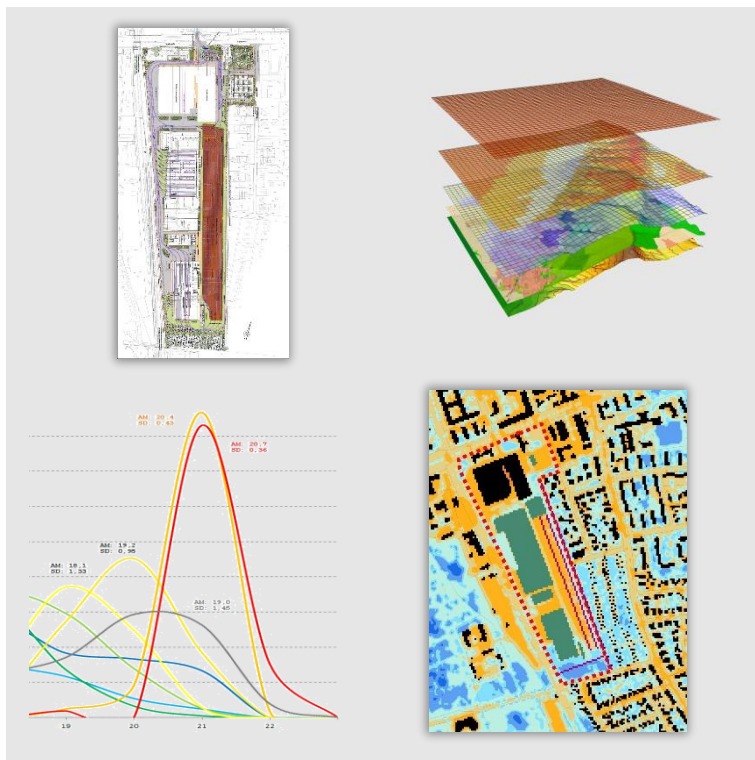


# Stadtklimatisches Gutachten zum Neubau Betriebshof Tram Ständlerstraße



**Auftraggeber:**

Stadtwerke München GmbH  
 Emmy-Noether Straße 2  
 80992 München




**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a  
 30161 Hannover  
 Tel. (0511) 3887200  
 FAX (0511) 3887201  
 www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross  
 Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),  
 Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und  
 Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

## Inhaltsverzeichnis

Seite:

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>1</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>2</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Aufgabenstellung und Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1 Untersuchungsgebiet und Vorabzug Freiflächenplan .....	6
1.2 Bewertungskarte Stadtklima der Landeshauptstadt München .....	8
<b>2. Methode.....</b>	<b>9</b>
2.1 Datengrundlage und Modellrechnung .....	9
2.2 Synoptische Rahmenbedingungen .....	9
2.3 Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom.....	10
2.4 Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels .....	11
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>19</b>
3.1 Ergebnisse Kaltlufthaushalt .....	19
3.1.1 Lufttemperatur.....	19
3.1.2 Kaltluftströmungsfeld .....	26
3.1.3 Kaltluftvolumenstrom .....	32
3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur .....	40
<b>4. Fazit .....</b>	<b>45</b>
<b>5. Planungshinweise.....</b>	<b>47</b>
<b>6. Literatur .....</b>	<b>50</b>
<b>7. Glossar .....</b>	<b>51</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage.....	5
Abb. 1.2	Übersicht über das erweiterte Umfeld des Plangebietes.....	6
Abb. 1.3	Vorabzug des Freiflächenplans (STAUTNER + SCHÄF., , Arbeitsstand 01.04.22).....	7
Abb. 1.4	Auszug aus der Bewertungskarte Stadtklima aus der Stadtklimaanalyse 2014 der Landeshauptstadt München. ....	8
Abb. 2.1	Beurteilung des Wertenniveaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet. ....	10
Abb. 2.2	Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013) .....	12
Abb. 2.3	Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in München (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021) .....	13
Abb. 2.4	Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl der Sommer- und Hitzetage in München (alle RCP- Szenarien; Quelle: DWD2021).....	14
Abb. 2.5	Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl der Tropennächte und der Länge von Hitzeperioden in München (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD2021) .....	15
Abb. 2.7	Zeitlicher Verlauf der jährlichen Mittelwerte der Bodenfeuchte in München im Zeitraum 1991 bis 2021. ....	17
Abb. 2.6	Zeitlicher Verlauf der saisonalen Mittelwerte der Bodenfeuchte in München (abgebildet über die nutzbare Feldkapazität).....	17
Abb. 2.8	Zeitlicher Trend der monatlichen klimatischen Wasserbilanz in München (RCP 8.5).....	18
Abb. 3.1	Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Istzustand (2 m über Grund in °C).....	23
Abb. 3.2	Nächtliches Temperaturfeld im Planszenario zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m über Grund in °C). ....	24
Abb. 3.3	Abweichung des nächtlichen Temperaturfeldes zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario. ....	25
Abb. 3.4	Prinzipskizze Flurwind .....	26
Abb. 3.5	Bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Istzustand.....	29
Abb. 3.6	Bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Istzustand.....	30
Abb. 3.7	Abweichung des bodennahen Kaltluftströmungsfeldes zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario. ....	31
Abb. 3.8	Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom .....	32
Abb. 3.9	Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Istzustand. ....	34
Abb. 3.10	Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Planzustand. ....	35
Abb. 3.11	Abweichung des Kaltluftvolumenstroms betrachtet auf Blockebene zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario.....	36
Abb. 3.12	Absolute Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Istzustand. ....	37
Abb. 3.13	Absolute Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Planzustand.....	38

---

Abb. 3.14 Absolute Abweichung des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario. ....	39
Abb. 3.15 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr nachmittags in der Ausgangssituation. ....	42
Abb. 3.16 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr nachmittags im Planszenario. ....	43
Abb. 3.17 Abweichung der Physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario. ....	44
Abb. 5.1 Planungshinweise zum derzeitigen Planstand. ....	49

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.1:</b> Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden .....	40
---	----



## 1. Aufgabenstellung und Einleitung

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

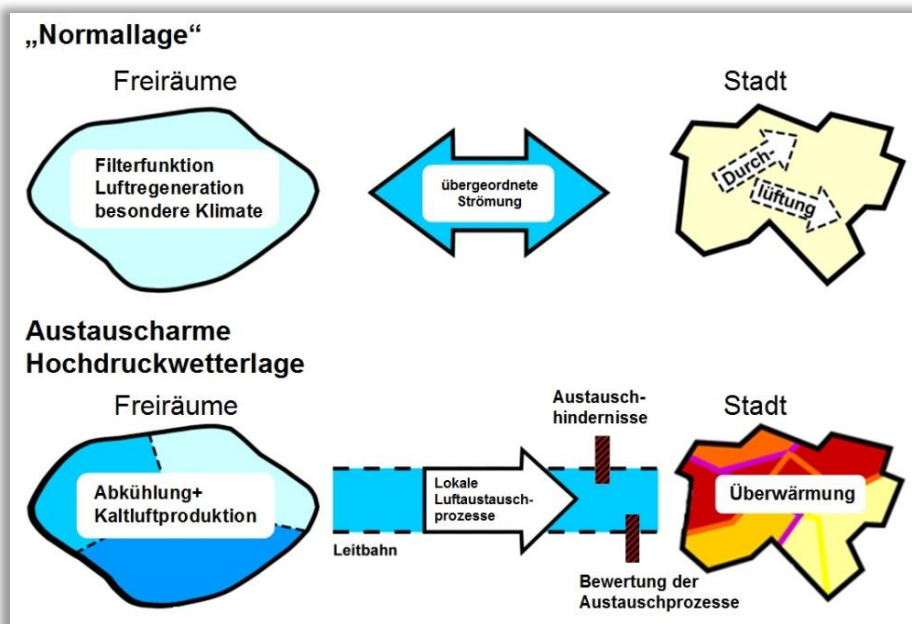
Mit dem *Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden* im Jahr 2011 sind die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in der Bauleitplanung gestärkt (Novellierung des Baugesetzbuchs (BauGB)) und nun ausdrücklich zu einer Aufgabe der Bauleitplanung nach § 1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

Im Auftrag der Stadtwerke München GmbH, wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der im Rahmen des *Neubaus Betriebshof Tram Ständlerstraße* vorgesehenen Flächennutzungsänderungen durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das nähere Umfeld des geplanten Bauvorhabens:

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

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltluftaushaltes innerhalb des Plangebietes sowie dessen Auswirkungen auf die Umgebung gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen

Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar. Die Austauschströmung wird in dieser untersuchten Wettersituation von Temperaturunterschieden zwischen den verschiedenen Nutzungen (Gegensatz der Freiflächen zur überwärmten Siedlung) im Untersuchungsgebiet angetrieben. Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Diese Strömungen werden als Flur- und Strukturwinde bezeichnet. (Abb. 1.1). Auch die regionalen Kaltluftströmungen, die im Rahmen der landesweiten Schutzgutkarte Klima/Luft identifiziert wurden, werden bei der Analyse modelltechnisch berücksichtigt (LFU 2021).



**Abb. 1.1** Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Die beschriebene Wetterlage wird wegen der belastenden Wirkung auf die Gesundheit des Menschen unter besonderer Beachtung von Älteren, Kranken und Kindern zur Beurteilung der bioklimatischen Situation gemäß VDI-RL 3785 Blatt 1 herangezogen. Die Nachtsituation ist dahingehend von Relevanz, da nur dann unter den windschwachen Bedingungen eine im Vergleich zu Siedlungsflächen intensivere Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation erfolgt. Dabei entstehen je nach Größe unterschiedliche Mengen an Kaltluft, welche als lokale Strömungssysteme Kalt-/Frischluft für den Siedlungsbereich liefern und dort die Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeperioden abmildern können. Dargestellt wird eine windschwache, austauscharme sommerliche Wettersituation für die Monate Juli / August. Im Rahmen der Bewertungskarte Stadtklima aus der Stadtklimaanalyse 2014 der Landeshauptstadt München (GEO-NET 2014) ist der überplante Bereich in vier unterschiedliche Blockflächen aufgeteilt, die trotz der gewerblichen Nutzung größtenteils einer günstigen bioklimatischen Situation unterliegen und zudem eine Grün- und Freifläche sehr hoher bioklimatischer Bedeutung beinhalten (s. Kapitel 1.2).

## 1.1 Untersuchungsgebiet und Vorabzug Freiflächenplan

Der Geltungsbereich des Planvorhabens umfasst ein ca. 13,5 ha großes Areal innerhalb des Stadtbezirks Ramersdorf-Perlach im südöstlichen Stadtrandgebiet der Landeshauptstadt München. Das Plangebiet wird im nördlichen Teil derzeit gewerblich als Tram-Betriebshof genutzt, während der südliche Abschnitt über einen erhöhten Grünanteil samt Sportanlage der Stadtwerke München verfügt. Östlich an das Plangebiet grenzt entlang der Traunreuter Str. unmittelbar ein Wohngebiet sowie südlich der Kopischstraße eine Kleingartenkolonie. Südlich des Plangebietes grenzt die Lauensteinstraße, über die hinaus locker bebaute Siedlungsbe- reiche mit einem hohen Grünanteil folgen. Nördlich des Planvorhabens verläuft die Ständlerstraße, an die weiter nördlich Blockflächen gewerblicher Nutzung grenzen. Direkt westlich an das Plangebiet angrenzend verläuft eine Bahntrasse sowie gewerblich genutzte Blockflächen. Im erweiterten Umfeld des Plangebietes befinden sich vor allem im Südwesten und -osten größere Grün- bzw. Freiflächen in Form von Friedhöfen, Kleingärten und landwirtschaftlich genutzten Flächen. Innerhalb des modellierten Untersuchungsgebietes fällt das Relief von ca. 550 m ü. NN m im Südwesten auf ca. 535 m ü. NN im Nordosten in einer Distanz von 3,5 km um etwa 0,4 % ab. Mit kleinräumigen Abweichungen ist im gesamten Untersuchungsgebiet ein ver- gleichbares leichtes Gefälle von Südwest nach Nordost vorhanden (**Abb. 1.2**).



**Abb. 1.2** Übersicht über das erweiterte Umfeld des Plangebietes.

Die baulichen Änderungen durch den Neubau Betriebshof Tram Ständlerstraße zeigt **Abb. 1.3**. Dabei soll im Norden der Großteil der Bestands-Montagehalle sowie des MVG-Museums erhalten bleiben. Östlich des MVG-Museums sollen zwei Bestandsgebäude durch einen kleineren Neubau sowie einen Schotterparkplatz ersetzt werden. Die südlich der Bestands-Montagehalle gelegenen Gebäudekörper sollen durch größere Neubauten für die Werkstatt/Instandhaltung, Werkstatt/Logistik, Kantine/Umkleiden/Verwaltung, Werkstatt/Durchlaufwartung und für das Gleichrichterwerk ersetzt werden. Die neuen Gebäudekörper erreichen eine Höhe zwischen 5,5 m und ca. 16 m und verfügen allesamt über Dachbegrünung. Die Oberflächengestaltung der Außenanlagen ist größtenteils versiegelt bzw. teilversiegelt. Östlich der neuen Gebäudekörper sind darüber hinaus Abstellgleise auf Schotter geplant, die von einer zentral verlaufenden sowie einer östlich an- grenzenden Lärmschutzwand mit einer nach Norden ansteigenden Höhe von 3 m auf 7 m begleitet werden und in einer Überdachung im nördlichen Bereich der Abstellgleise enden. Im Süden des Plangebietes, auf



dem die Sportanlage überplant wurde, ist eine kleinere Grünfläche geplant, die durch eine 7 m hohe Lärmschutzwand vom Betriebshof getrennt wird. Der Übergangsbereich zwischen dem erhalten gebliebenen Abnahmegleis im Osten des Plangebietes und der angrenzenden Wohnsiedlung bzw. Kleingartenkolonie soll im Planfall ebenfalls mit einer 2 m hohen Lärmschutzwand versehen werden.

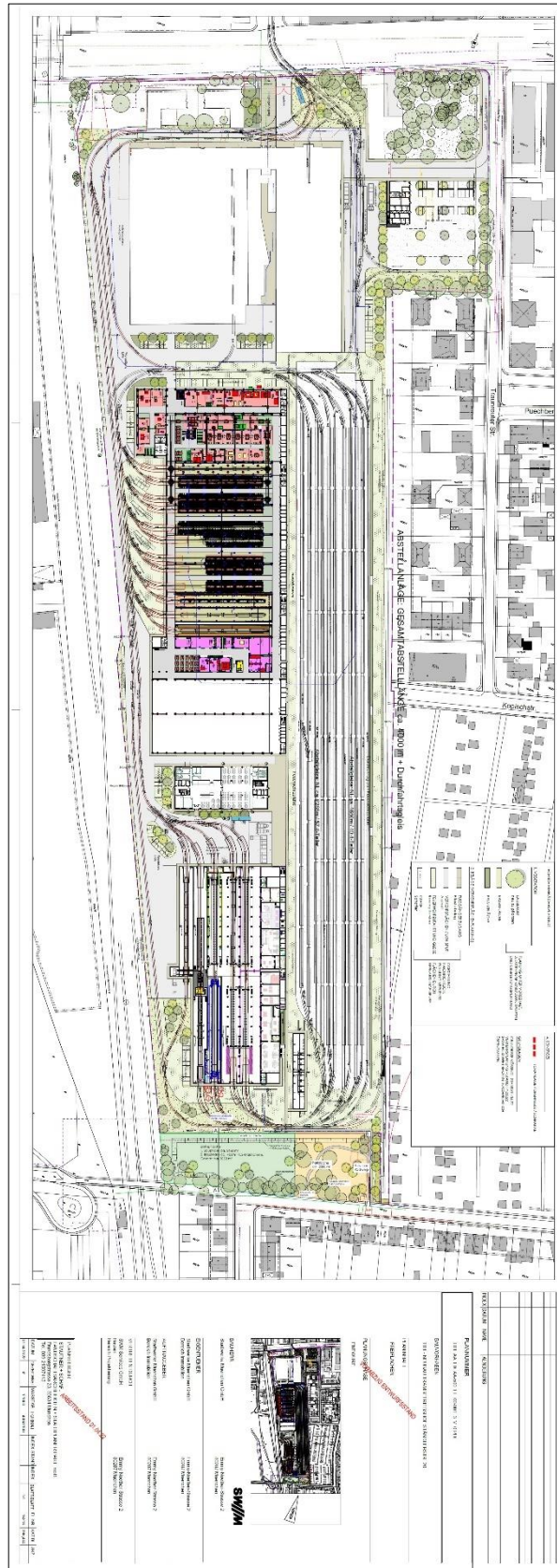
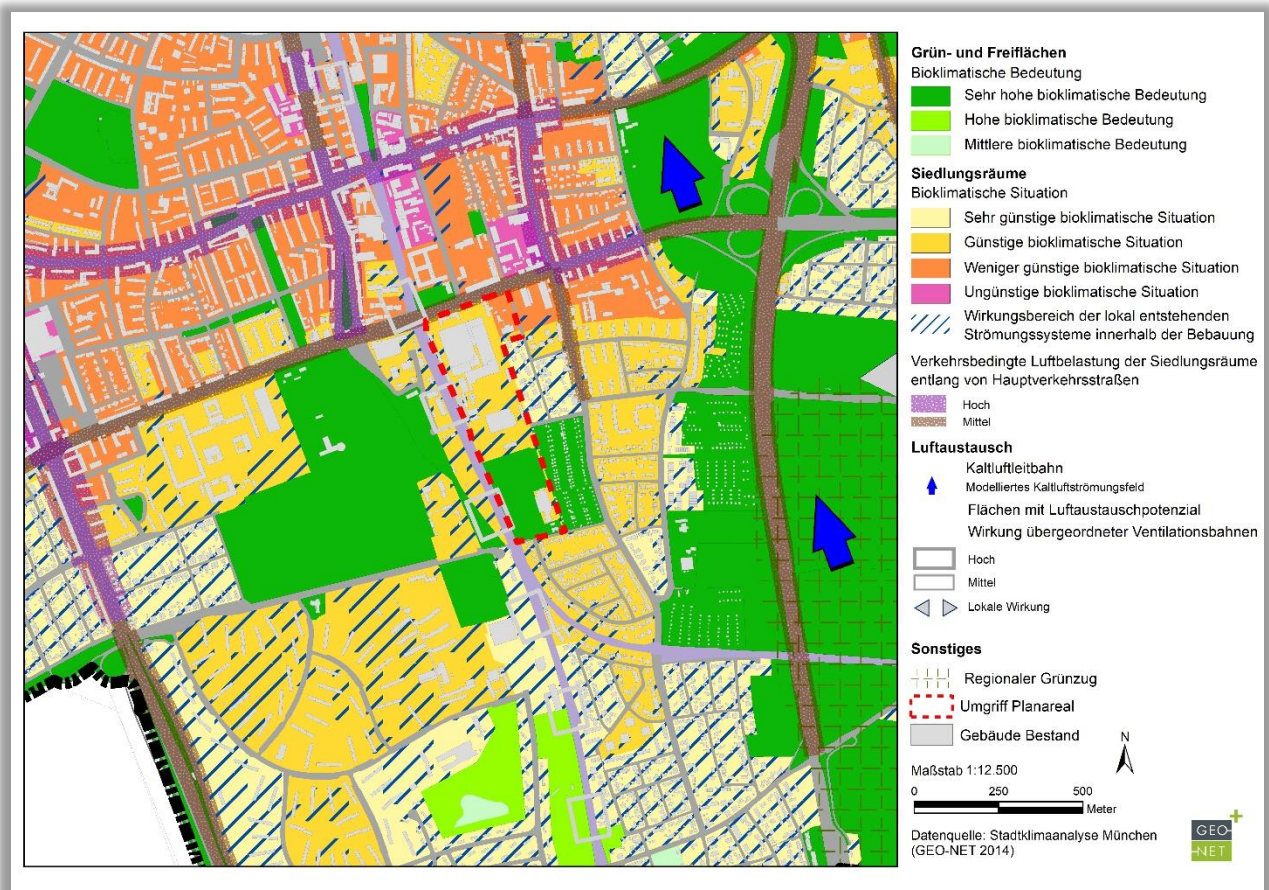


Abb. 1.3 Vorabzug des Freiflächenplans (STAUTNER + SCHÄF., Arbeitsstand 01.04.22)

## 1.2 Bewertungskarte Stadtklima der Landeshauptstadt München

Das Plangebiet wird in der Bewertungskarte Stadtklima im Rahmen der Stadtklimaanalyse 2014 (GEO-NET 2014) als Siedlungsraum mit günstiger bis weniger günstiger bioklimatischen Situation ausgewiesen (s. **Abb. 1.4**). Die derzeitige gewerbliche Nutzung, einhergehend mit einem erhöhten Versiegelungsgrad und Gebäudebestand, führt zu einer tendenziell höheren bioklimatischen Belastung. Die günstige bioklimatische Situation begründet sich deshalb vor allem auf dem hohen Anteil von Grünflächen im Umfeld des Plangebietes. Auch der südliche Bereich des Plangebietes ist zudem als Grünfläche mit sehr hoher bioklimatischer Bedeutung ausgewiesen. Dementsprechend liegt unter anderem das Plangebiet selbst im Wirkungsbereich der lokal entstehenden Strömungssysteme innerhalb der Bebauung. Aus der Bewertungskarte geht hervor, dass die an das Plangebiet unmittelbar angrenzenden Wohnbauflächen im Osten einer günstigen bis sehr günstigen bioklimatischen Situation unterliegen. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich das Untersuchungsgebiet im äußersten Stadtrandbereich im Südosten Münchens befindet, mit einem hohen Anteil von Grün- und Freiflächen. Vor allem die östlich des Plangebietes gelegenen Grün- und Freiflächen stellen in der Stadtklimaanalyse von 2014 einen Teil einer lokalen Kaltluftleitbahn dar und verfügen über ein hohes Luftaustauschpotenzial. Westlich des Plangebietes befindet sich eine übergeordnete Ventilationsbahn mittlerer Wirkung. Die östlich an das Plangebiet sowie nördlich der Ständlerstraße angrenzenden gewerblich genutzten Blockflächen verfügen über eine weniger günstige bis ungünstige bioklimatische Situation, ebenso wurde die bioklimatische Situation im erweiterten Umfeld der nördlichen bis nordöstlichen Wohnbauflächen als weniger günstig bewertet.



**Abb. 1.4 Auszug aus der Bewertungskarte Stadtklima aus der Stadtklimaanalyse 2014 der Landeshauptstadt München.**

## 2. Methode

### 2.1 Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei einem numerischen Modell wie FITNAH müssen zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird.

Die Aufbereitung der Modelleingangsdaten erfolgte auf Basis aktueller Geodaten des LDBV, die außerdem anhand eines Luftbildes visuell geprüft wurden. Der derzeitige Istzustand wurde um ein Planszenario mit umgesetzter Nutzungsänderung ergänzt. Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Dafür wurde vom Auftraggeber ein Entwurf zur Dachaufsicht (STAUTNER + SCHÄF.; Stand 17.03.2022; **Abb. 1.3**) mit der jeweiligen Gebäudehöhe zur Verfügung gestellt. Auf Grundlage dieses Entwurfs wurde den die geplanten Gebäude repräsentierenden Rasterzellen eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Klimasimulation erläutert, wobei die folgenden Abbildungen eine windschwache Sommernacht als „Worst-Case“-Situation repräsentieren.

### 2.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

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

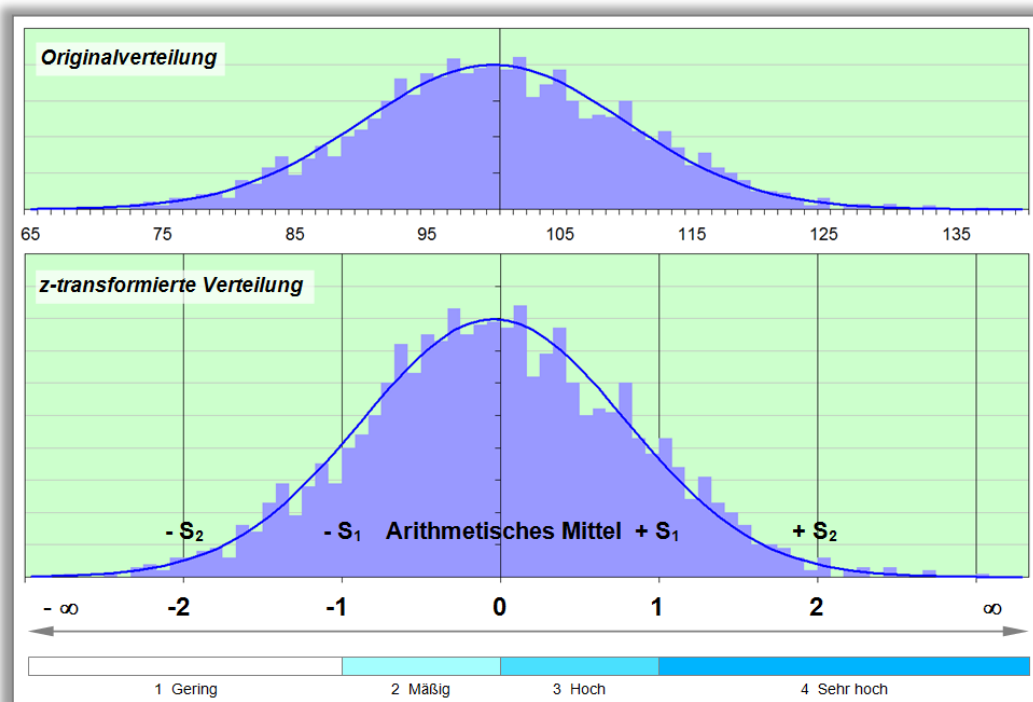
Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese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



### 2.3 Standardisierung des Parameters Kaltluftvolumenstrom

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

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, werden der Parameter Kaltluftvolumenstrom über eine z-Transformation standardisiert<sup>1</sup>. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. **Abb. 2.1**).



**Abb. 2.1** Beurteilung des Wertenniveaus des Kaltluftvolumenstroms anhand der Abweichung von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsgebiet.

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

## 2.4 Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der EURO-CORDEX-Initiative. EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC2 Assessment Reports (AR5) und darüber hinaus erstellt (Giorgi et al. 2009). EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar und werden im Internet über mehrere Knoten der Earth System Grid Federation (ESGF) bereitgestellt<sup>3</sup>. Über ein Analysetool lassen sich die Daten für den Großraum München auswerten (GEO-NET 2021, Datengrundlage: EURO CORDEX (<https://www.euro-cordex.net>))

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind Klimamodelle Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik und der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes Modellensemble.

Diesem Ansatz folgend, wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung im Großraum München ein Modellensemble bestehend aus 39 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen, die mit jeweils unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben werden. Da EURO-CORDEX ein fortlaufendes Projekt ist und die Datenbanken mit den Modellergebnissen permanent aktualisiert werden, können bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen sein, die in der Auswertung nicht enthalten sind.

Die Mitglieder des Ensembles werden als gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke et al. 2016).

### Räumliche und Zeitliche Auflösung

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 projizierte Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag und einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11 °) verwendet. Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Identifikation und Auswahl des dem Stadtmittelpunkt von München am nächsten gelegenen Gitterpunktes sowie der acht umliegenden Gitterpunkte. Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (1 Tag) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2020).

### RCP-Szenarien

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen zukünftig entwickeln, werden

---

<sup>2</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (“Weltklimarat”; IPCC 2014)

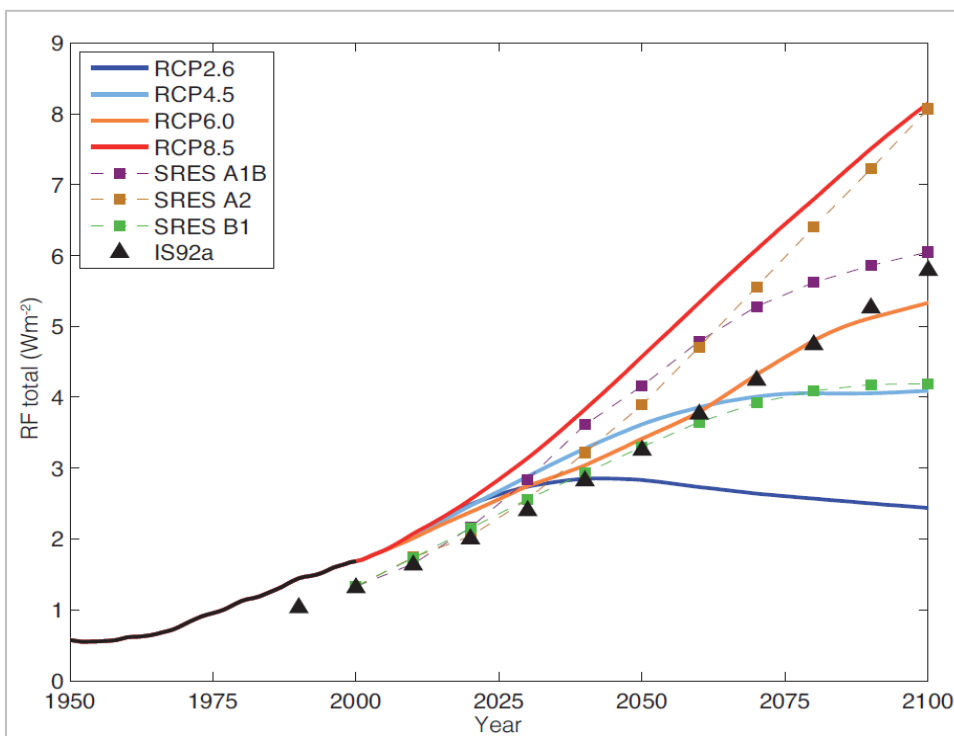
<sup>3</sup> Homepage: [www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net)



diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = Representative Concentration Pathways), die seit dem fünften IPCC-Bericht die SRES-Szenarien abgelöst haben (Special Report on Emissions Scenarios). Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m<sup>2</sup>, der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; **Abb. 2.2**):

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m<sup>2</sup>. Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m<sup>2</sup> ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 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. 4,8 °C gegenüber dem Zeitraum 1985 – 2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher-Szenario“ bezeichnet.

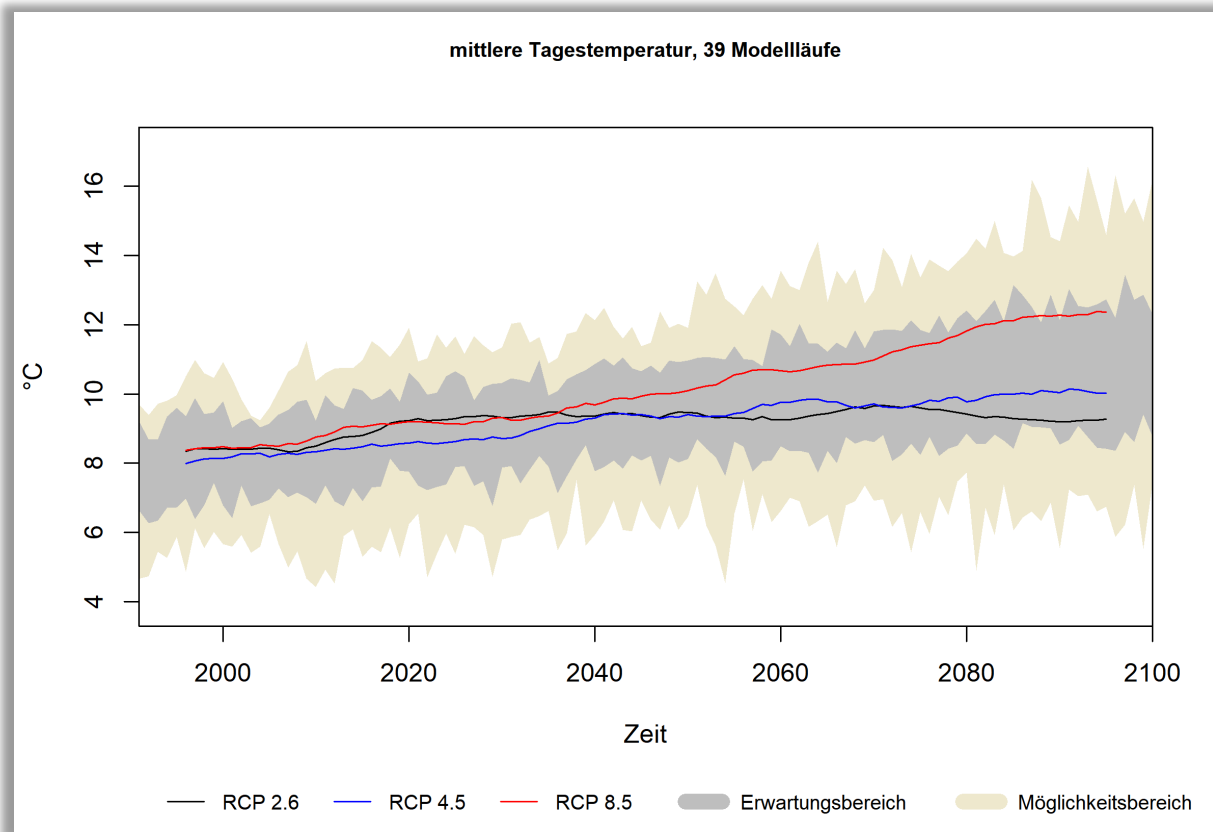
Die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. Aktuell befinden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (Boden 2017, Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen.



**Abb. 2.2 Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)**

## Jahresmitteltemperatur

Vor allem die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 projizieren ein deutliches Ansteigen der Jahresmitteltemperatur in München bis zum Jahr 2100. Dies gilt nicht nur für den in **Abb. 2.3** gezeigten Median des Modellensembles, vielmehr weisen sämtliche Modellkombinationen des Ensembles einen Anstieg der jährlichen Mitteltemperaturen auf, sodass der Trend als äußerst robust einzuschätzen ist.



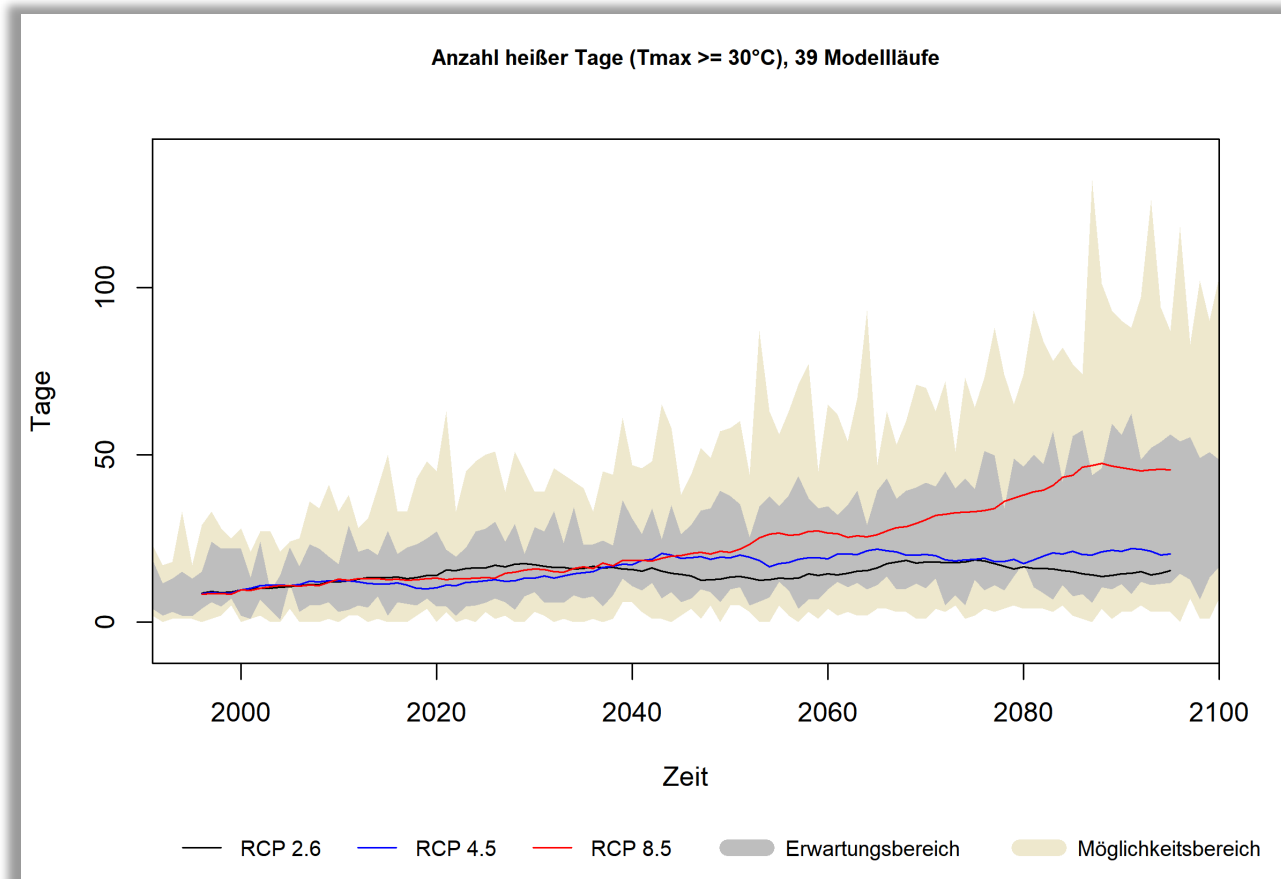
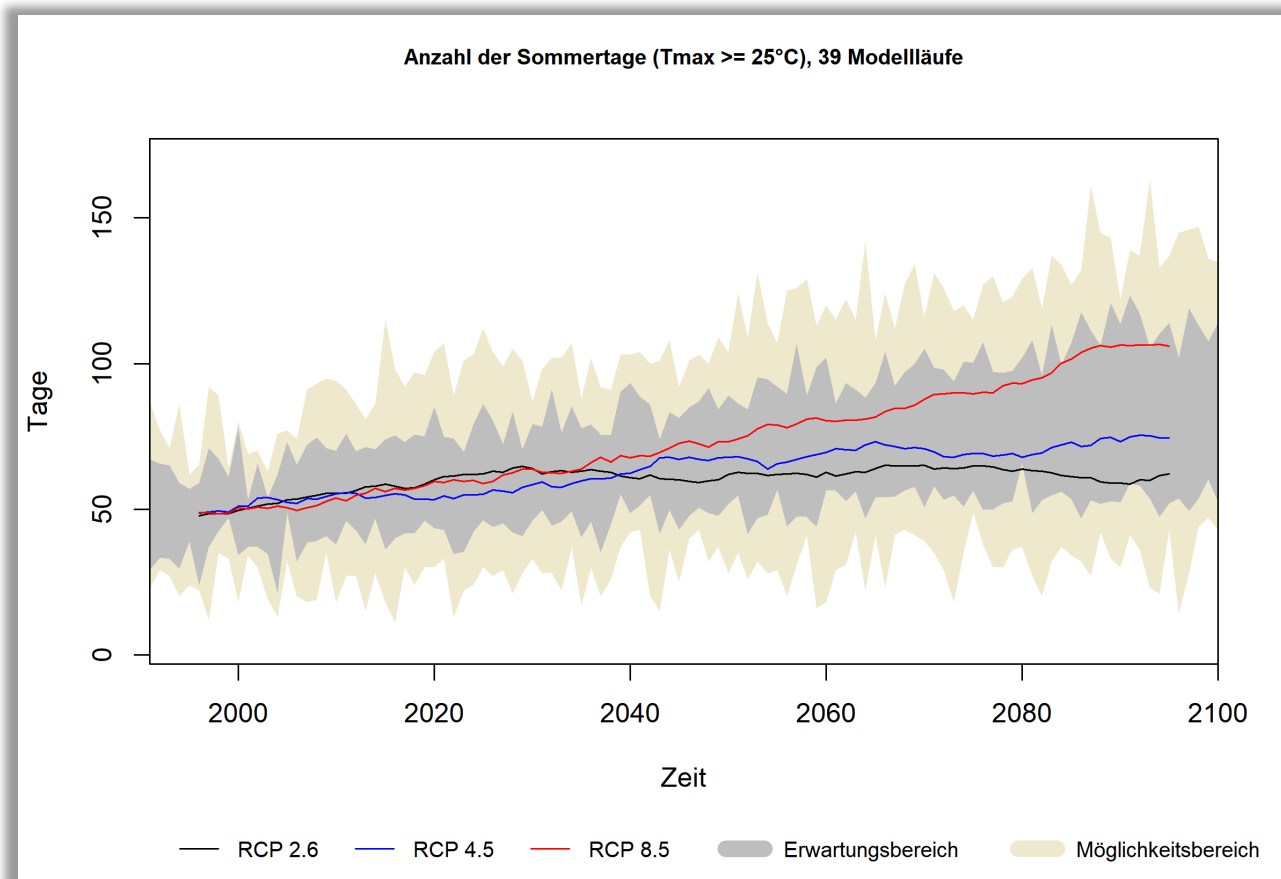
**Abb. 2.3 Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in München (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)**

Der Temperaturanstieg fällt im RCP-Szenario 8.5 am stärksten aus. Dabei tritt in allen drei Zukunftsperioden eine deutliche Zunahme auf, wobei die stärksten Zunahmen am Ende des Jahrhunderts zu verzeichnen sind. Im RCP-Szenario 2.6 wird ein moderater Temperaturanstieg und ungefähr ab Mitte des Jahrhunderts eine Stagnation erwartet, da sich dann die positiven Auswirkungen der im RCP 2.6 angenommenen globalen Klimaschutzmaßnahmen bemerkbar machen.

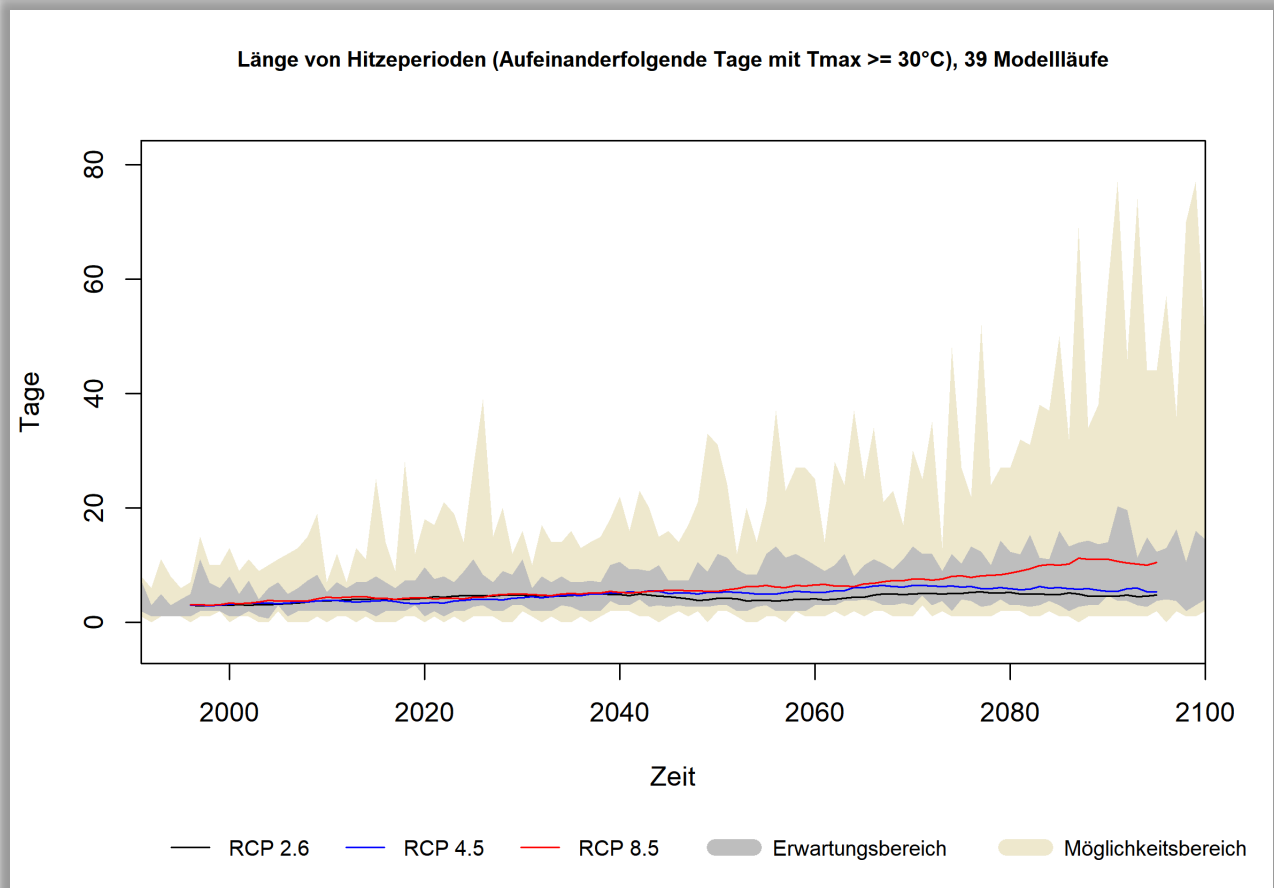
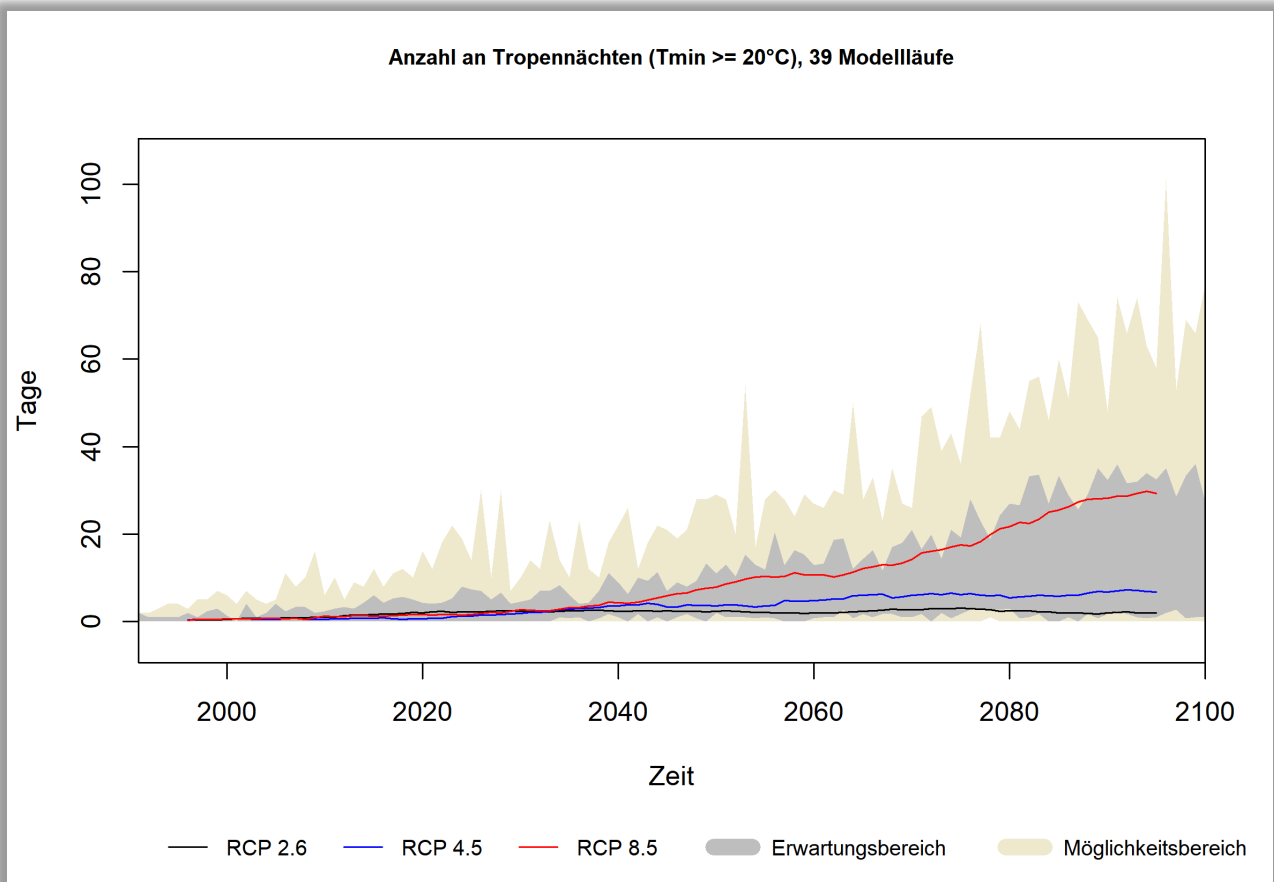
Zum Ende des Jahrhunderts nimmt die Unsicherheit und damit auch Variabilität der erwarteten Temperaturänderung zu, was durch den Möglichkeitsbereich abgebildet wird (kleinster bis größter Wert in den Modellergebnissen). Der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Modellensembles. Ferner sei darauf hingewiesen, dass der in **Abb. 2.3** abgebildete, bereits vergangene Zeitraum ab 1971 durch Modelldaten und nicht durch Beobachtungsdaten repräsentiert wird

## Entwicklung meteorologische Kenntage

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage erfolgt anhand von Schwellenwerten wie bspw.  $T_{\max} \geq 25$  °C für Sommertage erfolgen. Die **Abb. 2.4** und **Abb. 2.5** zeigen die Entwicklung von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten bzw. Hitzeperioden.



**Abb. 2.4 Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl der Sommer- und Hitzetage in München (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD2021)**



**Abb. 2.5** Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl der Tropennächte und der Länge von Hitzeperioden in München (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD2021)

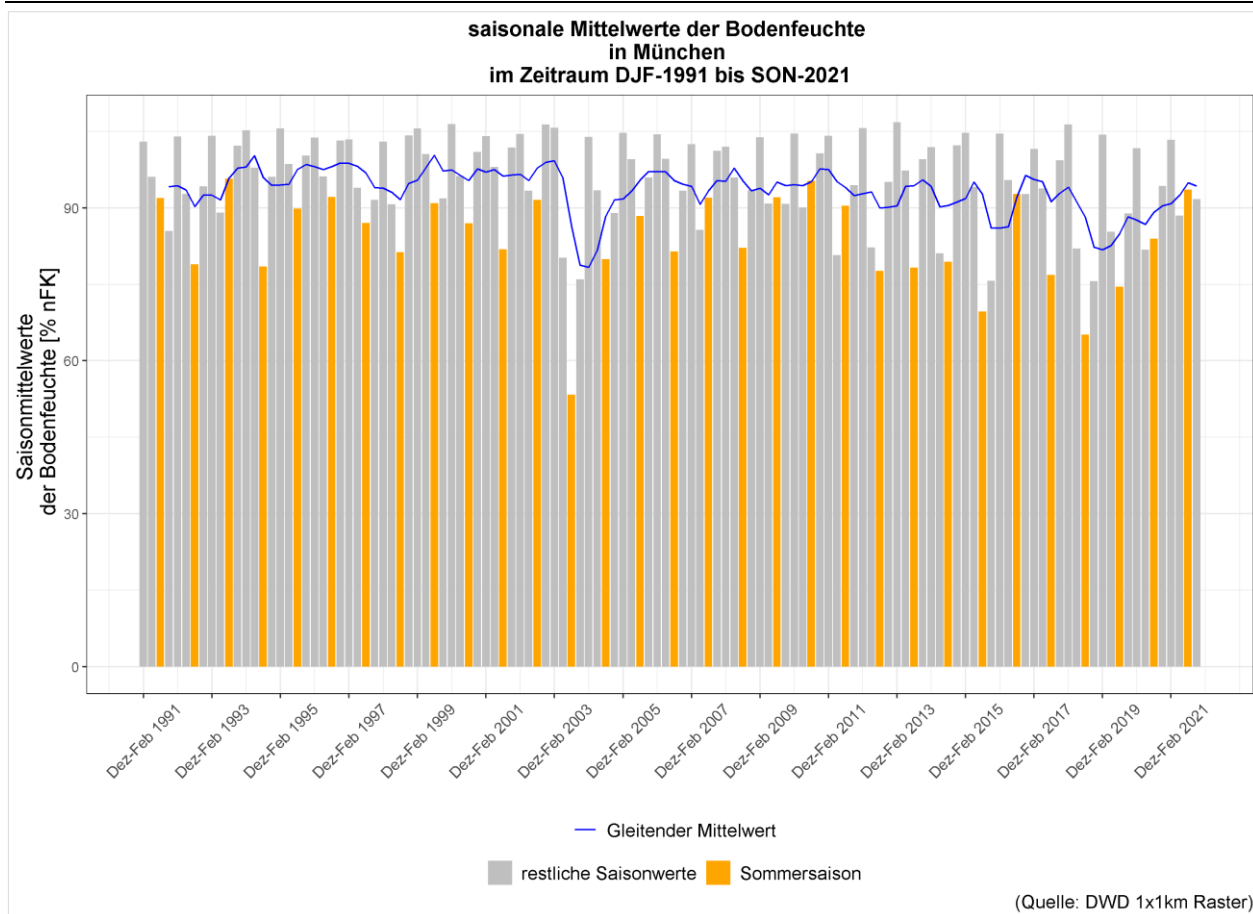
### **Bodenfeuchte**

Betrachtet man den Trend der saisonalen Bodenfeuchte der letzten drei Dekaden (**Abb. 2.6**), zeigen sich jährliche Schwankungen, doch liegen die Werte insgesamt und auch in den Sommermonaten auf einem hohen Niveau. Einzelne Jahre wie 2003 oder 2018 treten als trockene Sommer hervor, in den Folgejahren hat die Bodenfeuchte jedoch wieder zugenommen. **Abb. 2.7** stellt die jährlichen Mittelwerte für die Referenzperiode von 1991 bis 2021 dar. Hier bestätigt sich der Eindruck, dass die Bodenfeuchte über das Jahr betrachtet auf einem hohen Niveau liegt, jedoch innerhalb der letzten 30 Jahre ein abnehmender Trend zu beobachten ist.

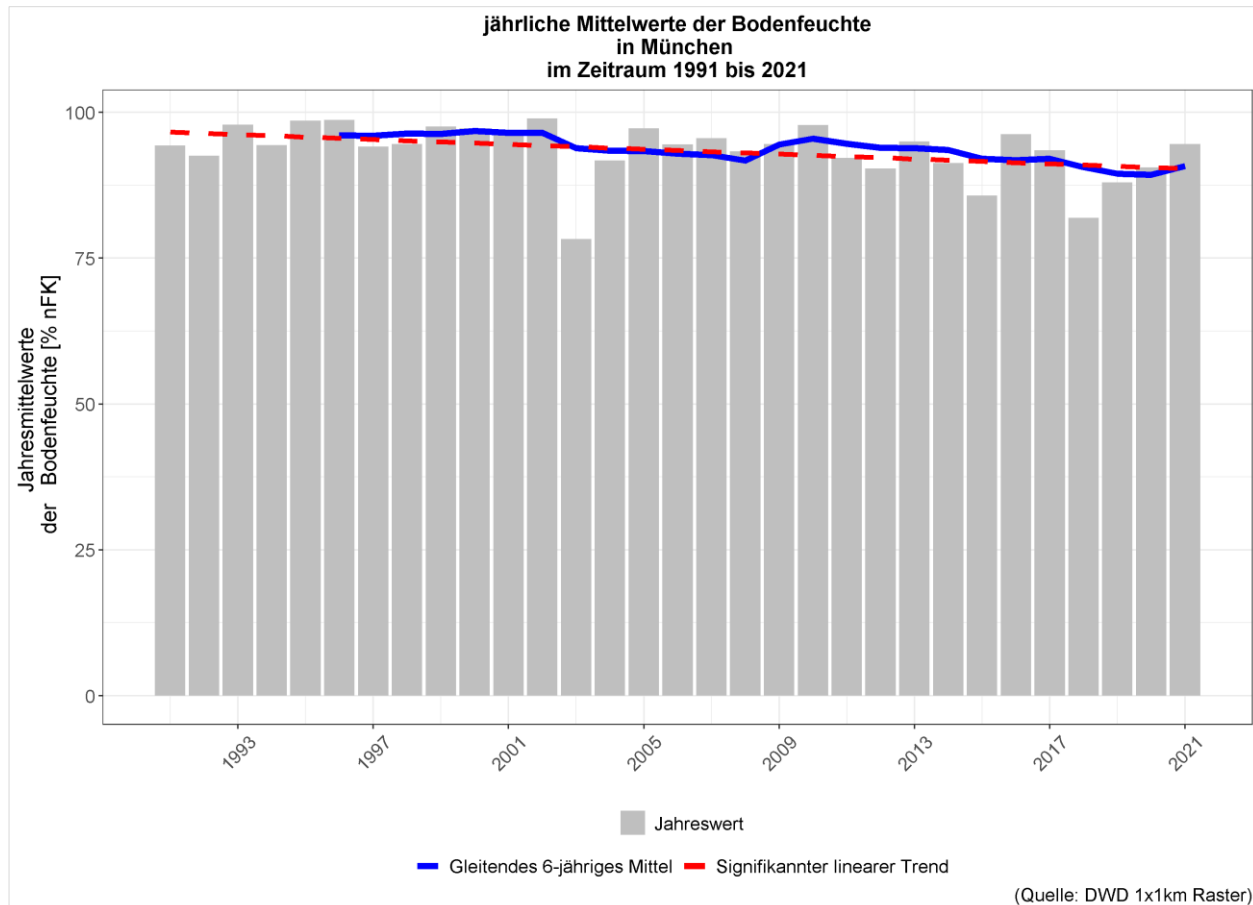
### **Klimatische Wasserbilanz**

Die klimatische Wasserbilanz beschreibt die Differenz von Niederschlag und Verdunstung und liefert darüber hinaus einen Hinweis auf die Wasserverfügbarkeit in einer Region. Ausgehend von einem möglichen worst case Szenario (RCP Szenario 8.5) zeigt sich für den Raum München, dass es zu einer saisonalen Änderung der derzeitigen Verhältnisse kommt (**Abb. 2.8**). Der Einfluss häufiger werdender Hitzeperioden im Sommer sowie die saisonale Verschiebung von Niederschlagsereignissen haben zur Folge, dass die klimatische Wasserbilanz bereits mittelfristig für die Sommermonate bis einschließlich September negativ ausfällt und die Wahrscheinlichkeit für eine geringere Wasserverfügbarkeit bzw. Bodenfeuchte steigt. Langfristig wird sich dieser Effekt noch weiter verstärken.

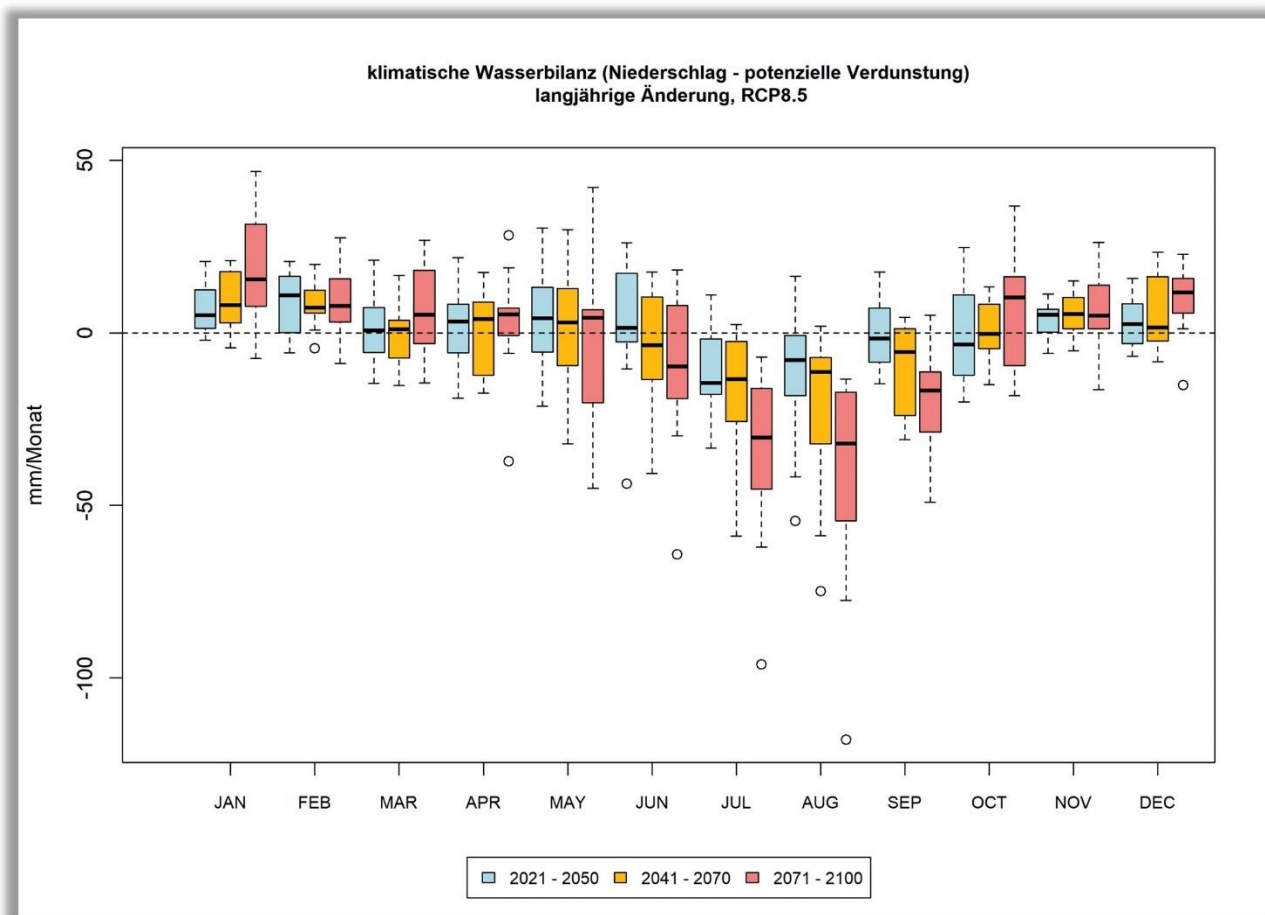
Insgesamt verdeutlichen die Projektionen, dass sich der bereits heute beobachtete Trend einer Erwärmung in München zukünftig fortsetzt. So werden weiterhin steigende Jahresmitteltemperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung bedingt eine Zunahme an Sommertagen, Heißen Tagen und Tropennächten. Zudem gibt es Hinweise, dass auch die Länge von Hitzeperioden zunimmt. Die Bodenfeuchte in München war in den letzten Dekaden selbst in den Sommermonaten auf einem hohen, wenn auch zuletzt abnehmenden Niveau. Die prognostizierte Veränderung der monatlichen klimatischen Wasserbilanz kann vor allem langfristig dazu führen, dass in den Sommermonaten das Risiko für Trockenstress ansteigt. Für den Bodenwasserhaushalt (und auch die Grundwasserneubildung) spielen neben der klimatischen Wasserbilanz weitere Faktoren eine Rolle, sodass aus diesen Daten kein Trend ableitbar ist. Der Umgang mit diesen Entwicklungen ist als große Herausforderung für eine nachhaltige Stadtentwicklung anzusehen.



**Abb. 2.6** Zeitlicher Verlauf der saisonalen Mittelwerte der Bodenfeuchte in München (abgebildet über die nutzbare Feldkapazität).



**Abb. 2.7** Zeitlicher Verlauf der jährlichen Mittelwerte der Bodenfeuchte in München im Zeitraum 1991 bis 2021.



**Abb. 2.8 Zeitlicher Trend der monatlichen klimatischen Wasserbilanz in München (RCP 8.5)**

### 3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom erläutert. Die Ergebnisse werden für den Istzustand als Basisszenario sowie den Planvarianten für die zweite Nachthälfte (Kaltfluthaushalt um 4 Uhr morgens) dargestellt. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. un bebauten Flächen. Der 4 Uhr MEZ Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben. Die sommerliche Wärmebelastung während der Tagesstunden wird über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) dargestellt und in einem eigenen **Kapitel 3.2** beschrieben. In Abgrenzung zur Lufttemperatur handelt es sich hierbei um die tatsächlich empfundene Temperatur. Ihre Ausprägung wird vor allem über die Intensität der Sonneneinstrahlung bestimmt.

#### 3.1 Ergebnisse Kaltfluthaushalt

##### 3.1.1 Lufttemperatur

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

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



Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüneprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf.

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

Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald-, Gehölz- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete haben eine klimatische Ausgleichsfunktion und filtern zudem Luftschadstoffe. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts in 2 m Höhe, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage kühlere Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

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

### **Basisszenario**

Das mit dem Klimamodell FITNAH für den Istzustand simulierte Lufttemperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens umfasst unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen eine Spannweite von etwa 6,5 Kelvin (K) und erreicht dabei Werte zwischen 11,5 °C und 18,0 °C. Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei ca. 14,5°C.

Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbebauung, Verkehrsanlagen sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. **Abb. 3.1** (S. 23) zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr für den derzeitigen Istzustand als Basisszenario. Die höchsten Temperaturen von bis zu 18,0 °C treten in den stark gewerblich genutzten Bereichen auf. Dies geht mit dem überdurchschnittlichen Bauvolumen und oft hoher Oberflächenversiegelung einher, da hier die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Beton und Stein deutlich reduziert wird. Aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität wird hier die tagsüber aufgenommene Strahlungsenergie bis tief in die Nacht in Form von Wärmeenergie an die Umgebung abgeben. Dazu zählen der nördliche Teil des Plangebietes selbst sowie vor allem die westlich der Bahntrasse, östlich der Traunreuter Str. und nördlich der Ständlerstraße angrenzenden Gewerbebereiche. Auch im Verlauf der Verkehrsachsen treten erhöhte Temperaturen auf. In Kreuzungsbereichen wie beispielsweise der

Kreuzung Ständlerstraße / Balanstraße und im Umfeld der gewerblich genutzten Flächen, werden Temperaturen von bis zu 17,0 °C erreicht. Allgemein sind in den Straßenräumen hauptsächlich Werte zwischen 15 °C und 17 °C zu beobachten. Ein mit 13,0°C bis 15,0 °C niedrigeres Temperaturniveau ist dagegen in den durchgrünten Blockinnenhöfen bzw. locker bebauten Wohnbauflächen zu beobachten. Dies ist beispielsweise an dem östlich an das Plangebiet angrenzenden Wohnbereich entlang der Traunreuter Str. zu erkennen. Gebiete mit größeren Grünflächen, wie bspw. die östlich der Görzer Str. liegenden Kleingartenkolonien, der westlich liegende Friedhof am Perlacher Forst und die Grünfläche im südlichen Bereich des Plangebietes selbst, weisen darüber hinaus Temperaturen kleiner 13 °C auf. Besonders kühle Werte unter 12 °C erreichen hingegen größere Freiflächen ohne Baumbestand, wie die landwirtschaftlichen Flächen im Südosten des Plangebietes und vereinzelt auch kleinere Bereiche in stark von Vegetation geprägten Gebieten wie dem westlich angrenzenden Friedhof. Allgemein zeichnen sich diese durch einen hohen Grünanteil und geringer Bebauung geprägten Teilflächen durch die niedrigsten Werte ab, da hier eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Mit Baum bestandene Grünflächen, wie Teile des Friedhofes am Perlacher Forst sowie das Waldstück südwestlich an das Plangebiet angrenzend, südlich der Lincolnstraße, weisen gegenüber Grünflächen ohne Baumbestand ein erhöhtes Temperaturfeld mit Werten bis zu 15 °C auf.

### Planszenario

Das Temperaturfeld in 2 m Höhe für den Planzustand ist in **Abb. 3.2** dargestellt. Mit der Realisierung des Neubaus gibt es innerhalb des Plangebietes lokal differenzierte Änderungen des nächtlichen Temperaturfeldes. Durch das Entfallen einiger Gebäudekörper und lokalen (Teil-)Entsiegelungen verbunden mit einem erhöhten Vegetationsanteil, kommt es in einem Großteil des Plangebietes zu einer geringfügigen Verbesserung der Ausgangssituation in Form von reduzierten Temperaturen. Vor allem im südlichen Bereich des Plangebietes steigen die Temperaturen durch den Neubau der Gebäudekörper und vor allem der Überbauung der vorherigen Grünfläche deutlich um Werte > 2,0 °C bis 4,0 °C an. Das Wertenniveau des nahezu gesamten Plangebietes entspricht nun in etwa dem des vorherigen gewerblich genutzten nördlichen Bereichs des Betriebshofes in der Ausgangssituation (ca. 15 °C bis 17 °C), was in Bezug auf gewerblich genutzte Flächen einem durchschnittlichen Niveau entspricht. Positive Ausnahme mit einem kühleren Temperaturniveau bildet vor allem der Bereich der südlichen Grünfläche (ca. 12 °C bis 14 °C) aber auch die mit Rasengittersteinen teilversiegelten Bereiche östlich der Neubauten (ca. 15 °C bis 16 °C) aber vor allem westlich der Werkstatt / Instandhaltung (ca. 14 °C bis 15 °C). Auch die von Schotter geprägten Bereiche der geplanten Abstellgleise und die Kiesfläche des nordöstlich geplanten Parkplatzes im Bereich des neu geplanten Betriebsdienstgebäudes weisen aufgrund des hohen Anteils mineralischer Materialien ein erhöhtes Temperaturfeld gegenüber grüngerprägten Freiflächen auf (ca. 16 °C bis 17 °C).

### Differenzen und Zwischenfazit

Die Abweichungen zwischen dem Planszenario und dem Basisszenario sind in **Abb. 3.3** als Absolutwerte dargestellt. Die Beschreibung von Temperaturdifferenzen in der Wissenschaft erfolgt üblicherweise in der Einheit Kelvin (K). Im Sinne eines guten Verständnisses der Karten werden die Differenzen in °C angesprochen, welche mit Kelvin gleichgesetzt werden können.

Im Planszenario liegen diese in einer Größenordnung von -4,0 °C bis 4,0 °C. Die Zunahmen treten vor allem dort auf, wo in der Ausgangssituation unversiegelte Bereiche mit einer verhältnismäßigen erhöhten nächtlichen Abkühlung vorhanden waren. Durch Versiegelung und einen erhöhten Gebäudebestand vor allem im südlichen Bereich des Plangebietes treten hier die größten Temperaturzunahmen auf. Betrachtet man das

gesamte Plangebiet, überwiegen flächenmäßig eher die negativen Effekte der Nutzungsänderung, mit denen ein starker Temperaturanstieg im Bereich der ehemaligen Grünfläche verbunden ist. Durch (Teil-)Entsiegelungsmaßnahmen, dem Abriss vorheriger Gebäudekörper und vereinzelter Begrünungen erreicht das nächtliche Temperaturfeld auch Aufwertungen in Form reduzierter nächtlicher Temperaturen.

Großflächige negative Auswirkungen auf angrenzende Wohnbauflächen und andere empfindliche Nutzungen im Stadtgebiet sind anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht zu erwarten. Marginale, kleinräumige Erhöhungen um bis zu 0,3 °C treten jedoch im östlich angrenzenden Siedlungsbereich westlich der Traunreuter Str. auf. Diese widerfährt im südlichen Bereich der Blockfläche ebenfalls eine Reduzierung der nächtlichen Temperatur in mindestens vergleichbarer Ausprägung. Auch die westlich angrenzende Gewerbefläche erreicht im südlichen Abschnitt durch das Planvorhaben eine kleinräumige, geringfügige Erhöhung um bis zu 0,3 °C. Im östlich an das Plangebiet angrenzenden Bereich der Kleingartenkolonie kommt es im nördlichen Abschnitt zu einer großflächigeren Erhöhung des nächtlichen Temperaturfeldes, in einer ebenfalls geringen Ausprägung hauptsächlich  $\leq 0,3$  °C. Diese Temperaturzunahme lässt sich daraus ableiten, dass durch das erhöhte Temperaturniveau im westlich angrenzenden Bereich des Plangebietes ein stärkerer Kaltluftabfluss aus der vegetationsgeprägten Kleingartenkolonie Richtung Plangebiet stattfindet (siehe **Kapitel 3.1.2**). Der südliche Bereich der Kleingartenkolonie profitiert darüber hinaus durch die Entsiegelungsmaßnahmen im südlichen Bereich des Plangebietes in Form eines reduzierten nächtlichen Temperaturniveaus.

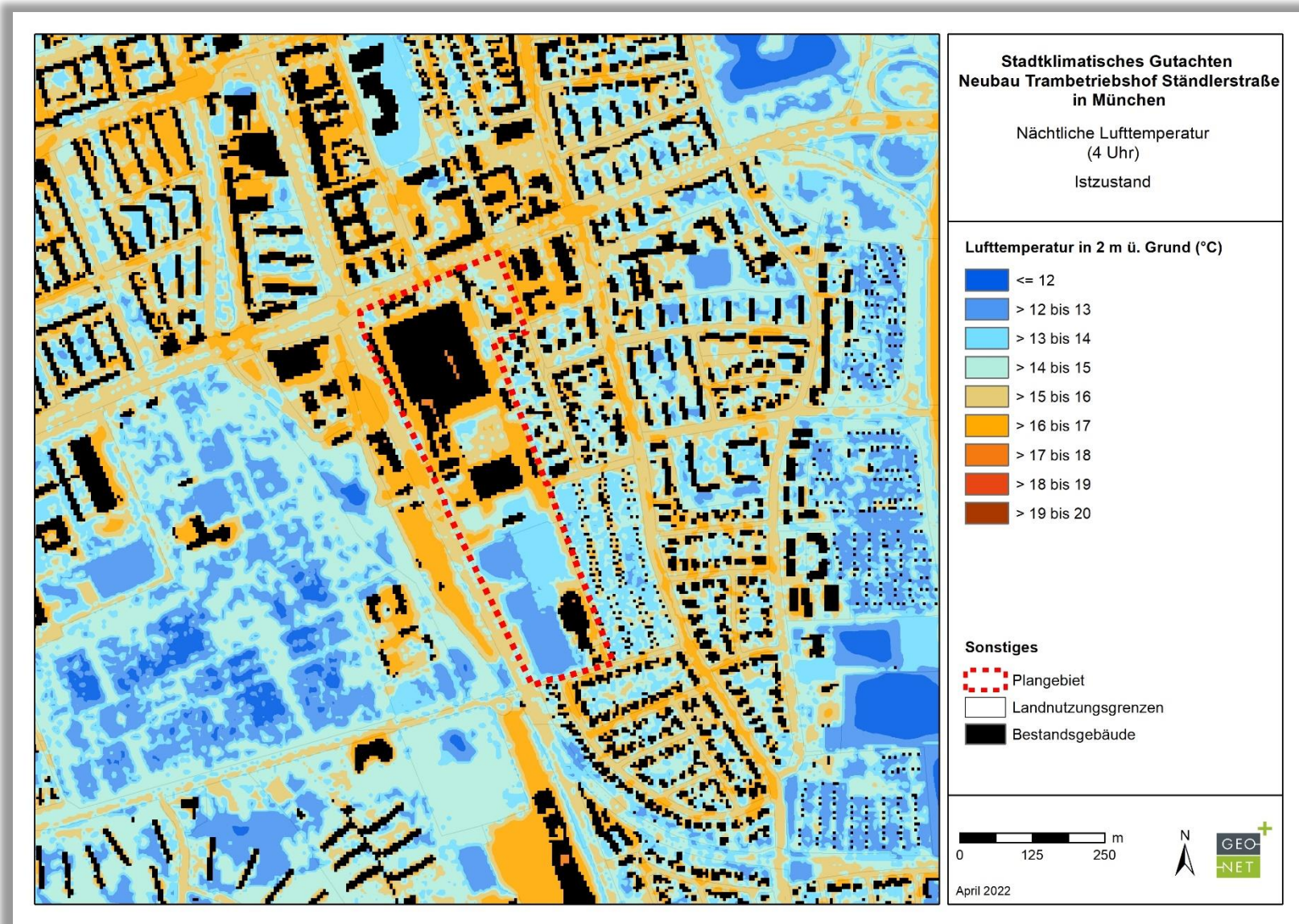


Abb. 3.1 Nächtliches Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Istzustand (2 m über Grund in °C).



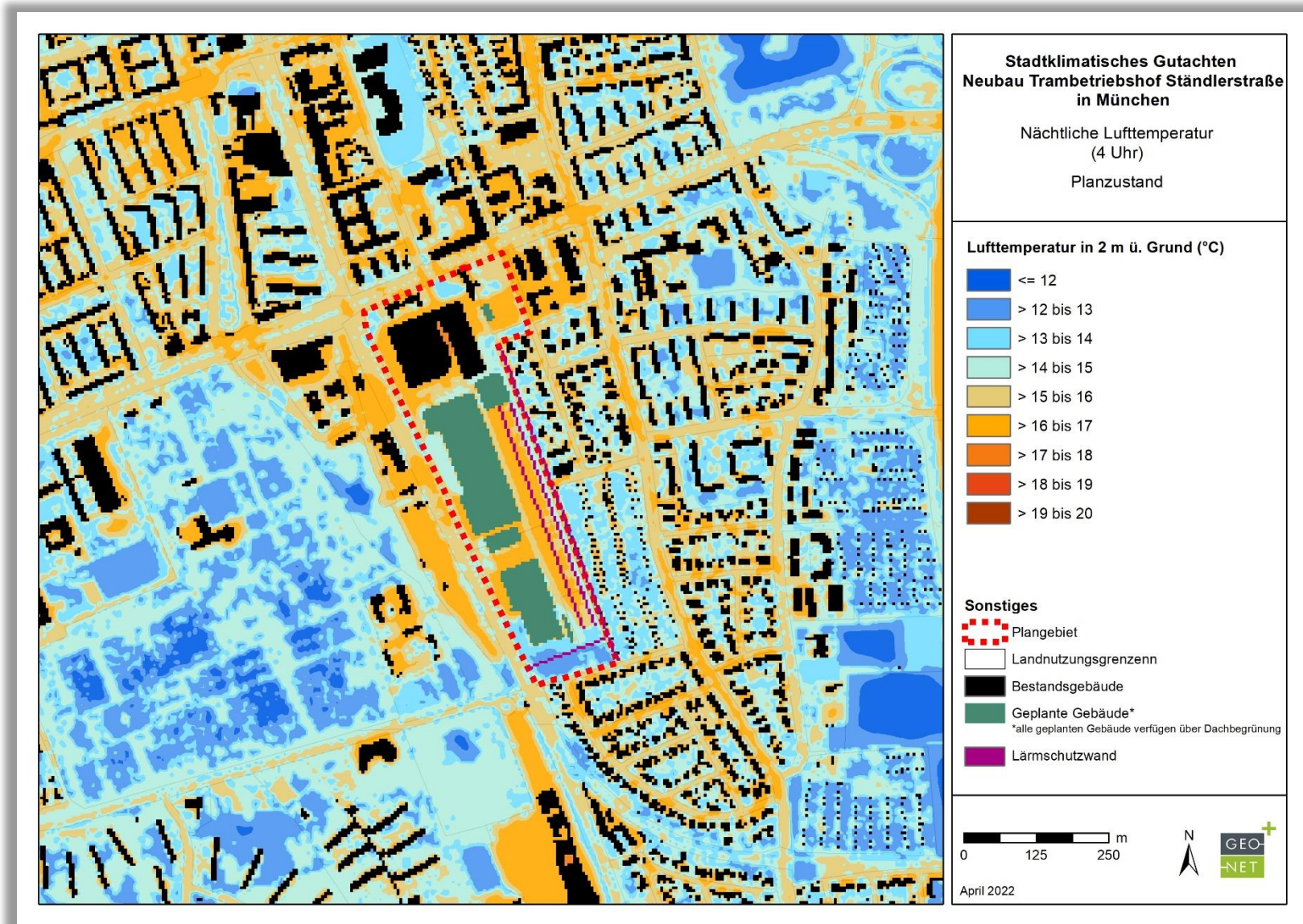


Abb. 3.2 Nächtliches Temperaturfeld im Planszenario zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m über Grund in °C).

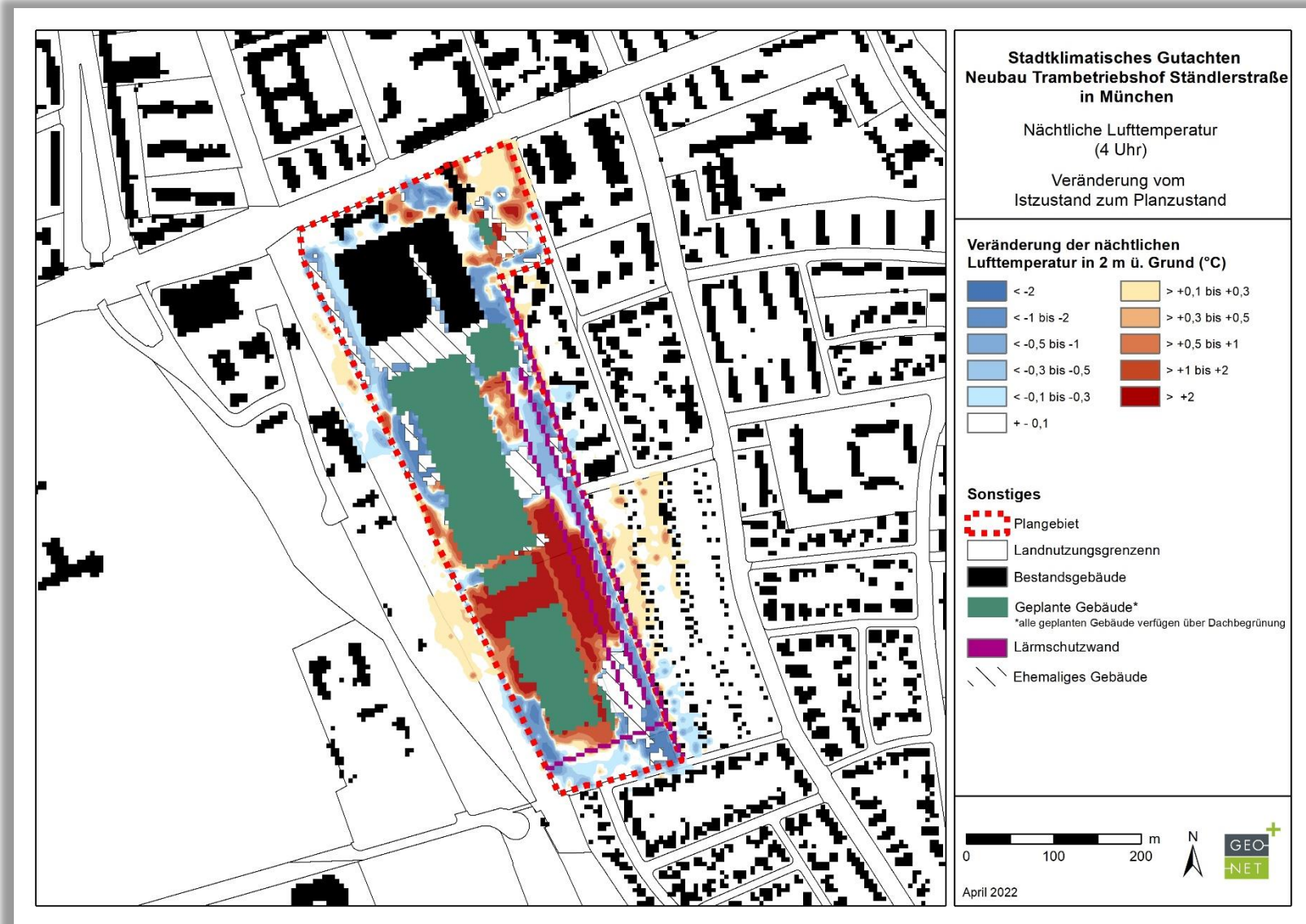


Abb. 3.3 Abweichung des nächtlichen Temperaturfeldes zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario.

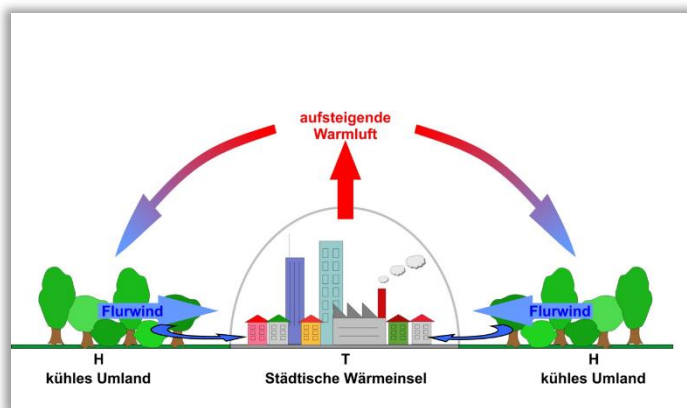


### 3.1.2 Kaltluftströmungsfeld

#### Allgemeines

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieser Prozesse sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (**Abb. 3.4**). An den geneigten Flächen setzt sich außerdem abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So können z.B. an Hängen nächtliche Kaltluftabflüsse entstehen (u.a. Mosimann et al. 1999).

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



**Abb. 3.4** Prinzipskizze Flurwind

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie dichte Baumbestände und Bauten abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die großräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon

kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden, je nach lokalen Bedingungen, im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Ergebniskarten stellen das zum nächtlichen Analysezeitpunkt 04:00 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 30 m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von  $\geq 0,1$  m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

## Basisszenario

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, inwieweit sich die Umsetzung des Bauvorhabens auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. **Abb. 3.5** zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für das Basisszenario, das sich während einer sommerlichen, windstillen Strahlungswetternacht eigenbürtig ausbildet. Die Strömungsrichtung der Kaltluft wird sowohl durch den Temperaturgradienten hin zu den wärmeren Siedlungsflächen als auch durch das Relief bestimmt. Wie in **Kapitel 1.1** beschrieben, steigt das Relief von Nordost nach Südwest mit ca. 0,4 % Gefälle leicht an.

Insgesamt ist zu beobachten, dass von der großflächigen Grünfläche des Friedhofes am Perlacher Forst, westlich des Plangebietes, eine hohe Anzahl von Kaltluftabflüssen in diverse Richtungen ausgeht. Davon profitieren vor allem die Siedlungsbereiche in nördlicher Richtung entlang der Schwannseestraße in Form einer sehr hoch ausgeprägten Kaltluftleitbahn. Besonders stark ausgeprägt ist das Windfeld auch im östlichen Bereich des Friedhofes. Hier fließen die nächtlich gebildeten Kaltluftmassen im gesamten Bereich der Grünfläche zwischen Stadelheimer Str./Ständlerstr. und der Lincolnstraße großflächig mit Windgeschwindigkeiten zwischen 0,2 m/s und 0,5 m/s Richtung Osten ab und sorgen für eine sehr gute Durchlüftungssituation der angrenzenden Gewerbebereiche. Aufgrund der strukturarmen Bebauung der westlich an das Plangebiet angrenzenden Gewerbefläche an der Herbert-Quandt-Straße, profitiert auch das Plangebiet von der guten Durchlüftungssituation ausgehend von den Grünflächen des Friedhofes am Perlacher Forst. Dabei werden vereinzelt auch hohe Ausprägungen des bodennahen Windfeldes mit bis zu 1,0 m/s westlich und vereinzelt auch innerhalb des Plangebietes erreicht. Im Gegensatz zu einer austauschstarken „mittleren“ Wettersituation, bei der der Wind Blätter und Äste in den Bäumen bewegt, sind diese Windströmungen von bis zu 1,0 m/s maximal als kühler Luftzug auf der Haut wahrnehmbar.

Darüber hinaus ist zu erkennen, dass vom Plangebiet selbst keine großflächige Kaltluftströmung ausgeht. Viel mehr wird dieses aufgrund des starken Temperaturgradienten von den umliegenden Grünflächen der Kleingartenkolonie, begrünten Innenhöfen angrenzender Siedlungsbereiche sowie vor allem von der bereits erwähnten westlichen Grünfläche des Friedhofes stark durchlüftet. Dabei dringen die Luftströmungen hauptsächlich aus westlicher bis südwestlicher Richtung bis zum Zentrum des Plangebietes ein. Besonders großflächig ausgeprägt ist der Kaltlufteintrittsbereich im offen gestalteten südlichen Bereich des Plangebietes. Einzige Ausnahme bildet die kleinräumige Grünfläche im Norden des Plangebietes im Grenzbereich Ständlerstraße/Traunreuter Str., von der in der Nacht gebildete Kaltluftmassen kleinflächig in sämtliche Richtungen abfließen und unter anderem das östlich angrenzende Gewerbegebiet belüften.

Insgesamt ist festzuhalten, dass Grünareale wie die westlich gelegenen Grünflächen bedeutsame siedlungsnahe Kaltluftentstehungsflächen darstellen, jedoch auch von den östlich des Plangebietes gelegenen mittel bis stark durchgrüneten Siedlungsbereichen klimatisch wirksame bodennahe Kaltluftströme ausgehen. Als Kaltluftentstehungsgebiet besitzt auch die Kleingartenkolonie östlich des Plangebietes eine hohe Bedeutung für den Luftaustausch der nördlich angrenzenden Siedlungsbereiche. Von dieser geht über die Kopischstraße hinaus, vor allem im Verlauf der Traunreuter Str., eine ebenfalls lokal begrenzte Durchlüftungssachse aus.

## Planszenario

Das nächtliche Strömungsfeld für das Planszenario zeigt **Abb. 3.6**. Aufgrund der baulichen Änderungen innerhalb des Plangebietes kommt es dabei zu einer lokalen Veränderung der Durchlüftungssituation, die sich mit vereinzelt Ausnahmen hauptsächlich auf das Plangebiet selbst und das direkte Umfeld beschränken. Grundsätzlich bleibt die Anströmung aus den westlichen Grünflächen weiterhin erhalten, doch wird das bo-



dennahe Strömungsfeld nun hauptsächlich von den geplanten Gebäudekörpern sowie den Lärmschutzwänden beeinflusst. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass ausgehend von der östlich angrenzenden Kleingartenkolonie Kaltluftmassen Richtung Westen in das Plangebiet hineinströmen. Wie in **Kapitel 3.1.1** erwähnt, wird dieser Kaltluftabfluss aufgrund des erhöhten Temperaturgradienten, bedingt durch den Neubau innerhalb des Plangebietes, angetrieben. Dadurch ergibt sich auch eine leichte Abschwächung der von der Kleingartenkolonie ausgehenden Kaltluftströmung entlang der Traunreuter Straße.

### Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenzenabbildung macht die Beeinflussung des Kaltluftströmungsfeldes noch besser sichtbar (**Abb. 3.7**). Orange kennzeichnet eine Abnahme der Geschwindigkeit gegenüber dem Basisszenario, die grünen Farben eine Zunahme.

Die geplante Bebauung führt zu einer örtlichen Abwandlung der bodennahen Windgeschwindigkeiten um signifikante Werte bis zu 0,2 m/s. Vor allem ausgehend vom Neubau des südlichen Gebäudekörpers kommt es zu den stärksten Reduktionen. Diese ergeben sich aus den Strömungshindernissen, die aus der Erhöhung des Gebäudeanteils gegenüber der vorherigen unbebauten Flächennutzung und den geplanten Lärmschutzwänden hervorgehen. Durch den Wegfall vorheriger Bestandsgebäude kommt es innerhalb des Plangebietes auch zu stark ausgeprägten lokalen Erhöhungen des bodennahen Windfeldes.

Neben den Auswirkungen innerhalb des Plangebietes, ist darüber hinaus auch eine Veränderung der Strömungsverhältnisse hauptsächlich im Bereich der östlich angrenzenden Kleingartenkolonie zu beobachten. Wie bereits erwähnt, kommt es durch die bauliche Änderung zu einer Veränderung des Temperaturfeldes innerhalb des südlichen Abschnitts des Plangebietes und somit auch zu einer Auswirkung auf die thermisch induzierten Windsysteme (vgl. **Abb. 3.4**). Aus diesem Grund ist in der angrenzenden Grünfläche eine Erhöhung der nächtlichen bodennahen Windgeschwindigkeit zu beobachten mit einer leicht veränderten Ausrichtung in das Zentrum des Plangebietes, da die Kaltluftmassen durch einen höheren Temperaturgradienten angetrieben bzw. beeinflusst werden. Aus der abweichenden Kaltluftströmung resultiert auch eine geringfügige Abnahme der nächtlichen bodennahen Windgeschwindigkeit in nördliche Richtung entlang der Traunreuter Straße. Auch im unmittelbaren Umfeld der Lärmschutzwand nördlich der Kopischstraße zeigt sich eine lokal begrenzte, sehr kleinräumige Abnahme der bodennahen nächtlichen Windgeschwindigkeit.

Abschließend kann festgehalten werden, dass es durch das Planvorhaben zu keiner großflächigen Beeinflussung des bodennahen Strömungsfeldes und der Strömungsgeschwindigkeit kommt, die Einfluss auf angrenzende Wohnbebauung nimmt. Einhergehend mit den Ergebnissen aus **Kapitel 3.1.1** sind keine negativen regionalen Auswirkungen innerhalb des Münchener Stadtgebietes zu erwarten. Die Auswirkungen auf den von der Kleingartenkolonie ausgehenden Kaltluftabfluss entlang der Traunreuter Str. sind aufgrund ihrer kleinräumigen und in ihrer Ausprägung nur geringen Beeinträchtigung als nicht signifikant zu bewerten. Dies zeigt sich auch im Zusammenhang mit den Ergebnissen der nächtlichen Lufttemperatur.

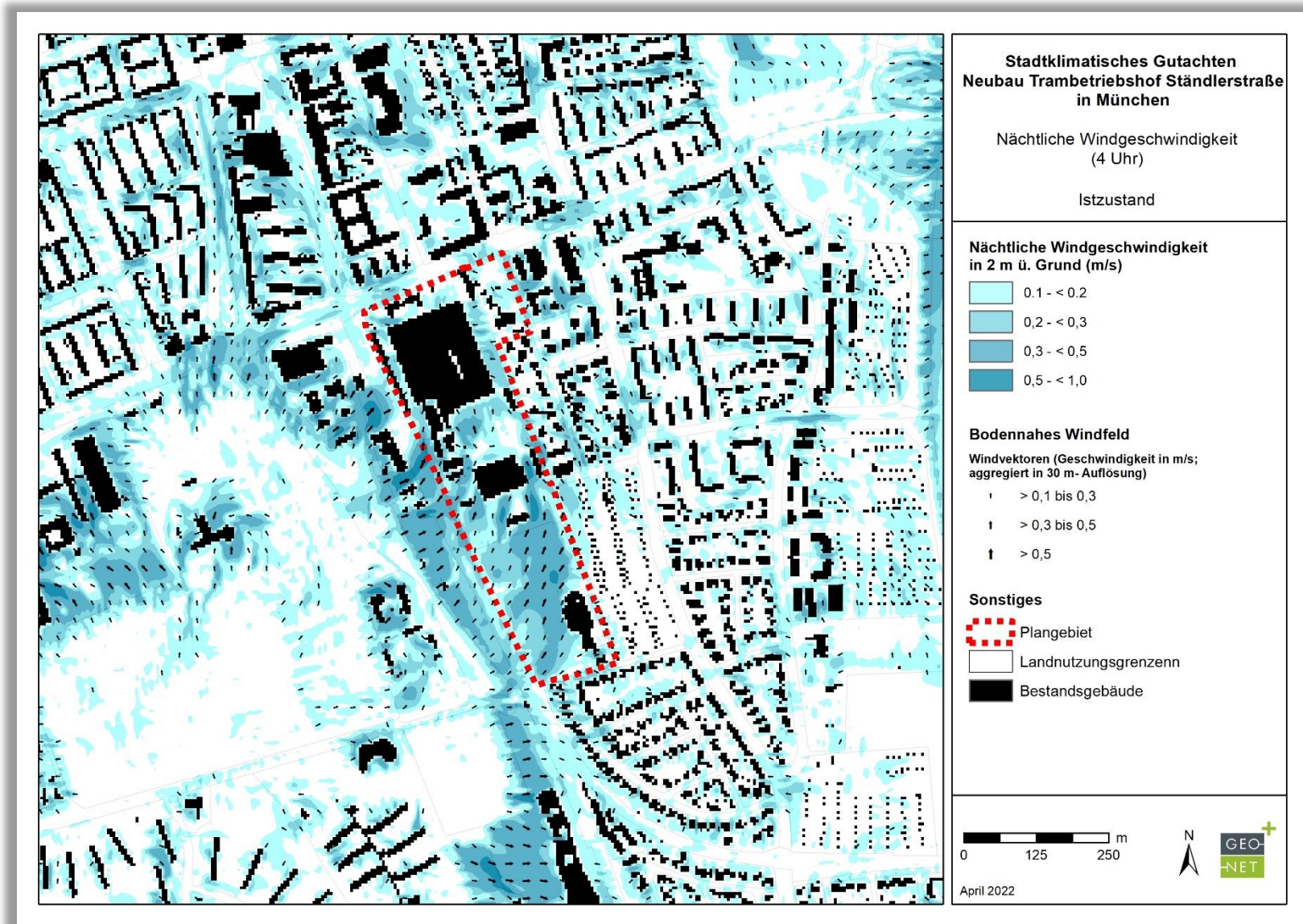


Abb. 3.5 Bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Istzustand.



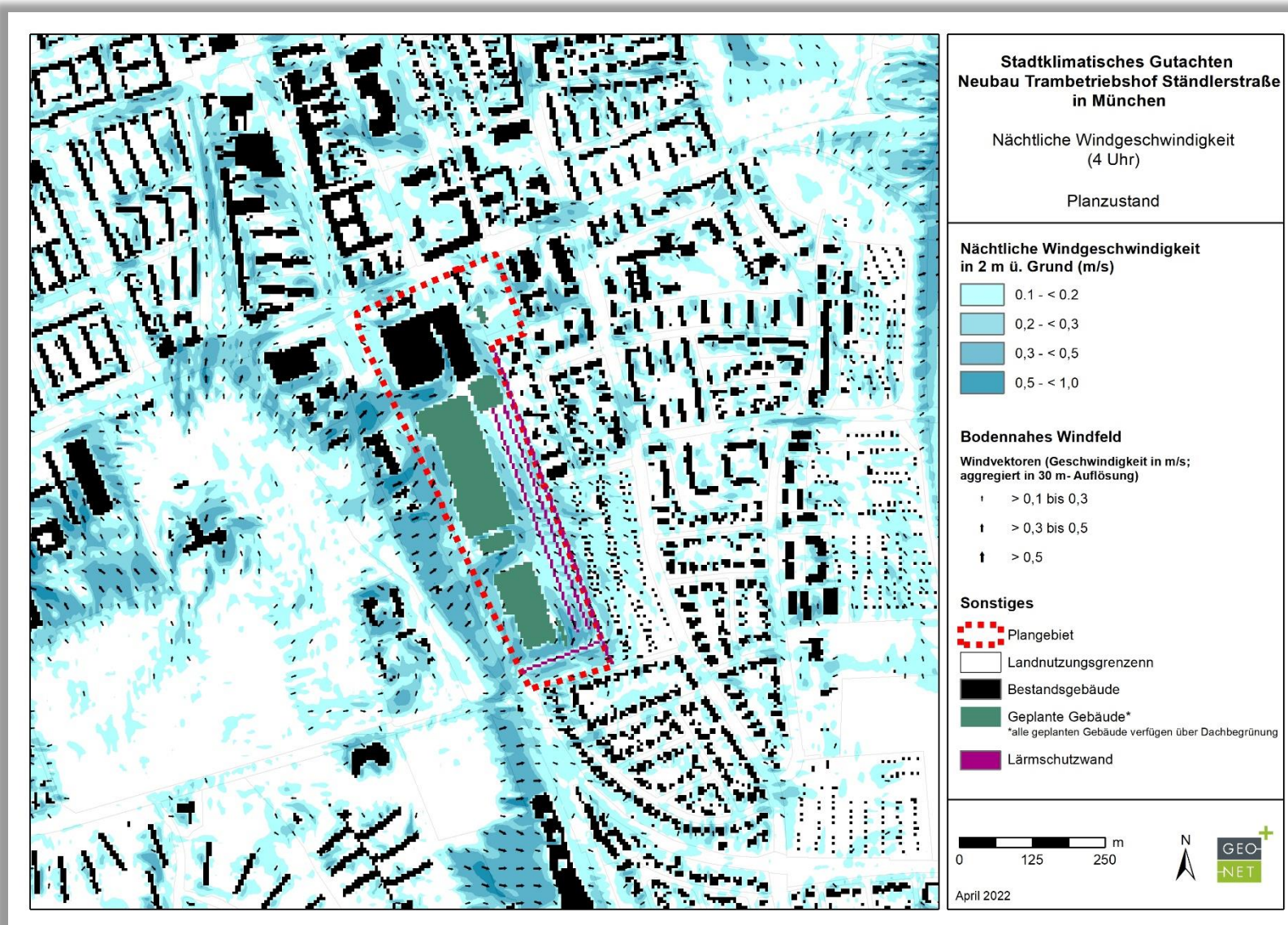


Abb. 3.6 Bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Istzustand.

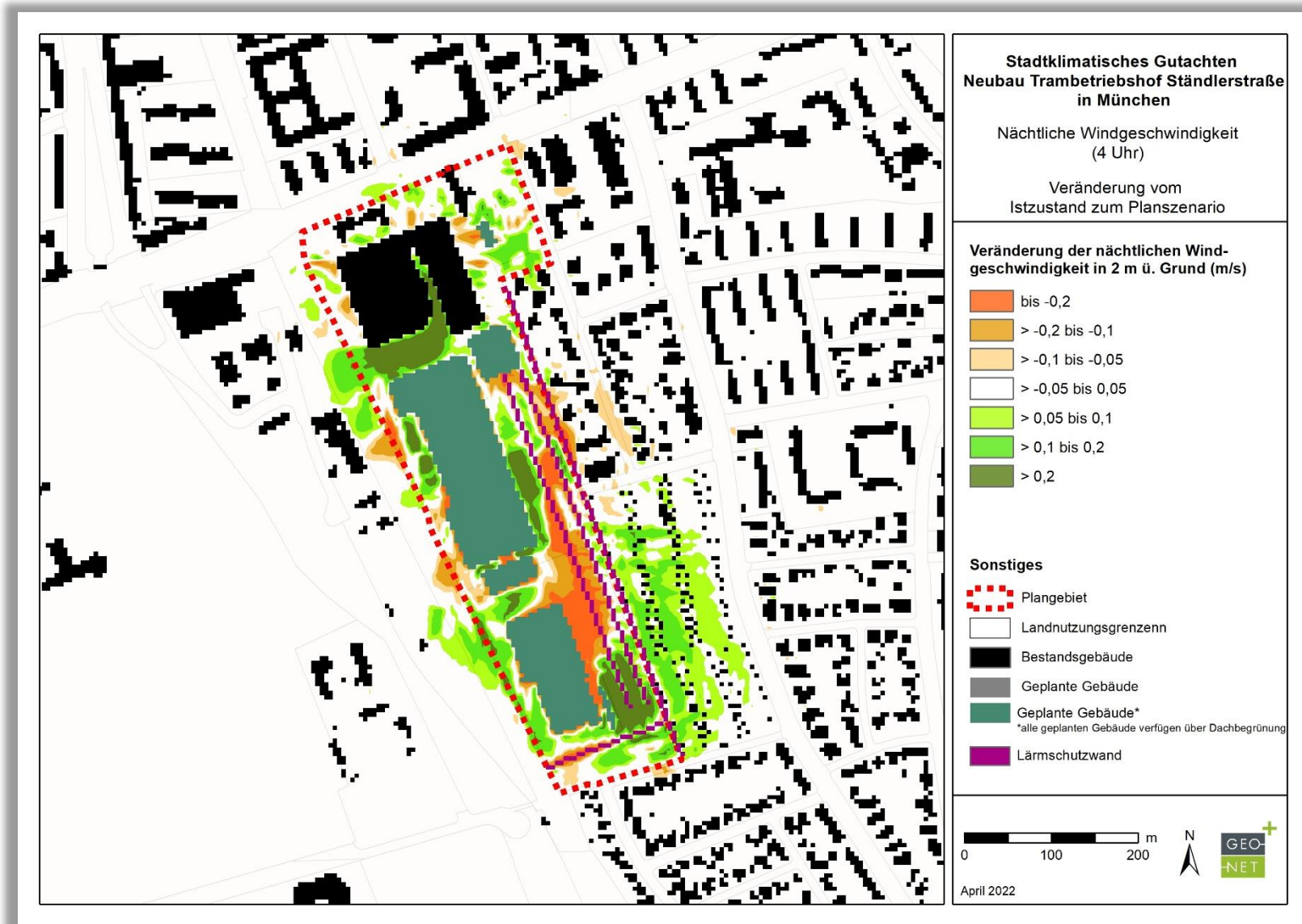
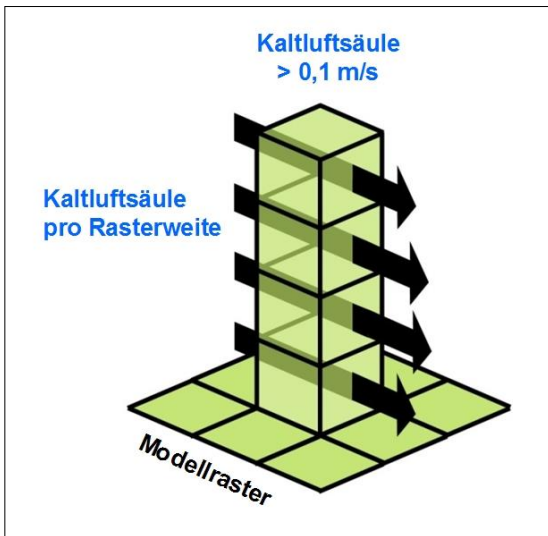


Abb. 3.7 Abweichung des bodennahen Kaltluftströmungsfeldes zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario.

### 3.1.3 Kaltluftvolumenstrom

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



**Abb. 3.8** Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

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

aufzufassen. Diesen Wert kann man sich veranschaulichen, indem man sich ein 5 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte (**Abb. 3.8**). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

#### Basisszenario

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. **Abb. 3.9** (S. 34) zeigt den Kaltluftstrom für die Ausgangssituation in einer quantitativen Abstufung für die gegenwärtige Klimasituation. Wie beschrieben, werden die Kaltluftmassen durch den hohen Temperaturgradienten zwischen den umliegenden Grünflächen und dem in der Nacht überwärmten Plangebiet angetrieben. Es ist zu erkennen, dass sich von der westlichen Grünfläche des Friedhofes am Perlacher Forst bedeutsame Kaltluftströme in diverse Richtungen ausbilden, die unter anderem auch das Plangebiet belüften. Aufgrund der genannten großflächigen Kaltluft produzierenden Grünfläche verfügt das Plangebiet selbst über eine sehr gute nächtliche Durchlüftung mit größtenteils sehr hoher Ausprägung. Vom Plangebiet selbst geht jedoch mit Ausnahme des in **Kapitel 3.1.2** beschriebenen kleinräumigen Kaltluftabflusses im Bereich Ständlerstraße/Traunreuter Str. keine bedeutsame Kaltluftströmung für die Belüftung der umliegenden Siedlungsbereiche aus. Die östlich an



das Plangebiet angrenzenden Wohnbauflächen westlich der Balanstraße verfügen ebenfalls über Kaltluftströme hoher bis sehr hoher Ausprägung. Auch die beschriebene Kaltluftströmung ausgehend von der östlich angrenzenden Kleingartenkolonie in nördliche Richtung entlang der Traunreuter Str. ist hier erkennbar. Die Wohnbauflächen östlich der Balanstraße verfügen größtenteils über eine mäßige Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms.

### Planszenario

Wie **Abb. 3.10** für das Planszenario zeigt, führt die neue Bebauung zu einer Beeinflussung des Kaltluftvolumenstroms sowohl innerhalb als auch außerhalb des Plangebietes. Das Plangebiet selbst profitiert dabei von der höheren thermischen Dynamik, die sich aus der beschriebenen Temperaturerhöhung innerhalb des Plangebietes ergibt. Das hat zur Folge, dass das Plangebiet stärker von den Kaltluftmassen der umliegenden Grünflächen angeströmt wird und die Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms, die in der Ausgangssituation schon auf einem sehr hohen Niveau lag, noch weiter ansteigt. Der vom Plangebiet ausgehende Kaltluftabfluss im Bereich Ständlerstraße/Traunreuter Str. wird vom Planvorhaben nicht signifikant beeinflusst.

Außerhalb des Plangebietes ist zu erkennen, dass aufgrund des erhöhten Temperaturgradienten zwischen dem Plangebiet und den angrenzenden Grünflächen eine erhöhte Ausprägung des KVS sowohl im Bereich des Friedhofes am Perlacher Forst als auch innerhalb der östlich angrenzenden Kleingartenkolonie auftritt. Hiervon profitiert unter anderem der Siedlungsbereich östlich der Kleingartenkolonie in Form einer erhöhten Ausprägung des KVS. Durch die verstärkte Anströmung in das Plangebiet selbst ist zu erkennen, dass die kleinräumige Kaltluftbahn ausgehend von der Kleingartenkolonie entlang der Traunreuter Str. in ihrer Ausprägung geringfügig beeinträchtigt wird, jedoch weiterhin hohe bis sehr hohe Werte erreicht werden.

### Differenzen und Zwischenfazit

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Laut der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) stellt eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 Prozent eine „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ dar. Die Richtlinie schlägt diese Bewertung z.B. im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten vor. Eine Verringerung um 5 – 10 Prozent wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerng als „geringfügig“ angesehen.

Die Abweichung des Volumenstroms in Prozentpunkten gegenüber dem Istzustand wird in **Abb. 3.11** dargestellt. Es ist zu erkennen, dass planungsbedingt maximal eine mäßige Auswirkung auf den lokalen bzw. regionalen Kaltlufthaushalt auftritt. Davon betroffen sind, mit Ausnahme der unmittelbar östlich angrenzenden Wohnbaufläche, vor allem Bereiche in weiterer östlicher Entfernung zum Plangebiet, die laut der Bewertungskarte Stadtklima der LHM (GEO-NET2014) hauptsächlich einer günstigen bioklimatischen Situation unterliegen. Bei zusätzlicher Betrachtung der absoluten Ausprägungen des Kaltluftvolumenstroms ist zu erkennen, dass diese Bereiche bereits in der Ausgangssituation über einen sehr schwach ausgeprägten Kaltluftvolumenstrom verfügen (**Abb. 3.12, bis Abb. 3.14**). Geringfügige absolute Abweichungen der Luftströmungsverhältnisse können in diesen Bereichen dementsprechend schnell zu höheren prozentualen Abweichungen führen. Die bioklimatische Situation der betroffenen Blockfläche zwischen Plangebiet und Traunreuter Str. wurde in der Ausgangssituation als sehr günstig bewertet. Mit Umsetzung des Planvorhabens verfügt dieser Bereich weiter über eine hohe bis sehr hohe Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms. Dadurch bleibt die Durchlüftungssituation in diesem Bereich weiterhin auf einem relativ hohen bis sehr hohen Niveau bestehen.

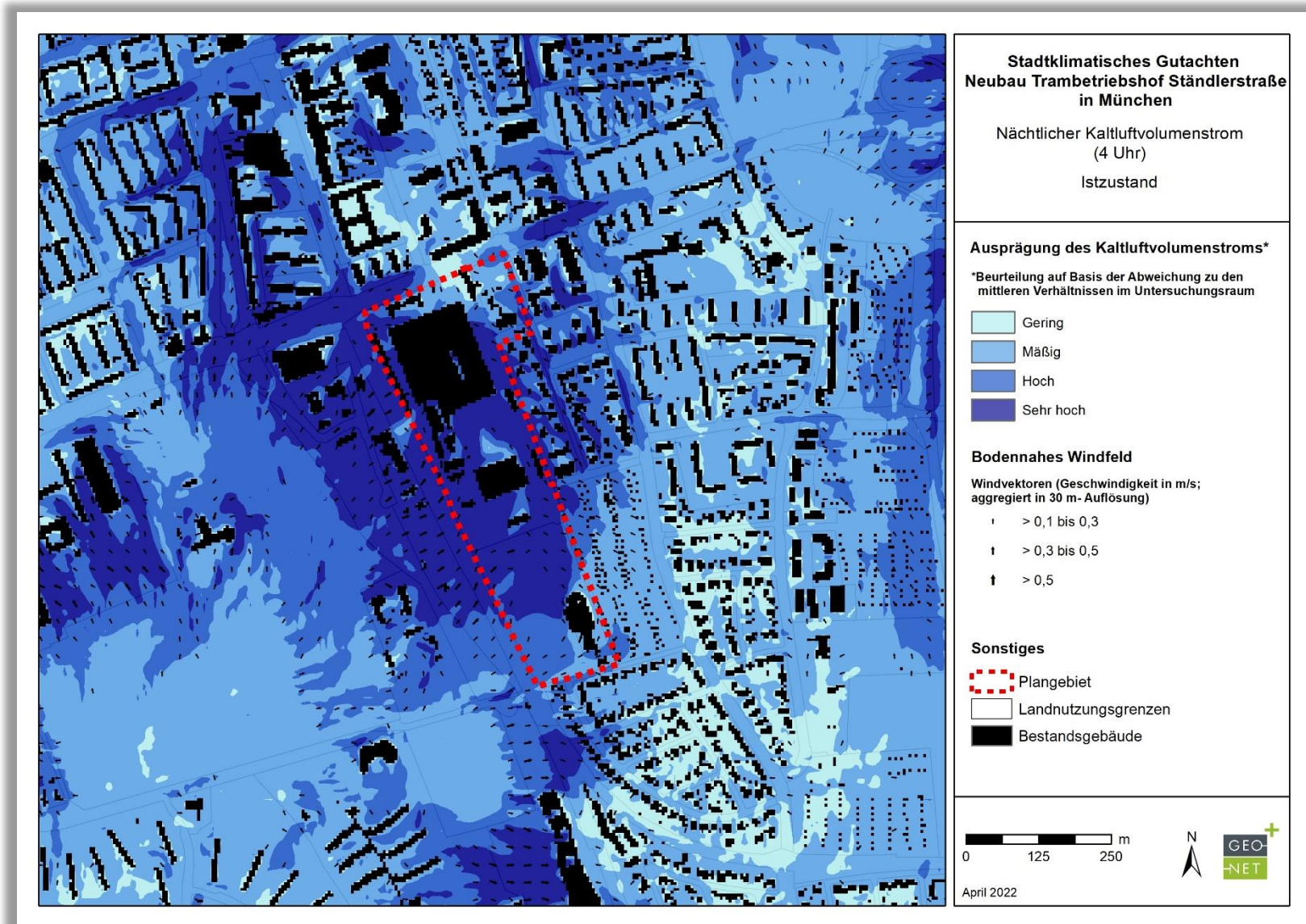


Abb. 3.9 Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Istzustand.



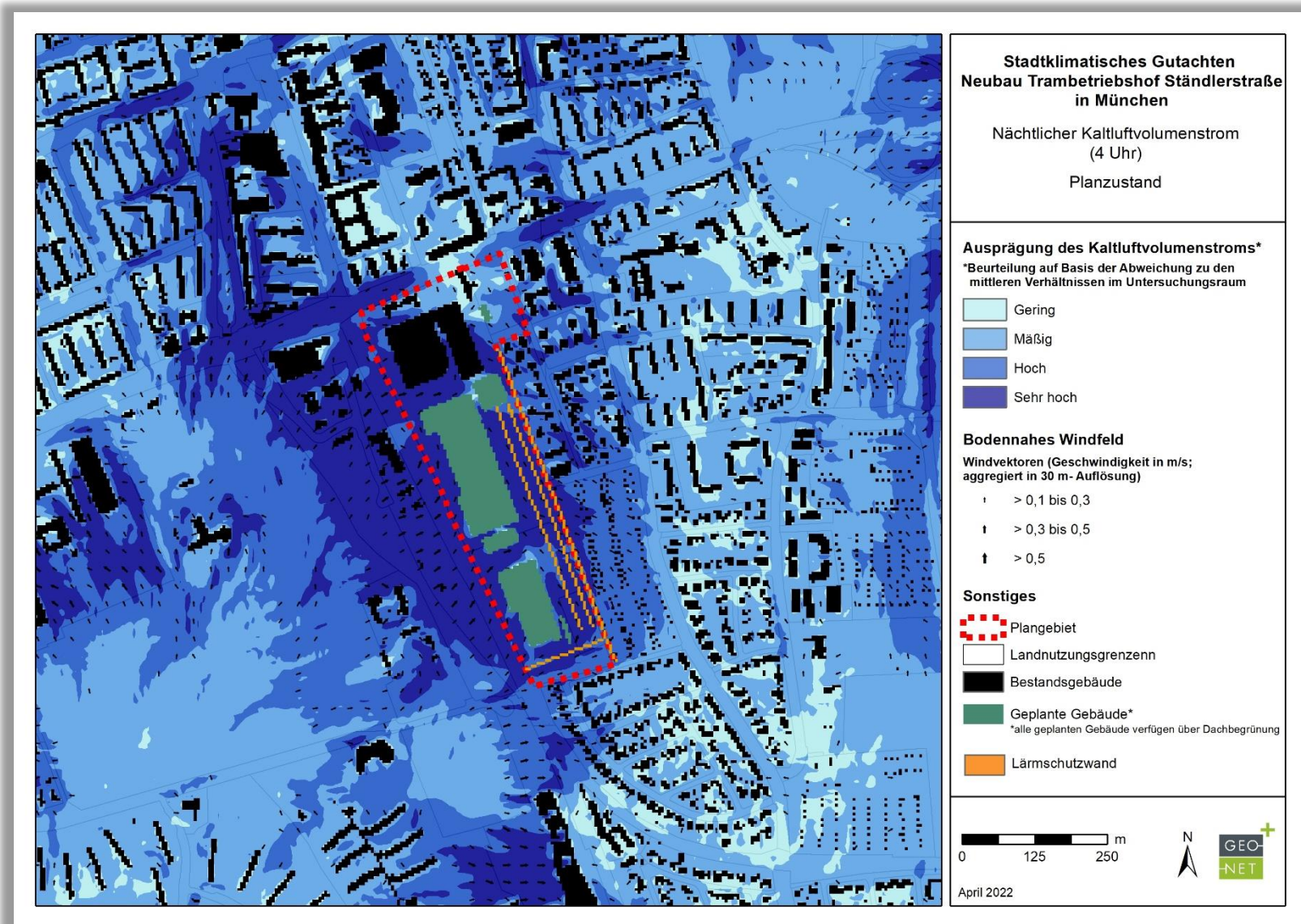


Abb. 3.10 Kaltluftvolumenstrom und bodennahes Kaltluftströmungsfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Planzustand.



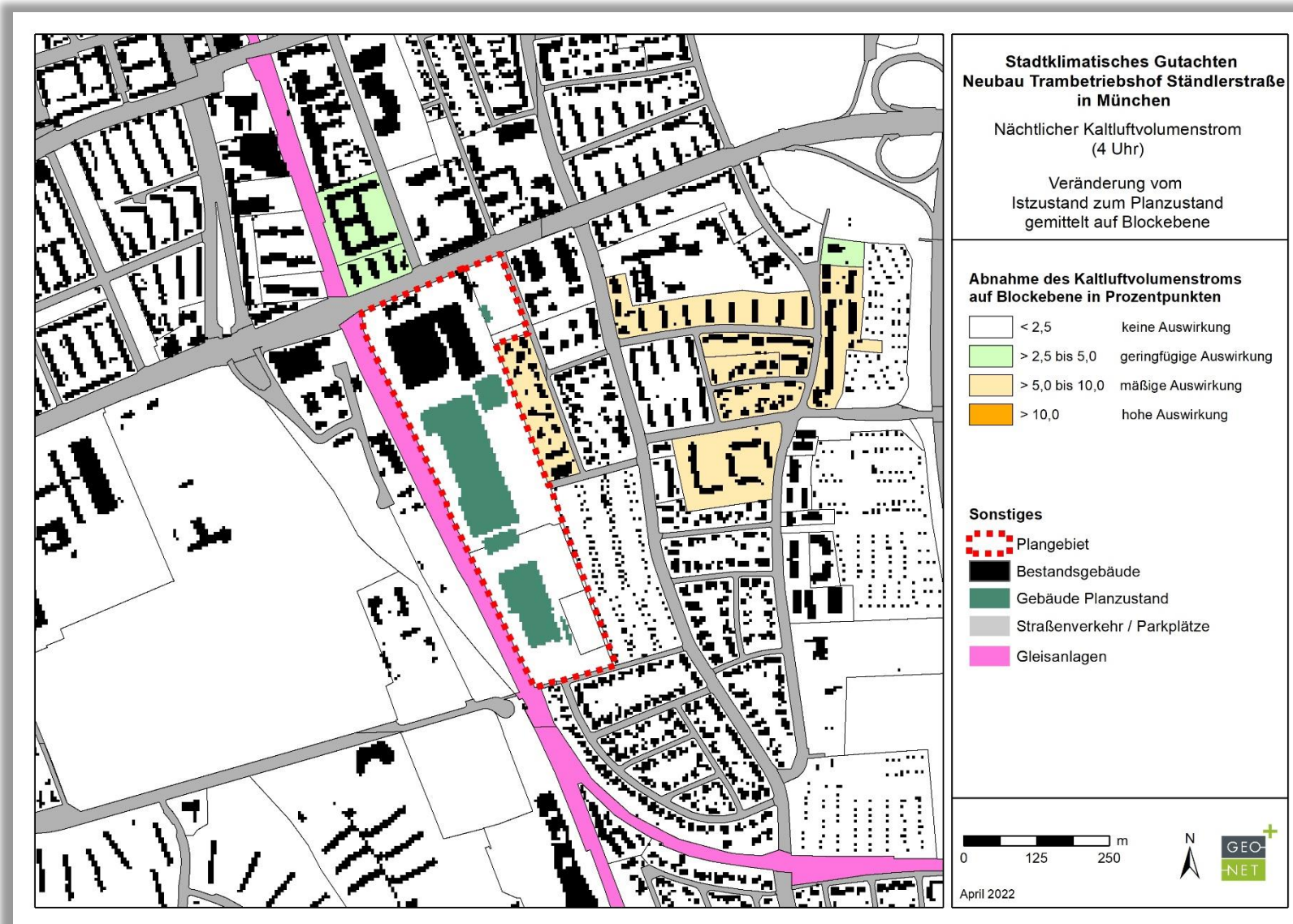


Abb. 3.11 Abweichung des Kaltluftvolumenstroms betrachtet auf Blockebene zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario.

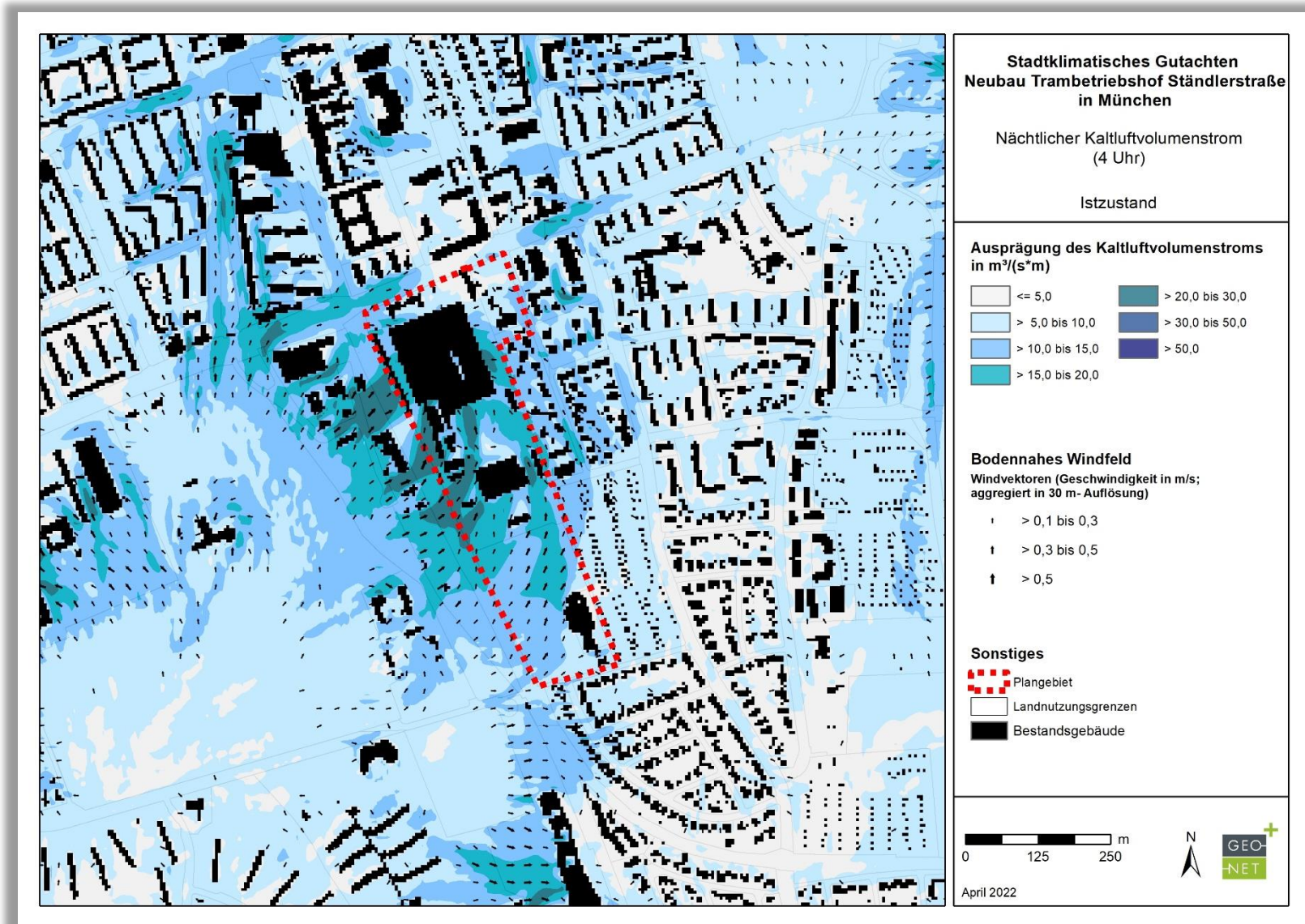


Abb. 3.12 Absolute Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Istzustand.



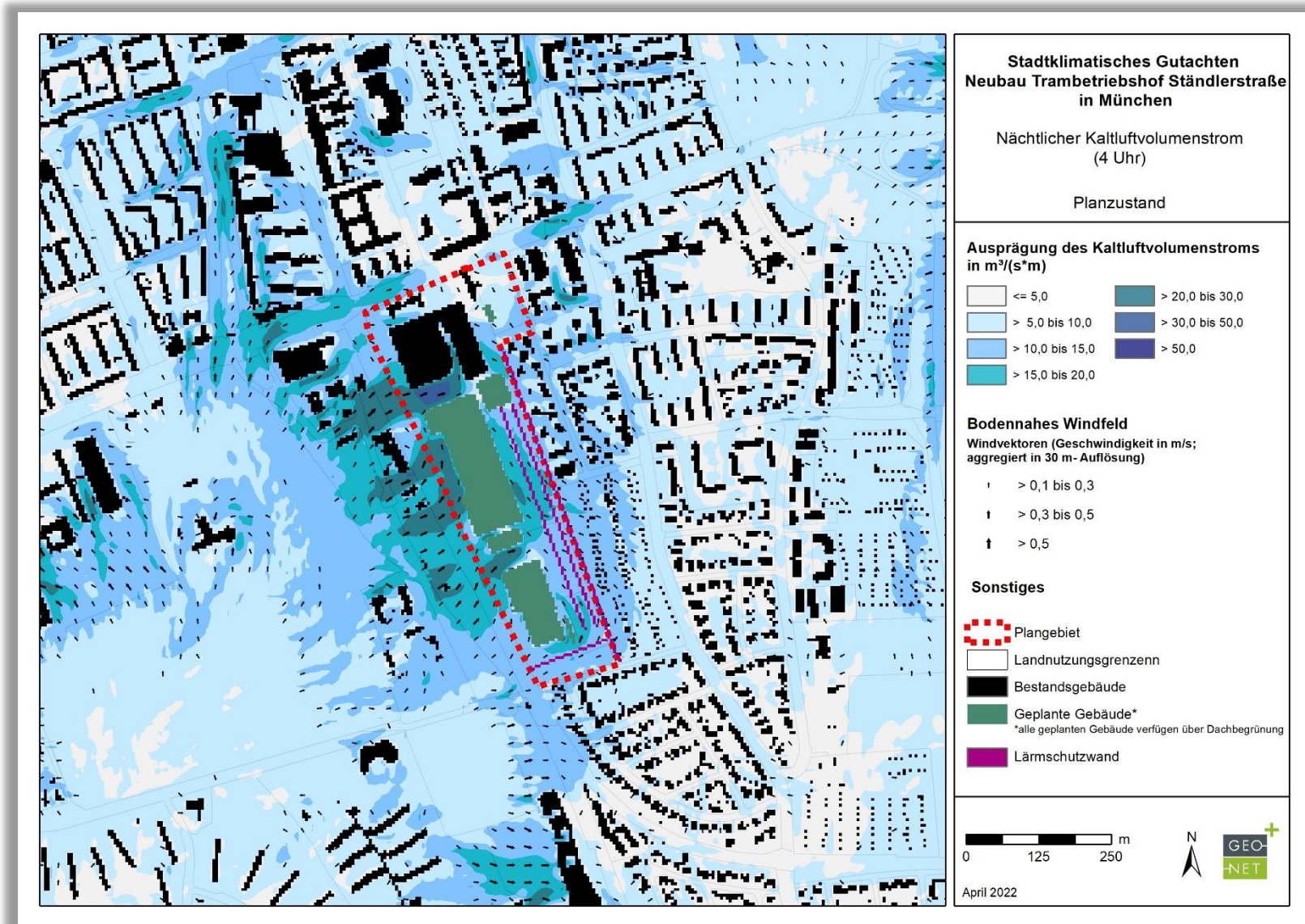


Abb. 3.13 Absolute Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens im Planzustand.

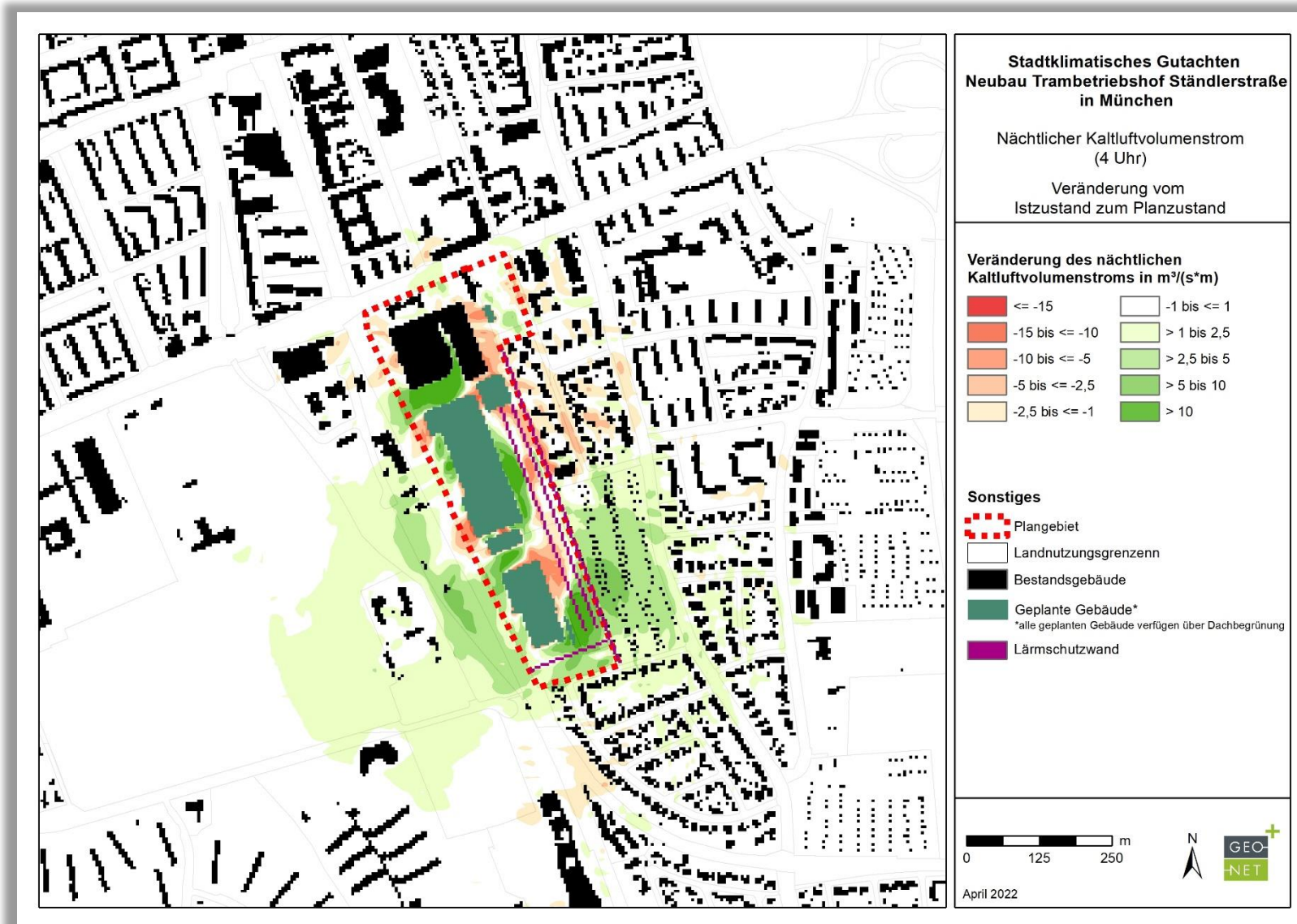


Abb. 3.14 Absolute Abweichung des Kaltluftvolumenstroms zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario.

### 3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

#### Allgemeines

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen<sup>4</sup>. Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index).

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

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

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mässige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mässige Wärmebelastung
35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

**Tab. 1.1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)**

#### Basisszenario

<sup>4</sup> Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m<sup>2</sup> Körperoberfläche, männlich, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).



Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage sowohl im Basisszenario als auch im Planfall vor allem über die Verschattung beeinflusst wird (**Abb. 3.15**). Eine schwache Wärmebelastung mit einer PET bis zu 29 °C ist vor allem innerhalb von Hausgärten der Bestandsflächen sowie Grünanlagen zu beobachten. Vor allem aber auch im Bereich größerer Baumgruppen wie bspw. dem westlich gelegenen Friedhof am Perlacher Forst sind günstige Aufenthaltsbedingungen mit einer maximal schwachen Wärmebelastung anzutreffen. Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35 °C häufig als stark einzustufen ist (Orange). Dahingehend ist der überplante und weitgehend unverschattete und versiegelte Bereich des jetzigen Gewerbestandorts als thermisch belastet mit hauptsächlich starken Wärmebelastung einzuordnen. Die höchste Belastung mit Werten um vereinzelt mehr als 40 °C treten dabei zentral über den versiegelten Bereichen zwischen den Baukörpern auf. Als positiv sind innerhalb des Plangebietes die vereinzelt Grünflächen mit Baumbestand zu bewerten, die maximal einer mäßigen Wärmebelastung unterliegen. Dazu zählt neben der Grünfläche an der Kreuzung Ständlerstraße / Traunreuter Straße auch die zentrale Grünfläche in der nördlichen Hälfte des Plangebietes.

### Planszenario

Im Planfall ist das Ausmaß der sommerlichen Wärmebelastung im Plangebiet in etwa als vergleichbar zur Ausgangssituation zu bewerten (**Abb. 3.16**). Mit der Realisierung der Planungen zeigt sich, dass die PET vor allem in den versiegelten Bereichen mit dichtem Gebäudebestand die höchsten Werte annimmt. Aufgrund der gewerblichen Nutzung auch im südlichen Bereich des Plangebietes und dem damit einhergehenden verringerten Baumbestand im Plangebiet selbst, ist die Aufenthaltsqualität im Außenbereich am Tage unter diesen meteorologischen Bedingungen als ungünstig mit einer mäßigen bis starken Wärmebelastung zu bewerten. Insgesamt sind keine negativen Wechselwirkungen mit den angrenzenden Siedlungsräumen erkennbar.

### Differenzen und Zwischenfazit

Die Differenz der PET zeigt deutlich die Auswirkungen des Planvorhabens innerhalb des gesamten Plangebietes (**Abb. 3.17**). Kleinräumige Zunahmen sind hauptsächlich in den Bereichen zu beobachten, in denen Bestandsvegetation (Bäume oder Büsche) planbedingt wegfällt. Großräumig ist dies vor allem westlich des südlichsten Gebäudekörpers (Werkstatt / Durchlaufwartung) zu erkennen. Positiv treten das Wegfallen vorheriger Gebäudekörper, lokale Flächenentsiegelungen und vor allem die Planung von vereinzelt Baumstandorten in Erscheinung. Bereiche wie beispielsweise der im Planfall verschattete Parkplatz im Norden des Plangebietes profitieren in Form einer reduzierten Wärmebelastung.

Insgesamt zeigt sich, dass die bioklimatische Situation im Außenbereich durch das Planvorhaben in etwa auf einem vergleichbaren, mäßig bis stark belasteten thermischen Niveau geblieben ist. Dabei sind keine signifikanten Auswirkungen des Planvorhabens auf angrenzende Wohnbauflächen zu beobachten. Die absoluten Hitze- Hotspots, die in der Ausgangssituation in den Bereichen der Bestandsgebäude mit punktuell extremer Wärmebelastung vorzufinden sind, treten im Planfall nicht mehr auf. Aufgrund der gewerblichen Nutzung besitzen vor allem die Parkplätze und Wegeverbindungen im Außenbereich eine hohe Bedeutung. Diese sind im Planfall schon zum Teil mit Baumbestand geplant und sollten wenn möglich stärker verschattet werden. Gleiches gilt für mögliche Aufenthaltsbereiche im Außenbereich. Aufgrund des Flächenbedarfs für den Tramverkehr innerhalb des Plangebietes sind die Möglichkeiten für Baumstandorte jedoch stark begrenzt.



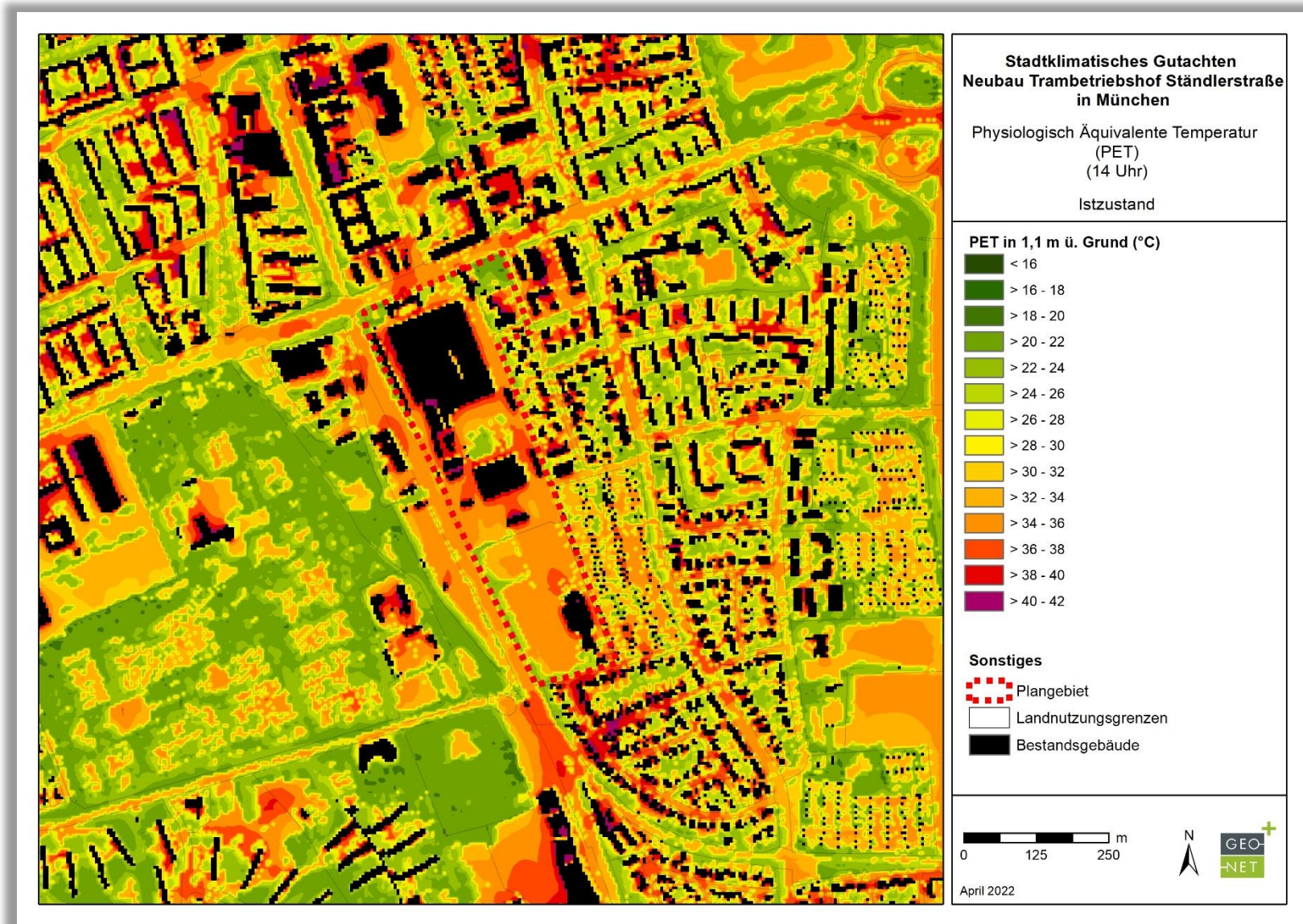


Abb. 3.15 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr nachmittags in der Ausgangssituation.



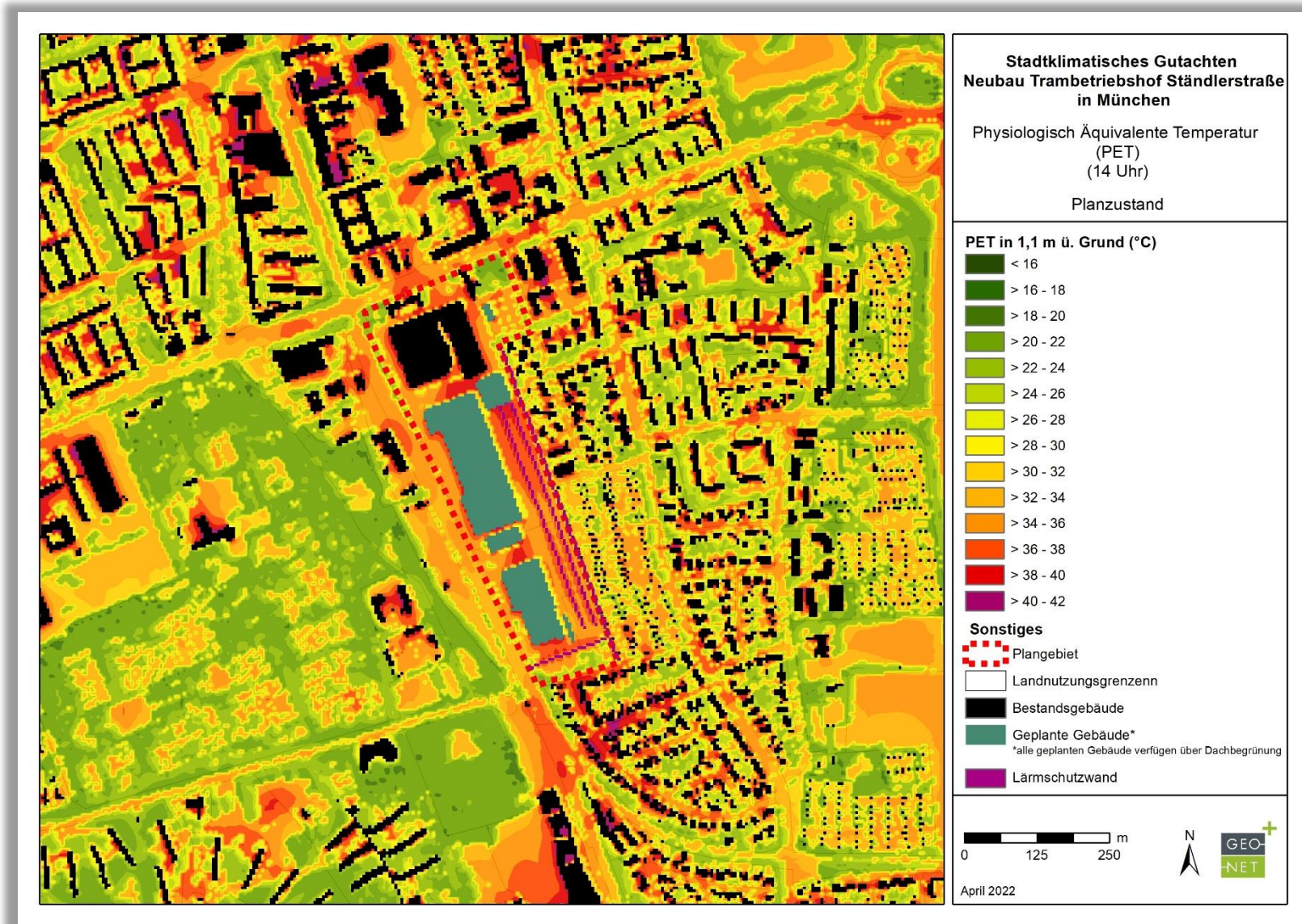


Abb. 3.16 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 14 Uhr nachmittags im Planszenario.

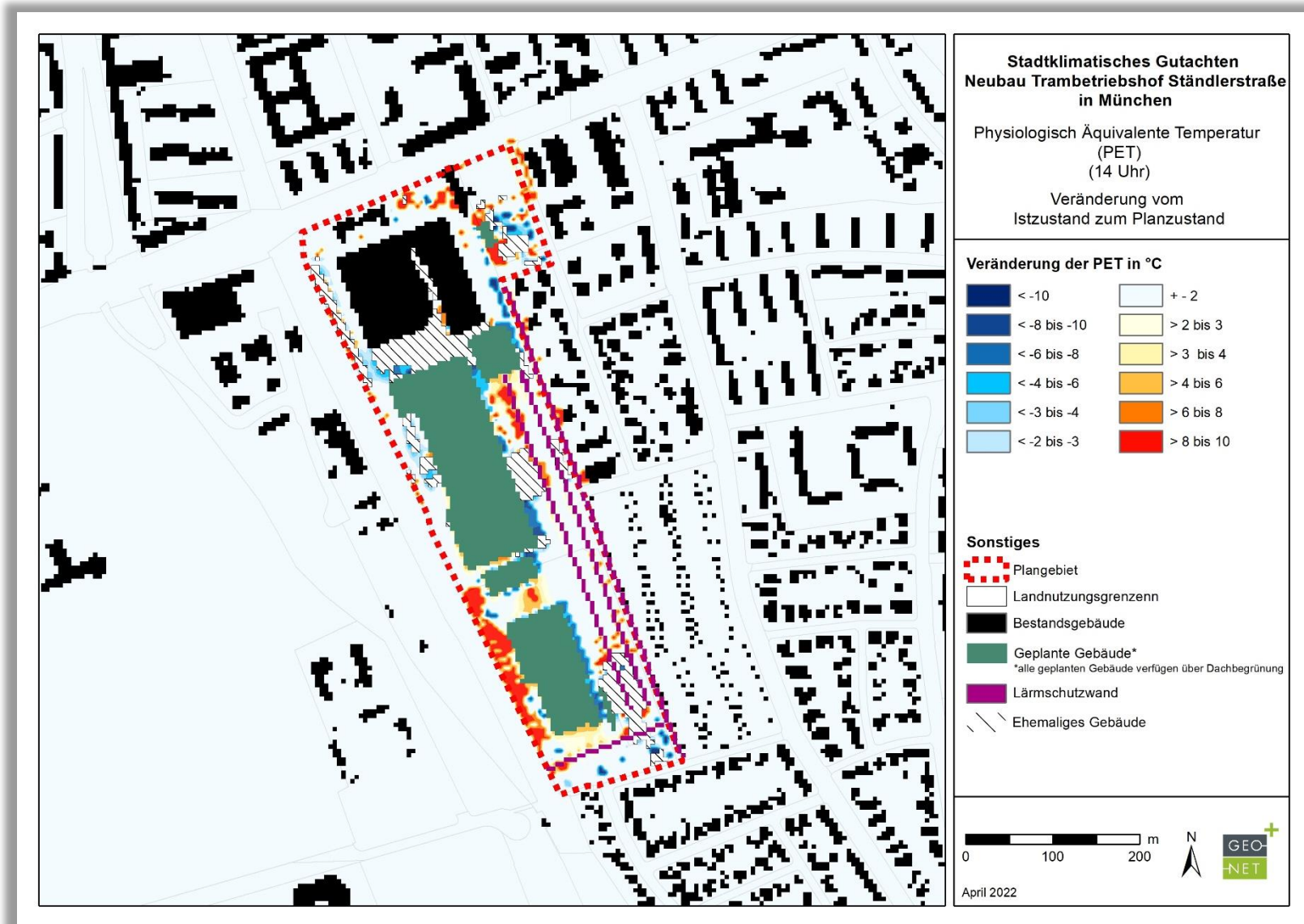


Abb. 3.17 Abweichung der Physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2 m ü. Grund) im Planszenario.



## 4. Fazit

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

### Plangebiet

Die nächtliche bodennahe Lufttemperatur während einer wolkenlosen und windschwachen Sommernacht ist im Planszenario mit dem Niveau anderer Gewerbestandorte vergleichbar. Insgesamt ist das Temperaturniveau im gesamten Plangebiet gegenüber Wohnraumflächen bzw. Grünflächen erhöht. Das begründet sich durch die gewerbliche Nutzung und dem damit einhergehenden hohen Versiegelungsgrad und Gebäudeanteil. Vor allem der Bereich der ehemaligen Sportanlage erfährt durch das Planvorhaben eine erhöhte thermische Belastung in der Nacht. Die betroffene Grünfläche ist in der Bewertungskarte Stadtklima der LHM (GEO-NET 2014) mit einer sehr hohen bioklimatischen Bedeutung bewertet worden.

Die Durchlüftungssituation durch nächtliche Kaltluftströmungen im Plangebiet selbst kann als gut beurteilt werden. Von den großflächigen Neubauten geht eine hohe Barrierewirkung auf die bodennahe Kaltluftströmung aus. Durch die Baulücken zwischen den einzelnen Gebäuden wird dennoch weiterhin eine Durchlüftung des gesamten Plangebietes ermöglicht. Mit der großflächigen Grünanlage des Friedhofes am Perlacher Forst sowie der östlich angrenzenden Kleingartenkolonie stehen weiterhin eine große Anzahl von Frei- und Grünflächen zur Verfügung, durch die eine hohe Durchlüftung mit Kaltluft in der Nacht gewährleistet wird. Antrieb für die nächtliche Anströmung mit Kaltluft ist der sowohl in der Ausgangssituation als auch im Planfall hohe Temperaturgradient zwischen den kühlen Grünflächen und dem überwärmten Plangebiet. Die Bebauung der Grünfläche der ehemaligen Sportanlage hat zur Folge, dass diese in der Nacht nicht mehr als kaltluftproduzierende Freifläche zur Verfügung steht. Es zeigt sich, dass daraus keine signifikanten Auswirkungen für die thermische Situation des nördlich angrenzenden Bereichs des Plangebietes bzw. dem angrenzenden Siedlungsraum auftreten. Grund dafür ist die hohe Anzahl an Grünflächen in unmittelbarer Umgebung des Plangebietes, die weiterhin eine hoch ausgeprägte Durchlüftungssituation in der Nacht gewährleisten.

Die Untersuchung zur Wärmebelastung am Tage macht deutlich, dass sich die thermische Belastung am Tage auf einem mäßig bis stark belasteten Niveau befindet. Begrünung und Verschattung können einen signifikanten Beitrag zur Minderung der Belastung leisten. Während die rasengeprägten Elemente vor allem in der Nacht zur Abkühlung beitragen, erweisen sich insbesondere die Verschattungselemente (Bäume) am Tage als wirkungsvoll. Auch in den Verkehrsflächen können dadurch Bereiche geschaffen werden, in denen das Gehen und Radfahren im Schatten ermöglicht wird. Aufgrund der gewerblichen Nutzung und des Bedarfs an Fahrbahnen für die Tram steht innerhalb des Plangebietes nur ein sehr begrenzter Raum für Verschattungselemente wie Bäume zur Verfügung. Dementsprechend ist es für den Aufenthalt der Mitarbeiter von Bedeutung, dass Parkplätze, Wegeverbindungen und Aufenthaltsbereiche im Außenbereich der thermischen Situation angepasst sind und auf Anpassungsmöglichkeiten geprüft werden.

### Umgebung

Durch das Planvorhaben kommt es zu einer lokalen Beeinträchtigung des Kaltluftvolumenstroms, die sich hauptsächlich auf den nordöstlich des Plangebietes befindlichen Siedlungsraum beschränkt. Dabei wird laut der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) für mehrere Blockflächen eine maximal mäßige planungsbedingte Auswirkung mit einer Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms zwischen > 5,0 bis 10,0 % erreicht (Abb. 3.11). Für die von den Auswirkungen betroffenen Wohnbauflächen wurde darüber hinaus die bioklimatische Ausgangssituation als sehr günstig bis günstig bewertet (GEO-NET 2014). Wie bereits erwähnt, resultieren die

erhöhten prozentualen Abweichungen östlich der Balanstraße aus einem sehr geringen absoluten Wert des Kaltluftvolumenstroms, und sind auf keine signifikanten absoluten Abweichungen zurückzuführen (vgl. **Abb. 3.14**). Für die direkt östlich an das Plangebiet angrenzende Wohnbaufläche gilt das nicht. Hier bleibt die Durchlüftungssituation trotz der Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms um bis zu 10 % weiterhin auf einem relativ hohen bis sehr hohen Niveau bestehen. Eine hiermit verbundene signifikante Zunahme der bodennahen Lufttemperatur wurde im Ergebnis der Modellierung nicht festgestellt. Diese tritt mit geringer Ausprägung (hauptsächlich  $\leq + 0,3$  °C) im Bereich der Kleingartenkolonie auf und begründet sich aus dem verstärktem Kaltluftabfluss aus der vegetationsgeprägten, kühlen Kleingartenkolonie Richtung überwärmten Plangebiet. Der verstärkte Kaltluftzustrom Richtung Plangebiet resultiert aus dem Verlust der überplanten Grünfläche der ehemaligen Sportanlage und der damit einhergehenden erhöhten Wärmebelastung und vor allem reduzierten Kaltluftproduktion innerhalb des Plangebietes.

Da es nach der VDI 3787 Blatt 5 zu einer maximal nur mäßigen vorhabenbedingten Auswirkung in Bezug auf die Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms mit Werten unter der Erheblichkeitsschwelle von 10 % kommt, ist die Nutzungsänderung innerhalb des Planszenarios in diesem konkreten Gebiet als vertretbar einzuordnen. Hinzu kommt, dass die davon betroffenen Siedlungsbereiche keiner bioklimatischen Belastung unterliegen. Bereits in der Ausgangssituation geht von dem Plangebiet selbst keine Luftströmung aus, die für die Durchlüftungssituation angrenzender Wohnräume von Bedeutung ist. Die Überplanung der Grünfläche mit sehr hoher bioklimatischer Bedeutung, kann durch den hohen Anteil angrenzender Grünflächen kompensiert werden. Durch das Planvorhaben gehen letztendlich keine signifikanten Auswirkungen auf die Durchlüftungssituation und das Temperaturniveau angrenzender Wohnbauflächen in der Nacht aus. Dementsprechend ist keine Beeinträchtigung der Erholungsfunktion des Menschen in der Nacht zu erwarten. Für die Wärmebelastung am Tage sind ebenfalls keine nennenswerten Wechselwirkungen mit angrenzenden Siedlungsbereichen zu erwarten.

Vor dem Hintergrund eines klimawandelbedingten Anstiegs der Tagesmitteltemperatur, sowie der Anzahl an Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten (**Kapitel 2.4**) steigt gleichzeitig die Bedeutung der Anpassung von Bauvorhaben an die zukünftige klimatische Entwicklung. Gerade Gewerbestandorte, die einen hohen Gebäudeanteil und in der Regel einen erhöhten Versiegelungsgrad gegenüber Wohnbauflächen aufweisen, stellen im gesamtstädtischen Kontext ein erhöhtes Risiko zur Bildung nächtlicher Wärmeinseln dar. Eine besonders starke Ausprägung nächtlicher Überwärmung ist vor allem in den Stadtgebieten zu erwarten, in denen der Anteil von Grün- und Freiflächen mit einhergehender Kalt-/Frischluftproduktion gering ausfällt. Durch das gleichzeitig erwartete erhöhte Risiko für Trockenstress in den Sommermonaten, kommt zukünftig auch der Pflege bzw. der Versorgung von Grünflächen mit Wasser eine erhöhte Bedeutung zu. Durch den erwähnten zukünftigen Temperaturanstieg ist die Aufrechterhaltung der Kaltluftproduktion vor allem innerstädtischer Grünflächen von besonderer Bedeutung.

## 5. Planungshinweise

Die Empfehlungen zielen hauptsächlich darauf ab, das Kaltluftsystem im Umfeld des Plangebietes zu erhalten bzw. zu stärken und die Auswirkungen für den Bestand zu minimieren. Dahingehend lassen sich allgemeine Hinweise für den Geltungsbereich des Plangebietes festhalten.

Da von dem Plangebiet selbst kein bedeutsamer Kaltluftstrom für angrenzende Siedlungsbereiche ausgeht, steht vor allem der Anstieg der nächtlichen Überwärmung der überplanten Grünfläche im südlichen Bereich des Plangebietes im Mittelpunkt der Planungshinweise. Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, hat die Flächenversiegelung und der geplante Gebäudebestand im Bereich der ehemaligen Grünfläche einen stark ausgeprägten lokalen Anstieg der nächtlichen Lufttemperatur zur Folge (vgl. **Abb. 5.1; oben links**). Die erhöhte Wärmebelastung und der Verlust der kaltluftproduzierenden Grünfläche beeinflusst das Kaltluftsystem, in dem es die zuvor nach Norden ausgeprägten Flurwinde der Kleingartenkolonie verstärkt in das Zentrum des Plangebietes lenkt. Dies ist unter anderem an dem verstärkten Antrieb des nächtlichen bodennahen Windfeldes im Bereich der Kleingartenkolonie zu erkennen (vgl. **Abb. 5.1; oben rechts**). Um die nächtliche Auskühlung des Plangebietes zu unterstützen und somit die Auswirkungen auf die Ausrichtung der Flurwinde zu reduzieren, sollte bei der Gestaltung der Außenanlagen darauf geachtet werden, dass der Anteil versiegelter Flächen auf ein notwendiges Minimum reduziert wird. Die Umsetzung der Dachbegrünung hat auf das bodennahe Temperaturfeld (2 m ü. Grund) keine signifikante Auswirkung. Dennoch gehen von begrünten Gebäudedächern positive Einflüsse auf das Mikroklima aus. Eine ausführliche Beschreibung der Wirkung von Dachbegrünungen sowie mögliche Ansatzpunkte zur Reduzierung der nächtlichen Überwärmung folgen im weiteren Verlauf des Berichts.

Die Aufenthaltsqualität am Tage (PET) ist für einen Großteil des Plangebietes auf einem mäßig bis stark belasteten Niveau. Es zeigt sich, dass der bereits geplante Baumbestand in den Bereichen der Stell- bzw. Parkplätze eine positive Auswirkung auf die Aufenthaltsqualität am Tage zur Folge hat (**Abb. 5.1, unten links**). Aufgrund der gewerblichen Nutzung ist eine flächenhafte Verschattung durch Baumbestand nur schwer umsetzbar. Dementsprechend sollte versucht werden, Parkplätze, Wegeverbindungen und vor allem Aufenthaltsbereiche im Außenraum, sofern diese geplant sind, durch zusätzliche verschattende Elemente wie Sonnensegel, Überdachungen etc. zu ergänzen.

Im Folgenden werden abschließend allgemeine Hinweise zur Aufrechterhaltung des Kaltluftvolumenstroms sowie für die Verringerung der Wärmebelastung und Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Freien innerhalb des Plangebietes gegeben.

### Aufrechterhaltung des Luftaustauschs im Untersuchungsgebiet

Um das bodennahe Kaltluftströmungsfeld und den Kaltluftvolumenstrom so geringfügig wie möglich zu beeinträchtigen, ist es wichtig den Strömungswiderstand der Gebäude auf ein Minimum zu beschränken. Hierfür ist vor allem die Erhaltung von Baulücken zwischen den Gebäudekörpern von Bedeutung. Des Weiteren ist zu beachten, dass das Pflanzen von Bäumen tagsüber zu einer Verschattung des Gebäudes und der Aufenthaltsbereiche und folglich zu einer Verringerung der bodennahen Temperatur führt, in der Nacht jedoch als Strömungswiderstand des Kaltluftströmungsfeldes zu sehen ist. Eine signifikante Beeinträchtigung der Durchlüftungssituation angrenzender Siedlungsbereiche durch zusätzlichen Baumbestand ist aufgrund des Windfeldes der bodennahen Kaltluftströmung sowohl in der Ausgangssituation als auch in dem Planzustand jedoch nicht zu erwarten.



## **Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung**

Die Dach- und Fassadenbegrünung zählen zu den effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen. Sie wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden. Die Möglichkeiten bei der Realisierung einer Fassadenbegrünung werden allerdings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt.

Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohn- bzw. Aufenthaltsraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es hier durch die Traufhöhe der höheren Gebäude zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 3-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt, jedoch profitieren die oberen Geschosse aufgrund der kühleren Luftmassen von einem verbesserten Innenraumklima. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

## **Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum**

Während am Tage die direkte, kurzwellige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben. Neben einer hohen Grün- ausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.

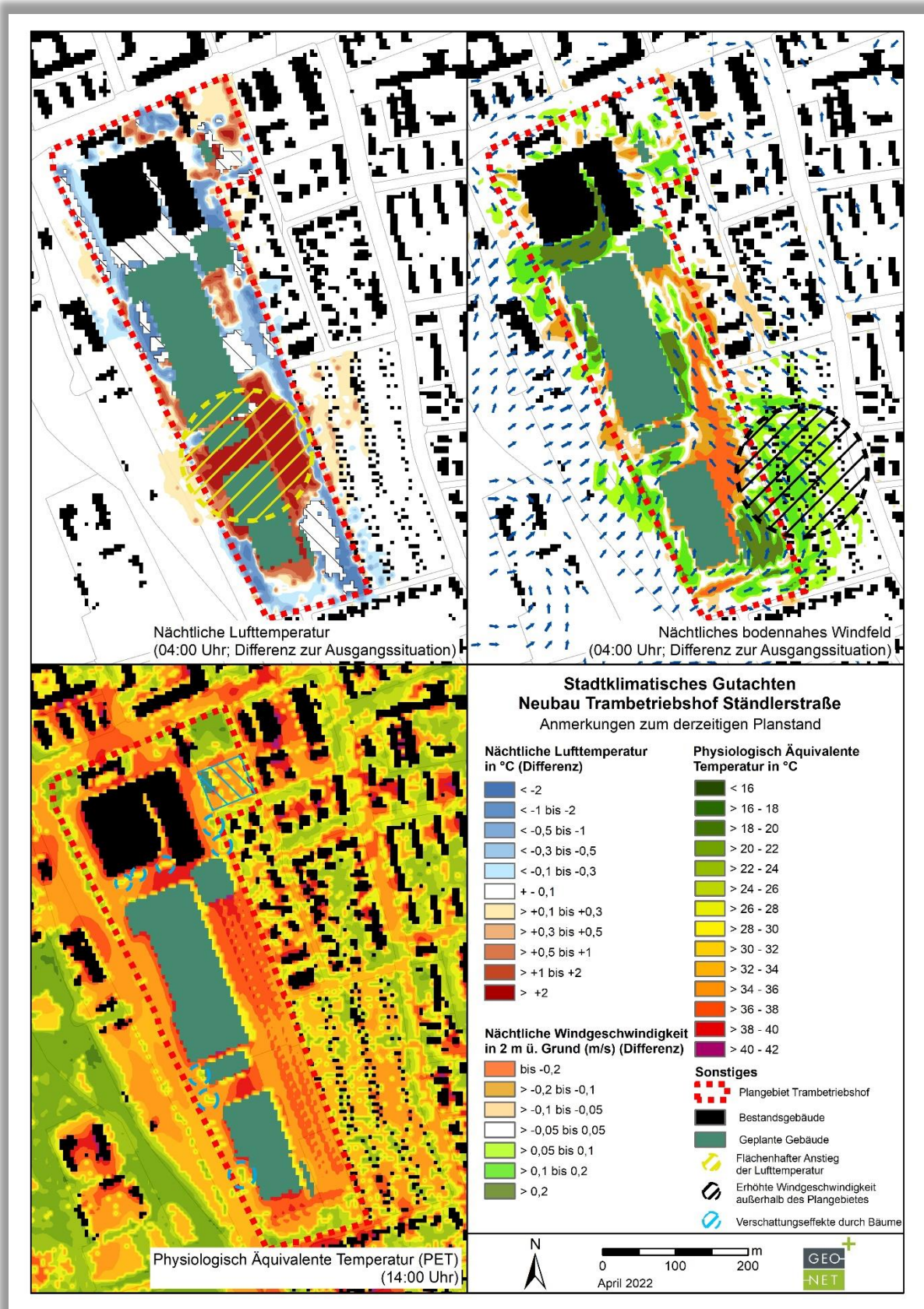


Abb. 5.1 Planungshinweise zum derzeitigen Planstand.

## 6. Literatur

Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020): Nationaler Klimareport. 4. Korrigierte Auflage. Stand Errata 8. Juni 2020.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2021): Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Rasterdaten. [ftp://open-data.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/](ftp://open-data.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/)

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2014): Stadtklimaanalyse Landeshauptstadt München.

GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2021): CDA – Climate Data Analyzer, ein Tool zur Analyse und Auswertung von Klimadaten. Dresden.

GIORGI F., JONES C., ASRAR G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, WMO Bulletin, 58(3):175-183.

KUTTLER, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).

LFU (2021): Landesweite Schutzgutkarte Klima/Luft für die Landschaftsrahmenplanung (Bayerisches Landesamt für Umwelt, unveröffentlicht).

LINKE C. ET AL. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam.

MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99.

MOSS R. H., EDMONDS J. A., HIBBARD K. A., MANNING M. R., ROSE S. K., VAN VUUREN D. P., CARTER T. R., EMORI S., KAINUMA 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.

PETERS G.P., ANDREW R.M., BODEN T., CANADELL J.G., CIAIS P., LE QUÉRE C., MARLAND G., RAUPACH M.R., WILSON C. (2013): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nat. Clim. Change 3, 4–6.

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

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

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

## 7. Glossar

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

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

**Austauscharme Wetterlage:** → Strahlungswetterlage

**Autochthone Wetterlage:** → Strahlungswetterlage

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

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

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

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

**Inversion:** Wenn am Tage bei intensiver Sonneneinstrahlung der Boden und die darüber lagernde Luft aufgeheizt werden, steigt diese auf und führt zu einer guten Durchmischung der Luftschicht. Die Temperatur der Luft nimmt dabei mit der Höhe allmählich ab. Während einer nächtlichen → Strahlungswetterlage kann eine umgekehrte Situation entstehen, bei der die oberen Luftschichten wärmer sind als die im bodennahen Bereich. Der Luftaustausch mit der Höhe ist dann reduziert, da die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte am Erdboden verbleibt.

**Kaltluftabfluss:** An wenig rauen Hängen und Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

**Kaltluftvolumenstrom:** Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige



Menge an Kaltluft in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht<sup>5</sup> bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

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

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

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

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

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

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

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

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

**Strahlungswetterlage:** Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage vornehmlich

---

<sup>5</sup> Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als  $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  wird



---

durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

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

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

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

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

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