächen liegen im westlichen bis südlichen Bereich des Geländes. Unmittelbar am Gebäude sind gepflasterte Terrassenflächen angelegt. Darüber sind teilweise Sonnensegel installiert. Die Außenanlagen wurden in der Vergangenheit an den südwestlich gelegenen ehemaligen Spielplatz angegliedert. Sie sind von viel Grün geprägt, insbesondere im Bereich des ehemaligen Spielplatzes hat sich über viele Jahre eine hohe Vegetation etabliert. Über den sonnenbeschienenen Sandkästen wurden ebenfalls Sonnensegel installiert.

Lage: westlich der Lüneburger Altstadt | südlich des Parks *Liebesgrund* | im Lüneburger Senkungsgebiet



Überblick (der pinke Rahmen beschreibt die zugehörigen Flächen der Einrichtung).



- 1) Außenansicht eines Betreuungsraums von Südwesten
- 2) Außenansicht eines weiteren Betreuungsraums von Südwesten
- 3) Sonnensegel über Terrasse
- 4) Blick auf den Bereich des ehemaligen Spielplatzes
- 5) Sonnensegel über Sandkasten

Derzeitige klimaökologische Situation

Relevante Indikatoren: Die Einrichtung wird von morgens bis zum späten Nachmittag genutzt, daher ist insbesondere die Wärmebelastung am Tage relevant.

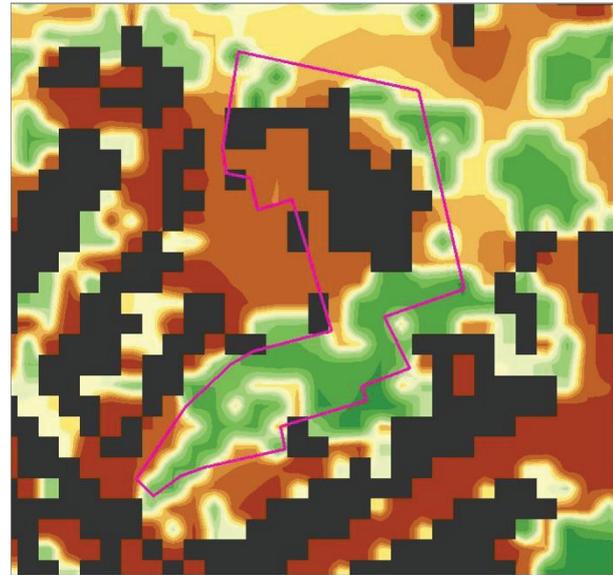
Hinweis: Die Wärmebelastung am Tage wurde ausschließlich für die Außenbereiche modellbasiert analysiert. Die Informationen für die Abschnitte „Innenbereiche“ und „Verhalten“ stammen aus Interviews mit den Beschäftigten der Einrichtung.

Außenbereich: Während des Tages wird die Ausprägung der Wärmebelastung vor allem durch die Sonneneinstrahlung geprägt. Die Modellergebnisse zeigen, dass relativ hohe PET-Werte von über 40 °C entlang der nach Südwest ausgerichteten Gebäudefassade auftreten (Bilder 1, 2 und 3). Hier kann die Sonne um 14 Uhr ungehindert einstrahlen, da in diesen Bereichen keine hohe schattenspendende Vegetation steht. Die Sonnensegel (Bilder 3 und 5) sorgen hier lokal für kühlere Bereiche (diese sind in den Modellergebnissen jedoch nicht zu sehen, da die Sonnensegel in der Rechnung nicht berücksichtigt wurden). Eine deutlich geringere Wärmebelastung zeigt der Bereich des angegliederten Spielplatzes (Bild 4). Die PET-Werte bleiben hier großflächig unter 30 °C.

Innenräume: Die nach Südwesten ausgerichteten Aufenthaltsräume heizen sich während der heißen Sommertage schnell auf. Durch die sonnenexponierte Fassade und unzureichende Isolierung und Verschattung werden hier schnell relativ hohe Lufttemperaturen von teilweise bis zu 32 °C erreicht. Auch im sanierten Gebäudeteil der Krippe besteht das Hitzeproblem weiterhin. Relativ kühl bleibt es dahingegen in der Turnhalle. Diese unterliegt während der Nachmittagsstunden keiner direkten Sonneneinstrahlung, weiterhin weist das Mauerwerk hier eine dickere Beschaffenheit auf, so dass hier von einer besseren Isolierfähigkeit auszugehen ist.

Ein Teil der Fassade besteht aus weiß getünchten Ziegelwänden. Diese tragen jedoch nicht eindeutig zum klimaökologischen Komfort bei. Vielmehr besteht hier das Problem, dass diese Fassadenteile durchlässig für Feuchte sind, die im Innenraum zu spüren ist.

Verhalten: Während sehr heißer Sommertage stehen den Kindern und Betreuern nur wenige Rückzugsorte zur Verfügung. Häufig halten sich die Kinder dann auf dem Spielplatz unter dem Sonnensegel auf. Hier befindet sich eine Wasserpumpe, durch die Wasser an die Oberfläche gefördert werden kann, welches für Abkühlung sorgt.



WÄRMEBELASTUNG AM TAGE

PET in °C, in 1,1 m ü. Gr., um 14 Uhr während einer autochthonen Sommerwetterlage

■ bis 28	■ > 36 bis 37
■ > 28 bis 30	■ > 37 bis 38
■ > 30 bis 32	■ > 38 bis 39
■ > 32 bis 34	■ > 39 bis 40
■ > 34 bis 35	■ > 40 bis 42
■ > 35 bis 36	■ > 42

Ausschnitt aus der Karte "Wärmebelastung am Tage"

Weitere relevante Informationen

Die Einrichtung befindet sich im Lüneburger Senkungsgebiet. Dies muss bei der Neuerrichtung von Gebäuden oder anderen Strukturen berücksichtigt werden.

Das Gebäude der Kindertagesstätte ist stark sanierungsbedürftig. Bereits seit mehreren Jahren gibt es Überlegungen, das Gebäude abzureißen und durch einen Neubau zu ersetzen. Dies sollte bei der Planung der Maßnahmen gegebenenfalls berücksichtigt werden. Daher sind insbesondere Maßnahmen sinnvoll, die kurzfristig einen Effekt auf die klimaökologische Situation zeigen, und keine langfristige Planung benötigen.

Planungshinweise

Innenräume: Durch die bislang unzureichende Isolierung heizen sich insbesondere die nach Südwesten ausgerichteten Aufenthaltsräume an heißen Sommertagen schnell auf. Zur Verminderung der Wärmebelastung im Gebäudeinnern ist eine Verbesserung der Isolierung der Fassaden, des Daches und der Fenster essenziell. Als kurzfristige Maßnahme sind neue innenliegende Rollläden zu empfehlen, die aus einem isolierenden Material bestehen, und bei Bedarf heruntergefahren werden können ①. Diese Maßnahmen werden ebenfalls in den Handlungsempfehlungen für Hitzeaktionspläne empfohlen (UBA 2017¹). Längerfristig ist zusätzlich eine Fassaden-/Dachbegrünung sinnvoll, durch die eine zusätzliche Isolation erreicht wird. Weitere Synergien sind ein verringerter Regenwasserabfluss, Schutz der Dachsubstanz und Förderung der Biodiversität. Die statischen Voraussetzungen sind vorher zu prüfen.



Verortung der Planungshinweise.

Außenbereich: Die bereits vorhandenen etablierten Bäume beschatten den gebäudenahen Außenbereich ausschließlich in den Morgenstunden, ab Mittag wandert ihr Schatten weiter. Ab den Mittagsstunden strahlt die Sonne ungehindert auf die Südwestfassade und die Terrassen der Kindertagesstätte, so dass sich das Gebäude und die Terrassen stark aufheizen. Der neu gepflanzte Baum (siehe Bild 2) ist noch zu klein, um einen entscheidenden Effekt zu leisten. Empfohlen wird hier die Installation von großen Markisen, die die Fassade verschatten, Rückzugsorte schaffen und die behelfsmäßigen Sonnensegel ersetzen ②. Bei einer langfristigen Planung sollte weitere hohe Laubvegetation entlang der Südwestseite des Gebäudes etabliert werden, deren Schatten während der Nachmittagsstunden auf die Terrassen und die Gebäudefassade fällt ③. Auf diese Weise kann im Sommer vom kühlen Schatten profitiert werden und im Winter von den wärmenden Sonnenstrahlen durch das laubfreie Geäst. Die weiteren Außenanlagen sind bereits klimaökologisch günstig gestaltet.

¹ UBA 2017: Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Durch ihre heterogene Gestaltung bieten sie ausreichend Sonnenschutz, aber auch Freiflächen für genügend Lichteinfall ④.

Verhalten: Gelüftet werden sollte nur in den kühlen Morgenstunden, ab den Mittagsstunden sollten die Fenster geschlossen bleiben, so dass die wärmere Außenluft nicht für ein weiteres Aufheizen der Innenräume sorgt. Weiterhin sollte bei den Kindern auf eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr und angepasste Kleidung geachtet werden (siehe auch UBA 2017).



Luftbild: Stand 2020, Stadt Lüneburg

Überblick (der pinke Rahmen beschreibt die zugehörigen Flächen der Einrichtung).

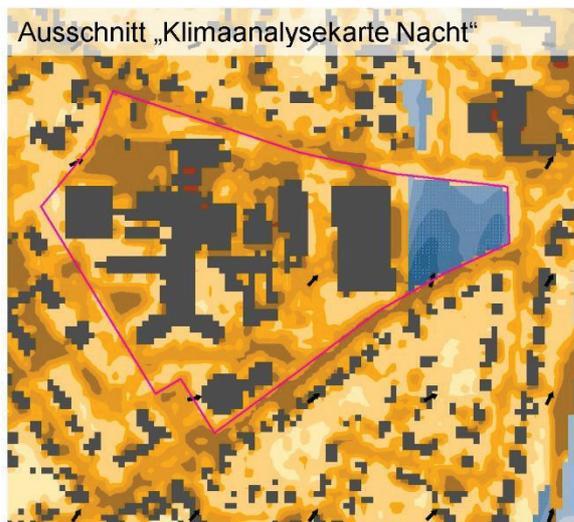
Städtisches Klinikum

Nutzung: Krankenhaus mit 24-Stunden-Betrieb

Erscheinungsbild: Gebäudekomplex mit verschiedenen Erweiterungsbauten, die in den letzten Jahrzehnten sukzessive ergänzt wurden. Die Freiflächen zwischen den Gebäuden sind teilweise begrünt.

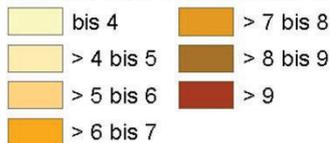
Lage: Südwestlich der Lüneburger Altstadt

Derzeitige mikroklimatische Situation

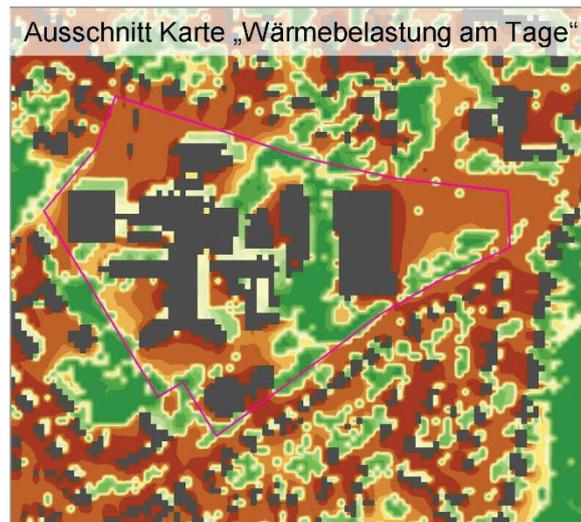


NÄCHTLICHE ÜBERWÄRMUNG

Lufttemperaturabweichung gegenüber den Grünflächen, in K um 04 Uhr, in 2 m ü. Gr. während einer autochthonen Sommerwetterlage

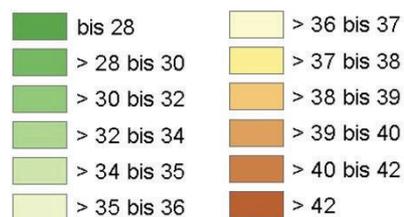


Die vollständige Legende findet sich im Bericht und auf der Karte



WÄRMEBELASTUNG AM TAGE

PET in °C, in 1,1 m ü. Gr., um 14 Uhr während einer autochthonen Sommerwetterlage



Relevanter Indikator: Die Einrichtung steht durchgängig in Benutzung, daher ist als Indikator die thermische Belastung während der Nacht sowie während des Tages relevant.

Das Klinikgelände liegt in einem relativ locker bebauten Siedlungsbereich. In direkter Nachbarschaft liegen mit dem Kurpark, dem Kleingartenverein *Am Schildstein* sowie weiteren privaten Grünflächen

mehrere Kaltluftentstehungsgebiete, die **während der Nacht** einen Transport von Kaltluft auf das Klinikgelände gewährleisten. Durch die verwinkelte Bauweise des Komplexes profitieren jedoch nicht alle Gebäudeteile vom Luftaustausch, insbesondere im Bereich des südöstliche Komplextails (Bettenhaus3 und Verwaltungsgebäude), der eine Art Innenhof bildet, ist der Kaltluftstrom herabgesetzt. Durch den hohen Grünanteil wirkt sich dies allerdings nur geringfügig auf die nächtliche Überwärmung aus. Über den Grünflächen kühlt die bodennahe Luft ab und sorgt für eine verminderte thermische Belastung. Dies gilt jedoch nicht für die hochversiegelten Flächen (Bereich Wirtschaftsgebäude/Erweiterungsbau) sowie für Bereiche zwischen engstehenden Gebäuden (beispielsweise Kinderklinik/Strahlentherapie). Hier ist die nächtliche Überwärmung mit bis zu 9 K relativ hoch ausgeprägt, da die hochversiegelten Flächen nur in geringem Maße abkühlen und die engstehende Baumasse für eine zusätzliche Erwärmung der Umgebungsluft sorgt.

Während des Tages ist insbesondere auf den sonnenbeschienenen Freiflächen sowie entlang der nach Süden und Westen ausgerichteten Fassaden mit einer erhöhten thermischen Belastung zu rechnen. Deutlich verminderte Belastungen werden an den nach Norden und Osten ausgerichteten Fassaden erreicht. Zwischen Kinderklinik und Parkhaus sorgt die dichte Baumvegetation durch Schattenwurf und Verdunstungskühlung für verminderte Belastungen, die Südfassade der Kinderklinik ist jedoch ebenfalls gegen die Sonneneinstrahlung ungeschützt und erfährt hohe thermische Belastungen.

Weitere relevante Informationen

Bei allen Umgestaltungsmaßnahmen muss die Funktion des Krankenhauses mit all seinen Anforderungen berücksichtigt werden. So müssen beispielsweise Zugangswege für Krankenwagen sichergestellt sein und die teilweise eingeschränkte Mobilität der Patienten beachtet werden.

Planungshinweise

Ziel: Verminderung der Wärmebelastung am Tage im Gebäude und in den Außenbereichen sowie Verminderung der Wärmebelastung während der Nacht im Außen- und Innenbereich.

1 Isolation der Bausubstanz und Verminderung der Sonneneinstrahlung auf die nach Süden und Westen ausgerichteten Fassaden, auf die die Sonne derzeit noch ungehindert einstrahlt: Die Installation von baulichen Maßnahmen (Markisen, Rollläden von außen/innen) bewirkt eine sofortige Verschattung der zu schützenden Innenräume und kann nach Bedarf eingesetzt werden. Darüber hinaus kann eine Beschattung der



Verortung der Planungshinweise.

Außenfassade durch ein zielgerichtetes Anpflanzen von Grünstrukturen erreicht werden: Baumpflanzungen vor dem Gebäude werfen ihren Schatten auf die Fassade und schützen so vor direkter Sonneneinstrahlung während der Sommermonate. Großflächige Fassadenbegrünung bewirkt ebenfalls eine direkte Verschattung der Fassade und verhindert, dass sich das Mauerwerk stark aufheizt.

② Isolation der Dachflächen: Durch das Anlegen von extensiver oder intensiver Dachbegrünung auf den flachen Dachflächen wird eine zusätzliche Isolation erreicht und ein Aufheizen der Innenräume vermindert. Weitere Synergien sind ein verringerter Regenwasserabfluss, Schutz der Dachsubstanz und Förderung der Biodiversität. Die statischen Möglichkeiten sind vorher zu prüfen.

③ Schaffung von kühlen Rückzugsbereichen im Außenbereich: Gut erreichbare beschattete Plätze können als Erholungsbereiche für die Patienten dienen. Je nach Flächenverfügbarkeit können dies einzelne große Bäume oder andere Beschattungsmöglichkeiten sein, oder auch heterogen angelegte kleine Parkflächen mit Freiflächen, Baumgruppen und Wasserflächen, die für eine mikroklimatische Vielfalt sorgen.

④ Verminderung der nächtlichen Überwärmung: Durch Teilentsiegelung kann eine verstärkte Abkühlung der Bodenoberfläche während der Nachtstunden erreicht werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die Funktionalität der Zuwegungen sowie die Mobilität der Patienten weiterhin gewahrt bleibt.

Verhalten Gelüftet werden sollte nur in den kühlen Morgenstunden, ab den Mittagsstunden sollten die Fenster geschlossen bleiben, so dass die wärmere Außenluft nicht für ein weiteres Aufheizen der Innenräume sorgt.

Seniorenheim Lüner Hof

Nutzung: Senioren- und Pflegeheim | ganztägige Nutzung

Erscheinungsbild: Das rote Backsteingebäude ist eines der ältesten Gebäude der Stadt und steht unter Denkmalschutz. Die Außenmauern sind bis zu 1 m mächtig. Seit 1988 fungiert das Gebäude als Seniorenheim. Die ursprüngliche Struktur des Hauses wurde weitestgehend erhalten, Zimmergröße und Deckenhöhe sind daher sehr individuell. Die Einrichtung erstreckt sich über vier Etagen, die Zimmer der Bewohner/-innen sind größtenteils nach Süden ausgerichtet. Aufenthaltsbereiche im Außenbereich befinden sich im Hof, der an die Südseite des Gebäudes angrenzt und von den angrenzenden Nachbarhäusern umgeben ist. Hier sind Blumenbeete und ein kleiner Brunnen angelegt, Sitzgelegenheiten finden sich unter einer Pergola mit Markise.



Überblick (der pinke Rahmen beschreibt die zugehörigen Flächen der Einrichtung).

Lage: Im Nordosten der Lüneburger Altstadt

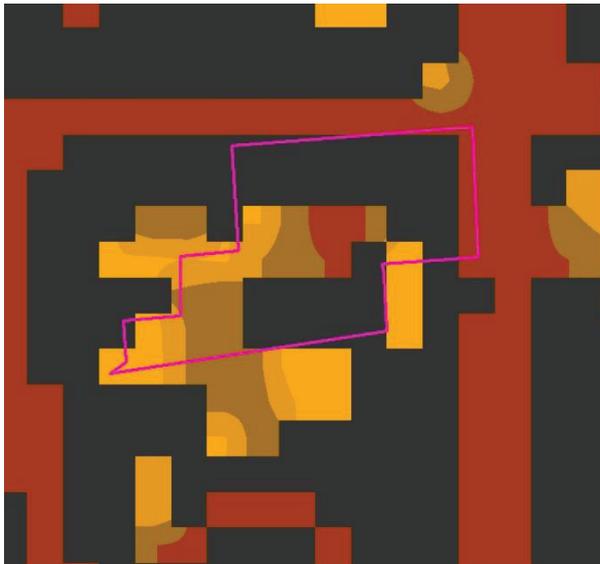


- 1) Eingangsbereich
- 2) Brunnen im Innenhof
- 3) Innenhof von Südwesten mit Blick auf die Südfassade
- 4) Innenhof von Osten
- 5) Beispiel eines Bewohnerzimmers

Derzeitige klimaökologische Situation

Relevante Indikatoren: Die Einrichtung wird ganztägig, also während des Tages und während der Nacht genutzt, daher ist die Wärmebelastung am Tage sowie die nächtliche Überwärmung für die Einschätzung der klimaökologischen Situation relevant.

Hinweis: Die Indikatoren wurden ausschließlich für die Außenbereiche modellbasiert analysiert. Die Informationen für die Abschnitte „Innenbereiche“ und „Verhalten“ stammen aus Interviews mit den Beschäftigten der Einrichtung.

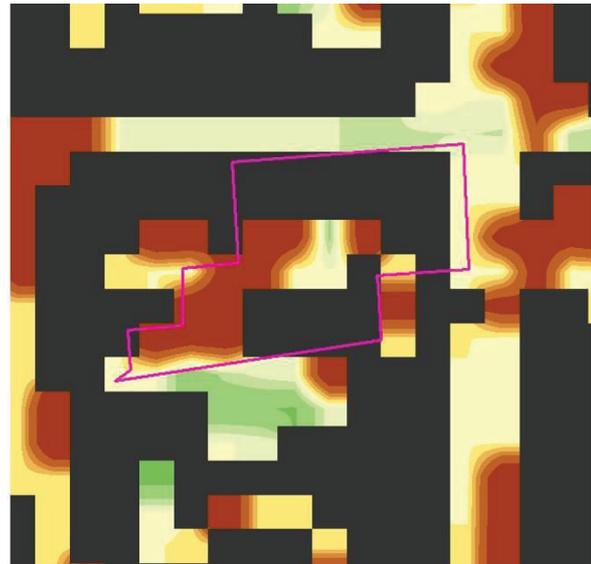


NÄCHTLICHE ÜBERWÄRMUNG

Lufttemperaturabweichung gegenüber den Grünflächen, in K um 04 Uhr, in 2 m ü. Gr. während einer autochthonen Sommerwetterlage

bis 4	> 7 bis 8
> 4 bis 5	> 8 bis 9
> 5 bis 6	> 9
> 6 bis 7	

Die vollständige Legende findet sich im Bericht und auf der Karte



WÄRMEBELASTUNG AM TAGE

PET in °C, in 1,1 m ü. Gr., um 14 Uhr während einer autochthonen Sommerwetterlage

bis 28	> 36 bis 37
> 28 bis 30	> 37 bis 38
> 30 bis 32	> 38 bis 39
> 32 bis 34	> 39 bis 40
> 34 bis 35	> 40 bis 42
> 35 bis 36	> 42

Ausschnitte aus den Karten "Klimaanalysekarte Nacht" (links) und "Wärmebelastung am Tage" (rechts).

Außenbereich: Der Lüneer Hof befindet sich in der Lüneburger Altstadt, welche durch eine relativ hohe nächtliche Überwärmung geprägt ist. Hier ist die **nächtliche Lufttemperatur** bis zu über 9 K höher als über den Grünflächen im Lüneburger Umland. Dies gilt insbesondere für die engen und hochversiegelten Straßenzüge in der Umgebung der Einrichtung, aber auch der zugehörige Innenhof unterliegt einer relativ hohen Überwärmung. Aufgrund der umliegenden hohen und engstehenden Gebäude findet nur sehr wenig Durchlüftung statt, die vom Tage aufgeheizte Baumasse sorgt für weitere Erwärmung.

Am Tage profitieren die Nord- und die Ostfassade der Einrichtung vom eigenen Schattenwurf, hier ist die **Wärmebelastung** mit Werten von etwa 35 °C relativ gering ausgeprägt. Im Bereich des gesamten Innenhofes und entlang der Südfassade werden großflächig deutlich höhere PET-Werte von bis zu über 42 °C erreicht. In der Modellrechnung konnten nicht alle Elemente, die die Wärmebelastung beeinflussen, berücksichtigt werden. So trägt die Pergola mit Sonnenschutz im mittleren Bereich des Innenhofes voraussichtlich stärker zur Entlastung bei als hier in den Ergebnissen sichtbar. Dahingegen resultiert der relativ kühle Bereich an der Südfassade durch einen Baum, der sich dort jedoch nicht

(mehr) befindet. Hier muss daher mit vergleichbaren PET-Werten wie im restlichen Innenhof gerechnet werden.

Innenräume: Durch das massive Mauerwerk heizen sich die Innenräume bei hohen Außentemperaturen erst mit deutlicher Verzögerung auf. Während längerer Hitzeperioden kommt es jedoch auch hier zu hohen Wärmebelastungen, insbesondere in den Zimmern der Bewohner/-innen, die sich mehrheitlich auf der Südseite des Gebäudes befinden. Die Bewohner/-innen sowie die Beschäftigten erfahren hier eine relativ hohe Wärmebelastung.

Verhalten: Die Beschäftigten versuchen durch angepasstes Verhalten auf lange Hitzeperioden zu reagieren und die Wärmebelastung für die Bewohner/-innen so gering wie möglich zu halten. Beispielsweise werden leichtere Bettlaken und Kleidung eingesetzt. Weiterhin wird die Ernährung umgestellt sowie darauf geachtet, dass die Bewohner/-innen ausreichend Flüssigkeit zu sich nehmen. Teilweise werden zusätzlich Infusionen verabreicht, um den Flüssigkeitshaushalt stabil zu halten. Der Einsatz von Ventilatoren sorgt zwar für keine nachhaltige Abkühlung, jedoch wird damit eine temporäre Erleichterung erreicht. Während heißer Tage ist ein Aufenthalt im Innenhof nur noch sehr eingeschränkt möglich. Die Bewohner/-innen halten sich dann daher größtenteils im Gebäudeinneren auf.

Weitere relevante Informationen

Die Einrichtung befindet sich in der Lüneburger Altstadt und steht unter Denkmalschutz. Klimaanpassungsmaßnahmen müssen daher mit dem zuständigen Amt abgestimmt werden.

Bei der Gestaltung der Außenanlagen muss die teilweise eingeschränkte Mobilität der Bewohner/-innen berücksichtigt werden. Das Gelände sollte weiterhin für sie zugänglich bleiben.

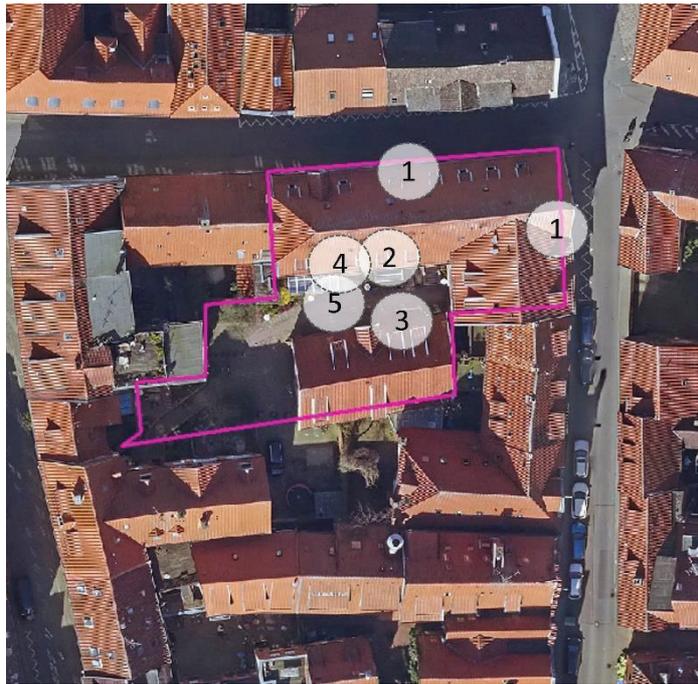
Falls als Maßnahme der Einsatz von Klimaanlage erwogen werden sollte, ist zu beachten, dass durch eine zu niedrige Zieltemperatureinstellung der Raumluft Feuchtigkeit entzogen wird. Dies kann insbesondere bei älteren Menschen zu Schleimhautreizungen führen.

Planungshinweise

Innenräume: Durch den Denkmalschutz und die individuelle Struktur des Gebäudes besteht nur wenig Spielraum für bauliche Anpassungen. Kühlere Räume an der Nord- und Ostseite des Gebäudes sollten während der heißen Tagesstunden für Bewohner/-innen wie für Beschäftigte als Rückzugsorte dienen ①. Die Bewohner/-innen sind teilweise bettlägerig und können diese kühleren Räume nicht aufsuchen. Es ist daher umso wichtiger, in den Bewohnerzimmern selbst kurzfristig für Abkühlung zu sorgen. Als geeignete Maßnahme bieten sich beispielsweise isolierende innenliegende Rollläden an, die eine schnelle und flexible Lösung darstellen, insbesondere entlang der sonnenbeschienen Südfassade des Gebäudes ②. Die Installation von Klimaanlage ist eine weitere Option. Diese Maßnahmen sind auch in den Handlungsempfehlungen für Hitzeaktionspläne zu finden (UBA 2017¹). Beim Einsatz von Klimaanlage sollte darauf geachtet werden, dass diese nicht zu übermäßig trockener Raumluft führen.

¹ UBA 2017: Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Außenbereich: Während des Tages heizt sich der Innenhof stark auf, so dass ein Aufenthalt nur eingeschränkt möglich ist. Sitzbereiche unter einer schattenspendenden Pergola existieren bereits, diese befindet sich jedoch nahe der sonnenbeschienenen Südfassade des Gebäudes, welche sich stark aufheizt. Mittelfristig sollte geprüft werden, ob Sitzgelegenheiten im Gebäudeschatten der Nachbargebäude realisiert werden können ③. Langfristig ist die Erweiterung der bereits lokal bestehenden Fassadenbegrünung eine geeignete Maßnahme ④. Diese sorgt einerseits für eine verbesserte Isolation der Gebäudesubstanz sowie andererseits durch ihre Verdunstungskühlung für eine Temperaturminderung im Außenbereich. Für temporären Einsatz können weiterhin Sprühnebel in Betracht gezogen werden, die ebenfalls durch Verdunstungskühlung für eine Temperaturverminderung sorgen ⑤.



Verortung der Planungshinweise.

Verhalten: Gelüftet werden sollte nur in den kühlen Morgenstunden, ab den Mittagsstunden sollten die Fenster geschlossen bleiben, so dass die wärmere Außenluft nicht für ein weiteres Aufheizen der Innenräume sorgt. Wie bereits in der Praxis umgesetzt, sollte auf eine angepasste Ernährung, ausreichend Flüssigkeitszufuhr sowie angepasste Kleidung geachtet werden (siehe auch UBA 2017).