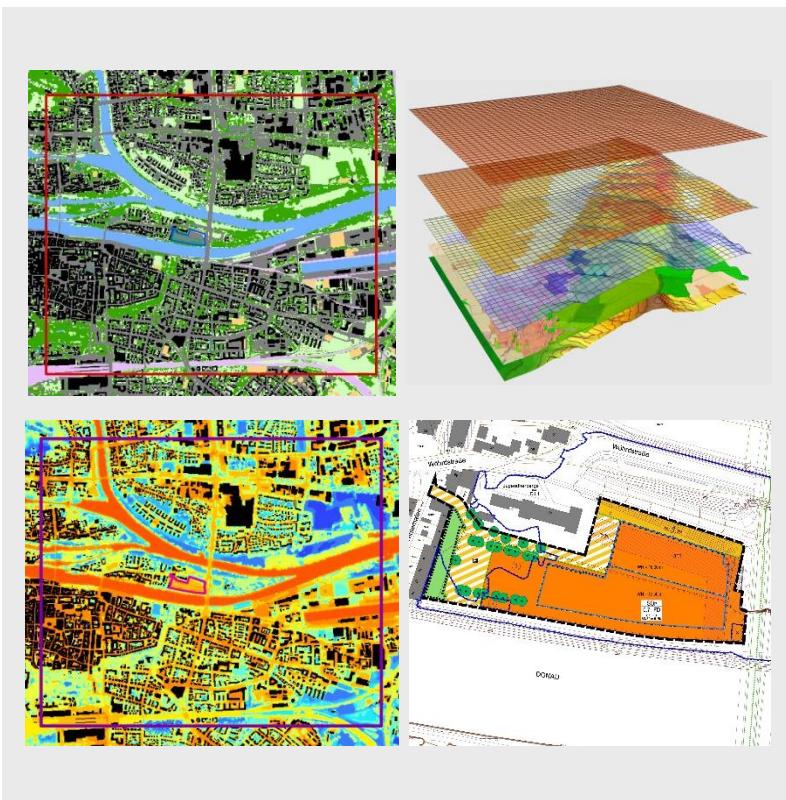


Klimaökologische Expertise zum Bebauungsplan Nr. 279 – „Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd“, Regensburg



Auftraggeberin:

Stadt Regensburg
Stadtplanungsamt
Postfach 110643
93019 Regensburg



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

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

In Zusammenarbeit mit: Prof. Dr. Günter Groß

Anerkannt beratender Meteorologe (DMG)
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover und Hildesheim



1. Einleitung

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

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

Im Auftrag der Stadt Regensburg (Stadtplanungsamt) wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen der baulichen Umsetzung des Bebauungsplans Nr. 279 - „Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd“ 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?
- Wie wird sich das Bebauungsvorhaben voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken?

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

überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „WorstCase“-Betrachtung dar (Abbildung 1).

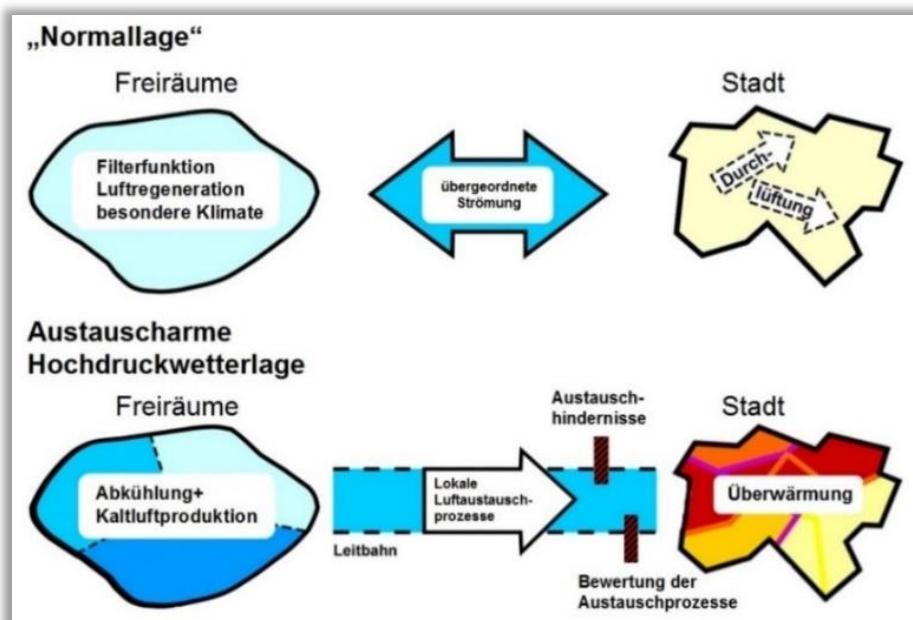


Abb. 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

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

1.1 Grundlagen

Planvorhaben

Die Fläche des „Bebauungsplans Nr. 279 – Mobilitätsdrehscheibe Untere Wöhrd“ befindet sich relativ zentral in Regensburg, auf der Donauinsel Untere Wöhrd nordöstlich der Altstadt und setzt sich im derzeitigen Zustand aus zwei Teilstücken für Parkierungsanlagen zusammen (Abbildung 2). Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich im Norden von der Donaustaufer Straße, der Donaubrücke der B15 im Osten, im Süden endet das Untersuchungsgebiet unterhalb der vom Hauptbahnhof aus nach Osten hin verlaufenden Bahngleise und nach Westen hin entlang der Steinernen Brücke.

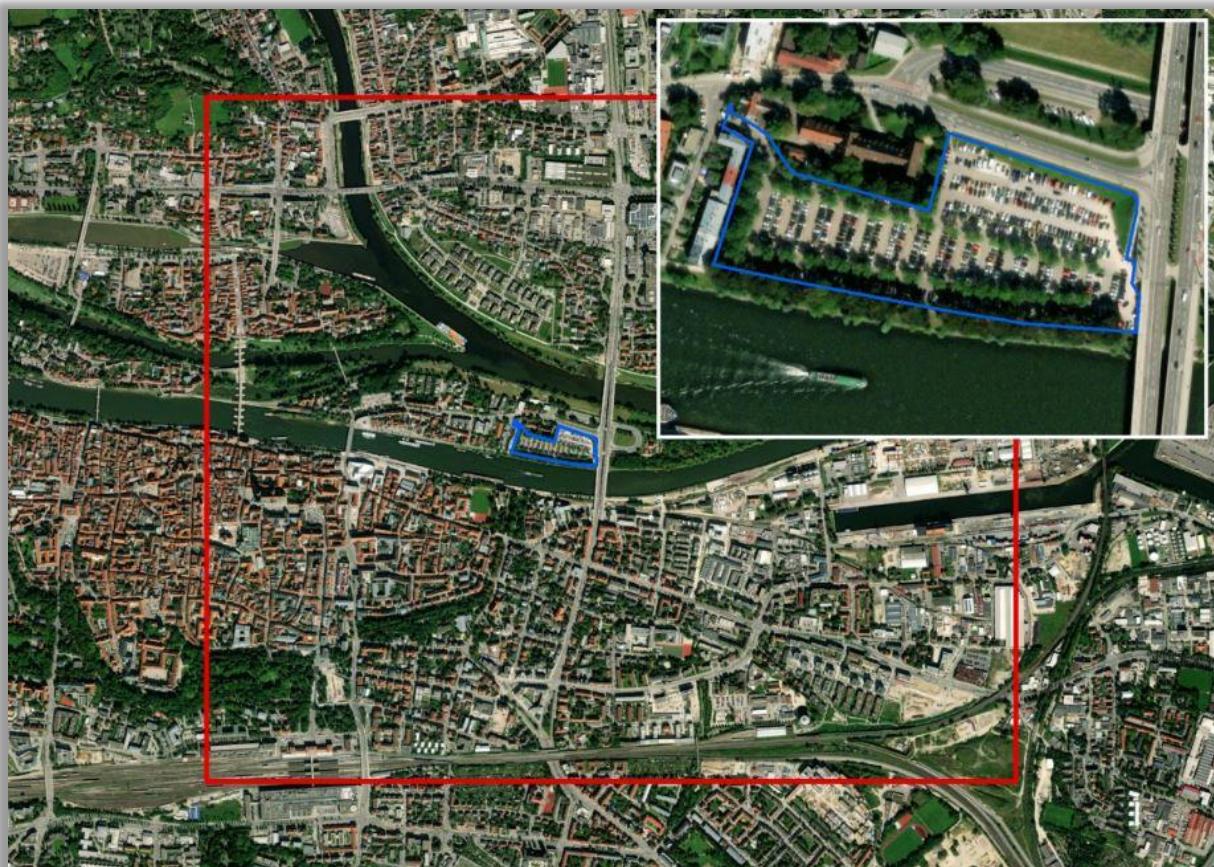
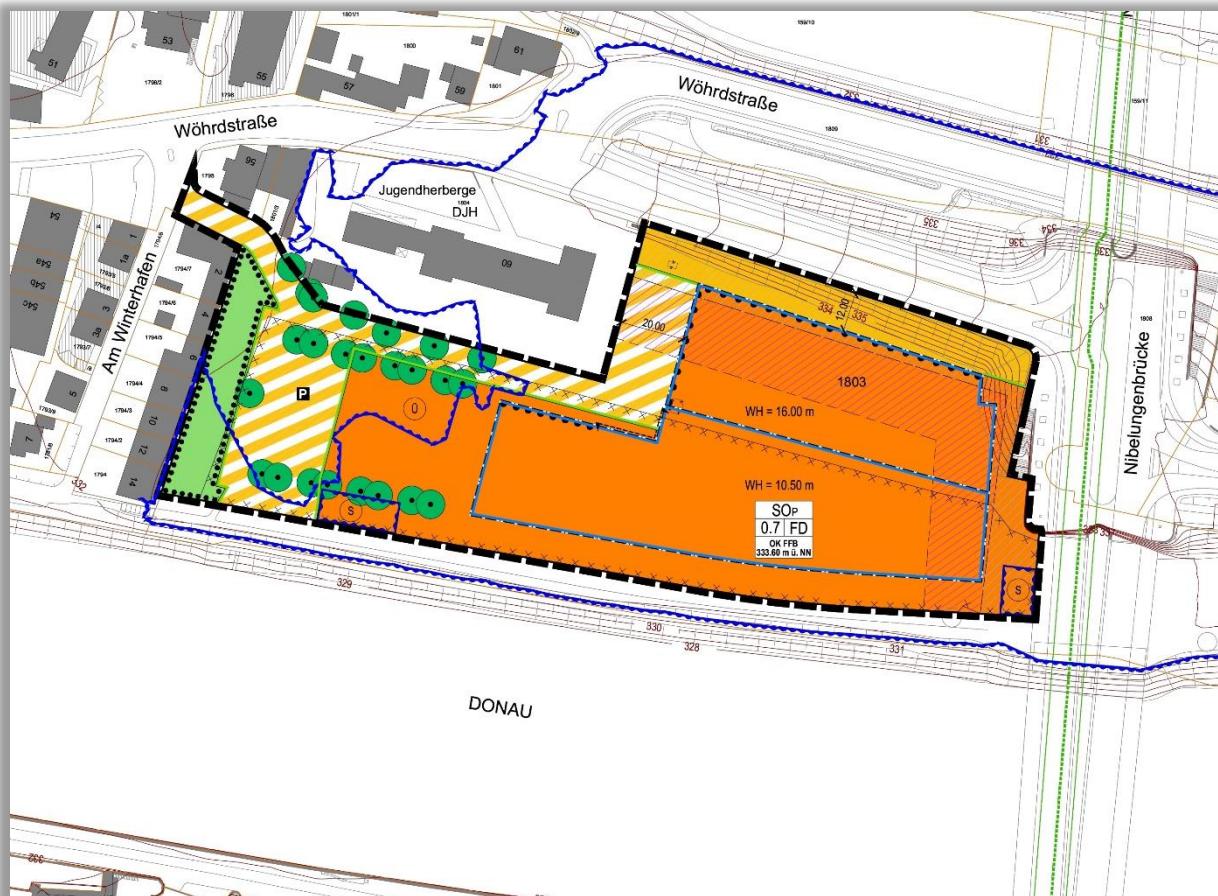


Abbildung 2: Übersichtskarte zum Untersuchungsgebiet (roter Rahmen) sowie zum Status quo des Geltungsbereiches des BP Nr. 279 „Mobilitätsdrehscheibe Untere Wöhrd“ (blauer Rahmen) (Kartenhintergrund: ESRI 2022).

Die Abbildung 3 zeigt den derzeitigen Planungsstand anhand einer Übersichtskarte. Die schwarz-gestrichelte Linie zeigt den Geltungsbereich des Bebauungsgebiets. Die orangene Fläche stellt die Sonderbaufläche dar, auf der die Parkierungsanlage entstehen soll. Die über das Gebiet hinaus verlaufende blau gewellte Umrandung zeigt das festgesetzte Überschwemmungsgebiet. Dabei soll auf der Fläche ein Parkhaus entstehen, dass einen Großteil der Planungsfläche ausmacht. Hier eingezeichnet mit der blauen Umrandung. Für den südlichen Teil des Parkhauses ist eine maximale Gebäudehöhe von 10,5 m und für den nördlichen Teil von 16,0 m vorgesehen. Um das geplante Parkhaus herum sind überwiegend Straßenverkehrsflächen in Form von weiteren Parkmöglichkeiten als Bewohnerstellplätze sowie Zufahrtswegen im Norden und Nordwesten vorgesehen.



Stadtklimaanalyse 2014

Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt der Klimabestandskarte 2014 (BANGERT 2014). Nach dieser befindet sich die Fläche der geplanten FNP-Änderung (roter Kasten) im Bereich „Straßenbereich“ mit teilweise erhöhter Schadstoffemission. Da sich das Plangebiet auf einer kleineren Insel befindet, ist das Umfeld des Gebiets durch *Gewässerklima* mit ganztägiger geringer bis mäßig hoher Ausgleichsleistung geprägt. Darüber hinaus schließt westlich ein von Stadtklima dominierter Siedlungsbereich an, welcher gemeinsam mit dem Änderungsbereich nördlich und östlich von *Parkklima* eingefasst ist. Weiträumiger dominiert nördlich und östlich vorrangig das *Gewerbe- und Industrieklima* sowie stellenweise das *Stadtrand-, Stadt* und *Parkklima*. Südlich und westlich herrscht dagegen überwiegend *Stadt- und Altstadtklima* mit *lokalen thermischen Entlastungsräumen* (roter Stern) sowie gebietsweise *Parkklima mit lokalen thermischen Entlastungsräumen* (grüner Stern).

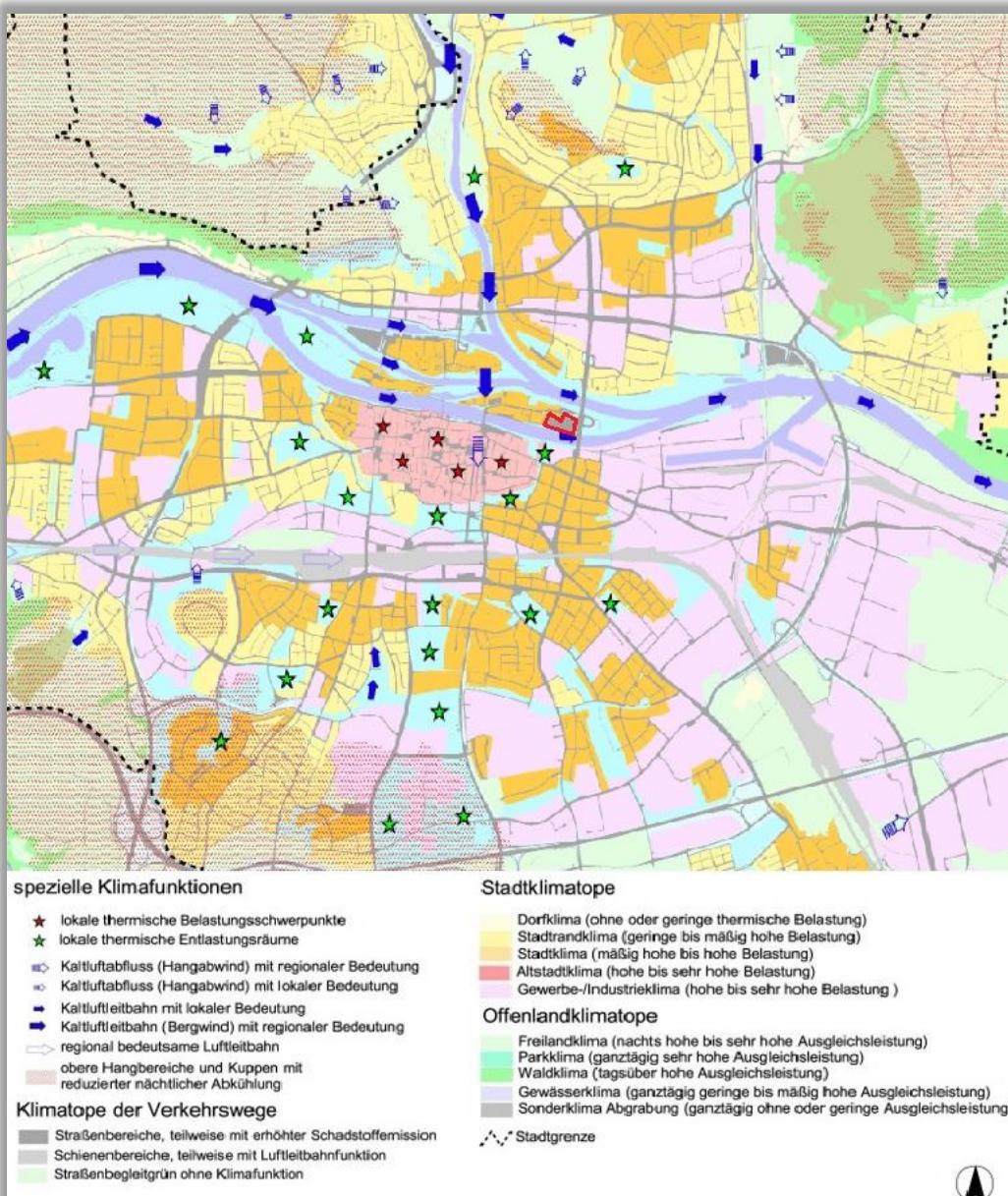


Abbildung 4: Auszug aus der Klimabestandskarte der gesamtstädtischen Klimaanalyse Regensburg 2014 (verändert nach BANGERT 2014).

Jeweils nördlich und südlich des Gebiets befinden sich Kaltluftleitbahnen mit lokaler Bedeutung. Sie verlaufen entlang der Donau von West nach Ost. Westlich des Gebietes verläuft entlang des Regen eine Kaltluftleitbahn mit regionaler Bedeutung von Nord nach Süd. Im Westen befindet sich über der Donau ein lokaler thermischer Entlastungsraum und eine von West nach Ost verlaufende Kaltluftleitbahn mit regionaler Bedeutung.

1.2 Untersuchungsansätze

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

1. den Ist-Zustand im regionalen Modellansatz (Auflösung 10 m):
 - Dieses Szenario dient der Berücksichtigung vom Plangebiet weiter entfernter Siedlungs- und Landschaftsstrukturen. Durch die gröbere Modellauflösung dieses Ansatzes, welche für diesen Zweck allerdings ausreichend ist, kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand eine im Vergleich zu einem rein lokalen Modellansatz deutlich verbesserte Modellgenauigkeit erzielt werden.
2. den Ist-Zustand im lokalen Modellansatz (Auflösung 5 m):
 - Referenz-Szenario zur Untersuchung der klimaökologischen Auswirkungen des Planvorhabens.
3. den Plan-Zustand im lokalen Modellansatz (Auflösung 5 m):
 - Umsetzung des Planvorhabens

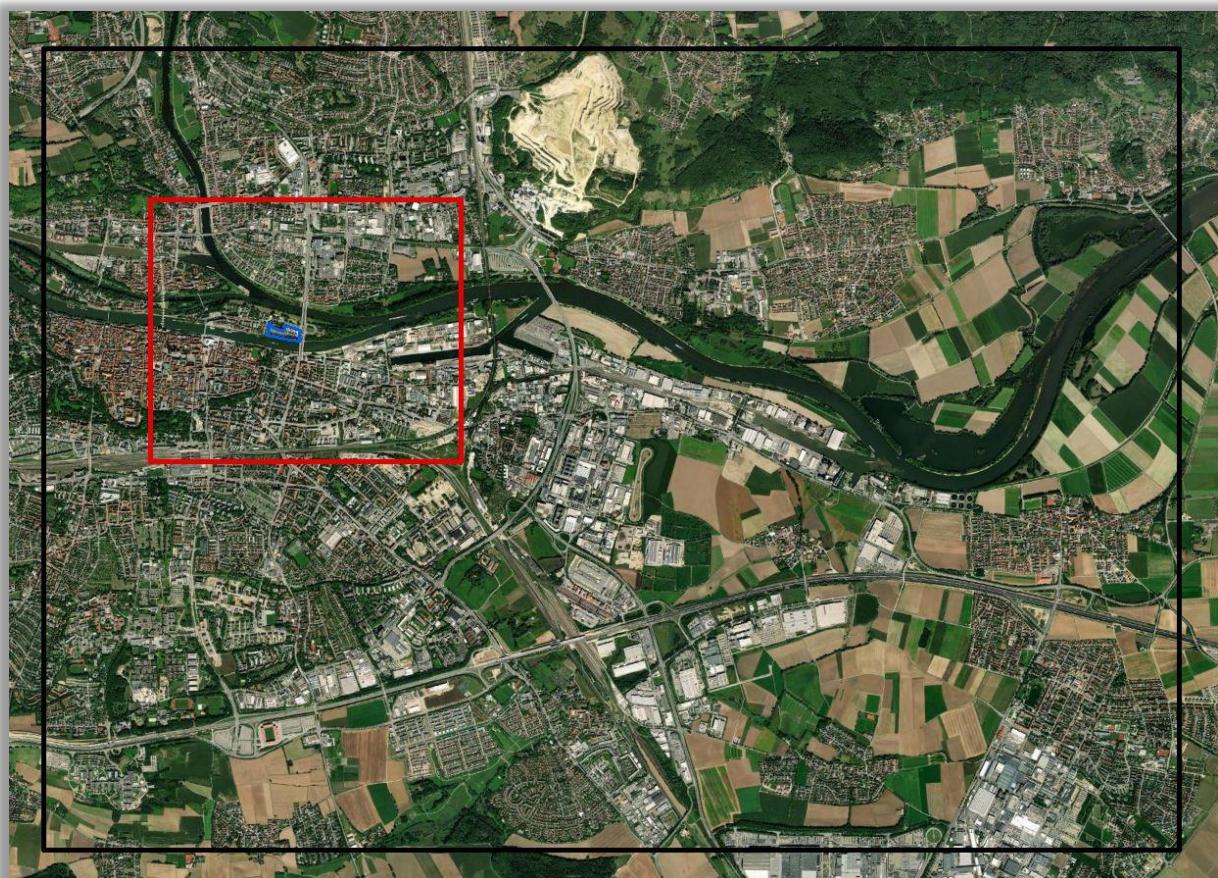


Abbildung 5: Übersicht der untersuchten Modellgebiete (schwarzer Rahmen = regionaler Ansatz; roter Rahmen = lokaler Ansatz; blauer Rahmen = Plangebiet).



2. Methodik

2.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH

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

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

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

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

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

und Effizienz studiert werden können und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

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

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

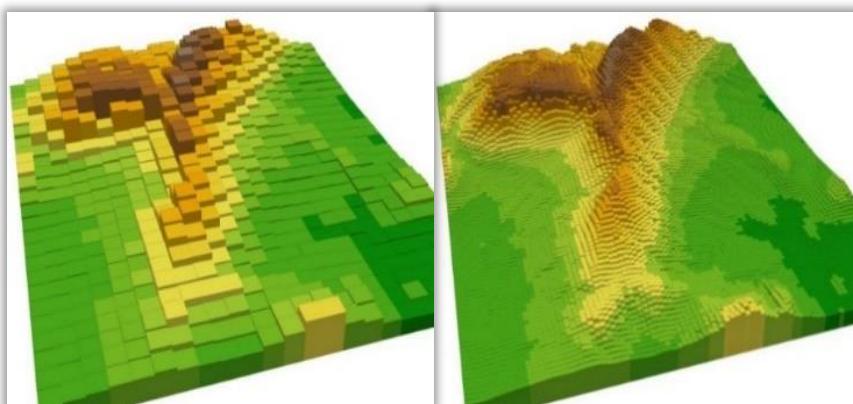


Abbildung 6: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Gelände Höhenmodell.

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

2.2 Modelleingangsdaten

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

Die Modellrechnungen wurden für den Ist-Zustand (lokal und regional) sowie für das Planungs-Szenario (lokal) durchgeführt, um auf dieser Basis die klimaökologischen Auswirkungen der Planvorhaben auswerten und beurteilen zu können. Das gesamte Untersuchungsgebiet des regionalen Ansatzes hat bei einer Abmessung von 9,4 km x 6,4 km eine Fläche von etwa 62 km². Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m ist es möglich, die Gebäudestrukturen sowie Einzelbäume realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den Luftaustausch abzubilden. Noch detaillierter funktioniert dies bei einer Auflösung von 5 m x 5 m, welche für den lokalen Modellansatz verwendet wurde. Das Untersuchungsgebiet des lokalen Modellansatzes umfasst bei einer Abmessung von ca. 2,6 x 2,2 km eine Fläche von ca. 5,5 km².

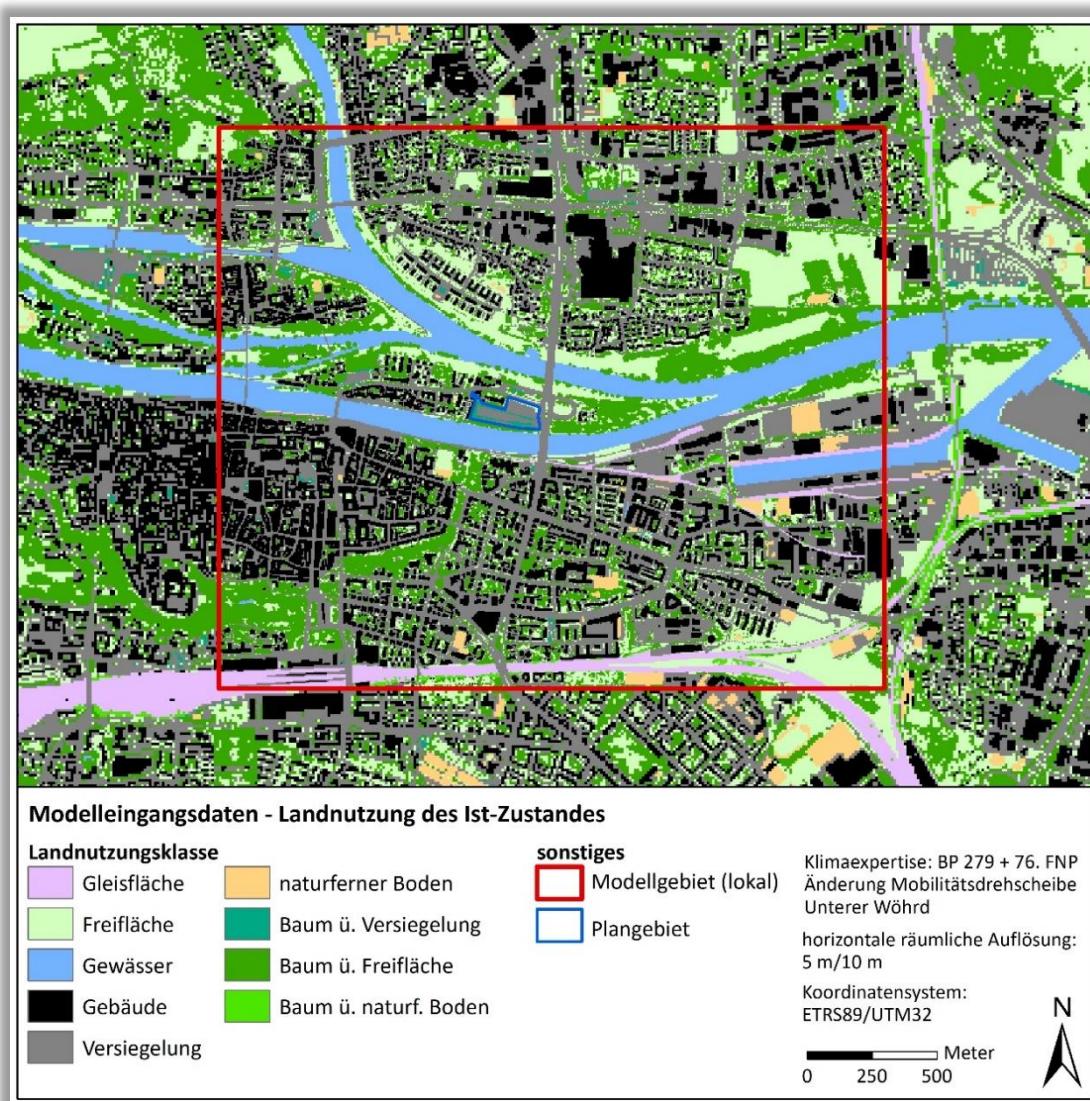


Abbildung 7: Klassifizierte Landnutzung des Ist-Zustandes für den lokalen (innerhalb roter Kasten) und regionalen (außerhalb roter Kasten) Modellansatz in 5 bzw. 10 m-Auflösung.

Die Abbildungen 7 und 8 veranschaulichen die aufbereitete Flächennutzung der drei modellierten Szenarien, wobei in Abbildung 7 innerhalb des lokalen Modellgebietes (roter Kasten) die 5 m- und außerhalb die 10 m-Auflösung dargestellt ist. Die Abbildung 7 dagegen zeigt den aufbereiteten Plan-Zustand in einer stark vergrößerten Ansicht.

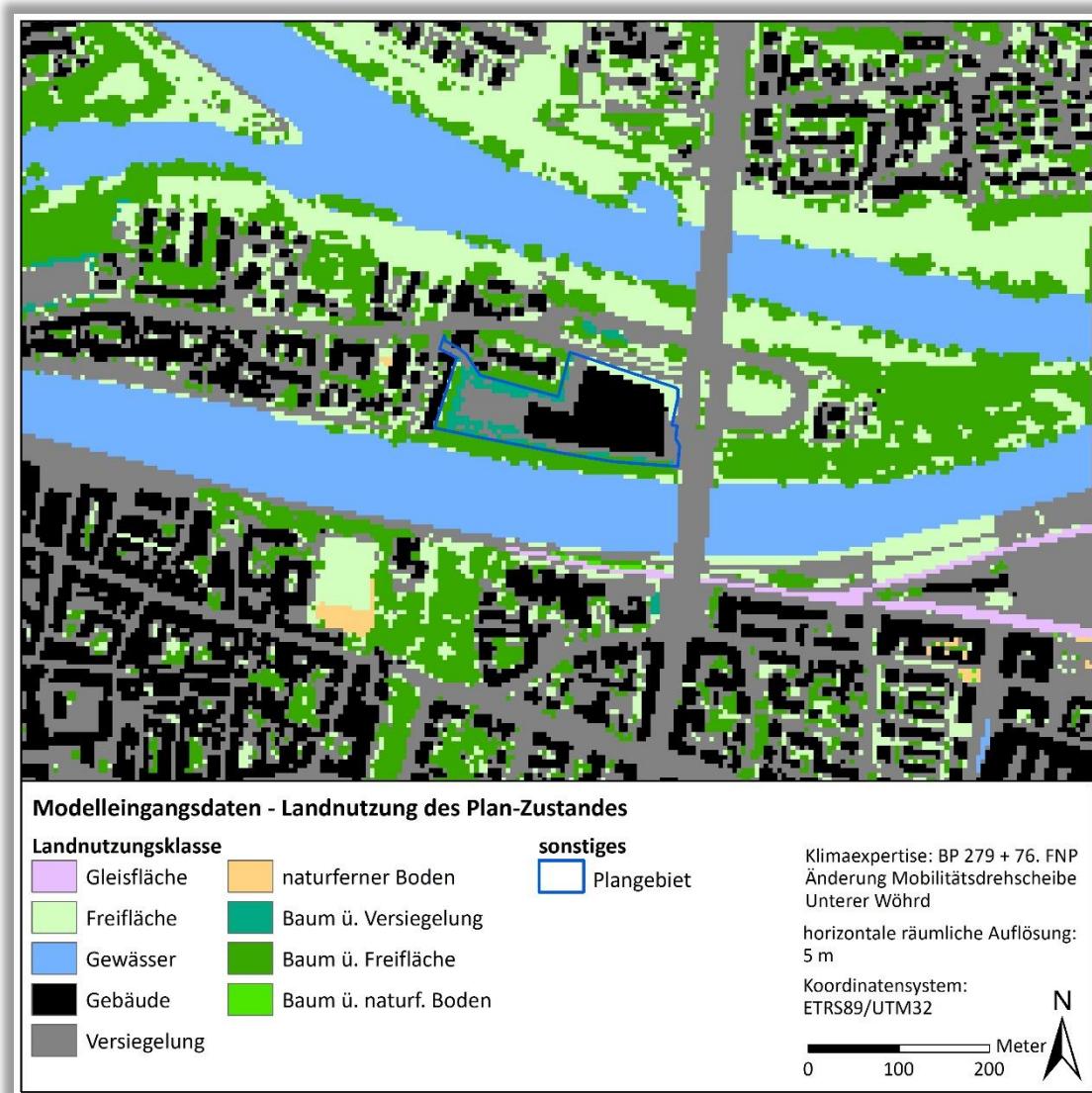


Abbildung 8: Ausschnitt der klassifizierten Landnutzung des Plan-Zustandes in 5 m-Auflösung.

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

Es wird deutlich, dass sich der Untersuchungsraum im weitestgehend flachen Bereich der Donauauen befindet. Am nordwestlichen Rand des Gebietes steigt das Relief in Richtung des Dreifaltigkeitsberges und der Winzerer Höhe auf etwa 410 m über NN an. Im Norden und Nordosten steigt das Relief in Form von Ausläufern des Bayrischen Waldes sowie im Südwesten in Form des Unterbayrischen Hügellandes ebenfalls an. Die größten Geländehöhen treten dabei mit bis zu 476,5 m über NN im Bereich des Bayrischen Waldes auf, wohingegen die niedrigsten Bereiche mit ca. 323 bis 330 m über NN im Nachbereich der

Donau vorzufinden sind. Nach Südosten hin verläuft das umliegende Gebiet weitestgehend flach. Nach Südwesten steigt das Gelände langsam an.

Das Untersuchungsgebiet des lokalen Modellansatzes befindet sich ausschließlich im Bereich der Donauaue und weist somit kaum nennenswerte Geländehöhenunterschiede auf. Lediglich im äußersten Nordwesten beginnt das Gelände leicht anzusteigen. Darüber hinaus stellt nur die westlich des Plangebiets gelegene Nibelungenbrücke eine relevante Geländeerhöhung dar.

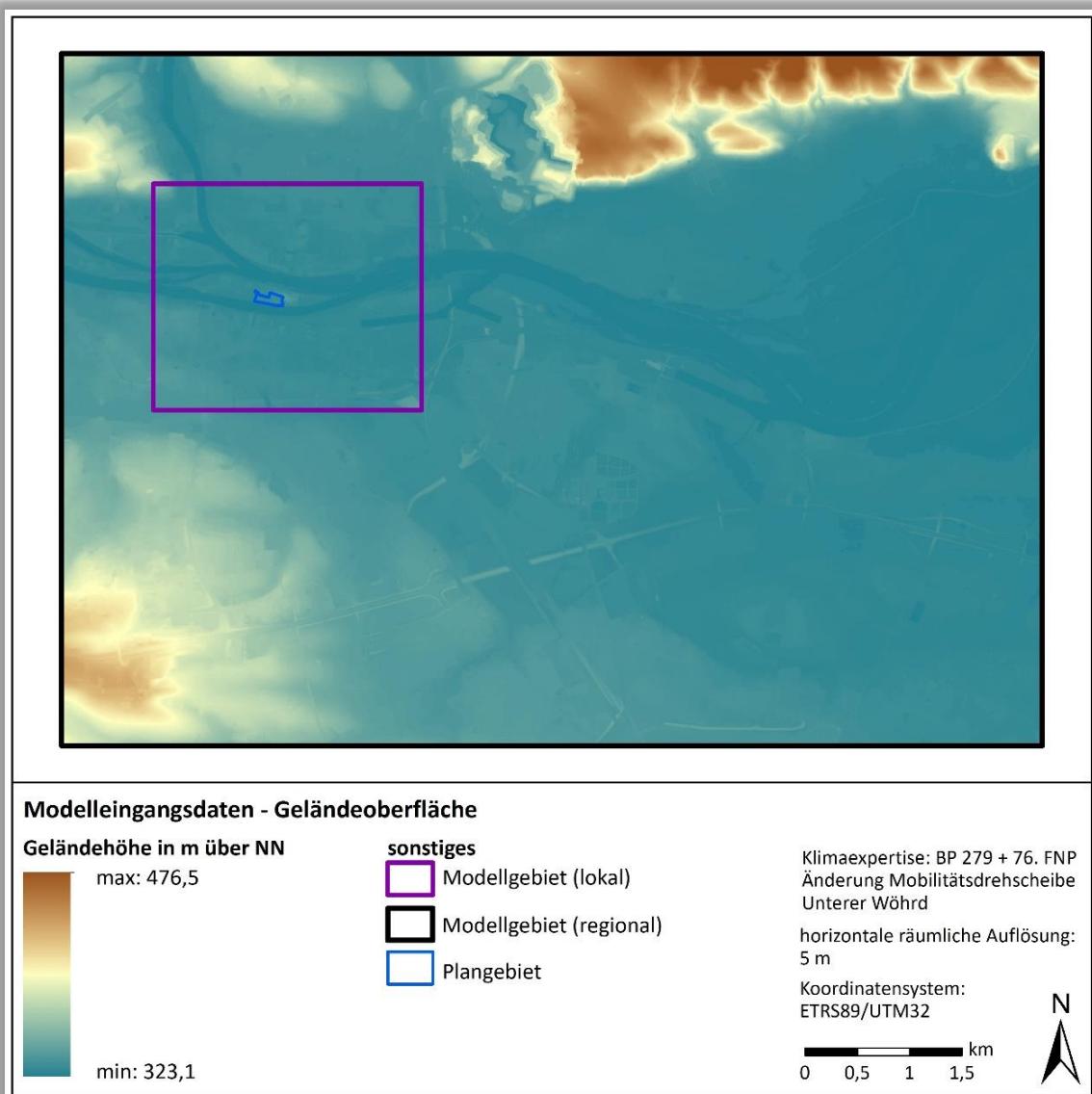


Abbildung 9: Digitales Geländemodell für das regionale und lokale Modellgebiet in 5 m-Auflösung.



2.3 Wetterlage

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Autochthone Wetterlagen treten aber auch in den restlichen Monaten auf. Bei den für das gesamte Stadtgebiet durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen Rahmenbedingungen für eine sommerliche austauscharme Wetterlage wie folgt festgelegt:

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

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



3. Ergebnisse

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

Hinsichtlich der Darstellung der Modellergebnisse erfolgt zu jedem untersuchten Parameter zunächst eine Betrachtung der Ist-Situation des regionalen Modellansatzes. So kann in einem ersten Schritt die derzeitige bioklimatische Situation im Untersuchungsraum beschrieben sowie das Vorhabengebiet in diesem Kontext eingeordnet werden. Im nächsten Schritt erfolgt anhand der Modellergebnisse des lokalen Modellansatzes eine gezielte Betrachtung der aktuellen bioklimatischen Situation des Plangebietes sowie des näheren Umfeldes. Abschließend werden die planungsbedingten Auswirkungen auf den jeweiligen Klimaparameter in Form einer Differenzenkarte dargestellt und hinsichtlich ihrer Bedeutung bzw. Relevanz bewertet.

3.1 Lufttemperatur in der Nacht

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumstemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten.

Ist-Zustand

Die Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der Modellrechnung des regionalen Modellansatzes in Form des nächtlichen Temperaturfeldes um 4 Uhr in einer Höhe von 2 m über Grund. Im gegenwärtigen Zustand zeigt sich im Untersuchungsraum eine heterogene Temperaturverteilung mit Werten von rund 13 bis 15 °C im Bereich von offenen Wiesen- und Ackerflächen sowie dem Kalksteinbruch bis hin zu Werten von 19 bis lokal über 20 °C im Bereich der Altstadt sowie weiteren dicht bebauten bzw. stark versiegelten Siedlungsflächen (z.B. Gewerbegebiete im Osten). Mit ebenfalls 19 bis 20 °C weisen auch Donau und Regen sowie die weiteren Gewässer im Untersuchungsraum eine vergleichsweise hohe nächtliche Überwärmung auf. Wald- und Gehölzstandorte sowie die weniger stark versiegelte Bebauung nehmen mit zumeist 16 bis 18 °C eine Zwischenstellung ein. Das Plangebiet selbst weist aufgrund der Nutzung als Parkplatz und der damit einhergehenden hohen Oberflächenversiegelung ein homogenes Temperaturniveau von durchschnittlich 18,7 °C auf und liegt damit in etwa auf dem Niveau der weiteren Verkehrsflächen.

Die Abbildung 11 stellt die Modellergebnisse zur nächtlichen Lufttemperatur des lokalen Modellansatzes dar. Die Modellergebnisse zeigen dabei eine gute Übereinstimmung zu den Ergebnissen des regionalen Modellansatzes, was die geringe mittlere Abweichung von $-0,08^{\circ}\text{C}$ verdeutlicht. Das Plangebiet selbst weist demnach erwartungsgemäß mit durchschnittlich $18,6^{\circ}\text{C}$ eine weiterhin ähnlich hohe nächtliche Lufttemperatur auf. Durch die nähere Ansicht sind nun auch die schmalen Grünstreifen im Norden und Westen des Plangebietes besser sichtbar. Diese stellen mit rund 16 bis 18°C die kühlssten Flächen des Plangebietes dar. Im näheren Umfeld stechen temperaturtechnisch vor allem die Flussarme der Donau hervor, welche dadurch und aufgrund der Insellage des Plangebietes einen wesentlichen Einfluss auf dieses ausüben. Dies zeigt sich vor allem anhand der nachfolgend dargestellten Modellergebnisse zum Kaltluftprozessgeschehen (Kap. 3.2) und der Wärmebelastung am Tag (Kap. 3.3).

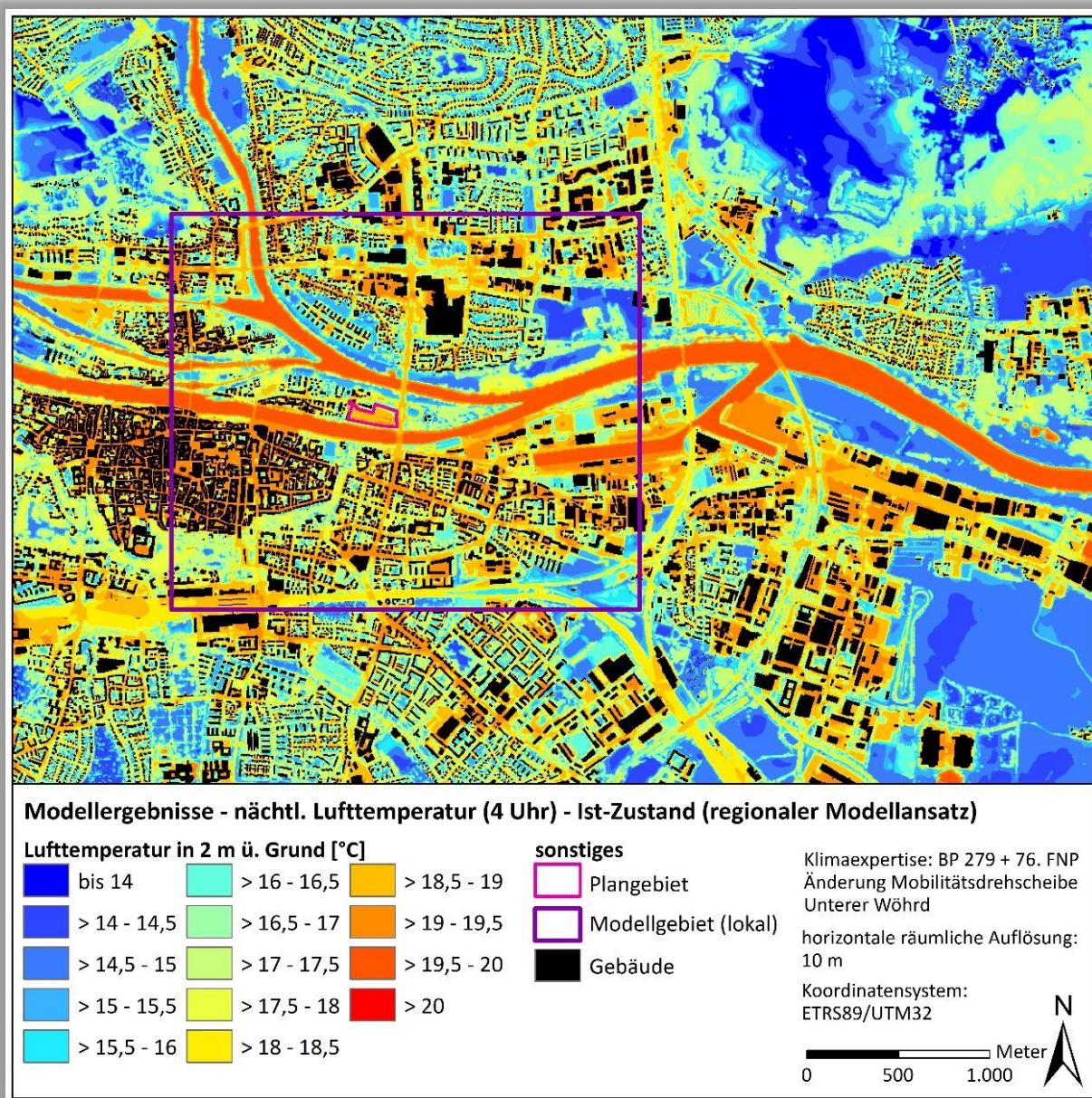


Abbildung 10: Ausprägung der nächtlichen Lufttemperatur im Ist-Zustand (regionaler Modellansatz).

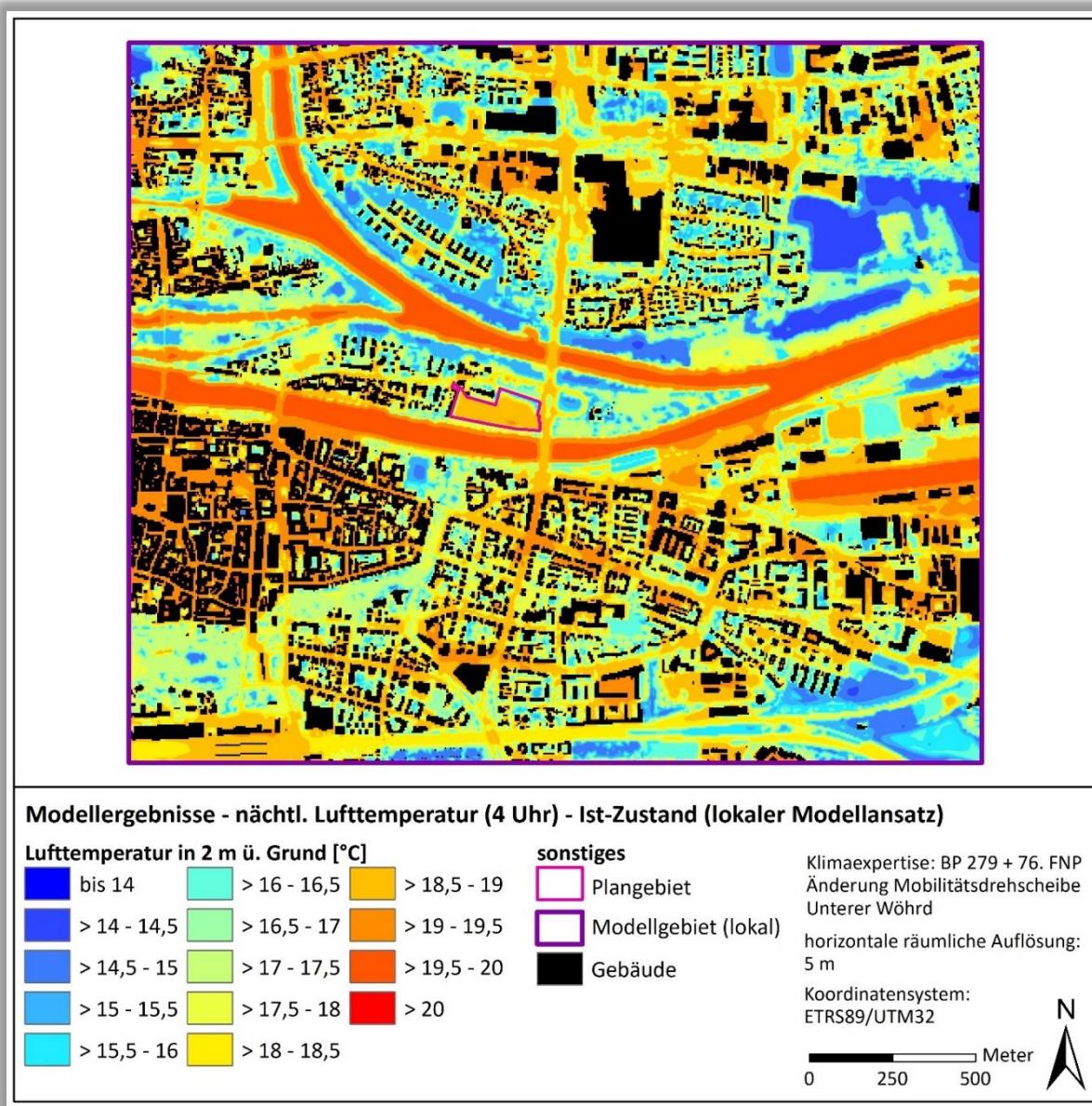


Abbildung 11: Ausprägung der nächtlichen Lufttemperatur im Ist-Zustand (lokaler Modellansatz).

Plan-Zustand und Differenz (lokaler Modellansatz)

Die Abbildung 12 stellt zum einen die Modellergebnisse des Plan-Zustandes und darüber hinaus die Differenz zwischen dem Ist- und Plan-Zustand dar. Die Karten zeigen, dass mit Umsetzung des geplanten Bauvorhabens hinsichtlich der modellierten nächtlichen Lufttemperatur nur von geringen Auswirkungen auszugehen ist. So zeigt sich auch im Plan-Zustand eine Lufttemperatur von knapp unter 19 °C im Bereich der versiegelten Verkehrsflächen. Im Mittel ist innerhalb des Plangebietes sogar von einer um 0,3 K geringeren Lufttemperaturauszugehen, wobei zu berücksichtigen ist, dass für die Fläche des Parkhauses keine Temperaturwerte für 2 m über Grund zur Verfügung stehen und somit der Grünflächenanteil an Gewicht gewinnt. Eine Verringerung der nächtlichen Lufttemperatur ist wie vor allem im nördlichen Randbereich des Plangebietes zu beobachten. Hier reduzieren sich die Temperaturwerte lokal um bis zu 1,1 K, wobei sich ein Großteil der Reduktionen im Bereich von -0,1 bis -0,5 K bewegen. Betroffen von diesen Temperaturabnahmen sind neben dem nördlichen Grünstreifen auch die Wöhrdstraße sowie der kleine Parkplatz

nördlich des Plangebiets inklusive des angrenzenden Grünstreifens. Den Temperaturabnahmen stehen nur in sehr geringem Maße planungsbedingte Temperaturerhöhungen gegenüber. So ist im Bereich der nördlichen Zufahrt aufgrund der Neuversiegelung von einer lokalen Temperaturzunahme auszugehen, welche aber nicht über die Grenzen des Plangebiets hinauswirken.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch Umsetzung des Planvorhabens von keinen nachteiligen Auswirkungen auf das nächtliche Temperaturfeld innerhalb sowie außerhalb des Plangebiets auszugehen ist.

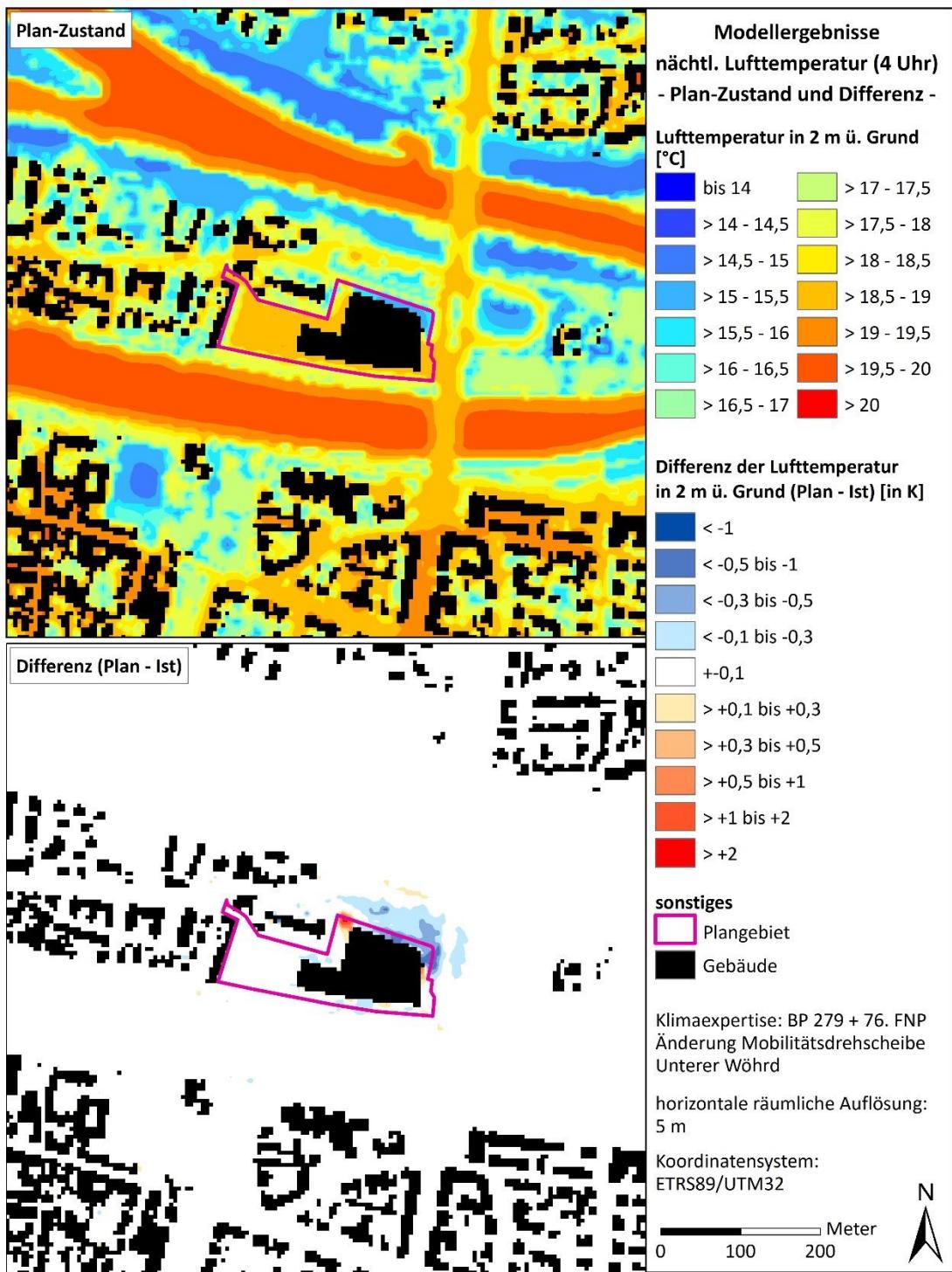


Abbildung 12: Ausprägung der nächtl. Lufttemperatur im Plan-Zustand sowie dessen Differenz zum Ist-Zustand.

3.2 Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht

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

Den lokalen thermischen Windsystemen kommt eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer Grünfläche als Kaltluftentstehungsgebiet nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die Höhe der Kaltluft-schicht) mitbestimmt wird, wird zur Beurteilung der klimatischen Ausgangssituation mit dem Kaltluftvolumenstrom ein weiterer Parameter herangezogen (Abb. 13). Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom. Der Volumenstrom ist ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes.

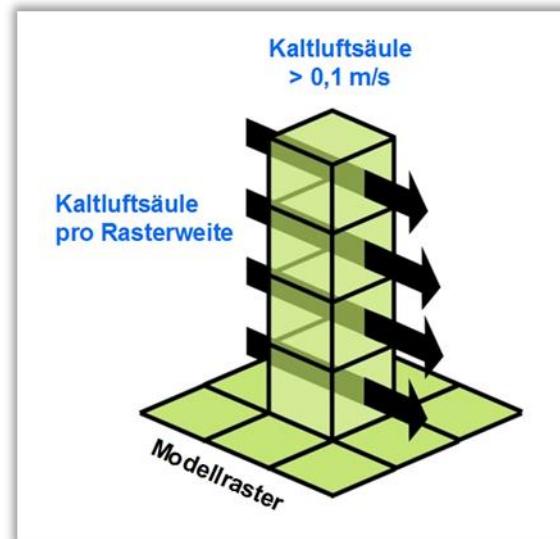


Abb. 13: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.

Ist-Zustand

Die Abbildung 14 zeigt die Modellergebnisse des regionalen Modellansatzes zum modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstrom. Die Werte reichen dabei von deutlich über $40 \text{ m}^3/(\text{s} * \text{m})$ in reliefstarken Hangbereichen (z.B. Ausläufer des Bayerischen Waldes und Dreifaltigkeitsberg) bis unter $5 \text{ m}^3/(\text{s} * \text{m})$ in reliefarmen und gleichzeitig dicht bebauten bzw. mit Bäumen bestandenen Flächen. Ebenfalls überdurchschnittlich hohe Kaltluftvolumenströme sind häufig im Bereich rauigkeitsarmer Landnutzungen wie Freiflächen, Gleisanlagen und Verkehrsflächen zu beobachten. Dies zeigt sich beispielsweise östlich

der Gewerbegebäuden im Südosten (nördlich Kremser Str.), südlich der Walhalla-Alle, den Gleisanlagen im Umfeld des Hauptbahnhofs sowie im Bereich vieler Uferwiesen entlang der Donau und Regen. Eine weitere Voraussetzung in diesem Zusammenhang ist eine räumliche Nähe zu überwärmteten Siedlungs- oder Gewässerflächen. Bei Betrachtung der Modellergebnisse des lokalen Modellansatzes (Abb. 15) werden zudem erhöhte Kaltluftvolumenströme im Bereich einiger Verkehrsflächen wie z.B. der Maximilianstr., der nördlichen Weißenburgstr. (B15) und St. Georg-Platz sichtbar. Die Reichweite der Kaltluftströmung ist hierbei aufgrund der relativ geringen Breite der Straßenzüge i.d.R. auf wenige hundert Meter begrenzt. Das Plangebiet selbst zeigt mit einem Durchschnittswert von $14,5 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ eine insgesamt mäßige Kaltluftdynamik und wird bodennah aufgrund der durch den Baumbestand ausgeübten Hinderniswirkung kaum durchlüftet, wobei generell von einer nach Süden gerichteten Kaltluftströmung auszugehen ist. Dies wird neben den Pfeilsignaturen vor allem anhand der nachfolgenden Betrachtung der vorhabenbedingten Auswirkungen deutlich.

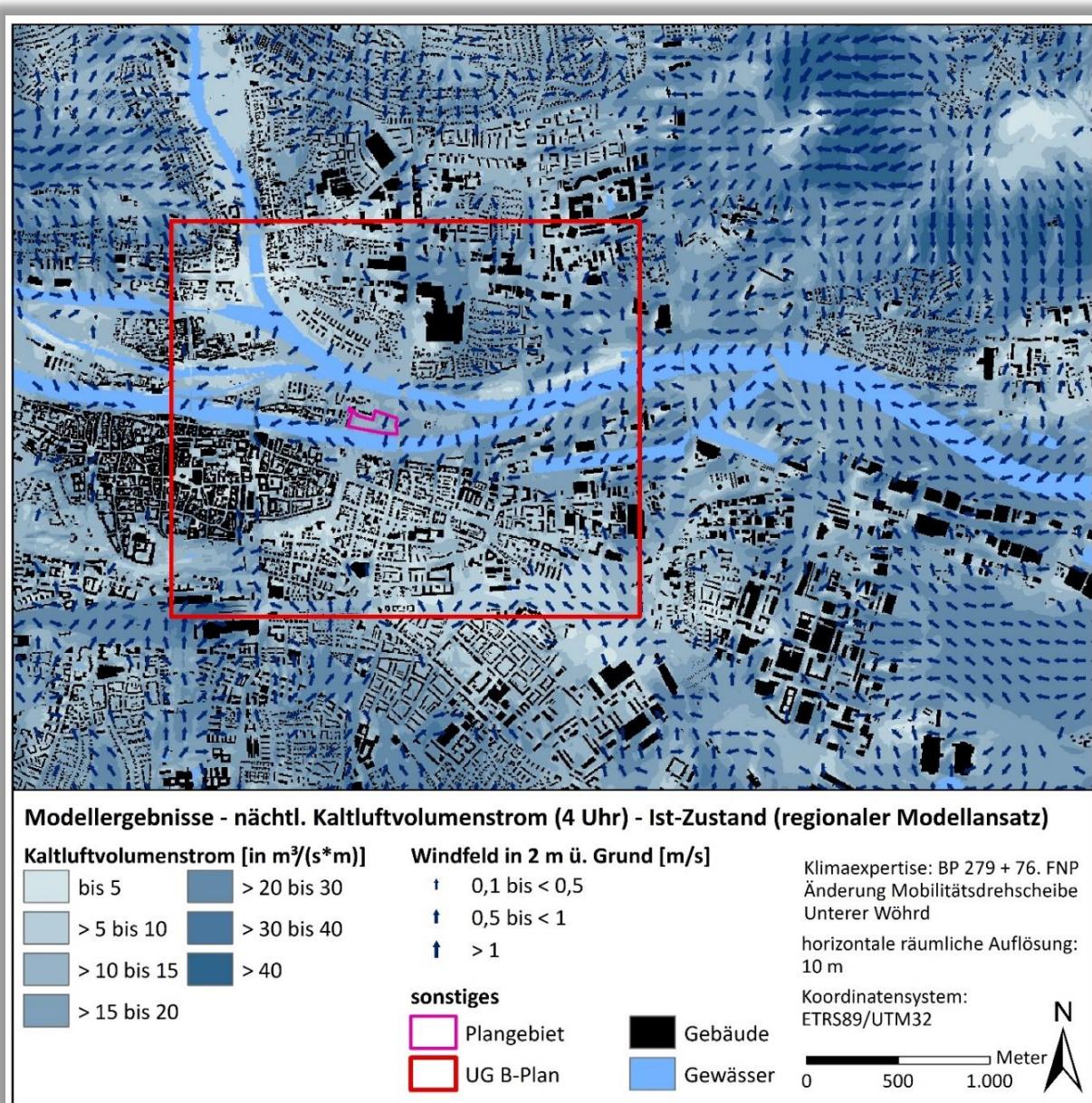


Abbildung 14: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Ist-Zustand (regionaler Modellansatz).

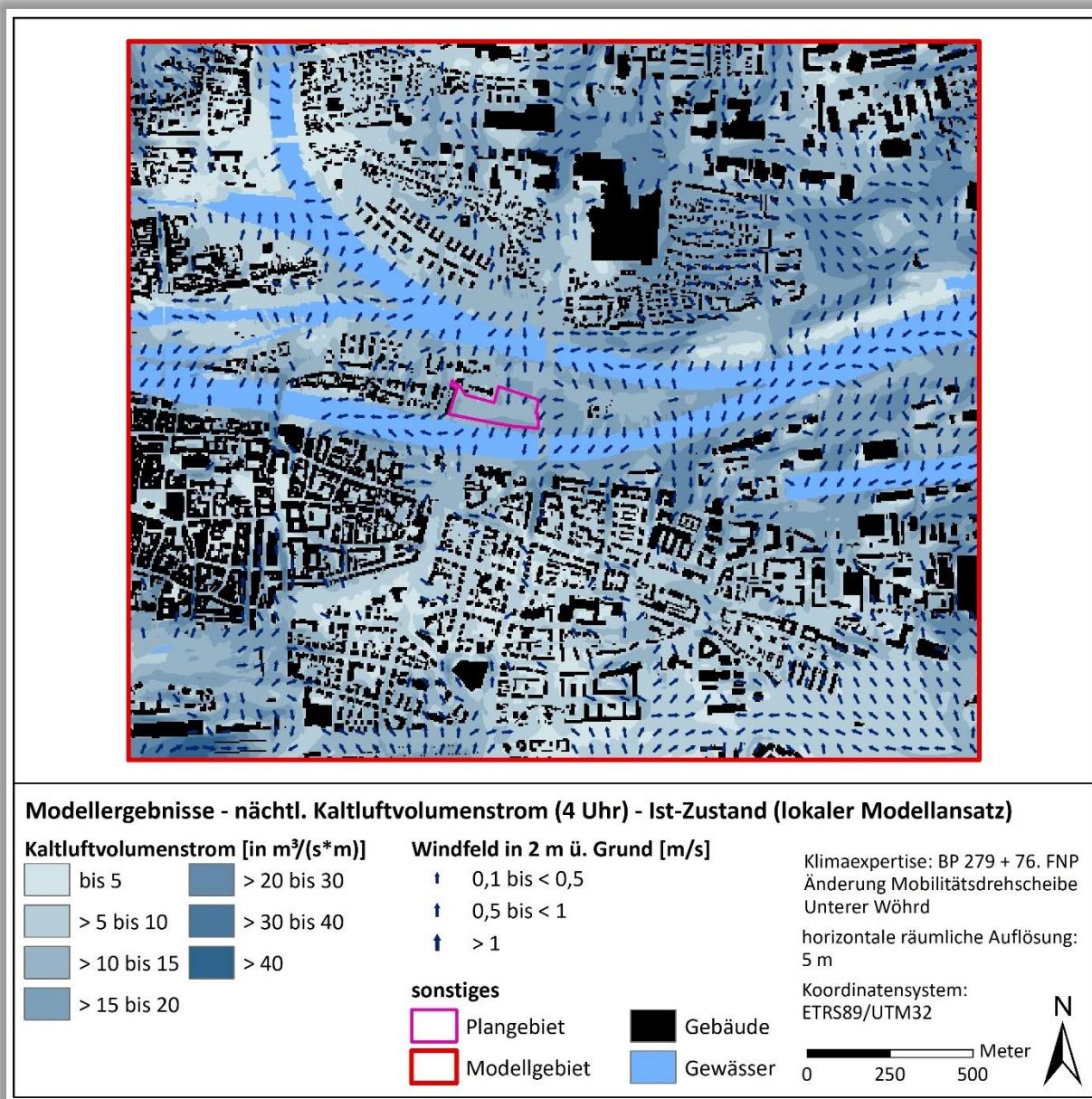


Abbildung 15: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Ist-Zustand (lokaler Modellansatz).

Plan-Zustand und Differenz

Abbildung 16 zeigt im oberen Teil den modellierten Kaltluftvolumenstrom des Plan-Zustandes anhand des lokalen Modellansatzes und im unteren Teil die Differenz zwischen dem Ist- und Plan-Zustand. Dabei ist zu beachten, dass anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe gibt. Lediglich in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, dass eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 % im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten als „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ ausweist. Eine Verringerung um 5 bis 10 % wird als „mäßige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 % wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen. Entsprechend dieser Vorgabe werden bei der Differenzenkarte anstatt der ansonsten betrachteten Absolutwerte

die prozentualen Abweichungen dargestellt, wobei die gelbe bis rote Farbgebung eine Abnahme und die abgestuften Blautöne eine Zunahme des Kaltluftvolumenstroms signalisieren.

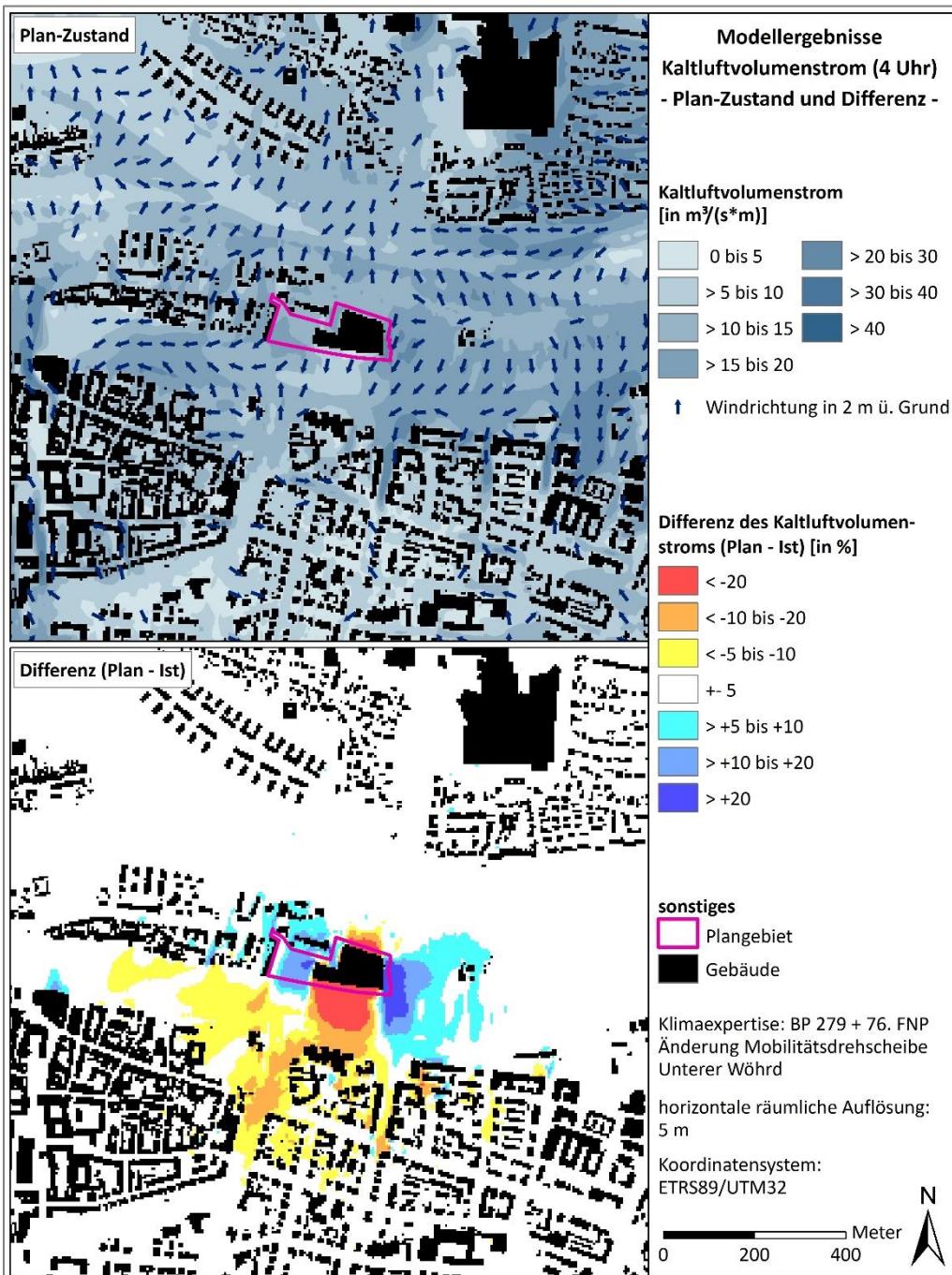


Abbildung 16: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Plan-Zustand sowie dessen Differenz zum Ist-Zustand (lokaler Modellansatz).

Durch die Umsetzung des Planvorhabens und des damit einhergehenden zusätzlichen Strömungshindernisses reduziert sich der Kaltluftvolumenstrom innerhalb des Plangebietes von durchschnittlich 14,5 auf 10,5 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$. Dies ist auf den in der Differenzenkarte deutlich sichtbaren Windschatteneffekt zurückzuführen. So reduziert sich der Kaltluftvolumenstrom sowohl im Lee und Luv des Parkhauses als auch für die Grundfläche des geplanten Baukörpers um bis zu 85 %, wobei die Reduktionen mit zunehmender Entfernung sukzessive abnehmen. Die Reichweite des Windschattens beträgt dabei gut 400 m (bezogen auf eine

Reduktion von mind. 5 %) und tangiert damit insbesondere den Villapark sowie die Bebauung zwischen Weißenburgstraße und Villapark bis hin zur Reichsstraße. Neben den Reduktionen werden in der Differenzenkarte auch Bereiche mit teils deutlichen Erhöhungen des Kaltluftvolumenstroms sichtbar. Diese kommen im Wesentlichen durch Umlenkungseffekte zustande und betreffen insbesondere die Flächen östlich westlich des geplanten Parkhauses.

Da die Bebauung innerhalb des Auswirkungsbereichs unterschiedlich stark betroffen ist, wurden für eine gezielte Bewertung die betroffenen Siedlungsflächen in Blockflächen unterteilt, für welche wiederum die durchschnittliche prozentuale Zu- bzw. Abnahme des Kaltluftvolumenstroms berechnet wurde. Anhand der Abbildung 17 wird deutlich, dass lediglich das Grundstück der AOK Geschäftsstelle von einer Reduktion > 10% betroffen ist (-12,5 %), da es sich hierbei allerdings um keine in der Nachtsituation relevante Bebauung handelt (kein Schlafumfeld), sind diese Auswirkungen als unkritisch einzustufen. Darüber hinaus sind lediglich „mäßige“ (-5,4 bis -7,2%) sowie geringfügige (-1,2 bis -3,8 %) nachteilige Auswirkungen auf Blockflächenebene zu verzeichnen.

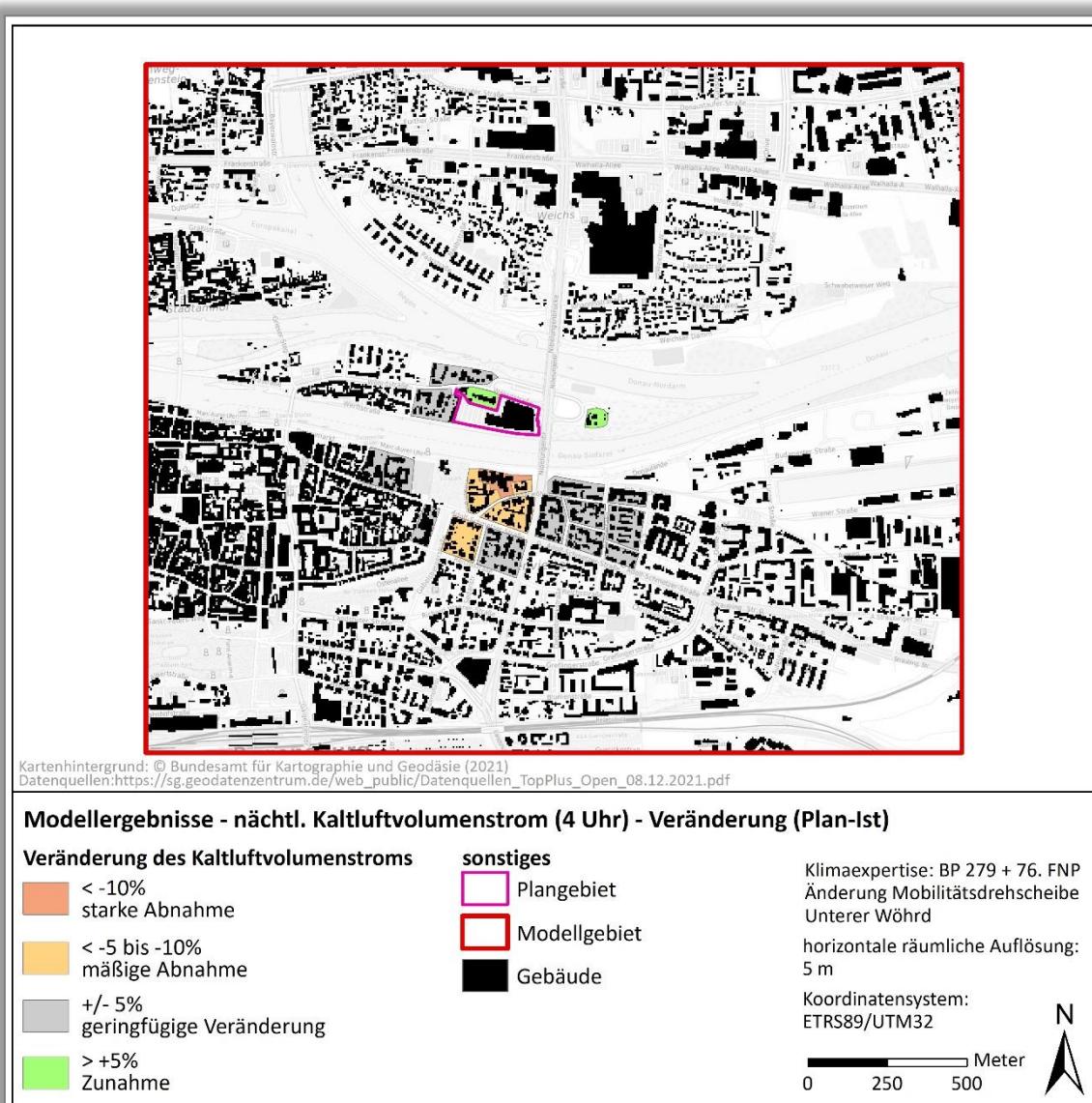


Abbildung 17: Bewertung der Verminderung des Kaltluftvolumenstroms auf die angrenzenden bewohnten Siedlungsflächen durch eine Flächenbilanzierung.

Auswirkungen auf die bodennahe Kaltluftströmung

Abbildung 18 stellt eine gesonderte Darstellung der Auswirkungen auf das bodennahe Strömungsfeld dar. Dabei zeigt sich, dass im Gegensatz zum Kaltluftvolumenstrom kaum nennenswerte Auswirkungen zu erwarten sind. So ist zwar ein relativ deutlicher Stauseffekt nördlich des geplanten Parkhauses zu verzeichnen. Dieser wirkt sich allerdings nicht auf umliegende Siedlungsflächen aus. Die planungsbedingten Auswirkungen auf das bodennahe Strömungsfeld sind demnach als unkritisch einzustufen.

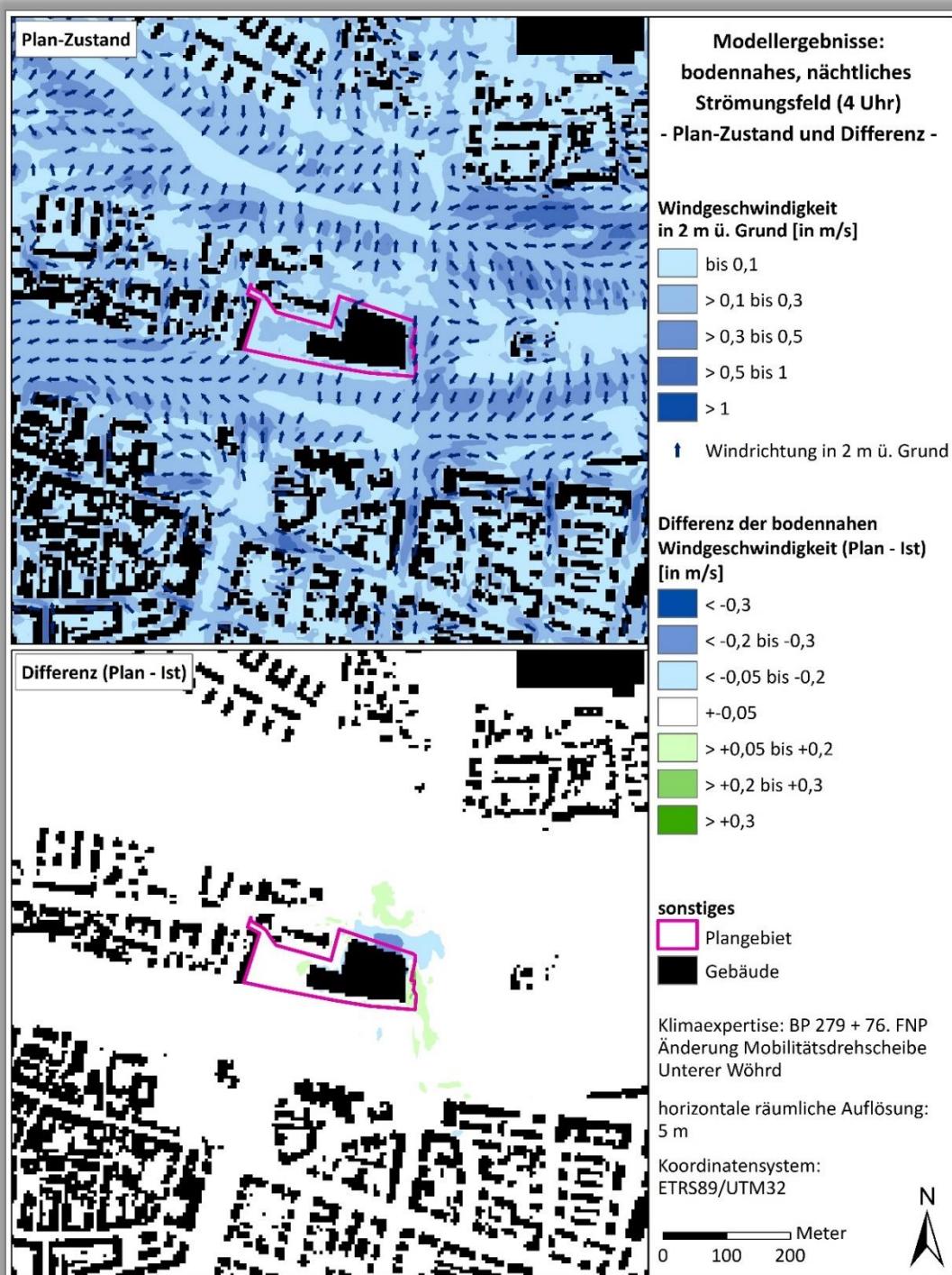


Abbildung 18: Ausprägung der bodennahen Kaltluftströmung im Plan-Zustand sowie dessen Differenz zum Ist-Zustand (lokaler Modellansatz).

3.3 Wärmebelastung am Tag

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

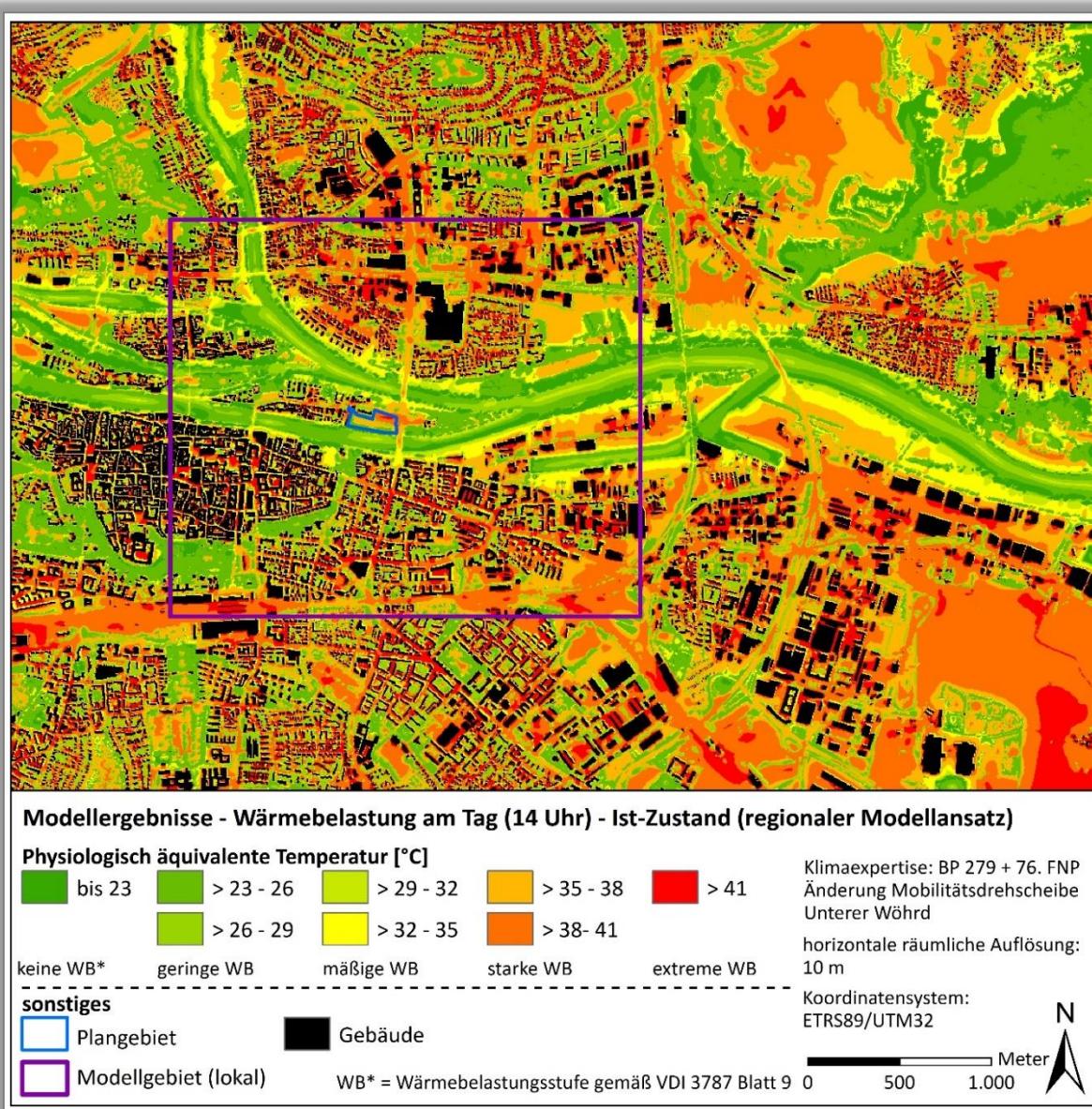


Abbildung 19: Ausprägung der Physiologisch äquivalenten Temperatur im Ist-Zustand (regionaler Modellansatz).

Die Abbildung 19 zeigt die räumliche Verteilung der PET um 14 Uhr in 1,1 m über Grund für die derzeitige Situation (Ist-Zustand) in Form der Modellergebnisse des regionalen Modellansatzes. Dabei zeigen sich starke bis extreme Wärmebelastungen im Bereich unverschatteter Frei- und Siedlungsflächen, wohingegen geringere Wärmebelastungen vorwiegend in durch Baum- oder Gebäudeschatten begünstigten

Bereichen auftreten. Darüber hinaus geht auch von den Gewässern eine deutliche Kühlwirkung aus, welche in den Uferbereichen der Flüsse Donau und Regen auch stellenweise bis zu 200 m über die Gewässerfläche hinaus wirkt. Dies zeigt sich vor allem am Südufer der Donau östlich des Ölhauses.

Innerhalb des Plangebietes zeigen die Modellergebnisse für den Ist-Zustand (Abb. 20) eine starke bis extreme Wärmebelastung im Bereich der unverschatteten Parkierungsflächen, wobei vor allem der nordöstliche Parkplatz aufgrund des Fehlens schattenspendender Elemente eine teils extreme Wärmebelastung ($PET > 41^{\circ}\text{C}$) aufweist. Der Süden und Westen des Plangebiets zeigt dagegen eine aufgrund des Baumbestands und Nähe zur Donau deutlich gedämpfte Wärmebelastung. Starke Wärmebelastungen von bis zu $37,5^{\circ}\text{C}$ treten im Bereich der zentralen Parkplatzflächen allerdings ebenfalls auf.

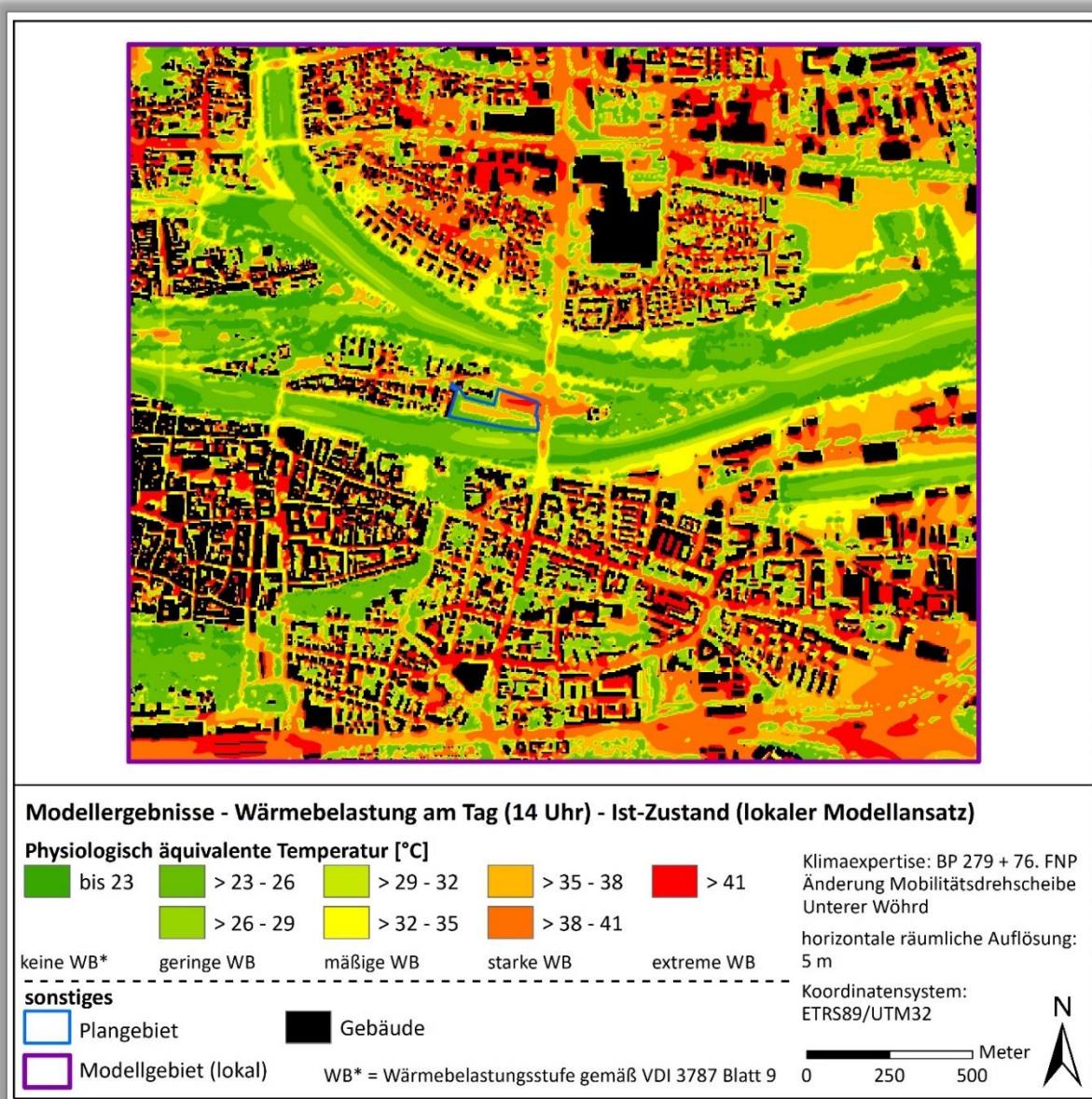


Abbildung 20: Ausprägung der Physiologisch äquivalenten Temperatur im Ist-Zustand (lokaler Modellansatz).

Mit Umsetzung des Planvorhabens sind aufgrund des geplanten Gebäudekörpers für einen Großteil des östlichen und mittleren Plangebiets keine PET-Werte mehr vorhanden. Für die verbliebenen Bereiche zeigt sich am nördlichen und östlichen Gebietsrand aufgrund des Gebäude schattens eine teils deutliche

Abnahme der Wärmebelastung von bis zu $-7,5^{\circ}\text{C}$, wohingegen entlang der Südfassade des Parkhauses eine Erhöhung der PET von bis $+7,8^{\circ}\text{C}$ zu verzeichnen ist (Abbildung 21). Aufgrund der Bestandsbäume am südlichen Rand des Plangebietes ist hier allerdings weiterhin von einer weitestgehend geringen bis mäßigen Wärmebelastung auszugehen. Weitere Zunahmen der PET sind zudem dort zu erwarten, wo Bestandsbäume aufgrund des Neubaus wegfallen.

Außerhalb des Plangebiets ist nur mit sehr geringfügigen Auswirkungen zu rechnen. So ist in bis zu 100 m Entfernung zum Plangebiet lokal mit leichten Verringerungen (bis $-1,8^{\circ}\text{C}$) und Zunahmen (bis $+1,6^{\circ}\text{C}$) zu rechnen, wobei die Abnahmen insgesamt überwiegen. Umliegende Siedlungslagen sind von diesen Auswirkungen nicht betroffen.

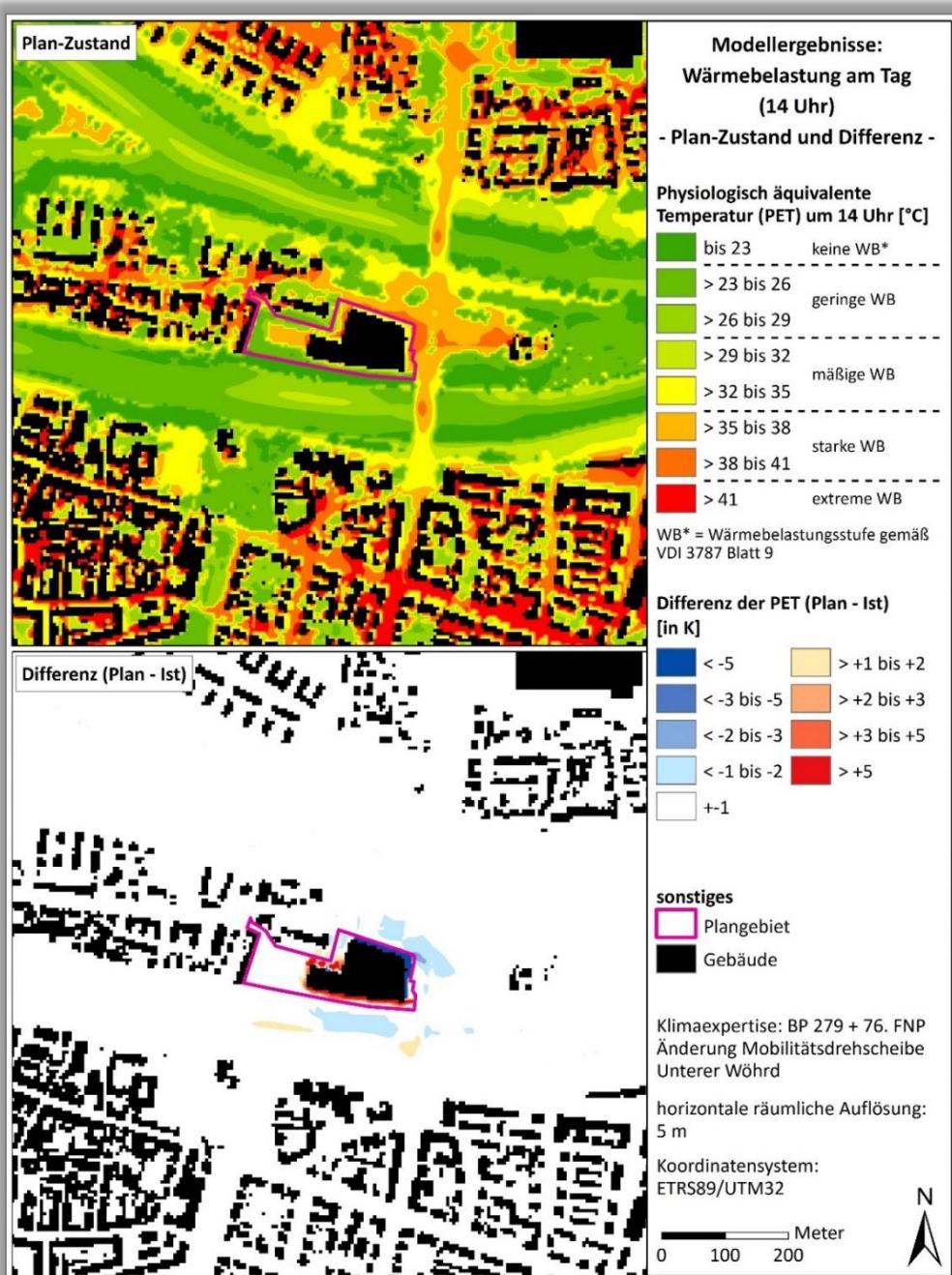


Abbildung 21: Physiologisch äquivalente Temperatur im Plan-Zustand und dessen Differenz zum Ist-Zustand.



4. Schlussfolgerung und planerische Hinweise

In der vorliegenden Analyse wurden die klimaökologischen Auswirkungen, welche durch die Umsetzung der Planungen zur „Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd“ in der Stadt Regensburg zu erwarten sind, untersucht. Hierbei wurde der Fokus sowohl auf das Vorhabengebiet selbst als auch auf die umliegenden Siedlungslagen gelegt. Die Modellergebnisse zu den untersuchten klimaökologischen Parametern (nächtliche Lufttemperatur, nächtliche Kaltluftströmung und Physiologisch äquivalente Temperatur) zeigen dabei in der Gesamtbetrachtung nur geringfügige vorhabenbedingte Auswirkungen. Lediglich hinsichtlich des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms ist mit siedlungsrelevanten Beeinträchtigungen zu rechnen, welche sich auf das als Strömungshindernis fungierende geplante Parkhaus zurückführen lassen. Die auf Blockflächenebene stattgefundene Bewertung zeigte dabei allerdings eine laut VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) maximal „mäßige“ Beeinträchtigung, welche aus klimaökologischer Sicht als vertretbar einzustufen ist. „Starke“ Auswirkungen sind nur im Bereich gewerblich genutzter Bebauung zu erwarten, welche allerdings in der Nachtsituation aufgrund des fehlenden Schutzes Nachtschlaf keine wesentliche Relevanz besitzt. Darüber hinaus sind keine klimaökologischen Auswirkungen auf umliegende Siedlungslagen zu erwarten.

Innerhalb des Plangebiets ist auch nach Umsetzung des Planvorhabens stellenweise von einer starken Wärmebelastung im Bereich der unverschatteten Parkierungsflächen auszugehen. Dieser kann durch relativ einfach umzusetzende Maßnahmen entgegengewirkt werden. So bieten sich neben ergänzenden Baumpflanzungen auch Parkplatzüberdachungen an, welche ggf. durch Dachbegrünungen und/oder Photovoltaikanlagen ergänzt werden können. Auch für die Dachfläche des Parkhauses bzw. das ggf. vorgesehenen offene Parkdeck kann auf diese Weise klimaökologisch optimiert gestaltet werden.

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit stellt die Verwendung geeigneter Baumaterialien. So können helle Anstriche dazu beitragen, der Aufheizung von versiegelten Oberflächen und Gebäuden am Tage entgegenzuwirken, so dass sie nachts weniger Wärme an ihre Umgebung abgeben. Gleiches gilt für Fassadenbegrünung. Diese wirkt sogar zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits die Verdunstungskälte des Wassers an Pflanzenbestandteilen einen leicht abkühlenden Effekt auf umgebende Luftmassen hat.



5. Quellen

BANGERT, H. 2014: Stadtklimagutachten Regensburg, Paderborn.

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

UBA 2016: Heizen, Raumtemperatur, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur (05.08.2020).

VDI 2003: RICHTLINIE VDI 3787 BLATT 5 UMWELTMETEOROLOGIE – LOKALE KALTLUFT. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, DÜSSELDORF.

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



6. Anhang

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

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung