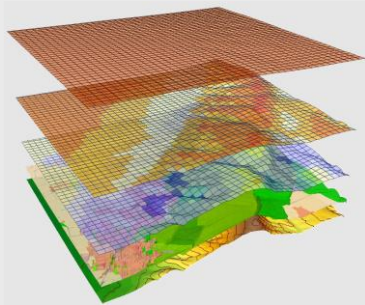


Klimaökologische Expertise

Zum geplanten Baugebiet Otto-Bauder-Anlage



Auftraggeberin:

Stadt Mannheim

Fachbereich Geoinformation und Stadtplanung

Glücksteinallee 11

68163 Mannheim



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. Günter Groß

Anerkannt beratender Meteorologe (DMG)

Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und

Kleinklima der IHK Hannover und Hildesheim

Hannover, Juli 2025



1. 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 Teilräumen abzielen.

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 Stadt Mannheim (Fachbereich Geoinformation und Stadtplanung) wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der in Planung befindlichen Umnutzung der Otto-Bauder-Anlage im Mannheimer Stadtteil Seckenheim. So ist geplant die derzeitigen Sportplätze in ein Wohnquartier umzuwandeln. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft 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?
- 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/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes innerhalb des Vorhabengebietes 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 sowie lufthygienischen Belastungen 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 „WorstCase“-Betrachtung dar (Abbildung 1).

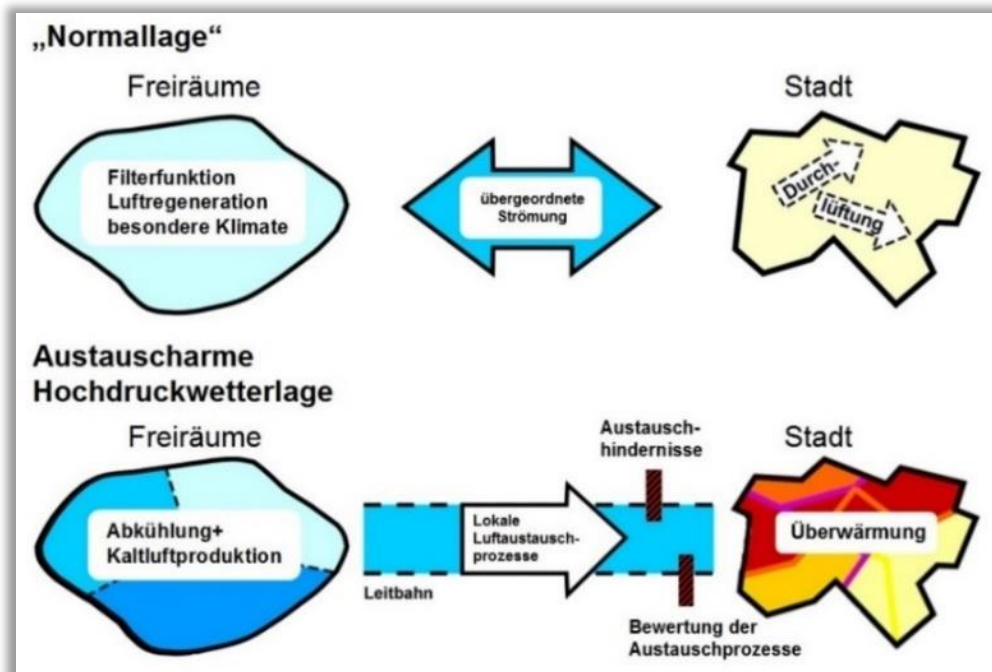


Abb. 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

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.

1.1 Grundlagen

Planvorhaben

Die Otto-Bauder-Anlage befindet sich im Nordwesten des Mannheimer Stadtteils Seckenheim und setzt sich im derzeitigen Zustand aus verschiedenen Sportplätzen zusammen (Abb.2). Im Zuge der Reorganisation der Sportstätten im Stadtteil Seckenheim soll die Otto-Bauder-Anlage künftig einer neuen Nutzung zugeführt werden. Um hierfür die planungsrechtlichen Voraussetzungen zu schaffen, wurde bereits im Mai 2020 der Aufstellungsbeschluss für einen Bebauungsplan gefasst. Ziel der Planung ist die Entwicklung eines neuen Wohnquartiers sowie gegebenenfalls die Errichtung einer Kindertageseinrichtung. Das Plangebiet umfasst eine Fläche von 4,6 Hektar. Zur Erarbeitung einer optimalen städtebaulichen Lösung wurde ein Wettbewerb mit integrierter Bürgerbeteiligung durchgeführt.



Abbildung 2: Lage des Plangebietes (violetter Rahmen) (Kartenhintergrund: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung 2023).

Die Abbildung 3 veranschaulicht den aktuellen Stand (April 2025) der Planung anhand einer Übersichtskarte. Die Planungen sehen insgesamt 25 Baukörper vor, wobei es sich um Mehrfamilienhäuser, Reihenhäuser, Doppelhäuser sowie ein Kita-Gebäude handelt. Darüber hinaus sind mehrere Carportanlagen, Tiefgaragen, Quartiersplätze, Retentionsflächen sowie zahlreiche Baumpflanzungen geplant. Bestandsbäume sollen, wenn möglich, erhalten bleiben. Die Verkehrserschließung ist von Süden (Wildbader Str.) sowie im Westen zur Neuostheimer Str. vorgesehen.



Abbildung 3: Rahmenplan zum geplanten Wohnquartier auf der Fläche der Otto-Bauder-Anlage in Mannheim-Seckenheim (LEHENDrei, April 2025).

Stadtklimaanalyse 2020

Die Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der im Rahmen der Stadtklimaanalyse 2020 erstellten Planungshinweiskarte für die Wirkräume W12/13 Seckenheim (GEO-NET/ÖKOPLANA 2021). Nach diesem befindet sich das Plangebiet im Bereich einer Grünfläche mit einem „klimaökologischen Schutzbedarf“ der 2. Priorität. Es fungiert im derzeitigen Zustand als siedlungsinterner Ausgleichsraum, welcher nach Westen hin mit dem dortigen Freiraumgefüge des Ausgleichsraums A09 östliches Niederfeld verbunden ist und so bei entsprechender Anströmung eine Ventilation in den Siedlungskörper ermöglicht. Insbesondere die östliche Teilfläche des Plangebietes weist zudem eine erhöhte Kaltluftproduktivität auf, wovon die umliegenden Siedlungslagen profitieren können. Grundsätzlich weist der Stadtteil „(...) *heterogene Bebauungsstrukturen auf. Neben locker durchgrünt Wohnbaustrukturen im Südwesten finden sich in zentraler Lage auch begrünte Baublockstrukturen (zwischen Zähringer Straße und Seckenheimer Hauptstraße). Höchste bauliche Verdichtungen zeigen sich zwischen Seckenheimer Hauptstraße und Neckar nördlich der Brückenstraße, wodurch sich während austauscharmer Wetterlagen eine kleinräumig verstärkte Wärmeinsel ausbilden kann (Belastungsstufe 4 bis 5)*“ (GEO-NET/ÖKOPLANA 2021). Auch im direkten Umfeld der Otto-Bauder-Anlage zeigt sich eine heterogene Bebauungsstruktur, welche sich aus kleineren Gewerbebetrieben (südlich) und unterschiedlich dicht bebauter Wohnbebauung zusammensetzt. Die klimaökologische Belastung ist dabei überwiegend schwach bis mäßig (Belastungsstufe 2 und 3), wobei östlich der Herrenalber Str. auch lokal erhöhte Wärmebelastungen (Belastungsstufe 4) festgestellt wurden.

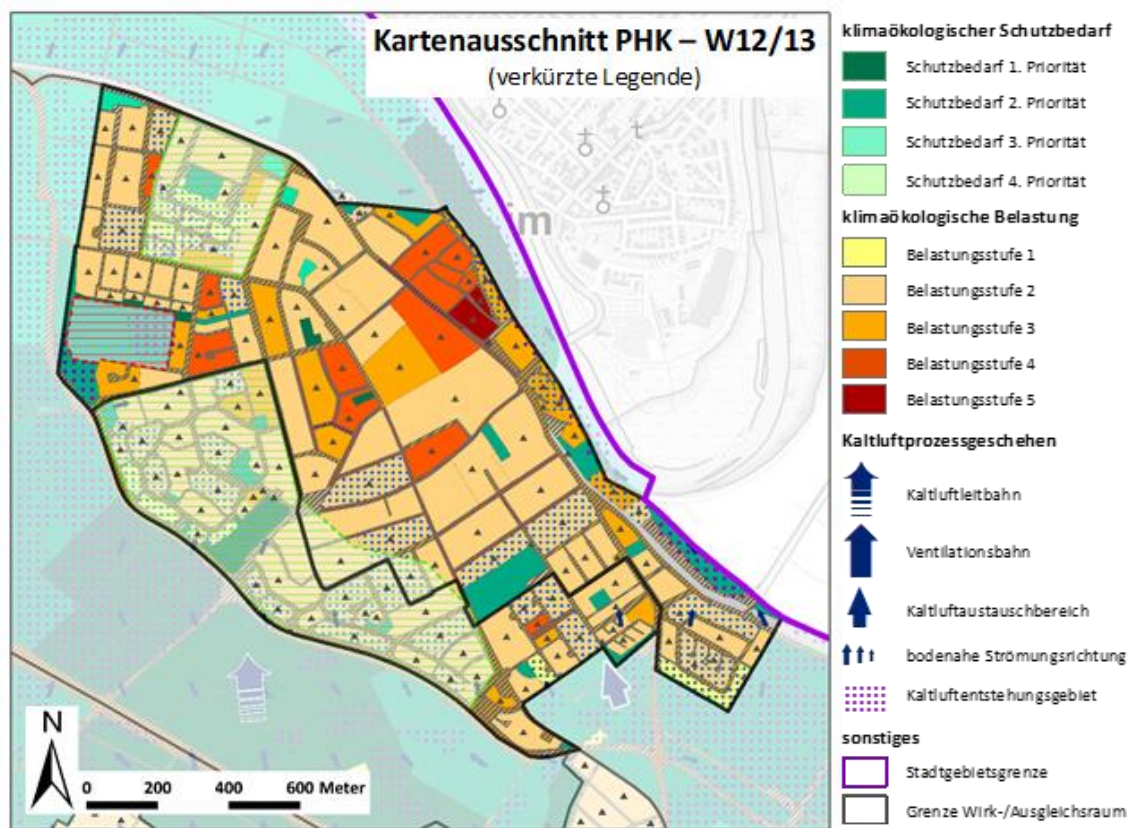


Abbildung 4: Auszug aus dem Steckbrief zu den Wirkräumen W12/13 der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 (GEO-NET/ÖKOPLANA 2021).

1.2 Untersuchungsansätze

Insgesamt wurden hinsichtlich der Analyse der klimaökologischen Auswirkungen des Planvorhabens zwei Modellszenarien entwickelt und mit Modell FITNAH-3D modelliert. Hierbei handelt es sich um:

- den Ist-Zustand (Auflösung 5 m):
 - Referenz-Szenario zur Untersuchung der klimaökologischen Auswirkungen des Planvorhabens.
- den Plan-Zustand (Auflösung 5 m):
 - (modelltechnische) Umsetzung des Planvorhabens

2. Methodik

2.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH

Allgemeines: Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen, wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- und mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region. Die bestimmenden Skalen für die hierfür relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde oder auch Düseneffekte in Straßen, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedlichem Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es schwierig macht, mit Hilfe einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Mit Hilfe ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

Grundlagen mesoskaliger Modelle: Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den großen Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert werden können und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Grundgleichungen: Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle mesoskaligen Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (Abb. 6).

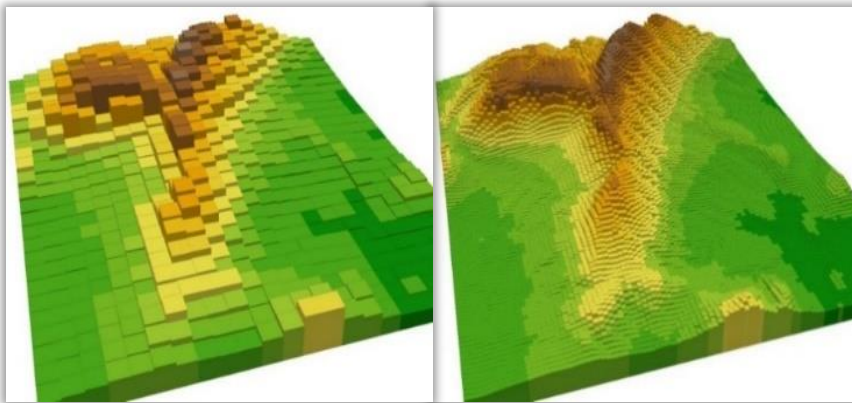


Abbildung 5: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell.

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite 5 m, ist damit also vergleichsweise feingliedrig. Bei allen Modellrechnungen ist die vertikale Gitterweite nicht äquidistant. In der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand Δz immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind, also keine Auswirkungen mehr haben. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 bzw. 1,1 m über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen).

2.2 Modelleingangsdaten

Bei numerischen Modellen wie FITNAH 3D müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

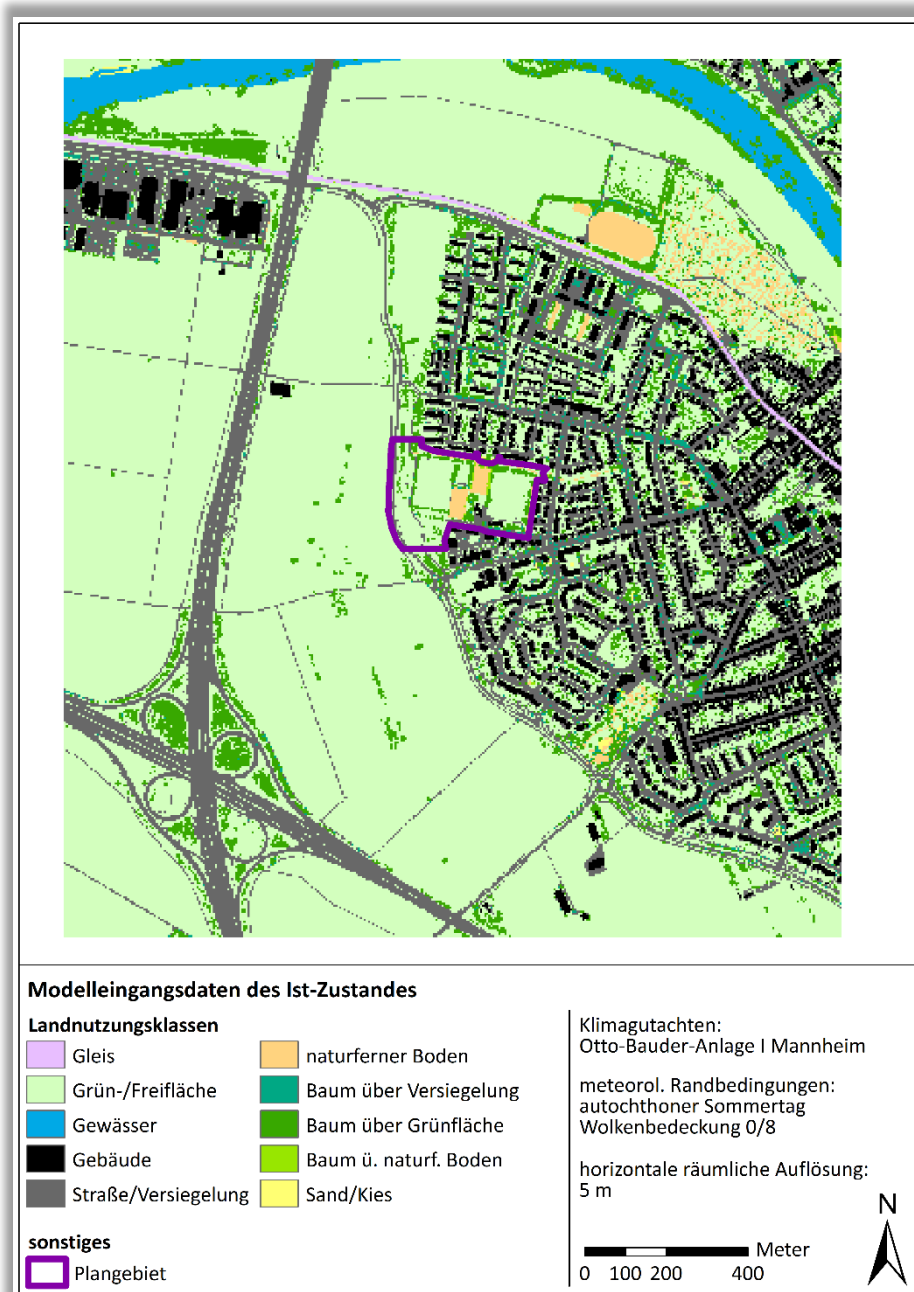


Abbildung 6: Klassifizierte Landnutzung des Ist-Zustandes in 5 m Auflösung.

Die Modellrechnungen wurden für den Ist-Zustand sowie für das Planungs-Szenario durchgeführt, um auf dieser Basis die klimaökologischen Auswirkungen der Planvorhaben auswerten und beurteilen zu können. Das gesamte Untersuchungsgebiet hat bei einer Abmessung von ca. 1,9 km x 2,1 km eine Fläche von etwa 4 km². Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m ist es möglich, die Gebäudestrukturen sowie



Einzelbäume realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den Luftaustausch abzubilden. Die Abbildungen 7 und 8 veranschaulichen die aufbereitete Flächennutzung beider modellierten Szenarien.

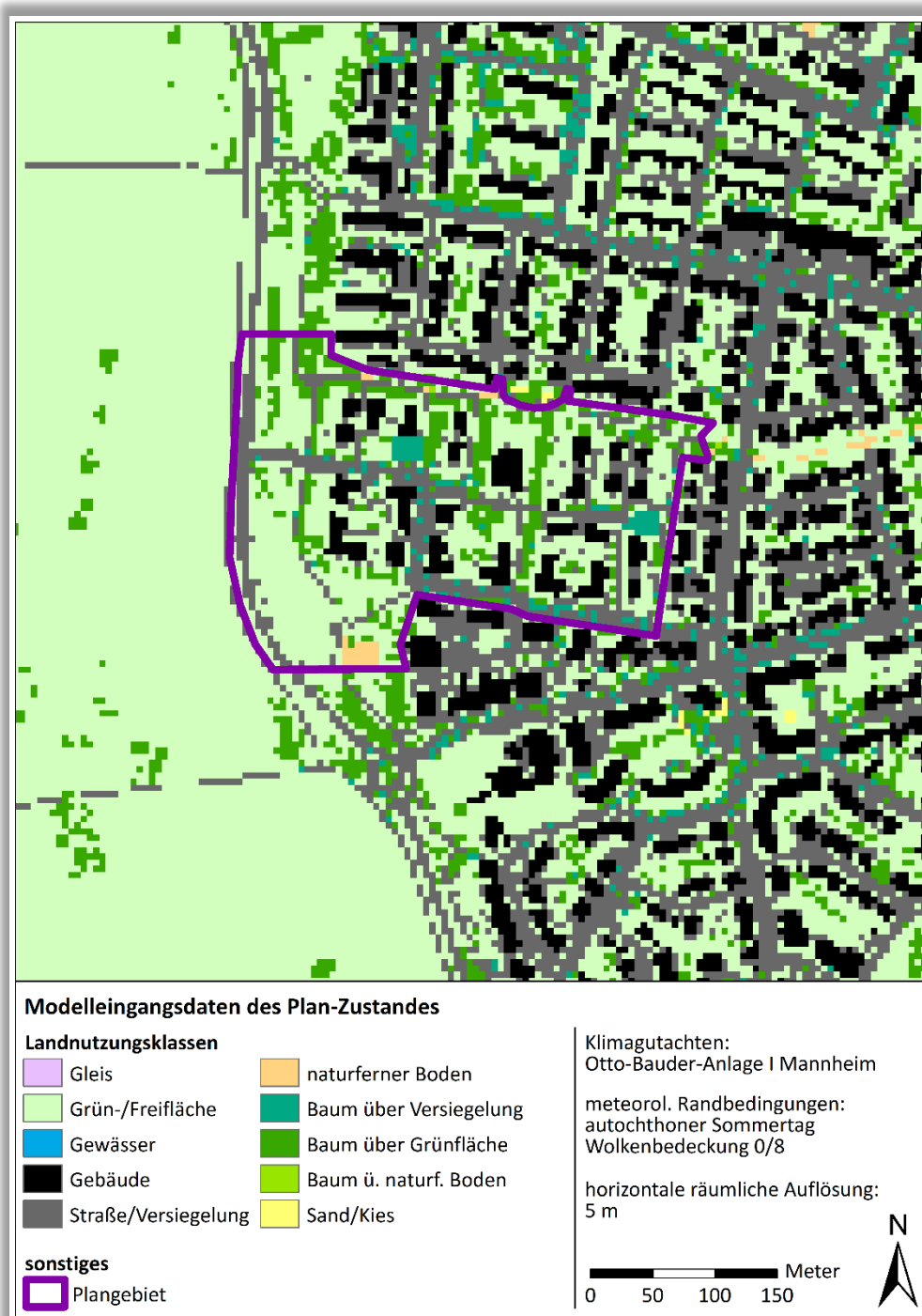


Abbildung 7: Ausschnitt der klassifizierten Landnutzung des Plan-Zustandes in 5 m-Auflösung (gezoomte Ansicht).

Neben der Landnutzung stellt die **Geländeoberfläche** eine weitere wesentliche Modelleingangsgröße dar. Das in Abbildung 9 dargestellte Digitale Geländemodell zeigt die Geländehöhen in einer Auflösung von 5 m.

Der Untersuchungsraum zeichnet sich überwiegend durch eine flache Topografie aus, mit Höhenlagen um etwa 95 m über Normalnull (NN). Auch das Plangebiet selbst liegt mit etwa 94 bis 97 m über NN in diesem Bereich. Im Norden fällt das Gelände leicht in Richtung Neckar ab und erreicht dort eine Höhe von etwa 90 m über NN. In östlicher und südöstlicher Richtung steigt das Gelände hingegen leicht auf rund 100 m über NN an. Die höchsten Geländepunkte befinden sich entlang der A6, die hier auf einem rund 7 m hohen Damm verläuft und Höhenlagen zwischen 102 und 108 m über NN erreicht.

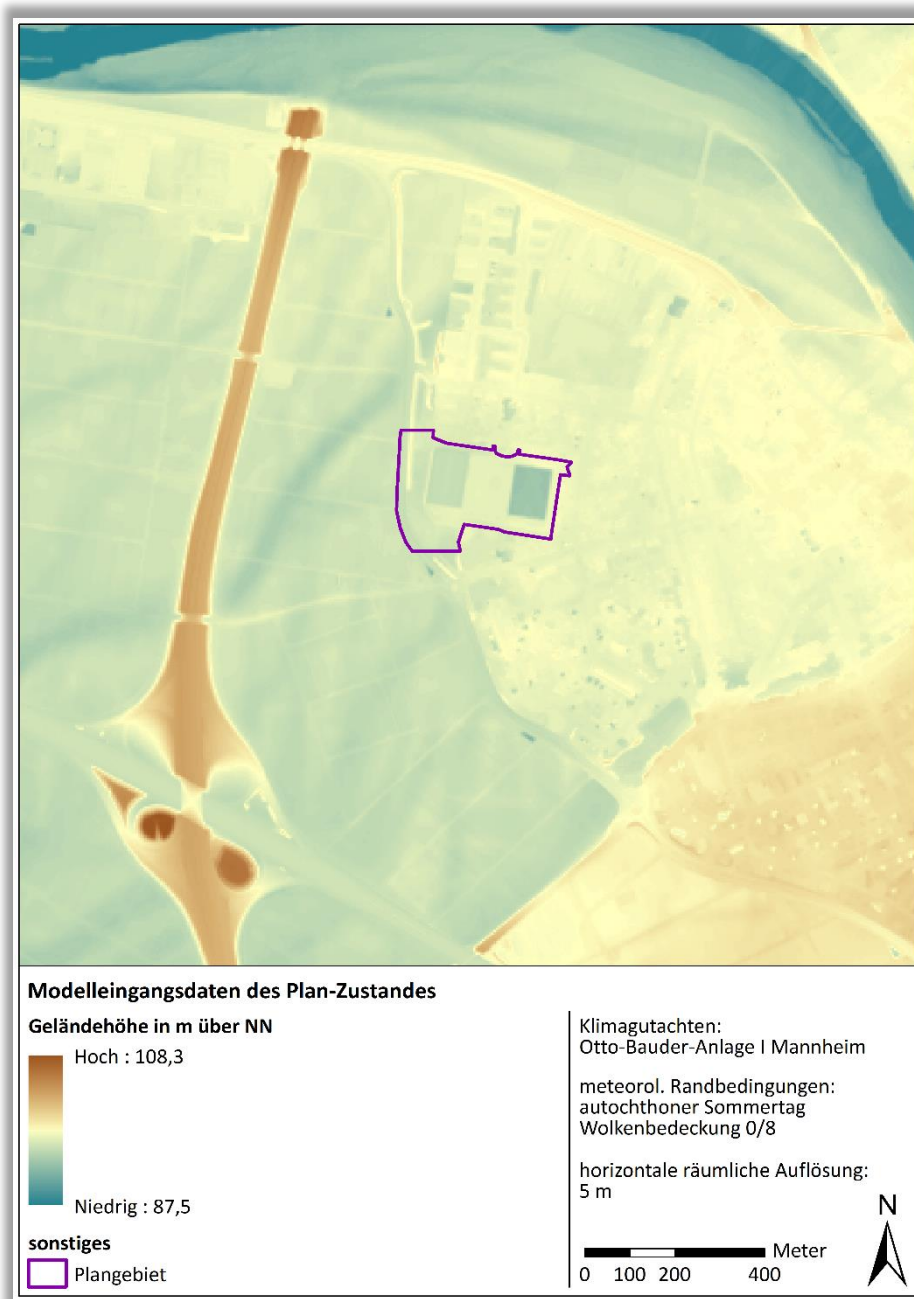


Abbildung 8: Digitales Geländemodell in 5 m-Auflösung.



2.3 Wetterlage

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. Autochthone Wetterlagen treten aber auch in den restlichen Monaten auf. Bei den für das gesamte Stadtgebiet durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen Rahmenbedingungen für eine sommerliche austauscharme Wetterlage wie folgt festgelegt:

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

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

3. Modellergebnisse

Die Ergebnisse der Klimasimulation repräsentieren die Nachtsituation um 4 Uhr morgens bzw. die Tagsituation um 14 Uhr mittags. Bei den modellierten Parametern handelt es sich um die bodennahe Lufttemperatur in 2 m über Grund, das Kaltluftprozessgeschehen (jeweils Nachtsituation) sowie die Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zur Bewertung der Wärmebelastung am Tag. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Der Zeitpunkt um 4 Uhr wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Für die Tagsituation wurde der Zeitpunkt 14 Uhr gewählt, da zu dieser Zeit im Mittel mit der höchsten Wärmebelastung zu rechnen ist.

Hinsichtlich der Darstellung der Modellergebnisse erfolgt zu jedem untersuchten Parameter zunächst eine Betrachtung der Ist-Situation. So kann in einem ersten Schritt die derzeitige bioklimatische Situation im Untersuchungsraum beschrieben sowie das Vorhabengebiet in diesem Kontext eingeordnet werden. Anschließend werden die planungsbedingten Auswirkungen auf den jeweiligen Klimaparameter in Form einer Differenzkarte dargestellt und hinsichtlich ihrer Bedeutung bzw. Relevanz bewertet.

3.1 Lufttemperatur in der Nacht

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 17 °C angegeben (UBA 2023), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten.

Ist-Zustand

Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Modellberechnung für den Ist-Zustand anhand des nächtlichen Temperaturfeldes um 4 Uhr in 2 m über Grund. Im Untersuchungsgebiet ergibt sich aktuell ein heterogenes Temperaturmuster: Auf Äckern und offenen Wiesen liegen die Temperaturen bei rund 14,5 bis 16 °C, während in den Straßenräumen oft Werte von etwa 19 bis 20 °C erreicht werden. Die höchsten Temperaturen treten dabei in den dicht bebauten und stark versiegelten Straßenzügen, wie der Kloppenheimer Straße und der Seckenheimer Hauptstraße, auf. Baum- und Gehölzstandorte sowie weniger stark versiegelte Bebauungsbereiche bilden mit etwa 16 bis 18 °C eine Zwischenstellung. Die im Bereich der Gehölze modellierten höheren Temperaturen resultieren aus der reduzierten nächtlichen Ausstrahlung unter dem Kronendach, was sich besonders bei größeren zusammenhängenden Gehölz- und Waldflächen bemerkbar macht.

Das Plangebiet selbst weist im Ist-Zustand ein vergleichsweise homogenes Temperaturfeld auf. Die Sportflächen zeigen, abhängig vom Untergrund, nächtliche Lufttemperaturen zwischen 14,8 und 16,2 °C. Baumstandorte liegen mit rund 17 °C nur geringfügig höher, während die kleinräumige Bebauung mit etwa 18,5 °C erhöhte Werte aufweist. Im Mittel ergibt sich daraus eine nächtliche bodennahe Durchschnittstemperatur von 16,1 °C.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sowohl das Plangebiet als auch die umliegenden Wohngebiete insbesondere aufgrund ihres hohen Grünflächenanteils als überwiegend schwach bis mäßig belastet einzustufen sind. Erhöhte nächtliche Wärmebelastungen sind vorrangig im Straßenraum und nur lokal innerhalb der Wohnbebauung festzustellen.

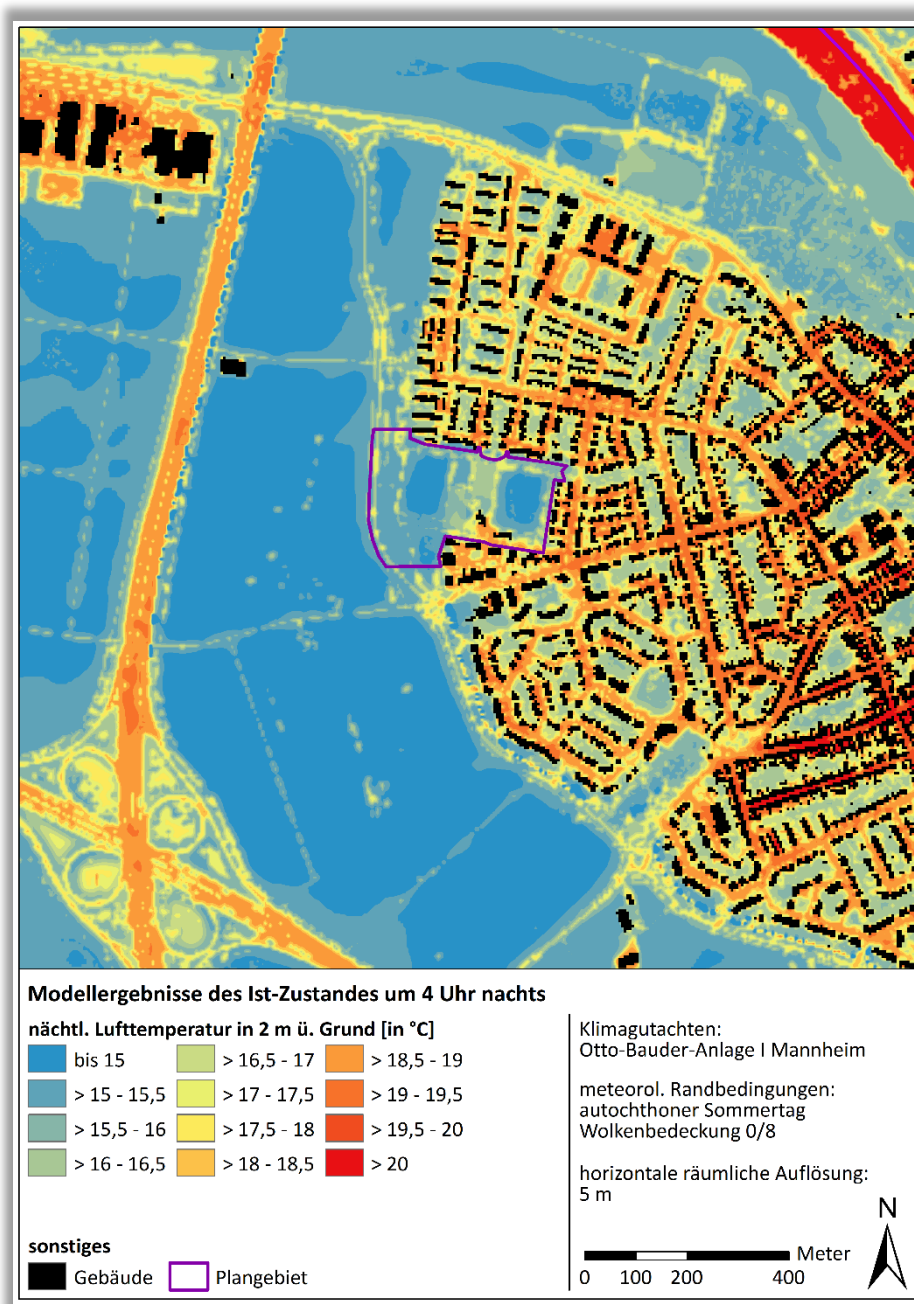


Abbildung 9: Ausprägung der nächtlichen Lufttemperatur im Ist-Zustand.

Plan-Zustand

Die Abbildung 10 stellt in der oberen Karte die Modellergebnisse zur nächtlichen Lufttemperatur des Plan-Zustands dar, während die untere Karte die Differenz der nächtlichen Lufttemperatur zwischen dem Ist- und Plan-Zustand zeigt.

Die Modellergebnisse des Plan-Zustandes verdeutlichen, dass mit Umsetzung der geplanten Bebauung eine deutliche Erhöhung der nächtlichen Lufttemperaturen innerhalb des Plangebietes einhergeht. So ist

im direkten Umfeld der angenommenen Plan-Gebäude eine Temperaturzunahme von zumeist 1 bis teilweise über 2 K zu erwarten, was im Wesentlichen auf den erhöhten Versiegelungsgrad bzw. das erhöhte Bauvolumen zurückzuführen ist. Im jeweiligen Flächenmittel zeigt sich dabei ein leicht unterdurchschnittliches Temperaturniveau im Vergleich zur umliegenden Wohnbebauung, was auf den relativ geringen Versiegelungsgrad bzw. hohen Grünflächenanteil im geplanten Quartier zurückzuführen ist.

Im Umfeld des Plangebietes ist im Plan-Zustand von kleinräumigen Veränderungen auf das nächtliche Temperaturfeld auszugehen. So zeigt sich, dass lediglich eine leichte Tendenz zunehmender Lufttemperaturen im direkten Nahbereich des Plangebietes zu erwarten ist. Mit einer maximalen Reichweite von rund 25 m sowie einer zu erwartenden Temperaturerhöhung von zumeist unter 0,5 K sind diese Auswirkungen als sehr geringfügig zu bewerten. Von einer spürbaren Beeinträchtigung des Schutzgutes Nachtschlaf ist demnach nicht auszugehen.

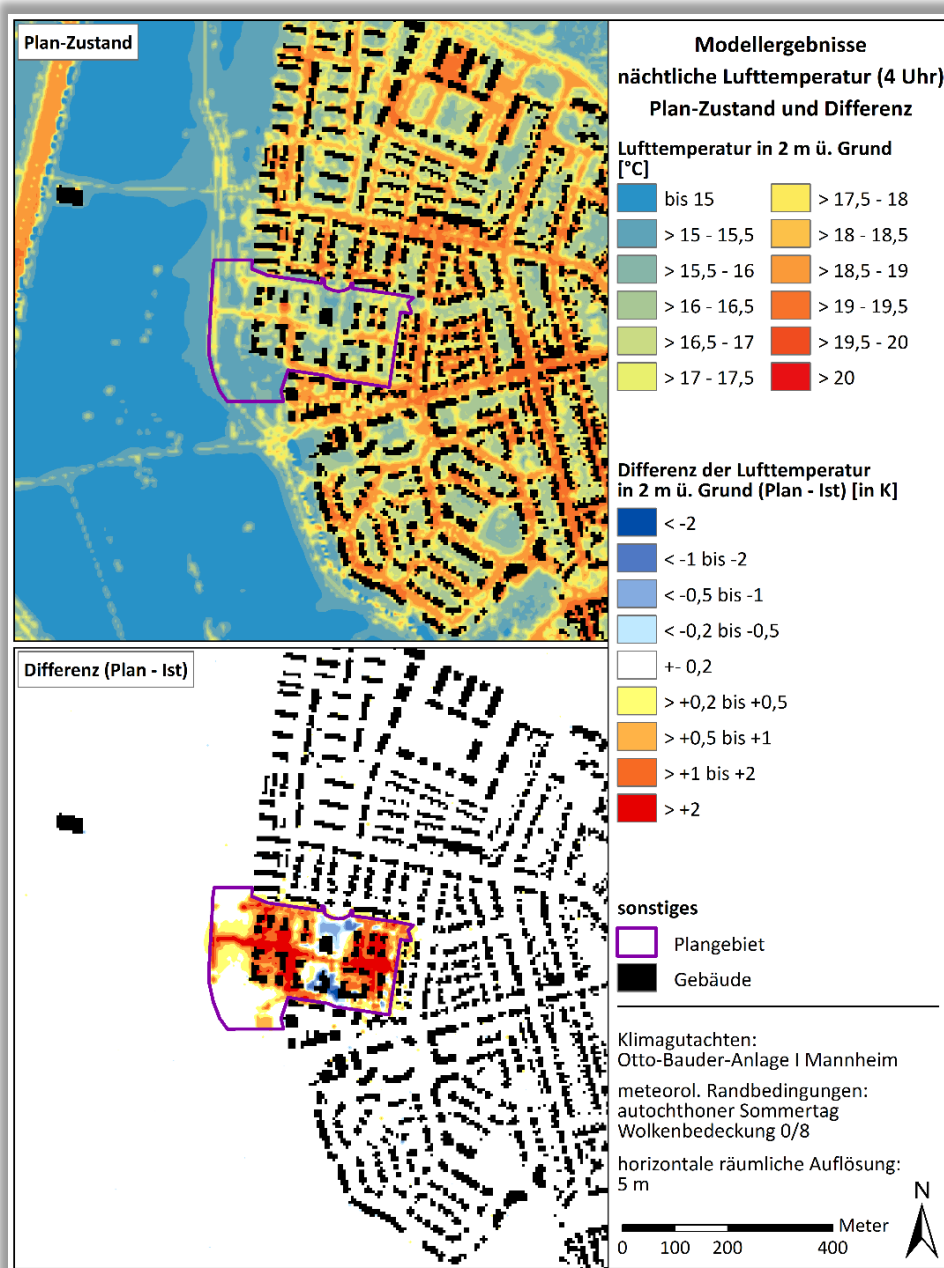
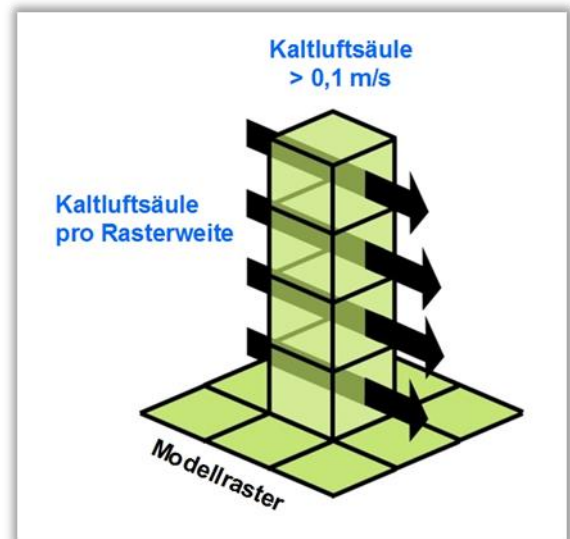


Abbildung 10: Ausprägung der nächtlichen Lufttemperatur im Plan-Zustand (oben) und die Differenz zwischen Ist- und Plan-Zustand (unten).

3.2 Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Ausgleichsströmungen dieser Art sind Hangabwinde und Flurwinde. Mit ihrer (dichten) Bebauung stellen Stadtkörper ein Strömungshindernis dar, so dass deren Luftaustausch mit dem Umland eingeschränkt ist. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirkt sich dieser Faktor bioklimatisch zumeist ungünstig aus, wenn der Siedlungsraum schwach bis gar nicht mehr durchlüftet wird. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr kühlerer (und frischer) Luft eine bedeutende klimaökologische (und immissionsökologische) Ausgleichsleistung für Belastungsräume erbringen.

Den lokalen thermischen Windsystemen kommt eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer Grünfläche als Kaltluftentstehungsgebiet 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 Beurteilung der klimatischen Ausgangssituation mit dem Kaltluftvolumenstrom ein weiterer Parameter herangezogen (Abb. 11). 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. 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 Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom. Der Volumenstrom ist ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes.



Ist-Zustand

Die Abbildung 12 zeigt den modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstrom im Ist-Zustand. Eine relativ hohe Kaltluftdynamik ist im dargestellten Kartenausschnitt vor allem im Norden und Süden im Bereich von Oberflächen mit geringer Rauigkeit zu erkennen. Hierbei handelt es im Wesentlichen um die landwirtschaftlich geprägten Freiflächen sowie vor allem im Süden um die entlang der Strömungsrichtung ausgerichtete Straßenzüge und Gebäudeabstandsflächen.

Das Plangebiet selbst weist bei einer westlichen Anströmung eine insgesamt eher schwache Kaltluftdynamik auf. Die Ventilationsfunktion über welche Kaltluft vom westlich angrenzenden Freiraum in den Siedlungskörper transportiert wird, zeigt sich aber auch schon bei den geringen modellierten Kaltluftvolumina (Mittelwert $5,4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$), wobei die Eindringtiefe der Kaltluft im weiteren Verlauf deutlich geringer ist als beispielsweise im Bereich des Wasserturms.

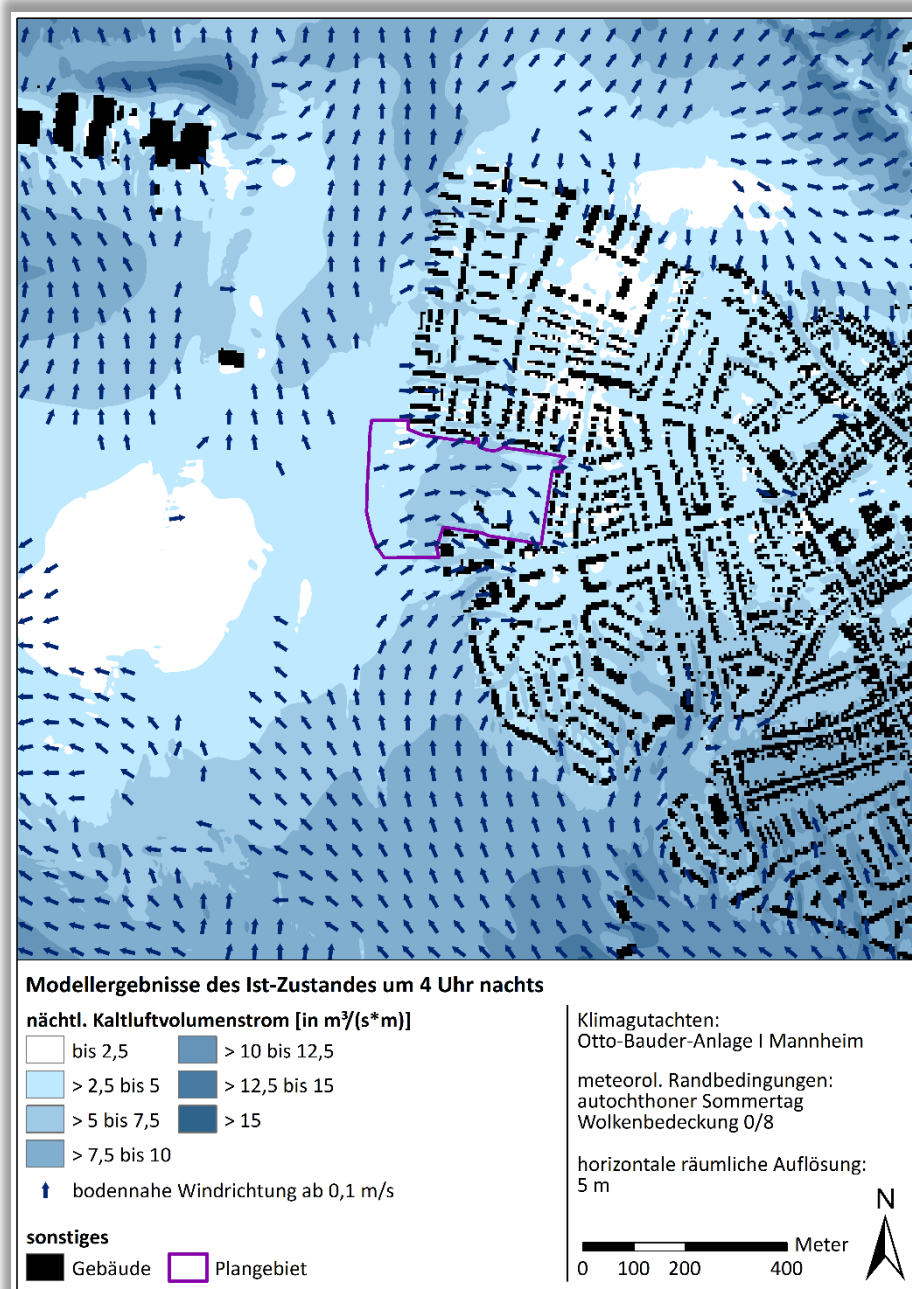


Abbildung 12: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Ist-Zustand.

Plan-Zustand

Die Abbildung 13 stellt im oberen Kartenausschnitt die Modellergebnisse zum nächtlichen Kaltluftvolumenstrom des Plan-Zustandes dar. Dabei wird deutlich, dass sich durch die geplante Bebauung und der damit einhergehenden zusätzlichen Strömungshindernisse der Kaltluftvolumenstrom innerhalb des Plangebietes von durchschnittlich 5,4 auf 3,8 m³/s/m reduziert. Dies ist vor allem auf die zusätzlichen Baukörper zurückzuführen, welche wie beschrieben, ein Hindernis für die Kaltluftströmung selbst darstellen und zudem durch ihr Bauvolumen den Raum für potenzielle Kaltluftströmungen reduzieren. Eine erhöhte Kaltluftdynamik ist dagegen aufgrund von Umlenkungseffekten vor allem nordwestlich und südöstlich des Plangebietes zu beobachten, wohingegen nordöstlich ein deutlicher Windschatteneffekt anhand eines reduzierten Kaltluftvolumenstroms zu beobachten ist.

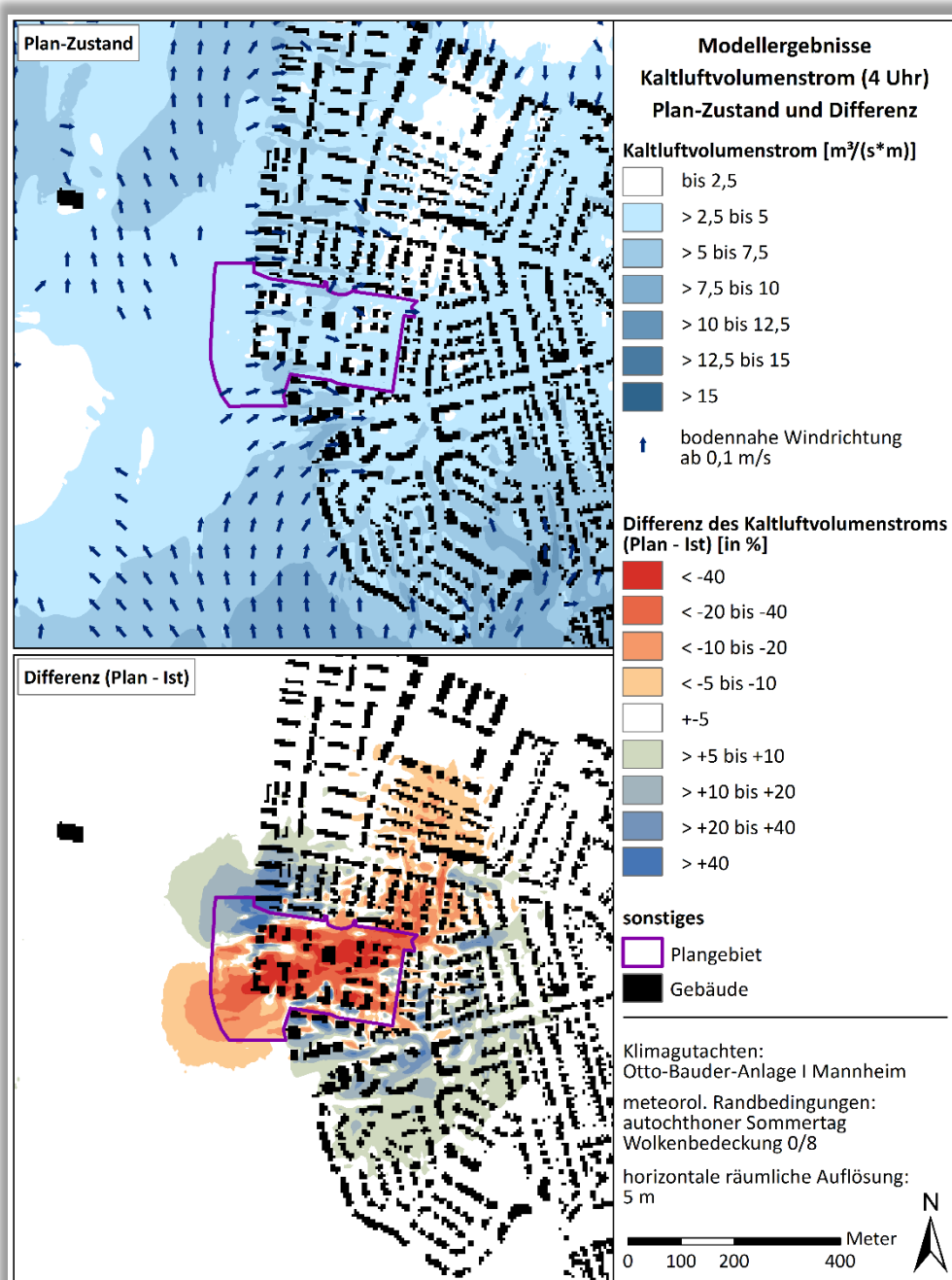


Abbildung 13: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Plan-Zustand (oben) und die Differenz zwischen Ist- und Plan-Zustand (unten).



Um die planungsbedingten Auswirkungen auf den Kaltluftvolumenstrom auch im Umfeld des Plangebiets zu verdeutlichen, wird unteren Kartenausschnitt von Abbildung 13 anhand einer Differenzenkarte die prozentuale Abweichung zwischen dem Ist- und Plan-Zustand dargestellt. 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. Lediglich in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, dass eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 % im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten als „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ ausweist. Eine Verringerung um 5 bis 10 % wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 % wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen. Entsprechend dieser Vorgabe wird bei der Differenzenkarte zum Kaltluftvolumenstrom anstatt der ansonsten betrachteten Absolutwerte die prozentuale Abweichung dargestellt.

Zwar überschreiten die prozentualen Abnahmen nordöstlich des Plangebietes stellenweise dem gemäß VDI-Richtlinie kritischen Schwellenwert von 10 % (starke Abnahme), allerdings ist das Wertenniveau an dieser Stelle bereits im Ist-Zustand so gering, dass bereits minimale Abnahmen ($<0,5 \text{ m}^3\text{m/s/m}$) zu einer hohen prozentualen Veränderung führen. Zudem konnte aufgrund der relativ lockeren Bebauungsstruktur weder eine erhöhte thermische Vorbelastung (Ist-Zustand) noch eine wesentliche Erhöhung der nächtlichen Lufttemperatur im Plan-Zustand festgestellt werden.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass es durch die geplante Neubebauung zwar zu einer Reduktion der Kaltluftdynamik innerhalb des Plangebietes und lokal auch darüber hinaus kommt. Hiervon sind aber nur Flächen betroffen, welche bereits im Ist-Zustand kaum von externer Kaltluftzufuhr tangiert werden und zudem aufgrund ihres überwiegend hohen Grünflächenanteils selbst ausreichend Kaltluft produzieren. Darüber hinaus ist durch Umlenkungseffekte stellenweise sogar eine leichte Erhöhung der Kaltdynamik in umliegenden Wohngebieten zu erwarten.

Bodennahes Windfeld

Ergänzend zum Kaltluftvolumenstrom ist die Ausprägung des bodennahen Windfeldes ein weiterer Indikator für die Kaltluftsituation eines Siedlungsraumes. So bedeuten hohe Kaltluftvolumenströme nicht zwangsläufig eine effektive bodennahe Durchlüftung beispielsweise eines Wohnquartiers, da dieses bei einer entsprechenden Kaltluftmächtigkeit auch überströmt werden kann. Größere Abweichungen können insbesondere in dicht bebauten und/oder baumreichen Standorten auftreten, da hier häufig kaum bodennahe Durchlüftung stattfindet.

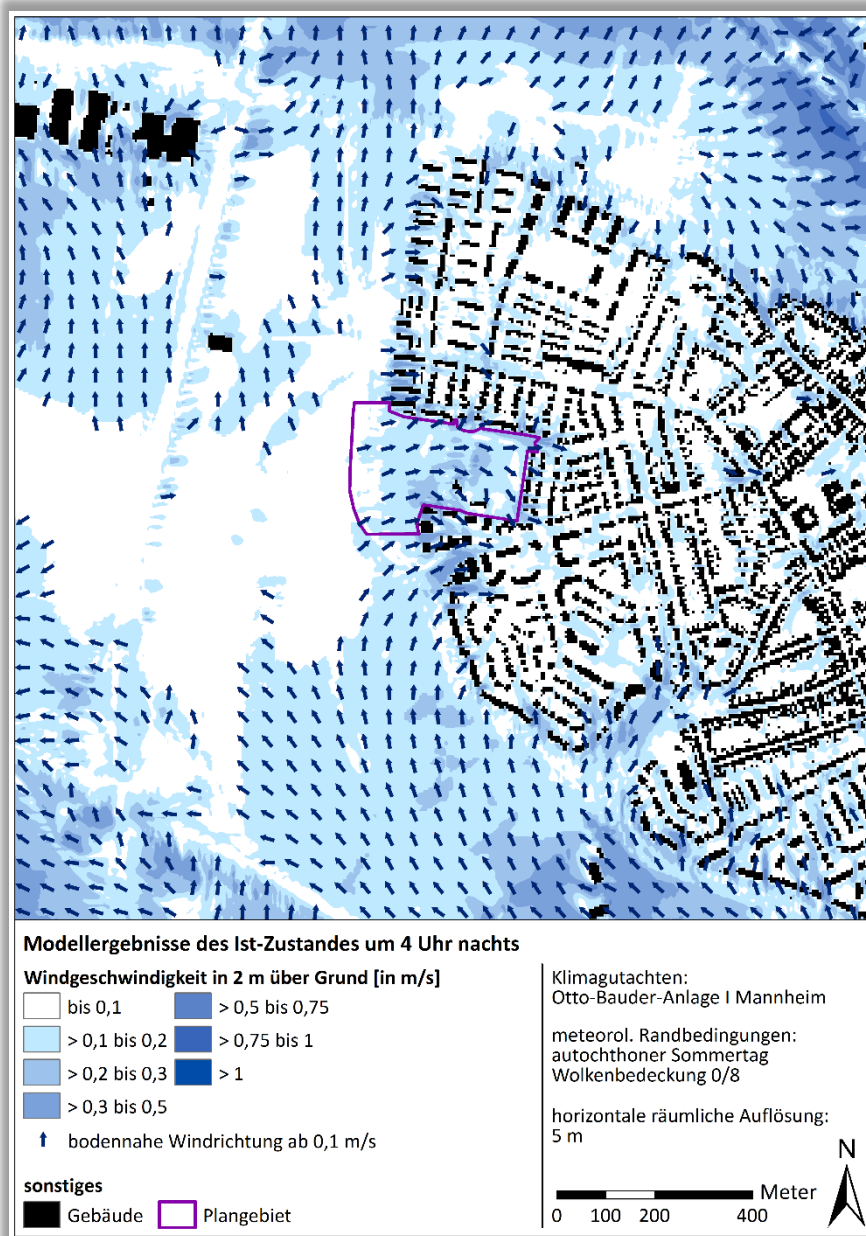


Abbildung 14: Ausprägung der nächtlichen Windgeschwindigkeit im Ist-Zustand.

Die Modellergebnisse des Ist-Zustandes (Abb. 14) gehen hinsichtlich der bodennahen Windgeschwindigkeiten (WG) grundsätzlich mit jenen des Kaltluftvolumenstroms einher. So sind auch in diesem Fall erhöhte Windgeschwindigkeiten allem im Bereich ruhigkeitsarmer Grünflächen sowie Gebäudeabstandsflächen und Straßenzügen zu erwarten. Abweichungen treten dagegen z.B. im Umfeld des Wasserturms auf, wo sich die hohen Kaltluftvolumenströme bodennah nur eingeschränkt anhand des Windfeldes widerspiegeln.

Das Plangebiet weist im Ist-Zustand bei bodennahen Windgeschwindigkeiten von maximal 0,32 m/s lediglich ein geringes Durchlüftungspotenzial auf; das Flächenmittel liegt bei 0,21 m/s. Die Modellberechnungen für den Plan-Zustand (Abb. 15) zeigen innerhalb des Plangebietes sowohl lokale Zunahmen als auch Abnahmen der Windgeschwindigkeit, wobei die Abnahmen infolge zusätzlicher Strömungshindernisse deutlich überwiegen. Im Mittel sinkt die bodennahe Windgeschwindigkeit auf 0,14 m/s.

Außerhalb des Plangebietes sind – anders als beim Kaltluftvolumenstrom – nur geringe Veränderungen zu erwarten. Lediglich im direkten Umfeld kommt es in bis zu 70 m Entfernung zu kleinräumigen Reduktionen der Windgeschwindigkeit. Eine wesentliche Verschlechterung der klimaökologischen Situation ist dadurch nicht zu erwarten.

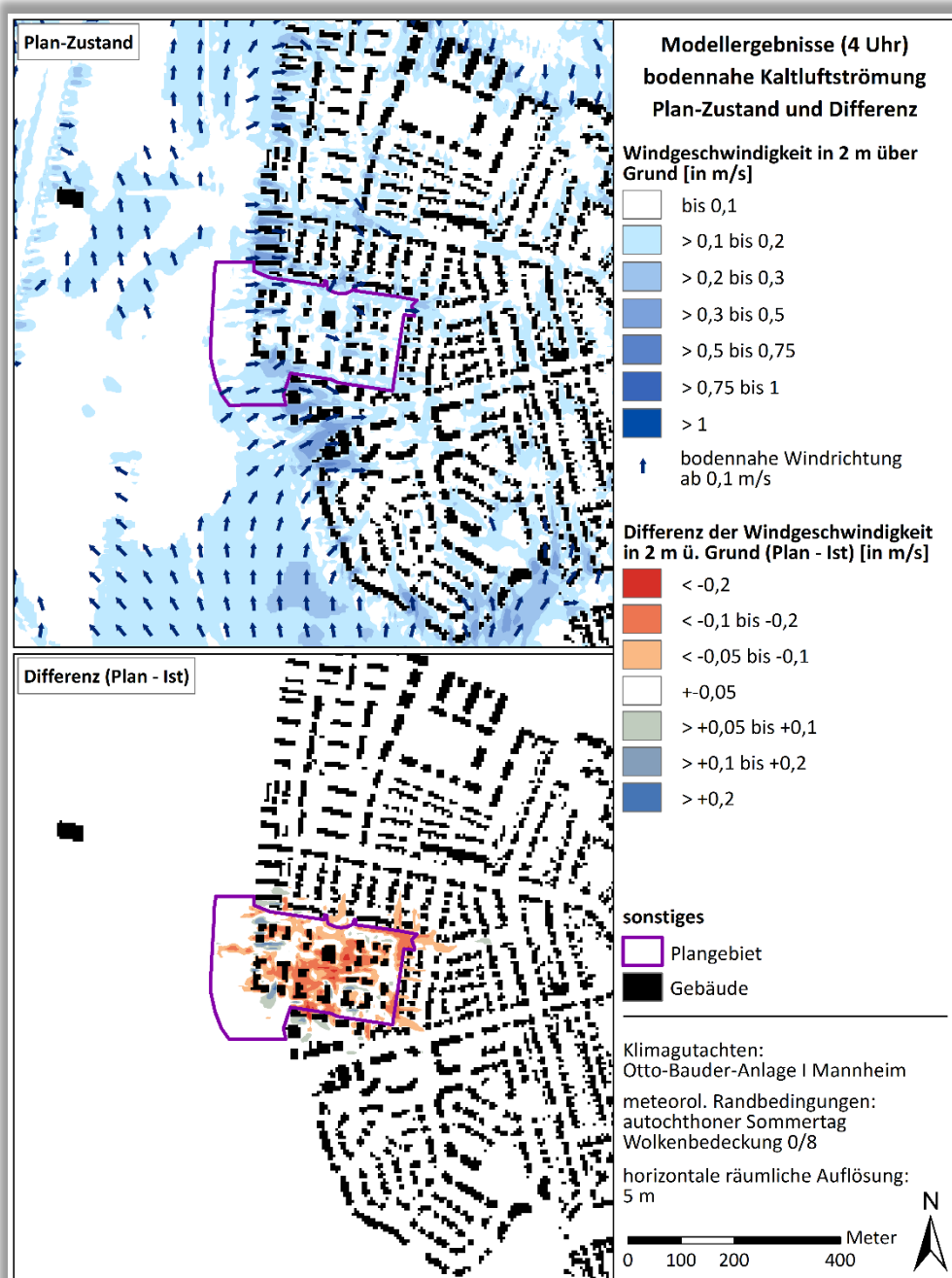


Abbildung 15: Ausprägung der nächtlichen Windgeschwindigkeit im Plan-Zustand (oben) und die Differenz zwischen Ist- und Plan-Zustand (unten).

3.3 Wärmebelastung am Tag

Zur Bewertung der Wärmebelastung werden Indizes verwendet, die Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. In Modellen wird der Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung berechnet und die Wärmebelastung eines Menschen abgeschätzt. Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbioklimatische Index PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) um 14 Uhr herangezogen (Matzarakis und Mayer 1996). Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden quantifiziert (siehe Tabelle A1 im Anhang, VDI 2004).

Ist-Zustand

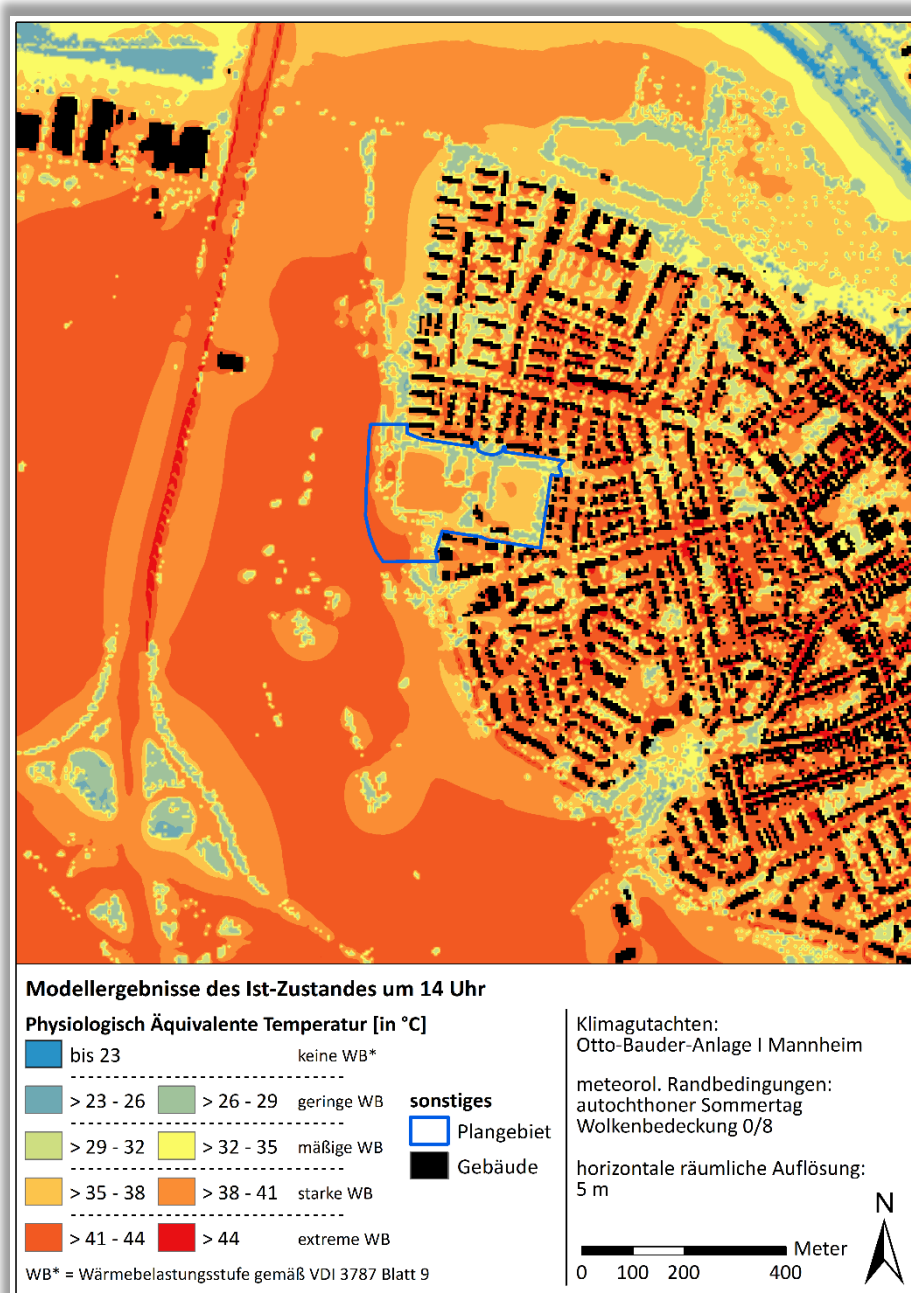


Abbildung 16: Ausprägung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur im Ist-Zustand.

Die Abbildung 16 zeigt die räumliche Verteilung der modellierten PET um 14 Uhr in 1,1 m über Grund für die derzeitige Situation. Dabei zeigen sich erwartungsgemäß starke bis extreme Wärmebelastungen im Bereich unverschatteter Frei- und Siedlungsflächen, wohingegen geringere Wärmebelastungen vorwiegend in durch Baum- oder Gebäudeschatten begünstigten Bereichen auftreten. Darüber hinaus geht auch von Gewässern eine Kühlwirkung aus, welche sich im ufernahen Bereich bemerkbar macht. Die stärksten Wärmebelastungen im Untersuchungsgebiet zeigen sich generell in Bereichen sonnenexponierter sowie schlecht durchlüfteter Siedlungslagen ohne nennenswerten Baumbestand sowie im Bereich der offenen Ackerflächen. Hier erreicht die PET Werte von bis zu 44,5 °C. Innerhalb des Plangebietes herrscht aufgrund der geringen Verschattung eine überwiegend starke Wärmebelastung. Lediglich im Bereich des Baumbestandes ist eine geringe bis mäßige Wärmebelastung zu erwarten. Die Schattenwirkung der Bäume dämpft dabei auch Wärmebelastung der unverschatteten Sportflächen. Die stärkste Wärmebelastung ist mit bis zu 41,9 °C am westlichen Gebietsrand im Nahbereich der Neuostheimer Straße zu beobachten. Im Gebietsmittel resultiert hieraus eine PET von 36,4 °C, was einer starken Wärmebelastung gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9 (2007) entspricht.

Plan-Zustand

Die Abbildung 17 verdeutlicht, dass im Plan-Zustand eine wesentlich heterogenere Wärmebelastung zu erwarten ist, wobei insbesondere durch die Schattenwirkung der geplanten Gebäudekörper sowie der Baumpflanzungen im Straßenraum eine lokale Reduktion der Wärmebelastung zu beobachten ist. Der erhöhten Verschattung wirkt eine reduzierte Ventilation des Plangebietes entgegen, was vor allem im Ostteil der Fläche zu einer erhöhten Wärmebelastung führt. Im Mittel führt die Planung mit weiterhin 36,4 °C zu einer gleichbleibenden Wärmebelastung.

Neben den planungsbedingten Auswirkungen auf das Plangebiet selbst, sind auch die Auswirkungen auf die umliegenden Siedlungslagen zu betrachten. Die Abbildung 17 (unten) zeigt in diesem Zusammenhang anhand der PET-Differenz zwischen dem Plan-Zustand und dem Ist-Zustand die räumliche Ausprägung der klimaökologischen Auswirkungen. Es zeigt sich, dass Zunahmen der PET im Umfeld der geplanten Neubebauung im relevanten Ausmaß rund 50 bis 130 m über die Grenzen des Plangebiets hinaus wirken und so gebietsweise die direkt angrenzenden Wohngebiete tangieren. Die Auswirkungen sind dabei im Wesentlichen auf veränderte Luftzirkulation aufgrund der modifizierten Flächenkulisse im Plangebiet zurückzuführen. Die daraus resultierenden Zu- und Abnahmen der PET von lokal bis zu +2,2 °C bzw. -1,2 °C besitzen zwar nur eine relativ geringe Reichweite, stellen aus klimaökologischer Sicht allerdings eine lokal verstärkte thermische Belastung dar. Dieser sollte auch in Hinblick des Klimawandels durch geeignete Maßnahmen entgegengewirkt werden (siehe Kapitel 4).



Abbildung 17: Physiologisch äquivalente Temperatur im Plan-Zustand (oben) sowie die Differenz zwischen dem Ist- und Plan-Zustand (unten).

4. Schlussfolgerung und planerische Hinweise

In der vorliegenden Analyse wurden die klimaökologischen Auswirkungen, welche durch die Umsetzung der Planungen zur Otto-Baader-Anlage in Mannheim-Seckenheim zu erwarten sind, untersucht. Hierbei wurde der Fokus sowohl auf das Vorhabengebiet selbst als auch auf die umliegenden Siedlungslagen gelegt. Die Modellergebnisse zu den untersuchten klimaökologischen Parametern (nächtliche Lufttemperatur, nächtliche Kaltluftströmung und Physiologisch Äquivalente Temperatur) zeigen dabei in der Gesamtbetrachtung überwiegend geringfügige vorhabenbedingte Auswirkungen. So werden umliegende Siedlungslagen in der Nachtsituation kaum nennenswert beeinflusst, wohingegen in der Tagsituation im Nahbereich des Plangebiets eine leichte Erhöhung der thermischen Belastung zu erwarten ist. Im geplanten Wohnquartier selbst ist in der Nachtsituation aufgrund des hohen Grünflächenanteils von einer günstigen klimaökologischen Situation auszugehen.

Innerhalb des Plangebiets ist nach Umsetzung des Planvorhabens vor allem im Ostteil von einer erhöhten Wärmebelastung am Tag auszugehen. Dieser kann durch relativ einfach umzusetzende Maßnahmen entgegengewirkt werden, wodurch auch die Auswirkungen über die Grenzen des Plangebiets hinweg gedämpft werden können. So bieten sich vor allem ergänzende Baumpflanzungen an, da diese durch ihre Schattenwirkung sowie ihre Verdunstungskühlung den größten Effekt erzielen können. Zudem sind im Bereich etwaiger Aufenthalts- bzw. Wartebereiche (z.B. Haltestellen des ÖPNV) einzelne schattenspendende Überdachungen zu empfehlen.

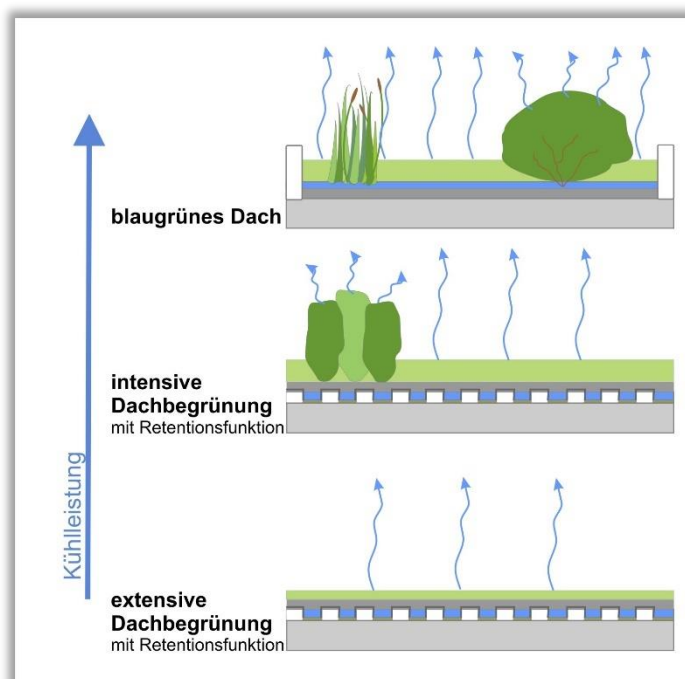


Abbildung 18: Prinzipskizze für unterschiedliche Arten von Dachbegrünungen (Quelle: BAFU 2018).

Des Weiteren kann das Anlegen von Gründächern nicht nur zur Abkühlung auf Dachniveau beitragen, sondern fungiert auch als Schutzschicht für den Dachaufbau. Die Kühlleistung ist dabei abhängig von der Art bzw. Intensität der Begrünung (siehe Abbildung 18). Die Vegetation hat in Verbindung mit dem Substrat darüber hinaus eine isolierende Wirkung, wodurch das Aufheizen des Gebäudeinneren verringert werden kann. Aufgrund der geplanten Gebäudehöhen sind jedoch keine spürbaren Auswirkungen auf das bodennahe Niveau im Umfeld begrünter Dächer zu erwarten, da solche Effekte in der Regel auf Gebäudehöhen von bis zu 5-6 Metern begrenzt sind. Empfehlenswert wäre in diesem Zusammenhang die



Begrünung etwaiger Nebengebäude und/oder Überdachungen. Darüber hinaus kann sich die Kühlwirkung von Gründächern positiv auf den Ertrag von Photovoltaikanlagen auswirken, was eine sinnvolle Kombination beider Maßnahmen für die Dachfläche des Parkhauses unterstützt. Weitere Vorteile von Gründächern umfassen die Retention von Niederschlagswasser, wodurch Überschwemmungen abgemildert und das Abwassersystem entlastet werden kann, sowie die Förderung der Luftqualität und Biodiversität.

Um die Durchlüftung des geplanten Wohnquartiers zu fördern, sollte im Bereich von Baumpflanzungen entlang der Straßenachsen der Stammraum möglichst offen gestaltet werden und nicht mit höheren Sträuchern kombiniert werden. Auch Nebengebäude vorhandene Durchlüftungsachsen nach Möglichkeit nicht weiter verengen.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit stellt die Verwendung geeigneter Baumaterialien dar. So können helle Anstriche dazu beitragen, der Aufheizung von versiegelten Oberflächen und Gebäuden am Tage entgegenzuwirken, so dass sie nachts weniger Wärme an ihre Umgebung abgeben. Da die erhöhte Reflexion durch helle Anstriche allerdings auch zu einer erhöhten Wärmebelastung am Tag führen kann, sind im bodennahen Bereich (bis ca. 3 m Wandhöhe) mittelhelle Farbtöne und/oder eine Fassadenbegrünung eine geeignete Ergänzung. Fassadenbegrünung wirkt sogar zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits die Verdunstungskälte des Wassers an Pflanzenbestandteilen einen leicht abkühlenden Effekt auf umgebende Luftmassen hat. Die Wirksamkeit von Fassadenbegrünung ist dabei allerdings auf den direkten Nahbereich begrenzt und auch hinsichtlich der Wirkintensität ist sie gegenüber den deutlich wirksameren Baumpflanzungen und Überdachungen als sekundäre (Ergänzungs-)Maßnahme zu verstehen.

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Hannover, den 31.07.2025

Erstellt von:

Jonas Kaup (M. Sc. Landschaftswissenschaften)

Geprüft von:

Dipl.-Geogr. Dirk Funk

Die Erstellung dieses Klimagutachtens erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach bestem Wissen und Gewissen. Das Klimagutachten bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Eigentum und Nutzungsrecht liegen bei den Auftraggebern.



5. Quellen

BAFU, BUNDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.): Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. Bern 2018, 108 S.

GEO-NET; ÖKOPLANA 2021: Stadtklimaanalyse Mannheim 2020.

MATZARAKIS, A. UND H. MAYER 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Newsletter No. 18: 7-10.

UBA 2023: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, <www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur> (20.07.2025).

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

VDI 2008: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.



6. Anhang

Tab. A 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET in den Tagesstunden (Auszug nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
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