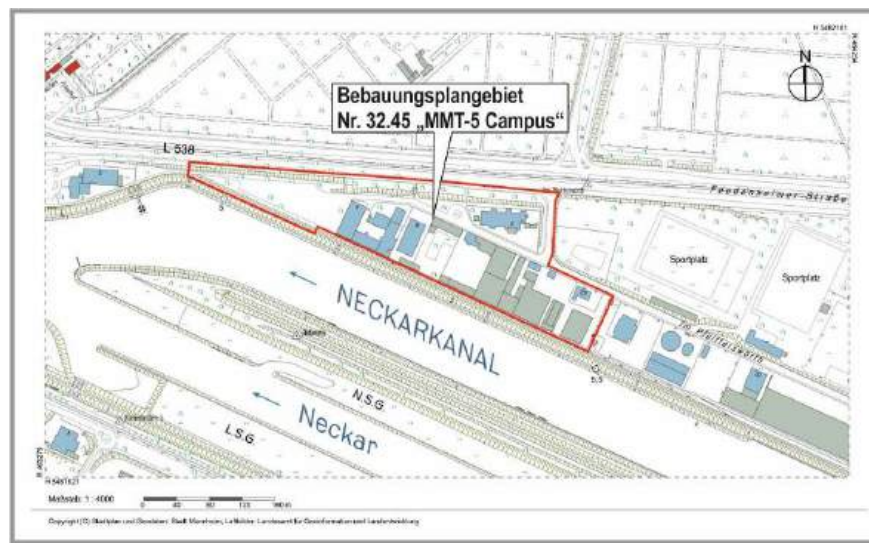


ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

**KLIMAGUTACHTEN ZUM BEBAUUNGSPLAN
NR. 32.45 „MMT-5 CAMPUS“
IN MANNHEIM-WOHLGELEGEN**



Auftraggeber:

Stadt Mannheim
FB Geoinformation und Stadtplanung
Technisches Rathaus Mannheim
Glücksteinallee 11
68163 Mannheim

Erstellt von ÖKOPLANA in Kooperation mit



GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Mannheim, 12. September 2025

ÖKOPLANA
Seckenheimer Hauptstraße 98
D-68239 Mannheim
Telefon: 0621/474626 · Telefax 475277
E-Mail: info.oekoplana@t-online.de
www.oekoplana.de

Geschäftsinhaber:
Dipl.-Geogr. Achim Burst

Gemeinsam engagiert in der



Deutsche Bank Mannheim
IBAN:
DE73 6707 0024 0046 0600 00
BIC: DEUTDE33HAN

Steuernummer: 37137/44979

Inhalt		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Planungsgebiet	4
3	Planungsentwürfe für das Bebauungsplangebiet Nr. 32.45 „MMT-5 Campus“	8
4	Untersuchungsmethodik	12
5	Folgen des Klimawandels und klimaökologische Situation am Planungsstandort	14
5.1	Großräumige klimatische Situation und Folgen des Klima- wandels	14
5.2	Lokale klimatische Situation	17
6	Numerische Modellrechnungen zur Bilanzierung der kleinräumigen Folgeerscheinungen des Planungsvor- habens auf das Kaltluftprozessgeschehen und die ther- mischen/bioklimatischen Umgebungsbedingungen	26
6.1	Kaltluftprozessgeschehen im Sommer – allgemeine Grund- Lagen	29
6.2	Ergebnisse der Modellrechnungen zum lokalen Kaltluftpro- zessgeschehen	32
6.3	Thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen - allgemeine Grundlagen	49
6.3.1	Ergebnisse der Modellrechnungen zu den thermischen Umge- bungsbedingungen – Lufttemperatur	51
6.3.2	Ergebnisse der Modellrechnungen zu den bioklimatischen Umgebungsbedingungen – Physiologische Äquivalenttem- peratur (PET)	62
7	Kurzzusammenfassung der Untersuchungsergebnisse, Bewertung und Planungsempfehlungen	68
7.1	Einfluss der geplanten Bebauung auf die klimaökologischen Funktionsabläufe und Bewertung	70
7.2	Planungsempfehlungen	73
	Quellenverzeichnis / weiterführende Literatur	82

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Lage des Planungsgebiets „MMT-5 Campus“ im Stadtgefüge von Mannheim
- Abbildung 2:** Abgrenzung des Planungsgebiets „MMT-5 Campus“. Grafik bereitgestellt von: Stadt Mannheim
- Abbildung 3:** Geländehöhen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld
- Abbildung 4:** Luftbild vom Planungsgebiet und von dessen Umfeld. Luftbild bereitgestellt von: Stadt Mannheim
- Abbildung 5:** Fotografische Dokumentation vom Planungsgebiet. Luftbild bereitgestellt von: Stadt Mannheim
- Abbildung 6:** Ausschnitt aus dem Flächennutzungsplan Heidelberg-Mannheim.
- Abbildung 7:** Städtebauliches Konzept „MMT-5 Campus“ - Planungsvariante 1
- Abbildung 8:** Städtebauliches Konzept „MMT-5 Campus“ - Planungsvariante 2
- Abbildung 9:** Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien
- Abbildung 10:** Berechnete Windstatistik für den Planungsstandort (Datenbasis 2011 – 2020)
- Abbildung 11:** Lage der Klimamessstation Dudenstraße
- Abbildung 12:** Windstatistiken der Klimamessstationen Mannheim Wetterstation (DWD) und Dudenstraße (ÖKOPLANA). Messzeitraum: August – November 2001)
- Abbildung 13:** Berechnete lokale Kaltluftbewegungen in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht.
- Abbildung 14:** Standorte von Klimamessstationen (Smart City Mannheim)
- Abbildung 15:** Tagesgänge der Lufttemperatur an einem heißen Sommertag (01./02.07.2025) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld
- Abbildung 16:** Ausschnitt aus der Isothermenkarte Mannheim vom 23.07.2019 (05:00 Uhr)
- Abbildung 17:** Berechnete Lufttemperaturverteilung in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr).
- Abbildung 18:** Grundlagen für die numerischen Modellrechnungen – Nullvariante: Nutzungsraster

- Abbildung 19:** Grundlagen für die numerischen Modellrechnungen - Planungsvariante 1: Nutzungsraster
- Abbildung 20:** Grundlagen für die numerischen Modellrechnungen - Planungsvariante 2: Nutzungsraster
- Abbildung 21:** Prüfschema „Kaltluftrelevanz“. Aus VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf, März 2024)
- Abbildung 22:** Nullvariante, Kaltluftfließbewegungen gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.
- Abbildung 23:** Planungsvariante 1, Kaltluftfließbewegungen gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.
- Abbildung 24:** Planungsvariante 2, Kaltluftfließbewegungen gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.
- Abbildung 25:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Kaltluftfließgeschwindigkeiten durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.
- Abbildung 26:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Kaltluftfließgeschwindigkeiten durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.
- Abbildung 27:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Kaltluftfließgeschwindigkeiten durch die Planungsvarianten 1 und 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.
- Abbildung 28:** Nullvariante. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abbildung 29:** Planungsvariante 1. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abbildung 30:** Planungsvariante 2. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abbildung 31:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der nächtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch die Planungsvariante 1 in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht

- Abbildung 32:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der nächtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch die Planungsvariante 2 in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht
- Abbildung 33:** Nullvariante, Kaltluftvolumenstromdichte gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 34:** Planungsvariante 1, Kaltluftvolumenstromdichte gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 35:** Planungsvariante 2, Kaltluftvolumenstromdichte gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 36:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation des Kaltluftvolumenstroms durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 37:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation des Kaltluftvolumenstroms durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 38:** Nullvariante, Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag
- Abbildung 39:** Planungsvariante 1, Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag
- Abbildung 40:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag durch Planungsvariante 1
- Abbildung 41:** Planungsvariante 2, Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag
- Abbildung 42:** Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag durch Planungsvariante 2
- Abbildung 43:** Nullvariante, Lufttemperatur 2 m ü.G, gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 44:** Planungsvariante 1, Lufttemperatur 2 m ü.G, gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 45:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Lufttemperatur durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 46:** Planungsvariante 1, Lufttemperatur 2 m ü.G, gegen 04:00 Uhr
- Abbildung 47:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Lufttemperatur durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr

- Abbildung 48:** Nullvariante - Ergebnisse der PET-Simulationen. PET-Werte 1 m ü.G. (14:00 Uhr)
- Abbildung 49:** Planungsvariante 1 - Ergebnisse der PET-Simulationen. PET-Werte 1 m ü.G. (14:00 Uhr)
- Abbildung 50:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der PET-Werte (1 m ü.G.) durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 14:00 Uhr
- Abbildung 51:** Planungsvariante 2 - Ergebnisse der PET-Simulationen. PET-Werte 1 m ü.G. (14:00 Uhr)
- Abbildung 52:** Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der PET-Werte (1 m ü.G.) durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 14:00 Uhr
- Abbildung 53:** Verlauf der Kaltluftzugbahn Grünzug Nordost (A32/33/34/34b/35) – Sportpark Neckarstadt-Ost/Feudenheim (W50) – Neckar/Neckarkanal (A27) – Luisenpark/Unterer Luisenpark (A26)
- Abbildung 54:** Beispielhafte Querschnittsdarstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungstypen
- Abbildung 55:** Oberflächenstrahlungstemperaturen unterschiedlicher Oberflächenbeläge am 21./22.07.2020 zwischen 12:00 Uhr und 04:00 Uhr
- Abbildung 56:** Hellbezugswerte unterschiedlicher Grautöne
- Abbildung 57:** Oberflächentemperaturen unterschiedlich heller Fassaden
- Abbildung 58:** Beispielhaftes Wasserbecken, Brunnen mit kleinen Fontänen

1 Aufgabenstellung

In Mannheim-Wohlgelegen (Stadtbezirk Neckarstadt-Ost) ist zwischen Neckarkanal und Feudenheimer Straße auf einem ca. 4.5 ha großen Areal eine städtebauliche Neuordnung geplant. Damit soll der fünfte Abschnitt des Mannheim Medical Technology Campus („MMT-5 Campus“) realisiert werden.

Die Lage des Planungsgebiets im Stadtgefüge von Mannheim kann der **Abbildung 1** entnommen werden.

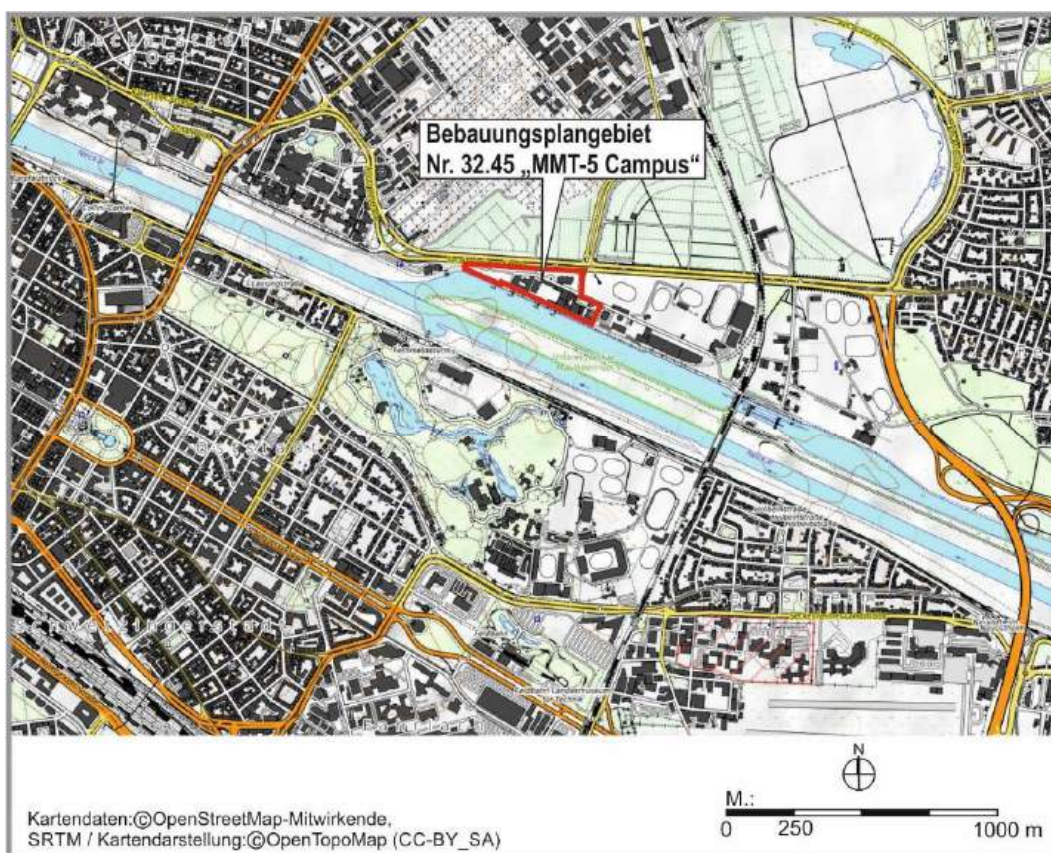


Abbildung 1: Lage des Planungsgebiets „MMT-5 Campus“ im Stadtgefüge von Mannheim

Der hierzu entwickelte Bebauungsplanentwurf Nr. 32.45 setzt ein SO-Gebiet fest. Für die vorgesehene Neubebauung auf der Südseite des Straßenzugs Im Pfeiferswörth sind bislang vier Baufelder festgesetzt, auf denen max. Gebäudehöhen von 18 m (vier Geschosse) ermöglicht werden sollen. Auf dem Baufeld am Westrand des Planungsgebiets ist u.U. eine max. Gebäudehöhe von 30 m (sieben Geschosse) angedacht.

Im Rahmen der erforderlichen Prüfung von Umweltbelangen sind auch die stadtklimatischen Folgeerscheinungen des Vorhabens zu prüfen und zu bewerten, da das Planungsgebiet als Bestandteil des „Sportparks Neckarstadt-Ost/Feudenheim“ ein klimaökologisch bedeutsames Bindeglied zwischen dem Grünzug Nordost und dem südlich des Neckars gelegenen Luisenpark darstellt. In der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021) wird die bestehende Bebauung im Planungsgebiet und in dessen Umfeld (Sportpark) wie folgt klimaökologisch eingeordnet: „Die Gewerbebebauung am Neckarkanal weist eine kleinräumige aber dennoch auffallende Barrierewirkung in Nord-Süd-Richtung auf. Damit die klimaökologisch funktionierende räumliche Verknüpfung der Ausgleichsräume Luisenpark südlich des Neckars und Grünzug Nordost gesichert bleibt, sind örtlich möglichst keine weiteren baulichen Verdichtungen anzustreben, die zusätzliche Luftaustauschbarrieren bilden. Sind Flächen-nutzungsänderungen vorgesehen, ist die nord-süd-gerichtete Durchströmbbarkeit des Gebietes möglichst nicht zusätzlich einzuschränken bzw. idealerweise zu verbessern.“

Im vorliegenden Klimagutachten sind neben der Darstellung der klimaökologischen Ist-Situation (lokale Kaltluftbewegungen / Luftströmungen, Temperaturfeld, bioklimatische Verhältnisse) insbesondere die Auswirkungen der geplanten Bebauung auf die ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe zu analysieren. Dies erfolgt mit Hilfe geeigneter numerischer Modellrechnungen, wobei auf den Daten der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 aufgebaut wird.

Bei der Bewertung der lokalen Klimamodifikationen durch den geplanten „MMT-5 Campus“ sind auch die prognostizierten Klimawandelfolgen zu berücksichtigen. So zeigen beispielsweise Klimastudien für Baden-Württemberg (LUBW 2025¹), dass u.a. die Häufigkeiten heißer Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und von Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) in den nächsten Jahrzehnten deutlich zunehmen werden. Damit steigt auch die Anzahl von Hitzewellen².

Ergänzende Planungshinweise zur Sicherung bzw. Gestaltung günstiger lokalklimatischer Verhältnisse sollen dazu dienen, ggf. eine möglichst klimawandelangepasste Bebauungsstruktur zu entwickeln.

¹ **LUBW LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (2025):** Land unter: Hochwasser und Starkregen prägten das Jahr. Eine klimatische Einordnung des Jahres 2024 für Baden-Württemberg. Karlsruhe.

² Laut DEUTSCHEM WETTERDIENST liegt eine Hitzewelle vor, wenn an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen Lufttemperaturen von über 28°C gemessen werden – <https://www.dwd.de>

Für die Klimauntersuchung werden demnach folgende Schwerpunkte gesetzt:

- 1 Vertiefende Analyse und Bewertung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Auswertung vorhandener Klimadaten und Prognosen zum Klimawandel.
- 2 Qualitative / quantitative Bestimmung und Diskussion der klimaökologischen Wechselwirkungen zwischen dem Planungsgebiet und dessen Umfeld sowie der zu erwartenden planungsbedingten klimatischen Veränderungen mit Hilfe numerischer Modellrechnungen (Kaltluftprozessgeschehen/Strömungsdynamik, thermische/bioklimatische Umgebungsbedingungen).
- 3 Darstellung von Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer und thermischer/bioklimatischer Umgebungsbedingungen.

2 Planungsgebiet

Das ca. 4.5 ha große Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ befindet sich im Süden des Stadtteils Wohlgelegen zwischen dem Straßenzug Im Pfeifferswörth und dem Neckarkanal (**Abbildung 2**).

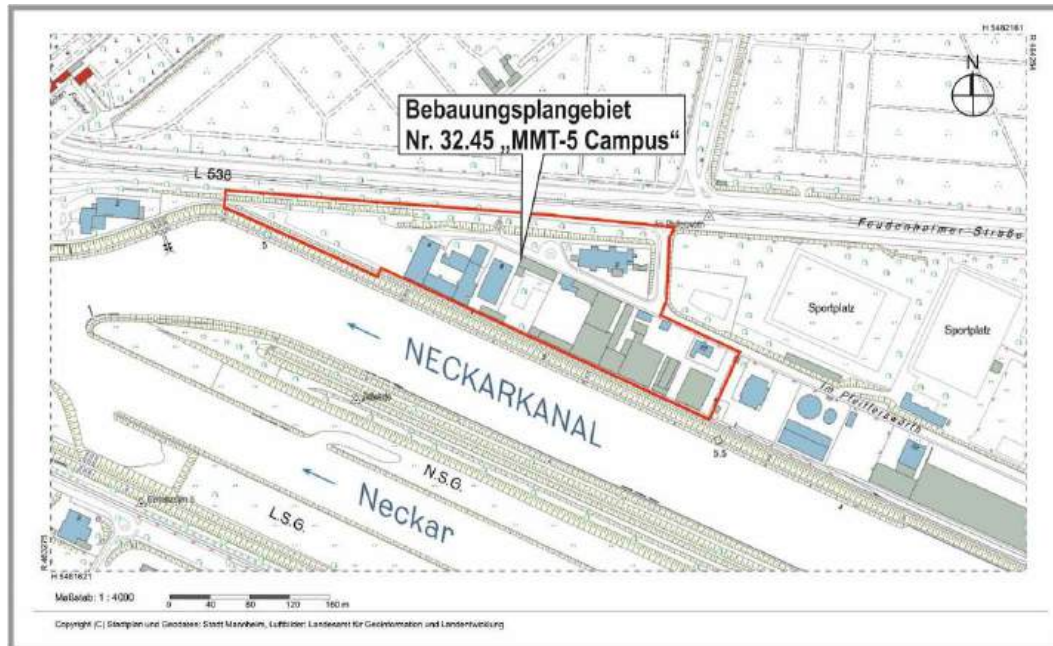


Abbildung 2: Abgrenzung des Planungsgebiets „MMT-5 Campus“. Grafik bereitgestellt von: Stadt Mannheim

Die Geländehöhen im Planungsgebiet bewegen sich zwischen ca. 91 und 96 m ü. NHN - **Abbildung 3**. Entsprechend ist das Gelände nur schwach reliefiert. Die Wasseroberfläche des Neckarkanals liegt bei ca. 87 m ü. NHN.

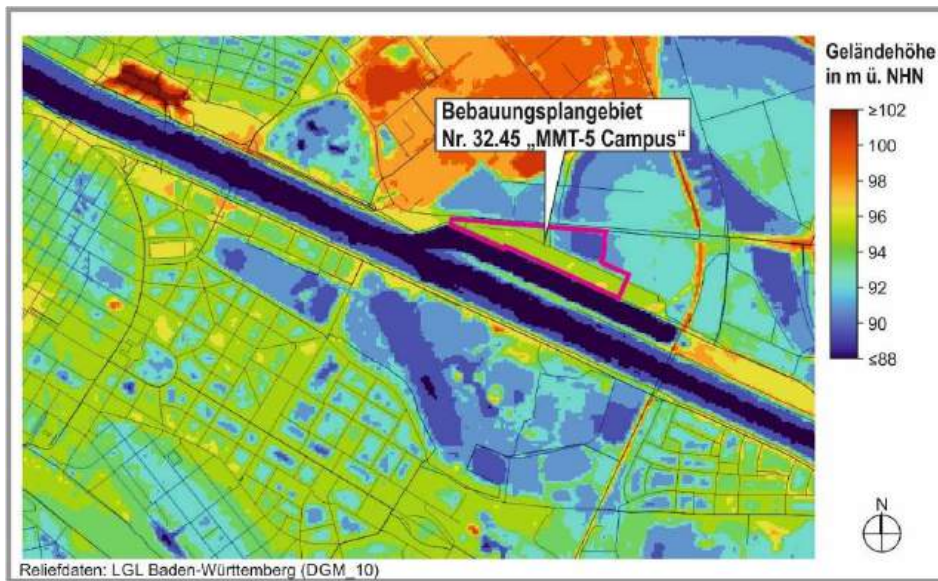


Abbildung 3: Geländehöhen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld

Im westlichen Teilbereich DES Planungsgebiets befinden sich Parkierungsflächen, die mit Schotterrassen befestigt sind und mit Hilfe von Gehölzstreifen gegliedert sind (siehe **Abbildung 4** und **5**). Auf dem südlich angrenzenden Damm zum Neckarkanal befindet sich ein Rad- / Fußweg mit begleitenden Gehölzen. In östlicher Richtung schließen sich 1- bis 2-geschossige Gewerbehallen/-bauten an. Hier befinden sich u.a. Flächen einer Spedition und des Mannheimer Betriebshofs mit großflächig versiegelten Stellplatzflächen sowie Sportstudios und ein Leistungszentrum für Turnen.



Abbildung 4: Luftbild vom Planungsgebiet und von dessen Umfeld. Luftbild bereitgestellt von: Stadt Mannheim

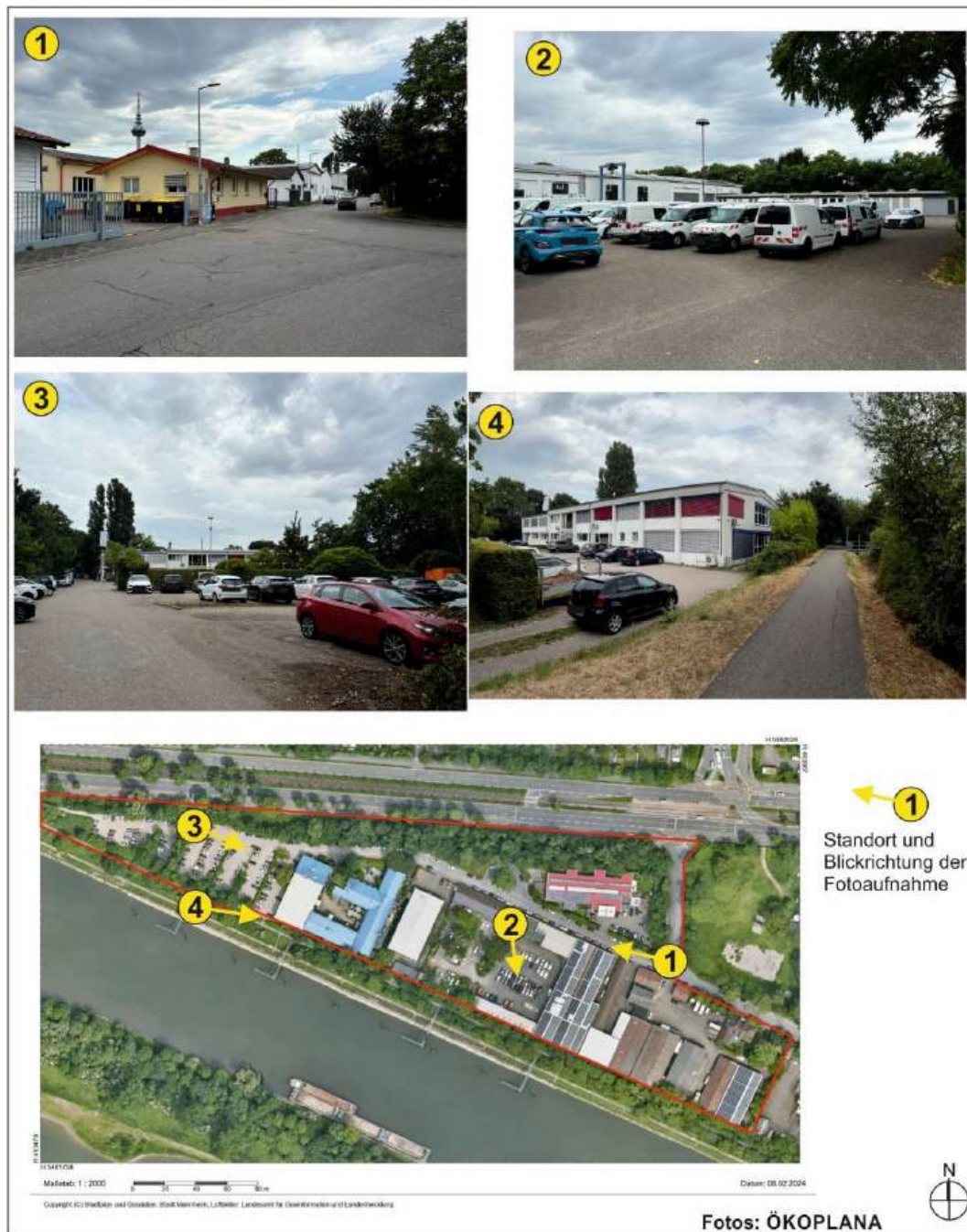


Abbildung 5: Fotografische Dokumentation vom Planungsgebiet. Luftbild bereitgestellt von: Stadt Mannheim

Östlich des Planungsgebiets schließen die Flächen des Sportparks Pfeifferswörth und des Sportparks Neckarplatt an.

Nördlich des Planungsgebiet verläuft die vielbefahrene Feudenheimer Straße (L 538).

Im aktuellen Flächennutzungsplan 2015/2020 des Nachbarschaftsverbands Heidelberg-Mannheim (**Abbildung 6**) ist der Planungsstandort „MMT-5 Campus“ als Sonderbaufläche mit der Nutzung Sport- und Freizeitanlage sowie als Freiraum mit der Nutzung Grünraum festgesetzt.

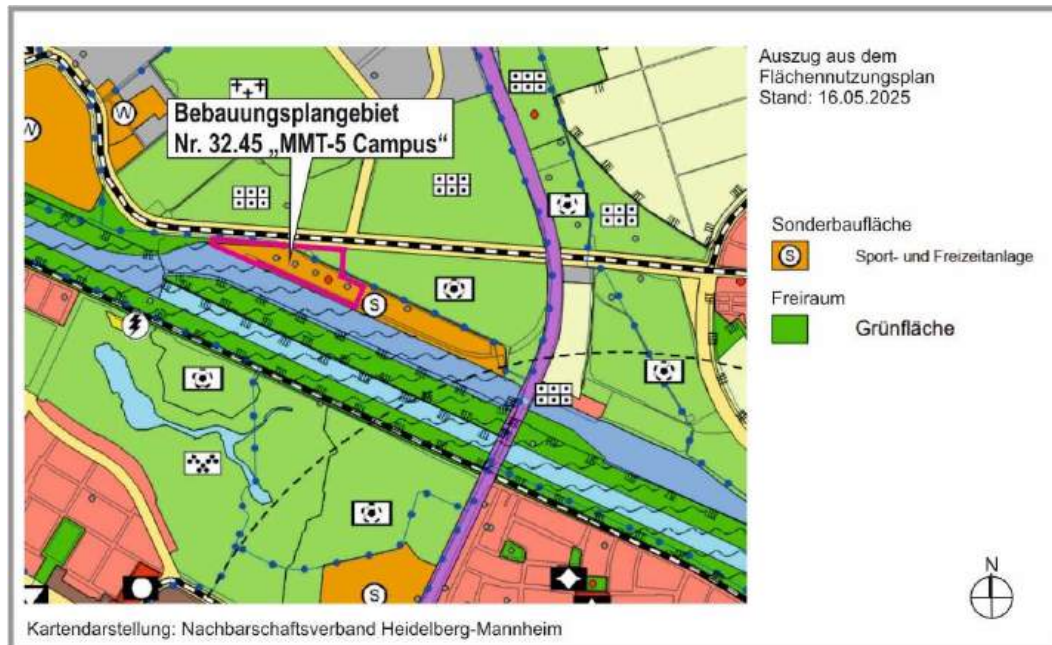


Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Flächennutzungsplan Heidelberg-Mannheim.
Datenquelle: <http://www.nachbarschaftsverband.de/fnp/>

3 Planungsentwürfe für das Bebauungsplangebiet Nr. 32.45 „MMT-5 Campus“

Laut Stadt Mannheim (https://www.mannheim.de/sites/default/files/2023-05/32.37_Planungsposter_A1.pdf) sollen die Bauflächen im „MMT-5 Campus“ als Sondergebiete, z.B. Medizin oder Forschung, festgesetzt werden. Hier soll ein Cluster Gesundheitswirtschaft und Gesundheitsforschung entwickelt werden.

Die Zugänglichkeit zum Neckar soll gesichert und verbessert werden.

Von Seiten der Stadt Mannheim wurden zur klimaökologischen Prüfung zwei Planungsvarianten vorgelegt.

Planungsvariante 1 (Abbildung 7) sieht insgesamt fünf Baufelder vor. Vier Baufelder sind entlang des Neckarkanals angeordnet, ein Baufeld umfasst das Gelände einer sportmedizinischen Rehabilitationsstätte an der Ecke Im Pfeifferswörth / Feudenheimer Straße.

Auf den vier Baufeldern entlang des Neckarkanals soll eine GRZ von 0.8 festgesetzt werden. Auf dem Baufeld im nordöstlichen Planungsteilgebiet ist eine GRZ von 0.4 geplant.

Die Gebietsgröße ohne das Baufeld 1 an der Westspitze und das Planungsteilgebiet an der Ecke Im Pfeifferswörth / Feudenheimer Straße beträgt 22.263 m².

Die Bebauung entlang des Neckarkanals wird durch zwei Nord-Süd orientierte, ca. 37 m und 35 m breite Grünzonen gegliedert.

Die auf den Baufeldern eingetragenen Gebäudeumrisse zeigen Gebäudebreiten von ca. 20 bis 22 m (Quartiersgarage ca. 33 m) und Gebäudelängen von 40 bis 60 m.

An der Westspitze des Planungsgebiets soll der bestehende Parkplatz überbaut werden. Hier sind max. Gebäudehöhen von 30 m und 18 m angedacht. In den weiteren Baufeldern entlang des Neckarkanals sollen max. Gebäudehöhen von 18 m festgesetzt werden. Durch Technikaufbauten kann bei Labornutzung die max. Bauhöhe um 3 – 4 m weiter ansteigen. Ausnahme bildet das 30 m hohe Gebäude im Westen.

Die Abstände der möglichen Gebäude auf den einzelnen Baufeldern betragen in Ost-West-Richtung mindestens 13.5 m.

Die verkehrliche Erschließung erfolgt weiterhin über den Straßenzug Im Pfeifferswörth mit Anbindung an die Feudenheimer Straße (L 538). Die erforderlichen Stellplatzflächen sollen u.a. über eine Quartiersgarage bereitgestellt werden.



Abbildung 7: Städtebauliches Konzept „MMT-5 Campus“ - Planungsvariante 1

Bei **Planungsvariante 2 (Abbildung 8)** wird für die Bebauung auf dem Baufeld 1 allein eine max. Gebäudehöhe von 30 m vorausgesetzt (= Maximalvariante).

Im Baufeld 2 sind, anstelle von drei Baukörpern mit zwei 14 m breiten Abstandsflächen, zwei etwas breitere Baukörper mit einer 24 m breiten Abstandsfläche geplant.

Auch auf den Baufeldern 3 und 4 sind die Baukörperkubaturen im Vergleich zu Planungsvariante 1 modifiziert.



Abbildung 8: Städtebauliches Konzept „MMT-5 Campus“ - Planungsvariante 2

4 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des vorliegenden Klimagutachtens erfolgt zur Beurteilung der lokalklimatischen Situation und zur Erarbeitung klimatisch relevanter Planungsempfehlungen zunächst eine Bestandsaufnahme der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe. Hierbei kann u.a. auf die Daten der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021) zurückgegriffen werden. Des Weiteren werden Daten zu den lokalen Klimawandelfolgen ausgewertet.

In einem weiteren Schritt werden mit Hilfe des seit vielen Jahren im Gutachtensektor eingesetzten und vielfach geprüften Klimamodells FITNAH-3D (GROSS, G. 1992, 2017³) für den Planungsnullfall und zwei Planungsvarianten (siehe Kap. 3) numerische Modellsimulationen durchgeführt.

Schwerpunkte der Modellrechnungen sind das lokale Kaltluftprozessgeschehen, das örtlich von besonderer stadtklimatischer Bedeutung ist und die thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen.

Das Grundgerüst des Modells FITNAH-3D besteht aus den Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und innerer Energie sowie Bilanzgleichungen für Feuchtekomponenten und Luftbeimengungen. Die verschiedenen turbulenten Flüsse werden mit Hilfe empirischer Ansätze mit den berechenbaren mittleren Größen verknüpft. Der dabei auftretende turbulente Diffusionskoeffizient wird aus der turbulenten kinetischen Energie berechnet, für die eine zusätzliche Gleichung gelöst wird.

Die Erwärmungs- und Abkühlungsraten in der Atmosphäre aufgrund der Divergenz der langwelligen Strahlungsflüsse werden über ein Verfahren berechnet, bei dem die Emissivität des Wasserdampfes in der Luft berücksichtigt wird. Bei detaillierten Simulationen im realen Gelände müssen neben der Orographie insbesondere der Einfluss unterschiedlicher Flächennutzungsstrukturen auf die Verteilung der meteorologischen Größen realitätsnah berücksichtigt werden. Hierzu sind in FITNAH-3D besondere Parametrisierungen vorgesehen.

³ **GROSS, G. (1992):** Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.

GROSS, G. (2017): Some effects of water bodies on the environment – numerical experiments, Journal of Heat Island Institute International Vol. 12-2

Ein Wald oder Baumbestand findet beispielsweise über bestandsspezifische Größen wie Baumhöhe oder Bestandsdichte Eingang in das Modell. Damit gelingt es u.a., die Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit im Bestand, die Erhöhung der Turbulenz im Kronenbereich und die starke nächtliche Abkühlung im oberen Kronendrittel in Übereinstimmung mit verfügbaren Beobachtungen zu simulieren.

Unter Berücksichtigung bebauungsspezifischer Größen wie Gebäudehöhe, Versiegelungs- sowie Überbauungsgrad kann die typische Ausbildung der bebauungsbedingten Wärmeinsel bei verringerter mittlerer Strömung simuliert werden.

FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3783, Bl.7 (VDI 2017) definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern.

Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von ca. 1.2 x 0.8 km und ist in das Gesamtstädtische Modell (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021), das eine Flächengröße von ca. 14.6 x 21.0 km aufweist, eingepasst.

Die Rechenauflösung beträgt in der Horizontalen 5 m x 5 m, womit eine sehr kleinräumige Berücksichtigung der Bebauungs- und Flächennutzungsstrukturen sowie der Topografie gesichert ist.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass eine Prognose zur Auswirkung von geplanten Flächennutzungsänderungen nur durch den Einsatz numerischer Modelle möglich ist. Messungen helfen bei dieser Problemstellung nicht weiter, da nur existierende atmosphärische Zustände instrumentell erfassbar sind. Modellrechnungen gestatten es dagegen, schon im Planungsstadium vorgesehener Nutzungsänderungen mögliche unerwünschte oder gar negative Klimaveränderungen zu erkennen.

Abschließend wird ein Katalog mit klimaökologisch positiv wirksamen Planungshinweisen bereitgestellt, der die Gestaltung eines klimawandelgerechten Sondergebiets unterstützen kann.

5 Folgen des Klimawandels und klimaökologische Situation am Planungsstandort

5.1 Großräumige klimatische Situation und Folgen des Klimawandels

Makroklimatisch befindet sich das Stadtgebiet von Mannheim in der außertropischen Westwindzone, deren Wetterablauf durch Zyklonen und Antizyklonen geprägt ist. Dieser Übergangsbereich zwischen Seeklima und kühlem Kontinentalklima zählt nach der Klimaklassifikation von KÖPPEN (1936) zum warm-gemäßigten Regenklima, bei dem die mittlere Temperatur des wärmsten Monats unter 22°C und die des kältesten Monats über -3°C bleibt.

Die Jahressumme des Niederschlags beläuft sich in Mannheim im 30-jährigen Mittel (1991 - 2020) auf 620.5 mm/Jahr (www.dwd.de), wobei im Juli die größte Niederschlagshöhe (71.2 mm/Monat) zu erfassen ist. In diesem Zeitraum kommt es durch hohe Einstrahlungsintensität und der daraus folgenden Konvektion mit Wolkenbildung verstärkt zu Schauern und Gewittern. Die geringsten Niederschlagsmengen treten mit ca. 40.5 mm in den Monaten Februar und April auf.

Tage mit Starkniederschlag (≥ 20 mm/Tag) stellen sich im Mittel der Jahre 1971 – 2000 in 4.8 Tagen/Jahr ein (GERICS 2021).

Die Jahresmitteltemperatur beträgt im mehrjährigen Mittel laut DWD ca. 11.2°C (1991 – 2020). Die maximalen durchschnittlichen Sommertemperaturen werden im Juli mit 20.7°C gemessen. Die minimalen Durchschnittswerte werden mit 2.4°C im Januar erfasst.

Laut Statistik des DWD (www.dwd.de) sind in Mannheim im 30-jährigen Mittel (1991 – 2020)

- 8.6 Eistage/Jahr ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 64.6 Frosttage/Jahr ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)
- 67.7 Sommertage/Jahr ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)
- 20.5 heiße Tage/Jahr ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)

zu registrieren.

Mittelfristige Prognosen deuten darauf hin, dass die sommerliche Wärmebelastung im Zuge des globalen Klimawandels in Mannheim deutlich zunehmen wird. Nach Berechnungen von GERICS (2021) wird die mittlere Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 2036 – 2065 (= nahe Zukunft) gegenüber der Zeitspanne 1991 – 2020 um maximal ca. 1.9 K ansteigen.

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen freigesetzte CO₂-Emissionen. Da aktuell nicht detailliert vorhergesagt werden kann, wie sich die CO₂-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO₂-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen.

Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klima-Szenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*).

Die Zahl in der Bezeichnung der RCP-Szenarien (siehe **Abbildung 9**) benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m², der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird:

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m². Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m² ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2°C-Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- Das RCP-Szenario 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das RCP-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4.0°C gegenüber dem Zeitraum 1985 – 2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher-Szenario“ bezeichnet.

Aktuell befinden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit den globalen CO₂-Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5.

Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO₂-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Im vorliegenden Gutachten werden nachfolgend vornehmlich Werte zu Klimaänderungen des RCP-Szenarios 8.5 beschrieben.

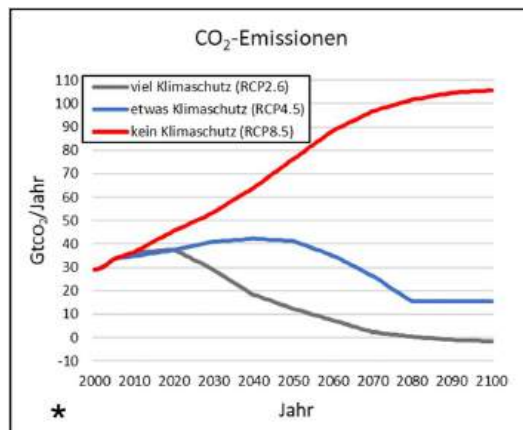


Abbildung 9: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (nach CUBASCH ET AL. 2013, Grafik: GERICS 2021).

Die Anzahl der bioklimatisch besonders relevanten heißen Tage wird aufgrund der Klimawandelfolgen in der nahen Zukunft (2036 – 2065) um ca. 8 Tage/Jahr ansteigen. Da zugleich die Anzahl der Tropennächte zunimmt, steigt ebenfalls die Wahrscheinlichkeit lang anhaltender Hitzewellen.

Im Jahr 2022 wurden an der DWD-Station Vogelstang bereits 36 heiße Tage registriert. In der Mannheimer Innenstadt (städtische Klimamessstation Schossgartenstraße in Nähe des Hauptbahnhofs) lag der Wert sogar bei 47 Tagen/Jahr (<https://stadtklimaanalyse-mannheim.de/klimadaten/>). Im Jahr 2025 wurden (Stand: 10.09.2025) an den Messstandorten DWD-Vogelstang und Schlossgartenstraße 24 bzw. 27 heiße Tage gemessen.

Die erhöhte Wärmebelastung führt insbesondere bei alten und kranken Menschen sowie Kleinkindern zu gesundheitsgefährdendem Hitzestress. Die zunehmende Hitzebelastung mindert auch die Produktivität am Arbeitsplatz und die Konzentration bei Schulkindern.

Durch die o.a. thermisch wirksamen Klimawandelfolgen wird die Sicherstellung günstiger thermischer Umgebungsverhältnisse in der Stadtplanung zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen.

Die Anzahl der Tage mit Starkniederschlag (≥ 20 mm/Tag) wird von 4.8 Tage/Jahr (1971 – 2000) auf ca. 6.0 Tage/Jahr (2036 – 2065) zunehmen. Bei Neubaumaßnahmen sind daher ausreichende Retentionsmöglichkeiten zu berücksichtigen.

5.2 Lokale klimatische Situation

Analysiert man die berechnete Windstatistik der LUBW (2011 – 2020) für den Planungsstandort (**Abbildung 10**), so zeigt sich, dass das Planungsgebiet in freien Lagen in einer Höhe von 10 m ü.G. im Allgemeinen vergleichsweise gut belüftet ist. In Nähe des Neckarkanals kann der großwetterlagenbedingte Höhenwind bodennah in das Stadtgefüge durchgreifen, so dass im mehrjährigen Mittel mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 2.9 m/s zu erwarten sind. In bebauten Lagen und im Bereich dichter Baumbestände können allerdings mittlere Windgeschwindigkeiten von unter 1.5 m/s auftreten. Damit ist dort von insgesamt geringer Durchlüftungsintensität auszugehen.

Die mittlere Windgeschwindigkeit erfährt im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch den Klimawandel keine bedeutsame Veränderung. Laut GERICS (2021) ist in Mannheim und in den angrenzenden Landkreisen bei Berücksichtigung des RCP8.5-Szenarios in den nächsten Jahrzehnten nur eine geringfügige Modifikation der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von ca. -0.12 m/s bis +0.16 m/s zu erwarten.

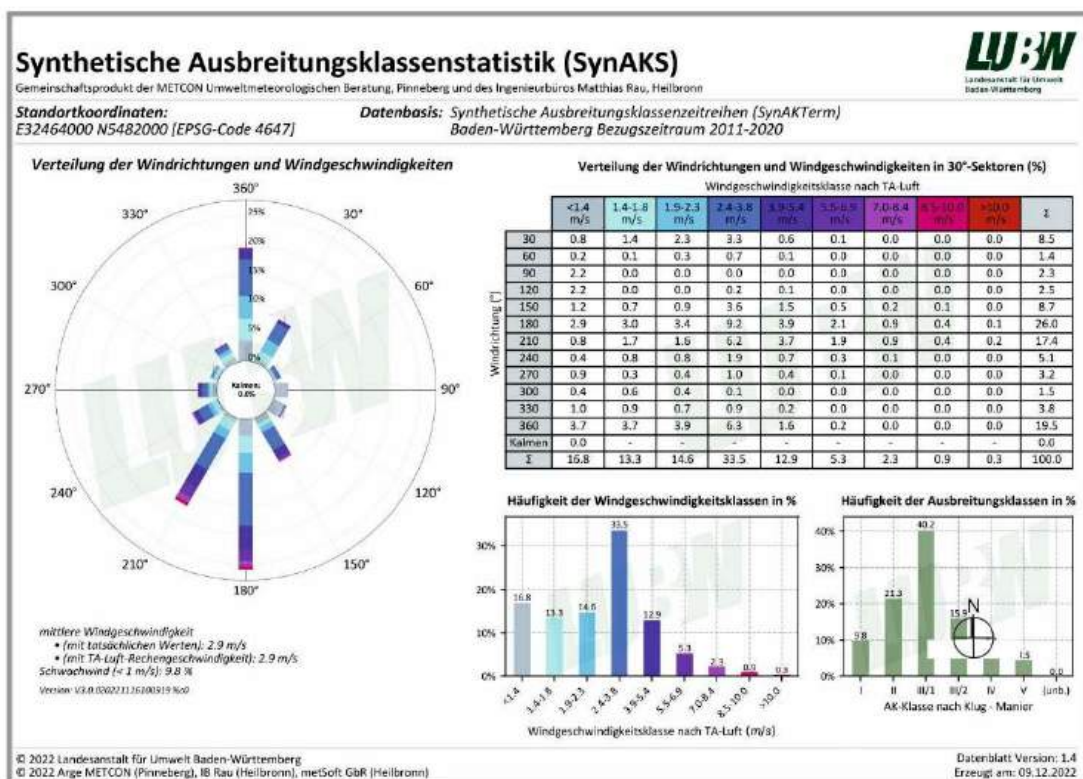


Abbildung 10: Berechnete Windstatistik für den Planungsstandort (Datenbasis 2011 – 2020)
Datenblatt freigegeben durch: Ing.-Büro Rau (Heilbronn)

Die berechnete Windstatistik der LUBW (**Abbildung 10**) sowie die Messungen durch ÖKOPLANA im Zeitraum August – November 2001 in der Dudenstraße nördlich des Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ (**Abbildungen 11 und 12**) belegen, dass im Planungsgebiet und in dessen Umfeld im Allgemeinen südliche bis südwestliche und nördliche Windrichtungen vorherrschen.

In windschwachen Strahlungsnächten (ca. 30% der Nächte in der warmen Jahreszeit Mai – September) dominieren im Planungsumfeld vermehrt nordnordwestliche bis nordnordöstliche Winde das ortsspezifische Luftaustauschgeschehen. Diese sind zum einen lokalen Kaltluftbewegungen über den Grünzug Nordost und zum anderen rheingrabenspezifische Regionalströmungen zuzuordnen. In Nähe zum Neckar/Neckarkanal können sich in Bodennähe in windschwachen Strahlungsnächten zudem flurwindartige Luftaustauschbewegungen zwischen den kühlen Flächen des Luisenparks und den warmen Wasserflächen des Neckars/Neckarkanal ausbilden. Dies dokumentieren Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen – siehe **Abbildung 13** (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021).

Das Planungsgebiet fungiert strömungsdynamisch als Bindeglied zwischen den Kaltluftbewegungen entlang des Grünzugs Nordost / Kleingärten / Hauptfriedhof und den Kaltluftbewegungsflächen Luisenpark / Unterer Luisenpark in Richtung Mannheimer Innenstadt. Wie **Abbildung 13** verdeutlicht, sind die Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten nur gering (unter 1.0 m/s in einer Höhe von 2 m ü.G.), so dass größere Barrieren in Form riegelartiger Bebauung die bodennahen Kaltluftbewegungen zum Erliegen bringen können.

Der Sicherung innerstädtischer Kaltluftbewegungsflächen wird in der Stadtklimatologie daher Bedeutung zugeordnet. So empfiehlt die VDI-Richtlinie 3785, Blatt 1 (2008), dass im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung möglichst die Barrierewirkungen auf den bodennahen Luftaustausch zu erkennen und zu beseitigen bzw. eng zu begrenzen ist. Zudem ist die Ausbildung neuer „Hitze-Hot-Spots“ zu vermeiden.

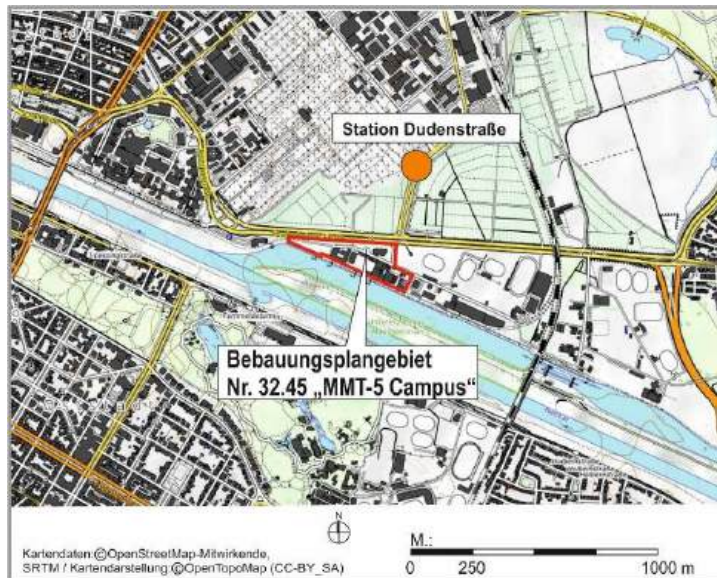


Abbildung 11: Lage der Klimamessstation Dudenstraße

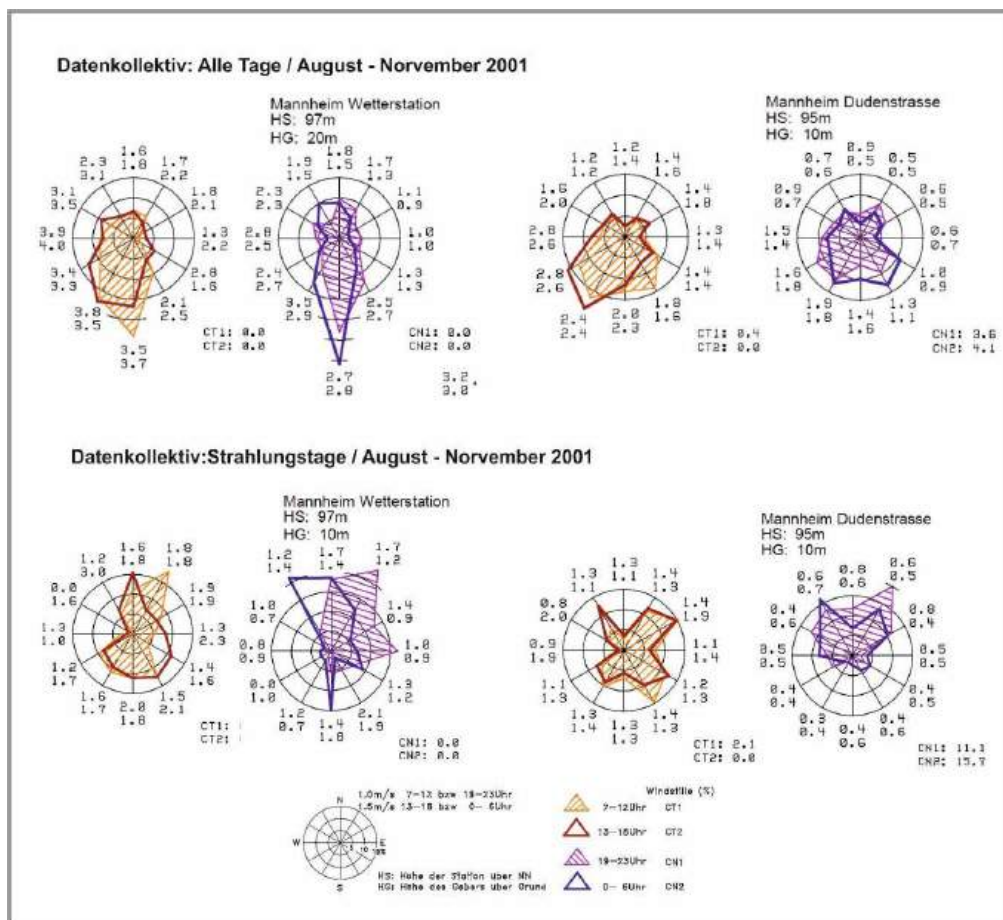


Abbildung 12: Windstatistiken der Klimamessstationen Mannheim Wetterstation (DWD) und Dudenstraße (ÖKOPLANA). Messzeitraum: August – November 2001)

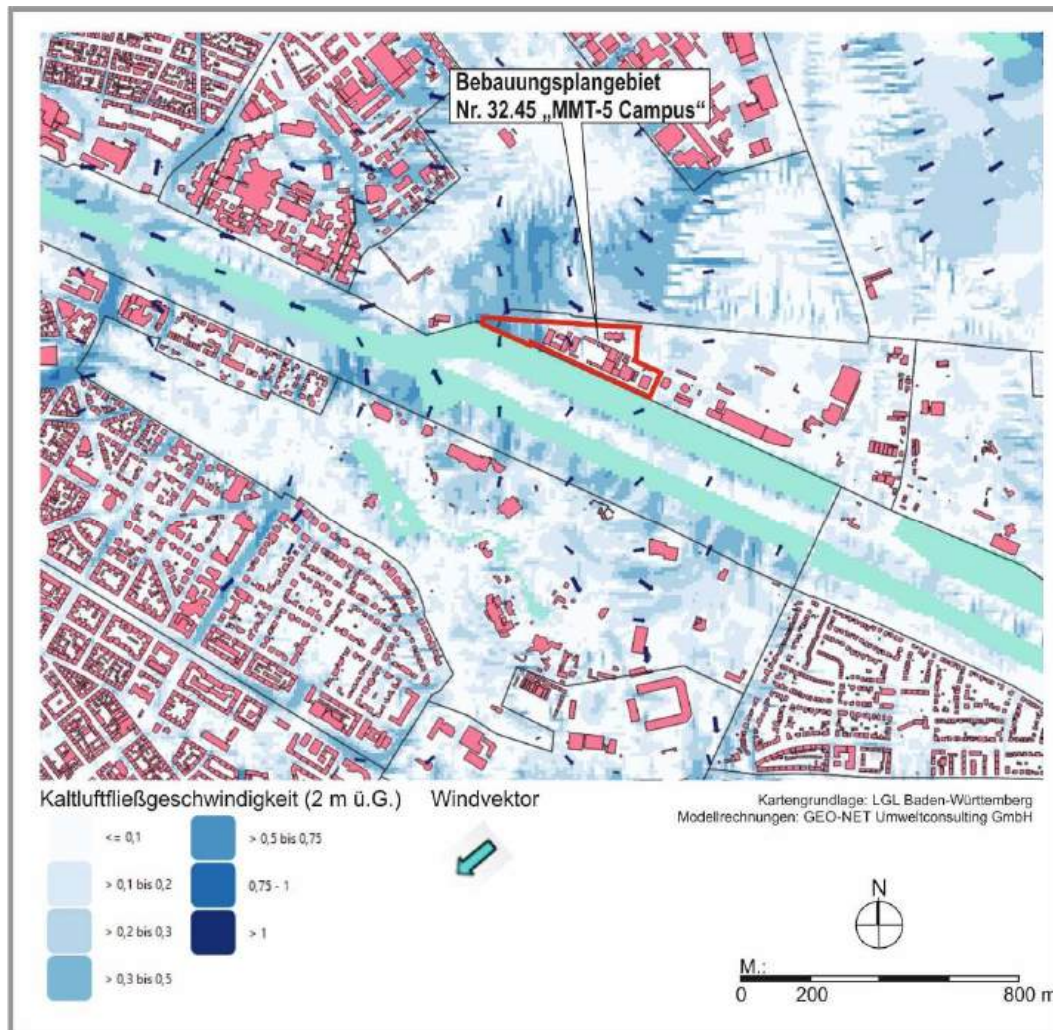


Abbildung 13: Berechnete lokale Kaltluftbewegungen in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht. Aus: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2021)

Zu Beschreibung der thermischen Situation im Planungsgebiet kann u.a. auf Daten des Klimamessnetzes von Smart City Mannheim zurückgegriffen werden (<https://smartmannheim.de/datenartikel/klimamessnetz-mannheim/>).

Anhand des Tagesgangs der Lufttemperatur an einen heißen Sommertag (01./02.07.2025, **Abbildungen 15 / 16**) wird offenbar, dass sich am Tag zwischen den einzelnen Stationsstandorten im Stadtgebiet nur recht geringe Lufttemperaturunterschiede von ca. 0.1 - 0.6 K einstellen. Allein im Unteren Luisenpark werden um bis zu 1.1 K niedrigere Lufttemperaturen aufgezeichnet. Die geringen Lufttemperaturdifferenzen sind auf den tagsüber recht intensiven konvektiven Luftaustausch zurückzuführen.

Bereits kurz vor Sonnenuntergang setzt der Temperaturrückgang ein. Besonders intensiv ist dieser in Bereichen, wo über Vegetationsflächen Kaltluft entsteht. Besonders intensiv ist daher die nächtliche Abkühlung an den Stationsstandorten Unterer Luisenpark, Neckarplatt und Aubuckel (Grünzug Nordost). Auch im Bereich Pfeifferswörth ist im Nahbereich des Sportparks Pfeifferswörth eine vergleichsweise intensive Abkühlung zu verzeichnen. Gegenüber der Innenstadtstation Plankenkopf werden hier kurz vor Sonnenaufgang (05:00 Uh) um ca. 3.4 K niedrigere Lufttemperaturen gemessen.

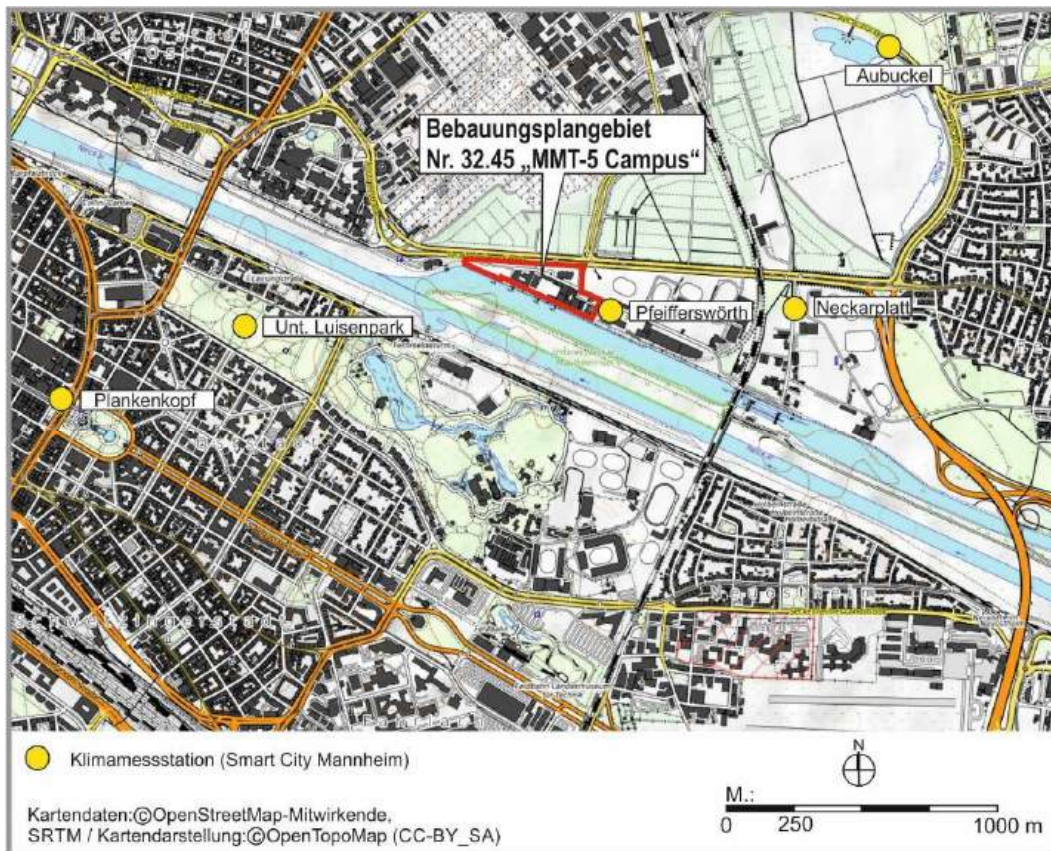


Abbildung 14: Standorte von Klimamessstationen (Smart City Mannheim)

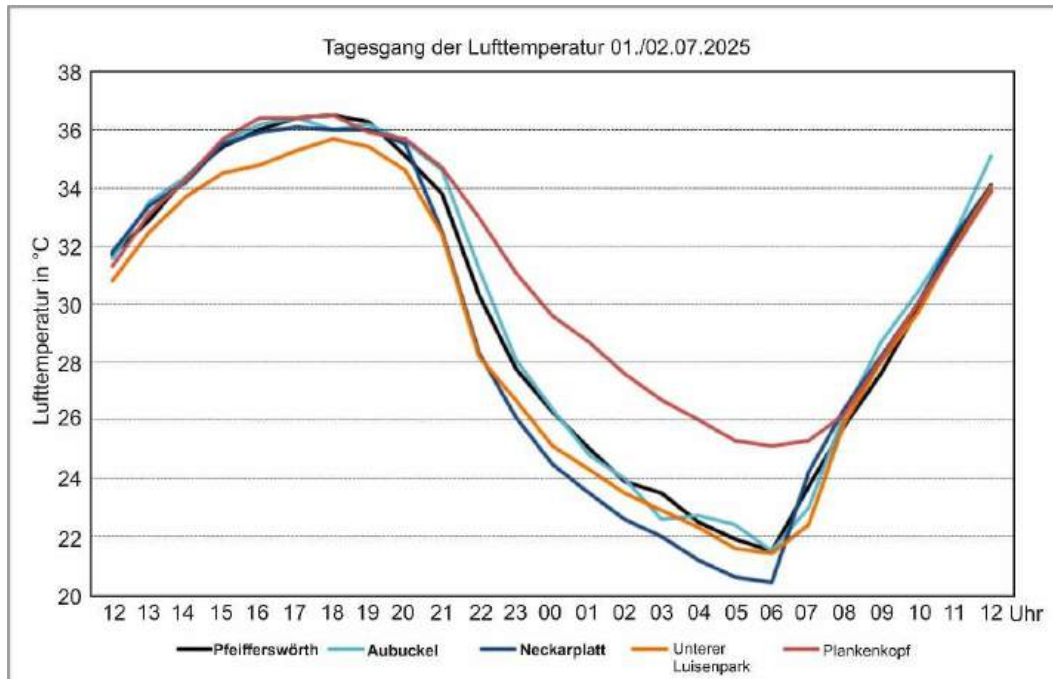


Abbildung 15: Tagesgänge der Lufttemperatur an einem heißen Sommertag (01./02.07.2025) im Planungsgebiet und in dessen Umfeld

Die stationären Messungen bestätigen damit die gemessenen und berechneten Lufttemperaturverteilungen in Strahlungsnächten im Rahmen der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021), die in den **Abbildungen 16** und **17** dokumentiert sind.

Diese zeigen zudem, dass die nächtlichen Lufttemperaturen im Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ gegenüber dem Sportpark Pfeifferswörth kleinräumig um ca. 2.5 – 4.0 K höher sind. Hier machen sich die großflächig versiegelten Areale zwischen Neckarkanal und Im Pfeifferswörth thermisch negativ bemerkbar. Sie mindern durch ihre Wärmeabgabe den nächtlichen Lufttemperaturrückgang. Zudem ist die nächtliche Abkühlung über dem Neckarkanal durch die thermische Trägheit des Wasserkörpers deutlich minimiert.

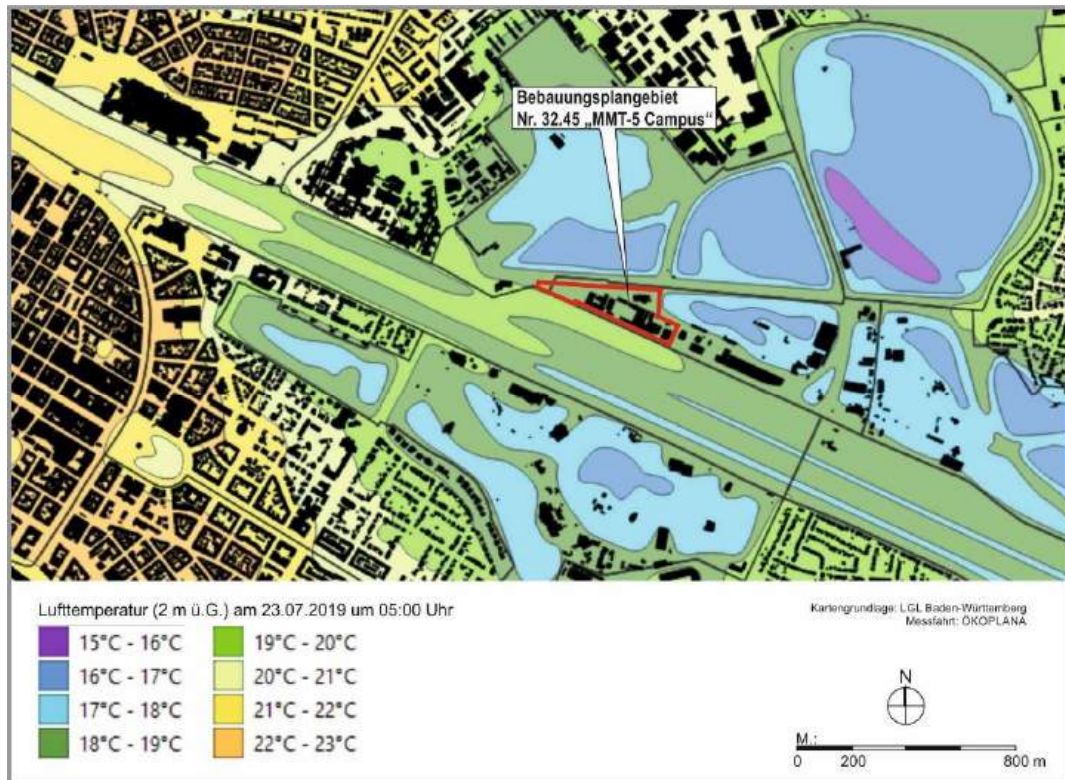


Abbildung 16: Ausschnitt aus der Isothermenkarte Mannheim vom 23.07.2019 (05:00 Uhr)
Aus: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH/ÖKOPLANA (2021)

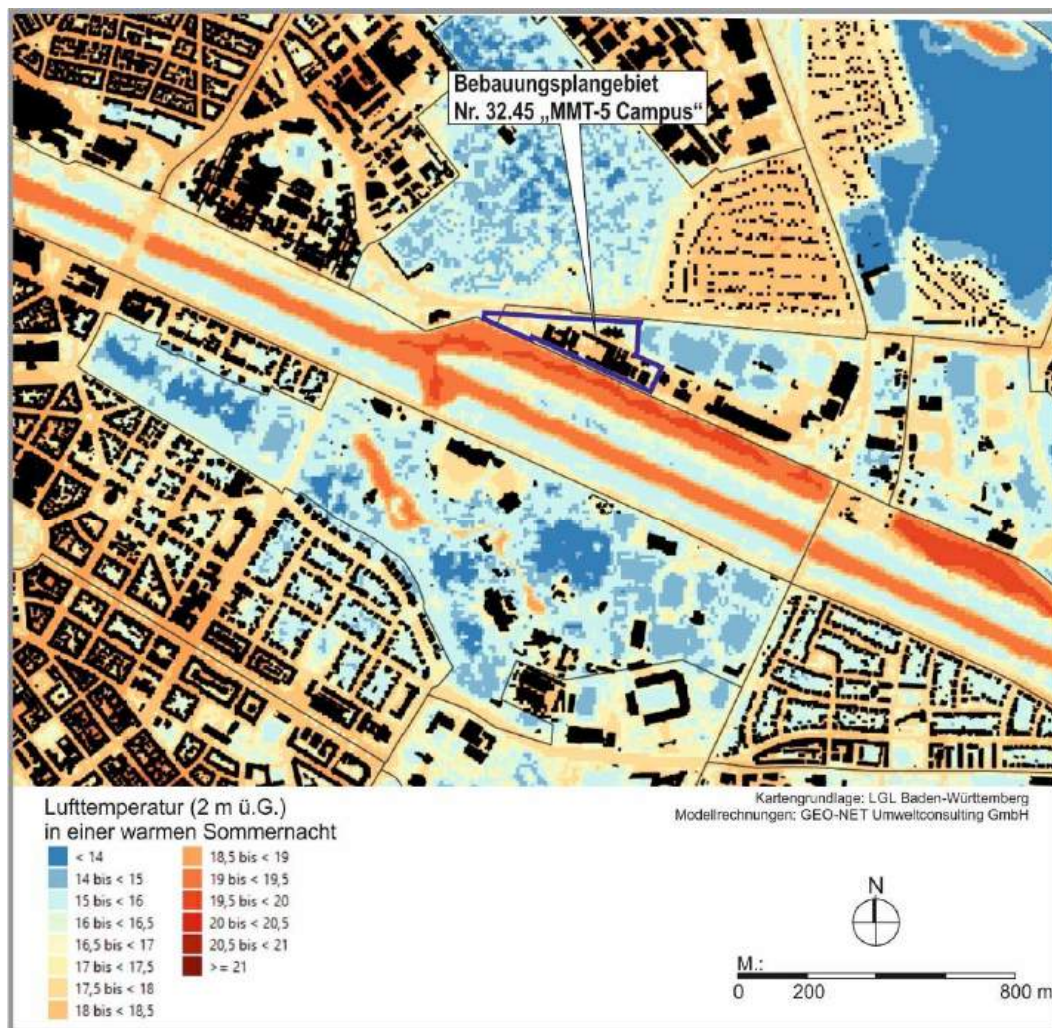


Abbildung 17: Berechnete Lufttemperaturverteilung in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht (04:00 Uhr).
Aus: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH/ÖKOPLANA (2021)

Die wesentlichen klimaökologischen Funktionsabläufe lassen sich damit wie folgt zusammenfassen:

- Das Planungsgebiet zeigt sich durch die Lage am Neckarkanal am Tag recht gut belüftet, wobei im Allgemeinen südliche bis südwestliche und nördliche Windrichtungen vorherrschen.
- In windschwachen Strahlungsnächten dominieren im Planungsumfeld vermehrt nordnordwestliche bis nordnordöstliche Winde das ortsspezifische Luftaustauschgeschehen. Diese sind zum einen lokalen Kaltluftbewegungen über den Grünzug Nordost und zum anderen rheingrabenspezifische Regionalströmungen zuzuordnen.

- Das Planungsgebiet fungiert strömungsdynamisch als Bindeglied zwischen den Kaltluftbewegungen entlang des Grünzugs Nordost / Kleingärten / Hauptfriedhof und den Kaltluftbewegungsflächen Luisenpark / Unterer Luisenpark in Richtung Mannheimer Innenstadt.
- Am Tag sind im Planungsgebiet und in dessen Umfeld, aufgrund des meist intensiven horizontalen und vertikalen Luftaustauschs, nur geringe flächennutzungsspezifische Lufttemperaturdifferenzen (~ 1 K) zu erwarten.
- In stadtklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungs Nächten werden im Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ gegenüber den Sportanlagen im Sportpark Pfeifferswörth kleinräumig um ca. 2.5 – 4.0 K höher Lufttemperaturen ermittelt. Hier machen sich die großflächig versiegelten Areale zwischen Neckarkanal und Im Pfeifferswörth thermisch negativ bemerkbar. Über den Wasserflächen des Neckarkanals wird durch deren thermische Trägheit keine Kaltluft gebildet.

Aus den o.a. lokalklimatischen Gegebenheiten resultiert für das Planungsgebiet, dass aus klimafunktionaler bei der neuen baulich-freiraumplanerischen Gestaltung die örtlichen Belüftungsverhältnisse zu berücksichtigen sind und möglichst nur moderate Oberflächenversiegelungen vorgenommen werden.

So ist nord-süd-gerichtete Durchströmbarkeit des Gebietes möglichst nicht zusätzlich einzuschränken bzw. idealerweise zu verbessern (siehe Stadtklimaanalyse Mannheim 2020, S. 321). Zudem ist eine markante Ausdehnung des planungsgebedingten Wärmeinseleffektes in die benachbarten Freiraum- und Siedlungsstrukturen zu vermeiden.

6 Numerische Modellrechnungen zur Bilanzierung der kleinräumigen Folgeerscheinungen des Planungsvorhabens auf das Kaltluftprozessgeschehen und die thermischen/bioklimatischen Umgebungsbedingungen

Wie in Kap. 4 bereits angeführt, werden zur klimaökologischen Bewertung der vorgelegten Planungskonzepte für den MMT-T Campus numerische Modellrechnungen mit dem Klimamodell FITNAH-3D durchgeführt. Dem Ist-Zustand werden dabei zwei Planungsvarianten gegenübergestellt.

Die den Modellrechnungen zu Grunde gelegten Eingangsdaten für die Flächennutzungen (5 m-Raster) können den **Abbildungen 18 - 20** entnommen werden.

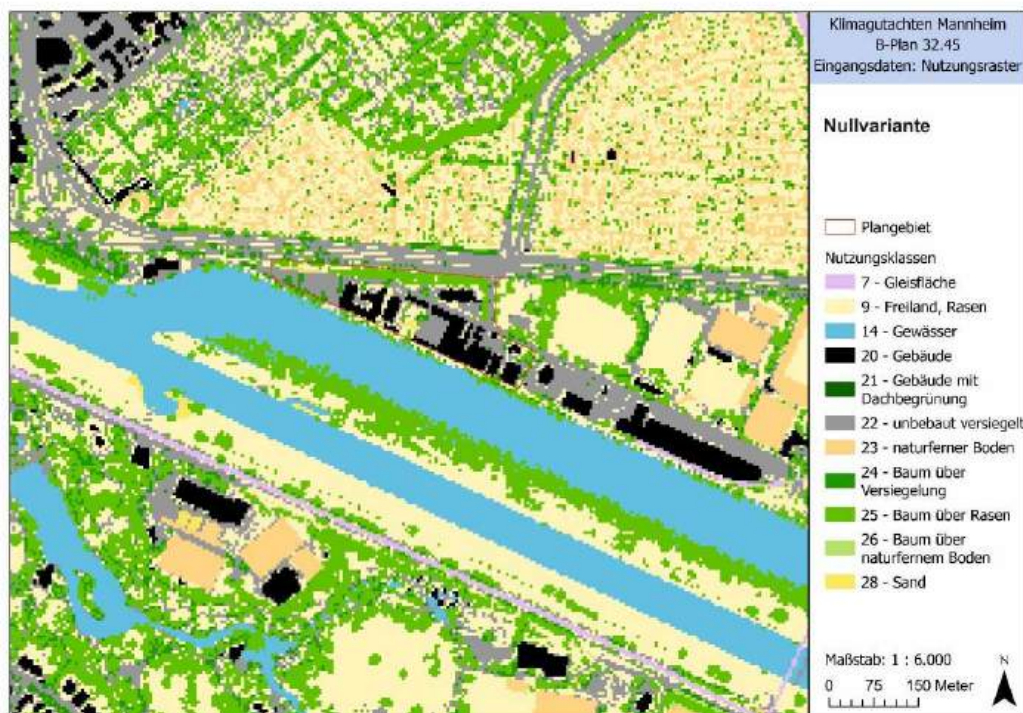


Abbildung 18: Grundlagen für die numerischen Modellrechnungen – Nullvariante: Nutzungsraaster

Bei den Planungsvarianten 1 und 2 werden bei den geplanten Baukörpern mit einer max. Gebäudehöhe von 18 m zusätzlich mögliche Technikaufbauten mit einer Höhe von 4 m berücksichtigt. Mit einer Gebäudehöhe von 22 m wird damit ein Worst-Case-Szenario abgebildet.

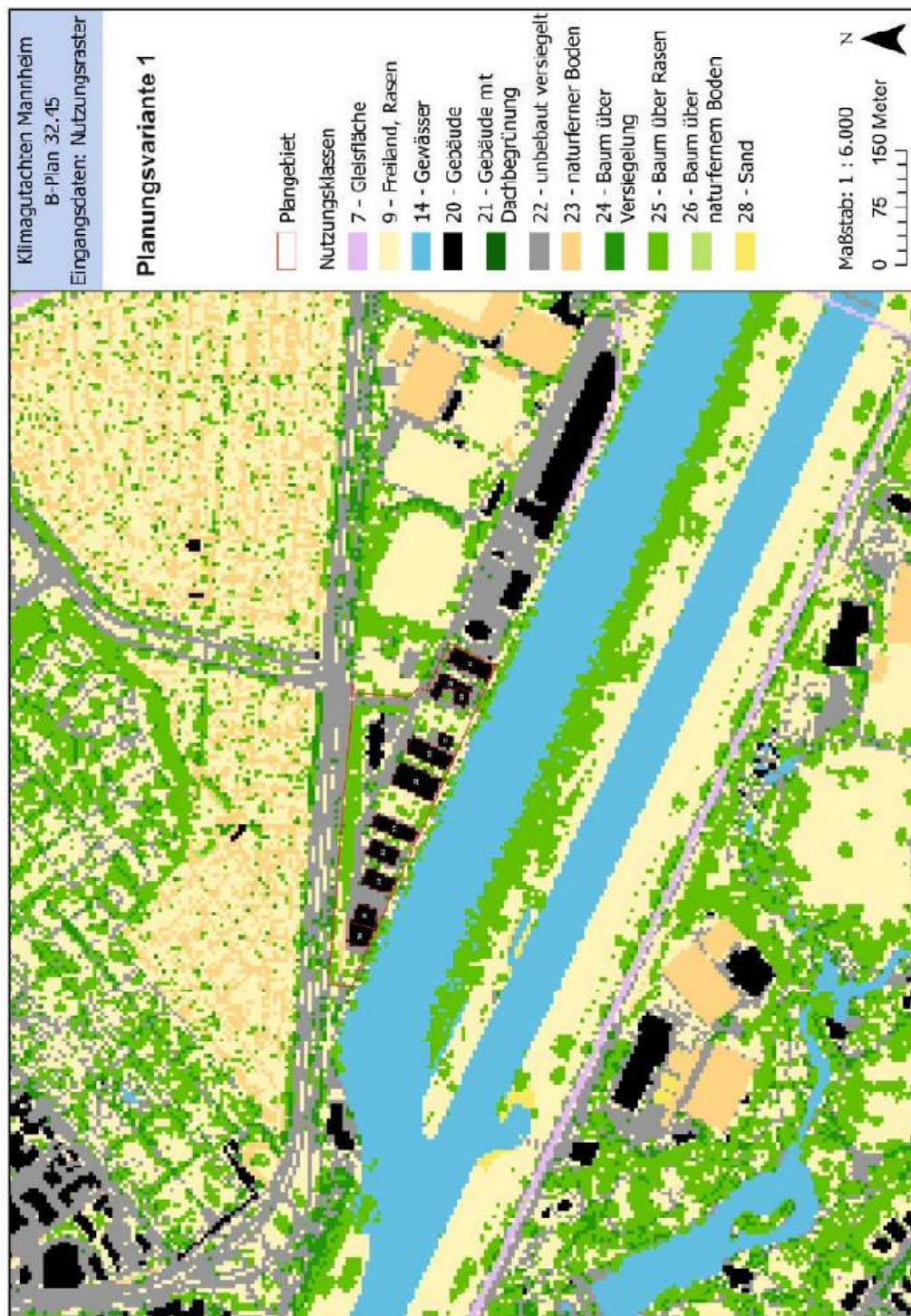


Abbildung 19: Grundlagen für die numerischen Modellrechnungen -
Planungsvariante 1: Nutzungsraaster

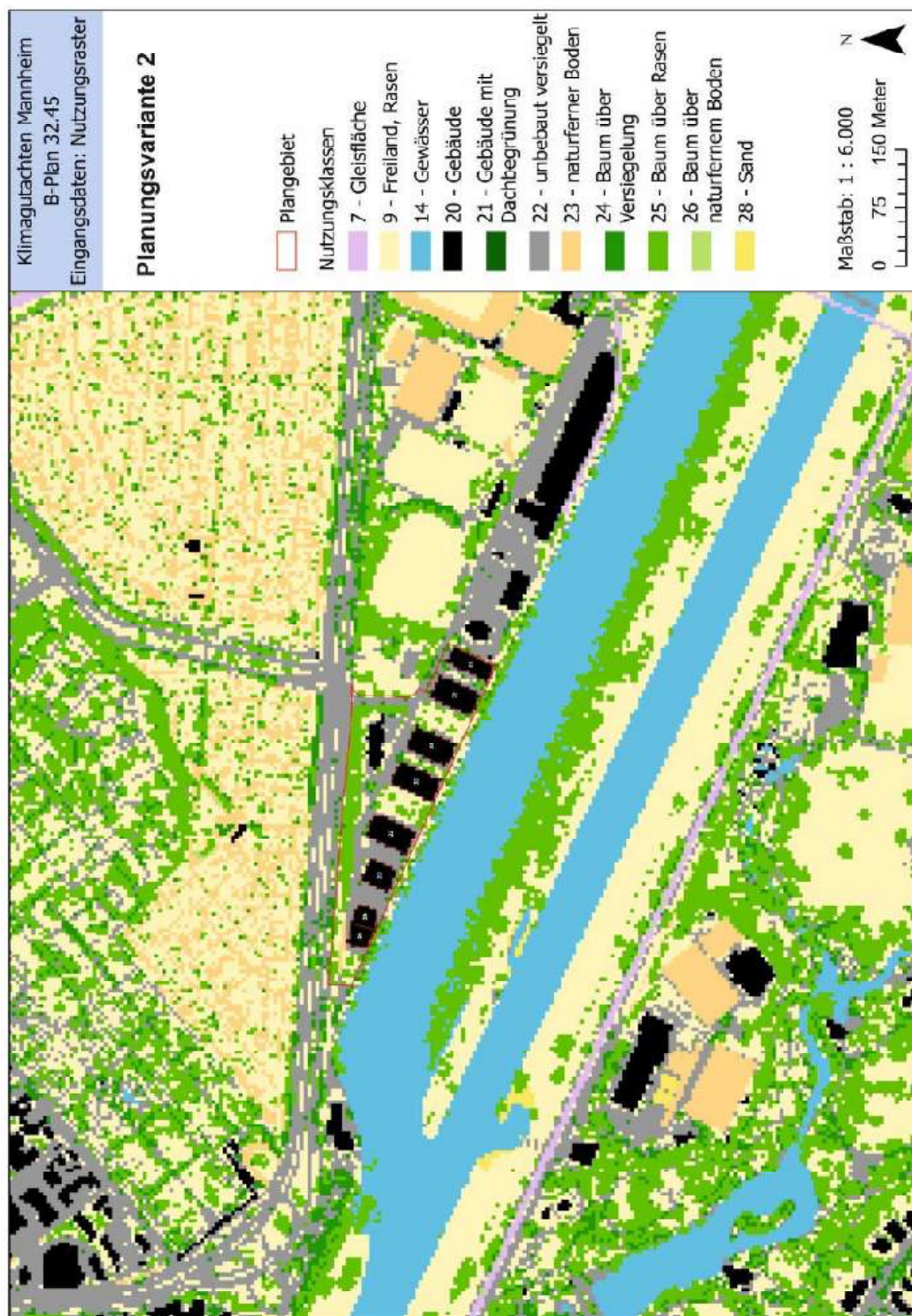


Abbildung 20: Grundlagen für die numerischen Modellrechnungen -
Planungsvariante 2: Nutzungsraaster

6.1 Kaltluftprozessgeschehen – allgemeine Grundlagen

Vergleichbar mit den Modellrechnungen in der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 werden als Rahmenbedingung bei den nachfolgenden Klimasimulationen eine sommerliche Situation am 21. Juni (Sonnenhöchststand) mit einer 0/8 Bewölkung und einer Bodenfeuchte von 60% angenommen. Zudem ist es großräumig wind-schwach, Die Lufttemperatur zum Startzeitpunkt der Modellrechnungen um 21 Uhr beträgt 21°C in einer Höhe von 2 m ü.G.

Die Intensität der lokalen Kaltluftbildung ist wesentlich von der örtlichen Flächen-nutzung abhängig. Das Kaltluftprozessgeschehen am Übergang Freiland – Bebau-ung kann allgemein wie folgt beschrieben werden.

In wolkenlosen, windschwachen Nächten kühlt sich der Erdboden und die darüber liegende bodennahe Luft aufgrund der ungehinderten langwelligen Ausstrahlung und der abgeschwächten vertikalen Durchmischung der bodennahen Luftschich-ten verstärkt ab. Es kommt, abhängig von der Flächennutzung, zu sog. Kaltluftbil-dung unterschiedlicher Intensität (siehe **Tabelle 1**).

Nutzung	Kaltluftproduktionsrate in m ³ /m ² ·h
Grünland, Ackerland	~ 15 - 20
Wald	~ 12 - 15
Gartenbau, Mischflächen	~ 10 – 15
Kleingärten	~ 6
Friedhoffsflächen	~ 6
Sport-/Freizeitflächen	~ 3 - 6
Wasseroberflächen	0

Tabelle 1: Kaltluftproduktionsraten unterschiedlicher Flächennutzungstypen
(BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2013, ÖKOPLANA 2010)

Die Intensität der Kaltluftbewegungen ist vom Kleinrelief sowie von der Oberflä-chenrauigkeit des Bewuchses und der Bebauung abhängig. Die Reibungskraft der Oberflächen bremst die Strömungsdynamik.

Bei Hangneigungen von unter 2° sind in der Regel Impulse von übergeordneten Windströmungen (z.B. Regionalströmungen) erforderlich, um innerhalb der boden-nahen Kaltluftschicht Fließbewegungen auszulösen. Auch Flurwindeffekte zwis-chen kühlen und deutlich überwärmten Gebieten (z.B. Landwirtschaftsflächen ↔ Bebauung) vermögen die bodennahe Kaltluft in Bewegung zu setzen.

Kaltluftstaus bilden sich im Luv von natürlichen und anthropogenen Hindernissen (Wald- und Siedlungsrand, einzelne Baukörper, Straßendämme etc.). Die kalte Luft staut sich bis zur Hindernishöhe oder etwas darunter auf, bis bei weiterem Nachfließen von Kaltluft das Hindernis schließlich überströmt wird (KING, 1973). Kleinere Hindernisse werden von der sich bewegenden Kaltluft ohne nennenswerte Staubildung um- oder überströmt. Kaltluftseen entstehen durch Ansammlung kalter Luft in Mulden und Senken.

Zur Bewertung von lokalen Kaltluftbewegungen kann auf die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) zurückgegriffen werden. Diese wird derzeit überarbeitet. Seit März 2024 liegt ein erster Entwurf vor. Er unterliegt aktuell noch der Prüfung. Diesem Entwurf kann ein Prüfschema entnommen werden, das die Kaltluftrelevanz des Planungsgebiets auf das Umfeld beurteilt (siehe **Abbildung 21**). Das Ablaufschema für das Planungsgebiet und die angrenzenden Stadtgebietsflächen ist mit Rot umrandet.

Beschreibung des Ablaufschemas im vorliegenden Planungsfall:

Im Planungsgebiet und in dessen Umfeld liegt kein ausgeprägtes Relief vor. Ausnahme bildet die relative Tieflage des Neckars/Neckarkanal.

Im Planungsgebiet liegt durch die bereits bestehende gewerbliche Nutzung intensive Versiegelung vor, die flurwindartige Luftbewegungen hervorrufen kann.

Mit dem Grünzug Nordost und dem Neckar/Neckarkanal liegen im direkten Planungsumfeld hindernisarme Ventilationsbahnen vor.

Die nahegelegenen Sportplatzflächen, die Kleingärten nördlich der Feudenheimer Straße sowie der Luisenpark südlich des Neckars bilden ausgedehnte Kaltluftproduktionsflächen.

Die Kaltluftbewegungen haben damit im Planungsgebiet und in dessen Umfeld eine hohe Relevanz.

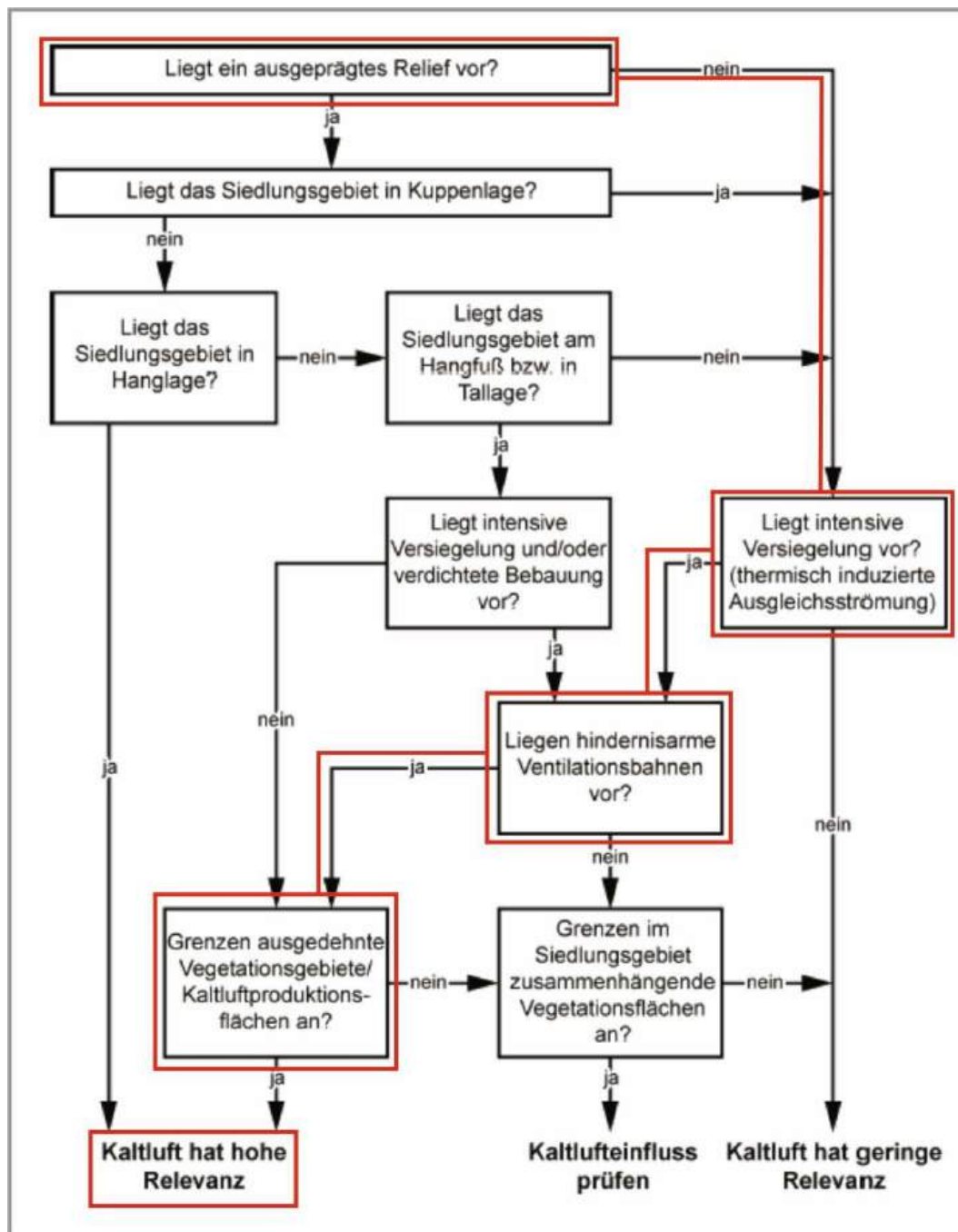


Abbildung 21: Prüfschema „Kaltluftrelevanz“. Aus VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf, März 2024)

6.2 Ergebnisse der Modellrechnungen zum lokalen Kaltluftprozessgeschehen

Die **Abbildung 22** zeigt für die **Nullvariante** die Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen kurz vor Sonnenaufgang (04:00 Uhr). Zu diesem Zeitpunkt sind zwischen den einzelnen Nutzungsstrukturen die deutlichsten Temperaturdifferenzen zu erwarten.

Im Planungsgebiet herrschen Kaltluftbewegungen aus nördlichen Richtungssektoren vor. Die langgestreckten Bestandsgebäude südlich des Straßenzugs Im Pfeifferswörth bilden auffallende Strömungsbarrieren in Richtung Süden. Gleiches gilt für den Damm entlang des Neckarkanals mit seinen recht dichten begleitenden Gehölzriegeln (siehe **Abbildung 5**, Foto 4). Im Gegensatz zu den Baustrukturen tragen die Gehölze allerdings zur örtlichen Kaltluftbildung bei.

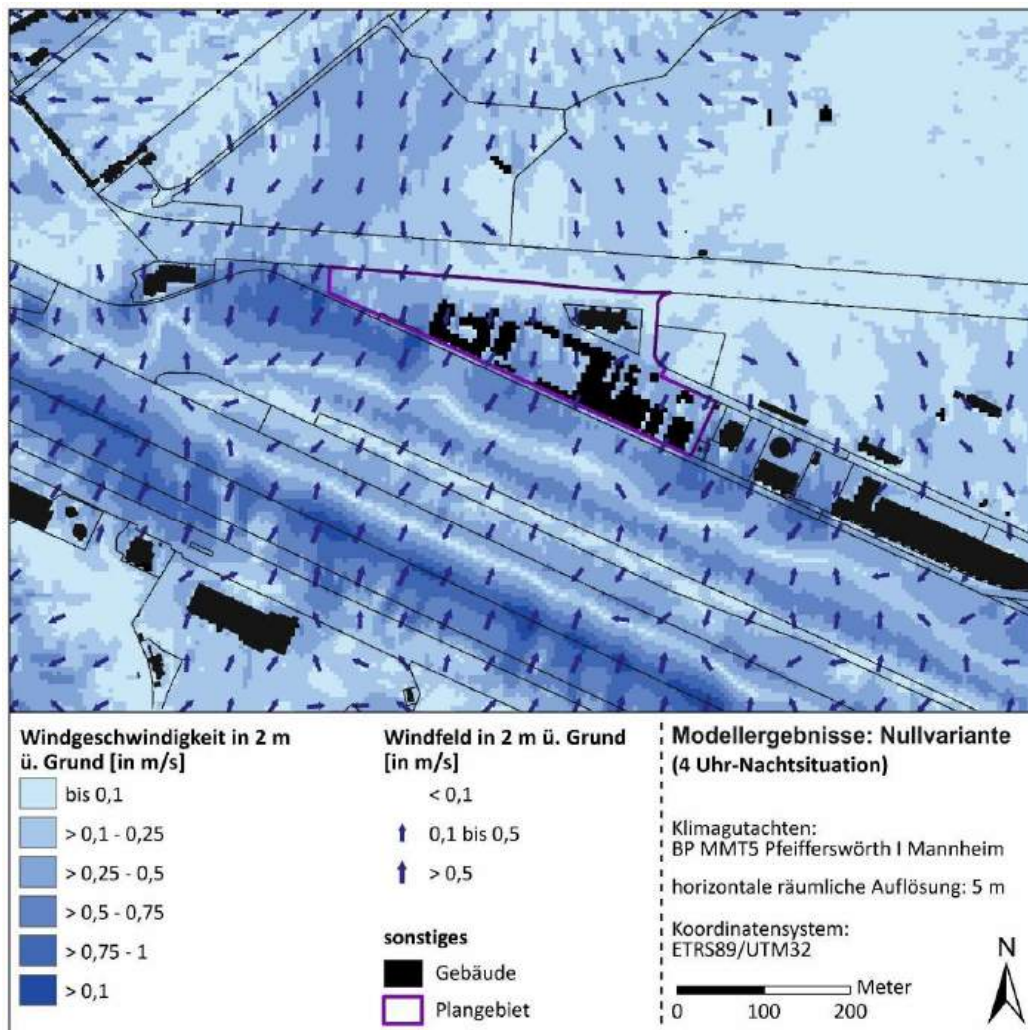


Abbildung 22: Nullvariante, Kaltluftfließbewegungen gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.

Mit Realisierung der **Planungsvarianten 1 und 2 (Abbildungen 23 - 26)** kommt es im Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ zu kleinräumigen Strömungsmodifikationen. In den Bereichen, wo durch erforderliche Gebäudeabstandsflächen und geplante Grünzonen in Nord-Süd-Richtung gegenüber der Nullvariante neue Durchlüftungsachsen entstehen, nimmt Kaltluftfließgeschwindigkeit in Richtung Neckarkanal zu. Dem stehen insbesondere an der Westspitze, an welcher anstelle der Parkierungsflächen eine bis zu 30 m hohe Bebauung angedacht ist, Windgeschwindigkeitsreduktionen gegenüber. Insgesamt nimmt die Belüftungsintensität im Planungsgebiet gegenüber der Nullvariante allerdings in geringer Intensität zu. Die gebäudebedingte Windschatteneffekte außerhalb des Planungsgebiets bleiben räumlich auf den Neckarkanal begrenzt und haben somit keine besondere Relevanz. Weiterreichende planungsbedingte Barriereeffekte werden unterbunden, da die einzelnen Baukörper allseitig umströmbar angeordnet sind.

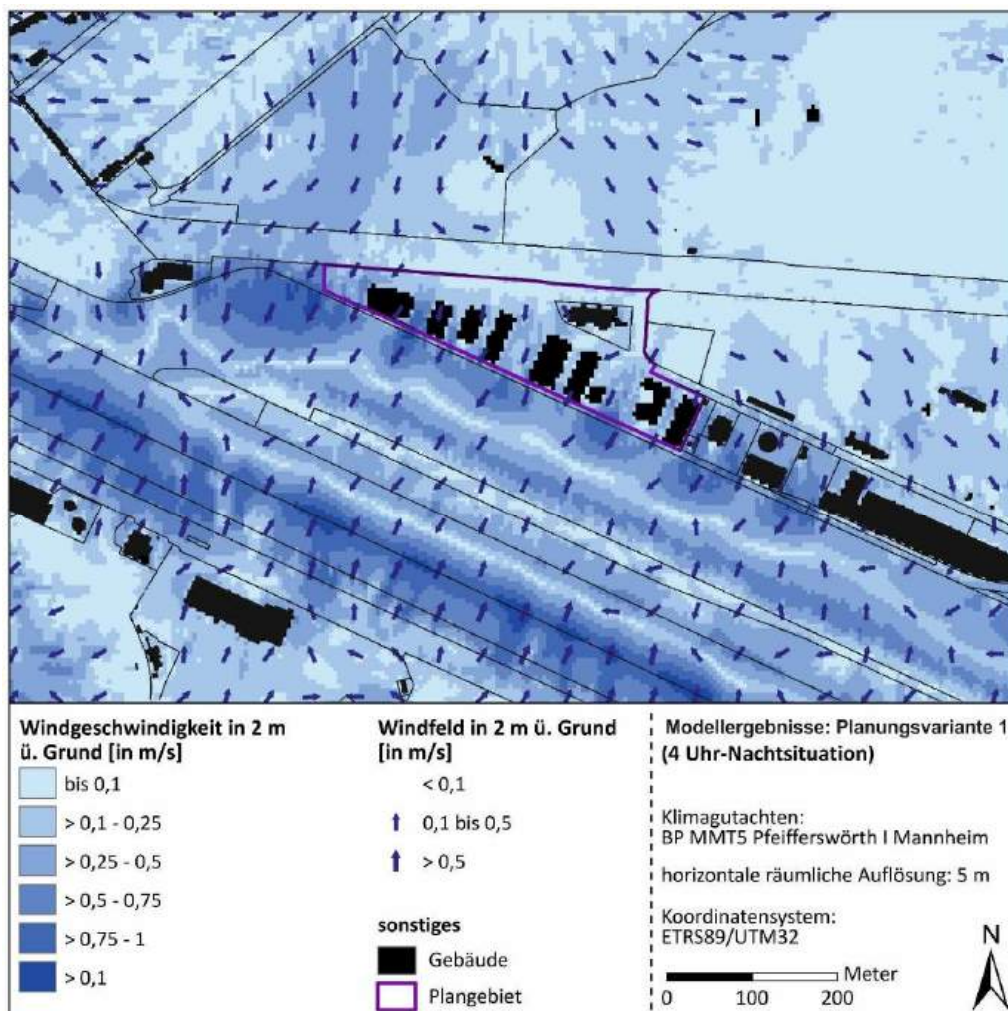


Abbildung 23: Planungsvariante 1, Kaltluftfließbewegungen gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.

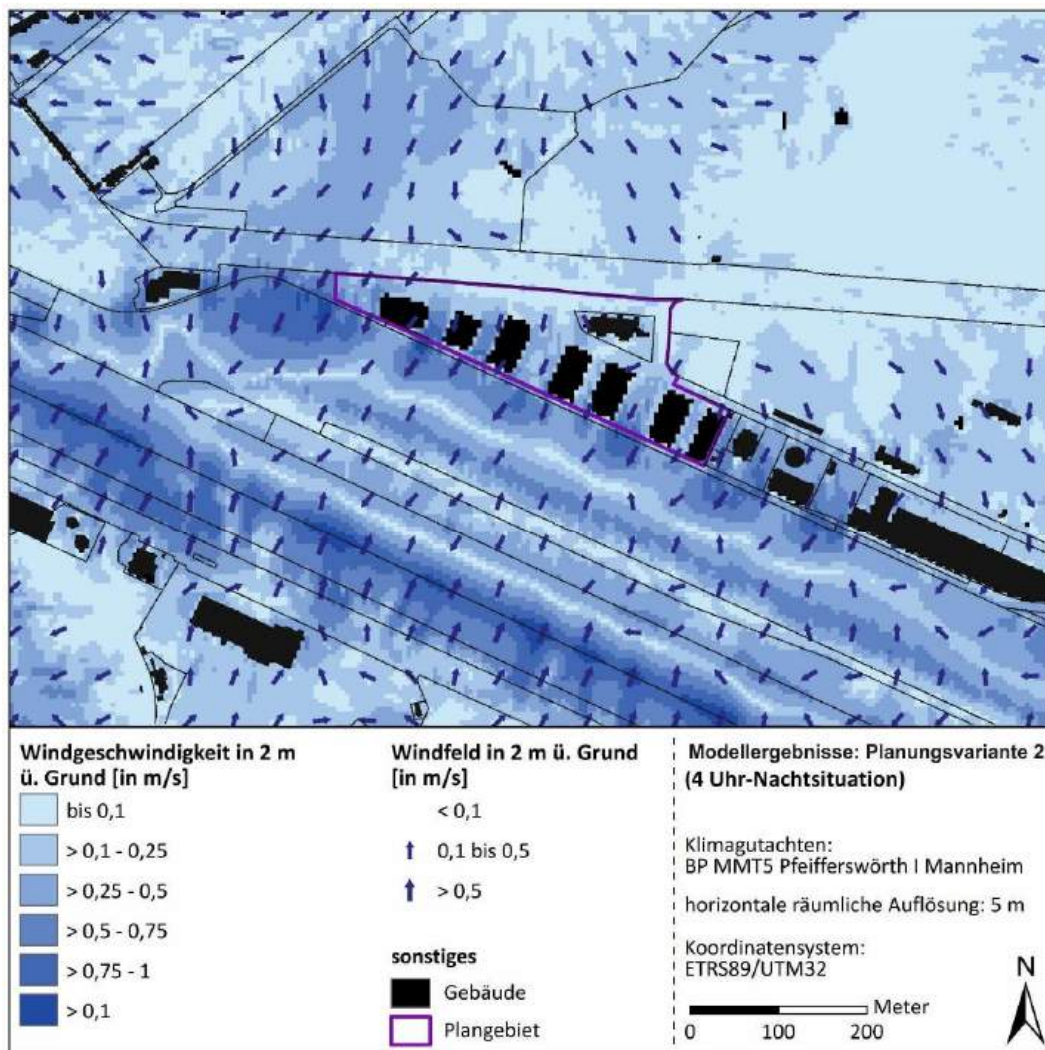


Abbildung 24: Planungsvariante 2, Kaltluftfließbewegungen gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.

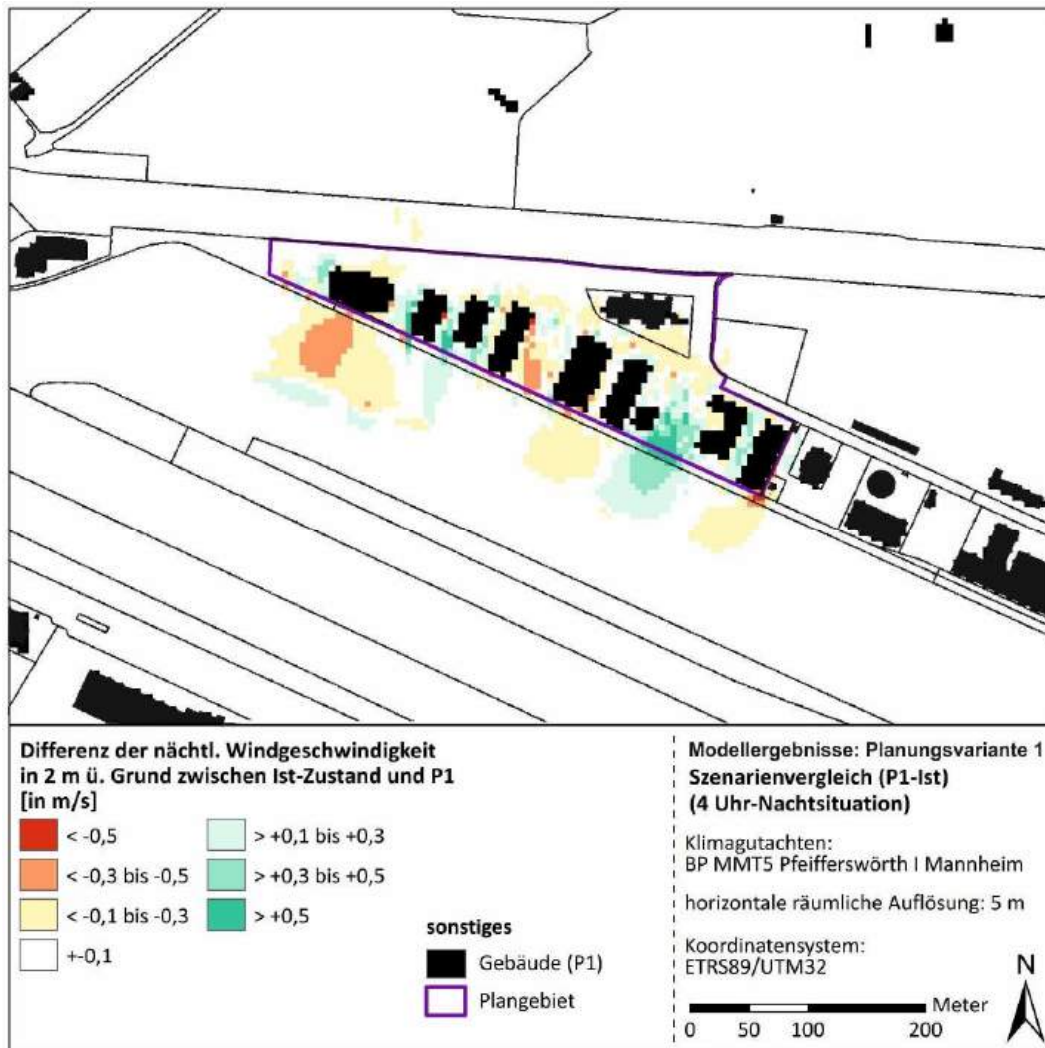


Abbildung 25: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Kaltluftfließgeschwindigkeiten durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.

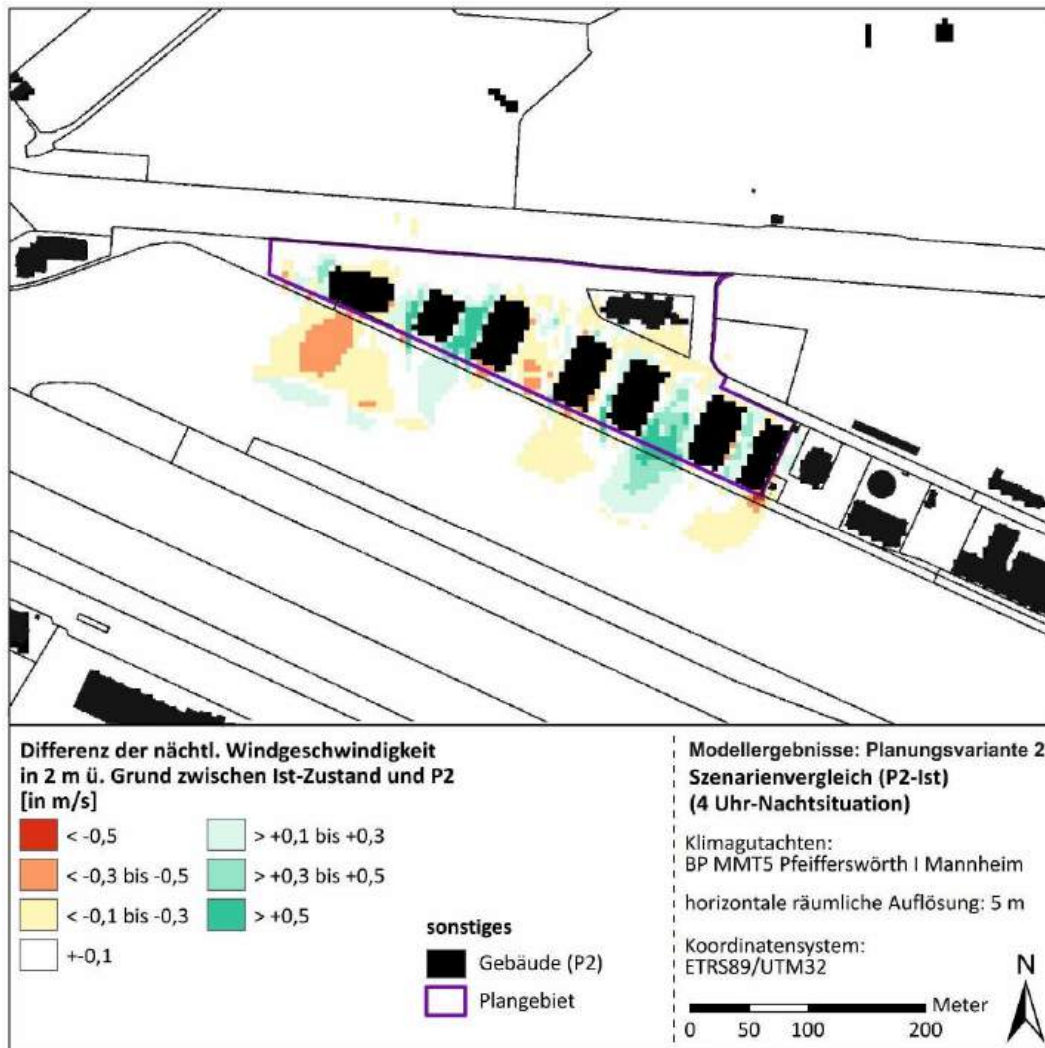


Abbildung 26: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Kaltluftfließgeschwindigkeiten durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.

Vergleicht man die Planungsvarianten 1 und 2 miteinander, so zeigt sich, dass bei Planungsvariante 1 der Freiraum zwischen den Baufeldern 3 und 4 eine geringfügig bessere Durchlüftung ermöglicht, da auf dem Baufeld 3 im Nordwesten eine zusätzlich unbebaute Erschließungs-/Platzfläche angeordnet ist (siehe **Abbildung 27**).

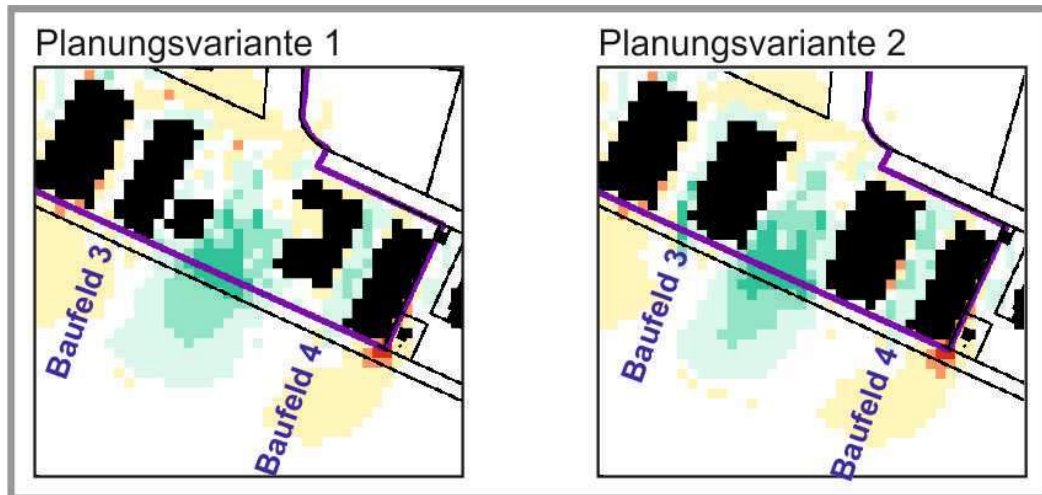


Abbildung 27: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Kaltluftfließgeschwindigkeiten durch die Planungsvarianten 1 und 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr in einer Höhe von 2 m ü.G.

Im Baufeld 2 sind bei Planungsvariante 2 anstelle von drei Baukörpern mit zwei 14 m breiten Abstandsflächen (Planungsvariante 1), zwei etwas breitere Baukörper mit einer 24 m breiten Abstandsfläche geplant. Hieraus ergeben sich keine nennenswerten strömungsdynamischen Unterschiede.

Der nachfolgend berechnete Kaltluftvolumenstrom, der die Gesamtintensität der Kaltluftbewegungen beschreibt, wird neben der Kaltluftfließgeschwindigkeit auch von den örtlichen Kaltluftproduktionsraten der Flächennutzungen bestimmt. Diese sind für die Nullvariante und die Planungsvarianten 1 und 2 in den **Abbildung 28 – 30** dargestellt. Differenzendarstellungen dokumentieren die planungsbedingten Veränderungen bei den örtlichen Kaltluftproduktionsraten **Abbildungen 31 und 32**).

Die Kaltluftproduktionsraten zeigen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld Werte von 5 – >35 m³/(m² · h). Nur über den Wasserflächen des Neckars und über versiegelten Flächen ist keine autochthone Kaltluftbildung möglich.

Durch die vorgelegten Planungen nehmen die örtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet zu. Die zusätzlichen Grünflächen an der Westspitze und zwischen den Baufeldern 2 und 3 bzw. 3 und 4 sind bzgl. des Kaltluftprozessgeschehens vorteilhaft. Sie tragen zur Forcierung der nächtlichen Abkühlung bei.

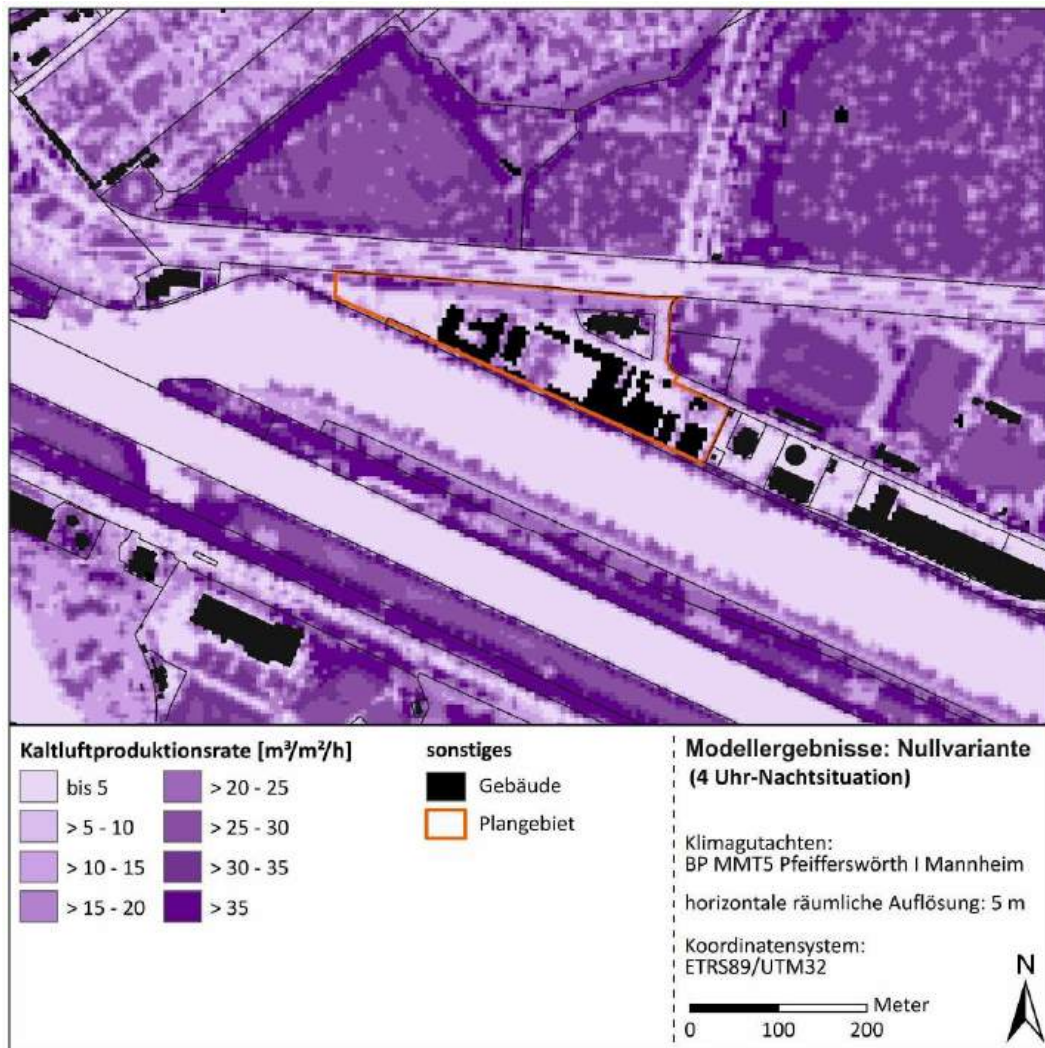


Abbildung 28: Nullvariante. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht

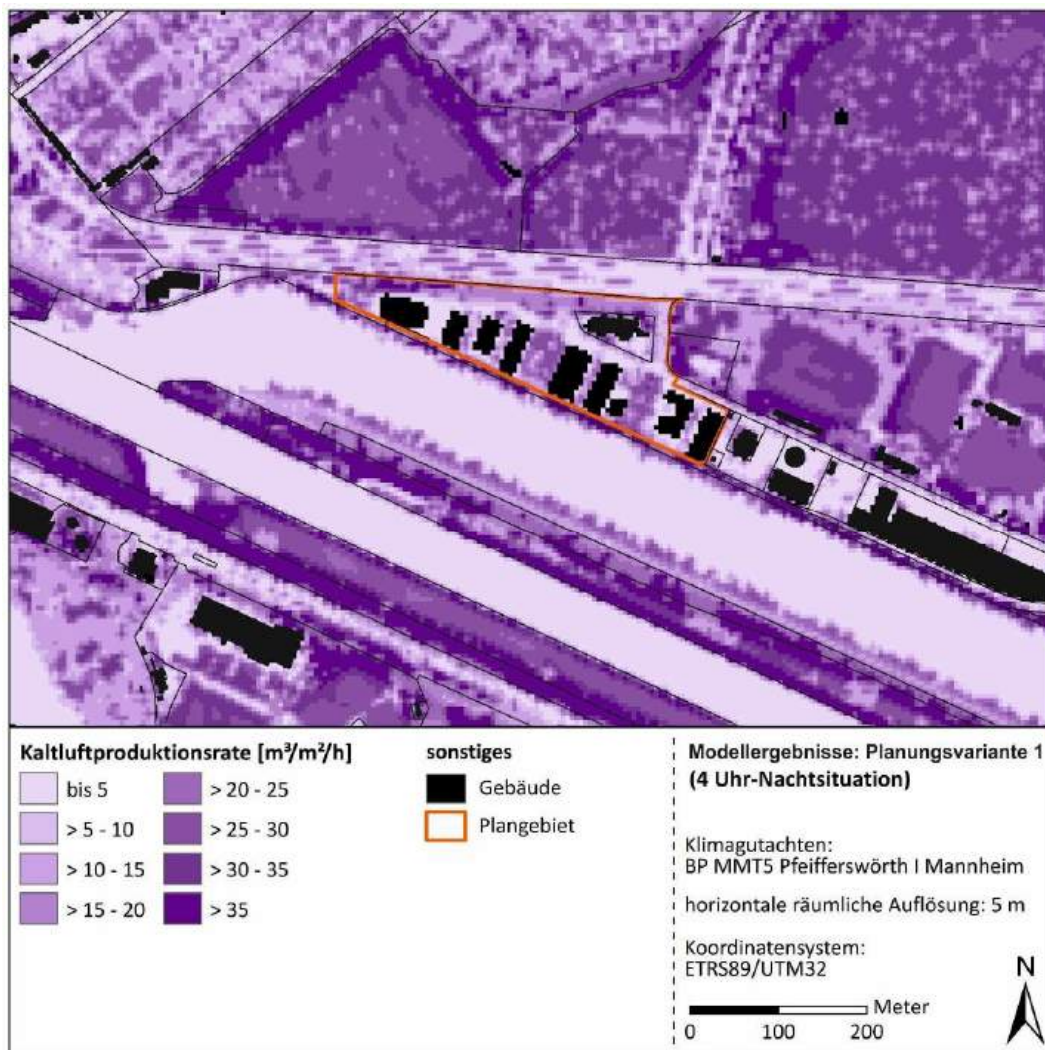


Abbildung 29: Planungsvariante 1. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht

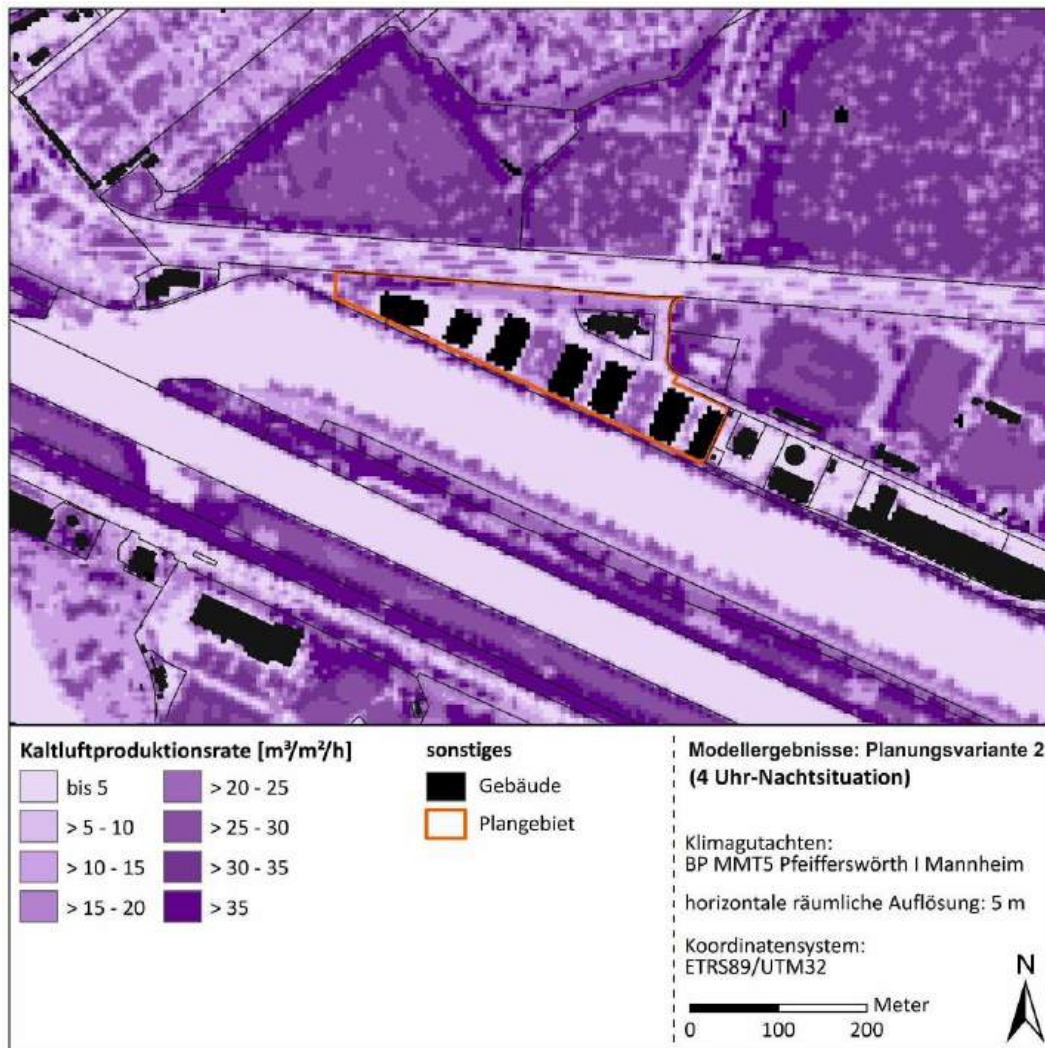


Abbildung 30: Planungsvariante 2. Nächtliche Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht



Abbildung 31: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der nächtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch die Planungsvariante 1 in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht



Abbildung 32 Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der nächtlichen Kaltluftproduktionsraten im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch die Planungsvariante 2 in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht

In den **Abbildungen 33 – 37** sind die Ergebnisse der Modellrechnungen zum Kaltluftvolumenstrom dokumentiert.

Anhand der Kaltluftvolumenstromdichten lässt sich bestimmen, wie intensiv die kaltluftbedingte Durchlüftung über die gesamt bodennahe Kaltluftschicht ist.

In **Tabelle 2** sind hierzu Maßzahlen und ihre klimaökologische Bewertung angeführt.

- mindestens $50 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: extrem gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- mindestens $25 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: sehr gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- mindestens $15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- mindestens $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: mäßiges Kaltluftdurchlüftungspotenzial
- unter $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$: geringes Kaltluftdurchlüftungspotenzial

Tabelle 2: Bewertung der Kaltluftvolumenstromdichte bezogen auf die Belüftungsfunktion von Siedlungsbereichen. Aus: VDI Richtlinie 3787, Blatt 5 (Entwurf 2024) „Lokale Kaltluft“, S. 16.

Die Modellergebnisse für die **Nullvariante (Abbildung 33)** zeigen, dass im Planungsgebiet Kaltluftvolumenstromdichten zwischen ca. 10 und $18 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ überwiegen. Damit ist trotz der langgestreckten Bebauung südlich des Straßenzugs Im Pfeifferswörth ein mäßiges bis gutes Kaltluftdurchlüftungspotenzial gegeben.

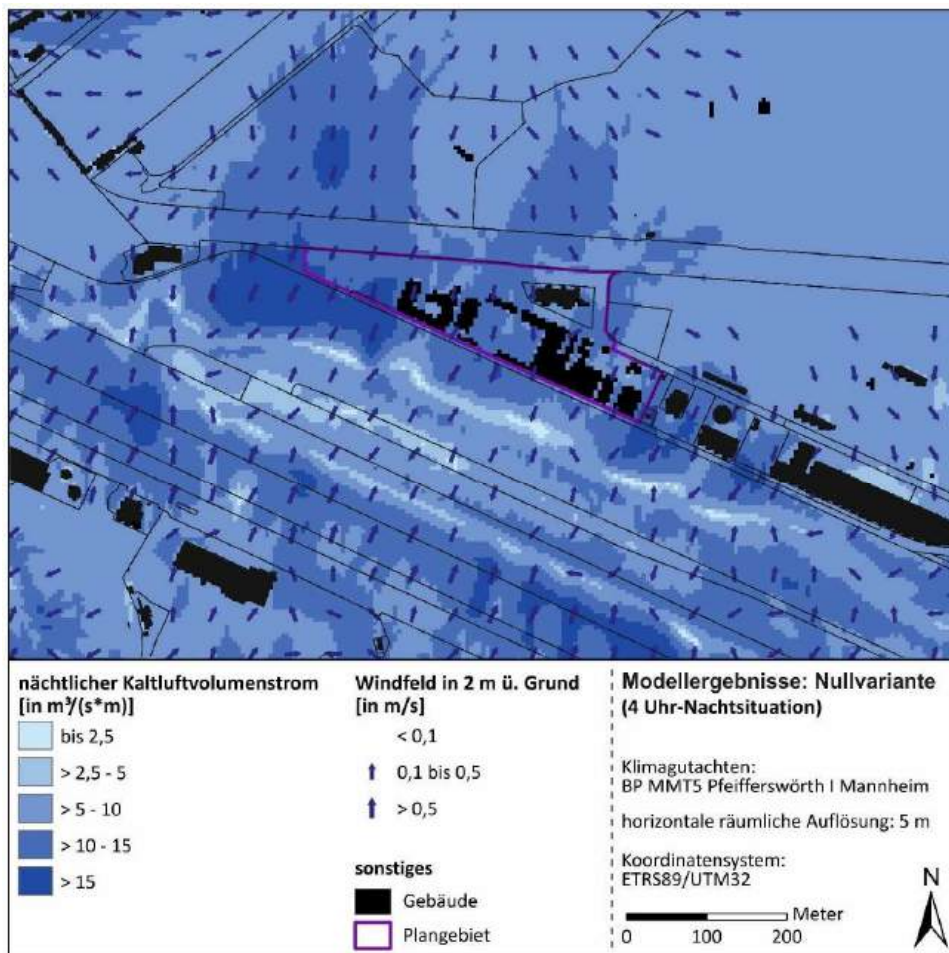


Abbildung 33: Nullvariante, Kaltluftvolumenstromdichte gegen 04:00 Uhr

Mit Realisierung der **Planungsvarianten 1 und 2 (Abbildungen 34 – 37)** nimmt die Kaltluftvolumenstromdichte im Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ in den Luv- und Lee-Lagen der neuen Baukörper gegenüber der Nullvariante ab. Hier machen sich die deutlich größeren Gebäudehöhen bemerkbar. Sie führen örtlich zu einer vermehrten Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht und damit zu einer Reduktion des Kaltluftvolumenstroms über die gesamte Kaltluftsäule. Diese Modifikation reicht in Richtung Süden bis über den Neckarkanal und im Norden bis zu den Kleingärten südöstlich bzw. südlich des Hauptfriedhofs. Stadtklimatisch bedeutende Wohnlagen sind von keinen Veränderungen betroffen.

Der örtlichen Abnahme des Kaltluftvolumenstroms stehen im Planungsgebiet im Bereich der neuen Grünzonen sowie an der Westspitze Zunahmen gegenüber. Durch gebäudebedingte Beschleunigungseffekte wird die Strömungsintensität der zu Stagnation neigenden bodennahen Kaltluft gesteigert.

Die planungsbedingten Veränderungen des Kaltluftvolumenstroms bleiben damit räumlich eng begrenzt und haben keinen nachhaltig negativen Einfluss auf die lokalen Kaltluftbewegungen entlang der Achse Grünzug Nordost – Luisenpark – Unterer Luisenpark – Innenstadt.

Bezüglich des Kaltluftvolumens ergeben sich zwischen den Planungsvarianten 1 und 2 keine stadtklimatisch bedeutsamen Unterschiede.

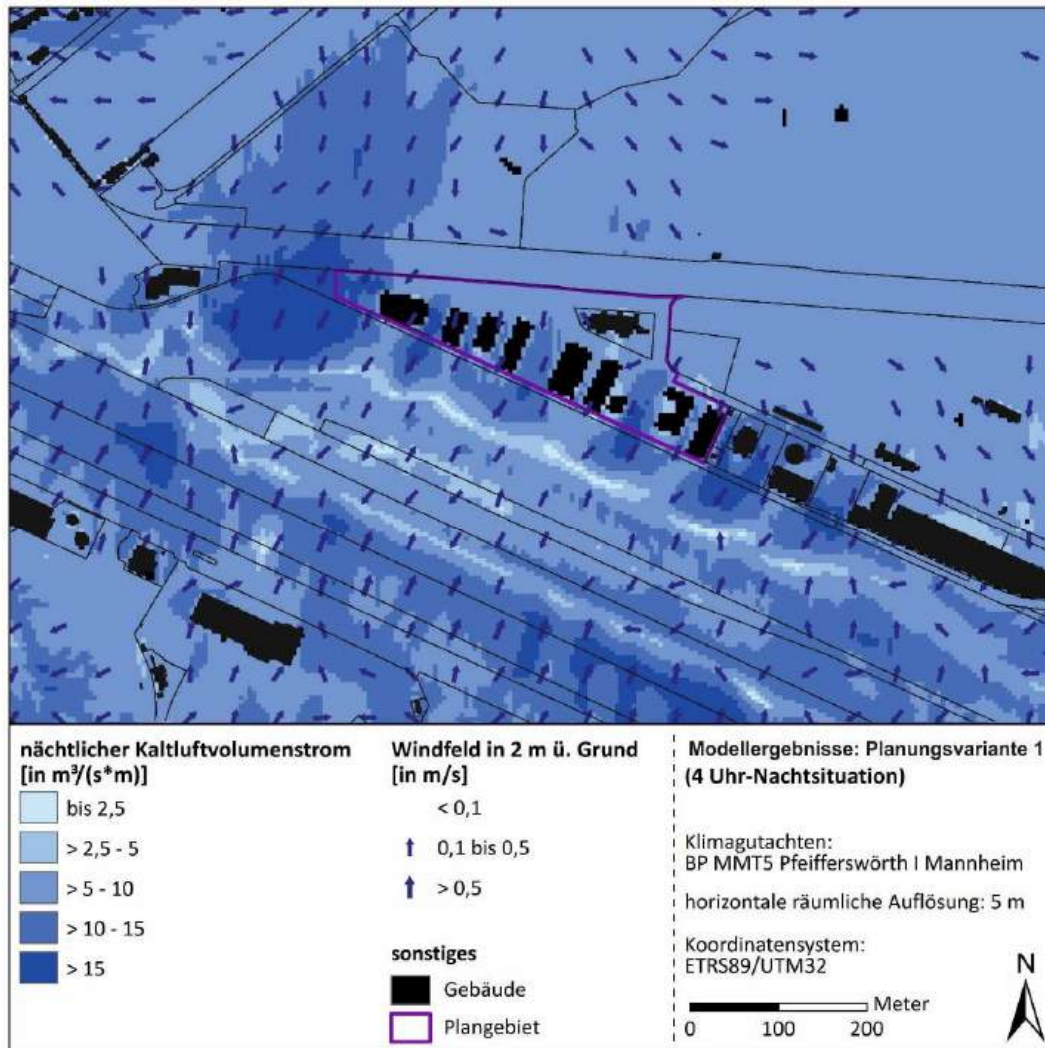


Abbildung 34: Planungsvariante 1, Kaltluftvolumenstromdichte gegen 04:00 Uhr

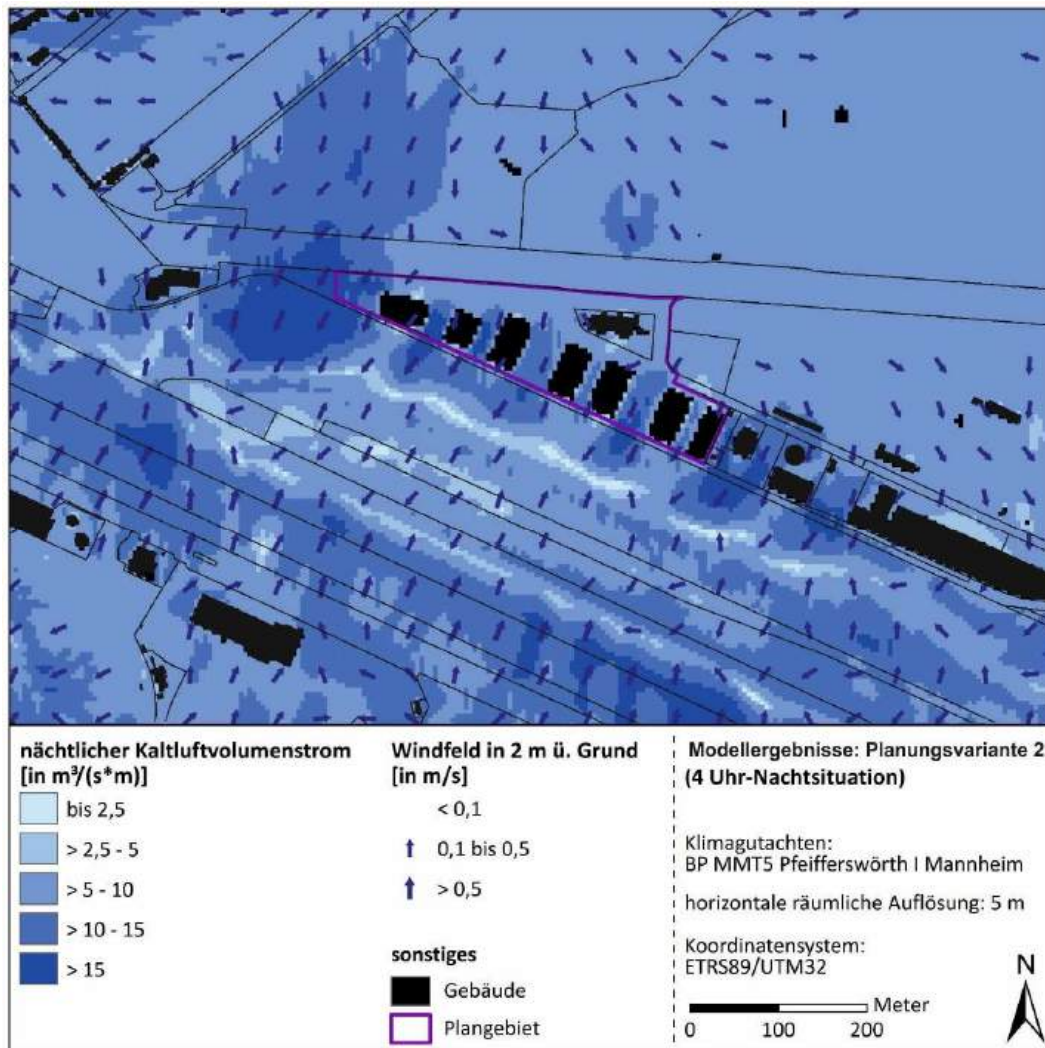


Abbildung 35: Planungsvariante 2, Kaltluftvolumenstromdichte gegen 04:00 Uhr

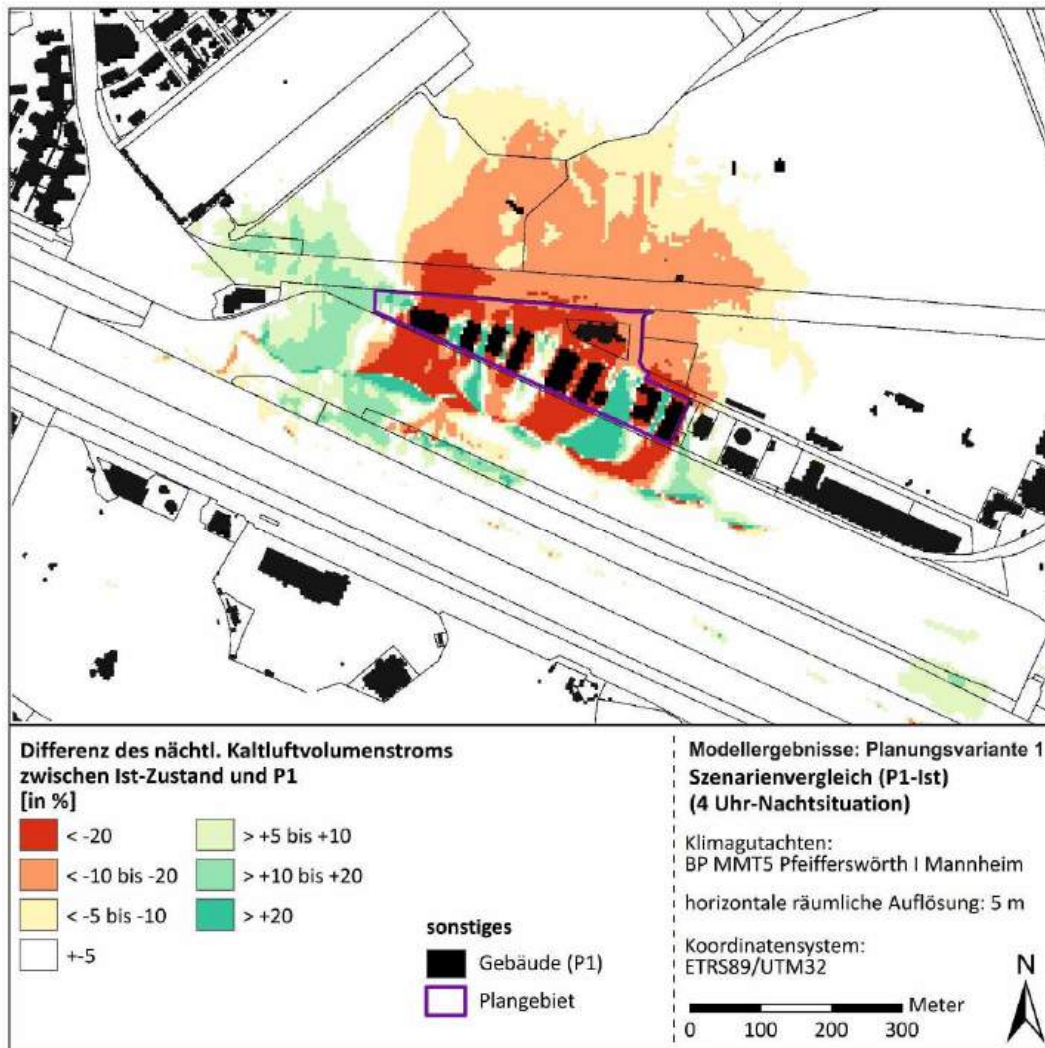


Abbildung 36: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation des Kaltluftvolumenstroms durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr

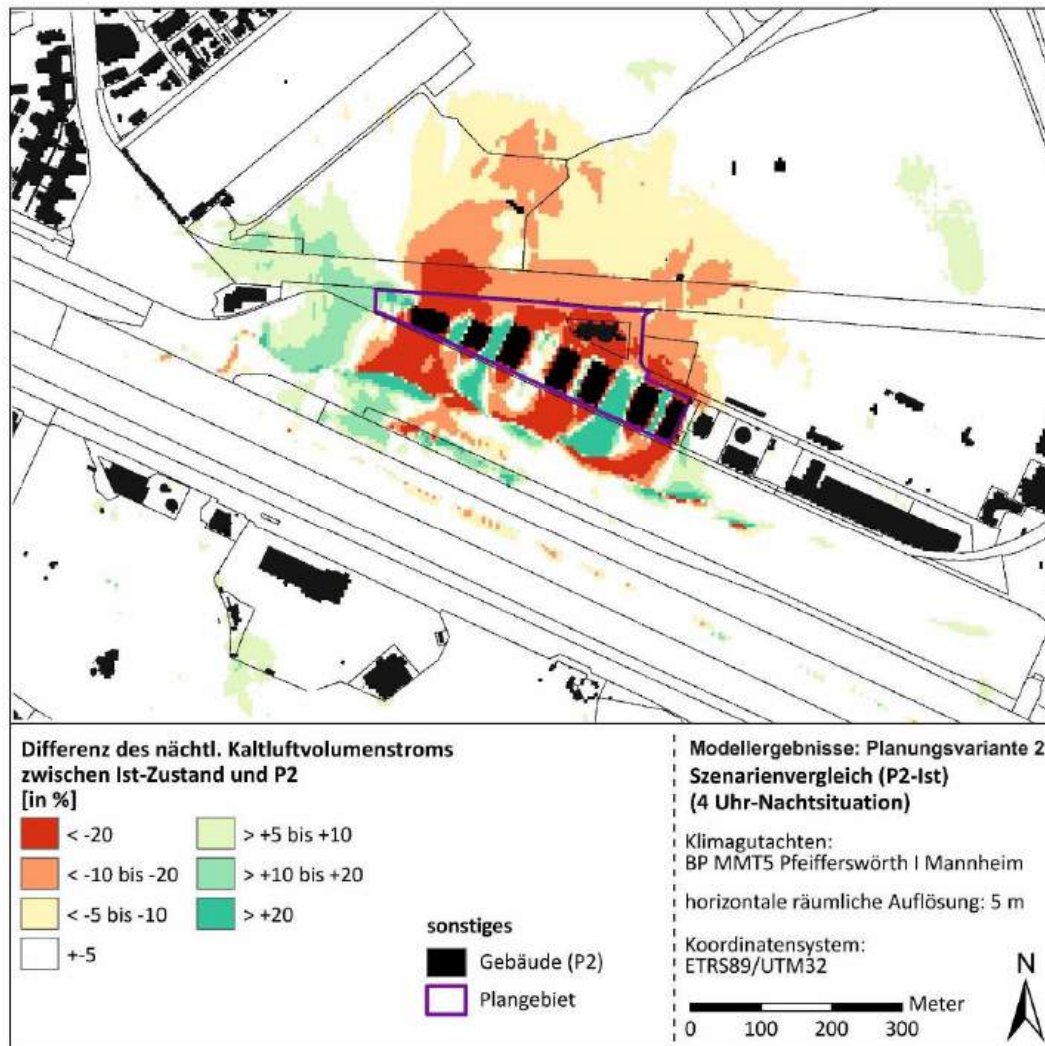


Abbildung 37: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation des Kaltluftvolumenstroms durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr

6.3 Thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen – allgemeine Grundlagen

Die thermische Situation am Planungsstandort ist ein Ergebnis aus dem vielfältigen Zusammenspiel verschiedener Flächennutzungs- und Klimaparameter. Die Klimaparameter (z.B. Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur) reagieren sensibel auf Veränderungen der Flächennutzungsstrukturen. Angesichts der sehr unterschiedlichen Prozesse hat es sich als sinnvoll herausgestellt, numerische Methoden zu benutzen, um deren Einflüsse zu prognostizieren.

Zahlreiche Stadtklimastudien belegen, dass sich tagsüber intensiv aufgeheizte befestigte Areale nach Sonnenuntergang in den Sommermonaten nur verzögert abkühlen. Während über vegetationsbedeckten Bereichen nach Sonnenuntergang die Luft- und Oberflächentemperaturen vergleichsweise rasch sinken, bleiben versiegelte Flächen (Straßen, Parkplätze, Baukörper) die ganze Nacht hindurch überwärmt.

Angesichts des Klimawandels mit erhöhter sommerlicher Wärmebelastung (siehe Kap. 5) ist aus Sicht der Klimaökologie bei der baulichen-freiraumplanerischen Neugestaltung des Planungsgebiets „MMT-5 Campus“ von Bedeutung, dass der planungsbedingte „Wärmeinseleffekt“ eng begrenzt bleibt und in der bestehenden Bebauung und in relevanten Kaltluftentstehungsgebieten (z.B. Luisenpark, Kleingärten nördlich der Feudenheimer Straße) keine großflächigen thermischen Zusatzbelastungen bewirkt.

Die nachfolgenden Berechnungen zum Lufttemperaturfeld beziehen sich auf die stadtklimatisch besonders relevanten sommerlichen Mittags- und Nachtstunden. Wie in Kap. 5.2 belegt, werden die deutlichsten thermischen Unterschiede im Stadtgefüge kurz vor Sonnenaufgang ermittelt.

Für die Tagsituation wird ergänzend zum Lufttemperaturfeld als humanbioklimatisches Maß die physiologische Äquivalenttemperatur (engl. Physiological Equivalent Temperature, PET) berechnet, um die Aufenthaltsqualität im Bereich des geplanten Sondergebiets vertiefend zu bewerten.

Der PET-Wert ist ein biometeorologisches Bewertungsmaß (siehe VDI-Richtlinie 3787, Bl. 2), das den aktuellen meteorologischen Atmosphärenzustand in thermischer Hinsicht für den Menschen bewertbar macht.

Die PET ist auf Basis einer standardisierten Person, die sich im Freien aufhält und nachfolgende Kriterien erfüllt, diejenige Temperatur, bei der im typischen Innenraum die Energiebilanz eines Menschen bei gleichen Werten der Haut- und Kerntemperatur ausgeglichen ist. Es findet eine Adaption der real wahrgenommenen Bedingungen der Außenwelt in den Innenraum statt und ermöglicht es dem Menschen, den thermischen Zustand außerhalb mit seinen Erfahrungen im Innenraum in Relation zu setzen (IÖR 2011).

Die Standardperson (Klima-Michel) für den die PET- Berechnung aufgestellt ist, weist folgende Merkmale auf:

- Geschlecht: männlich
- Alter: 35 Jahre
- Gewicht: 75 kg
- Größe: 1,75 m
- Körperoberfläche: 1,9 m²
- metabolische Rate: 80 W (leichte Tätigkeit, sitzend)
- Kleidungsfaktor: 0,9 clo

Die PET zeigt eine starke Abhängigkeit von der mittleren Strahlungstemperatur, die entscheidend von der direkten Sonneneinstrahlung geprägt wird. Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar.

6.3.1 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den thermischen Umgebungsbedingungen - Lufttemperatur

Die **Abbildung 38** zeigt für die **Nullvariante** die berechnete Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem windschwachen heißen Sommertag ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$).

Bei Lufttemperaturen im Gehölzschatten von ca. $24 - 28^\circ\text{C}$ werden über den unbeschatteten Straßen- und Rasenflächen Lufttemperaturen von 31°C berechnet. Höchste Lufttemperaturen von $>34^\circ\text{C}$ sind über großflächig versiegelten Stellplatzflächen ohne nennenswerten Baumschatten zu bestimmen.

Niedrigste Lufttemperaturen ergeben sich über den Wasserflächen des Neckars/Neckarkanals.

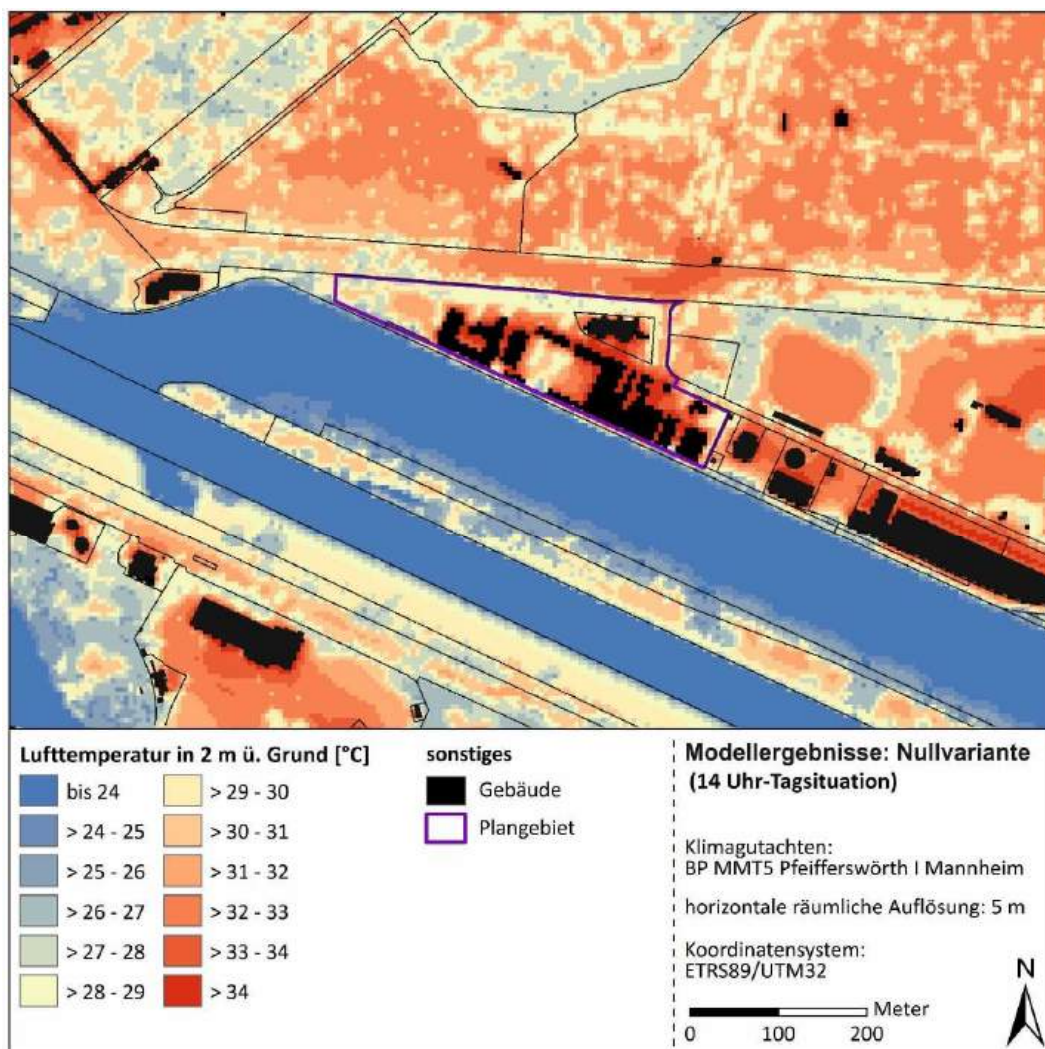


Abbildung 38: Nullvariante, Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag

Bei Realisierung der **Planungsvariante 1 (Abbildungen 39 und 40)** ist durch die veränderte Flächennutzung am Planungsstandort größtenteils mit einer Abnahme der Lufttemperatur zu rechnen. Der zur klimaökologischen Prüfung vorgelegte Planungsentwurf sieht die Schaffung von drei zusätzlichen Grünflächen vor. Dort sinkt die Lufttemperatur gegenüber der Nullvariante um ca. 0.1 – 2.0 K (= thermischer Positiveffekt). Allein im unmittelbaren Nahbereich der neuen Baukörper sind kleinräumige Lufttemperaturzunahmen zu bilanzieren. Die Lufttemperaturreduktionen entlang des Straßenzugs Im Pfeifferswörth sind größtenteils auf die zusätzlichen Verschattungseffekte der geplanten Bebauung zurückzuführen.

Bei der vorgegebenen Situation mit leichten Windbewegungen aus südlichen Richtungssektoren stellen sich in der Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante um ca. 0.1 – 1.0 K höhere Lufttemperaturen ein, was auf Warmluftverschiebungen in planungsbedingt intensiver ventilierten Bereichen zurückzuführen ist. In den Kleingärten nördlich der Feudenheimer Straße sind noch planungsbedingte Lufttemperaturzunahmen von ca. 0.1 – 0.5 K zu erwarten. Derart geringe Lufttemperaturunterschiede sind kaum spürbar und daher nur von geringer klimatischer Relevanz.

Die **Planungsvariante 2 (Abbildungen 41 und 42)** führt zu nahezu vergleichbaren Lufttemperaturmodifikationen wie Planungsvariante 1.

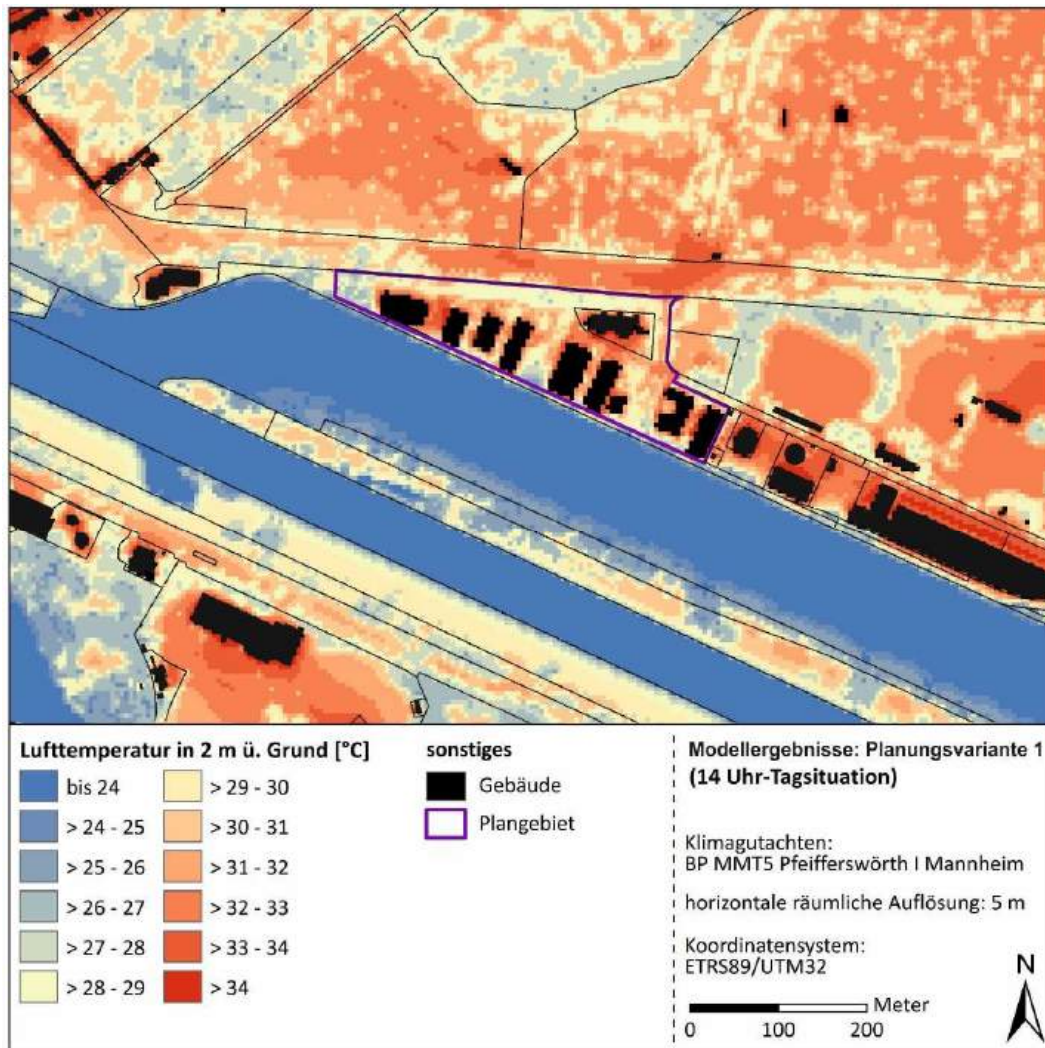


Abbildung 39: Planungsvariante 1, Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag

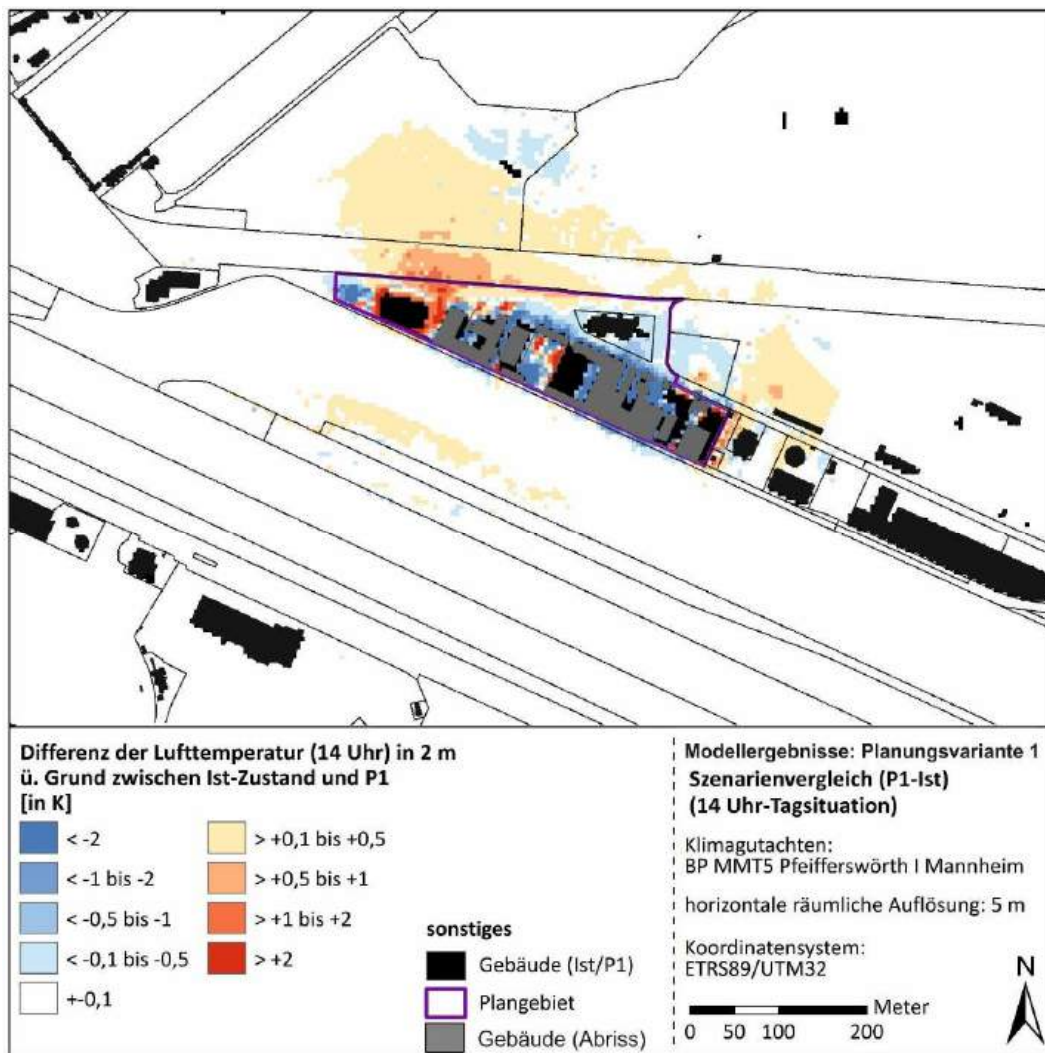


Abbildung 40: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag durch Planungsvariante 1

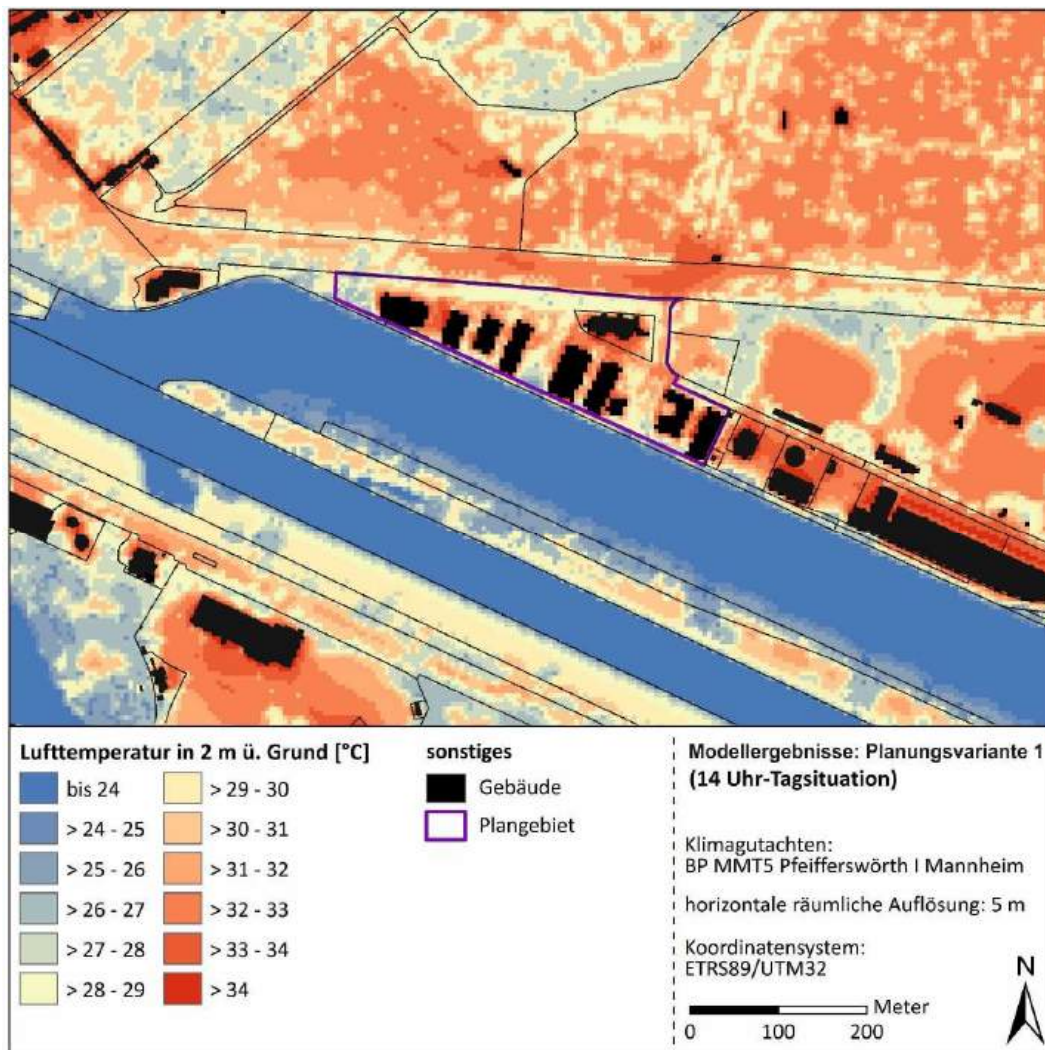


Abbildung 41: Planungsvariante 2, Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag

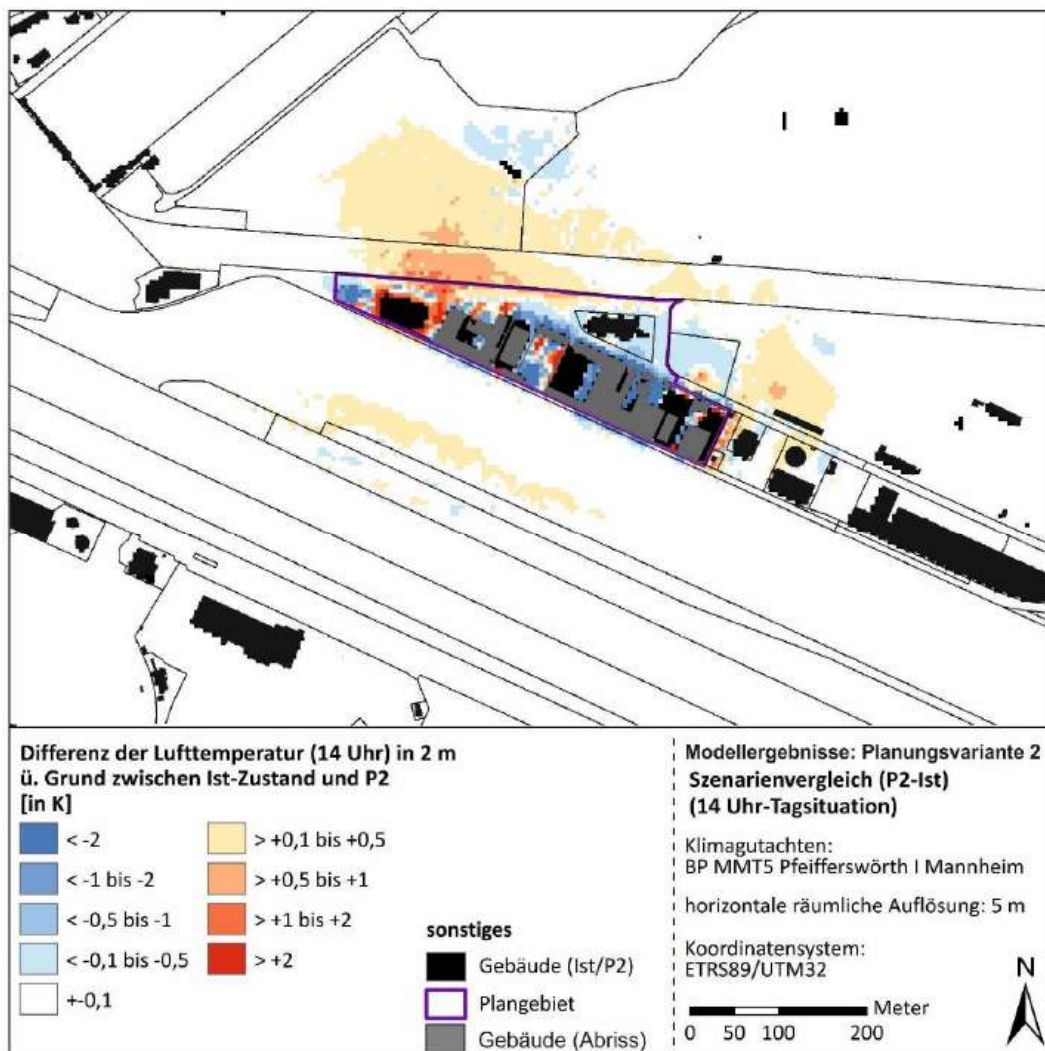


Abbildung 42: Vorher-Nachher-Vergleich. Planungsbedingte Veränderung der Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr an einem sommerlichen Strahlungstag durch Planungsvariante 2

In den nachfolgenden Modellsimulationen zur nächtlichen Lufttemperaturverteilung wird die Intensität der nächtlichen Wärmeinselbildung im Planungsgebiet analysiert.

Die **Abbildung 43** zeigt für die **Nullvariante** die berechneten Lufttemperaturen gegen 04:00 Uhr in einer windschwachen, wolkenlosen Sommernacht.

Im Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ werden max. Lufttemperaturdifferenzen von ca. 3.0 K simuliert. Niedrigste Werte zeigen sich typischerweise über Grünflächen, die örtlich zur Kaltluftbildung beitragen. Höchste Lufttemperaturen sind über versiegelten Stellplatzflächen und Erschließungsstraße zu bilanzieren.

Im Planungsumfeld bilden die Sportanlagen des Sportparks Pfeifferswörth, die Kleingärten nördlich der Feudenheimer Straße städtische Lufttemperatsenken. Über den Wasserflächen des Neckars und des Neckarkanals sind die höchsten Lufttemperaturen zu ermitteln, da ihre Wassertemperaturen an der Oberfläche in den Sommermonaten bei über 20°C liegen.

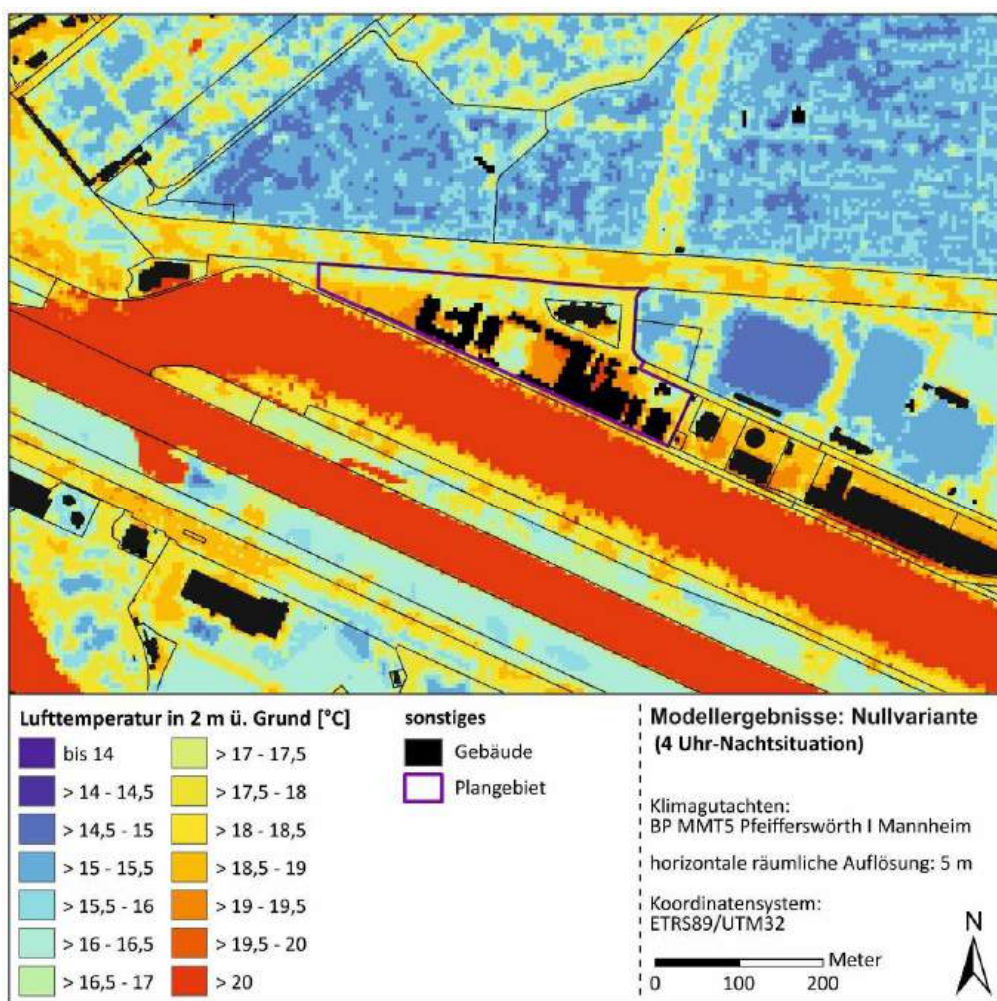


Abbildung 43: Nullvariante, Lufttemperatur 2 m ü. G., gegen 04:00 Uhr

Die Ergebnisse der Lufttemperatursimulationen zur **Planungsvariante 1** (**Abbildungen 44 und 45**) zeigen, dass die neuen Grünstrukturen im Planungsgebiet insgesamt zu einer leichten Abnahme der Lufttemperaturen führen. Allein im unmittelbaren Nahbereich der neuen Gebäude sind durch die Wärmeabstrahlung der Hauswände etwas höhere Lufttemperaturen zu bestimmen. Eine Intensivierung bzw. eine Ausdehnung des örtlichen Wärmeinseleffekts tritt nicht ein. Dies entspricht den klimaökologischen Zielvorstellungen an die Planung (siehe Kap. 5.2).

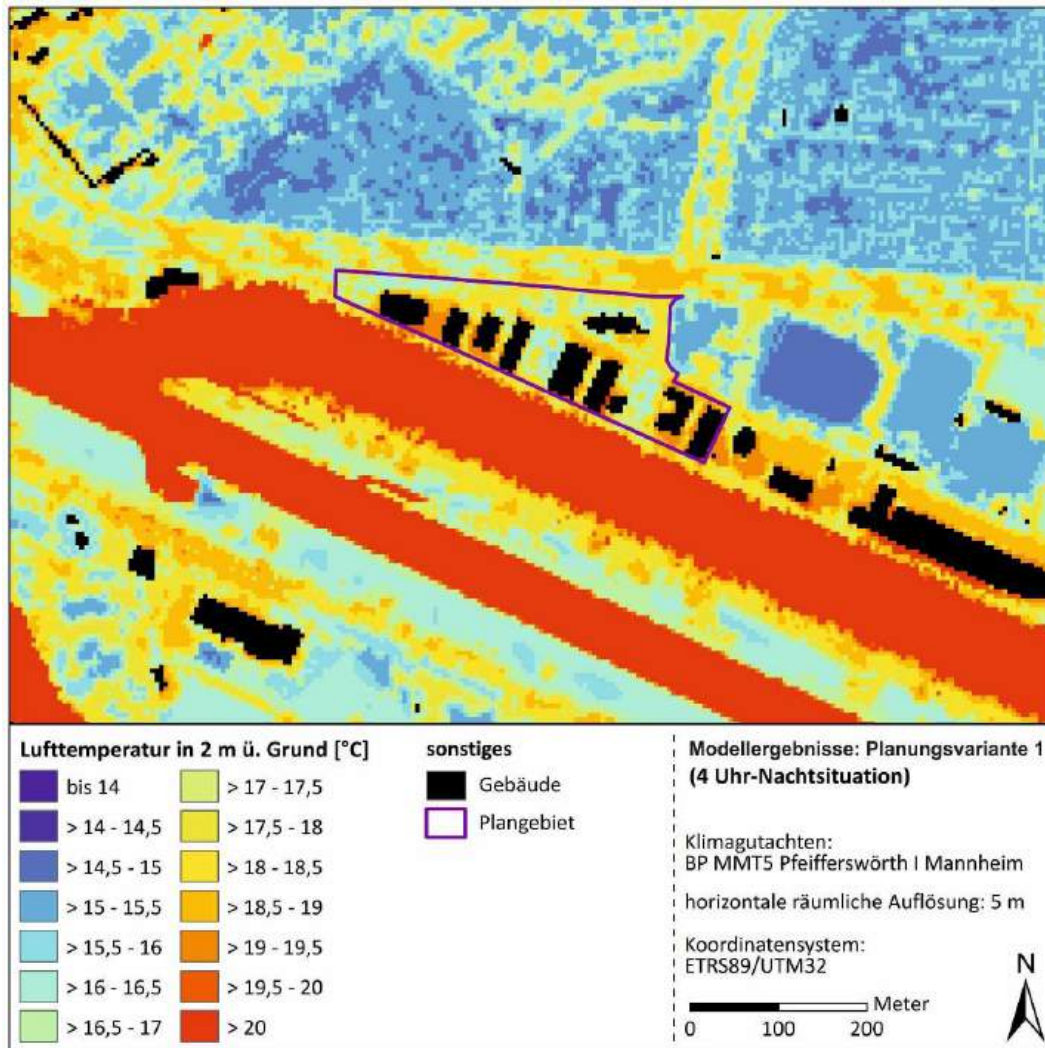


Abbildung 44: Planungsvariante 1, Lufttemperatur 2 m ü.G, gegen 04:00 Uhr

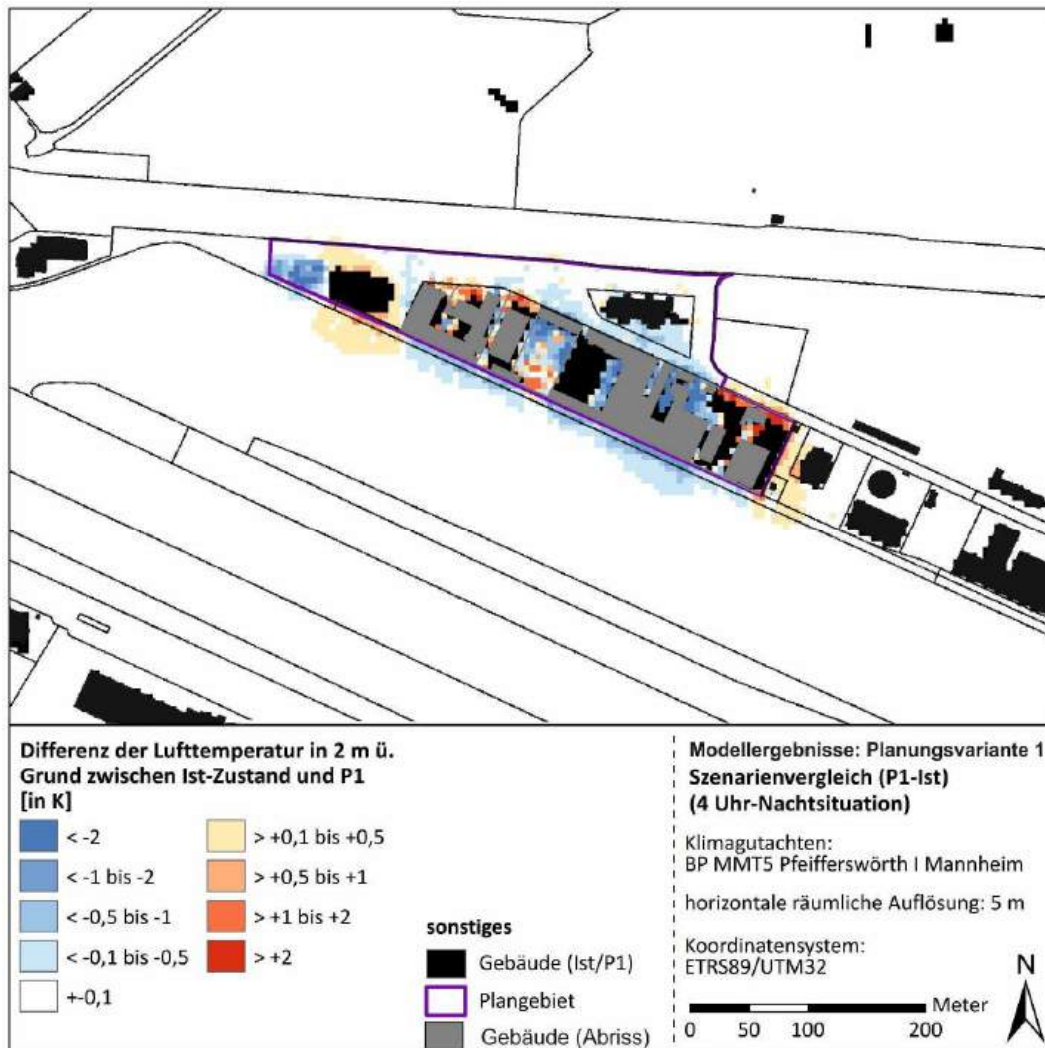


Abbildung 45: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Lufttemperatur durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr

Bei **Planungsvariante 2** (Abbildungen 46 und 47) stellen sich mit Planungsvariante 1 vergleichbare Lufttemperaturverteilungen ein. Allein im Bereich des Baufeldes 3 ist die thermische Situation bei Planungsvariante 1 als etwas günstiger einzustufen, da im nordwestlichen Teilbereich eine zusätzliche baumüberstellte Platzstruktur angeordnet ist und damit die Breite der östlich anschließenden Freiraumachse vergrößert.

In den Baufeldern 1 und 2 wirkt sich die unterschiedliche bauliche Gestaltung nur in sehr geringem Maße auf das Lufttemperaturfeld aus.

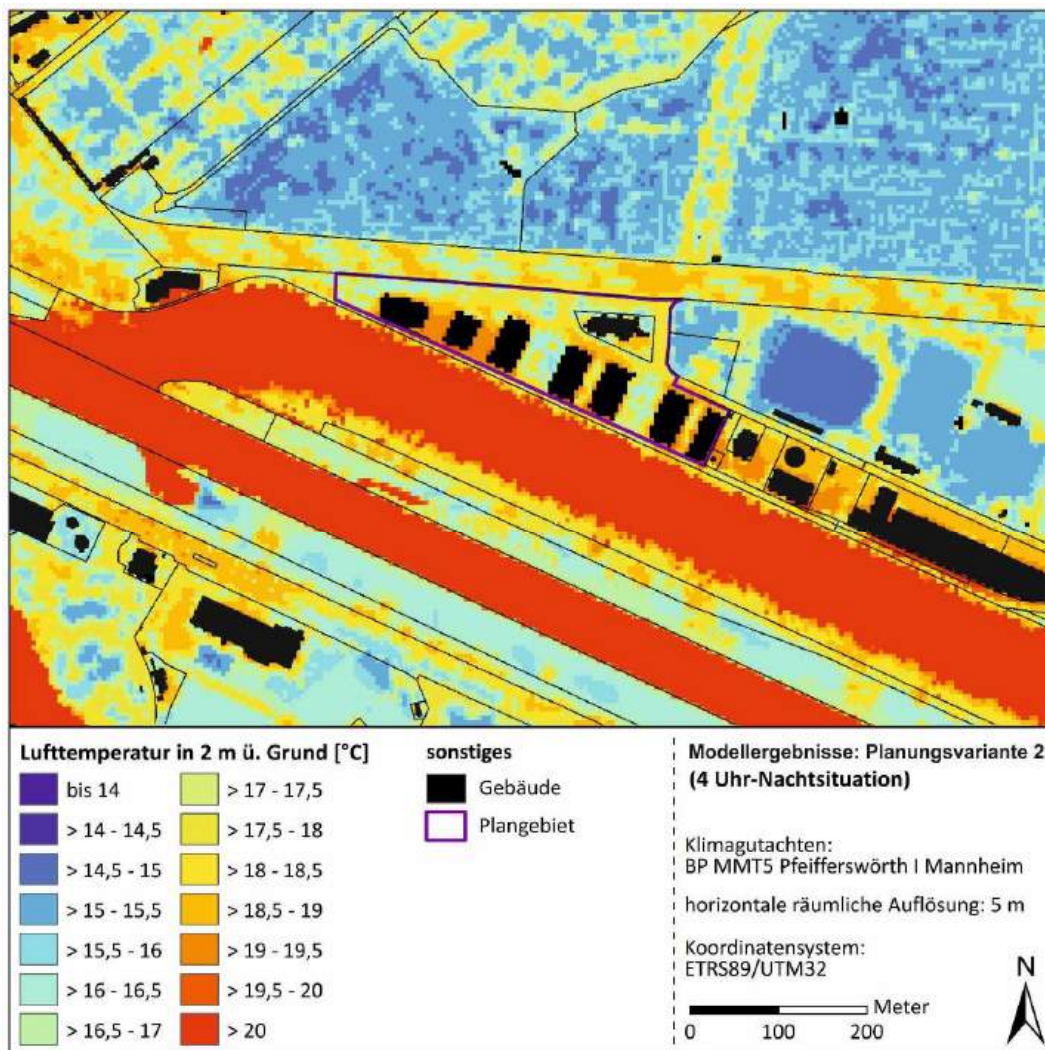


Abbildung 46: Planungsvariante 1, Lufttemperatur 2 m ü.G, gegen 04:00 Uhr

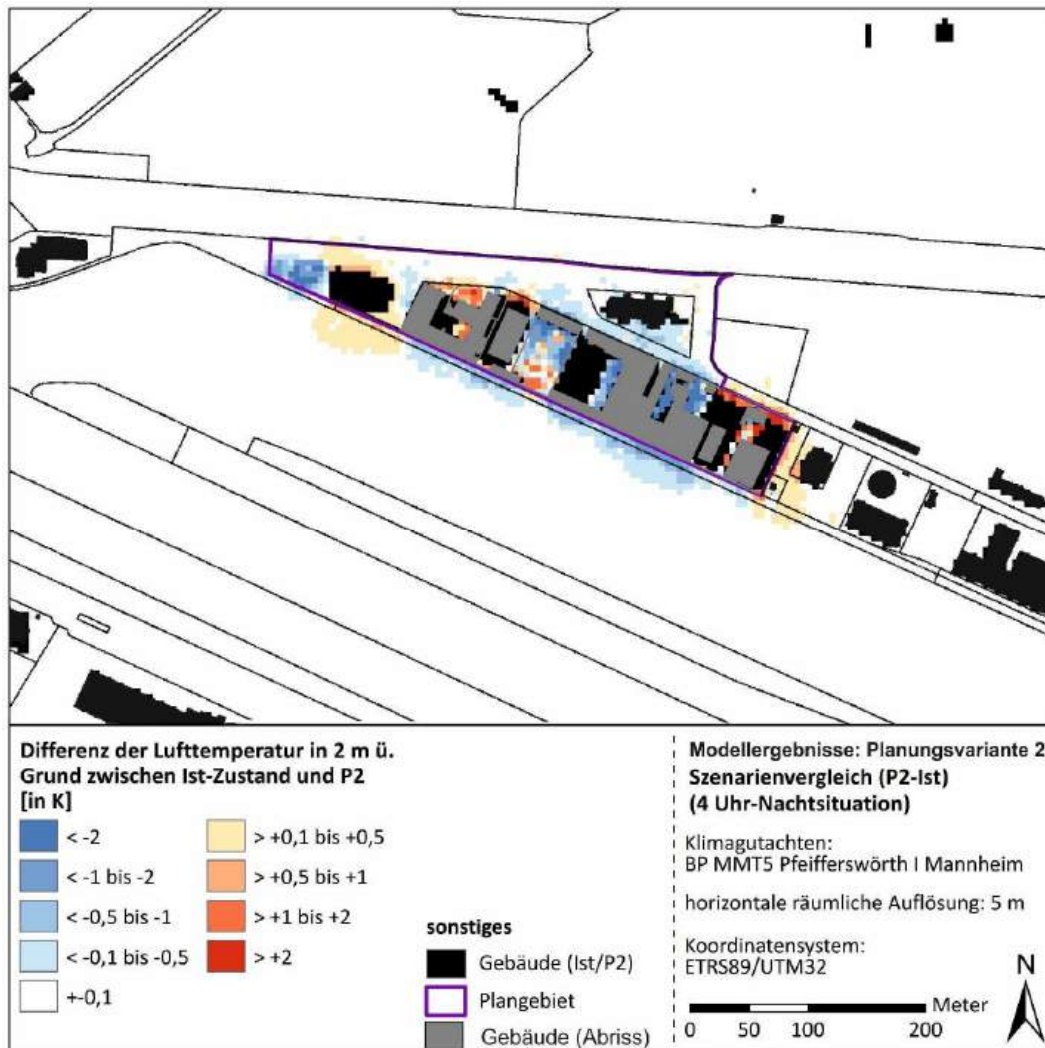


Abbildung 47: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der Lufttemperatur durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 04:00 Uhr

6.3.2 Ergebnisse der Modellrechnungen zu den bioklimatischen Umgebungsbedingungen - Physiologische Äquivalenttemperatur (PET)

In den **Abbildungen 48 - 52** sind zur Bewertung der bioklimatischen Verhältnisse die Ergebnisse von PET-Simulationen für einen typischen Sommertag dargestellt.

Wie die Modellergebnisse für die **Nullvariante (Abbildung 48)** belegen, machen sich bei den PET-Werten vermehrt die Oberflächentemperaturen in der bioklimatischen Bewertung bemerkbar. Diese hängen am Tag vor allem von der Intensität der direkten Sonneneinstrahlung ab. So werden beispielsweise in unbeschatteten Bereichen der Feudenheimer Straße PET-Werte von ca. 38 - >41°C (= starke bis extrem starke Wärmebelastung) berechnet, wohingegen im Baumschatten die PET-Werte nur ca. 28 – 35°C (= geringe bis mäßige Wärmebelastung) betragen. Die bioklimatisch günstige Wirkung von Verschattungen tritt deutlich hervor. Dies zeigt sich auch entlang des Fuß- und Radwegs auf dem Damm des Neckarkanals am Südrand des Planungsgebiets.

Im Planungsgebiet „MMT-5 Campus“ bilden die wenigen baumüberstellten Grünflächen bioklimatische Gunsträume mit geringer bis mäßiger Wärmebelastung. Die großflächig versiegelten Erschließungs- und Stellplatzflächen weisen hingegen erwartungsgemäß starke bis extreme Wärmebelastungen auf.

Starke Wärmebelastung ist auch über den Kleingärten nördlich der Feudenheimer Straße zu bilanzieren. Die zahlreichen Gartenhäuser mit ihren Erschließungsflächen und die unbeschatteten Pflanzbeete heizen sich tagsüber ebenfalls intensiv auf.

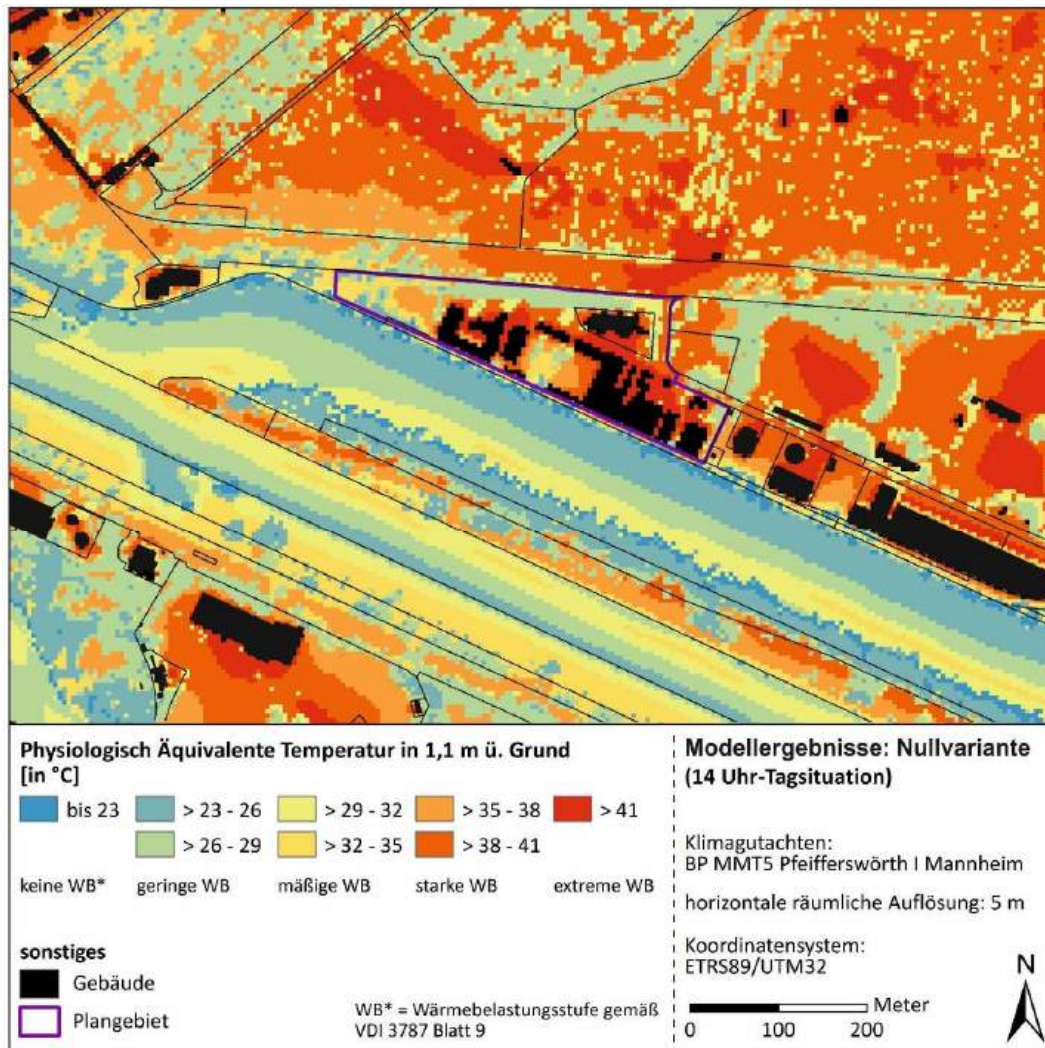


Abbildung 48: Nullvariante - Ergebnisse der PET-Simulationen. PET-Werte 1 m ü.G. (14:00 Uhr)

Die Ergebnisse der PET-Modellrechnungen zur **Planungsvariante 1 (Abbildungen 49 und 50)** zeigen, dass durch die Schaffung neuer Grünräume und die zusätzlichen gebäudebedingten Schattenwürfe die bioklimatische Belastung im Planungsgebiet gegenüber der Nullvariante abnimmt. Im Bereich der geplanten Grünflächen westlich des Baufeldes 1 und zwischen den Baufeldern 2 und 3 sowie 3 und 4 werden neue bioklimatische Gunsträume geschaffen, die u.a. den Beschäftigten im Sondergebiet in Arbeitspausen auch an heißen Sommertagen Aufenthaltsqualitäten bieten.

Die leichten Anstiege der Wärmebelastungen entlang der Feudenheimer Straße nördlich des Baufeldes 1 und nordöstlich des Baufeldes 4 sind darauf zurückzuführen, dass durch eine etwas intensivere bodennahe Ventilation die örtliche Warmluft gegenüber der Nullvariante unterschiedlich räumlich verteilt wird. Von der leicht ansteigenden Wärmebelastung sind aber keine empfindlichen Nutzungen (z.B. Wohnbebauung, Kitas etc.) betroffen.

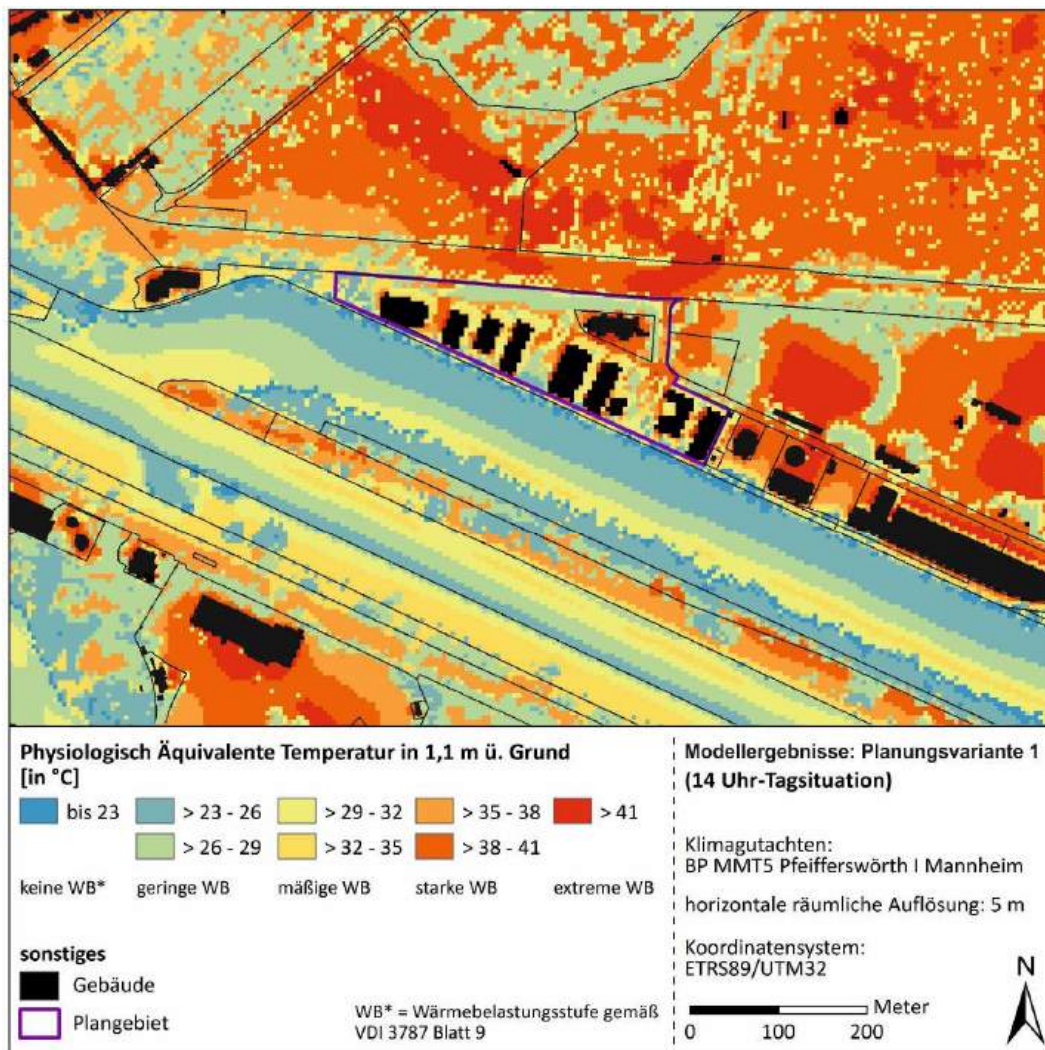


Abbildung 49: Planungsvariante 1 - Ergebnisse der PET-Simulationen. PET-Werte 1 m ü.G. (14:00 Uhr)

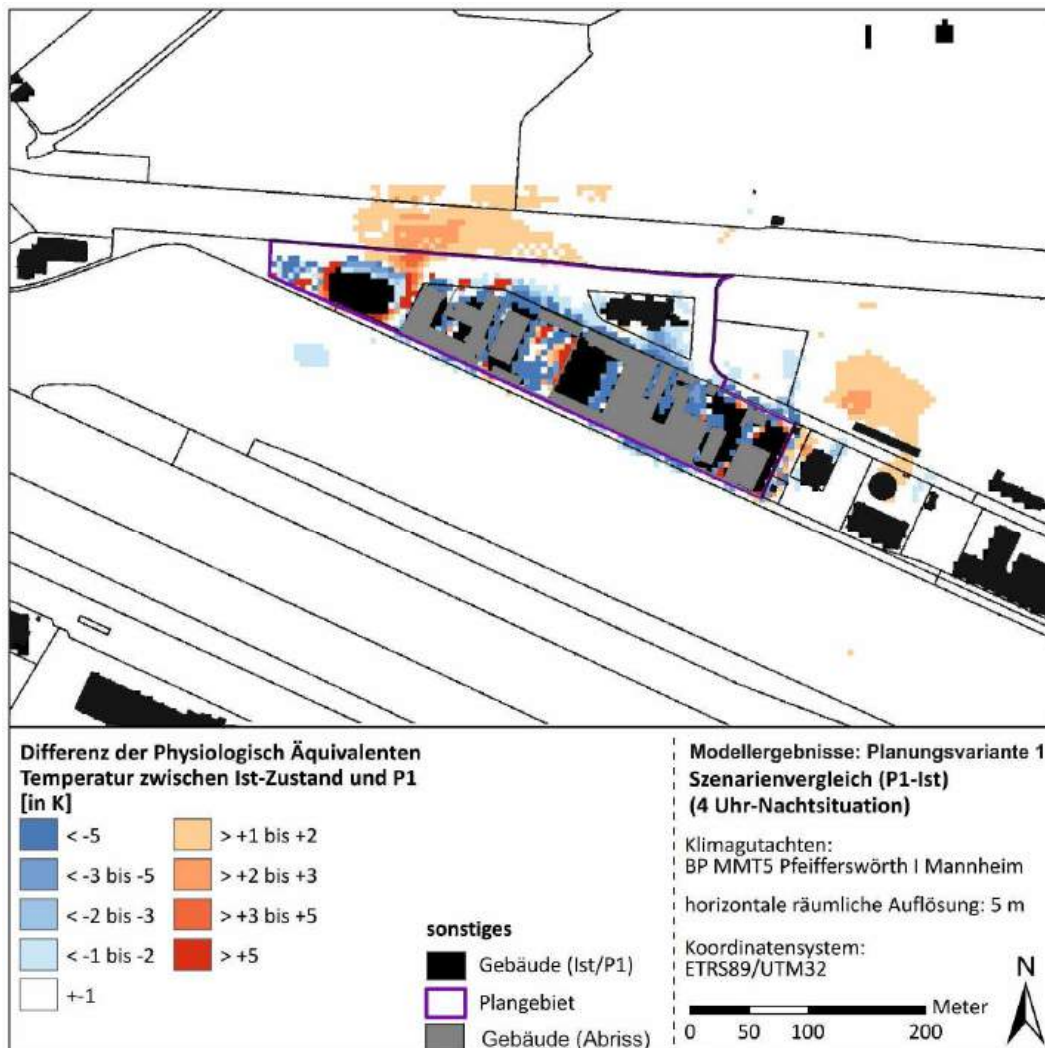


Abbildung 50: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der PET-Werte (1 m ü.G.) durch die Planungsvariante 1 gegenüber der Nullvariante gegen 14:00 Uhr

In den **Abbildungen 51** und **52** sind die Ergebnisse der PET-Simulationen für die Planungsvariante 2 angeführt. Im Planungsumfeld zeigen sich zwischen den Varianten 1 und 2 keine auffallenden Differenzierungen bei der Wärmelastung. Innerhalb des geplanten „MMT-5 Campus“ ist die sommerliche Aufenthaltsqualität im Bereich der Grünzone zwischen den Baufeldern 3 und 4 bei Planungsvariante 1 geringfügig besser, da im Baufeld 3 im Nordwesten noch eine zusätzliche baumüberstellte Freifläche möglich ist. Hierdurch wird die Belüftungsfunktion der Grünzone unterstützt.

Im Baufeld 2 ist die bioklimatische Situation bei Planungsvariante 1 etwas günstiger bewertet, da bei den Berechnungen davon ausgegangen wurde, dass die Gebäudeabstandsflächen begrünt sind. Bei Planungsvariante 2 wurde von einer versiegelten Flächen ausgegangen (siehe **Abbildungen 18** und **19**). Legt man der Planungsvariante 2 im Baufeld 2 eine ebenfalls begrünte Gebäudeabstandsfläche zu Grunde, so sind keine bemerkenswerten Lufttemperaturunterschiede zu erwarten. Die etwas breiter gestaltete Abstandsfläche bei Planungsvariante 2 sichert allerdings bzgl. der Grünausstattung einen größeren Spielraum.

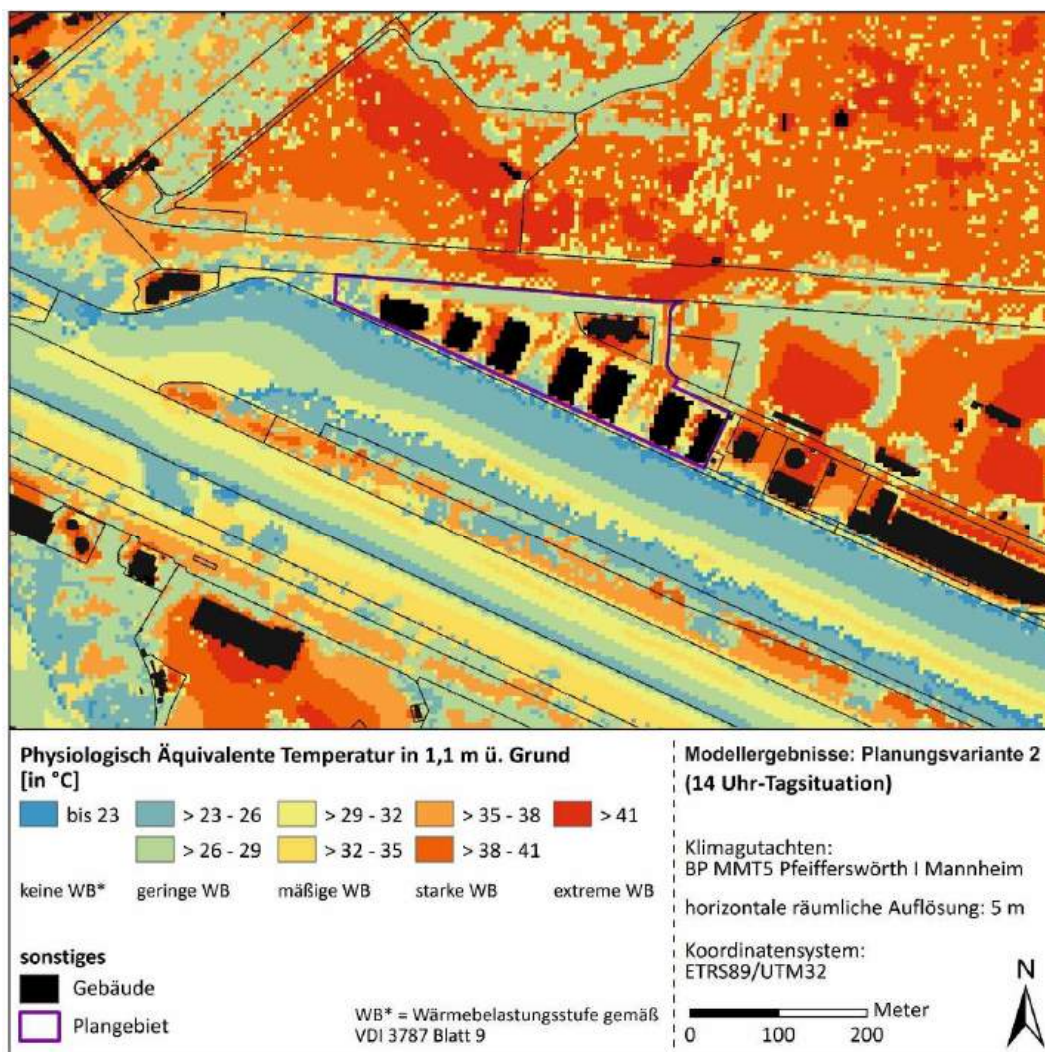


Abbildung 51: Planungsvariante 2 - Ergebnisse der PET-Simulationen. PET-Werte 1 m ü.G. (14:00 Uhr)

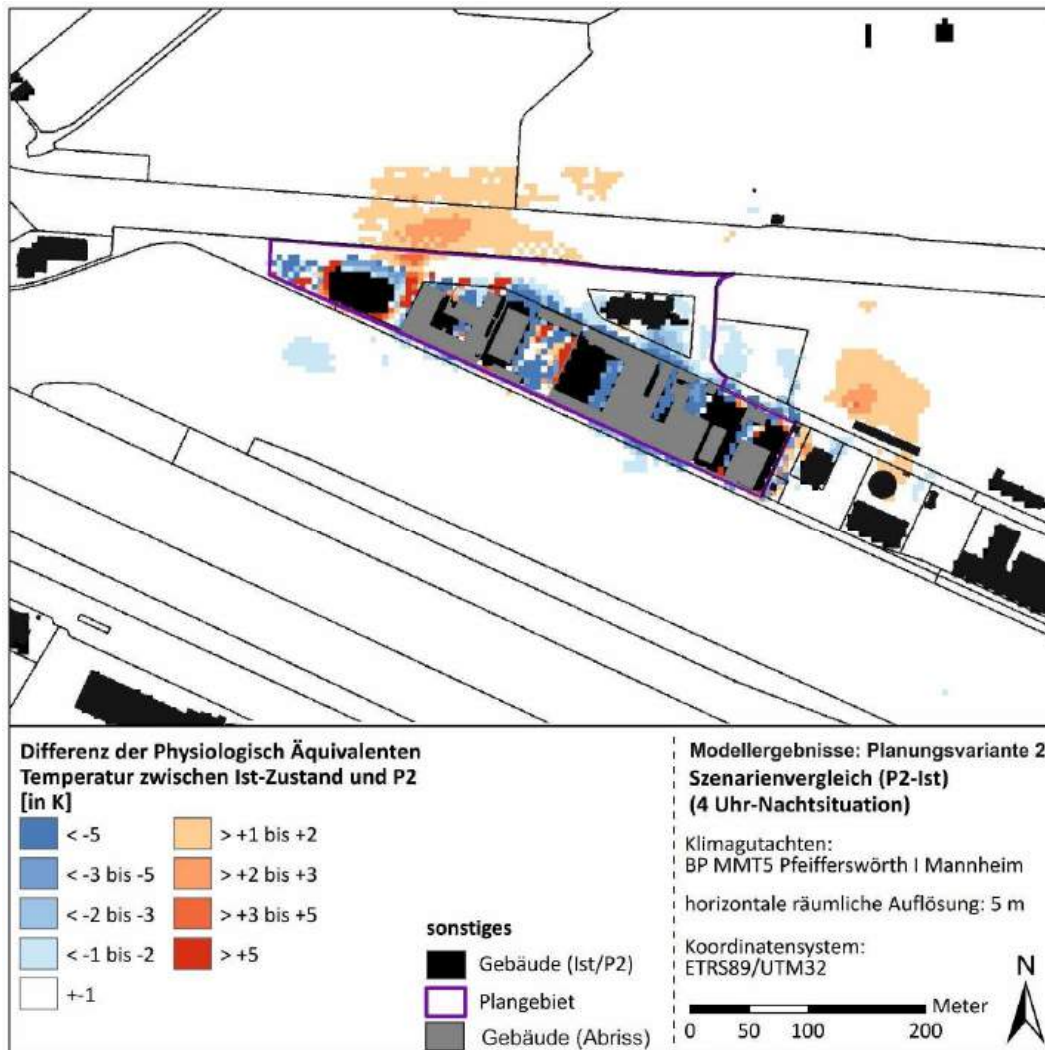


Abbildung 52: Vorher-Nachher-Vergleich. Modifikation der PET-Werte (1 m ü.G.) durch die Planungsvariante 2 gegenüber der Nullvariante gegen 14:00 Uhr

7 Kurzzusammenfassung der Untersuchungsergebnisse, Bewertung und Planungsempfehlungen

In Mannheim-Wohlgelegen (Stadtbezirk Neckarstadt-Ost) ist zwischen Neckarkanal und Feudenheimer Straße auf einem ca. 4.5 ha großen Areal eine städtebauliche Neuordnung geplant. Damit soll der fünfte Abschnitt des Mannheim Medical Technology Campus („MMT-5 Campus“) realisiert werden. Dabei wird Wert darauf gelegt, dass die Zugänglichkeit zum Neckar/Neckarkanal gesichert bzw. verbessert wird.

Aktuell bestehen zwei Planungsvarianten. Planungsvariante 1 sieht insgesamt fünf Baufelder vor. Vier Baufelder sind entlang des Neckarkanals angeordnet, ein Bau-
feld umfasst das Gelände einer sportmedizinischen Rehabilitationsstätte an der Ecke Im Pfeifferswörth / Feudenheimer Straße. Auf den vier Baufeldern entlang des Neckarkanals soll eine GRZ von 0.8 festgesetzt werden. Auf dem Bau-
feld im nordöstlichen Planungsteilgebiet ist eine GRZ von 0.4 geplant.

Die Bebauung entlang des Neckarkanals wird durch zwei Nord-Süd orientierte, ca. 37 m und 35 m breite Grünzonen gegliedert.

Die auf den Baufeldern eingetragenen Gebäudeumrisse zeigen Gebäudebreiten zwischen ca. 20 bis 22 m (Quartiersgarage ca. 33 m) und Gebäudelängen von 40 bis 60 m.

An der Westspitze des Planungsgebiets soll der bestehende Parkplatz überbaut werden. Hier sind max. Gebäudehöhen von 30 m und 18 m angedacht. In den weiteren Baufeldern entlang des Neckarkanals sollen max. Gebäudehöhen von 18 m festgesetzt werden. Durch Technikaufbauten kann bei Labornutzung die max. Bauhöhe um 3 – 4 m weiter ansteigen. Ausnahme bildet der 30 m hohe Gebäudekomplex im Westen.

Die Abstände der möglichen Gebäude auf den einzelnen Baufeldern betragen in Ost-West-Richtung mindestens 13.5 m.

Bei Planungsvariante 2 wird für die Bebauung auf dem Bau-
feld 1 allein eine max. Gebäudehöhe von 30 m vorausgesetzt (= Maximalvariante).

Im Bau-
feld 2 sind anstelle von drei Baukörpern mit zwei 14 m breiten Abstandsflächen, zwei etwas breitere Baukörper mit einer 24 m breiten Abstandsfläche geplant.

Auch auf den Baufeldern 3 und 4 sind die Baukörperkubaturen im Vergleich zu Planungsvariante 1 modifiziert.

Als Bestandteil der Kaltluftzugbahn Grünzug Nordost - Sportpark Neckarstadt-Ost/Feudenheim – Neckar/Neckarkanal - Luisenpark – Unterer Luisenpark“ (siehe **Abbildung 53**) besteht im Planungsgebiet eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Barrierewirkungen durch Hochbau und thermischen Zusatzbelastungen durch Oberflächenversiegelung.

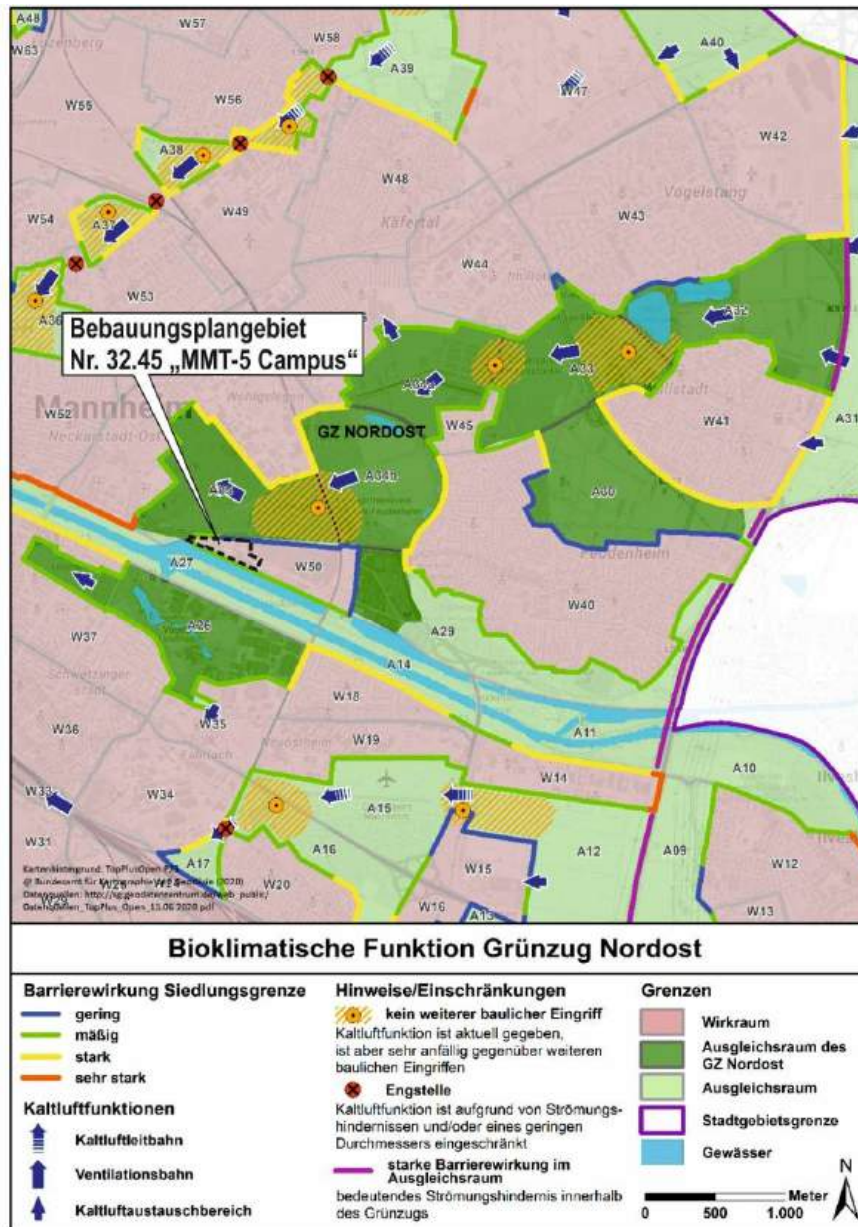


Abbildung 53: Verlauf der Kaltluftzugbahn Grünzug Nordost (A32/33/34/34b/35) – Sportpark Neckarstadt-Ost/Feudenheim (W50) – Neckar/Neckarkanal (A27) – Luisenpark/Unterer Luisenpark (A26). Aus: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2021)

In der Stadtklimaanalyse Mannheim 2020 (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2021) wird die bestehende Bebauung im Planungsgebiet und in dessen Umfeld (Sportpark) wie folgt klimaökologisch eingeordnet: „Die Gewerbebebauung am Neckarkanal weist eine kleinräumige aber dennoch auffallende Barrierewirkung in Nord-Süd-Richtung auf. Damit die klimaökologisch funktionierende räumliche Verknüpfung der Ausgleichsräume Luisenpark südlich des Neckars und Grünzug Nordost gesichert bleibt, sind örtlich möglichst keine weiteren baulichen Verdichtungen anzustreben, die zusätzliche Luftaustauschbarrieren bilden. Sind Flächennutzungsänderungen vorgesehen, ist die nord-süd-gerichtete Durchströmbarkeit des Gebietes möglichst nicht zusätzlich einzuschränken bzw. idealerweise zu verbessern.“

7.1 Einfluss der geplanten Bebauung auf die klimaökologischen Funktionsabläufe und Bewertung

Aus den in Kap. 5 beschriebenen ortsspezifischen Klimaverhältnissen resultiert, dass die im Planungsgebiet und in dessen Umfeld bestehenden Funktionen als Kaltluftbewegungs- und Kaltluftproduktionsflächen nur in möglichst begrenztem Umfang gestört werden sollten, um im Planungsumfeld keine thermischen / bioklimatischen Zusatzbelastung zu bewirken.

Die Ergebnisse der Kaltluftströmungssimulationen dokumentieren, dass in siedlungsklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungsnächten durch den angestrebten „MMT-5 Campus“ die kaltluftspezifische Belüftung nicht eingeschränkt wird.

Mit Realisierung der Planungsvarianten 1 und 2 kommt es in den Bereichen, wo durch erforderliche Gebäudeabstandsflächen und geplante Grünzonen in Nord-Süd-Richtung gegenüber der Nullvariante neue Durchlüftungsachsen entstehen, zu einer Zunahme der örtlichen Kaltluftfließgeschwindigkeit in Richtung Neckarkanal. Dem stehen an der Westspitze des Planungsgebiets, an welcher anstelle der Parkierungsflächen eine bis zu 30 m hohe Bebauung angedacht ist, kleinräumige Windgeschwindigkeitsreduktionen gegenüber.

Die gebäudebedingte Windschatteneffekte bleiben bei den Planungsvarianten 1 und 2 räumlich auf den Neckarkanal begrenzt und haben somit keine besondere Relevanz. Weiterreichende planungsbedingte Barriereeffekte werden unterbunden, da die einzelnen Baukörper allseitig umströmbar angeordnet sind.

Insgesamt nimmt die Belüftungsintensität in den bodennächsten Luftschichten im Planungsgebiet gegenüber der Nullvariante in geringer Intensität zu, was den klimaökologischen Zielvorstellungen entspricht.

Vergleich man die Planungsvarianten 1 und 2 miteinander, so zeigt sich, dass bei Planungsvariante 1 der Freiraum zwischen den Baufeldern 3 und 4 eine geringfügig bessere Durchlüftung ermöglicht, da auf dem Baufeld 3 im Nordwesten eine zusätzlich unbebaute Erschließungs-/Platzfläche angeordnet ist.

Im Baufeld 2 sind bei Planungsvariante 2 anstelle von drei Baukörpern mit zwei 14 m breiten Abstandsflächen (Planungsvariante 1), zwei etwas breitere Baukörper mit einer 24 m breiten Abstandsfläche geplant. Hieraus ergeben sich in stadtklimatisch besonders relevanten Strahlungsnächten keine nennenswerten strömungsdynamischen Unterschiede.

Die planungsbedingten Veränderungen des Kaltluftvolumenstroms bleiben ebenfalls räumlich eng begrenzt und haben keinen nachhaltig negativen Einfluss auf die lokalen Kaltluftbewegungen entlang der Achse Grünzug Nordost – Neckar/Neckarkanal - Luisenpark – Unterer Luisenpark.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zu den thermischen Umgebungsbedingungen an heißen Sommertagen dokumentieren, dass bei Realisierung der Planungsvariante 1 durch die veränderte Flächennutzung am Planungsstandort größtenteils mit einer Abnahme der Lufttemperatur zu rechnen ist. Der zur klimaökologischen Prüfung vorgelegte Planungsentwurf sieht die Schaffung von drei zusätzlichen Grünflächen vor. Dort sinkt die Lufttemperatur gegenüber der Nullvariante um ca. 0.1 – 2.0 K (= thermischer Positiveffekt). Allein im unmittelbaren Nahbereich der neuen Baukörper sind kleinräumige Lufttemperaturzunahmen zu bilanzieren, die durch baugestalterische / grünbestalterische Maßnahmen reduziert werden können (siehe Kap. 7.2).

Entlang des Straßenzugs Im Pfeifferswörth sind planungsbedingte Lufttemperaturreduktionen zu bilanzieren, die im Wesentlichen auf die zusätzlichen Verschattungseffekte der geplanten Bebauung zurückzuführen sind.

Bei der vorgegebenen Situation mit leichten Windbewegungen aus südlichen Richtungssektoren sind in Teilbereichen der Feudenheimer Straße gegenüber der Nullvariante um ca. 0.1 – 1.0 K höhere Lufttemperaturen zu erwarten, was auf Warmluftverschiebungen in planungsbedingt intensiver ventilierten Bereichen zurückzuführen ist. In den Kleingärten nördlich der Feudenheimer Straße sind noch planungsbedingte Lufttemperaturzunahmen von ca. 0.1 – 0.5 K zu erwarten. Derart geringe Lufttemperaturunterschiede sind allerdings kaum spürbar und daher nur von geringer klimatischer Relevanz.

Die Planungsvariante 2 führt zu nahezu vergleichbaren Lufttemperaturmodifikationen.

In den Nachtstunden weisen die Ergebnisse der Lufttemperatursimulationen darauf hin, dass bei Planungsvariante 1 die neuen Grünstrukturen im Planungsgebiet insgesamt zu einer leichten Abnahme der Lufttemperaturen führen. Allein im unmittelbaren Nahbereich der neuen Gebäude sind durch die Wärmeabstrahlung der Hauswände etwas höhere Lufttemperaturen zu bestimmen.

Eine Intensivierung bzw. eine Ausdehnung des örtlichen Wärmeinseleffekts tritt nicht ein. Dies entspricht den klimaökologischen Zielvorstellungen an die Planung (siehe Kap. 5.2).

Bei Planungsvariante 2 stellen sich mit Planungsvariante 1 vergleichbare Lufttemperaturverteilungen ein. Allein im Bereich des Baufeldes 3 ist die thermische Situation bei Planungsvariante 1 als etwas günstiger einzustufen, da im nordwestlichen Teilbereich eine zusätzliche baumüberstellte Platzstruktur angeordnet ist und damit die Breite der östlich anschließenden Freiraumachse vergrößert.

In den Baufeldern 1 und 2 wirkt sich die unterschiedliche bauliche Gestaltung nur in sehr geringem Maße auf das Lufttemperaturfeld aus.

Die numerischen Modellrechnungen zum Bioklima zeigen, dass durch die Schaffung neuer Grünräume und die zusätzlichen gebäudebedingten Schattenwürfe die bioklimatische Belastung im Planungsgebiet gegenüber der Nullvariante abnimmt. Im Bereich der geplanten Grünflächen westlich des Baufeldes 1 und zwischen den Baufeldern 2 und 3 sowie 3 und 4 werden neue bioklimatische Gunsträume geschaffen, die u.a. den Beschäftigten im Sondergebiet in Arbeitspausen auch an heißen Sommertagen Aufenthaltsqualitäten bieten.

Im Vergleich zur Planungsvariante 2 ist bei Planungsvariante 1 die sommerliche Aufenthaltsqualität im Bereich der Grünzone zwischen den Baufeldern 3 und 4 geringfügig besser, da im Baufeld 3 im Nordwesten noch eine zusätzliche baumüberstellte Freifläche möglich ist. Hierdurch wird die Belüftungsfunktion der Grünzone unterstützt.

Im Baufeld 2 schneidet ebenfalls Planungsvariante 1 etwas günstiger ab, da bei den Berechnungen davon ausgegangen wurde, dass die Gebäudeabstandsflächen begrünt sind. Bei Planungsvariante 2 wurde bei den Berechnungen von einer versiegelten Flächen ausgegangen. Legt man der Planungsvariante 2 im Baufeld 2 eine ebenfalls begrünte Gebäudeabstandsfläche zu Grunde, so sind keine bemerkenswerten Lufttemperaturunterschiede zu erwarten. Die etwas breiter gestaltete Abstandsfläche bei Planungsvariante 2 sichert allerdings bzgl. der Grünausstattung einen größeren Spielraum.

Die unterschiedliche Gebäudehöhengestaltung auf dem Baufeld 1 führt bzgl. der bioklimatischen Verhältnisse zu keinen nennenswerten Unterschieden.

Fazit: Die zur Bewertung der vorgelegten Planungsentwürfe durchgeführten Klimaanalysen lassen im Planungsumfeld keine klimaökologischen Negativeffekte erwarten, die einer Realisierung entgegenstehen. Unvermeidbare kleinklimatische Veränderungen führen zu keiner stadtklimatisch bedeutsamen Beeinträchtigung der nächtlichen Kaltluftbewegungen und der thermischen / bioklimatischen Umgebungsbedingungen.

7.2 Planungsempfehlungen

Angesichts der in Kap. 5 angeführten Prognosen zu den Klimawandelfolgen, die u.a. eine deutliche Zunahme von heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) und Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) erwarten lassen, muss es Ziel der Planung sein, die thermische / bioklimatische Ungunst des Planungsvorhabens mit ergänzenden Ausgleichsmaßnahmen noch weiter zu minimieren.

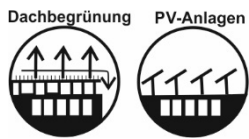
Dies wird auch von Seiten des Landes Baden-Württemberg bei der Ausweisung / Gestaltung von Gewerbe-/Sondergebieten gefordert (https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/AnpassungsstrategieBW-2023-Kurzfassung.pdf), um den Vorgaben des am 1. Juli 2024 in Kraft getretenen Bundes-Klimaanpassungsgesetz (KAnG) zu entsprechen.

Nachfolgend werden daher klimawirksame Planungsempfehlungen skizziert. Die Hinweise sind als „Werkzeuge“ und in ihrer Gesamtheit als „Werkzeugkoffer“ zu verstehen, die im weiteren Planungsprozess mit Hilfe von Festsetzungen im Bebauungsplan konkretisiert werden können.

Insgesamt bieten sich aus klimaökologischer Sicht im vorliegenden Fall fünf Handlungsfelder an:

- Bauwerksbegrünung
- Oberflächen- und Straßenraumgestaltung
- Grüne Infrastruktur
- Blaue Infrastruktur
- Strömungsdynamik / Ventilation und geplante Bebauungsstrukturen

Bauwerksbegrünung - Dachbegrünung:



Die im Planungsgebiet angedachte Bebauung soll laut Vorgaben der Stadt Mannheim zum Großteil max. Gebäudehöhen von 18 m zzgl. Technikaufbauten aufweisen. Sie werden aller Voraussicht nach in Flachdachbauweise ausgeführt werden. Aus klimaökologischer Sicht sind dabei möglichst Dachbegrünungen zu berücksichtigen. Sie dienen der Klimaanpassung. Wo umfangreiche Technikaufbauten fehlen können PV-Anlagen einen Beitrag zum Klimaschutz (CO₂-Reduktion) leisten. Sie können in Kombination mit einer extensiven Dachbegrünung realisiert werden. Ein fachgerecht begrüntes und gut gepflegtes Flachdach erhöht die Effizienz von darauf installierten Photovoltaikanlagen. Durch die niedrigeren Oberflächentemperaturen der Dachoberfläche wird die Leistung der Solarmodule erhöht.

Die kühlende Wirkung einzelner Dachbegrünungen beschränkt sich zwar auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche, es ist jedoch anzunehmen, dass eine Begrünung vieler Dächer auch einen signifikanten Effekt auf die Nachbarschaft aufweist. Zudem reduziert sie die nächtliche Auftriebsströmung über dem Dach, so dass darüber hinwegstreichende Kaltluft in geringerem Umfang aufgezehrt wird.

Dachbegrünungen leisten im Siedlungsgefüge auch einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Erhöhung der Wasserrückhaltefähigkeit nach Starkregen. Die Abflussspitzen in die Kanalisation können damit gesenkt werden. Bei Extensivbegrünung beträgt der jährliche Wasserrückhalt im Mittel ca. 60% vom Niederschlag, bei Intensivbegrünung sogar bis 85%.

Dachbegrünungen sind mit vielen weiteren Synergieeffekten verbunden. Hierzu zählen u.a. Lärminderung und die Erhöhung der Biodiversität (PFOSE ET AL. 2013) sowie Energieeinsparungen im Gebäude durch die Dämmwirkung der Begrünung.

Bauwerksbegrünung - Fassadenbegrünung:

Fassadenbegrünung



Ist eine Dachbegrünung nicht möglich kann eine Begrünung von Fassadenflächen ein zusätzlichen Beitrag zur Reduktion der örtlichen Überhitzung an heißen Sommertagen leisten. Begrünte Wände heizen sich in geringerem Maße auf, wodurch sie weniger Wärme an die Umgebung abgeben. Gleichzeitig bewirkt der Verdunstungseffekt der Vegetation eine weitere Abkühlung. Im Vergleich zu einer unbegrünten Wand können nach PFOSE ET AL. 2013 in ca. 0.6 m Abstand zur Begrünung Lufttemperaturreduktionen bis ca. 1.3 K gemessen werden. Modellrechnungen weisen auf Maximalwerte bis ca. 3.0 K hin. Gleichzeitig bewirkt der Verdunstungseffekt der Vegetation eine weitere Abkühlung.

Zusätzlich reduziert sich durch den Schattenwurf der Vegetation auf die Hauswand und die Luftschicht im Zwischenraum die Wärmeaufnahme des Gebäudes.

Somit kann durch Fassadenbegrünung sowohl der thermische Komfort in den angrenzenden Freiräumen, als auch im Gebäudeinneren verbessert werden. Auf Straßenniveau ist Fassadenbegrünung in thermischer Hinsicht sogar wirksamer als eine Dachbegrünung.

Für die Luftreinhaltung sind begrünte Fassaden ebenfalls von Vorteil. Die Vegetation filtert Feinstaub und Schadstoffe aus der Luft und verbessert dadurch die Luftqualität. Auch für die Biodiversität sind begrünte Fassaden positiv. Sie bilden Lebensräume und können durch eine gezielte Bepflanzung mit geeigneten Pflanzenarten ebenfalls eine wichtige Nahrungsquelle darstellen.

Für Fassadenbegrünungen bieten sich insbesondere nach Süden, Westen und Osten hin orientierten Wände an. Klimatisch wirkungsvoll sind vor allem Begrünungen von zusammenhängenden geschlossenen Fassadenflächen ab einer Größe von 50 m². Auflagen des Brandschutzes sind dabei zu berücksichtigen. Im Planungsentwurf ist insbesondere die Quartiersgarage für eine Fassadenbegrünung geeignet.

Beispielhafte Möglichkeiten der Fassadenbegrünung

Grundsätzlich kann bei Fassadenbegrünungen zwischen wand- und bodengebundenen Systemen unterschieden werden, wovon vier Beispiele in **Abbildung 54** dargestellt sind.

Bei der bodengebundenen Fassadenbegrünung wachsen die Pflanzen aus einer unversiegelten Fläche für den Wurzelraum auf dem Boden entlang der Fassade nach oben. Diese kann frei (1) oder unter Verwendung von Kletterhilfen (2) realisiert werden. Bei der fassadengebundenen Variante werden Substratträger an der Hauswand montiert. Diese können z. B. Pflanzenkästen (3) oder mit Erdschichten versehene Paneele sein (sog. „living walls“) (4) - SANTI ET AL. (2019).

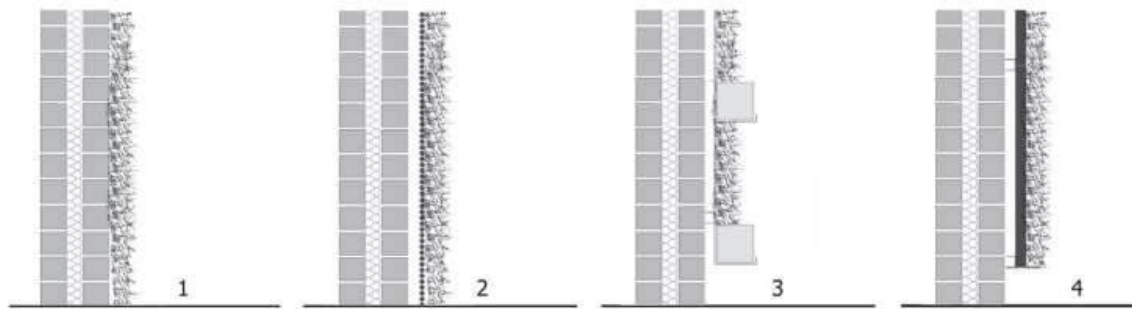
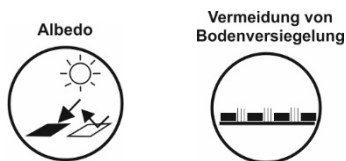


Abbildung 54: Beispielhafte Querschnittsdarstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungstypen (aus: SANTI ET AL. 2019: 115).

Oberflächen-, Straßenraumgestaltung - Berücksichtigung des Albedo-Effektes, Minimierung der Bodenversiegelung



Damit im Planungsgebiet günstige thermische / bioklimatische Umgebungsbedingungen gesichert werden, sind die befestigten Erschließungsflächen auf das nur notwendige Maß zu begrenzen.

Wie **Abbildung 55** zeigt, weisen insbesondere hellgraue Pflasterbeläge gegenüber schwarzen Asphaltflächen deutlich niedrigere Oberflächentemperaturen auf. Hierdurch wird in den Abendstunden auch die nächtliche Abkühlung forciert so dass der Wärmeinseleffekt räumlich eingengt werden kann.

Bei Parkplätzen sind Rasengittersteine/Rasenfugenpflaster zu wählen. Die Vorteile geringerer Bodenversiegelungen sind u.a.:

- die Reduktion vom Regenwasserabfluss und Wasserspeicherung im Boden,
- die erhöhte Verdunstung vom Boden,
- die geringeren Oberflächentemperaturen.

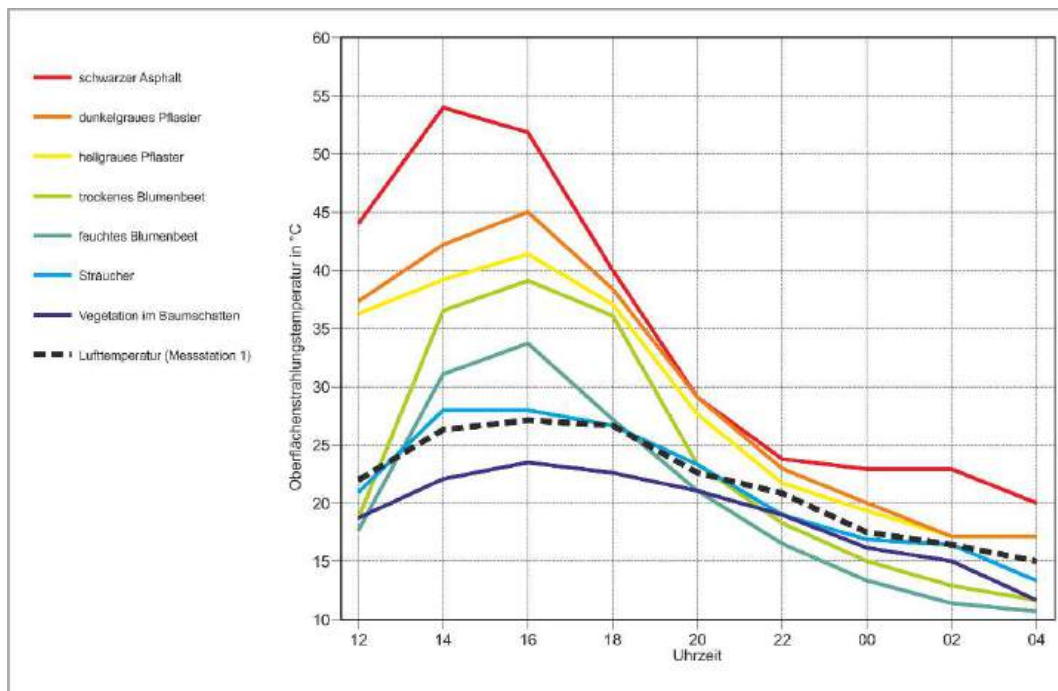


Abbildung 55: Oberflächenstrahlungstemperaturen unterschiedlicher Oberflächenbeläge am 21./22.07.2020 zwischen 12:00 Uhr und 04:00 Uhr (ÖKOPLANA 2020)

Wie bereits o.a. sollten Erschließungs- und Fußwege mit möglichst hellen Oberflächenbelägen ausgestaltet werden. Es sollte für Pflasterbeläge ein Hellbezugswert (engl. Albedo)⁴ zwischen ca. 30.0 und 60.0 gewählt werden (siehe **Abbildung 56**), um am Tag die Aufheizung des Materials zu begrenzen und in der Nacht die örtliche Abkühlung nicht zu sehr zu verzögern. Bei zu hellen Belägen kann es am Tag zu Blendeffekten und zur Steigerung der bioklimatischen Belastung durch die Reflexstrahlung kommen.

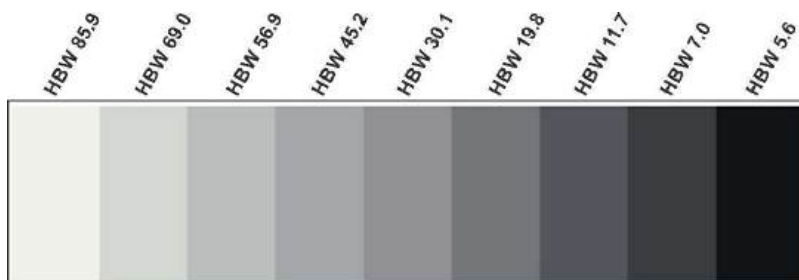


Abbildung 56: Hellbezugswerte unterschiedlicher Grautöne (aus: <https://www.brillux.de>)

⁴ Der Hellbezugswert definiert den Reflexionsgrad eines bestimmten Farbtons. Dabei ist der Reflexionsgrad des Schwarzpunktes = 0 % und der Reflexionsgrad des Weißpunktes = 100 %. Durch den Hellbezugswert wird beschrieben, wie weit der jeweilige Farbton vom Schwarzpunkt entfernt ist.

Auch durch die Wahl heller Fassadenfarben kann die bioklimatische Belastung im Nahbereich von Gebäuden wirksam herabgesetzt werden. Klimastudien zu diesem Thema lassen im Nahbereich zwischen hellen und dunklen Fassaden um bis zu 2.3°C niedriger PET-Werte (~ gefühlte Temperatur) erwarten (STADT ZÜRICH 2020), da die geringere Absorptionsfähigkeit heller Fassadenanstriche gegenüber dunklen Fassaden zu deutlich niedrigeren Oberflächentemperaturen führen. (siehe **Abbildung 57**).

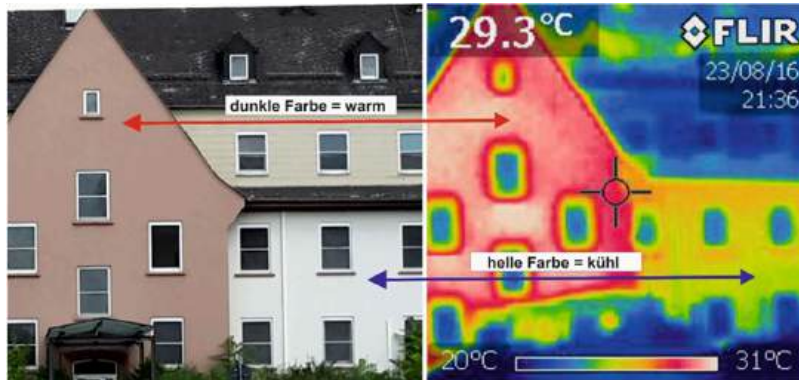
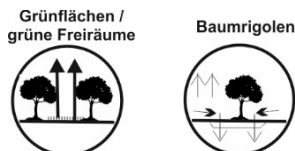


Abbildung 57: Oberflächentemperaturen unterschiedlich heller Fassaden
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Grüne Infrastruktur



Die Ergebnisse von Modellrechnungen zum Bioklima belegen, dass an heißen Sommertagen unter Bäumen die gefühlte Temperatur (PET) um über 10 K niedriger ist als in unbeschatteten Bereichen mit gleicher Bodenbedeckung. Die beschatteten Flächen speichern weniger Wärme, wodurch zudem der nächtliche Wärmeinseleffekt herabgesetzt wird.

Hinzu tragen neben der Verschattung die Transpiration der Bäume selbst sowie die Evaporation der unversiegelten Flächen, auf denen sie verortet sind, zu einer Abkühlung bei.

Wie in den klimaökologisch geprüften Planungsvarianten bereits angedacht, sollten die geplanten Grün- und Platzflächen mit Laubbäumen ausgestaltet werden, um auch an heißen Sommertagen über die Schattenwürfe angenehme Aufenthaltsbedingungen zu gewährleisten.

Die kühlenden Verdunstungseffekte sind dabei stark abhängig von der **Wasser**-verfügbarkeit. Wird ein Baum in Trockenperioden bewässert, kann er mehr Wasser verdunsten und der Kühleffekt ist größer als bei einem unbewässerten Baum, dem der ausgetrocknete Boden kaum Wasser liefert. Bei der Auswahl möglichst großkroniger Laubbäume ist daher auf ihre Trockentoleranz und Hitzeresistenz zu achten. Durch den Einsatz von Baumrigolen kann der Wasserhaushalt eines Baumes optimiert werden. In der Rigole kann Niederschlagswasser temporär zurückgehalten und gespeichert werden, so dass es zu einem späteren Zeitpunkt zur Bewässerung des Baumes eingesetzt werden kann. Vor allem in den ersten Jahren nach der Pflanzung müssen Jungbäume bei anhaltender Trockenheit regelmäßig bewässert werden.

Die Anlage von Retentionsbereichen (Versickerungsmulden) wäre ebenfalls vorteilhaft. Sie tragen zur Vermeidung von Überschwemmungen bei Starkniederschlagsereignissen bei. Zudem ist eine Speicherung von Wasser für trockenere Perioden möglich.

Blaue Infrastruktur (Wasserflächen / Fontänen)

Wasserfläche /
Fontäne



Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung der thermischen Umgebungsbedingungen an heißen Sommertagen bieten Wasserflächen in Form von Wasserspielen, Brunnenanlagen oder kleinen Teichen mit bewegtem Wasser / Fontänen (**Abbildung 58**).

Diese bieten sich bspw. im Bereich von gebietsinternen Aufenthaltsflächen (z.B. Pausenflächen für Arbeitende) an. Sie verringern die thermische Belastung an heißen Sommertagen im unmittelbaren Nahbereich durch Verdunstungskälte (vor allem beim Einsatz von kleinen Fontänen) und steigern damit die Qualität von Aufenthaltsbereichen. In Kombination mit schattenwerfenden Bäumen sind lokale Lufttemperatursenkungen von ca. 0.2 – 1.5 °C möglich.



Abbildung 58: Beispielhaftes Wasserbecken, Brunnen mit kleinen Fontänen (Foto: ÖKOPLANA, STADT LANDSCHAFT PLUS LANDSCHAFTSARCHITEKTEN GMBH)

Strömungsdynamik / Ventilation und geplante Bebauungsstrukturen:



Bebauungsinterne Ventilationsachsen dienen im Allgemeinen dazu, an heißen Sommertagen örtliche Wärmestaus zu unterbinden und ggf. Luftschadstoffakkumulationen zu vermeiden. Kaltluftbewegungsbahnen sollen im vorliegenden Fall Flurwinden aus benachbarten klimaökologischen Ausgleichsräumen eine Durchdringung der Bebauung zu ermöglichen, um den örtlichen Wärmeinseleffekt zu minimieren. Die gewählte Breite der angedachten Grünzonen sind bereits ausreichend, um noch Raum für grünordnerische Maßnahmen in Form von Bäumen, zu finden, ohne die Durchlüftungsfunktion zu beeinträchtigen.

Die bauliche Ausformung der Gebäude auf den einzelnen Baufelder kann vom Vorentwurf abweichen, sollte jedoch möglichst eine zusätzliche N-S-Durchströmbarkeit sichern.

Fazit:

Die zur klimaökologischen Bewertung des potenziellen „MMT-5 Campus“ durchgeführten Klimaanalysen lassen in der Gesamtbilanz keine klimaökologischen Negativeffekte erwarten, die einer Realisierung grundsätzlich entgegenstehen. Unvermeidbare strömungsdynamische Veränderungen führen zu keiner zusätzlichen Beeinträchtigungen der Kaltluftbewegungen zwischen dem Grünzug Nordost und dem Luisenpark / Neckar. Eine thermische / bioklimatische Zusatzbelastung ist in der Gesamtbilanz ebenfalls nicht festzustellen. Mit den o.a. Planungsempfehlungen lassen sich die zu bilanzierenden kleinräumigen thermischen Zusatzbelastungen noch weiter minimieren.



.....
gez. Achim Burst (Dipl.-Geogr.)
ÖKOPLANA

Mannheim, 12 September 2025

Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften

- BAUMÜLLER, N. (2018):** Stadt im Klimawandel. Klimaanpassung in der Stadtplanung. Grundlagen, Maßnahmen und Instrumente. Städtebau-Institut der Univ. Stuttgart.
- BIMBAU, BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN UND STÄDTEBAU (1979):** Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe 06.032. Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (2013):** KLAMIS. Modellgestützte Klimaanalysen und –bewertungen für die Regionalplanung. Grundlagen für einen Leitfaden. Berlin.
- BODEN T.A., MARLAND G., ANDRES R.J. (2017):** Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- CUBASCH U ETAL. (2013):** Introduction. In: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2017):** Planungsempfehlungen für die (stadt-)klimawandelgerechte Entwicklung von Konversionsflächen – Modellvorhaben Heidelberg. Reihe KLIMOPASS-Berichte. Hrsg.: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2021):** Stadtklimaanalyse Mannheim 2020. Hannover, Mannheim.
- GERICS (2021):** Klimaausblick – Mannheim und angrenzende Landkreise. Hamburg.
- GROSS, G. (1992):** Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. Fluid Dynamics Research (10): 483-498.
- GROSS, G. (1993):** Numerical Simulation of Canopy Flows. Springer Verlag, Heidelberg.
- GROSS, G. (2017):** Some effects of water bodies on the environment – numerical experiments, Journal of Heat Island Institute International Vol. 12-2

- IÖR (2011):** REGKLAM Ergebnisbericht. Regionales Klimaanpassungsprojekt Modellregion Dresden. Stadtstrukturabhängige Ausweisung sensibler Siedlungsräume bei thermischen Belastungen als Grundlage für die künftige Stadtentwicklung. Dresden.
- KING, E. (1973):** Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten (Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 130, Band 17).
- MOSS R. H., EDMONDS J. A., HIBBARD K. A., MANNING M. R., ROSE S. K., VAN VUUREN D. P., CARTER T. R., EMORI S., KAI-NUMA M., KRAM T., MEEHL G. A., MITCHELL J. F. B., NAKICENOVIC N., RIAHI K., SMITH S. J., STOUFFER R. J., THOMSON A. M., WEYANT J. P., WILBANKS T. J. (2010):** The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–756
- ÖKOPLANA (2010):** Stadtklimaanalyse Mannheim 2010. Mannheim.
- ÖKOPLANA (2017):** Klimagutachten zum aktuellen Planungsentwurf Grünzug Nordost / Spinelli-Barracks + Bundesgartenschau 2023 in Mannheim. Mannheim.
- ÖKOPLANA (2020):** Klimaexpertise zur Begrünungsmaßnahme auf dem Gelände der Stadtwerke Main AG – Hauptverwaltung Rheinallee 41. Mannheim
- PFOSE, N., JESSER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S. (2013):** Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen - Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt (307 S.).
- SANTI, G., BERTOLAZZI, A., TURRINI, U. (2019):** Vertical Turf For Green Façades: a Vertical Greenery Modular System Integrated To the Building Envelope. In: Journal of Green Building, Vol. 14 (4). DOI: 10.3992/1943-4618.14.4.111 (S. 111-132).
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2003/2024 - ENTWURF):** VDI 3787, Bl. 5. Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2020):** VDI 3787, Bl. 8. Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel. Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2022):** VDI 3787, Bl. 2. Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. Düsseldorf.