

**KLIMAÖKOLOGISCHES
GUTACHTEN
ZUM BEBAUUNGSPLAN
VBB-J 41
„QUARTIER 22“
JENA**





Auftraggeber:

GW Projects GmbH

Mierendorffstr. 3
60320 Frankfurt (Main)

Auftragnehmer:



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

Hannover, November 2023, Rev.01



Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	4
1. Aufgabenstellung und Einleitung	5
1.1 Untersuchungsgebiet und Bebauungsplan VBB-J 41	7
2. Methode	10
2.1. Datengrundlage und Modellrechnung	10
2.2. Synoptische Rahmenbedingungen.....	13
2.3. Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom	13
3. Ergebnisse	15
3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt.....	15
3.1.1 Lufttemperatur.....	15
3.1.2 Kaltluftströmungsfeld.....	19
3.1.3 Kaltluftvolumenstrom	23
3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur.....	27
4. Fazit	30
5. Planungshinweise.....	31
6. Literatur	33
7. Glossar	34



Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage	6
Abb. 1.2: 3D-Luftbildausschnitt mit den farblich hervorgehobenen Straßenzügen und dem violett markierten Areal für das Planvorhaben VBB-J 41, „Quartier 22“ in Jena. Blickrichtung aus Ost. (Datenquelle: GOOGLE Earth, August 2023)	7
Abb. 1.3: Vorhabenplan aus Vogelperspektive (a) und Konzept der Dachnutzung (b) zum Bebauungsplan VBB-J 41 „Quartier 22“ (Quelle: AS+P Albert Speer + Partner GmbH, Stand: November 2023)	8
Abb. 2.1: Geländehöhe aus dem digitalem Geländemodell für das betrachtete Untersuchungsgebiet.....	11
Abb. 2.2: Darstellung der für die Modellierung des Untersuchungsgebietes vergebenen Nutzungs- klassen.	12
Abb. 2.3: Beurteilung des Wertenevaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.....	14
Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).....	18
Abb. 3.2 Prinzipskizze Flurwind (Quelle: DWD)	19
Abb. 3.3: Bodennahes Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).	22
Abb. 3.4 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	23
Abb. 3.5: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und der relativen Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan- und Istzustand (unten links).....	25
Abb. 3.6: Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms als Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und der relativen Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan- und Istzustand (unten links).....	26
Abb. 3.7: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links),.....	29



Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)	27
--	----



1. Aufgabenstellung und Einleitung

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

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

Im Auftrag der GW Projects GmbH wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der im Rahmen des Bebauungsplans VBB-J 41 „Quartier 22“, vorgesehenen Flächennutzungsänderungen durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung des Schutzgutes Klima ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das nähere Umfeld des geplanten Bauvorhabens:

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

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltluftshaushaltes innerhalb des Planungsgeländes sowie dessen Auswirkungen auf die Umgebung gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der

Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar.

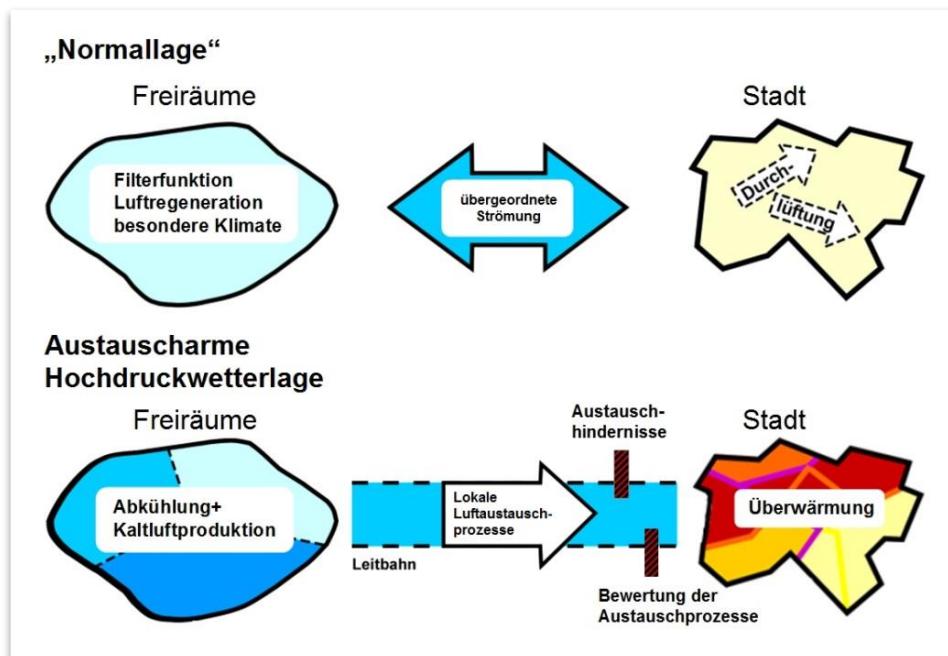


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Diese Wetterlage wird wegen der belastenden Wirkung auf die Gesundheit des Menschen unter besonderer Beachtung von Älteren, Kranken und Kindern zur Beurteilung der bioklimatischen Situation gemäß VDI-RL 3785 Blatt 1 herangezogen. Die Nachtsituation ist dahingehend von Relevanz, da nur dann unter den windschwachen Bedingungen eine im Vergleich zu Siedlungsflächen intensivere Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation erfolgt. Dabei entstehen je nach Größe unterschiedliche Mengen an Kaltluft, welche als lokale Strömungssysteme Kalt-/Frischluft für den Siedlungsbereich liefern und dort die Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeperioden abmildern können. Dargestellt wird eine windschwache, austauscharme sommerliche Wettersituation für die Monate Juli / August.

1.1 Untersuchungsgebiet und Bebauungsplan VBB-J 41

Die Abgrenzung des Vorhabengebietes „Quartier 22“ umfasst ein ca. 2900m² großes Areal in Jena westlich der Saale und befindet sich zwischen den Straßen *Frauengasse*, *Steinweg* und *Am Eisenbahndamm* (**Abb. 1.2**). Das Areal ist im derzeitigen Zustand als Parkplatz ausgewiesen und stark versiegelt, im westlichen Planareal befindet sich ein 2-stöckiger Gebäudekomplex. Mit der beabsichtigten Umnutzung des Areals soll dieses Gebäude abgerissen werden.



Abb. 1.2: 3D-Luftbildausschnitt mit den farblich hervorgehobenen Straßenzügen und dem violett markierten Areal für das Planvorhaben VBB-J 41, „Quartier 22“ in Jena. Blickrichtung aus Ost. (Quelle: Google Earth, Satellitenbild: Landsat/Copernicus, Aufnahmedatum: 15.06.2022)

Westlich an das Plangebiet angrenzend liegt ein Wohnviertel, dass sich durch mehrgeschossige Wohngebäude auszeichnet. Südlich des Plangebietes befindet sich das Gelände eines Kindergartens. Östlich grenzt die Hauptverkehrsstraße *Am Eisenbahndamm* an, mit dem angrenzenden und namengebenden Bahndamm und dahinter liegendem Saaleufer. Nördlich des Planareals befinden sich Gewerbegebiete.

Das Untersuchungsgebiet ist durch die innerstädtische und verkehrsreiche Lage durch stark versiegelte Flächen geprägt, die vereinzelt straßenbegleitendes Grün aufweisen. Die Ergebnisse der gesamtstädtischen Klimaanalyse für Jena, welche parallel zum vorliegenden Gutachten durch GEO-NET erstellt wird und derzeit noch in Bearbeitung ist, zeigen bereits, dass im Bereich des Plangebietes mit einer ungünstigen humanbioklimatischen Situation zu rechnen ist.

Orografisch gesehen ist das Plangebiet durch die Nähe zur Saale im flacheren Talgebiet angesiedelt, die Nähe zu den Erhebungen *Landgraf* im Nordwesten und *Kernberge* im Südosten, können als Quelle für Frischluftzufuhr durch orografisch bedingten Kaltluftabfluss in die Stadt Jena angenommen werden.

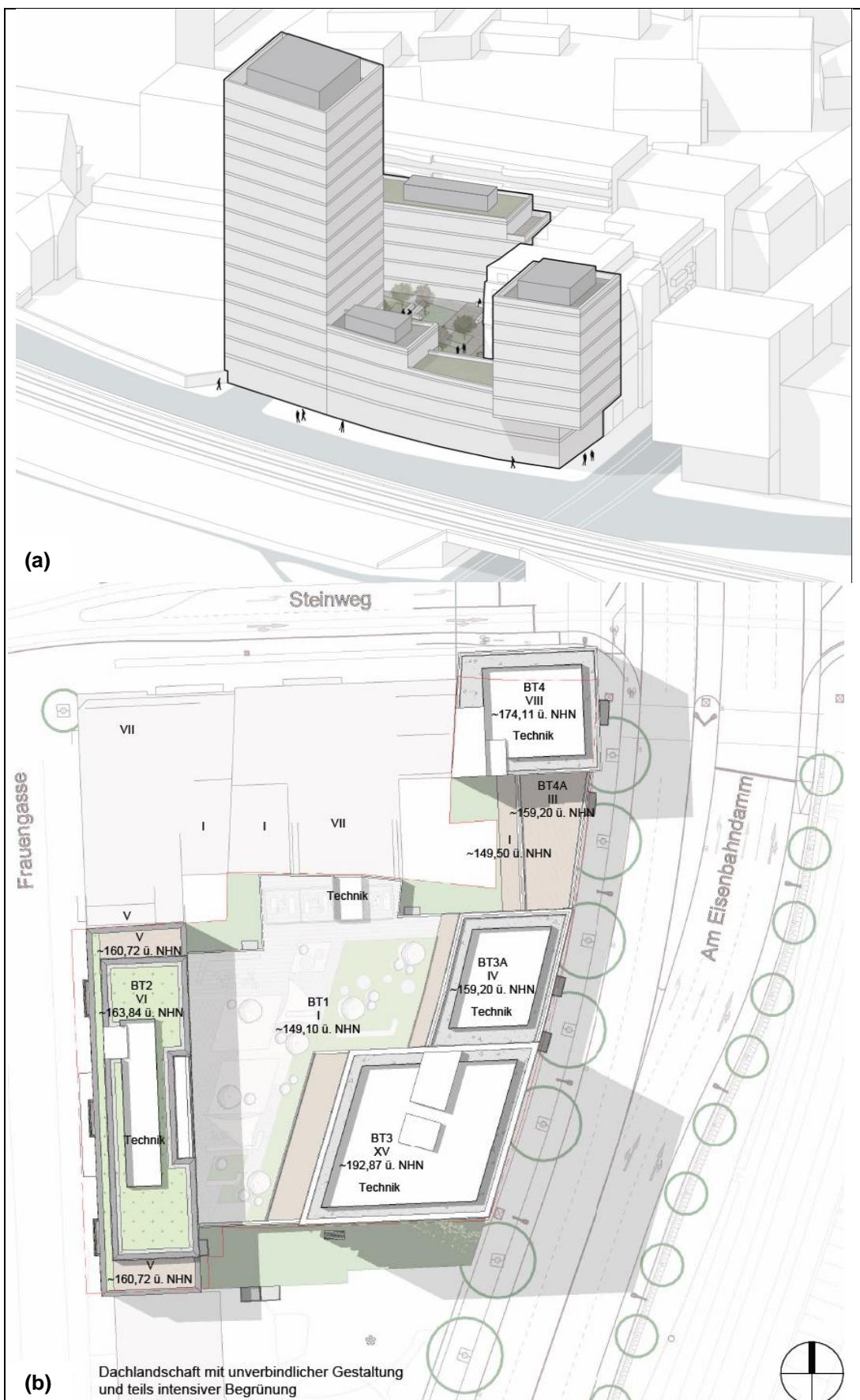


Abb. 1.3: Vorhabenplan aus Vogelperspektive (a) und Konzept der Dachnutzung (b) zum Bebauungsplan VBB-J 41 „Quartier 22“ (Quelle: AS+P Albert Speer + Partner GmbH, Stand: November 2023).



Das Konzept zum geplanten Bauvorhaben „Quartier 22“ ist in **Abb. 1.3** dargestellt und wurde durch AS+P Albert Speer + Partner GmbH bereitgestellt. Das Planareal wird dabei fast vollständig bebaut und soll aus mehreren Bauteilen bestehen, die sich in ihrer Größe und vorgesehenen Nutzung unterscheiden. Vorgesehen sind neben Einheiten für Wohnen und studentisches Wohnen auch Gewerbe- und Büroeinheiten, sowie ein Dachgarten auf dem Dach von Bauteil 1 zur gemeinschaftlichen Nutzung für die Bewohner der Appartements in Bauteil 3, als auch einer Terrasse auf Bauteil 4A. Als Hochpunkte ragen die Bauteile 3 und 4 mit jeweils 15 und 8 Geschossen, entsprechend einer Höhe von jeweils etwa 48m und 28m, heraus. Bauteil 2 ist zur Wohnnutzung mit 6 Stockwerken und einer Höhe bis etwa 20m geplant. Die übrigen Bauteile verteilen sich auf 1 bis 4 Geschosse. Die umliegende Bebauung weist ähnliche Höhenniveaus wie der geplante Gebäudekomplex im Plangebiet, mit Ausnahme des Hochhauses (BT 3), auf.



2. Methode

2.1. Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH 3D durchgeführt. Bei diesem numerischen Modell müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe (**Abb. 2.1**) 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. **Abb. 2.2** zeigt die in das Modell eingehenden Nutzungsklassen in einer Auflösung von 5m für die Modellrechnungen des derzeitigen „Ist“ und des vorgesehenen „Plan“-Zustandes.

Die Aufbereitung der Modelleingangsdaten für den Istzustand erfolgte auf Basis der bereits aus der Stadt-klimaanalyse Jena vorliegenden Daten. Anhand der Planentwürfe, die uns vom planungsführendem Büro *AS+P Albert Speer + Partner GmbH* bereitgestellt wurden, wurden die daraus abgeleiteten neuen Nutzungs-klassen im Plangebiet als Eingangsdaten für den Planzustand in das Modell übertragen. Auf dieser Grundlage wurden den Rasterzellen, die das geplante Gebäude repräsentieren, eine individuelle Strukturhöhe zugewie-sen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m können Gebäudestrukturen, so weit wie möglich, realitätsnah erfasst sowie ihr Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abgebildet werden. Modellseitig kann die Dachbegrünung nur als extensive Dachbegrünung umgesetzt werden. Dachbegrünung auf niedrig-geschossigen Gebäuden (ungefähr < 6m ü.Gr.) kann sich bioklimatisch positiv auch auf den umliegenden Außenraum einschließlich Fußgängerniveau auswirken. Höhergeschossige Dachgärten hingegen sorgen zwar für ein angenehmeres Aufenthaltsklima auf dem Dach und reduzieren die Erwärmung des darunterliegenden Dachgeschosses, haben jedoch keine relevante Wirkung auf Fußgängerniveau. Im vorliegenden Gutachten zur Bioökologie wird jedoch ausschließlich das Fußgängerniveau im Außenraum betrachtet.

Um auch die Auswirkungen der klimaökologischen Prozesse der umliegenden Umgebung auf das Planareal zu berücksichtigen, wurde das Untersuchungsgebiet entsprechend auf eine Größe von etwa 1,7 x 1,8km fest-gelegt (s. **Abb. 2.1**). Angetrieben wurde das Modell FITNAH hierbei mit dem aus der Stadtklimamodellierung der Stadt Jena erhaltenem autochthonem Windfeld. Über vorgegebene Randbedingungen und Dämpfungs-faktoren wird hierbei die lokale Strömung mit dem übergeordneten Antrieb aus der Stadtklimaanalyse Jena gewichtet. Somit werden Strömungen bspw. von Kaltluftbahnen, die außerhalb des Untersuchungsgebietes ihren Ursprung haben, ebenso im Modellgebiet berücksichtigt, wie lokale Strömungen und Flurwinde, die sich aufgrund der entsprechenden Nutzung ausbilden.

In Kapitel 3 werden die Ergebnisse der Klimasimulation erläutert, wobei die Ergebnisse eine windschwache Sommernacht als „Worst-Case“-Situation repräsentieren.



Abb. 2.1: Geländehöhe aus dem digitalem Geländemodell für das betrachtete Untersuchungsgebiet.

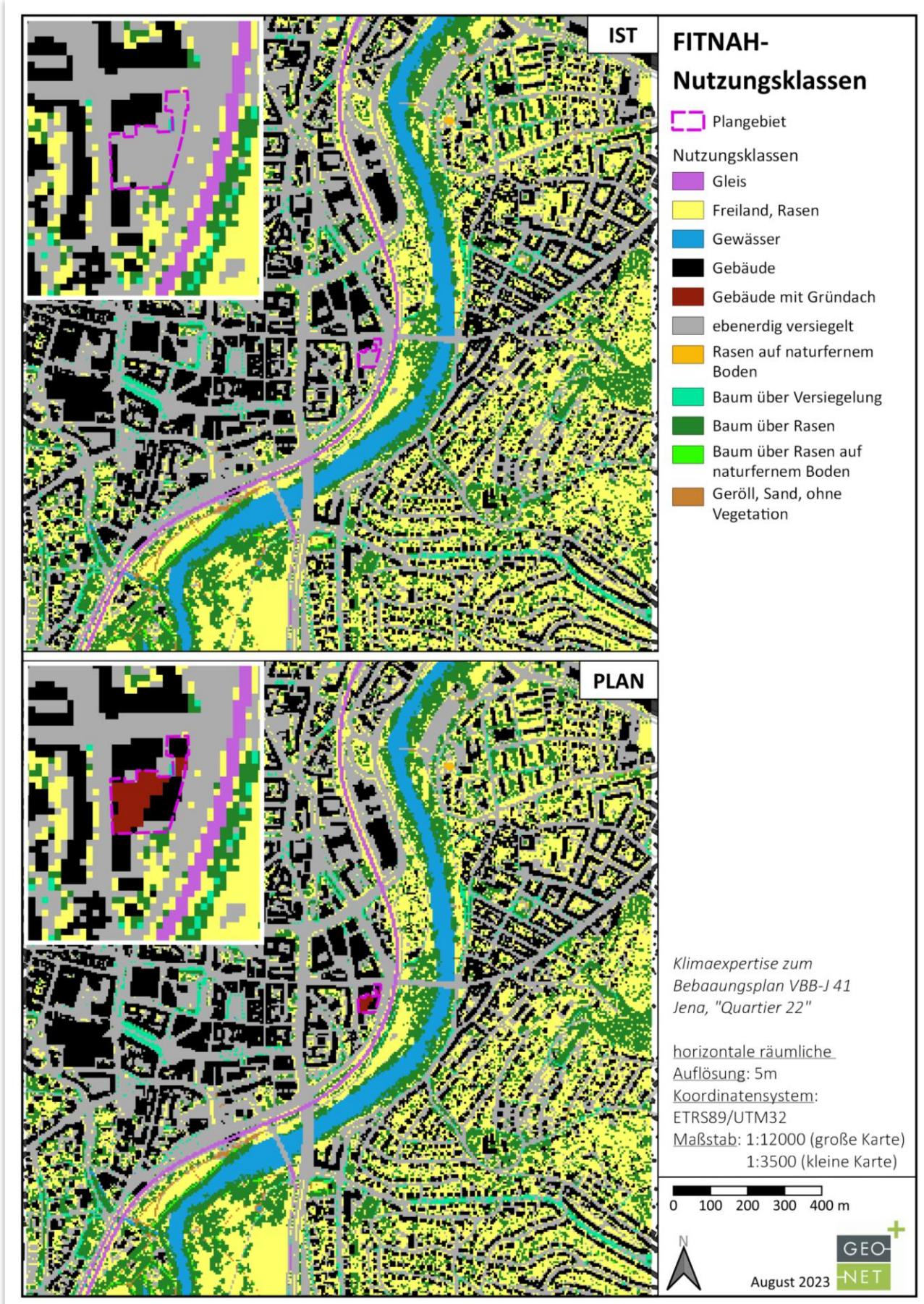


Abb. 2.2: Darstellung der für die Modellierung des Untersuchungsgebietes vergebenen Nutzungsklassen.



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 durchgeföhrten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

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

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

2.3. Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom

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

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden der Parameter Kaltluftvolumenstrom über eine z-Transformation standardisiert¹. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (**Abb. 2.3**).

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

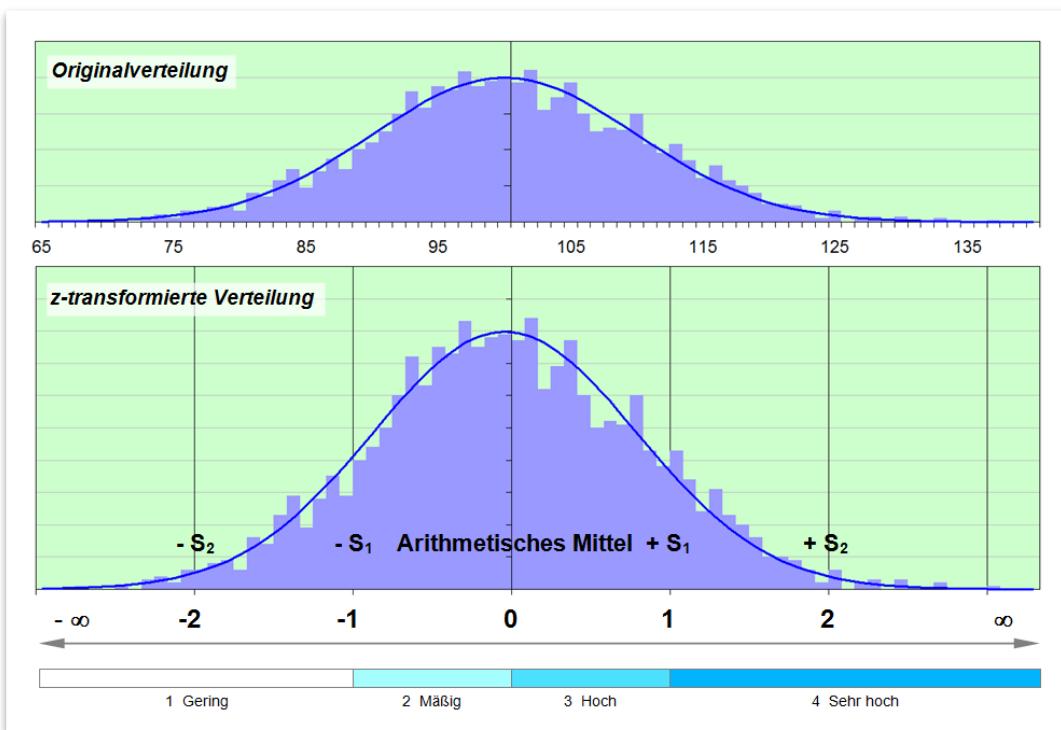


Abb. 2.3: Beurteilung des Werteneiveaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.



3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Strömungsfeld und Kaltluftvolumenstrom in **Kap. 3.1** erläutert. Die Ergebnisse werden für den Istzustand sowie der Planvariante für die zweite Nachthälfte (Kaltlufthaushalt um 4 Uhr morgens) dargestellt. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtclimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmtten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Der 4 Uhr MEZ Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Die sommerliche Wärmelastung während der Tagesstunden wird über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt und in **Kap. 3.2** beschrieben. In Abgrenzung zur Lufttemperatur handelt es sich hierbei um die tatsächlich empfundene Temperatur. Ihre Ausprägung wird vor allem über die Intensität der Sonneneinstrahlung bestimmt. Des Weiteren wird sich der Schwerpunkt der Ergebnisdarstellung auf das Fußgängerniveau im Umfeld des Planvorhabens beschränken, da im Wesentlichen die Nutzungsänderungen zwischen den modellierten Szenarien Ist- und Planzustand innerhalb des Planareals darin bestehen, versiegelte Flächen in bebaute Flächen umzuwandeln und sich somit der Anteil der Flächen auf Fußgängerniveau signifikant verringert und keine detaillierten Aussagen zu Änderungen der klimaökologischen Parameter innerhalb des Plangebietes zulassen.

3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt

3.1.1 Lufttemperatur

A. Allgemeines

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

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



-
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion.

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüngeprägten 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 Luftsabstoffe. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts in 2 m Höhe, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage kühlere Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

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

Abb. 3.1 zeigt einen auf das Planareal konzentrierten Ausschnitt des modellierten Untersuchungsgebietes für das mit dem Klimamodell FITNAH berechnete Temperaturfeld der Lufttemperatur in 2m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens. Dargestellt sind der derzeitige Istzustand (oben links), die Planvariante (oben rechts) und die sich aus den beiden Szenarien ergebende absolute Differenz (unten links), welche üblicherweise in der Einheit Kelvin (K) angegeben wird.

B. Ergebnisse aus dem Ist-Zustand

Die Temperaturverteilung für den modellierten derzeitig angenommenen Ist-Zustand ist räumlich differenziert, da Areale mit Bebauung, Verkehrs- sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Die höchsten Temperaturen von 18,5°C und höher treten insbesondere im Straßenverkehrsraum auf. Die hohen Temperaturen gehen hier auf die höhere Oberflächenversiegelung zurück, da die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Asphalt, Beton und Stein deutlich reduziert wird. Ein hohe Wärmespeicherkapazität führt dazu, dass die tagsüber aufgenommene Strahlungsenergie bis tief in die Nacht in Form von Wärmeenergie an die Umgebung abgeben wird. Über Grünflächen ist das Temperaturniveau gegenüber den Straßenflächen teils um bis zu 2-3K reduziert. Hier bewegt sich die nächtliche Lufttemperatur im Bereich zwischen 15°C und 17°C, da hier eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Mit Bäumen bestandene Grünflächen, als auch mit Bäumen bestandene versiegelte Flächen, weisen gegenüber denselben Flächen



ohne Bewuchs ein um 0,5 K bis etwa 1,5 K höheres Temperaturniveau auf, da hier die Wärmeausstrahlung, je nach Dichte des Baumbestandes, durch das Kronendach behindert wird.

Das berechnete nächtliche Temperaturfeld umfasst innerhalb des abgebildeten Kartenausschnittes unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von etwa 4K und erreicht dabei Werte zwischen 15,1°C und 19,1°C für den Ist- als auch den Planzustand. Die mittlere Temperatur im Kartenausschnitt liegt für beide Szenarien bei 17,5°C.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Mit der geplanten Realisierung des Planvorhabens zeigen die Ergebnisse innerhalb und außerhalb des Vorhabengebietes keine wesentlichen Änderungen in den Temperaturwerten auf Höhe des Fußgängerniveaus gegenüber dem Istzustand.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Negative Abweichungen werden in blauen Farbabstufungen dargestellt, positive Temperaturabweichungen in roten Farbabstufungen. Abweichungen im Temperaturniveau, welche sich innerhalb des Wertebereiches von +/-0,5K befinden, werden als unwesentlich für das thermische Empfinden eingestuft und bleiben in der Farbdarstellung unberücksichtigt. Für das gesamte Untersuchungsgebiet sind keine signifikanten Auswirkungen auf das nächtliche Temperaturfeld durch das Planvorhaben feststellbar.

Insgesamt zeigt sich aus der berechneten Differenz zwischen den simulierten Planungs- und Istzustand unter der Annahme einer autochthonen Wetterlage, dass aufgrund des stark versiegelten Charakters des Untersuchungsgebietes und der daraus resultierenden, im Ist-Zustand bereits vorherrschenden nächtlichen thermischen Belastungsstufe, keine wahrnehmbaren Änderungen im Temperaturniveau für die angrenzende Umgebung zu erwarten sind.

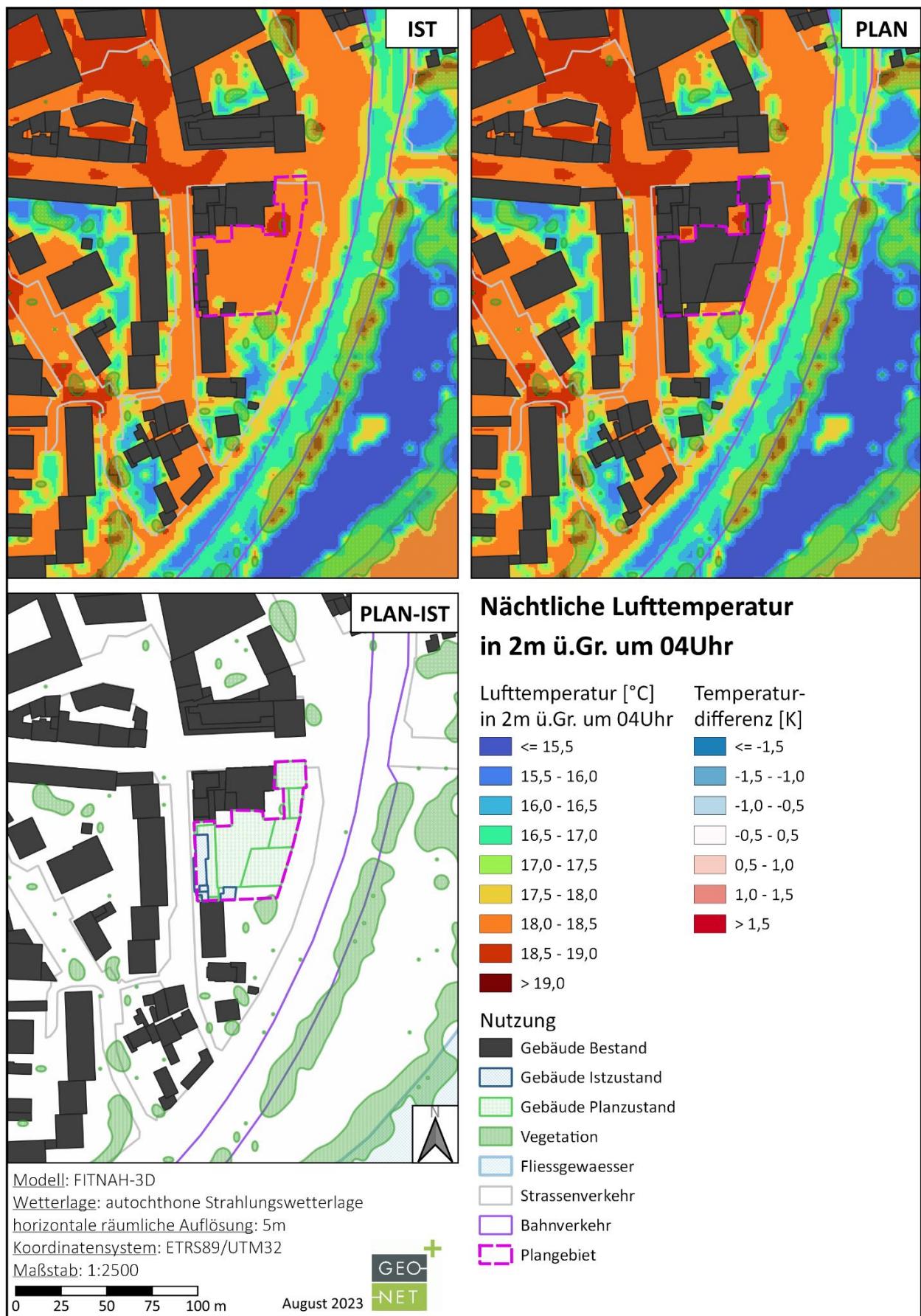


Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).

3.1.2 Kaltluftströmungsfeld

A. Allgemeines

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieser Prozesse sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (**Abb. 3.2**). An den geneigten Flächen setzt sich außerdem abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So können z.B. an Hängen nächtliche Kaltluftabflüsse entstehen (u.a. Mosimann et al. 1999).

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

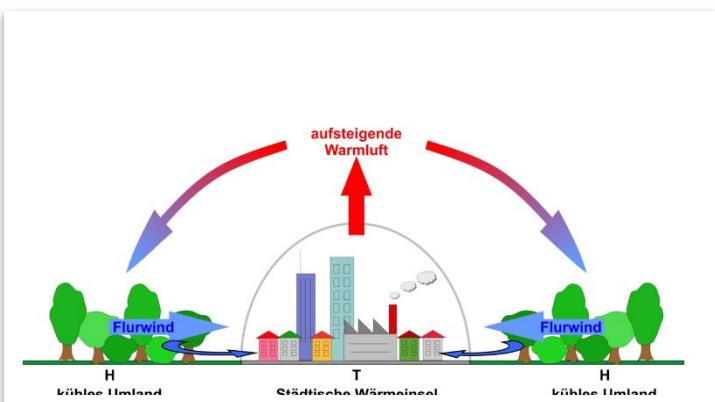


Abb. 3.2 Prinzipskizze Flurwind (Quelle: DWD)

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie dichte Baumbestände und Bauten abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die großräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden, je nach lokalen Bedingungen, im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Ergebniskarten stellen das zum nächtlichen Analysezeitpunkt 04:00 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 15 m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters, für die eine Mindestwindgeschwindigkeit von $\geq 0,1 \text{ m/s}$ und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.



Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, inwieweit sich die Umsetzung des Bauvorhabens auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. **Abb. 3.3** zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für das Istzustand (oben links), das Planszenario (oben rechts) und die sich aus den beiden Szenarien ergebende Differenz (unten links) in 2m über Grund. Die dargestellten Windfelder stellen die Strömung dar, die sich während einer sommerlichen und windstillen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Strömungsrichtung der Kaltluft wird sowohl durch den Temperaturgradienten hin zu den wärmeren Siedlungsflächen als auch durch das Relief bestimmt. Wie in **Kapitel 1.1** beschrieben, ist das Gelände im Untersuchungsraum im Wesentlichen durch das Relief der Erhebungen im Nordwesten (Landgraf) sowie im Südosten (Kernberge) und den Niederungen des Saaletals geprägt. Die sich aus den nahen Hügeln ergebende Hangneigung trägt maßgeblich zur Belüftung der Stadt Jena bei. Im Planareal selbst ist das Relief vernachlässigbar und die städtischen Strukturen sorgen für eine massive Abbremsung der Flurwinde.

B. Ergebnisse aus dem Ist-Zustand

Für den Istzustand ergeben sich innerhalb des Kartenausschnittes unterschiedlich stark ausgeprägte Windgeschwindigkeiten, wobei insgesamt betrachtet der Wind aufgrund der städtisch dichteren Bebauung schwach ausgeprägt ist. Der Wind strömt hier maßgeblich bestimmt durch den Temperaturgradienten zwischen den östlich der Saale liegenden, kühlen Grünflächen und den urban überwärmten Siedlungsflächen (Vgl. **Abb. 3.1**) mit Geschwindigkeiten von etwa 0,2m/s bis 0,4m/s nach Nordwesten in die Stadt. In der Frauengasse verringern sich die Windgeschwindigkeiten im Lee der Gebäude auf deutlich unter 0,1m/s, während sich der Wind im Steinweg aufgrund der kanalierenden Wirkung der Bebauung auf Windgeschwindigkeiten von teilweise über 0,4m/s verstärkt. Das Plangebiet selbst wird von dem Wind mit Geschwindigkeiten von etwa 0,15m/s bis 0,25m/s durchströmt und fließt zwischen den Gebäuden Frauengasse 4 und Steinweg 27 wieder hinaus. Innerhalb des Kartenausschnittes fließt der Wind mit durchschnittlich 0,12m/s durch das Gebiet.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Im Planszenario ergeben sich leichte Änderungen im Strömungsmuster, da der geplante Gebäudekomplex durch seine Ausmaße als massiver Strömungswiderstand wirkt. So sinken im Luv und direkter Nähe zum Neubau die Windgeschwindigkeiten durch Windstau auf unter 0,1m/s im Vergleich zum Istzustand. Ebenfalls leicht verringerte Windgeschwindigkeiten treten südöstlich des Planareals bis zum Bahndamm auf. An der Kreuzung Steinweg/Am Eisenbahndamm im Nordosten, sowie in der Frauengasse verstärkt sich der Wind gegenüber dem Istzustand, da die Luftmassen das Gebiet nicht mehr durchströmen können, sondern nun das geplante Gebäude umströmen. Das Gebiet innerhalb des Kartenausschnittes wird im Mittel mit Windgeschwindigkeiten von 0,11m/s durchströmt.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenzenabbildung macht eine Beeinflussung des Planvorhaben auf das berechnete Kaltluftströmungsfeld präzise sichtbar. Lila Farbabstufungen kennzeichnen dabei eine Abnahme der ermittelten Geschwindigkeit im Planzustand gegenüber dem Istzustand, die grünen Farbabstufungen eine Zunahme. Differenzen, die unterhalb 0,05m/s betragen, werden als unerheblich eingestuft und sind weiß dargestellt.

Wesentliche Abnahmen der Windgeschwindigkeit von mehr als 0,05m/s begrenzen sich hierbei auf das Plangebiet, sowie in dem zwischen Frauengasse 4 und Steinweg 27 liegenden Bereich und den südöstlich liegenden Arealen bis zum Bahndamm. Zunahmen der Strömungsgeschwindigkeit bis etwa 0,15m/s sind, aufgrund der durch das Plangebäude umgelenkten Windströmung, im Bereich von Steinweg 10 und in der Frauengasse zu erwarten.



Insgesamt ist festzuhalten, dass die im Kartenausschnitt sowohl im Ist- als auch im Planzustand berechneten Strömungsgeschwindigkeiten mit deutlich weniger als 1m/s nur schwach ausgeprägt sind, jedoch charakteristisch für innerstädtische Strukturen sind. Die sich aus beiden Szenarien ergebenden Veränderungen weisen auf eine Umlenkung der Luftmassen hin, die sowohl mit positiven als auch negativen Änderungen in den Strömungsgeschwindigkeiten, sowie mit Richtungsänderungen einhergehen. In Anbetracht der ermittelten Ergebnisse zur nächtlichen Lufttemperatur aus **Kapitel 3.1.1** hat das veränderte Strömungsverhalten im Planzustand aufgrund der geringen Ausprägung der Windgeschwindigkeit und des stark versiegelten innerstädtischen Charakters keine zu erwartenden signifikanten Auswirkungen auf die nächtliche bioklimatische Situation.

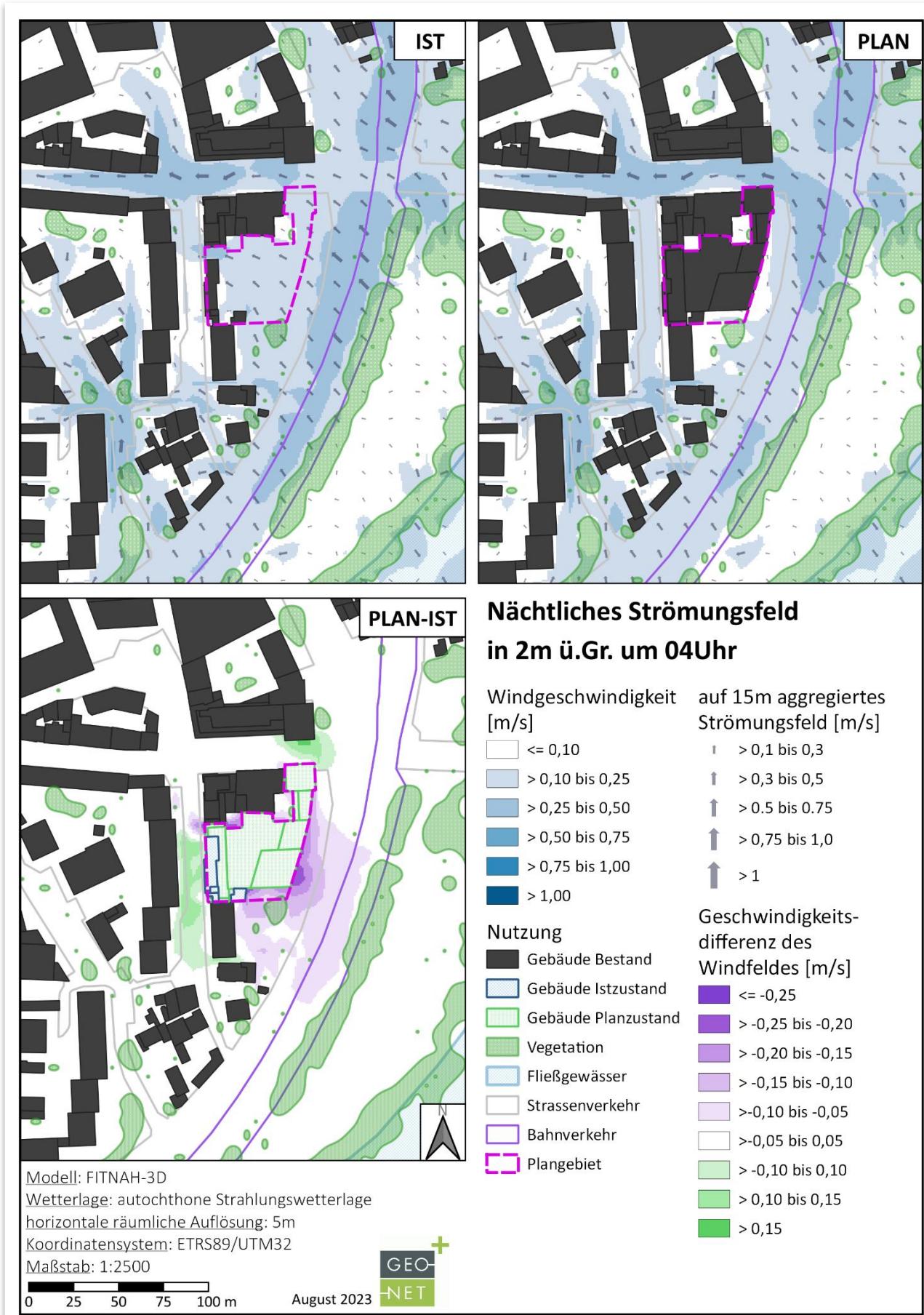


Abb. 3.3: Bodennahes Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).

3.1.3 Kaltluftvolumenstrom

A. Allgemeines

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

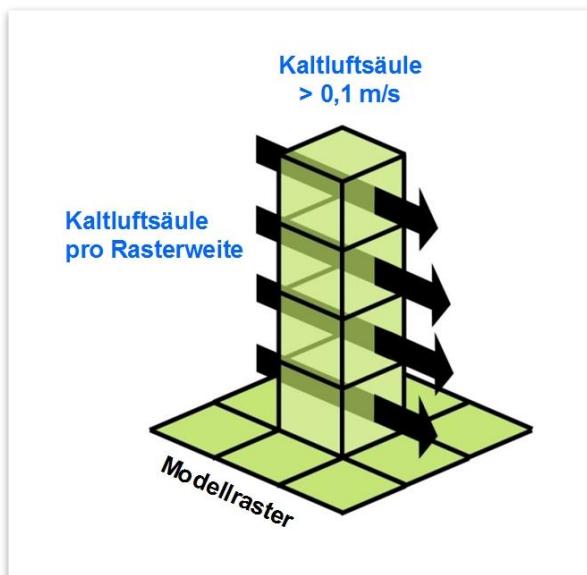


Abb. 3.4 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für dargestellten Ergebnisse bedeutet dies folgendes: Da die Mоделлерgebnисse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 5 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Diesen Wert kann

man sich veranschaulichen, indem man sich ein 5 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte (**Abb. 3.4**). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

Abb. 3.5 zeigt die Kaltluftvolumenstromdichten (KVSD) mit dem modellierten Strömungsfeld, das als aggregiertes Windfeld überlagert ist. **Abb. 3.6** stellt die aus der z-Transformation ermittelte Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms als qualitative Abstufung dar. Abgebildet sind dabei jeweils der Istzustand (oben links) und der Planfall (oben rechts). Die sich aus den beiden Szenarien ergebende Änderung des Kaltluftvolumenstroms wird in **Abb. 3.5** (unten links) als Differenz in **absoluten** Zahlen dargestellt, in **Abb. 3.6** (unten links) als prozentuale bzw. **relative** Abweichung gegenüber dem Istzustand.

B. Ergebnisse aus dem Ist-Zustand

Die Ausprägung der Kaltluftvolumenstromdichte im Vergleich zu den mittleren Verhältnissen im modellierten Untersuchungsraum variiert innerhalb des Kartenausschnittes zwischen *mäßig* und *hoch* und ist in direkter Nähe zu Gebäuden teilweise nur *gering* ausgeprägt. Im Süden des Plangebietes liegen die Werte der KVSD unter $15 \text{ m}^3/(\text{m s})$, östlich des Plangebietes überwiegend über $15 \text{ m}^3/(\text{m s})$. Höhere Werte von zum Teil mehr



als $20 \text{ m}^3/(\text{m s})$ werden im Wohnviertel zwischen Frauengasse und Am Rähmen, im Steinweg, sowie nördlich davon erreicht. Südlich der Frauengasse 4 erreicht die KVSD teilweise kaum Werte von $10\text{m}^3/(\text{m s})$.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Mit den geänderten Strömungsverhältnissen am Boden (Vgl. Kap. 3.1.2) geht auch eine Änderung der KVSD einher. Zunahmen der KVSD gibt es im Bereich Steinweg/Am Eisenbahndamm, wo die Werte $20 \text{ m}^3/(\text{m s})$ übersteigen. Für die Frauengasse werden mit über $10 \text{ m}^3/(\text{m s})$ deutlich höhere Werte gegenüber dem Istzustand ermittelt. Eine Änderung der KVSD führt auch zu Änderungen in der Ausprägung der KVSD. Diese erhöht sich insbesondere und unmittelbar östlich des Plangebiets.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Anders als bei Belastungen durch Luftschaudstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltluftshaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Laut der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) stellt eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 Prozent eine „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ dar. Dies ist insbesondere für bioklimatisch belastete Siedlungsgebiete heranzuziehen, was in der Stadtklimaanalyse für das Plangebiet ermittelt wurde. Eine Verringerung um 5 bis 10 Prozent wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen. Abnahmen der KVSD werden in der Differenzenabbildung in braunen Farbabstufungen dargestellt, Zunahmen in grünen Farbabstufungen.

Die prozentuale Abweichung der Kaltluftströmung gegenüber dem Istzustand wird in **Abb. 3.6** (unten) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass planungsbedingt eine deutliche Abnahme als auch eine deutliche Zunahme der KVSD mit Werten weit über 10 Prozent in beide Richtungen zu erwarten ist, wobei die Zunahme flächenmäßig überwiegt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bereits im Ist-Zustand aufgrund der innerstädtischen Lage überwiegend niedrige, jedoch für urbane Regionen typische Werte in der KVSD auftreten. Bei einer niedrigen KVSD (z.B. $12\text{m}^3/(\text{m s})$) können kleine, absolute Änderungen (z.B. $-2\text{m}^3/(\text{m s})$) zu signifikanten prozentualen Abweichungen ($>16\%$) führen. Während die absoluten Werte deutlich machen (**Abb. 3.5**), dass größere Abschwächungen bis $-10 \text{ m}^3/(\text{s m})$ in der KVSD in unmittelbarer Nähe des Planvorhabens gelegene Bereiche beschränkt sind, zeigt sich bei den prozentualen, als signifikant einzustufende Veränderungen (**Abb. 3.6**) ein etwas weitreichenderes Bild. Dabei wird ersichtlich, dass besonders in den Gebieten mit geringer, teilweise mäßiger Ausprägung der KVSD die prozentualen Differenzen am stärksten ausgeprägt sind (z.B. in der Frauengasse). Eine Reduzierung der KVSD über 10% zeigt sich dabei südlich und östlich von BT 3, nördlich von BT 4, sowie nordwestlich von BT 2. Diesen relativen Werten stehen absolute Werte von etwa $-10 \text{ m}^3/(\text{m s})$ unmittelbar am Gebäude bis etwa $-1 \text{ m}^3/(\text{m s})$ gegenüber. Negative Änderungen zwischen -5% bis -10% werden noch teilweise auf dem Steinweg und dem Inselplatz ermittelt, welchen absolute Änderungen von etwa -3 bis $-0,5 \text{ m}^3/(\text{m s})$ gegenüberstehen. Deutliche relative Zunahmen zeigen sich großflächig für die Frauengasse und das westlich angrenzende Wohnviertel mit deutlich über +10%, teilweise mehr als +60%, entsprechend einer absoluten Änderung im Bereich von +2 bis +7 $\text{m}^3/(\text{m s})$.

Zusammenfassend zeigt sich aus den vorliegenden Ergebnissen, dass bei einer Realisierung des geplanten Neubaus eine Umlenkung der Luftmassen um das Planvorhaben zu erwarten ist. Diese weist sich durch ausgeprägte Veränderungen in der Kaltluftvolumenstromdichte aus, die sich in der relativen Betrachtung als deutliche Ab- als auch signifikante Zunahmen darstellen. Im Zusammenhang mit der nächtlichen bioklimatischen Situation sind keine negativen Auswirkungen auf das thermische Wohlbefinden in der Nacht (**Kapitel 3.1.1**) im untersuchten Gebiet, insbesondere in den Wohngebieten, zu erkennen.

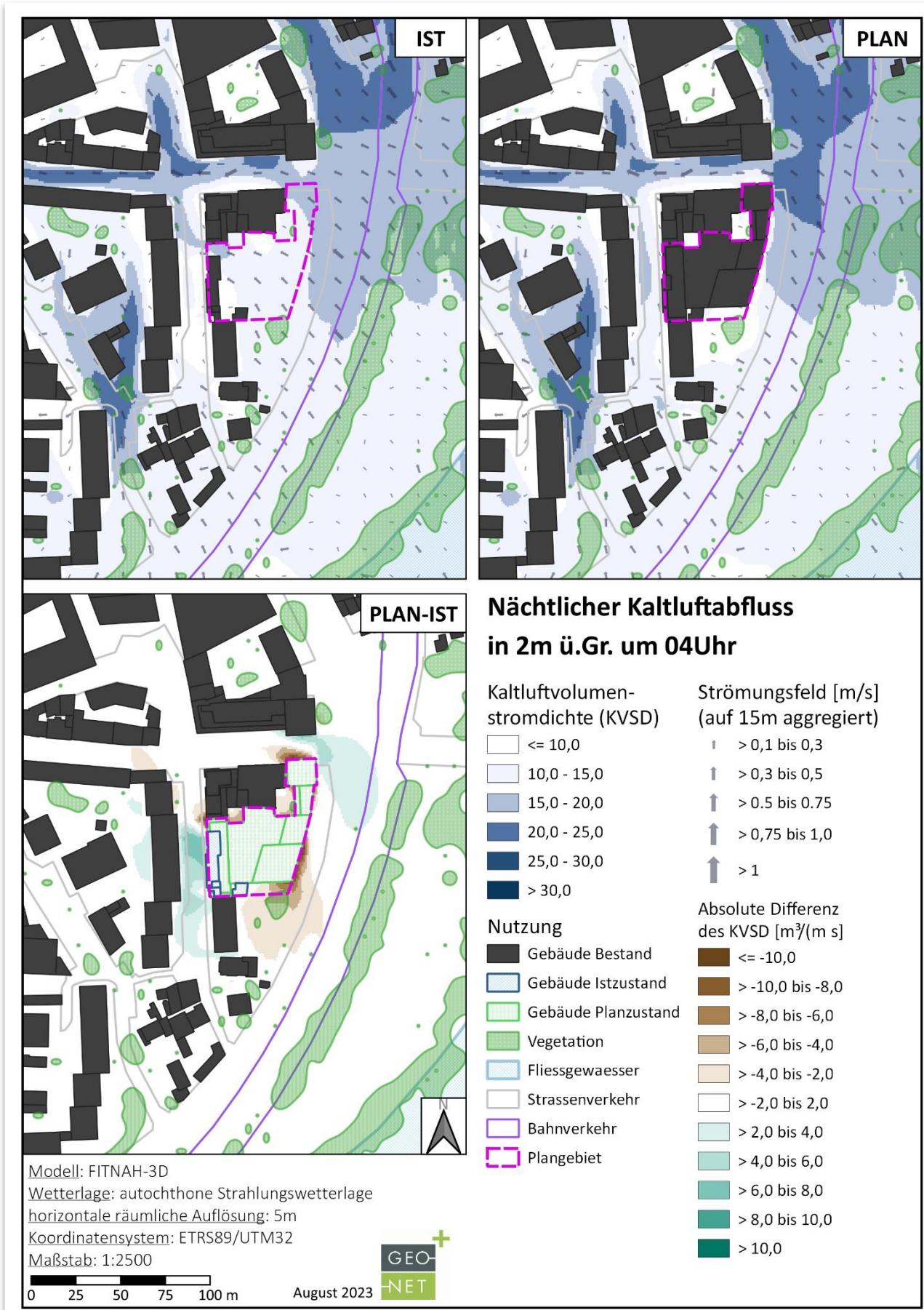


Abb. 3.5: Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und der relativen Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan- und Istzustand (unten links).

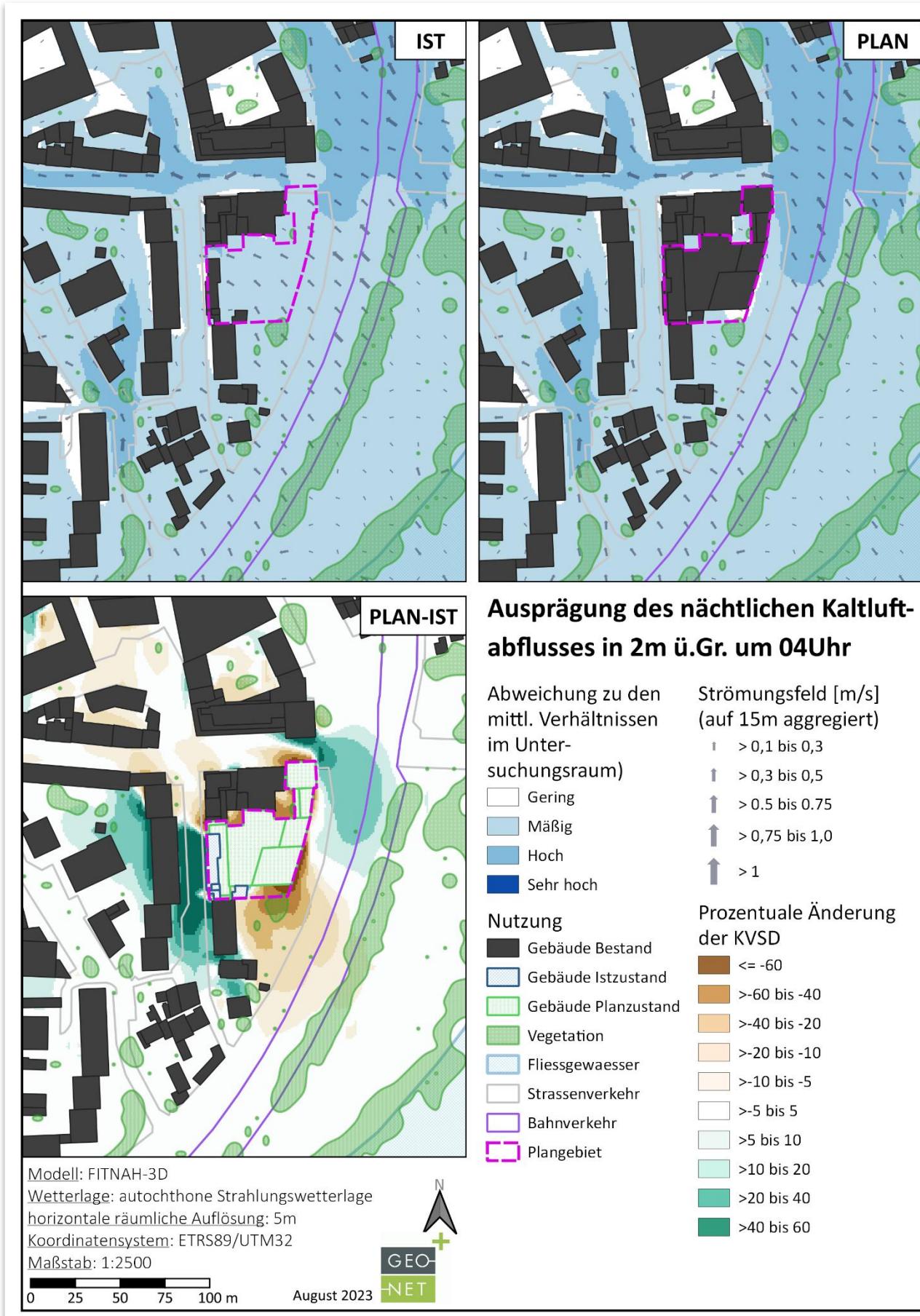


Abb. 3.6: Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms als Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum und bodennahes Strömungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und der relativen Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Plan- und Istzustand (unten links).



3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

A. Allgemeines

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

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

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 1.1; VDI 2004).

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	Schwache Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)

B. Ergebnisse aus dem Ist-Zustand

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage sowohl im Istzustand als auch im Planfall vor allem über die Verschattung durch Gebäude oder Bäume beeinflusst wird (**Abb. 3.7**).

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



Unter Baumschatten werden Werte zwischen 24°C am Saaleufer und 30°C über versiegelten Bereichen ermittelt, welches einer *schwachen* bis *mäßigen* thermischen Belastungsstufe entspricht. Je größer eine Baumgruppe oder Baumkrone ist, umso geringer fällt auch die Wärmebelastung unter dem Baumbestand aus. Im Gebäudeschatten werden Werte von etwa 30°C bis 33° ermittelt, welches einer *mäßigen* thermischen Belastung entspricht. In allen anderen Bereichen, welche überwiegend versiegelte Flächen darstellen, werden Werte von über 37°C bis über 41°C und damit eine *starke* bis *extreme* bioklimatische Belastung berechnet. Die Spannweite der PET beträgt innerhalb des dargestellten Kartenausschnittes über 27K bei Werten zwischen 18,0°C bis 45,0°C. Im Mittel beträgt die PET 35,3°C.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Bedingt durch die Ausmaße des geplanten Gebäudekomplexes zeigen die Ergebnisse des Planszenario für den 14Uhr Auswertezzeitpunkt größere Bereiche im Straßenraum um das Plangebiet herum als verschattet. Gegenüber einer vorher *starken* Belastung im Ist-Zustand, wird dort teilweise nur eine *mäßige* Belastung ermittelt. Ebenso leicht veränderte Temperaturwerte zeigen sich in der Frauengasse, welche auf eine geänderte Windströmung zurückzuführen sind und tendenziell zu einer leicht verringerten Wärmebelastung führen. Im übrigen Untersuchungsraum zeigen die Temperaturwerte ein gleichartiges Verhalten wie auch im Istzustand. Die Spannweite der ermittelten PET innerhalb des dargestellten Kartenausschnittes beträgt, wie im Istzustand, ebenfalls zwischen 18,0°C und 45,0°C. Das Mittel liegt mit 35,1°C geringfügig niedriger als im Istzustand.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenz der PET weist eine deutliche Abnahme im Temperaturfeld im Zusammenhang mit der durch das Planvorhaben auftretenden Verschattung im Straßen- und Fußwegebereich auf, besonders nordöstlich von BT 4, sowie östlich und südöstlich von BT 3A. Leichte Temperaturabnahmen sind auch in der Frauengasse festzustellen, die überwiegend als geringfügig eingestuft werden können. Ebenso zeigen sich leichte Temperaturzunahmen in unmittelbarer Nähe des geplanten Neubaus, die ebenso auf die Bebauung und geänderte Strömungsverhältnisse zurückzuführen sind.

Hinsichtlich der Wärmebelastung am Tage sind mit der einhergehenden Nutzungsänderungen im Plangebiet keine negativen Auswirkungen auf die bioklimatische Situation auf Fußgängerniveau zu erwarten. Die wesentlichen, positiv einzustufenden Änderungen in der PET beschränken sich auf die Flächen, die durch das Plangebäude verschattet werden und so für eine verringerte Wärmebelastung auf den Verkehrswegen sorgen.

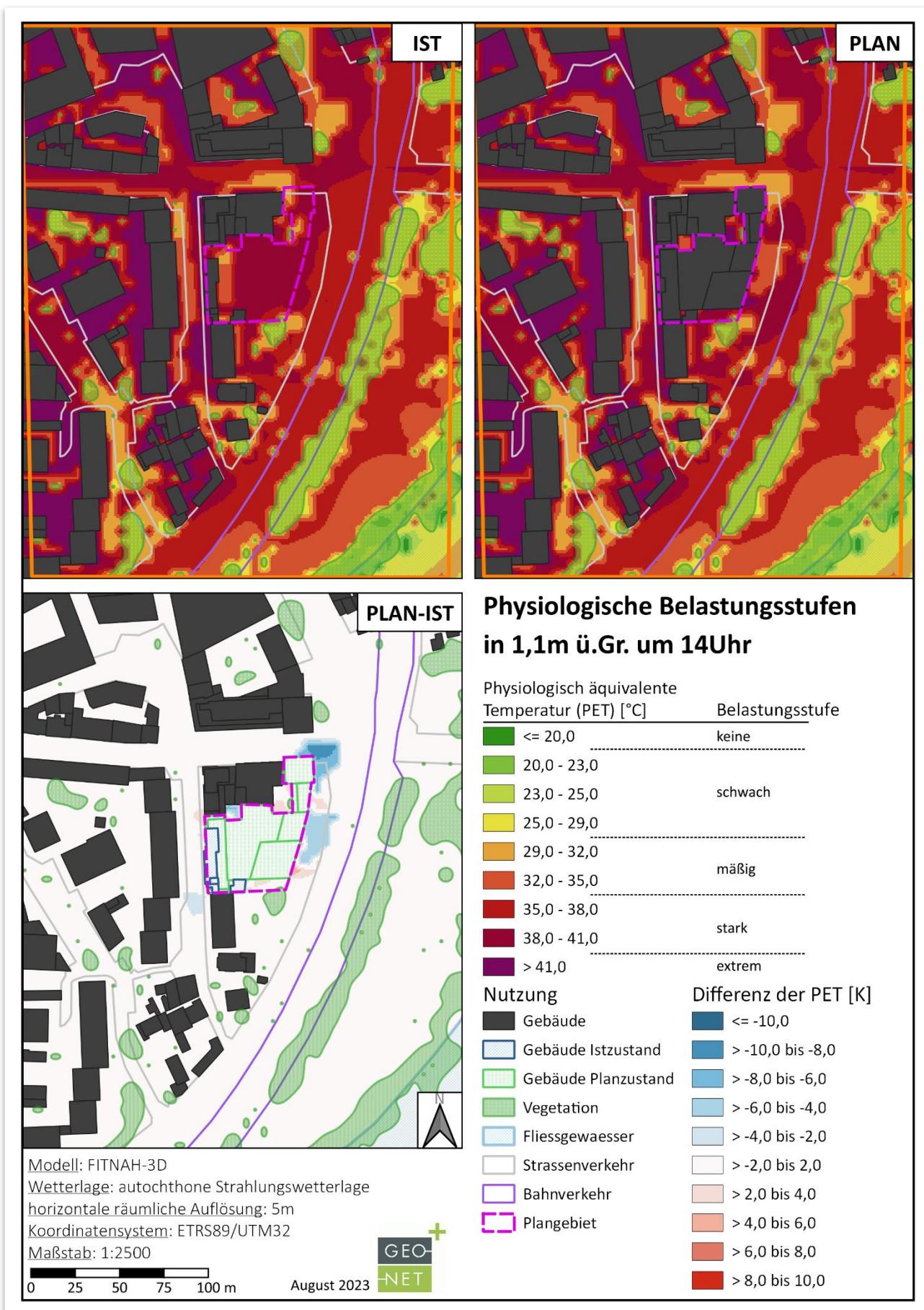


Abb. 3.7: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).



4. Fazit

Die vorliegende Untersuchung hat zum Ziel, die Auswirkungen einer Umsetzung des Planvorhabens auf den nächtlichen Kaltlufthaushalt sowie zur Wärmebelastung am Tage auf Fußgängerniveau zu bewerten. Für die klimaökologischen Auswirkungen lassen sich auf Grundlage der im Modell simulierten Klimaparameter folgende Ergebnisse zusammenfassen:

Die Untersuchung zur Wärmebelastung am Tage macht deutlich, dass Verschattung einen signifikanten Beitrag zur Minderung der Belastung leisten. Besonders Bäume erweisen sich als natürliche Verschattungselemente am Tage als wirkungsvoll. Vor allem in den bioklimatisch extrem belasteten Verkehrsflächen weisen verschattende Elemente (Bäume, Gebäude) eine deutliche Abkühlleistung auf und schaffen damit Bereiche, in denen das Gehen und Radfahren im Schatten ermöglicht wird. Die stärksten Änderungen, die bioklimatischen Belastung am Tage betreffend, sind laut den Modellergebnissen in den durch das geplante Gebäude verschatteten Bereichen zu erwarten.

Die Beeinflussung der nächtlichen Kaltluftströmung während austauscharmer sommerlicher Hochdruckwetterlagen durch das Planvorhaben zeigt sich in einer deutlichen Änderung des Strömungsfeldes und der Kaltluftvolumenstromdichte in den umgebenden Flächen. So zeigt sich aus den Ergebnissen, dass südlich des Plangebietes mit Abnahmen der KVSD zu rechnen ist, westlich davon, in der Frauengasse und dem angrenzenden Wohnviertel jedoch eine Zunahme der KVSD zu erwarten ist. Ebenso wurden um das BT 4 herum Zunahmen auch Abnahmen in der KVSD ermittelt. Im Steinweg und bis zum Inselplatz sind nach Bewertung auf Grundlage der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 noch mäßige Auswirkungen zu erwarten. Da sich die Abnahmen der KVSD jedoch im Wesentlichen auf Gebiete gewerblicher Nutzung und des Kindergartengeländes im Süden beschränken, die keiner nächtlichen Nutzung unterliegen, Zunahmen der KVSD hingegen für Wohngebiete ermittelt wurden, ist von keiner Verschlechterung des nächtlichen Wohlbefindens auszugehen. Des Weiteren sind keine Auswirkungen auf das nächtliche Temperaturfeld aufgrund des Planvorhaben laut den Modellergebnisse zu erwarten.

Abschließend lässt sich festhalten, dass sich aus den Ergebnissen der numerischen Simulationen keine Verschlechterung der Wärmebelastung am Tage, als auch in der Nacht durch Veränderungen bioklimatischer Parameter ableiten lassen.

[Ergänzend soll jedoch angemerkt werden, dass sich Auswirkungen auf die thermische Wärmebelastung am Tage im Zusammenhang mit der Fassadengestaltung ergeben können (z.B. Rückstrahlung durch helle Fassade, Reflexionen durch Glas), welche nicht durch diese Modellierung abgedeckt werden. Dies sollte insbesondere mit Hinblick auf das südlich des Planvorhaben gelegene Grundstück der Kindertagesstätte berücksichtigt werden.]



5. Planungshinweise

Die Empfehlungen zielen darauf ab, eine Verbesserung des Mikroklimas und des thermischen Komforts zu schaffen, soweit genügend Raum für Anpassungsmaßnahmen gegeben ist. Dahingehend lassen sich allgemeine Hinweise für den Geltungsbereich des vorliegende Planvorhabens festhalten, soweit diese nicht bereits Bestandteil desselben sind.

Schwammstadtprinzip

Im Allgemeinen sollte auf das Schwammstadtprinzip gebaut werden, welche durch Umsetzung spezifischer Maßnahmen den Rückhalt, die Speicherung und die Nutzung von anfallendem Niederschlagswasser ermöglichen. Dabei soll sich vom Prinzip der urbane Wasserhaushalt dem eines natürlichen Wasserhaushalts annähern. Eine damit einhergehende erhöhte Wasserverfügbarkeit trägt auch zur Hitzereduktion durch Transpirationskühlung bei. Folgende Maßnahme bilden den Grundsatz für eine Schwammstadt:

- Rigolen und Versickerungsmulden auf Grünflächen
- versickerungsfähige Beläge statt Vollversiegelung
- Dach- als auch Fassadenbegrünung
- Retentionsdächer, sowie Retentionsflächen

Der Rückhalt von Niederschlagswasser, sowie ein dezentrales und zeitverzögertes Ableiten und Versickern, verhindert einerseits den Verlust von Niederschlagswasser in die Kanalisation, als auch die Überlastung der Kanalisation durch zu schnellen Oberflächenabfluss bei extremen Niederschlagsereignissen. Außerdem ermöglicht das Speichern von Wasser in Rückhaltesystemen eine Bewässerung von Grünanlagen während Trockenperioden, z.B. für die Dachgärten.

Verschattung von Gebäuden

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

Verschattung und Abkühlung von Freiflächen und Straßenraum

Verkehrsbegleitendes Grün (Straßenbäume, Baumalleen, mobiles Grün) kann zur Hitzereduktion beitragen, insbesondere in den thermisch stärker belasteten Straßenräumen. Für die Begrünung sollten Trocken- und Hitzeresistente Pflanzenarten bevorzugt werden. Zur Abkühlung von Aufenthaltsflächen im Außenraum können auch Verdunstungsanlagen in Form von Brunnen, Fontänen oder Wasserspielen eingesetzt werden.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Die Dach- und Fassadenbegrünung zählen zu den effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen. Sie 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 Luftschatstoffe binden. Die Möglichkeiten bei der Realisierung einer Fassadenbegrünung werden allerdings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt.

Bei einer Dachbegrünung, wie sie im Bauvorhaben in Form von Dachgärten vorgesehen ist, wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegender Wohn- bzw. Aufenthaltsräume. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Lufttemperaturen 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.

Fassadenaufhellung

Während am Tage die direkte, kurzwellige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben. Neben einer hohen Grünausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass ein *erhöhtes Rückstrahlvermögen* in die umliegenden Flächen wiederum zu einer *erhöhten thermischen Belastung*, besonders auf Fußgängerniveau, führen kann.



6. Literatur

Jendritzky, G. (1990): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Hannover: Akad. für Raumforschung und Landesplanung.

Kuttler, W. (2013): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen : fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).

Mosimann, Th., P. Trute & Th. Frey (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99.

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

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

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



7. Glossar

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

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

Austauscharme Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthone Wetterlage: → Strahlungswetterlage

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

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

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

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

Inversion: Wenn am Tage bei intensiver Sonneneinstrahlung der Boden und die darüber lagernde Luft aufgeheizt werden, steigt diese auf und führt zu einer guten Durchmischung der Luftsicht. Die Temperatur der Luft nimmt dabei mit der Höhe allmählich ab. Während einer nächtlichen → Strahlungswetterlage kann eine umgekehrte Situation entstehen, bei der die oberen Luftsichten 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 Volumenstromdichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht³ bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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



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

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

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

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

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



Auftrag: Klimaökologische Begleitung des Planungsprozesses
VBB-J 41 Jena, Quartier 22

Standort: Jena, Bundesland Thüringen

Auftraggeber: GW Projects GmbH
Mierendorffstr. 3
60320 Frankfurt (Main)

Projektnummer: 2_23_051

Berichtsnummer: 2_23_051_Jena_Quartier22_rev01

Version: 01

Datum: 14.11.2023

Erstellt von: U. Vogelsberg

Dipl. Met. U. Vogelsberg

Die Erstellung der Stellungnahme erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach besten Wissen und Gewissen.
Die Stellungnahme bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers.