



**KLIMAÖKOLOGISCHES
GUTACHTEN
ZUM BEBAUUNGSPLAN
VBB-J 47
„SOLARHAUS
SAALBAHNHOFSTRASSE“
JENA**





Auftraggeber:

ImmVest Wolf GmbH

Maximilian-Welsch-Str. 6a
99084 Erfurt

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, Juni 2023, Rev.00



Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	4
1. Aufgabenstellung und Einleitung	5
1.1 Untersuchungsgebiet und Bebauungsplan VBB-J 47	7
2. Methode	9
2.1. Datengrundlage und Modellrechnung	9
2.2. Synoptische Rahmenbedingungen.....	12
2.3. Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom	12
3. Ergebnisse	14
3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt.....	14
3.1.1 Lufttemperatur.....	14
3.1.2 Kaltluftströmungsfeld.....	18
3.1.3 Kaltluftvolumenstrom	22
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 gelb markierten Areal für das Planvorhaben VBB-J 47 (Datenquelle: GOOGLE Earth, Mai 2023)	7
Abb. 1.3: 3D-Visualisierung (a) und Konzeptdarstellung (b), sowie Freiraum-Konzept (c) zum Bebauungsplan „Jena Solarhaus“ (Quelle: hks-architekten, Stand: Jan 2023).....	8
Abb. 2.1: Geländehöhe aus dem digitalem Geländemodell für das betrachtete Untersuchungsgebiet.....	10
Abb. 2.2: Darstellung der für die Modellierung des Untersuchungsgebietes vergebenen Nutzungsklassen.....	11
Abb. 2.3: Beurteilung des Werteneivaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.	13
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).	17
Abb. 3.2 Prinzipskizze Flurwind (Quelle: DWD)	18
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).	21
Abb. 3.4 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	22
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 ImmVest Wolf 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 47, „Solarhaus Saalbahnhofstraße“, 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.

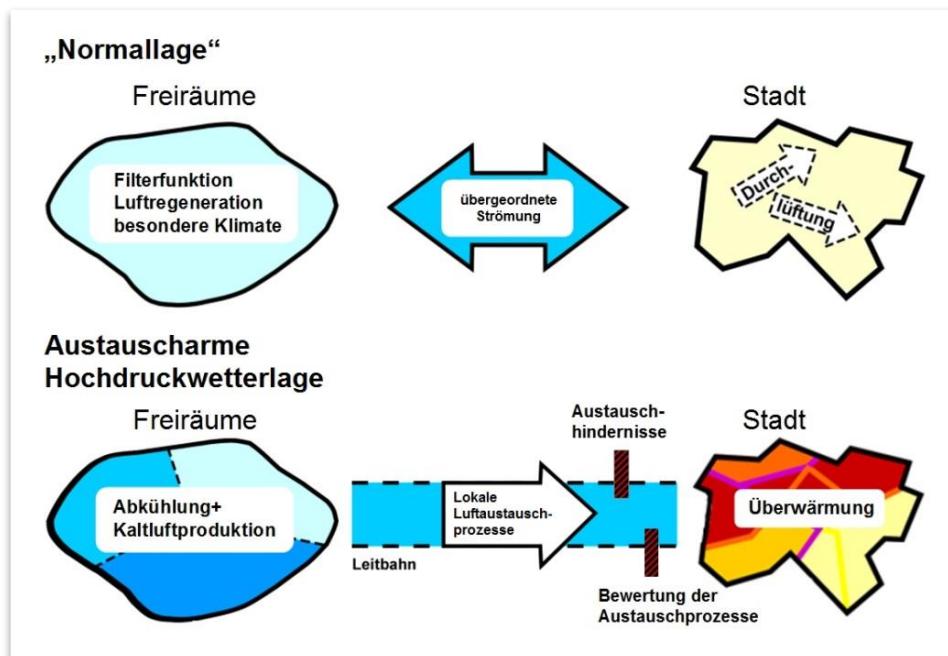


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

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 47

Der Geltungsbereich des Planvorhabens „Solarhaus Saalbahnhofstraße“ umfasst ein ca. 4160m² großes Areal südlich des *Spittelplatz* im Stadtteil *Jena-Zentrum* westlich der Saale und ist begrenzt durch die *Saalbahnhofstraße*, *Am Anger* und der *Käthe-Kollwitz-Straße* (**Abb. 1.2**). Das Areal ist im derzeitigen Zustand stark versiegelt und mit verschiedenen Gebäudekomplexen, zum Teil gewerblicher Natur, bebaut. Der nördlichere Teil ist unbebaut, versiegelt und mit Hecken und teilweise Bäumen eingegrenzt. Mit der beabsichtigten Umnutzung des Areals sollen die Gebäude abgerissen werden, die in diesem Areal befindliche Rhenanen-Villa jedoch als Bestandsgebäude erhalten bleiben. Fünf in dem Plangebiet befindliche Bäume sollen ebenfalls erhalten bleiben.

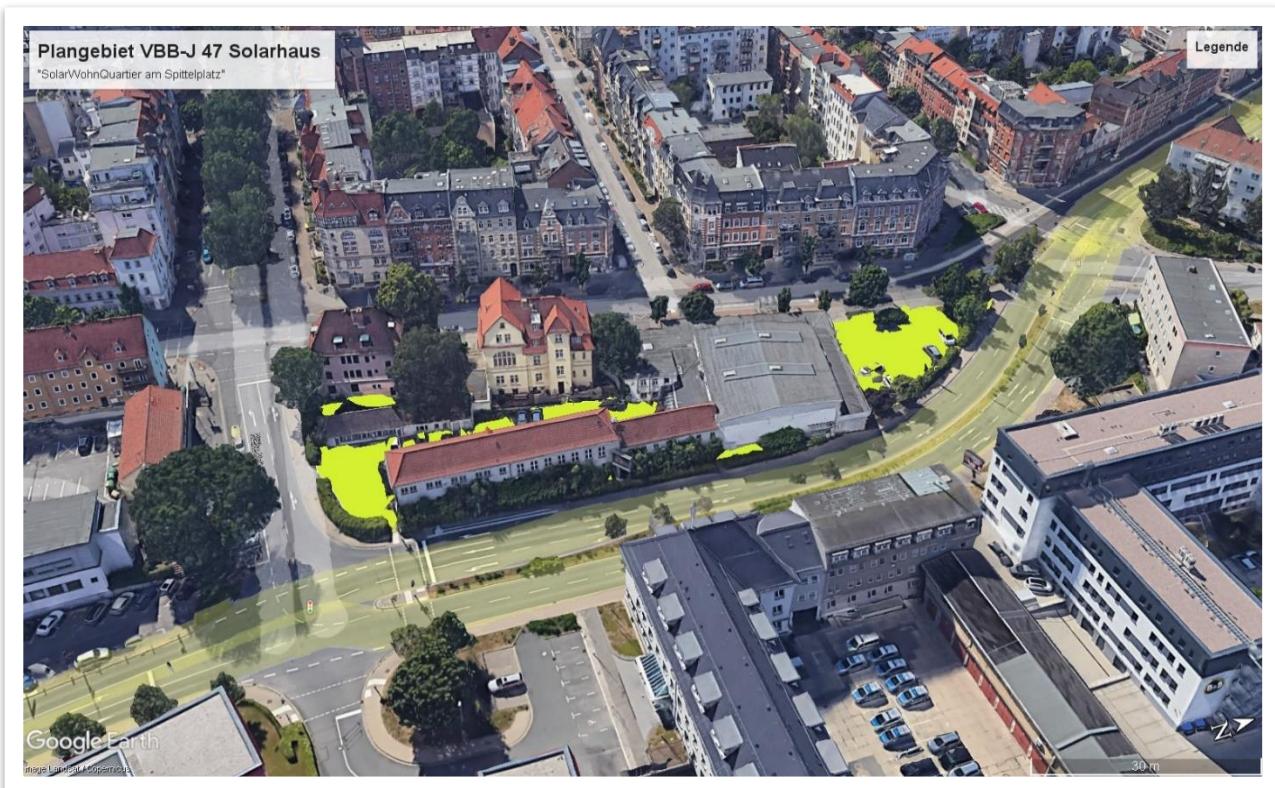


Abb. 1.2: 3D-Luftbildausschnitt mit den farblich hervorgehobenen Straßenzügen und dem gelb markierten Areal für das Planvorhaben VBB-J 47 (Datenquelle: GOOGLE Earth, Mai 2023)

Westlich an das Plangebiet angrenzend liegt das Damen-Viertel, dass sich durch historische Wohngebäude auszeichnet. Südlich des Plangebietes befand sich die alte Feuerwache, dessen Areal im Zuge einer geplanten Neubebauung umgestaltet werden wird. Östlich grenzt die vier bis fünfspurige Hauptverkehrsstraße *Am Anger* an, mit der dahinterliegenden Landespolizeiinspektion, einem Hotel und der Feuerwehr. Am nördlich gelegenen *Spittelplatz* befindet sich ein Kreuzungsbereich mit fünf abgehenden Straßenzügen und angrenzenden Wohngebäuden.

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, die 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.

Das Konzept zur geplanten Nutzung ist im Bebauungsplan „Solarhaus Saalbahnhofstraße“ in **Abb. 1.3** dargestellt. Das Gebiet wird dabei als zukunftsorientiertes, grünes Quartier präsentiert, welches den Nutzern und Bewohnern des Quartiers Ausgleichsflächen in Form von Dachterrassen und Dachgärten bieten soll, sowie begrünte Freiflächen für Anwohner und Besucher des Quartiersplatzes. Die Fassaden- und Brüstungselemente sollen teilweise mit Photovoltaik, die Gebäudefassaden außerdem mit Balkonen und Loggien als Freisitzmöglichkeit ausgestattet werden. Für Bewohner und Besucher soll nach diesem Konzept eine verbesserte Aufenthaltsqualität innerhalb städtisch-versiegelter Strukturen geschaffen werden. Vorgesehen sind dabei neben Wohn-, Gewerbe- und Gastronomieeinheiten auch ein Gebäudekomplex für Pflege- und Wohnräume für Senioren.

Der geplante Gebäudekomplex zieht sich von der Spitze am „Spittelplatz“ zunächst ähnlich einer „zick-zack“-Form zwischen „Saalbahnhofstraße“ und „Am Anger“ und in Höhe der Arvid-Harnack-Straße weiter in L-Form hinunter zur Käthe-Kollwitz-Straße. Der Gebäudehochpunkt befindet sich im nördlichsten Teil des Planareals mit bis zu 15 Geschossen und einer Höhe von etwa 48m, der übrige Gebäudekomplex variiert zwischen 5-7 Geschossen mit Höhen von etwa 18m bis 24m. Die Höhe der in den umliegenden Quartieren befindlichen Gebäude beträgt überwiegend 12m bis 15m.



Abb. 1.3: 3D-Visualisierung (a) und Konzeptdarstellung (b), sowie Freiraum-Konzept (c) zum Bebauungsplan „Jena Solarhaus“ (Quelle: hks-architekten, Stand: Jan 2023).



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 ImmVest Wolf GmbH bereitgestellt wurden, wurden die daraus abgeleiteten neuen Nutzungsklassen 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 zugewiesen. 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. Da die Gebäude alle über 20m hoch sind, wirkt die Dachbegrünung nicht auf das Aufenthaltsniveau der Menschen in 2m über Grund, sondern sorgt direkt für ein angenehmeres Aufenthaltsklima auf dem Dach und reduziert die Erwärmung des darunterliegenden Dachgeschosses. Ausgewertet wird in diesem Gutachten jedoch ausschließlich auf Fußgängerniveau im Außenraum.

Um auch die Auswirkungen der klimaökologischen Prozesse der umliegenden Umgebung auf das Planareal zu berücksichtigen, wurde das Untersuchungsgebiet entsprechend auf eine Größe von 1,7 x 1,7km festgelegt (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 Dämpfungsfaktoren 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.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Klimasimulation erläutert, wobei die folgenden Abbildungen eine windschwache Sommernacht als „Worst-Case“-Situation repräsentieren.

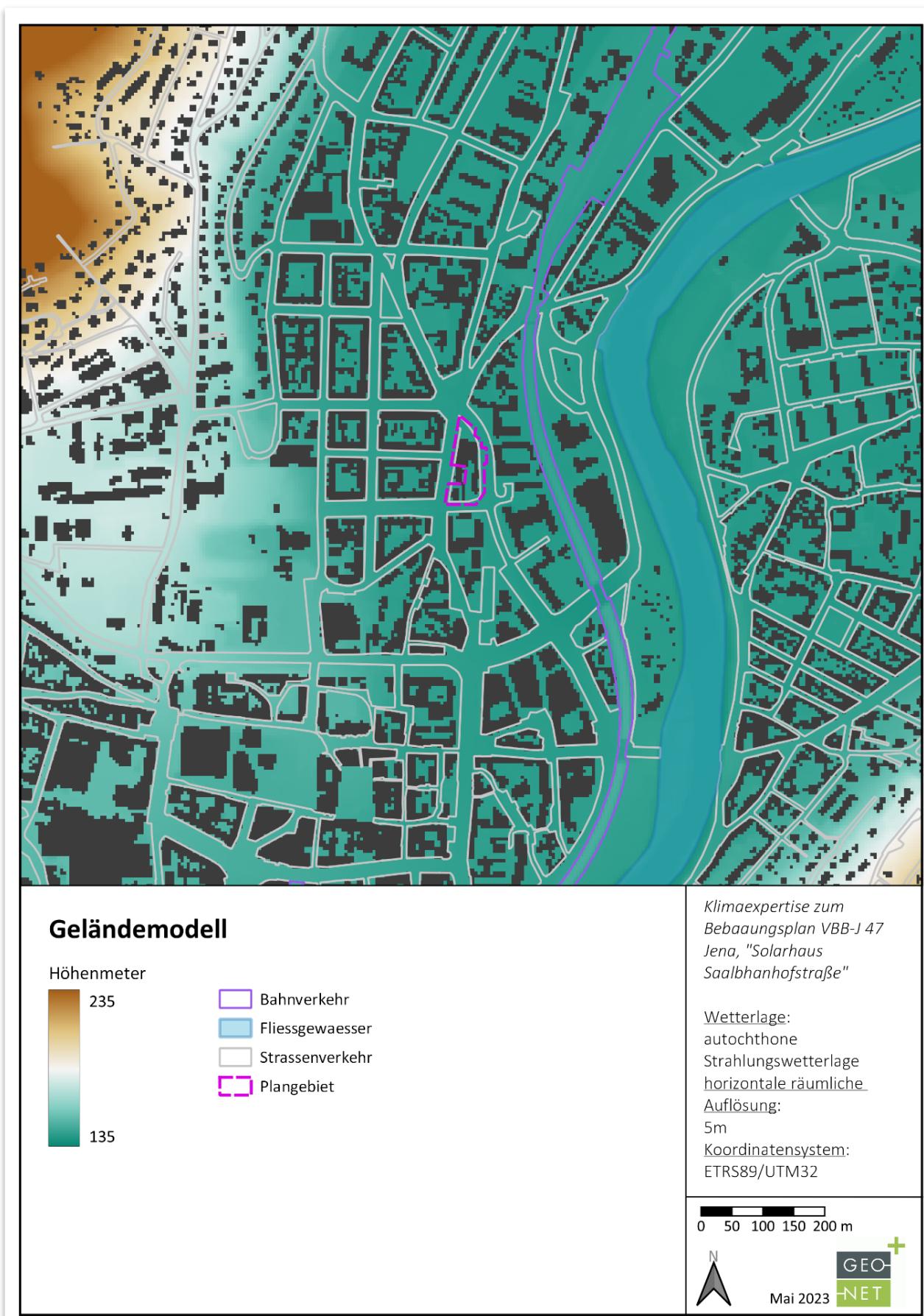


Abb. 2.1: Geländehöhe aus dem digitalem Geländemodell für das betrachtete Untersuchungsgebiet.

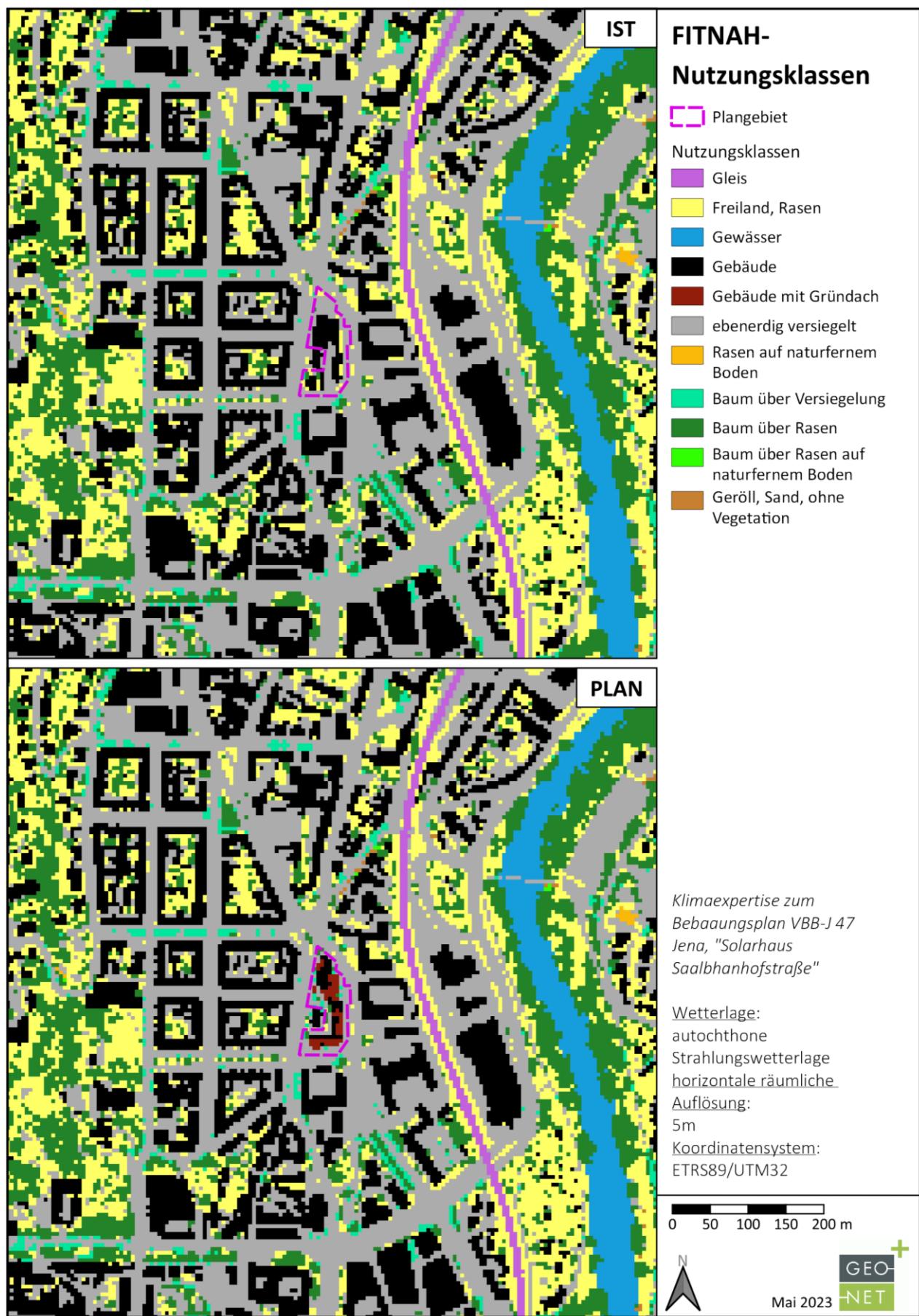


Abb. 2.2: Darstellung der für die Modellierung des Untersuchungsgebietes vergebenen Nutzungsklassen.



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

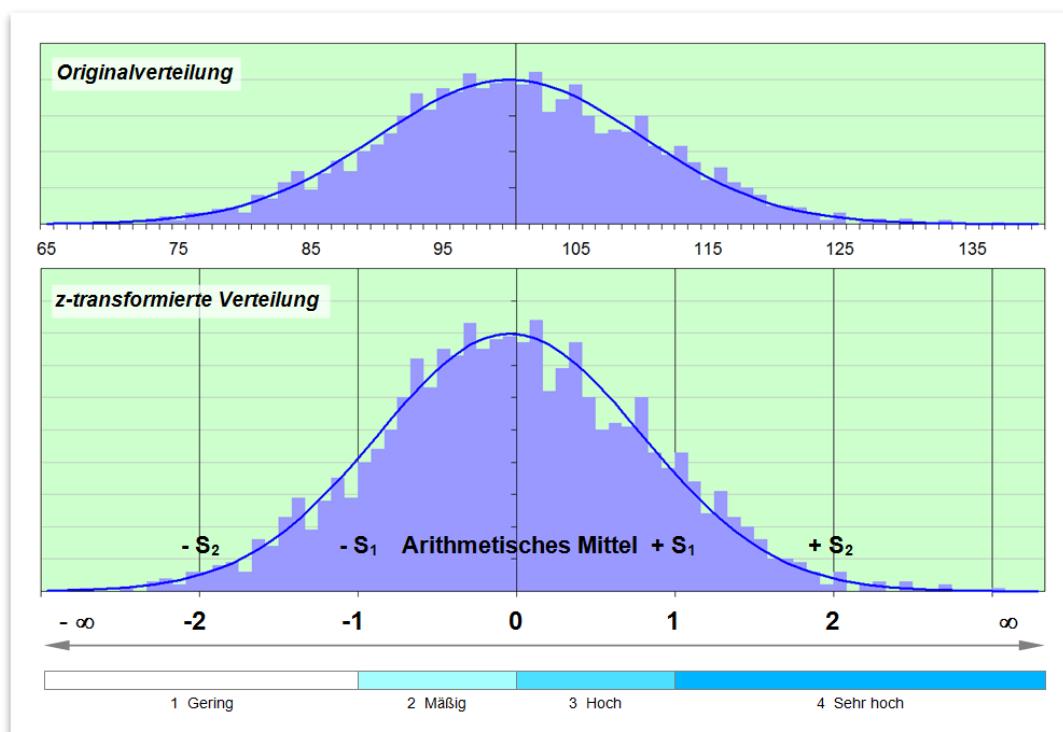


Abb. 2.3: Beurteilung des Werteneiveaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.



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 Wärmebelastung 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.

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 grüneprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf.



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

Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald-, Gehölz- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete haben eine klimatische Ausgleichsfunktion und filtern zudem 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. Das simulierte nächtliche Temperaturfeld umfasst innerhalb des Kartenausschnittes unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von etwa 7K und erreicht dabei Werte zwischen 12°C und 19,3°C für den Ist- als auch den Planzustand. Die mittlere Temperatur im Kartenausschnitt liegt für beide Szenarien bei 18,1°C.

B. Ergebnisse aus dem Ist-Zustand

Die Temperaturverteilung für den modellierten derzeitig angenommenen Ist-Zustand ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbebauung, Verkehrs- sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächen-eigenschaften aufweisen. Die höchsten Temperaturen von annähernd 19 °C 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 abgegeben wird. Über Grünflächen, wie sie zum Teil in den Innenhöfen der angrenzenden Wohngebäude des Damenviertels vorzufinden sind, 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 0,5K bis etwa 1,5K höheres Temperaturniveau auf, da hier die Wärmeausstrahlung, je



nach Dichte des Baumbestandes, durch das Kronendach behindert wird. Innerhalb des Planareals (gestrichelte pinke Linie) bewegt sich das Temperaturfeld zwischen 16,4°C und 19,1°C, das Mittel liegt bei 18,3°C.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Mit der geplanten Realisierung des neuen Wohnquartiers sind innerhalb des Vorhabengebietes lokal differenzierte Änderungen des nächtlichen Temperaturfeldes, aufgrund geänderter Ausmaße der Gebäudekörper und Anteile versiegelter Flächen, zu erwarten. Änderungen im Baumbestand innerhalb des Plangebietes, die mit Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen einhergehen, machen sich im Temperaturfeld des Planareals ebenso bemerkbar. Dabei zeigen die Resultate gegenüber dem Istzustand eine Reduktion der nächtlichen Temperatur um teils mehr als 1K an der Ostseite der vom Planareal umgebenden Rhenanen-Villa. Auf dem begrünten Quartiersplatz ist, aufgrund der durch das Blätterdach behinderten Ausstrahlung, mit teils ähnlichen bis leicht erhöhten Nachttemperaturen, wie in den umliegenden Verkehrsflächen zu rechnen. Für den Planzustand bewegt sich das allgemeine Temperaturfeld innerhalb des Plangebietes zwischen 16,8°C und 19,2°C, das Mittel liegt bei 18,2°C. Damit liegen diese Werte in einem ähnlichen Niveau, wie die des Istzustands modellierten Temperaturwerte.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Abweichungen zwischen Planszenario und dem Istzustand liegen in einer Größenordnung von -2 K bis +2K, wobei Abweichungen bis 0,5K als unwesentlich für das thermische Empfinden eingestuft werden und in der Farbdarstellung unberücksichtigt bleiben. Eine Abnahme der Temperatur im Planzustand tritt insbesondere in den Bereichen auf, wo sich im Ist-Zustand versiegelte Flächen befanden. Temperaturänderungen auf den Gebäudeflächen, die sich aus den verschiedenen Baukörperstellungen und Gebäudeausmaßen des jeweiligen Szenarios ergeben, werden hierbei nicht betrachtet. Wie im vorherigen Abschnitt bereits erwähnt, ergeben sich für die östlich des Bestandsgebäudes gelegenen Flächen eine Reduktion um bis zu 2K aufgrund geplanter Begrünungsmaßnahmen. Außerhalb des Planareals ist mit keiner Änderung der nächtlichen Temperaturen in Fußgängerniveau zu rechnen.

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 bereits vorherrschenden nächtlichen thermischen Belastung im Ist-Zustand, keine wahrnehmbaren Änderungen im Temperaturniveau für das angrenzende Wohnviertel zu erwarten sind. Merkliche Temperaturunterschiede aufgrund des Planvorhabens sind auf das Planareal begrenzt.

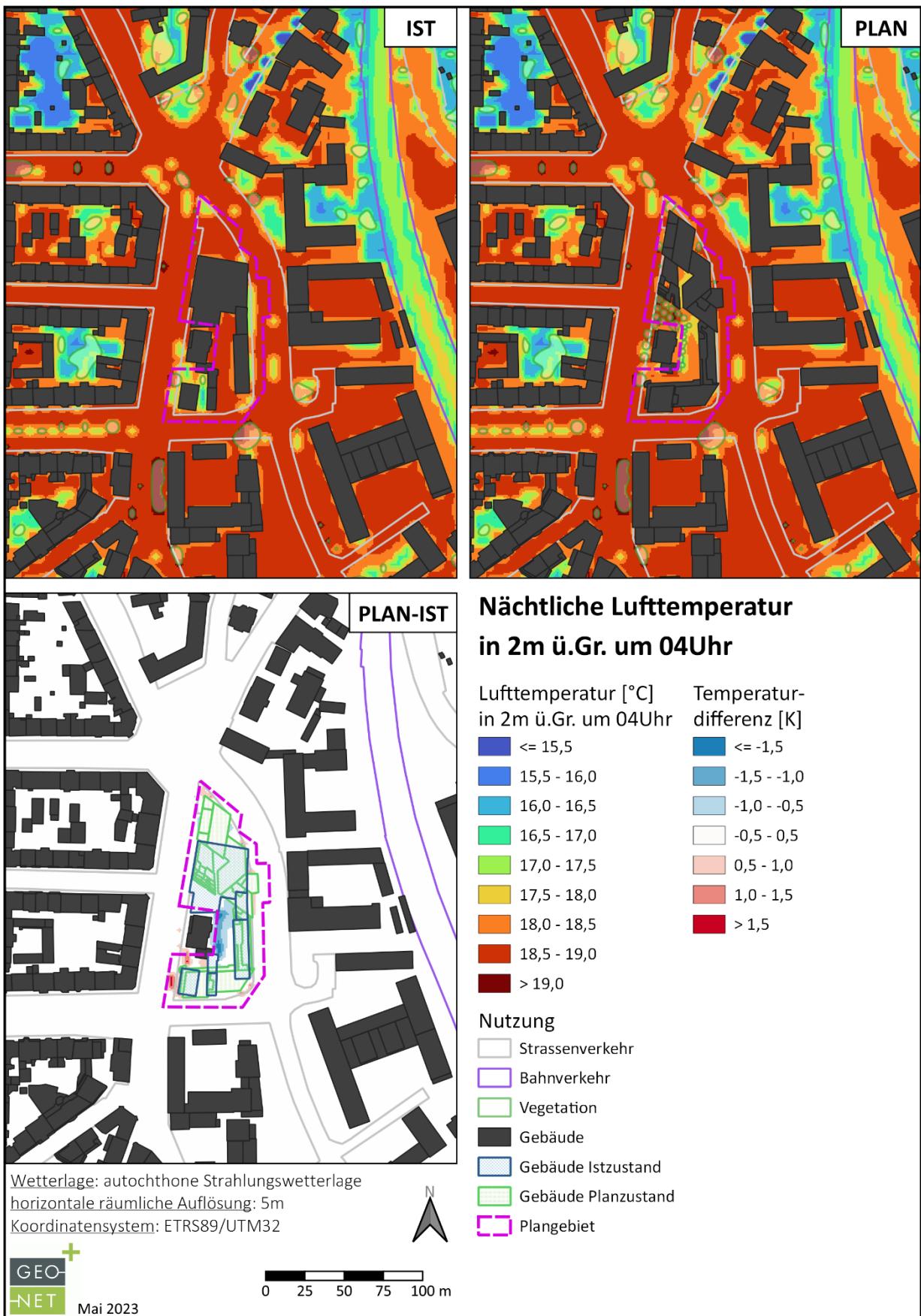


Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).

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).

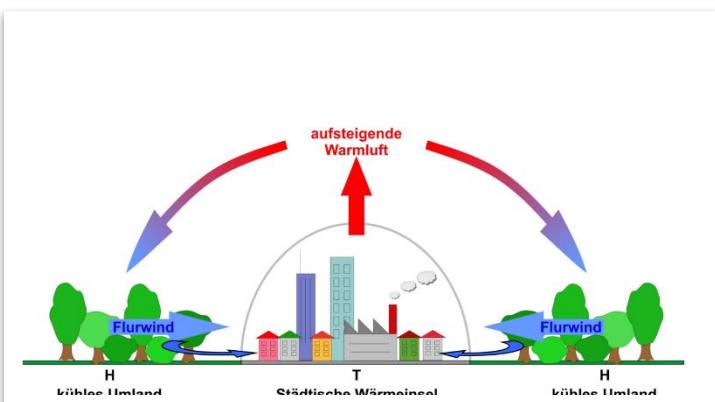


Abb. 3.2 Prinzipskizze Flurwind (Quelle: DWD)

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 50 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. Vor allem die Straßen Arvid-Harnack-Str., St.-Jakob-Straße und Käthe-Kollwitz-Straße im westlichen Untersuchungsraum weisen mit bis zu 0,5m/s die höchsten Abflussgeschwindigkeiten auf, auch begünstigt durch die Kanalisierung der Luftströmung in den Straßen. In der Saalbahnhofstraße, sowie Am Anger verringern sich die Windgeschwindigkeiten auf deutlich unter 0,5m/s, ebenso in der südlich des Plangebietes liegenden Käthe-Kollwitz-Straße. Insgesamt weist das Areal in und um das Plangebiet nur schwach bis unmerklich ausgeprägte Windgeschwindigkeiten auf.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Wie auch im Istzustand sind die in diesem Kartenausschnitt am stärksten auftretenden Fließgeschwindigkeiten der Kaltluft in den Straßenschluchten zu finden. Da sich in beiden Szenarien Gebäudekörper in einer Nord-Süd-Ausrichtung an der Ostseite des Planareals befinden, wird der aus Osten einströmende Flurwind abgebremst und besonders im Planfall weiter nach Norden, als auch nach Süden abgelenkt. Im Planszenario werden an der Öffnung zum Quartiersplatz leichte Windgeschwindigkeiten berechnet. Insgesamt betrachtet bleiben die Windgeschwindigkeiten innerhalb und um das Planareal ebenfalls gering ausgeprägt.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenzenabbildung macht die Beeinflussung des berechneten Kaltluftströmungsfeldes deutlicher sichtbar. Die lila Farbabstufungen kennzeichnen eine Abnahme der ermittelten Geschwindigkeit im Planzustand gegenüber dem Istzustand, die grünen Farbabstufungen eine Zunahme. Differenzen, die unterhalb 0,1m/s betragen, werden als unerheblich eingestuft und sind weiß dargestellt.

Aufgrund der geänderten Baukörpergröße und -stellung innerhalb des Plangebietes ergibt sich eine Veränderung im Strömungsmuster. So werden die stärksten Zunahmen der Windgeschwindigkeit im östlichen Bereich der alten Feuerwache ermittelt, als auch Am Anger im nordöstlichen Bereich des Plangebietes. Da die Baukörper des Planszenarios in nördliche und südliche Richtung eine größere Ausdehnung gegenüber den Gebäudekomplexen im Istzustand aufweisen, ist eine stärkere Umlenkung des Windfeldes nach Norden und Süden zu erwarten, was an den positiven Werten (Grüntönen) erkennbar ist und eine Zunahme bedeutet. Im Damenviertel hingegen sind keine relevanten Änderungen in der Strömungsgeschwindigkeit zu erwarten (weißer Farbton). Nur an der südwestlichen und nördlichen Spitze, sowie in den nördlichen und südlichen Bereichen der Polizeibehörde werden auch nächtliche Differenzen von teils mehr als -0,1m/s berechnet (Lilafärbung), was eine Abschwächung bedeutet.



Insgesamt ist festzuhalten, dass die im Kartenausschnitt sowohl im Ist- als auch im Planzustand berechneten Strömungsgeschwindigkeiten deutlich unter 1m/s betragen. Die sich aus beiden Szenarien ergebenden Veränderungen weisen einerseits auf eine Abbremsung als auch auf eine Umlenkung der Luftmassen hin, die mit Änderungen in den Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen einhergeht. 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.

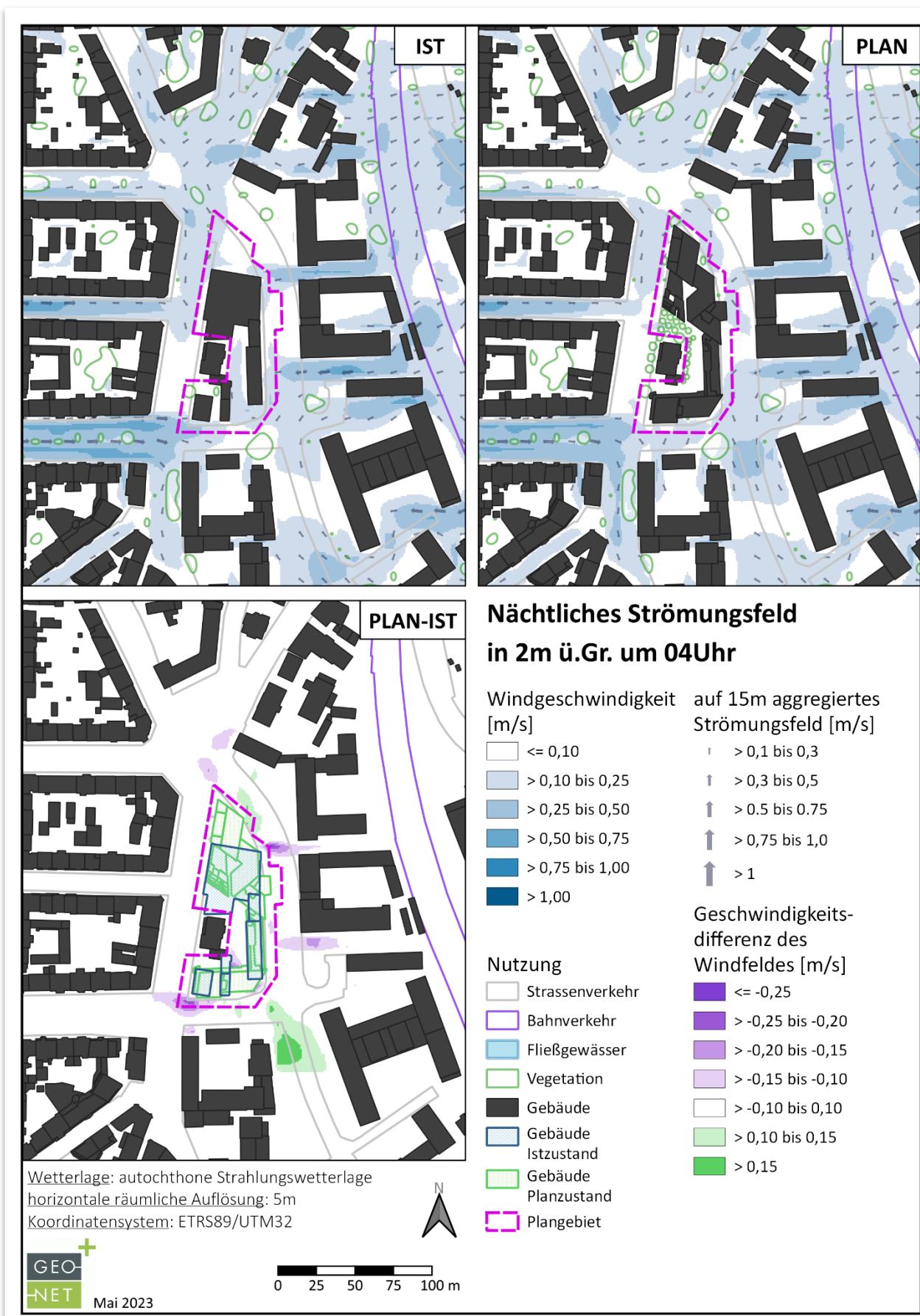


Abb. 3.3: Bodennahes Windfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).

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.

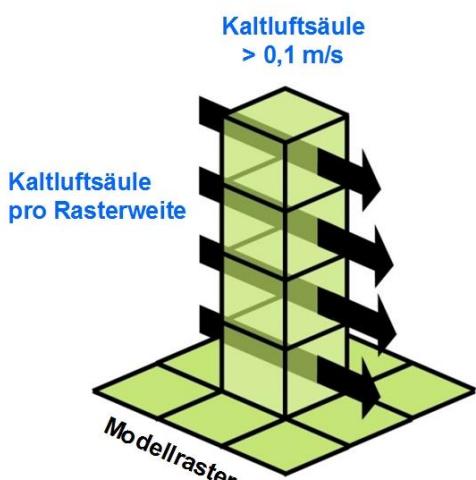


Abb. 3.4 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

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 Mоделлерgebnisse 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 räumliche Ausprägung der Kaltluftvolumenstromdichte ist im Untersuchungsraum zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens unterschiedlich stark ausgeprägt. Eine hohe bis sehr hohe Ausprägung mit einer überdurchschnittlichen KVSD von etwa 25 bis $30 \text{ m}^3/(\text{m s})$ treten im dargestellten Kartenausschnitt östlich des Spittelplatzes und zwischen Hotel und Polizeistation auf. Entlang der Bereiche, die in Strömungsrichtung des Kaltluftabflusses liegen (St.-Jakob-Str., A.-Harnack-Str., K.-Kollwitz-Str.) sowie der Bereiche östlich der Straße Am Anger



wird noch eine hohe Ausprägung der KVSD mit Werten bis $25\text{m}^3/(\text{m s})$ erreicht. Die im östlichen Kartenausschnitt dargestellten Kaltluftströme werden im Wesentlichen von den Temperaturunterschieden zwischen den städtisch-versiegelten Flächen und den Grünflächen zwischen der Saale und Am Anger angetrieben. Die aus Westen einfließende Kaltluft wird zusätzlich noch durch die sich aus der ergebende Hangabtriebskraft Orografie im Nordwesten des Modellgebietes angetrieben. Im Plangebiet selbst wird das nördlich gelegene Gebäude von der Kaltluft, die aus Osten einfließt, aufgrund der geringen Gebäudehöhe teils überströmt. Abgesehen davon wird die Kaltluft im Plangebiet stark abgeschwächt und weist nur eine gering bis mäßig ausgeprägte KVSD auf mit Werten unterhalb von $15\text{m}^3/(\text{m s})$.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Im Planszenario tritt eine sehr hohe bis hoch ausgeprägte KVSD über $25\text{m}^3/(\text{m s})$ auf dem Spittelplatz sowie östlich davon auf. Eine hohe Ausprägung bis $25\text{m}^3/(\text{m s})$ tritt ebenfalls, wie im Istzustand, in den von West nach Ost verlaufenden Straßen, die die Saalbahnhofstraße kreuzen, auf. In den östlich der Straße am Anger gelegenen Ost-West ausgerichteten Straßen ist dies ebenso erkennbar. Im Plangebiet wird aufgrund der Baukörpergröße eine überwiegend schwache, teils mäßig ausgeprägte KVSD erreicht. An der nördlichen Spitze des Plangebietes sowie westlich davon wird eine hohe Ausprägung der KVSD erreicht, was gegenüber dem Istzustand auf ein Umlenken der aus Osten kommenden Kaltluftmassen nach Norden hin schließen lässt.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. 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. Anzumerken ist hierbei jedoch, dass bereits im Ist-Zustand aufgrund der innerstädtischen Lage überwiegend geringe Werte im Kaltluftvolumenstrom auftreten. Bei einem geringen Kaltluftvolumenstrom (z.B. $12\text{m}^3/(\text{m s})$) können geringe Abweichungen in absoluten Zahlen (z.B. $-2\text{m}^3/(\text{m s})$) jedoch schon zu signifikanten prozentualen Abweichungen ($>16\%$) führen. Während die absoluten Werte deutlich machen (**Abb. 3.5**), dass größere Abschwächungen über $-10\text{ m}^3/(\text{s m})$ im Kaltluftvolumenstrom auf den unmittelbar angrenzenden Straßenraum Saalbahnhofstraße und Am Ange beschränkt sind, zeigt sich bei den prozentualen Veränderungen (**Abb. 3.6**) ein etwas weitreichenderes Bild. Dabei wird ersichtlich, dass besonders in den Gebieten mit geringer bis mäßiger Ausprägung der KVSD die prozentualen Differenzen am stärksten ausgeprägt sind.

Deutliche Unterschiede zeigen sich so auch im nördlichen Bereich des Plangebietes, in dem sich im derzeitigen Zustand ein flaches Gebäude und ein Parkplatz befindet. An dieser Stelle ist für das Planvorhaben ein Hochhaus geplant. Da die KVSD einen Volumenstrom der Kaltluft darstellt, der über mehrere atmosphärische Luftsichten integriert wird, ist aufgrund der Höhe des Hochhauses an diesen Punkten keine Durch- oder Überströmung der Kaltluft von Ost nach West mehr möglich. Diese wird stattdessen nach Norden umgelenkt, was sich durch eine Zunahme der KVSD von über +90 Prozent bzw. etwa $+9,5\text{m}^3/(\text{m s})$ an der nördlichen Spitze des Plangebietes zeigt, als auch anhand der Änderung in der Ausprägung der KVSD von „gering“ im



Istzustand zu „mäßig“ im Planzustand. Eine ähnliche Situation wie sie sich im nördlichen Plangebiet darstellt, zeigen die Ergebnisse auch im südlichen Plangebiet, wo die Luftmassen in Richtung der Alten Feuerwache umgelenkt werden. Dort zeigt sich eine deutliche relative Zunahme zwischen der Alten Feuerwache und der Feuerwache mit Werten von über +100 Prozent, was in absoluten Zahlen einer Zunahme von bis zu $+4,5\text{m}^3/(\text{m s})$ entspricht. Die relativen Änderungen wirken sich bis in den, südlich der Käthe-Kollwitz-Straße gelegenem Teil, der Saalbahnhofstraße aus, sowie in der Dornbuschstraße nördlich des Spittelplatzes, wo Zunahmen von teilweise über +10 Prozent bzw. etwa $+1\text{m}^3/(\text{m s})$ erreicht werden. In der Saalbahnhofstraße, sowie Am Anger, auf Höhe der Polizeistation liegen die Abnahmen bei etwa -30 Prozent bis maximal -70 Prozent auf Flächen, die unmittelbar an das Plangebiet angrenzen. In den Flächen, die unmittelbar an Wohngebäude im Damenviertel grenzen, variieren die Differenzen zwischen einer Abnahme und einer Zunahme. Die Werte bewegen sich dort in etwa zwischen -35 Prozent und +55 Prozent, oder in absoluten Zahlen ausgedrückt zwischen etwa $-7\text{m}^3/(\text{m s})$ und $+7\text{m}^3/(\text{m s})$. Im Areal unmittelbar um die Rhenanen-Villa herum weisen die Ergebnisse Abnahmen der KVSD von etwa -25 bis -45 Prozent aus, was in absoluten Werten etwa -2 bis $-5\text{m}^3/(\text{m s})$ entspricht.

Zusammenfassend zeigt sich aus den vorliegenden Ergebnissen, dass bei einer Realisierung des Planvorhabens eine Umlenkung der Luftmassen 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 bioklimatischen Situation in der Nacht sind keine negativen Auswirkungen auf das nächtliche thermische Wohlbefinden (**Kapitel 3.1.1**) in den angrenzenden Siedlungsstrukturen 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 relative 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 27°C und 31,5°C ermittelt, welches einer *schwachen* bis *mäßigen* thermischen Belastung entspricht. Je dichter Bäume beieinanderstehen oder je größer die Baumkrone, umso geringer fällt auch die Wärmebelastung unter dem Baumbestand aus. Im Gebäudeschatten werden Werte von etwa 33°C bis 34° ermittelt, welches einer *mäßigen* thermischen Belastung entspricht. In allen anderen Bereichen, welche überwiegend versiegelte Freiflächen darstellen, werden Werte über 40°C und damit eine *starke* bis *extreme* bioklimatische Belastung berechnet. Die Spannweite der PET beträgt innerhalb des dargestellten Kartenausschnittes über 20K bei Werten zwischen 24,6°C bis 45,3°C und beträgt im Mittel 40,1°C. Innerhalb des Plangebietes selbst erreicht das Minima 28,9°C, das Maxima 45,3°C, im Mittel werden 41,8°C berechnet.

C. Ergebnisse aus dem Planszenario

Im Planfall ergibt sich aufgrund des größeren Gebäudekomplexes und einem geänderten Baumbestand ein differenzierteres Bild der Belastungssituation. So wird für den 14Uhr Auswertezeitpunkt ein größerer Bereich in der Straße Am Anger durch das Plangebäude verschattet, so dass dort nun eine *mäßige* Belastung ermittelt wird gegenüber einer vorher *starken* bis *extremen* Belastung im Ist-Zustand. Ebenso führen die Begrünungsmaßnahmen innerhalb des Planareals auf dem ausgewiesenen Quartiersplatz zu thermischen Ausgleichsräumen mit einer *schwachen* Belastung. Dort werden im Baumschatten Werte von etwa 29°C bis 31,5°C erreicht.

Im Planszenario umfasst die Spannweite der ermittelten PET innerhalb des dargestellten Kartenausschnittes zwischen 24,6°C und 45,3°C, das Mittel ist mit 39,9°C etwas geringer als im Istzustand. Innerhalb des Plangebietes zeigen die Ergebnisse im Durchschnitt eine Abkühlung gegenüber dem Istzustand, wobei das Minima mit 27,8°C um etwa 1K niedriger liegt, das Mittel mit 39,6°C um etwa 2K niedriger. Das Maxima beträgt wie im Istzustand ebenfalls 45,3°C.

D. Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenz der PET weist eine deutliche Abnahme im Temperaturfeld innerhalb und im näheren Umfeld des Plangebietes auf. Die berechnete Temperaturabnahme von teils über 10K außerhalb des Plangebietes tritt hauptsächlich auf der Hauptverkehrsstraße Am Anger auf und ist vorwiegend aufgrund der für den Zeitpunkt um 14Uhr auftretenden Verschattung durch das Plangebäude zurückzuführen. Die Temperaturabnahme innerhalb des Planareals geht vorwiegend auf Begrünungsmaßnahmen und deren zusätzlicher Schattenwirkung zurück. Leichte Zunahmen finden sich nur punktuell an der nördlichen Spitze und an der Südseite der Rhenanen-Villa durch punktuelle Änderungen im Nutzungs raster. Außerhalb der genannten Bereiche sind keine signifikanten Auswirkungen feststellbar.

Hinsichtlich der Wärmebelastung am Tage sind mit der einhergehenden Nutzungsänderungen im Plangebiet keine negativen Auswirkungen auf die bioklimatische Situation in den umgebenden Wohngebieten festzustellen. Die wesentlichen positiv einzustufenden Änderungen in der PET beschränken sich auf die Flächen innerhalb des Plangebietes und den umliegenden, durch das Plangebäude verschattete, Flächen.

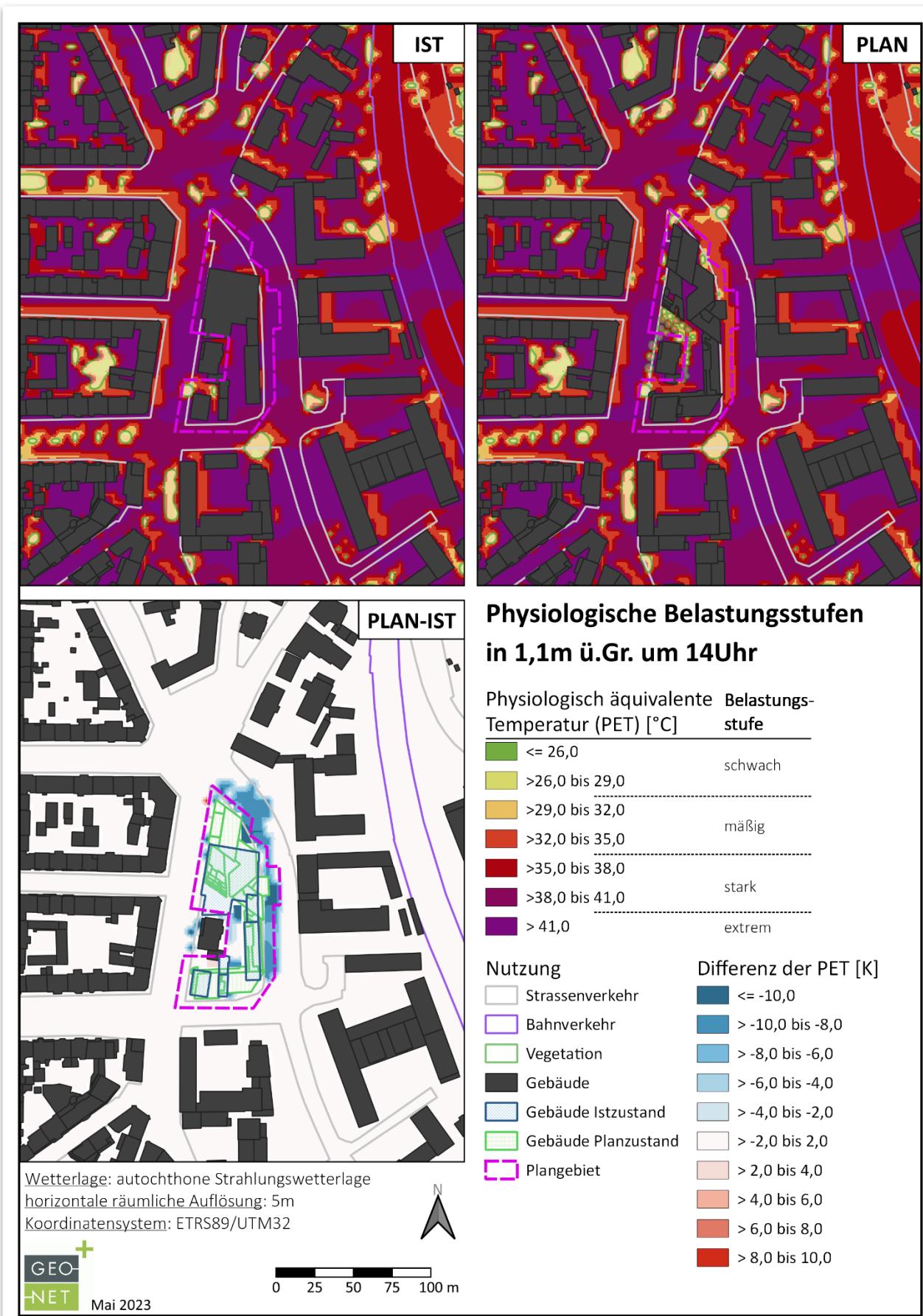


Abb. 3.7: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr für den Istzustand (oben links), den Planfall (oben rechts) und als Differenzenfeld zwischen Plan- und Istzustand (unten links).



4. Fazit

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

Plangebiet

Die nächtliche bodennahe Lufttemperatur während einer wolkenlosen und windschwachen Sommernacht weist im Planszenario gegenüber dem Istzustand im Mittel dieselben Werte auf. Einzelne Unterschiede sind auf Ver- sowie Entsiegelungs- als auch Begrünungsmaßnahmen zurückzuführen. Zwischen Rhenanen-Villa und dem geplanten Neubau wird eine nächtliche Temperaturabnahme aufgrund solcher Maßnahmen berechnet. Auswirkungen auf das nächtliche Temperaturfeld außerhalb des Plangebietes lassen die Modellergebnisse nicht erwarten.

Die Untersuchung zur Wärmebelastung am Tage macht deutlich, dass die Begrünung und 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 betreffend der bioklimatischen Belastung am Tage sind laut der Modellergebnisse ausschließlich innerhalb des Plangebietes und in den durch das geplante Gebäude verschatteten Bereichen zu erwarten.

Umgebung

Die Beeinflussung des nächtlichen Kaltluftströmungsfeldes während austauscharmer sommerlicher Hochdruckwetterlagen durch das Planvorhaben führt zu einer deutlichen Änderung in der Kaltluftvolumenstromdichte in den umliegenden Flächen. Von der Saalbahnhofstraße bis zur Straße Am Anger, insbesondere in Höhe der Polizeistation, ergibt sich eine sichtbare Abnahme in der KVSD, der wiederum eine deutliche Zunahme nördlich und südlich des Plangebietes gegenübersteht. Trotz der veränderten Durchlüftungssituation im Plangebiet zeigen die Modellergebnisse keine Auswirkungen auf die nächtliche Wärmebelastung. Da das Windfeld im gezeigten Kartenausschnitt bereits schwach ausgeprägt ist, zeigt die Differenz keine signifikante Abschwächung. Vielmehr zeigt die Änderung der Kaltluftströmung eine Umlenkung der Luftmassen aufgrund des geplanten Bauvorhabens. Ebenfalls keine signifikante Auswirkung auf das Umfeld des Planvorhabens zeigen die Ergebnisse für die thermische Belastung.

Abschließend kann festgehalten werden, dass trotz der nach der VDI 3787 Blatt 5 ermittelten hohen vorhabenbedingten Auswirkungen in Bezug auf die Reduzierung der Kaltluftvolumenstromdichte mit Werten über der Erheblichkeitsschwelle von 10 %, das Planvorhaben für das vorliegende Szenario als vertretbar einzurichten ist. Wesentliche Veränderungen bioklimatischer Parameter treten ausschließlich innerhalb des Plangebietes auf. Die Wärmebelastung am Tage betreffend sind ebenso keine nennenswerten Wechselwirkungen, die zu einer Verschlechterung der bioklimatischen Situation in den angrenzenden Wohn- und Gewerbegebieten führen, zu erwarten.



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* 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 raue Strukturen (→ Leitbahnen) verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

Austauscharme Wetterlage: → Strahlungswetterlage

Autochthone Wetterlage: → Strahlungswetterlage

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

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

Eindringtiefe: Reichweite einer Kalt-/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 47 Jena, Solarhaus

Standort: Jena, Bundesland Thüringen

Auftraggeber: ImmVest Wolf GmbH
Maximilian-Welsch-Str. 6a
99084 Erfurt

Projektnummer: 2_23_019

Berichtsnummer: 2_23_019_Jena_Solarhaus_rev00

Version: 00

Datum: 20.06.2023

Erstellt von: U. Vogelsberg

Diplom Meteorologin Ulrike 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.