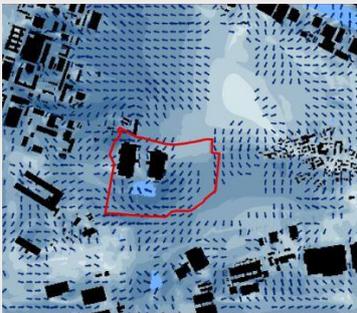
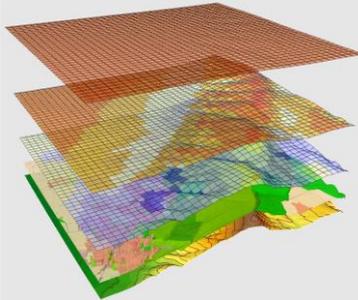


Klimaökologische Expertise

zum Bebauungsplan 195 – Südlich Kremser Straße



Auftraggeber:

LAGO A3

Vermögensverwaltung GmbH

Blumenstraße 16

93055 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 2021

1. Einleitung

Die LAGO A3 Vermögensverwaltung GmbH beabsichtigt die bauliche Erschließung des östlichen Teilbereichs des Bebauungsplans 195, Südlich Kremser Straße. Derzeit stehen im westlichen Teilbereich bereits zwei Gewerbehallen, wobei östlich dieser Bestandsbebauung nun zwei weitere Gewerbehallen sowie ein Parkdeck geplant sind.

In der vorliegenden Expertise wird analysiert, inwieweit das Plangebiet selbst sowie die benachbarten Stadtquartiere von dem Bauvorhaben bioklimatisch beeinflusst werden. Dabei wird die aktuelle klimaökologische Situation im Plangebiet detailliert betrachtet und die Auswirkungen des geplanten Vorhabens auf die klimaökologischen Funktionen mithilfe von Modellrechnungen untersucht und beurteilt. Hinsichtlich einer ersten groben Einordnung der klimaökologischen Wertigkeit des Plangebiets kann hierbei auf die Ergebnisse der vorliegenden Klimaanalyse für das Stadtgebiet zurückgegriffen werden (BANGERT 2014). Diese klimaökologische Wertigkeit des Plangebiets wird in einem ersten Analyseschritt im gesamtstädtischen Kontext modelltechnisch untersucht. Hierfür wird die Kaltluftfunktion des östlichen Stadtrandes von Regensburg anhand eines ca. 8,1 x 9,5 km Modellgebiets (weißer Kasten in Abbildung 1) modelliert und analysiert. Die in diesem Zuge modellierte Kaltluftströmung dient bei der nachfolgenden lokalen Betrachtung (roter Kasten in Abbildung 1) als meteorologischer Antrieb, wodurch übergeordnete Strömungssysteme auch auf lokaler Ebene Berücksichtigung finden können.

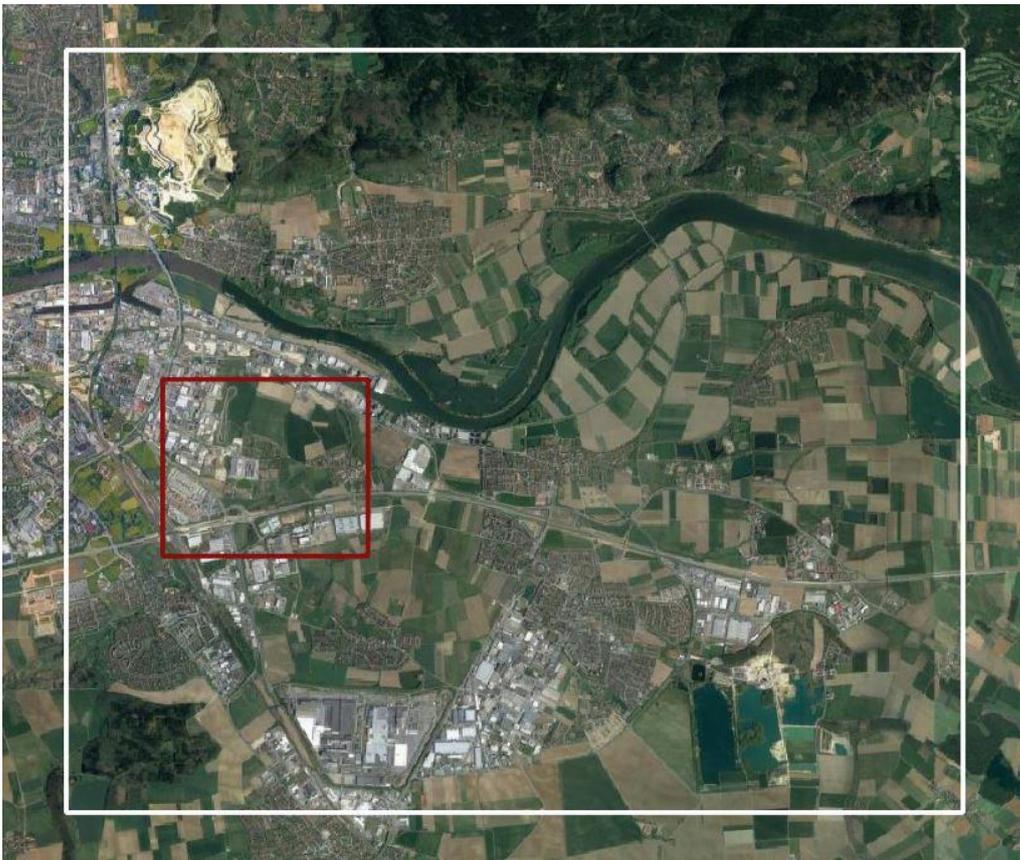


Abbildung 1: Übersicht der untersuchten Modellgebiete (weißer Kasten = regionaler Ansatz; roter Kasten = lokaler Ansatz)

1.1 Grundlagen

Untersuchungsgebiet

Die Fläche des „Bebauungsplans 195 – südlich Kremser Straße | Regensburg“ befindet sich am östlichen Stadtrand von Regensburg und setzt sich im derzeitigen Zustand zum einen aus zwei Logistikhallen und zum anderen weitestgehend aus stillgelegten Schlammteichen, welche aus einer vorherigen Nutzung durch eine Zuckerfabrik resultieren. Im Westen grenzt das Gebiet an weitere Gewerbebebauung und im Norden an weitere Schlammteiche. Darüber hinaus überwiegen in der direkten Umgebung primär landwirtschaftlich genutzte Flächen. Bei der einzigen Wohnbebauung im näheren Umfeld des Plangebiets handelt es sich um Ortslage Irl, welche rund 220 m östlich des Plangebiets beginnt.

Das ca. 1,8 x 2,2 km große Untersuchungsgebiet des lokalen Modellansatzes umfasst die oben beschriebenen Bereiche und beinhaltet zudem die in O-W-Richtung verlaufende A3 sowie die südlich angrenzenden Gewerbeflächen.

Die Abbildung 2 zeigt den derzeitigen Planungsstand anhand einer Übersichtskarte. Bei den schwarz umrandeten Flächen handelt es sich um die aktuell bereits bestehenden Gewerbehallen. Die hellgelben Umrandungen stellen dagegen die Grundfläche der geplanten Neubebauung dar, welche von versiegelten Flächen umgeben ist (graue Farbgebung). Im Nordosten ist darüber hinaus ein Parkdeck geplant (rote Umrandung). Im südlichen Teil des Plangebietes wird die bestehende Wasserfläche nach Süden und Osten erweitert. Teile der ehemaligen Schlammteiche sollen zudem zukünftig zur Niederschlagsrückhaltung genutzt werden (dunkelblaue Umrandung). Des Weiteren sind Baumpflanzungen am östlichen und nördlichen Gebietsrand vorgesehen.

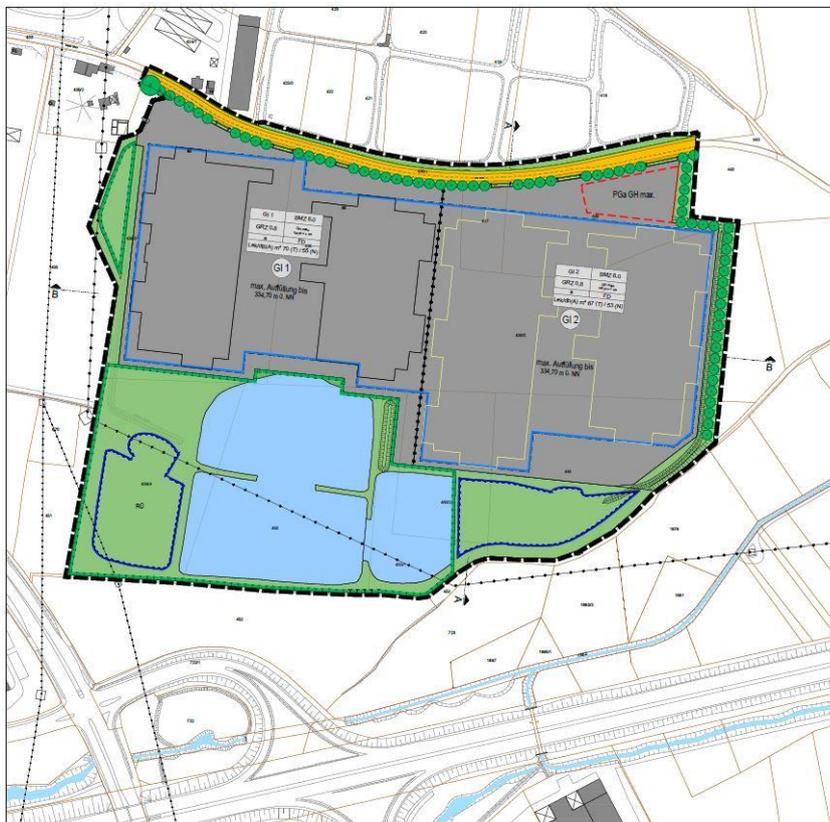


Abbildung 2: Übersichtskarte zur geplanten Flächennutzung im Bereich des B-Plans 195 „Südlich Kremser Straße“.



Stadtklimaanalyse 2014

Die Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt der Klimabestandskarte 2014 (BANGERT 2014). Nach dieser befindet sich die Fläche des Plangebiets (roter Kasten) im Bereich „Freilandklima“ mit einer hohen bis sehr hohen Ausgleichsleistung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der nordwestliche Teil der Fläche aktuell bereits durch zwei Gewerbehallen erschlossen ist. Im Umfeld des Plangebiets überwiegt neben weiterem Freilandklima im Bereich der Landwirtschaftsflächen vor allem „Gewerbe- und Industrieklima“ mit hoher bis sehr hoher thermischer Belastung. Eine Ausnahme bildet die Ortschaft Irl, welche sich durch ein gering belastetes „Dorfklima“ auszeichnet. Spezielle Klimafunktionen sind dem direkten Umfeld des Plangebietes nicht zugeordnet. Lediglich im Südwesten treten lokal wirksame Hangabwinde auf, welche ebenso wenig bis in den Bereich des Plangebietes wirken wie die lokale Kaltluftleitbahn im Bereich der Donau.

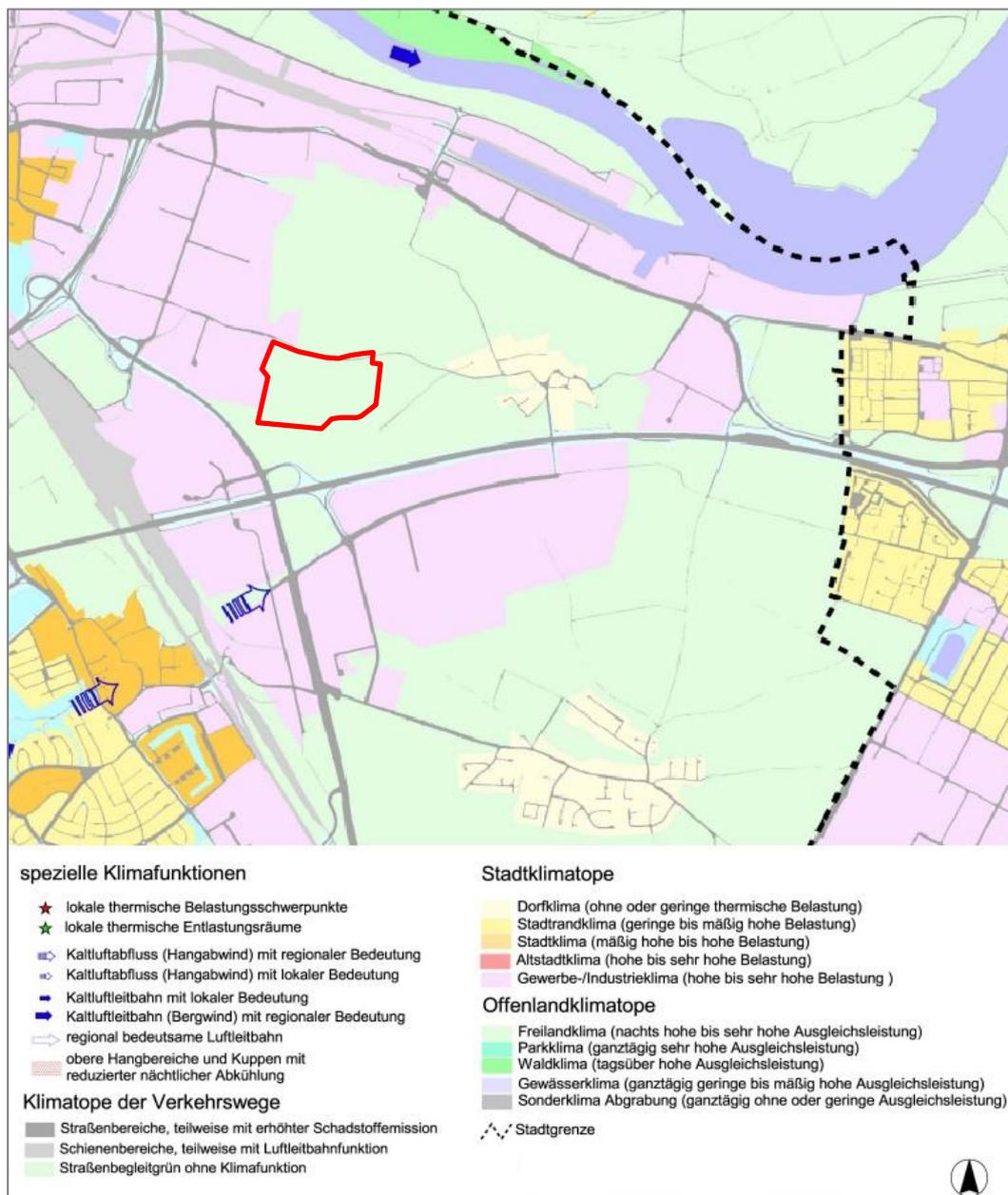


Abbildung 3: Auszug aus der Klimabestandskarte der gesamtstädtischen Klimaanalyse Regensburg 2014 (verändert nach BANGERT 2014)



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:
 - Dieses Szenario dient der Untersuchung des regionalen Kaltluftgeschehens im östlichen Stadtrandgebiet von Regensburg sowie der Einordnung der sich hieraus ergebenden Kaltluftfunktion des Plangebiets.
2. den Ist-Zustand im lokalen Modellansatz:
 - Referenz-Szenario zur Untersuchung der klimaökologischen Auswirkungen des Planvorhabens.
3. den Plan-Zustand im lokalen Modellansatz:
 - Umsetzung des Planvorhabens

2. Methodik

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 Status quo (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 8,1 km x 9,5 km eine Fläche von etwa 76 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. 1,9 x 2,2 km eine Fläche von ca. 4,2 km².

Die Abbildungen 4 bis 6 veranschaulichen die aufbereitete Flächennutzung der drei modellierten Szenarien. Zu beachten ist, dass die stillgelegten Schlammteiche insbesondere in den Sommermonaten überwiegend trocken fallen und somit als „Freifläche/Rasen“ in die Modellrechnung eingehen. Eine Ausnahme stellt die südlich an die Bestandsbebauung angrenzende Wasserfläche dar, welche im Plan-Zustand nach Süden und Osten erweitert wird.

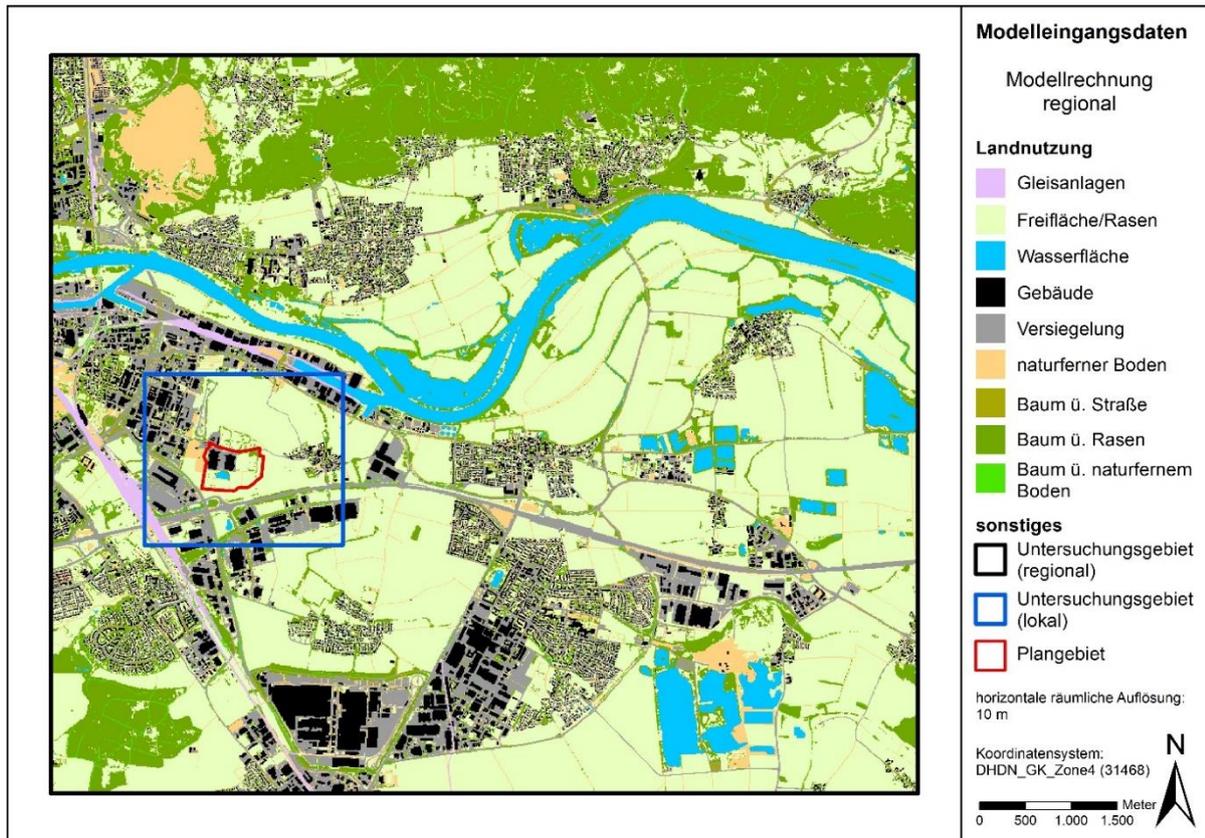


Abbildung 4: Klassifizierte Landnutzung des Ist-Zustandes (regionaler Modellansatz) in 10 m-Auflösung.

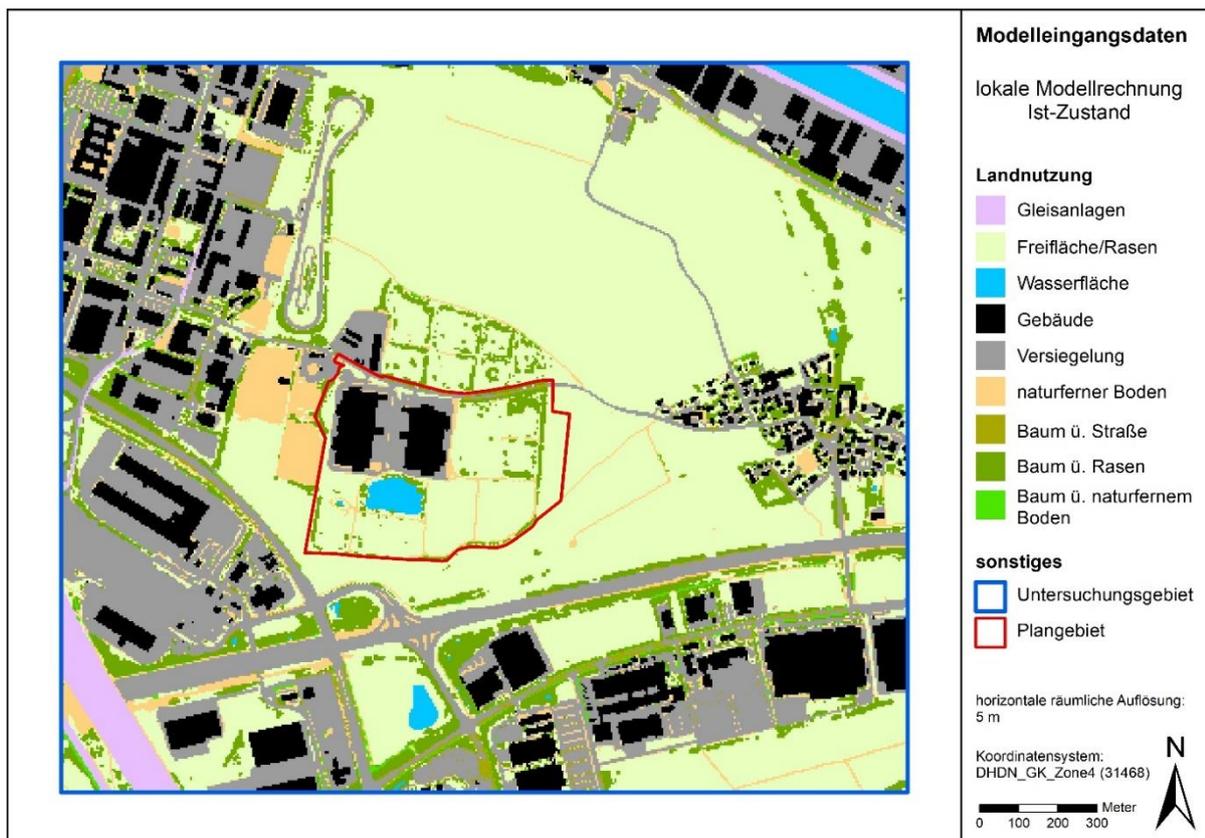


Abbildung 5: Klassifizierte Landnutzung des Ist-Zustandes (lokaler Modellansatz) in 5 m-Auflösung.

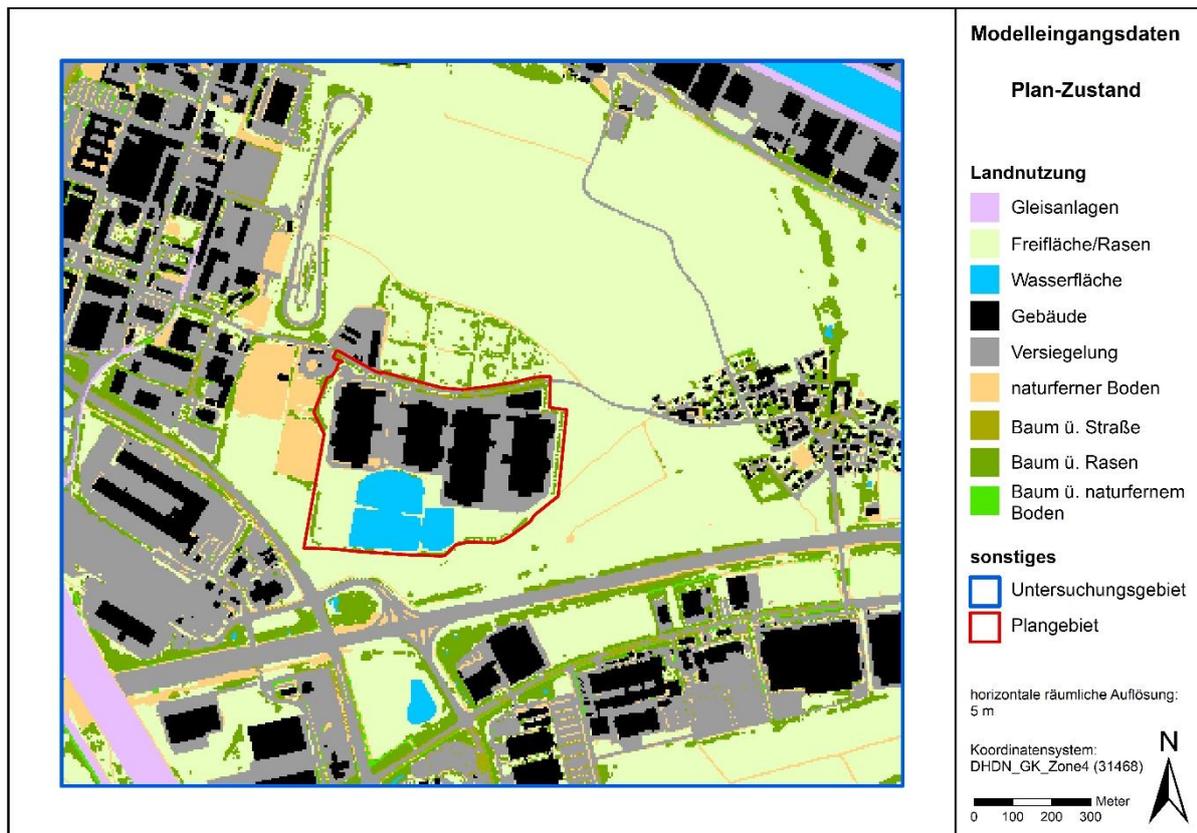


Abbildung 6: Klassifizierte Landnutzung des Plan-Zustandes (lokaler Modellansatz) in 5 m-Auflösung.

Neben der Landnutzung stellt die Geländeoberfläche eine weitere wesentliche Modelleingangsgröße dar. Das in Abbildung 7 dargestellte Digitale Geländemodell zeigt die Geländehöhen des regionalen Modellgebietes in einer Auflösung von 10 m. Es wird deutlich, dass sich ein Großteil des Untersuchungsgebietes im weitestgehend flachen Bereich der Donauauen befindet und lediglich im Norden in Form von Ausläufern des Bayerischen Waldes sowie im Südwesten in Form des Unterbayerischen Hügellandes größere Höhenunterschiede vorzufinden sind. Die größten Geländehöhen treten dabei mit bis zu 525 m über NN im Bereich des Bayerischen Waldes auf, wohingegen die niedrigsten Bereiche mit ca. 323 m über NN im Nachbereich der Donau vorzufinden sind.

Das Untersuchungsgebiet des lokalen Modellansatzes befindet sich ausschließlich im Bereich der Donau-
aue und weist somit kaum nennenswerte Geländehöhenunterschiede auf. Die einzigen Ausnahmen stellen die Straßendämme der Autobahn A3 und B15 dar, welche sich kleinräumig um bis zu 12 m vom umliegenden Gelände abheben.

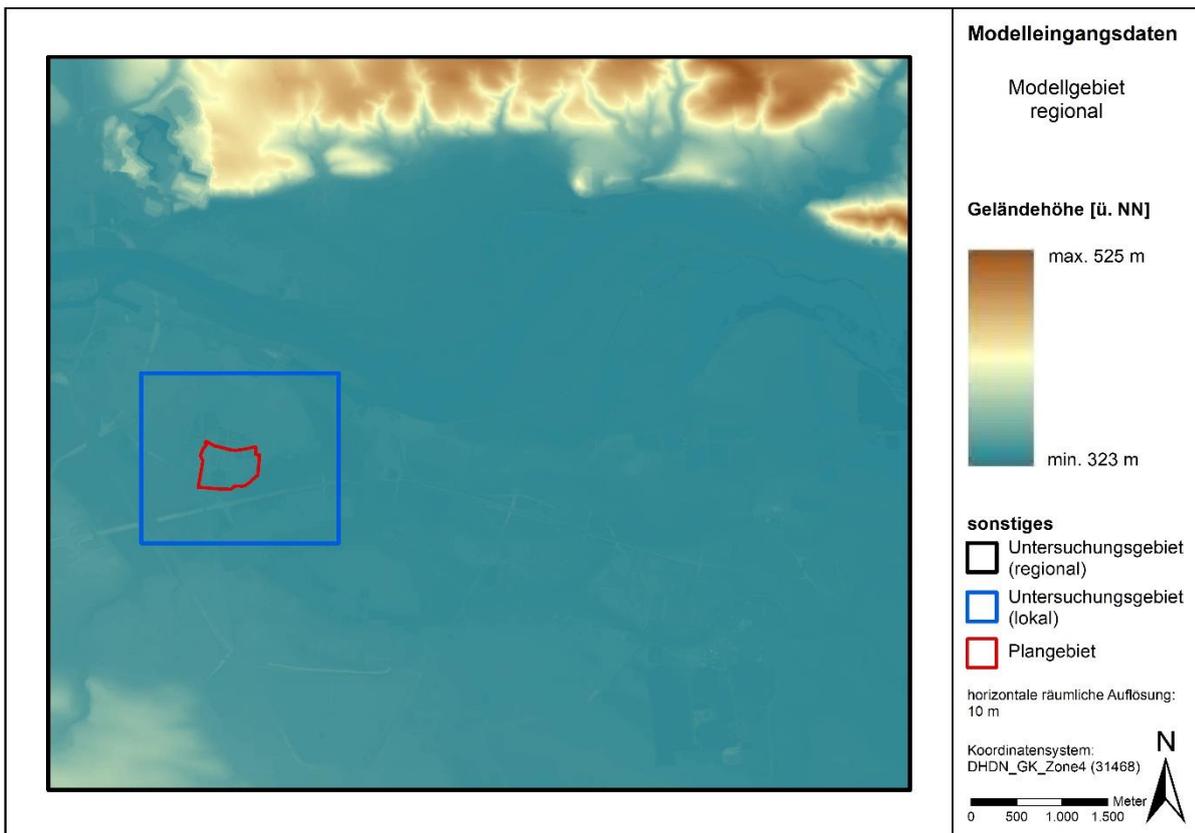


Abbildung 7: Digitales Geländemodell für das regionale Modellgebiet in 10 m-Auflösung.

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 bodennahe Kaltluftströmungsfeld in 2 m Höhe, den Kaltluftvolumenstrom (jeweils Nachtsituation) sowie die Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) zur Bewertung der Wärmebelastung am Tag. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Der 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 14:00 Uhr gewählt, da zu dieser Zeit im Mittel mit der höchsten Wärmebelastung zu rechnen ist.

Hinsichtlich der Analyse der regionalmaßstäblichen Kaltluftfunktion des östlichen Stadtrandes von Regensburg genügt eine kombinierte Betrachtung des Kaltluftvolumenstroms und es bodennahen Windfeldes. Mit dieser lassen sich lokale Flurwindssysteme sowie übergeordnete Hangabwindssysteme identifizieren und somit die Klimafunktion einzelner Flächen bestimmen (Kap. 3.1). Für die Bewertung der planungsbedingten klimaökologischen Auswirkungen ist dagegen auf lokaler maßstabsebene eine detaillierte Betrachtung aller modellierten Modellparameter erforderlich (Kap. 3.2 bis 3.4).

3.1 Kaltluftfunktion des östlichen Stadtrandes von Regensburg

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. 8). 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

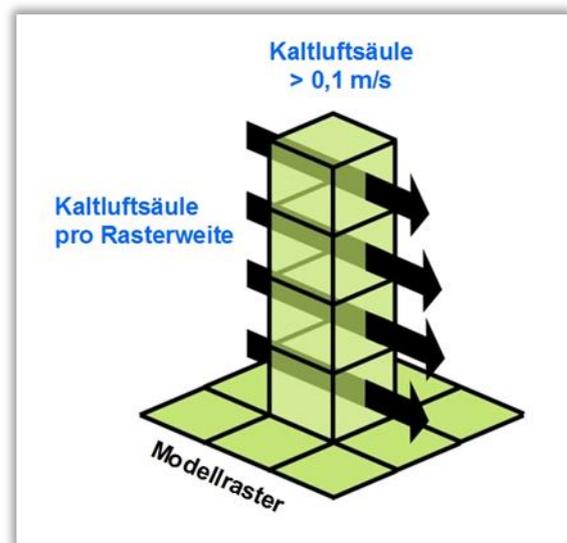


Abbildung 8: Prinzipische Skizze Kaltluftvolumenstrom.



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.

Ergebnisse

Das Kaltluftprozessgeschehen im Bereich des östlichen Stadtrandes von Regensburg lässt sich von Nord nach Süd grob in drei Teilbereiche untergliedern. So herrschen im Norden ausgehend von den Ausläufern des Bayrischen Waldes teils intensive Hangabwinde mit vergleichsweise hohen bodennahen Windgeschwindigkeiten von bis zu 1,5 m/s auf (Abbildung 9). Auch der Kaltluftvolumenstrom weist hier mit bis zu $69 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ mit die höchsten Werte auf. Die Reichweite dieser Hangabwinde ist durch den dominanten Einfluss der Donau allerdings räumlich relativ stark begrenzt. Da die Donau bzw. Gewässer im Allgemeinen bei betrachteter Wetterlage nachts in der Regel mit die höchsten Temperaturen aufweisen, überlagern die sich im flachen Uferbereich ausbildenden Flurwinde die Hangabwinde zumeist. Nur wenn Hangbereiche sehr nah an das Ufer heranreichen kann die Bewegungsenergie der Kaltluft ausreichen das Gewässer zu überwinden. Dies zeigt sich innerhalb des Untersuchungsgebiets im Bereich des Scheuchenberges, von dessen Südhang Kaltluft bis in die Ortschaft Sarching befördert wird. In Bezug auf das untersuchte Plangebiet ist eine vergleichbare Wirkung der Hangabwinde allerdings nicht zu erwarten.

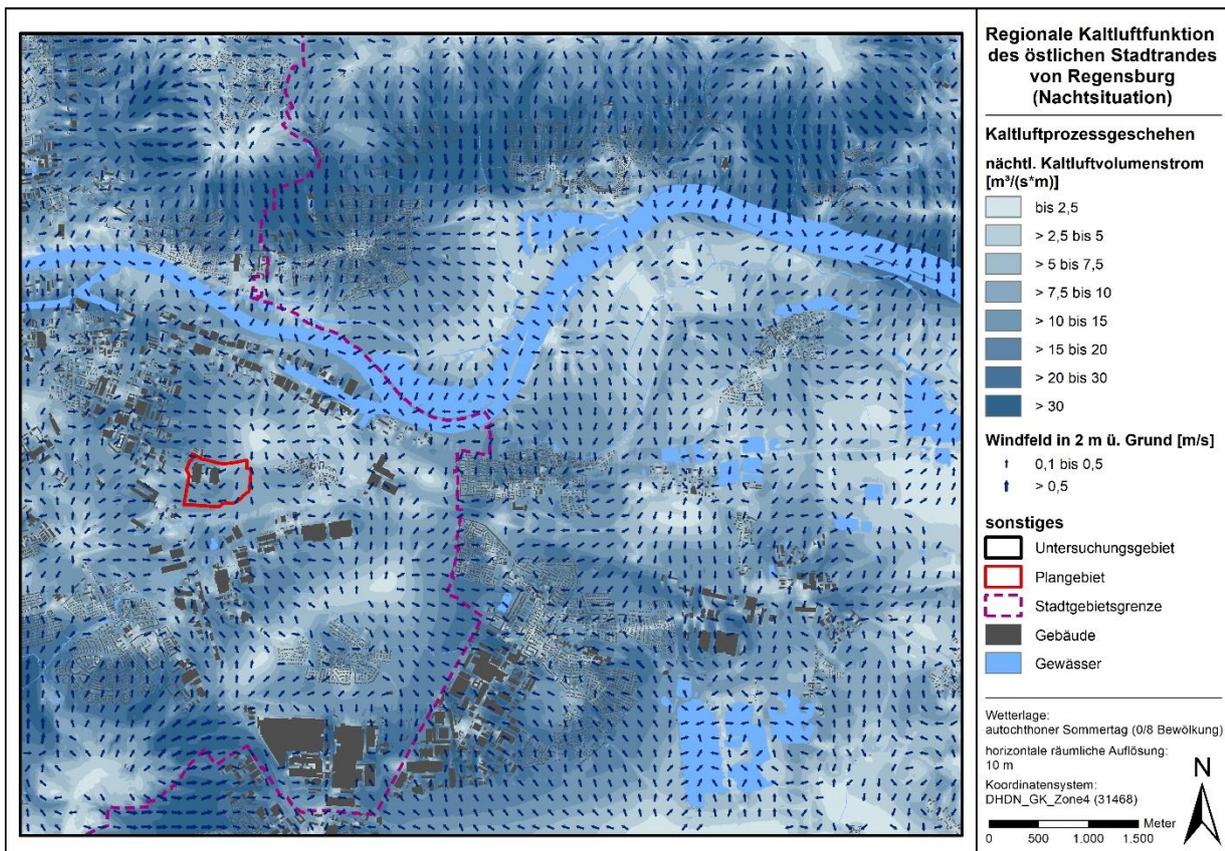


Abbildung 9: Darstellung des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens am östlichen Stadtrand von Regensburg. Den zweiten Teilbereich stellen die weitestgehend flachen Bereiche der Donauaue dar. Anders als in den Hangbereichen im Norden des Untersuchungsgebietes dominieren aufgrund der geringen Höhenunterschiede thermisch bedingte Flurwinde das Kaltluftprozessgeschehen. So bewirkt das Aufsteigen warmer



Luftmassen im Bereich der überwärmten Siedlungsflächen eine von den kühlen Freiflächen ausgehende Kaltluftströmung. Die bodennahen Windgeschwindigkeiten sind dabei mit meist deutlich unter 1 m/s deutlich schwächer ausgeprägt als die zuvor betrachteten Hangabwinde. Dies zeigt sich exemplarisch anhand der Ackerflächen nordöstlich des Plangebiets. Von hier aus strömt die Kaltluft mit einer bodennahen Windgeschwindigkeit von bis zu 0,5 m/s radiär in Richtung der umliegenden Siedlungsflächen, wobei das Gewerbegebiet im Umfeld der Siemensstraße aufgrund seiner im Vergleich großflächigsten Überwärmung die über den Freiflächen produzierte Kaltluft besonders stark anzieht. Auch die Bestandsbebauung innerhalb des Plangebiets löst im Ist-Zustand einen südwestgerichteten Zustrom von Kaltluft aus, welcher innerhalb des Plangebiets in westliche Richtung umgeleitet wird. Die Reichweite dieser thermisch bedingten Ausgleichströmung ist dabei weitestgehend auf die direkt angrenzenden Siedlungsflächen begrenzt.

Beim letzten Teilbereich handelt es sich um die beginnenden Hügel des Unterbayrischen Hügellandes im Südwesten des Untersuchungsgebietes. Ähnlich wie im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes werden durch die erhöhte Reliefenergie Hangabwinde begünstigt, welche sich in nördlicher bis östlicher Richtungen ausbilden. Durch diese werden der Regensburger Stadtteil Burgweinting, die Gemeinde Obertraubling sowie das BMW-Werk mit einer teils intensiven Kaltluftströmung versorgt. Ein direkter Einfluss auf das Umfeld des untersuchten Plangebietes ist durch die auftretenden Hangabwinde nicht zu erwarten.



3.2 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.

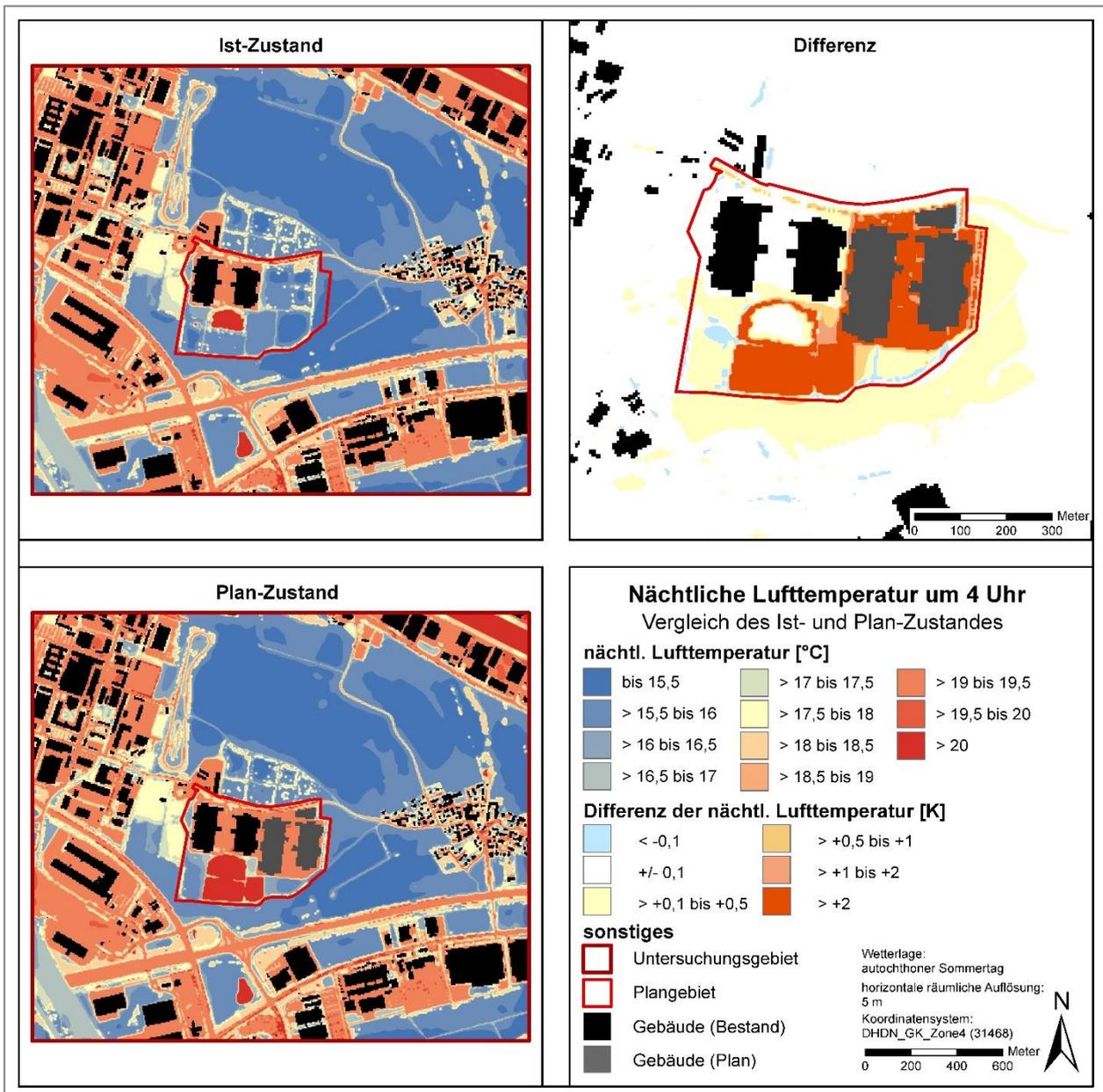


Abb. 10: Darstellung der nächtlichen Lufttemperatur im Ist-Zustand, Plan-Zustand sowie deren Differenz.

Die Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der Modellrechnung des lokalen Modellansatzes in Form des nächtlichen Temperaturfeldes um 04 Uhr nachts in einer Höhe von 2 m über Grund. Neben dem Ist-Zustand sind auch die Ergebnisse des Plan-Zustandes sowie die Differenz beider Modellrechnungen dargestellt.



Im gegenwärtigen Zustand zeigt sich im Plangebiet eine recht heterogene Temperaturverteilung mit Werten von unter 16 °C im Bereich der ehemaligen Schlammteiche bis hin zu Werten über 19 °C im Umfeld der Gewerbehallen bzw. über 20 °C über der Gewässerfläche südlich der Bestandsbebauung. Ein ähnliches Bild zeichnet sich im restlichen Untersuchungsgebiet ab, wo die stark versiegelten Gewerbeflächen sowie der Straßenraum mit Temperaturen von zumeist über 19 °C neben den Gewässern die am stärksten überwärmten Flächen darstellen. Die überwiegend landwirtschaftlich genutzten Freiflächen stellen dagegen mit rund 16 °C die kühlestn Bereiche dar, wohingegen die vorhandenen Gehölzstrukturen sowie die lockere Wohnbebauung der Ortslage Irl mit durchschnittlich 17 bis 18 °C eine Zwischenstufe darstellt.

Im Plan-Zustand weitet sich die lokal ausgeprägte Wärmeinsel durch die zusätzliche Bebauung, Flächenversiegelung und Erweiterung der Wasserfläche erwartungsgemäß nach Osten und Süden hin aus. Vorhabenbedingte Auswirkungen über das überplante Gebiet hinaus sind anhand der Absolutwerte nur schwer auszumachen, weshalb eine Betrachtung der Differenz beider Modellergebnisse vorgenommen wurde. Hierfür wurden die Temperaturwerte des Ist-Zustandes vom Plan-Zustand subtrahiert, wonach eine positive Differenz eine Temperaturerhöhung und eine negative Differenz eine Temperaturabnahme signalisiert.

Es wird deutlich, dass durch die geplante Bebauung, Flächenversiegelung sowie Erweiterung der Wasserfläche eine deutliche Zunahme der Temperaturwerte innerhalb des Plangebiets zu erwarten ist. Im Umfeld der Hallen wird eine relativ deutliche Temperaturerhöhung von bis zu 4 K im Vergleich zur derzeitigen Situation erreicht. Kleinflächig geringere Zunahmen (bis 2 K) innerhalb der Gewerbeflächen sind durch eine höhere Ausgangstemperatur in der aktuellen Situation begründet (Gehölzstrukturen). Die entlang der nördlichen und östlichen Plangebietsgrenze geplanten Baumpflanzungen führen im Vergleich zum Ist-Zustand ebenfalls zu Erhöhung der nächtlichen Lufttemperatur um bis zu 2 K, da aufgrund des Kronendachs die nächtliche Ausstrahlung gehemmt wird. Die stärkste Temperaturzunahme ist im Bereich der zusätzlichen Gewässerflächen zu erwarten (bis + 5,2 K). Außerhalb des Plangebiets bzw. abseits der überplanten Flächen innerhalb des Plangebiets ist nur mit geringfügigen Auswirkungen zurechnen. So sind in Richtung Osten, Süden und Westen lediglich Zunahmen der nächtlichen Lufttemperatur von 0,1 bis 0,5 K bis in maximal 270 m Entfernung zur überplanten Fläche zu erwarten.

3.3 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. Da die potentielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), wird auch der sogenannte Kaltluftvolumenstrom betrachtet.



Bodennahes Windfeld

Abbildung 11 zeigt das zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftwindfeld in zwei Ebenen. Die Strömungsrichtung wird über die Pfeilrichtung in Form von Vektoren abgebildet. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Strömungsgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufungen dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen $< 0,1$ m/s und über $0,5$ m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert.

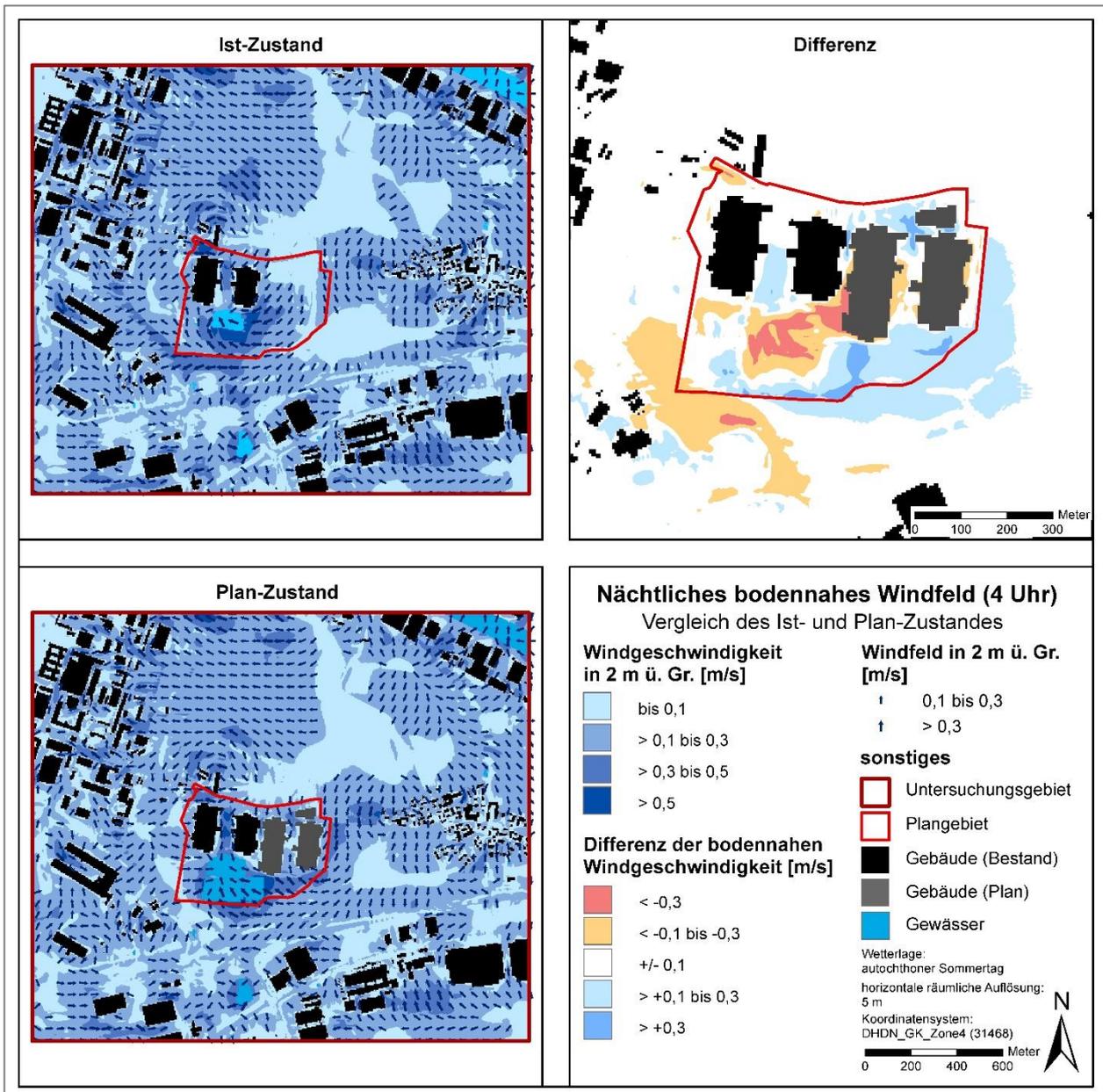


Abbildung 11: Windfeld (aggregiert auf 50 m-Auflösung) und Strömungsgeschwindigkeit im Ist-Zustand, Plan-Zustand und deren Differenz.

Im Ist-Zustand wird das Plangebiet ausgehend von den Ackerflächen im Nordosten aus nordöstlicher Richtung angeströmt, wobei die bodennahe Windgeschwindigkeit zumeist erst innerhalb des Plangebiets die Grenze von $0,1$ m/s überschreitet. Dies lässt sich neben der im Ist-Zustand recht kleinräumigen Überwärmung innerhalb des Plangebiets auch anhand der durch die Gehölzstrukturen nördlich des Plangebiets begründen. Letztere bremsen die ohnehin nur schwach ausgeprägten Flurwinde deutlich ab. Innerhalb



des Plangebiets steigt die Strömungsdynamik bedeutend an, was primär auf die vergleichsweise stark überwärmte Gewässerfläche südlich der Bestandsbebauung zurückzuführen ist. Allerdings zeigt sich mit einer Windgeschwindigkeit von bis zu 0,4 m/s auch zwischen den beiden Gewerbehallen eine Intensivierung der bodennahen Kaltluftströmung.

Durch die bauliche Erschließung des östlichen Teils des Plangebiets zeigt sich im Plan-Zustand eine Umlenkung der bodennahen Kaltluftströmung nach Osten. So strömt die Kaltluft aufgrund der Hinderniswirkung der Neubebauung sowie der Gehölz- und Baumstrukturen am nördlichen Gebietsrand östlich um das Plangebiet herum und dringt erst von Südosten wieder intensiver in das Plangebiet hinein.

Das Umlenken der bodennahen Kaltluftströmung zeigt sich auch anhand der Differenzkarte in Abbildung 11. So ist am östlichen Rand des Plangebiets eine leichte bis mäßige Zunahme der Kaltluftströmung zu erwarten. Von Südosten reicht diese Zunahme von bis zu 0,3 m/s dann deutlich in das Plangebiet hinein und wird dabei auch durch die weiträumigere vergleichsweise warme Wasserfläche begünstigt. Eine Erhöhung der bodennahen Windgeschwindigkeit ist zudem im Norden zwischen in den Abstandsflächen der neuen Gewerbehallen zu erwarten. Dies begründet sich anhand der Überwärmung der Fläche und der einhergehenden Zunahme thermischer Flurwinde sowie dem typischen Kanalisierungseffekt zwischen relativ eng stehenden Gebäudekörpern. Südwestlich der Neubebauung zeigt sich dagegen eine teils deutliche Abnahme der Kaltluftströmung, welche auf die zuvor beschriebene Umlenkung der Kaltluft bzw. den Windschatten der Neubebauung zurückzuführen ist. Die Auswirkungen besitzen dabei allerdings eine relativ geringe Reichweite und wirken sich bis in maximal 300 m Entfernung zum Plangebiet aus. Eine nennenswerte Beeinträchtigung umliegender Siedlungsflächen ist demnach nicht zu erwarten.

Kaltluftvolumenstrom

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher (siehe Abbildung 12). Sie reicht dabei von Werten unter 2,5 m³/s/m im zentralen Bereich der Ackerflächen bis hin zu Werten über 30 m³/s/m im Gewerbegebiet nordwestlich des Plangebiets. Auch anhand des Kaltluftvolumenstroms zeigt sich das durch das Planvorhaben ausgelöste östliche Umlenken der Kaltluft. Auffallend ist, dass sich bereits bei Betrachtung der Karten mit den Absolutwerten deutlichere Unterschiede zwischen Ist- und Planzustand abzeichnen. So wird insbesondere östlich des Plangebiets eine weiträumige deutliche Zunahme des Kaltluftvolumenstroms sichtbar, wohingegen südwestlich der geplanten Neubebauung eine deutliche Reduzierung zu beobachten ist. Des Weiteren zeigt sich auch eine Abschwächung des Kaltluftvolumenstroms im Nordwesten und Nordosten des Untersuchungsgebiets. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass durch die Vergrößerung der Wärmeinsel bzw. deren Ausdehnung nach Osten und Süden die auf den Ackerflächen produzierte Kaltluft nun vermehrt in Richtung des Plangebiets strömt. Das Einzugsgebiet der Kaltluft hat sich demnach nach Südosten verlagert, wodurch es insgesamt zu recht weiträumigen Auswirkungen kommt. Wie die Differenzkarte zeigt sind Auswirkungen auch in den angrenzenden Siedlungsflächen zu erwarten. Dabei treten sowohl Bereiche mit einer Verminderung des Kaltluftvolumenstroms (z.B. Gewerbebebauung südöstlich der Autobahnausfahrt Regensburg-Ost, Gewerbebebauung zwischen Kremser Straße und dem DHL Paketzentrum) als auch solche mit einer Erhöhung des selbigen auf (z.B. Gewerbebebauung nördlich Robert-Bosch-Straße, Gewerbebebauung zwischen A3 und Leibnizstraße).

Da sich der Mensch nachts hauptsächlich im bewohnten Siedlungsraum aufhält spielen bei der Bewertung des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens weniger die Gewerbegebiete (Arbeitsumfeld), sondern vielmehr die bewohnten Siedlungsflächen (Wohn- und Schlafumfeld) eine Rolle. Die Differenzkarte zeigt in

diesem Zusammenhang auch innerhalb der Wohnbebauung von Irl eine Modifikation des Kaltluftvolumenstroms. Da darüber hinaus keine weiteren Wohngebiete im Untersuchungsgebiet vorhanden sind, bezieht sich die nachfolgende Bewertung ausschließlich auf jene von Irl.

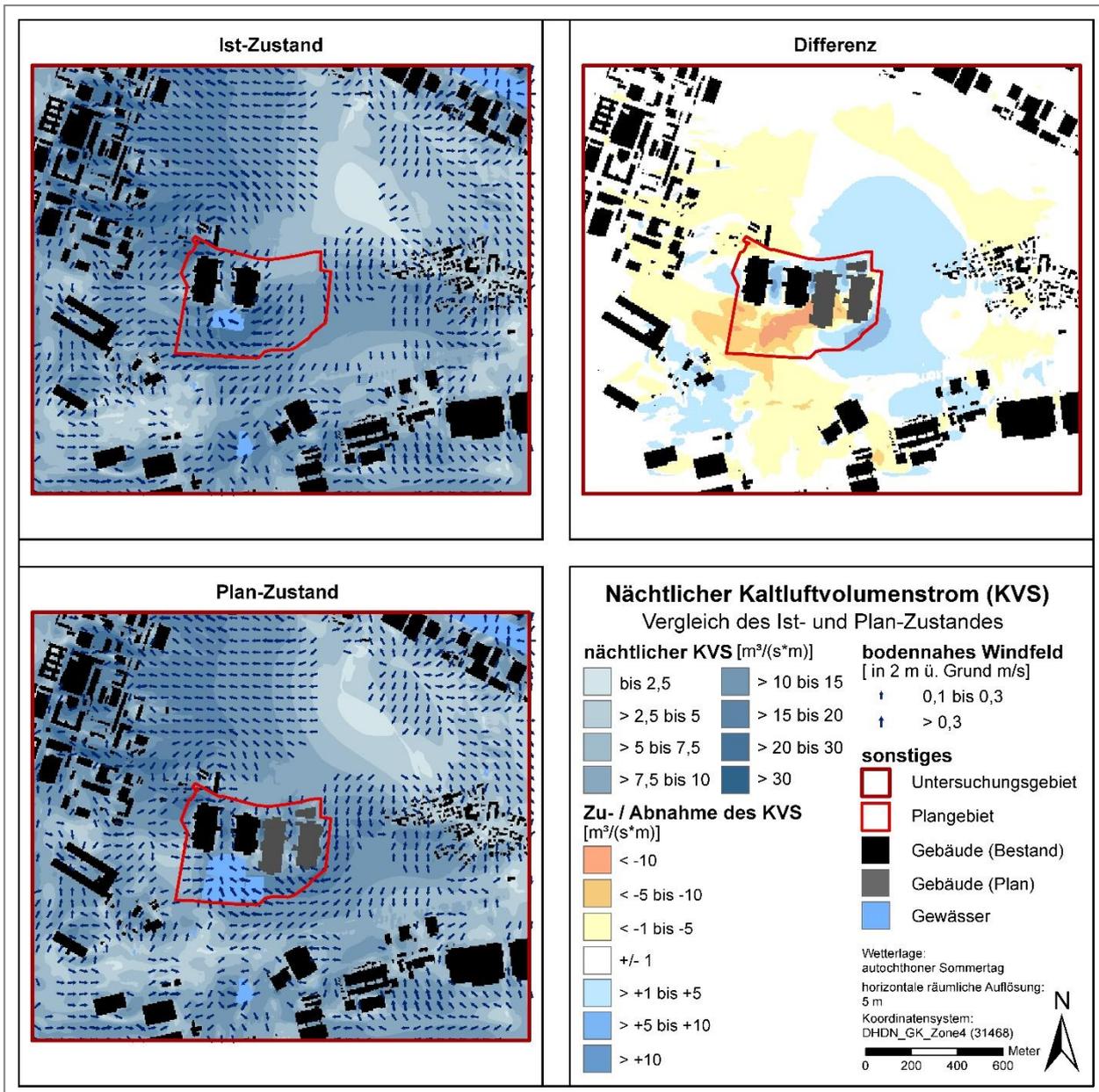


Abbildung 12: Ausprägung des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms im Ist-Zustand, Plan-Zustand und deren Differenz. Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Lediglich in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Maß der Beeinflussung“ vorgeschlagen, das 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.



Abbildung 13 zeigt die prozentuale Verminderung/Erhöhung des Kaltluftvolumenstroms anhand der bewohnten Siedlungsflächen im Untersuchungsgebiet. Die Siedlungsflächen wurden zu diesem Zweck in bewertungsrelevante Blockflächen unterteilt, für welche wiederum die durchschnittliche prozentuale Zu- bzw. Abnahme des Kaltluftvolumenstroms berechnet wurde. Es zeigt sich, dass der westlichste Siedlungsteil von Irl von der Modifikation des Kaltluftvolumenstroms profitiert, wohingegen die zentralen Bereiche überwiegend mäßig bis starke prozentuale Abnahmen (-5 bis -16 %) verzeichnen. Bei Betrachtung der absoluten Veränderung wird deutlich, dass das insgesamt geringe Wertenniveau von ca. 4 bis 9 m³/m/s mit für die vergleichsweise hohen prozentualen Auswirkungen verantwortlich ist. Das insgesamt geringe Wertenniveau des Kaltluftvolumenstroms hat demnach zur Folge, dass schon kleine absolute Veränderungen eine relativ große prozentuale Veränderung zur Folge haben. Dies sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

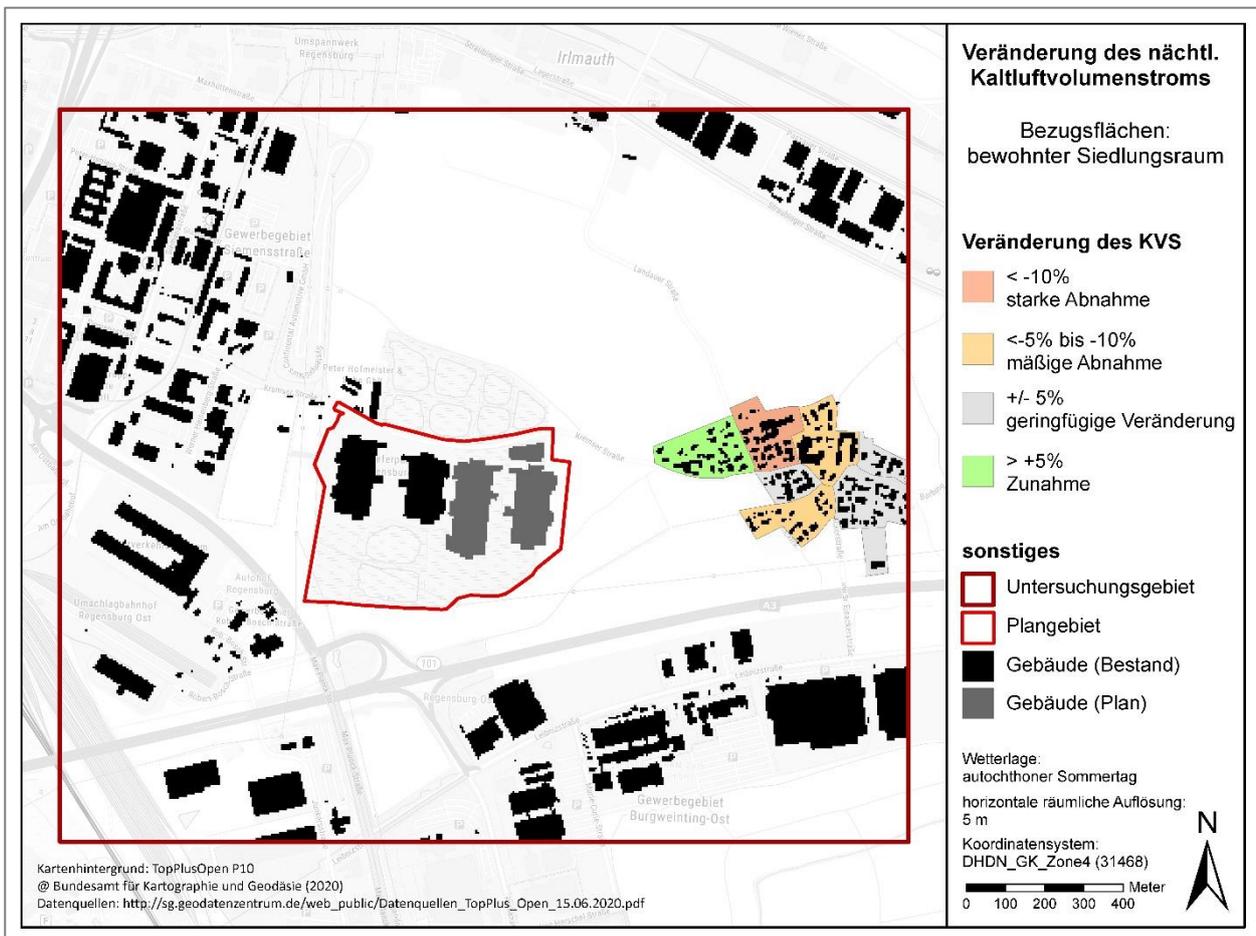


Abb. 13: Bewertung der Verminderung des Kaltluftvolumenstroms auf die angrenzenden bewohnten Siedlungsflächen durch eine Flächenbilanzierung.



3.4 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 14 zeigt die Verteilung der PET um 14 Uhr in 1,1 m über Grund für die derzeitige Situation (Ist-Zustand), den Plan-Zustand sowie die Differenz beider Szenarien (Plan - Ist).

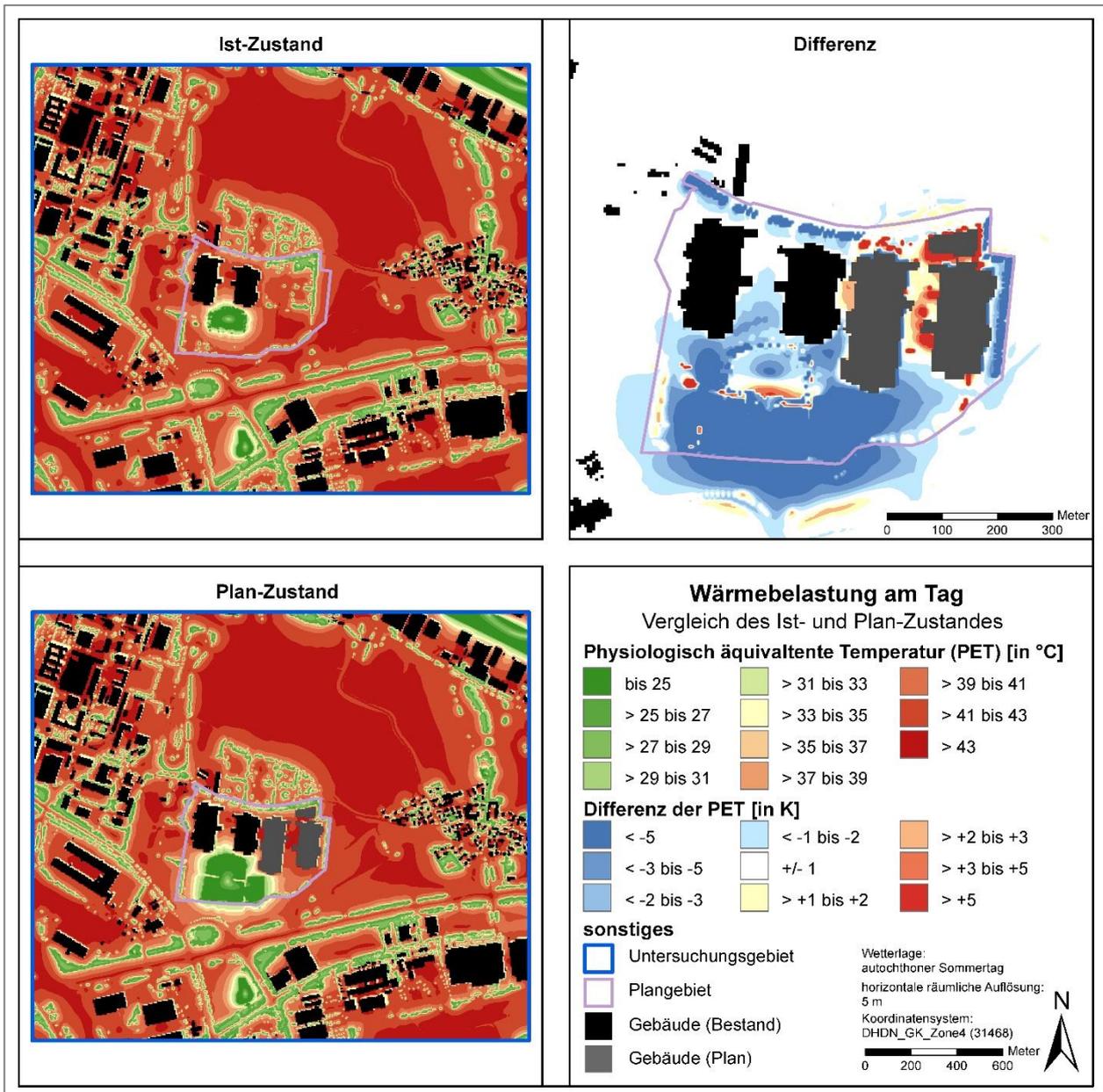


Abbildung 14: Ausprägung der Physiologisch äquivalenten Temperatur im Ist-Zustand, Plan-Zustand und deren Differenz.



Im gegenwärtigen Zustand weisen innerhalb des Plangebiets neben den versiegelten Flächen im Bereich der Gewerbehallen auch die unversiegelten baumarmen Freiflächen die höchsten Werte von teils über 43 °C auf. Die geringsten Werte werden dagegen mit rund 25 bis 30 °C im Bereich der Gehölzstrukturen (Schattenwirkung) im Nordosten sowie im Nahbereich des stillgelegten Schlammteiches erreicht. Mit Umsetzung des Planvorhabens erhöht sich die Wärmebelastung stellenweise aufgrund der veränderten Flächennutzung, des erhöhten Versiegelungsgrades sowie des verminderten Luftaustauschs durch die Barriere Wirkung der Gebäudekörper um bis zu 8 K. Dieser Zunahme wirken innerhalb des Plangebiets die Schattenwirkung der Gebäude sowie jene der vorgesehenen Bäume am östlichen und nördlichen Gebietsrand entgegen. Diese führen kleinräumig zu einer Reduktion der Wärmebelastung um bis zu 9 K. Die wesentlichsten Auswirkungen sind ausgehend von den zusätzlichen Gewässerflächen zu erwarten. So besitzen diese einen kühlenden Effekt auf ihre direkte Umgebung in bis zu 200 m Entfernung, wodurch teilweise auch die Gewerbeflächen innerhalb des Plangebiets profitieren. Negative Auswirkungen über das Plangebiet hinaus sind nicht zu erwarten.

4. Schlussfolgerung und planerische Hinweise

In der vorliegenden Analyse wurde in einem ersten Schritt die nächtliche Kaltluftfunktion des östlichen Stadtrandes untersucht und das Plangebiet mit den identifizierten Kaltluftfunktionen in Verbindung gesetzt. Die Modellergebnisse machen deutlich, dass sich das Plangebiet im Umfeld vorrangig landwirtschaftlich genutzter Freiflächen mit einer hohen bis sehr hohen thermischen Ausgleichsleistung befindet. So versorgen die kaltluftproduktiven Freiflächen die angrenzenden Siedlungsflächen über lokal ausgeprägte (thermisch bedingte) Flurwinde effektiv mit Kaltluft. Von einer Ausgleichswirkung über diese angrenzenden Siedlungsflächen hinweg ist dagegen nicht auszugehen. Somit bestätigen sich die Aussagen der Klimaanalyse von 2014 auch anhand der vorgenommenen Modellrechnung. Die vom Bayrischen Wald und dem Unterbayrischen Hügelland ausgehenden Hangabwinde üben keinen direkten ausgleichenden Einfluss auf das Plangebiet oder dessen direkte Umgebung aus, sondern wirken lediglich lokal in die angrenzenden Siedlungsbereiche ein.

Die Betrachtung der planungsbedingten Auswirkungen zwischen dem Ist- und Plan-Zustand zeigt, dass durch das Planvorhaben teils deutliche Veränderungen der untersuchten klimaökologischen Parameter innerhalb und außerhalb des Plangebiets zu erwarten sind. Da es sich bei der überbauten Planfläche im derzeitigen Zustand in Form der stillgelegten Schlammteiche um weitestgehend unversiegelte Freiflächen handelt, kommt es durch die Erschließung der Gewerbefläche und der damit verbundenen Erhöhung des Bauvolumens und Oberflächenversiegelung zu einer teilweise deutlichen Beeinflussung der untersuchten Klimaparameter. Auch die Erweiterung der Gewässerfläche führt zu einer nach Süden vergrößerten nächtlichen Wärmeinsel, wohingegen das Gewässer in der Tagsituation einen kühlenden Effekt auf die Umgebung ausübt.

Die nach Osten und Süden gerichtete Ausdehnung der nächtlichen Wärmeinsel führt zu einer Modifikation des Kaltluftprozessgeschehens und insbesondere des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms, wodurch innerhalb und außerhalb des Plangebiets Flächen zum Teil negativ und zum Teil positiv hinsichtlich ihrer Kaltluftversorgung beeinflusst werden. Relevant sind in dieser Hinsicht primär die bewohnten Siedlungsflächen, bei welchen es sich innerhalb des Untersuchungsgebietes ausschließlich um den Stadtteil Irl handelt. Dieser weist ähnlich wie die umliegenden Gewerbegebiete Zu- und Abnahmen der nächtlichen Kaltluftversorgung auf. Die Auswirkungen reichen dabei gemäß VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) von geringfügig bis stark, wobei die teilweise hohen prozentualen Veränderungen auf das insgesamt geringe



Werteniveau zurückzuführen sind. So haben kleine absolute Veränderungen eine relativ große prozentuale Veränderung zur Folge. Berücksichtigt man dies sowie das insgesamt als günstig einzustufende Bioklima der Irlar Siedlungsflächen, relativiert dies die vergleichsweise hohe prozentuale Auswirkung auf einzelne Siedlungsteile.

Zwar gehen durch die Erschließung der Gewerbefläche Freiflächen verloren, welche im Rahmen dieser Analyse sowie der Klimaanalyse 2014 als Flächen mit einer hohen bis sehr hohen nächtlichen Ausgleichsleistung identifiziert wurden. Allerdings sind darüber hinaus noch ausreichend kaltluftproduzierende Freiflächen vorhanden, um die umliegenden Siedlungsflächen mit Kaltluft zu versorgen. Hierauf deutet auch die nur geringe Reichweite der nächtlichen Temperaturzunahme im Umfeld des Plangebiets hin.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch das Planvorhaben zwar teilweise von deutlichen klimaökologischen Auswirkungen ausgegangen werden muss. Diese wirken allerdings entweder nicht weit genug über das Plangebiet hinaus um umliegende Siedlungsflächen nachteilig zu beeinflussen oder wirken sich im Fall des Kaltluftvolumenstroms primär auf Siedlungsflächen mit gewerblicher Nutzung aus, welche hinsichtlich der Nachtsituation nur eine geringe Relevanz besitzen. Die einzigen betroffenen bewohnten Siedlungsflächen weisen auch im Plan-Zustand ein weiterhin günstiges Bioklima auf. Die bioklimatischen Auswirkungen sind demnach insgesamt als gering einzustufen.

Um die planungsbedingten Auswirkungen auf das Bioklima dennoch möglichst gering zu halten, werden im Folgenden Maßnahmen aufgezeigt, die zur klimatischen Optimierung des Plangebietes beitragen können.

Planungshinweise

In der Nacht wird der Kaltluftvolumenstrom vor allem durch die Ausdehnung der lokalen Wärmeinsel im Plangebiet modifiziert. Dies wird sich durch Maßnahmen nicht komplett ausgleichen lassen, kann aber in ihrem Ausmaß verringert werden:

- ◆ Die Durchlüftung des Plangebietes aus nordöstlicher Richtung sollte durch eine Reduzierung der Barrierewirkung entlang der Kremser Straße möglichst begünstigt werden. Diesbezüglich sollten die geplanten Baumpflanzungen nur in Flucht der Bestands- bzw. Neubauten vorgenommen. Auf diese Weise kann eine bessere Durchlüftung der Gebäudeabstandsflächen erzielt werden.
- ◆ Dort wo möglich, sollte eine Entsiegelung beziehungsweise Teilentsiegelung der Oberfläche angestrebt und mehr Grünflächen geschaffen werden. Dadurch kann die Kaltluftproduktion in der Nacht erhöht werden.
- ◆ Das Anlegen von Gründächern kann nicht nur zur Abkühlung auf Dachniveau beitragen, sie fungieren zudem als Schutzschicht für den Dachaufbau und die Vegetation wirkt zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit auch das Aufheizen des Gebäudeinneren. Im Winter kann es zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Eine thermische Ausgleichswirkung von Gründächern auf die Umgebung ist allerdings stark von der Gebäudehöhe abhängig. So bieten sich im Fall der geplanten Gewerbehallen primär die vergleichsweise niedrigen Nebengebäude für eine Dachbegrünung an.



- ♦ Die Anwendung von geeigneten Baumaterialien und hellen Anstrichen kann dazu beitragen, der Aufheizung von versiegelten Oberflächen und Gebäuden am Tage entgegen zu wirken, 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 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.

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.

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.



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