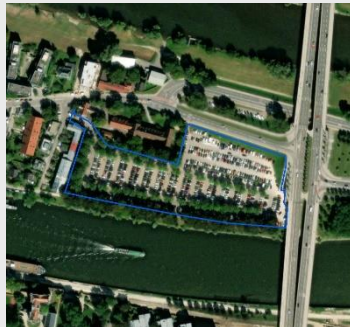
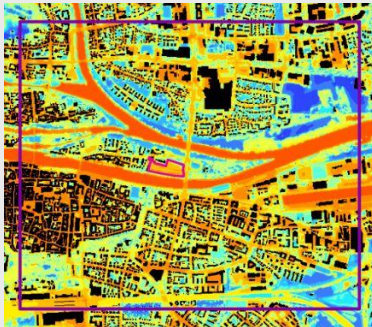
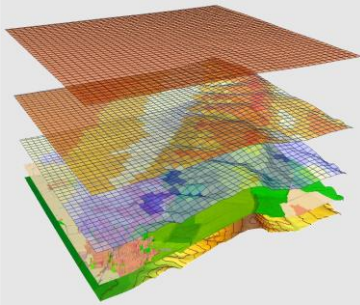
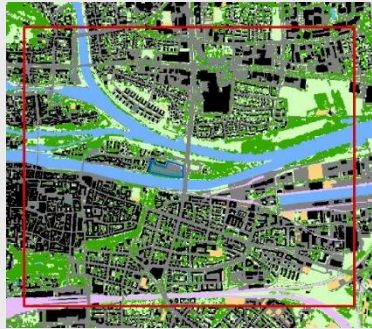


Klimaökologische Expertise zur 76. Änderung des Flächennutzungsplans „Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd“, Regensburg



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

Hannover, Juli 2023



1. Einleitung

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

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

Im Auftrag der Stadt Regensburg (Stadtplanungsamt) wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zur bioklimatischen Situation im Bereich der 76. Änderung des Flächennutzungsplans- „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 Vorhabengebietes:

- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabenfläche vor?
- Wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen?
- Welchen Einfluss hat die Flächennutzungsänderung voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse?

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).

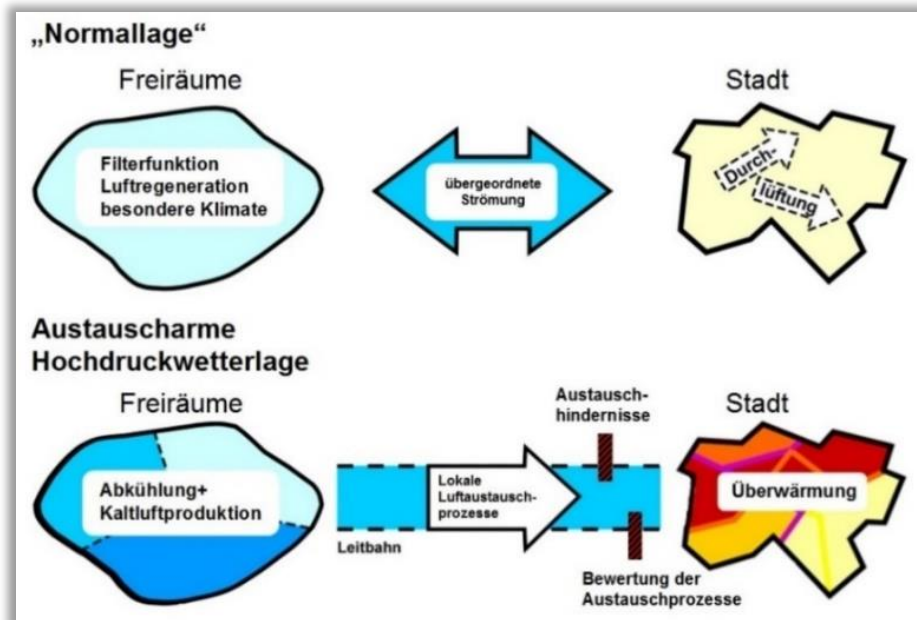


Abbildung 1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

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 der 76. Änderung des Flächennutzungsplans „Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd“ befindet sich relativ zentral in Regensburg, auf der Donauinsel Unterer Wöhrd nordöstlich der Altstadt und setzt sich im derzeitigen Zustand aus zwei Teilflächen für Parkieranlagen zusammen (Abb. 2). Gemäß dem aktuell rechtsgültigen Flächennutzungsplan (Abb. 3, oben) ist der Änderungsbereich (schwarzer Rahmen) als Grünfläche mit der Zweckbestimmung Sport und Parkanlage ausgewiesen. Der Änderungsbeschluss sieht nun eine Anpassung des Änderungsbereiches in ein „Sonstiges Sondergebiet, Zweckbestimmung Parkieranlage und ergänzende Nutzungen (SO_p)“ vor (Abb. 3, unten), welches planungstechnisch eine hohe Flexibilität sicherstellt. So ist bei der vorgesehenen Zweckbestimmung als „Mobilitätsdrehscheibe“ eine Realisierung einer Parkieranlage und weiteren Infrastruktureinrichtungen vorgesehen, für welche in einem nahezu durchgängigen Sondergebiet mehrere Möglichkeiten bestehen. Ausgenommen von dieser Anpassung ist die parallel zur Donau verlaufende Allee im Süden des Änderungsbereiches.

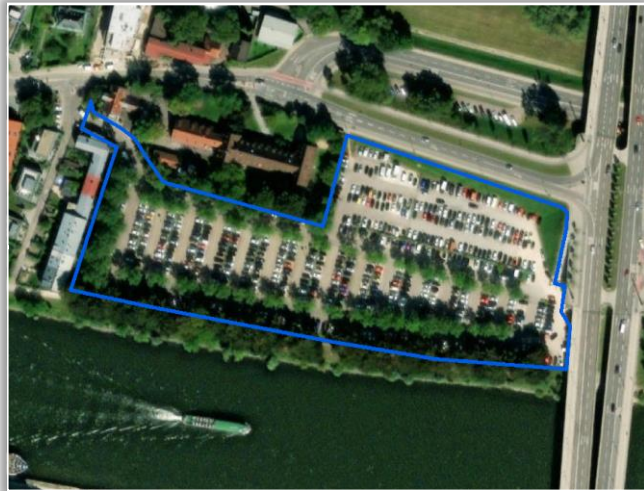


Abbildung 2: Übersicht zur derzeitigen Nutzungsstruktur des Änderungsbereiches.

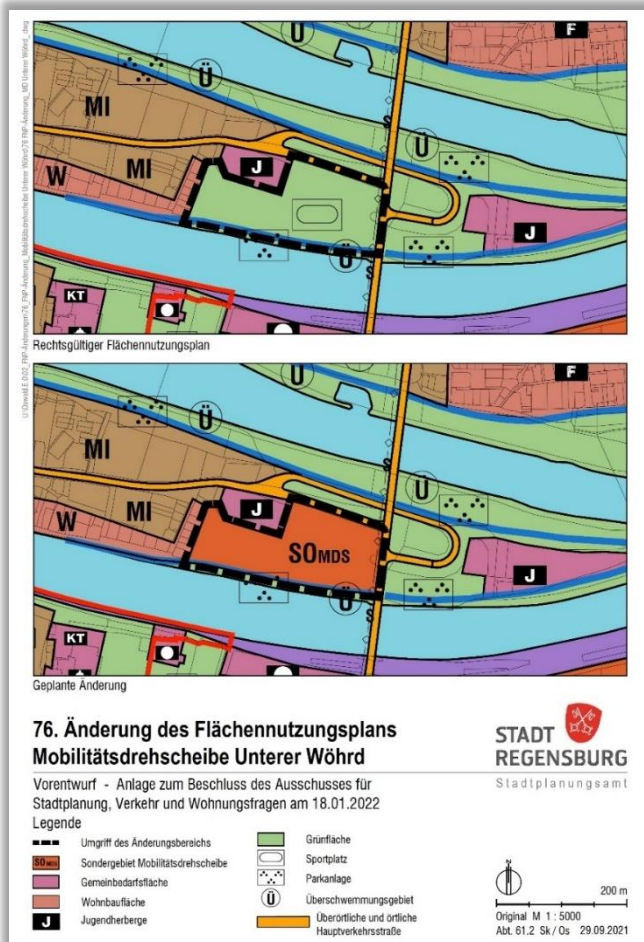


Abbildung 3: Übersichtskarte zur geplanten 76. Änderung des Flächennutzungsplans „Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd“.

Stadtklimaanalyse 2014

Die Abbildung 4 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 *Stadttrand-, 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).

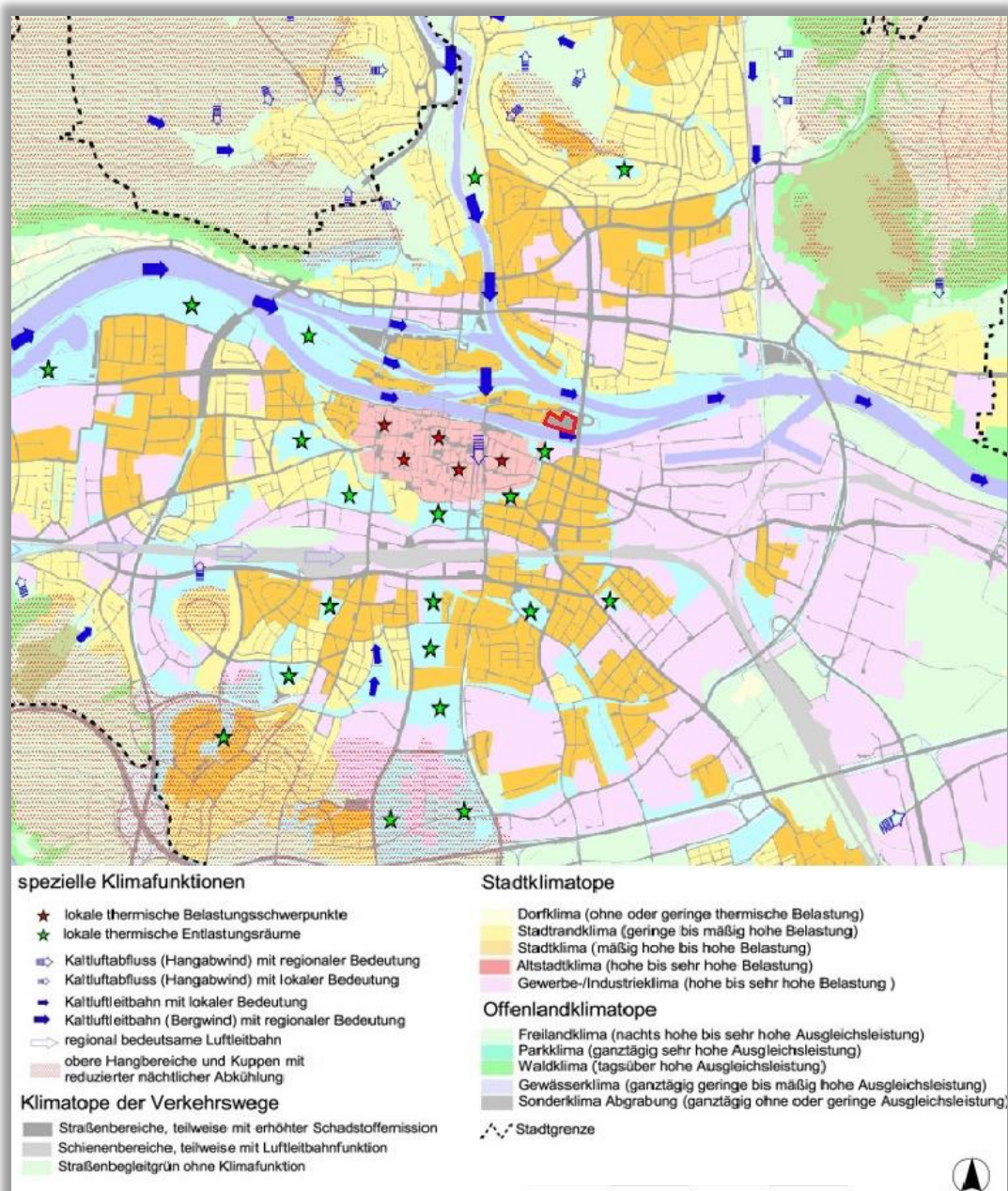


Abbildung 4: Ausszug aus der Klimabestandskarte der gesamtstädtischen Klimaanalyse Regensburg 2014 (verändert nach BANGERT 2014).

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 Untersuchungsansatz

Hinsichtlich der Analyse der klimaökologischen Bestandssituation des Änderungsbereiches der 76. Änderung des Flächennutzungsplans Mobilitätsdrehscheibe Unterer Wöhrd wurde folgender modelltechnischer Untersuchungsansatz angewandt:

Ist-Zustand im regionalen Modellansatz (Auflösung 10 m):

Dieses Szenario dient der Analyse der aktuellen klimaökologischen Situation des Änderungsbereiches unter Berücksichtigung vom Plangebiet weiter entfernter Siedlungs- und Landschaftsstrukturen. Die weit nach Osten reichende Abgrenzung des Modellgebietes resultiert aus Synergieeffekten mit einer zeitlich parallel verlaufenden Analyse im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens Sulzfeldstraße West.



Abbildung 5: Übersicht des Untersuchungsraumes (schwarzer Rahmen = Modellgebiet; blauer Rahmen = Plangebiet/Änderungsbereich).

2. Methodik

2.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH

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

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

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

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

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

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

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

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

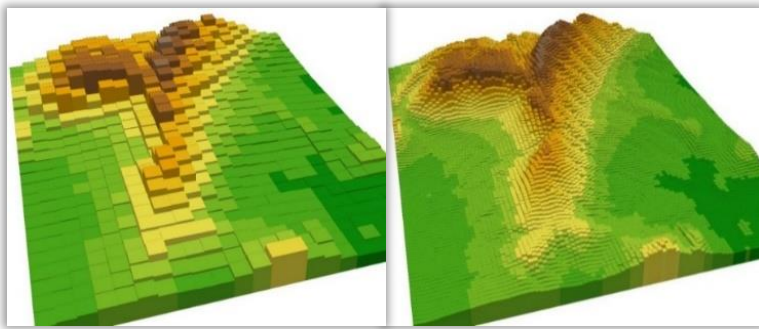


Abbildung 6: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite 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 Modellrechnung für den Ist-Zustand wurde durchgeführt, um auf dieser Basis die klimaökologische Bestandssituation des Plangebietes zu analysieren. Das Modellgebiet besitzt bei einer Abmessung von 9,4 km x 6,4 km eine Fläche von etwa 62 km² und ist in Relation zum Plangebiet verhältnismäßig groß bemessen, was sich wie zuvor beschrieben auf Synergieeffekten mit einer zeitlich parallel verlaufenden Analyse (BP-Verfahren Sulzfeldstraße West) zurückführen lässt. 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. Insgesamt umfasst der verwendete Landnutzungsschlüssel 9 Klassen (Abb. 7), wobei jede Landnutzungs-kategorie individuelle physikalische Eigenschaften (u.a. Rauigkeit, Albedo, anthropogener Wärmefluss, Wärmeleitfähigkeit) besitzt.

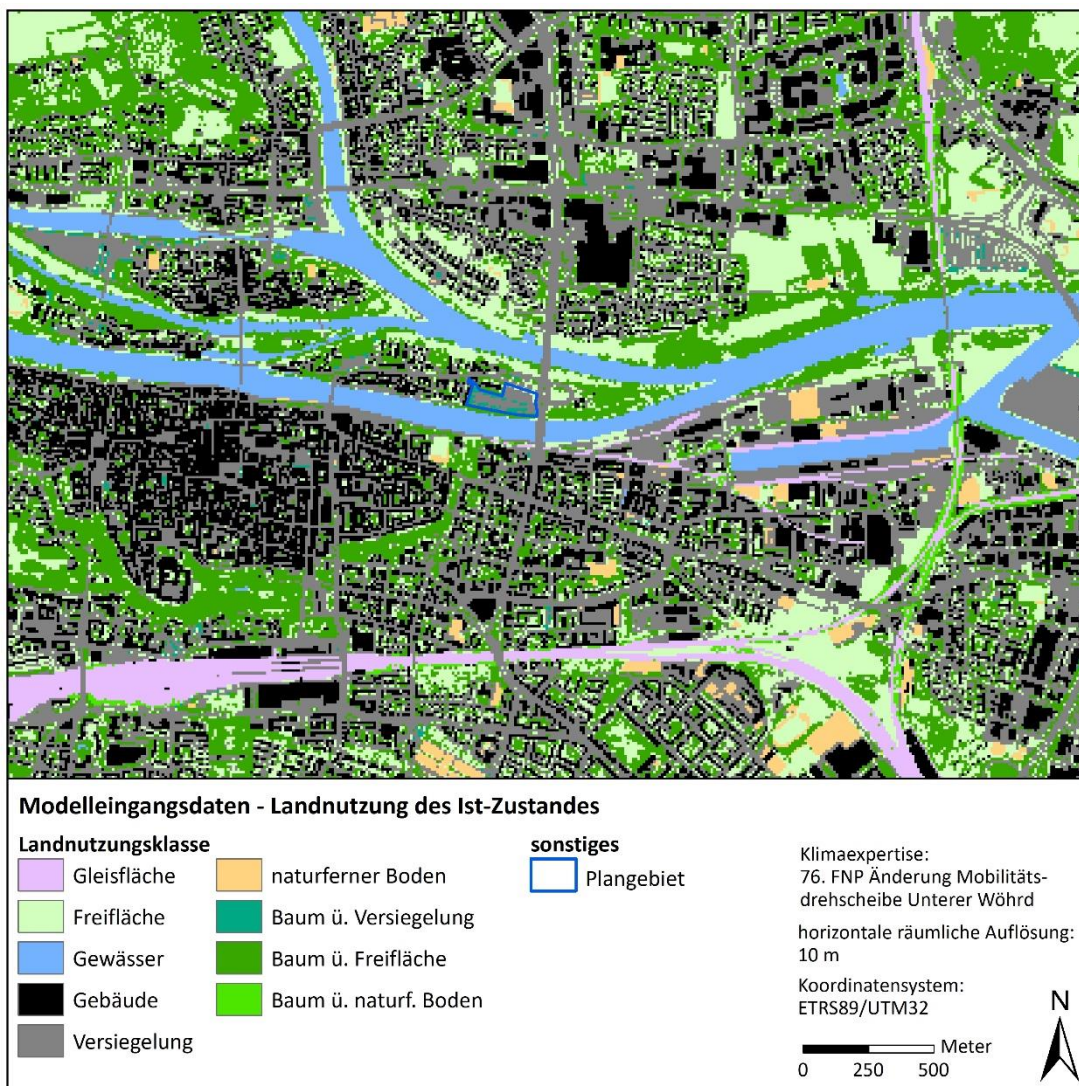


Abbildung 7: Ausschnitt der klassifizierten Landnutzung des Ist-Zustandes in 10 m Auflösung.

Neben der Landnutzung stellt die **Geländeoberfläche** eine weitere wesentliche Modelleingangsgröße dar. Das in Abbildung 8 dargestellte Digitale Geländemodell zeigt die Geländehöhen des 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, wohingegen im Nordosten im Bereich der Ausläufer des Bayrischen Waldes mit bis zu 476,5 m die größten Geländehöhen auftreten. Darüber hinaus steigt das Gelände auch nach Südwesten in Richtung des Unterbayrischen Hügellandes an, wohingegen nach Südosten ein durchgängig flacher Verlauf des Geländes zu beobachten ist. Die niedrigsten Bereiche mit ca. 323 bis 330 m über NN sind im Nachbereich der Donau vorzufinden.

Das Plangebiet selbst befindet sich entsprechend seiner Insellage bzw. direkten Nachbarschaft zur Donau auf einer niedrigen durchschnittlichen Geländehöhe von rund 333 m. Lediglich im nordwestlichen Grenzbereich steigt das Gelände in Richtung der rund 7 bis 8 m hohen Aufschüttungen der Nibelungenbrücke um einige Meter an.

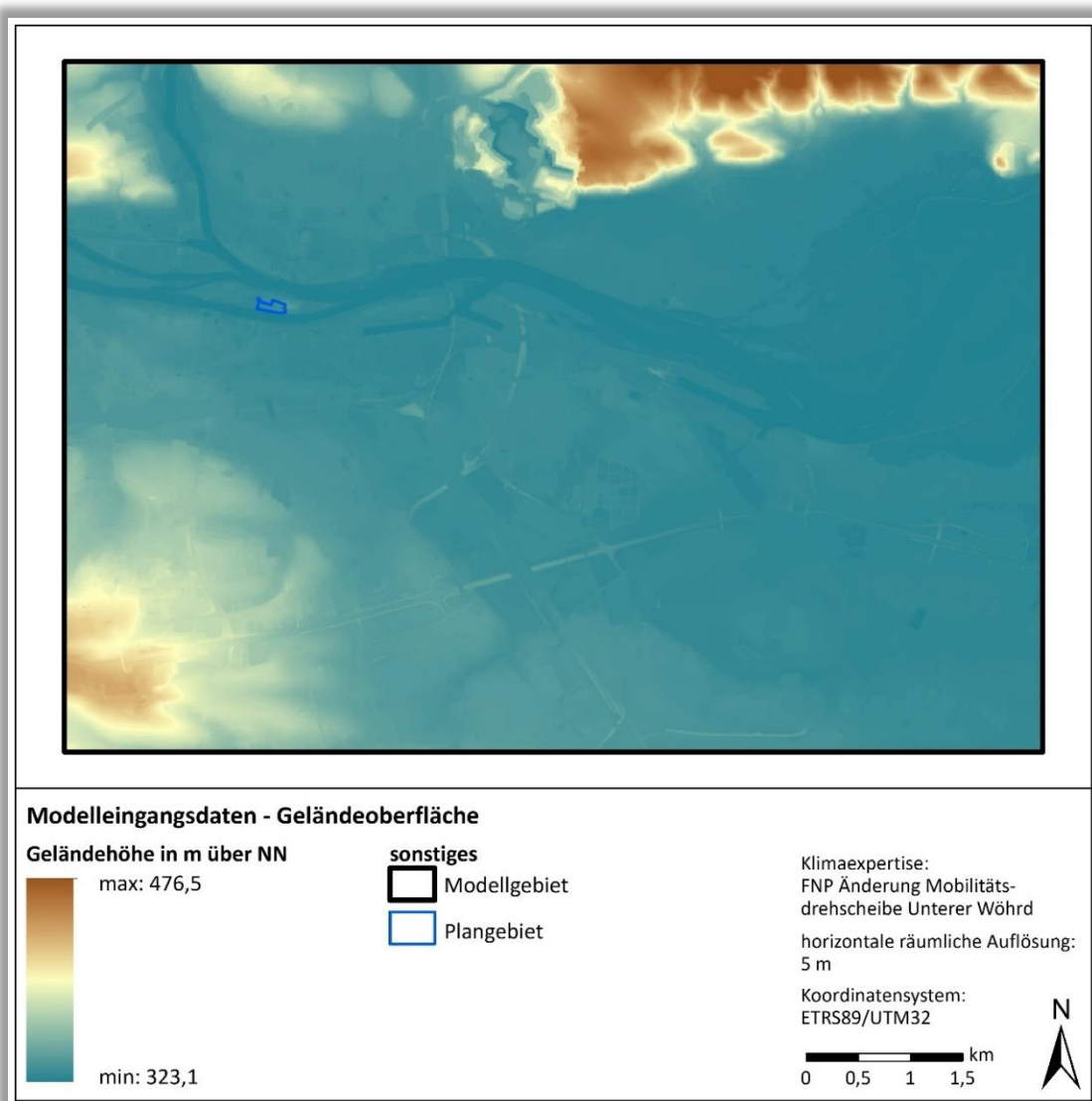


Abbildung 8: Digitales Geländemodell für das Modellgebiet in 5 m-Auflösung.



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 Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden können. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen.

3. 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 stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühlenden 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.

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 Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten.

Die Abbildung 9 zeigt die Ergebnisse der Modellrechnung 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. Gewerbeflächen im Bereich des Westhafens). 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 weitestgehend homogenes Temperaturniveau von durchschnittlich 18,7 °C auf und liegt damit in etwa auf dem Niveau der weiteren Verkehrsflächen. Lediglich der schmale Grünstreifen an der nordöstlichen Gebietsgrenze zeigt mit 16 bis 18 °C eine reduzierte nächtliche Lufttemperatur.

Hinsichtlich einer zukünftigen Änderung der Flächennutzung, welche u.a. den Bau von verschiedenen Infrastruktureinrichtungen bedeuten kann, ist aufgrund der Vorbelastung durch die derzeitige Versiegelungssituation von keinen wesentlichen Auswirkungen auf die nächtliche bodennahe Lufttemperatur innerhalb und im Umfeld des Änderungsbereiches auszugehen. Zudem schränken die beiden Flussarme der Donau aufgrund ihrer nächtlichen Überwärmung einen bodennahen Luftaustausch mit den nördlich und südlich gelegenen Siedlungslagen zusätzlich ein. Dies wird auch durch die nachfolgenden Darstellungen zum Kaltluftprozessgeschehen verdeutlicht.

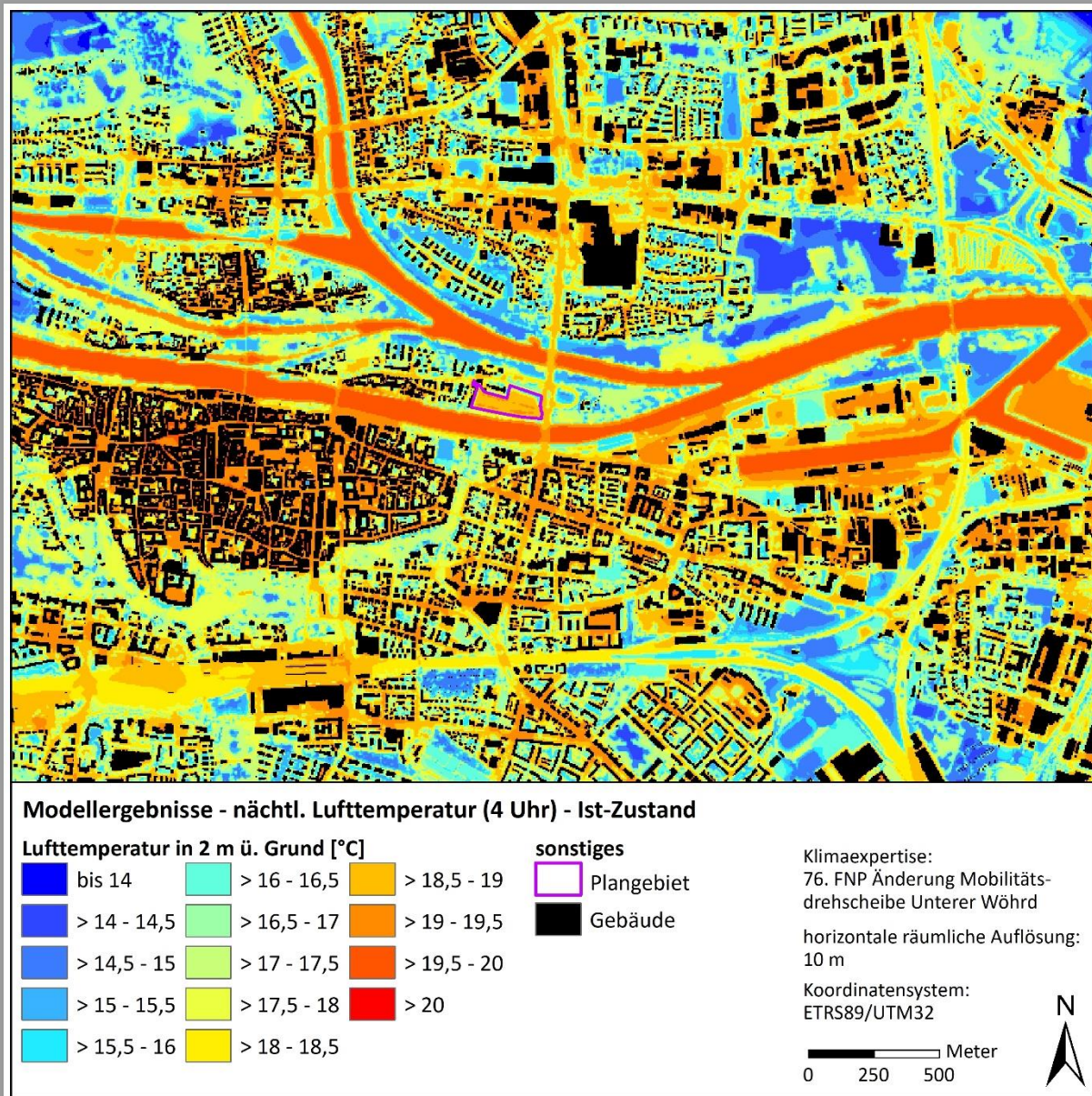


Abbildung 9: Ausprägung der nächtlichen Lufttemperatur im Ist-Zustand.

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 Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Beurteilung der klimatischen Ausgangssituation mit dem Kaltluftvolumenstrom ein weiterer Parameter herangezogen (Abb. 10). 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.

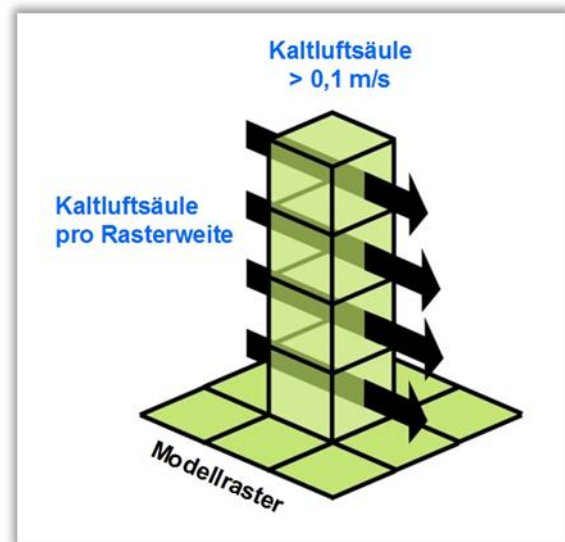


Abbildung 10: Prinzipische Skizze Kaltluftvolumenstrom.

Ist-Zustand

Die Abbildung 11 zeigt die Modellergebnisse zum modellierten nächtlichen Kaltluftvolumenstrom. Die Werte reichen dabei von deutlich über $40 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ in reliefstarken Hangbereichen (z.B. Ausläufer des Bayerischen Waldes und Dreifaltigkeitsberg) bis unter $5 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ in reliefarmen und gleichzeitig dicht bebauten bzw. mit Bäumen bestandenen Flächen. Ebenfalls überdurchschnittlich hohe Kaltluftvolumenströme sind häufig im Bereich raugkeitsarmer Landnutzungen wie Freiflächen, Gleisanlagen und Verkehrsflächen zu beobachten. Dies zeigt sich beispielsweise im Bereich der Gleisanlagen im Umfeld des

Hauptbahnhofs sowie im Bereich vieler Uferwiesen entlang der Donau und des Regen. Eine weitere Voraussetzung in diesem Zusammenhang ist eine räumliche Nähe zu überwärmten Siedlungs- oder Gewässerflächen.

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. Bodennah wird die übergeordnete Anströmung neben der Hinderniswirkung durch den Gebäude- und Baumbestand häufig durch lokale Flurwindeffekte überlagert, wodurch das Plangebiet aufgrund seiner Insellage größtenteils von den Siedlungsflächen nördlich und südlich der Donau entkoppelt ist.

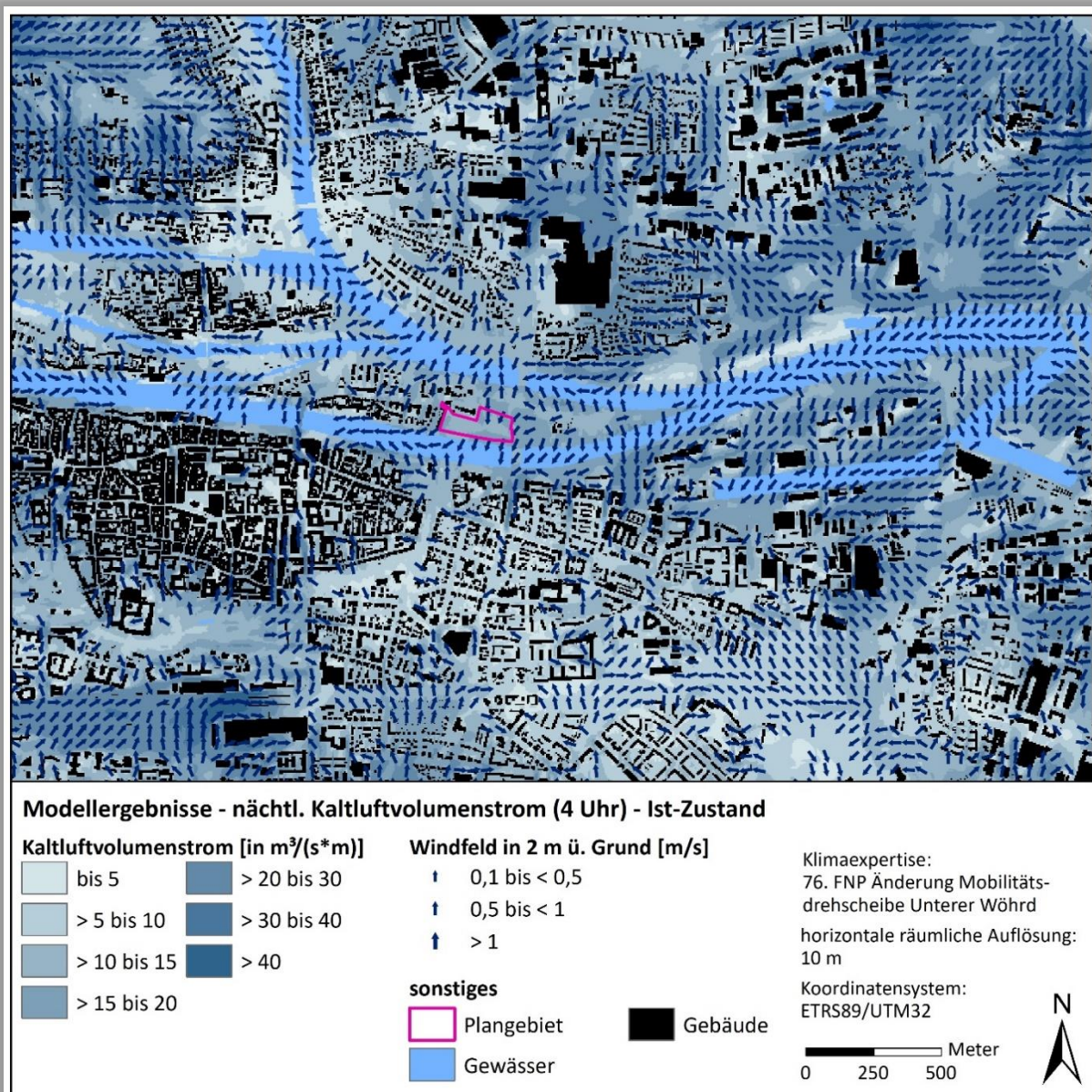


Abbildung 11: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Ist-Zustand.

In Hinblick auf die geplante Änderung des Flächennutzungsplans ist beim Plangebiet wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben nur von einer sehr eingeschränkten Kaltluftfunktion auf umliegende Stadtgebiete auszugehen. Dies gilt insbesondere für den bodennahen nächtlichen Kaltluftaustausch, aber auch hinsichtlich



des nur begrenzten Kaltluftentstehungspotenzials aufgrund des hohen Versiegelungsgrades im derzeitigen Zustand der Fläche. Wesentliche klimaökologische Auswirkungen sind aufgrund der räumlichen Nähe vorwiegend im direkt westlich angrenzenden Wohngebiet zu erwarten. Eine bauliche Umsetzung verschiedener Infrastruktureinrichtungen kann allerdings zusätzlich je nach Baukubatur die Kaltluftströmung in höheren Luftschichten beeinflussen, was sich aufgrund der generell nördlichen Anströmung primär auf die Bebauung südlich des Plangebietes auswirken kann.

3.3 Wärmebelastung am Tag

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

Ist-Zustand

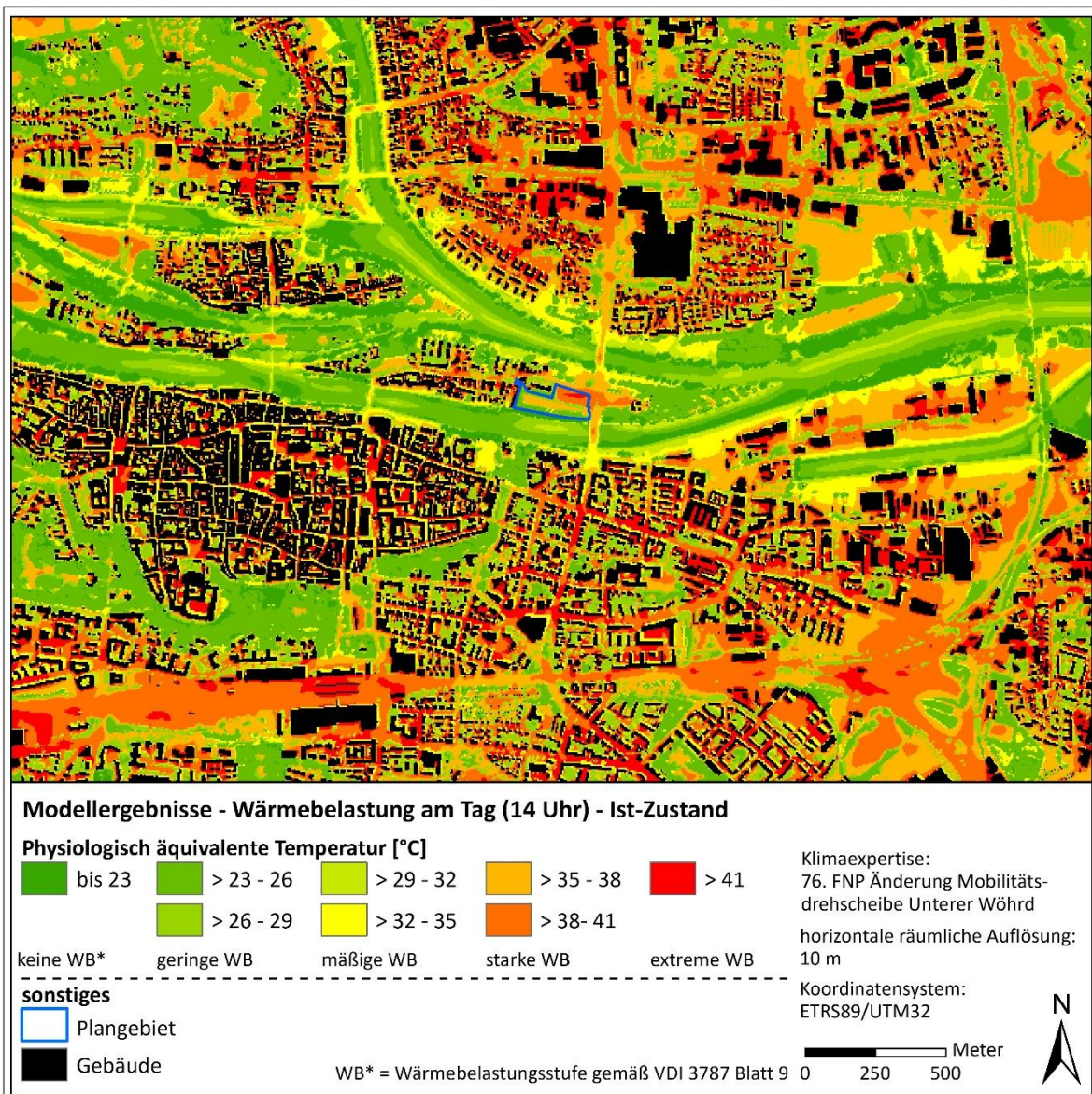


Abbildung 12: Ausprägung der Physiologisch äquivalenten Temperatur im Ist-Zustand.

Die Abbildung 12 zeigt die räumliche Verteilung der PET um 14 Uhr in 1,1 m über Grund für die derzeitige Situation (Ist-Zustand). 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 u.a. im Bereich der Felder westlich der Donau-Arena, des Sportplatzes westlich des Villaparks und im Bereich des Wohnquartiers entlang der Paarstraße.

Innerhalb des Plangebietes zeigen die Modellergebnisse für den Ist-Zustand 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 ($PET > 41\text{ °C}$) 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 $37,5\text{ °C}$ treten im Bereich der zentralen Parkplatzflächen allerdings ebenfalls auf.

Durch eine Änderung der Flächennutzung ist hinsichtlich der Wärmebelastung am Tag nur im geringen Maße von nachteiligen Auswirkungen auf das Umfeld des Plangebietes auszugehen. So ist die Wärmebelastung bereits im Ist-Zustand überwiegend stark bis extrem. Eine Reduktion des Baumbestandes im Zuge der baulichen Umsetzung von Infrastruktureinrichtungen kann allerdings die Wärmebelastung innerhalb des Plangebietes erhöhen, weshalb eine möglichst bioklimatisch angepasste Flächenentwicklung zu empfehlen ist. Speziell die Funktion als Mobilitätsdrehscheibe mit einer zu erwartenden erhöhten Frequentierung sollte durch eine möglichst hohe Aufenthaltsqualität unterstützt werden. Diese kann u.a. durch ausreichend schattenspendende Elemente wie Bäume, Vordächer im Bereich von Süd- und Westfassaden und/oder Überdachungen von Parkierungsflächen erreicht werden.



4. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In der vorliegenden Klimaexpertise wurde die klimaökologische Ist-Situation während eines heißen und austauscharmen Sommertages für den Änderungsbereich der geplanten 76. Änderung des Flächennutzungsplans auf Grundlage einer feinskaligen Modellrechnung analysiert und potenzielle klimaökologische Auswirkungen einer Nutzungsänderung in ein „Sonstiges Sondergebiet, Zweckbestimmung Parkierungsanlage und ergänzende Nutzungen (SO_p)“ auf umliegende Siedlungslagen erörtert. Dabei zeigt die Ist-Situation aufgrund des insgesamt erhöhten Versiegelungsgrades sowie des geringen Grünflächenanteils sowohl für die Nachtsituation als auch für Tagsituation eine relativ hohe thermische Vorbelastung. Hinsichtlich des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens ist aufgrund der Insellage sowie des quer zur übergeordneten nördlichen Anströmung verlaufenden Baumbestandes von einer stark eingeschränkten Kaltluftfunktion auszugehen. Dies betrifft sowohl den Weitertransport der Kaltluft in Richtung des Stadtgebiets südlich der Donau (u.a. Altstadt) als auch die Kaltluftneubildung innerhalb des Änderungsbereiches in Folge des bereits erwähnten geringen Grünflächenanteils. Demnach ist durch die geplante Änderung des Flächennutzungsplans, welche u.a. den Bau von verschiedenen Infrastruktureinrichtungen beinhalten kann, aufgrund der thermischen Vorbelastung sowie der eingeschränkten Kaltluftfunktion von keinen wesentlichen klimaökologisch nachteiligen Auswirkungen auf umliegende Siedlungslagen auszugehen. Einschränkung gilt, dass sich hinsichtlich des nächtlichen Kaltlufttransports bei geplanten Baustrukturen an der Höhe des derzeitigen Baumbestandes (rund 20 m) im Süden des Änderungsbereiches orientiert werden sollte, um die Überströmbarkeit der Fläche nicht zusätzlich zu beeinträchtigen. Darüber hinaus sollte hinsichtlich der geplanten Funktion als Mobilitätsdrehscheibe der derzeitigen starken bis extremen Wärmebelastung innerhalb des Änderungsbereiches durch eine ausreichende Zahl an Verschattungselementen (z.B. Bäume, Parkplatzüberdachungen, Vordächer) entgegengewirkt werden.



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