

Klimauntersuchung zum B-Plan Nr. 293 „Konversionsfläche Fritsch-Kaserne – ehem. Unterkunftsbereich“ in Koblenz

Bericht C 5289-1 vom 19.08.2022 / Druckdatum: 23.08.2023

Auftraggeber: BPD Koblenz Niederberg GmbH
Rheinau 3
56075 Koblenz

Bericht-Nr.: C 5289-1

Datum: 19.08.2022 / Druckdatum: 23.08.2023

Ansprechpartner/in: Herr Siebers / Frau Fritsch

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 83 Seiten, davon 52 Seiten Text und 31 Seiten Anlagen.

VMPA anerkannte
Schallschutzprüfstelle
nach DIN 4109

Leitung:

Dipl.-Phys. Axel Hübel

Dipl.-Ing. Heiko Kremer-Bertram
Staatlich anerkannter
Sachverständiger für
Schall- und Wärmeschutz

Dipl.-Ing. Mark Bless

Anschriften:

Peutz Consult GmbH

Kolberger Straße 19
40599 Düsseldorf
Tel. +49 211 999 582 60
Fax +49 211 999 582 70
dus@peutz.de

Borussiastraße 112
44149 Dortmund
Tel. +49 231 725 499 10
Fax +49 231 725 499 19
dortmund@peutz.de

Pestalozzistraße 3
10625 Berlin
Tel. +49 30 92 100 87 00
Fax +49 30 92 100 87 29
berlin@peutz.de

Gostenhofer Hauptstraße 21
90443 Nürnberg
Tel. +49 911 477 576 60
Fax +49 911 477 576 70
nuernberg@peutz.de

Geschäftsführer:

Dr. ir. Martijn Vercammen
ir. Ferry Koopmans
AG Düsseldorf
HRB Nr. 22586
Ust-IdNr.: DE 119424700
Steuer-Nr.: 106/5721/1489

Bankverbindungen:

Stadt-Sparkasse Düsseldorf
Konto-Nr.: 220 241 94
BLZ 300 501 10
DE79300501100022024194
BIC: DUSSEDDXXX

Niederlassungen:

Mook / Nimwegen, NL
Zoetermeer / Den Haag, NL
Groningen, NL
Eindhoven, NL
Paris, F
Lyon, F
Leuven, B

peutz.de

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung.....	5
2	Quellenverzeichnis.....	6
3	Örtliche Gegebenheiten.....	9
4	Grundlagen.....	11
4.1	Stadtklima.....	11
4.1.1	Lufttemperatur.....	11
4.1.2	Windfeld.....	12
4.1.3	Thermischer Komfort.....	12
4.2	Kaltluft.....	13
4.2.1	Entstehung und Wirkung von Kaltluftabflüssen.....	13
4.2.2	Bewertung von Kaltluftabflüssen.....	14
5	Klimatische Situation in Koblenz.....	15
5.1	Auswirkungen des Klimawandels.....	15
5.2	Windrichtungsverteilung an heißen Tagen.....	17
6	Themenkomplex Kaltluft.....	18
6.1	Berechnungsmodell.....	18
6.1.1	Modellbeschreibung.....	18
6.1.2	Aufbau und Abgrenzung des Rechengebietes.....	19
6.2	Eingangsdaten.....	19
6.2.1	Digitales Geländemodell.....	19
6.2.2	Landnutzung.....	20
6.3	Ergebnisse der Kaltluftberechnung.....	21
6.3.1	Kaltluftgeschehen zwei Stunden nach Sonnenuntergang.....	22
6.3.2	Kaltluftgeschehen sechs Stunden nach Sonnenuntergang.....	24
7	Themenkomplex Überhitzung und Durchlüftung.....	27
7.1	Berechnungsmodell.....	27
7.2	Modellbeschreibung.....	27
7.2.1	Aufbau der Rechengitter.....	28
7.3	Eingangsdaten.....	28
7.3.1	Gebäude.....	28
7.3.2	Vegetation.....	29
7.3.3	Oberflächen.....	30

7.3.4	Initialisierungsparameter.....	31
7.4	Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation.....	33
7.4.1	Durchlüftung.....	34
7.4.2	Lufttemperatur um 14 Uhr.....	37
7.4.3	Lufttemperatur um 4 Uhr.....	39
7.4.4	Bioklima (PET).....	41
8	Planungsempfehlungen.....	44
9	Zusammenfassung.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET..... 13

Tabelle 4.2: Bewertung der planerischen Auswirkungen von Kaltluftabflüssen [8]..... 14

Tabelle 6.1: Verwendete Landnutzungsklassen im Rechenmodell KLAM_21.....20

Tabelle 6.2: Bilanzierung des Kaltluftvolumenstroms in Bereichen mit signifikanten Zu- oder Abnahmen – 2 Stunden nach Sonnenuntergang.....24

Tabelle 6.3 Bilanzierung des Kaltluftvolumenstroms in Bereichen mit signifikanten Zu- oder Abnahmen – 6 Stunden nach Sonnenuntergang.....26

Tabelle 7.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen.....33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.1: Projektionen der Entwicklung der mittleren Temperatur im Kalenderjahr in Koblenz [7]..... 16

Abbildung 5.2: Entwicklung der Heißen Tage im Kalenderjahr in Koblenz (1951-2019) [7].. 17

Abbildung 7.1: Tagesgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit beim Simple-Forcing..... 32

1 Situation und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant im Rahmen des vorhabenbezogenen Bebauungsplans Nr. 293 [2] die städtebauliche Entwicklung des ehemaligen Unterkunftsgebietes der Fritsch-Kaserne in der Stadt Koblenz. Zur Entwicklung des Konversionsareals ist die Aufstellung eines Bebauungsplans erforderlich. Der voraussichtliche räumliche Geltungsbereich des B-Plans umfasst ca. 12,5 ha.

Bei städtebaulichen Planungen und Bauleitverfahren gewinnen Fragestellungen einer klimatisch optimierten Stadtentwicklung immer mehr an Bedeutung. Daher ist im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens sowohl eine mikroskalige Stadtklimaanalyse als auch eine Kaltluftuntersuchung durchzuführen. Die Untersuchungen sollen die stadtklimatischen Auswirkungen der Planung im Plangebiet selbst und in der Umgebung aufzeigen und – falls notwendig - Optimierungsvorschläge unterbreiten.

Zur Beurteilung der Auswirkungen des Planvorhabens auf das lokale Mikroklima werden mithilfe des mikroskaligen Stadtklimamodells ENVI-met in der Version 5.03 (Summer Release 2022) Simulationsrechnungen für den Ist- und Planfall und zwei Hauptwindrichtungen für einen heißen Sommertag durchgeführt. In die Berechnungen fließen Gebäudestellungen und -höhen, der Vegetationsbestand sowie die Oberflächenbeschaffenheit ein. Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgt anhand der simulierten Temperaturverhältnisse zu zwei verschiedenen Uhrzeiten sowie anhand der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes am Nachmittag. Zusätzlich werden die Windverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m und 14,5 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

Vor dem Hintergrund, dass eine veränderte Bebauung des Plangebietes das lokale Kaltluftgeschehen beeinflussen kann, soll weiterhin gutachterlich geprüft werden, wie sich die Neuentwicklung der Konversionsfläche auf das Kaltluftgeschehen auswirkt. Zu diesem Zweck werden Kaltluftberechnungen mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 in der aktuellen Version 2.012 ([5], [6]) unter Berücksichtigung des Reliefs, der Landnutzung sowie der Bebauungssituation im Umfeld des Planvorhabens durchgeführt. Die Beurteilung der Veränderung erfolgt anhand eines Vergleichs der im Modell berechneten Kaltluftkenngrößen.

Die den Berechnungen der Istsituation zugrunde liegenden örtlichen Gegebenheiten sowie die Eingrenzung des Plangebietes werden in Anlage 1 dargestellt. Anlage 2 beinhaltet einen Überblick über die lokalen Gegebenheiten für den Planfall.

2 Quellenverzeichnis

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[1]	Städtebauliches Konzept (Vor-entwurf)	FIRU Koblenz GmbH	P 13.06.2022
[2]	Bebauungsplan Nr. 293 „Quartierspark – ehem. Fritsch-Kaserne“ (Vorabzug-Entwurf)	FIRU Koblenz GmbH	P 03.06.2022
[3]	Kennwerttabelle des Bebauungsplanes: Ermittlung der zulässigen Grund- und Geschossflächen	FIRU Koblenz GmbH	P 14.04.2022
[4]	Fritsch-Kaserne – Festsetzungen zur Durchgrünung im Plangebiet	Sweco GmbH	P 04.10.2022
[5]	Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21	Deutscher Wetterdienst	Lit November 2017
[6]	Das Kaltluft-Abfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms	Deutscher Wetterdienst	Lit 2008
[7]	Abschlussdokumentation im Projekt „KlimawandelAnpassungsCOACH RLP“ Stadt Koblenz	Stiftung für Ökologie und Demokratie e.V.	P 2021
[8]	VDI 3787 Blatt 5 Lokale Kaltluft	Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL	RIL 2003
[9]	Zeitreihe der Windrichtung und -geschwindigkeit der Station Bendorf aus dem Zeitraum 2001-2010	Climate Data Center des Deutschen Wetterdienst: https://opendata.dwd.de/	P Letzter Zugriff: November 2021
[10]	Digitales Geländemodell (DGM1) des Untersuchungsgebietes (Airborne Laserscandaten)	Stadtverwaltung Koblenz – Amt für Stadtvermessung und Bodenmanagement, zur Verfügung gestellt durch FIRU Koblenz GmbH	P August 2018
[11]	CORINE Land Cover 10 ha (CLC10) im Vektorformat – Stand 2018	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/catalog/product/view/id/1071/s/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018/category/8/?__store=default	P 2018

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[12]	Mapping Guide v6.1 for a European Urban Atlas	Copernicus – Europe's exes on Earth: https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/urban_atlas_2012_2018_mapping_guide_v6-1.pdf	Lit. 2020
[13]	LOD1-Modell des Untersuchungsgebietes	Stadtverwaltung Koblenz – Amt für Stadtvermessung und Bodenmanagement; zur Verfügung gestellt durch FIRU Koblenz GmbH	P 2021
[14]	Digitales Oberflächenmodell (DOM) des Untersuchungsgebietes	Stadt Koblenz	P 2021
[15]	Digitale Orthophotos (DOP)	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation (LVer-Geo) Rheinland-Pfalz: https://lvermgeo.rlp.de/	P 2021
[16]	Digitale Topografische Karte 1:50.000 (DTK50)	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation (LVer-Geo) Rheinland-Pfalz: https://lvermgeo.rlp.de/	P 2021
[17]	Bodenflächendaten 1:5000 (BFD5 L)	Landesamt für Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz: https://www.lgb-rlp.de/	P Letzter Zugriff: November 2021
[18]	Baugrunderkundung und geotechnische Bewertung der allgemeinen Bebaubarkeit	Kocks Consult GmbH; zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P Mai 2015
[19]	Rechenmodell ENVI-met, Version 5.0.3 - Summer Release 2022	ENVI_MET GmbH https://www.envi-met.com/	Lit. 2022
[20]	VDI 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Luftthygiene für die Stadt- und Regionalplanung.	Verein Deutscher Ingenieure	RIL 2008
[21]	Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels	A. Matzarakis, in Umweltmeteorologie, Nr. 3, 2013	Lit. 2013
[22]	Stadtklima	S. Henninger & S. Weber, 2019	Lit 2019
[23]	Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur-Verbraucherschutz NRW	Lit 2011

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[24]	Meteorologie H. Häckel, 4. Auflage	Lit	1999
[25]	Klimatologie W. Kuttler, 2. Auflage	Lit	2013
[26]	Stadtklima in Hamburg Heinke Schlünzen, K., Riecke W., Bechtel B. et al. Enthalten in: Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Spektrum, S. 37-53	Lit.	2018
[27]	DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit	Deutsches Institut für Normung e.V. www.din.de	N 2006
[28]	VDI 3787, Blatt 8. Umweltmeteorologie. Stadtentwicklung im Klimawandel.	Verein Deutscher Ingenieure	RIL 2020
[29]	GALK-Straßenbaumliste	GALK e.V., Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz: https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumliste/galk-strassenbaumliste	Lit. 2022

Kategorien:

G	Gesetz	N	Norm
V	Verordnung	RIL	Richtlinie
VV	Verwaltungsvorschrift	Lit	Buch, Aufsatz, Berichtigung
RdErl.	Runderlass	P	Planunterlagen / Betriebsangaben

3 Örtliche Gegebenheiten

Das Entwicklungsareal liegt im Bereich der Niederberger Höhe, im Stadtteil Niederberg auf dem Festungsplateau. Bei dem Gelände handelt es sich um eine Konversionsfläche, die im Wesentlichen als Truppenunterkunft bzw. zu administrativen Zwecken der Bundeswehr diente. Teile des restlichen Kasernengeländes werden derzeit noch durch die Bundeswehrverwaltung selbst bzw. für eine Zwischennutzung eingesetzt. Der nordwestliche Teil des Plangebietes wird derzeit und nach Realisierung des Vorhabens von der Landesarchäologie (Außenstelle Koblenz) genutzt und ist damit nicht Teil der Quartiersentwicklung.

Das Areal befindet sich auf dem Plateau der rechten Rheinseite, dessen Hochpunkt im Südosten des Plangebietes liegt. Die Fläche fällt in nördliche und westliche Richtungen ab, so dass sich der Tiefpunkt des Plangebietes im nordwestlichen Eckbereich befindet. Die Konversionsfläche wird im Süden durch die Straße „Niederberger Höhe“, im Osten und Norden durch die „Arenberger Straße“ und die „General-Allen-Straße“ begrenzt. Östlich an das Plangebiet schließt das Gelände der Bereitschaftspolizei an, westlich grenzt das Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (BAAINBw) an. Nördlich des Plangebietes liegt die Ortsgemeinde Urbar, die über die Arenberger Straße zu erreichen ist. Im Untersuchungsgebiet sind weiterhin die zum Stadtteil Niederberg zugehörigen Wohnbauungen entlang der Niederberger Höhe, Ellingstraße, Johannes-Casel-Straße und Friesenstraße enthalten, welche südlich der Fritsch-Kaserne liegen.

Anlage 1 zeigt die aktuelle Situation im Untersuchungsgebiet. Seit dem Nutzungsende vor über 15 Jahren liegen weite Teile des Geländes brach. Einige Flächen, wie zum Beispiel die ehemaligen Verkehrsflächen sowie die Innenhöfe der Kasernengebäude sind derzeit mit Asphalt bzw. Betonplatten oberflächenversiegelt. Da das Kasernengelände seit der Stilllegung ungenutzt ist, ist ein variierender Anteil an Pioniergehölzen und -vegetation vorzufinden. Die Vegetationsbestände und Oberflächenbeschaffenheiten zum Istfall können Anlage 23 und Anlage 25 entnommen werden.

Anlage 2 zeigt die auf Grundlage des städtebaulichen Konzepts [1] abgeleitete vorgesehene Bebauung im Planfall. Die Ausgestaltung der Bebauung im Quartier erfolgt in so genannten „Bebauungsbändern“, die sich von West nach Ost im Plangebiet erstrecken. Das Nutzungskonzept sieht für das mittlere und nördliche Bebauungsband überwiegend Wohnnutzungen vor, im Süden ist ein Nutzungsmix aus Wohnen und gewerblichen Nutzungsformen geplant. Innerhalb des Quartiers erstreckt sich weiterhin ein zentraler Grünzug zwischen dem südlichen und mittleren Bebauungsband.

Die in Anlage 2 dargestellten Gebäude und inneren Erschließungsflächen dienen als Grundlage für die Simulationsrechnungen zum Planfall. Die Vegetationsbeschaffenheit im Planfall

beruht auf den textlichen Festsetzungen zur Durchgrünung im Plangebiet [4]. Die Festsetzungen sehen vor, die öffentlichen Grünflächen sowie die privaten Baufelder mit standortgerechten Bäumen und Sträuchern zu gestalten. Auf ausgewählten Flächen sollten zudem die Baum- und Gehölzbestände erhalten werden. Weiterhin ist in den Festsetzungen inbegriffen, dass eine Begrünung der Tiefgaragen im gesamten Plangebiet sowie eine anteilige extensive Dachbegrünung im mittleren und südlichen Bebauungsband umzusetzen ist.

Die Oberflächenbeschaffenheit wurde aus dem in der Kennwerttabelle [3] enthaltenen Versiegelungsgrad (GRZ II) abgeleitet.

Eine detaillierte Darstellung der Vegetation und der Oberflächenbeschaffenheiten im Planfall zeigen Anlage 24 und Anlage 26.

4 Grundlagen

4.1 Stadtklima

Durch die Umgestaltung der natürlichen Oberflächen und ihrer Eigenschaften wird lokal das Klima verändert. In urbanen Gebieten mit ihren zahlreichen künstlichen Materialien und Formen resultiert daraus das Stadtklima [26].

4.1.1 Lufttemperatur

Durch die Überwärmung von Stadtgebieten, die im Allgemeinen als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird, sind im Vergleich zur ländlichen Umgebung bodennah höhere Lufttemperaturen zu verzeichnen. Im Jahresmittel beträgt der Temperaturunterschied zwischen 1 und 2 K, in den Sommermonaten kann die Differenz mehr als 10 K betragen [24]. Das Maximum der städtischen Wärmeinsel bildet sich vor allem in den späten Abendstunden sowie in der Nacht aus. Tagsüber werden deutlich geringere Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland beobachtet [26].

Dem Überwärmungseffekt, der üblicherweise vom Stadtrand hin zum Stadtzentrum zunimmt, liegen verschiedene Ursachen zugrunde. Zum einen trägt eine veränderte Energiebilanz dazu bei, dass im Stadtgebiet verschiedene raum-zeitliche Ausprägungen von Wärmeinseln auftreten. Künstliche Baumaterialien können aufgrund ihres geringen Reflexionsvermögens und Wärmeleitfähigkeit tagsüber die einfallende kurzwellige Sonneneinstrahlung besonders gut absorbieren, was zur Bildung hoher Oberflächentemperaturen führen kann. Die tagsüber absorbierte Strahlung wird nachts in Form von langwelliger Rückstrahlung an die unteren Luftschichten abgegeben, sodass daraus hohe nächtliche Temperaturen resultieren. Zum anderen trägt die anthropogene Wärmeerzeugung im privaten und gewerblichen Bereich zu einer Erhöhung der Lufttemperatur bei.

Die raum-zeitliche Ausprägung der städtischen Überwärmung hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen neben geographischen Gegebenheiten wie Lage, Topographie und Relief auch meteorologischen Rahmenbedingungen wie Witterung und Wetterlagen. Darüber hinaus ist die Lufttemperatur in Städten stark an die Bebauungsdichte, die Flächennutzungsanteile (Versiegelung, Grün- und Wasserflächen), die thermischen Eigenschaften der Oberflächen und den Grad der anthropogenen Wärmefreisetzung gebunden [22].

Für die menschliche Gesundheit stellen die erhöhten Lufttemperaturen im Stadtgebiet ein erhöhtes Risiko dar. So erhöht sich die Gefahr für Hitzestress und vor allem ältere Menschen, vorerkrankte Personen oder Kleinkinder können sich häufig nur unzureichend an die erhöhte Wärmebelastung anpassen.

4.1.2 Windfeld

Städte, insbesondere Großstädte, stellen durch einen Komplex aus Grünflächen, Straßenzügen, Parkplätzen und verschiedensten Bauweisen eine äußerst strukturierte Oberfläche dar. Dementsprechend zeichnet sich ein Stadtkörper vor allem durch eine erhöhte aerodynamische Rauigkeit gegenüber dem nicht bebauten, unbewaldeten Umland aus [24].

Wesentliche Effekte einer erhöhten Oberflächenrauigkeit sind die Beeinflussung der Strömungsrichtung, die Verminderung der bodennahen Windgeschwindigkeit durch Reibung an der Oberfläche, häufigere Windstillen sowie Auswirkungen auf das vertikale Windgeschwindigkeitsprofil. Dabei hängt der Reibungseinfluss maßgeblich von der Oberflächenbeschaffenheit ab. Durch Wechselwirkungen zwischen der Bebauung und der Windströmung prägen sich in Abhängigkeit der Anordnung der Gebäude charakteristische Windfelder aus. Mit einer zunehmend dichteren Bebauung wird die Strömung oberhalb sowie im Bereich innerhalb der Bebauung zunehmend gestört. Jedoch sinkt in der Regel mit zunehmender Höhe der Widerstand, sodass in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung und dem Grad der Bodenrauigkeit mit zunehmender Höhe höhere Windgeschwindigkeiten auftreten [22]. Auch Kanalisierungseffekte in Straßenschluchten können innerhalb eines Stadtgebietes zu höheren Windgeschwindigkeiten führen. Weiterhin können sich beim Durchströmen der Stadtstrukturen mechanisch und thermisch bedingte Wirbel ausbilden [25].

4.1.3 Thermischer Komfort

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht nur von der Lufttemperatur, sondern auch von den Einstrahlungsbedingungen (jahres- und tageszeitliche Varianz, Schattenwurf, langwellige Abstrahlung von Objekten in der Umgebung), der Windgeschwindigkeit sowie der Luftfeuchtigkeit beeinflusst [21]. Dabei ist die Lufttemperatur nicht immer der maßgebliche Faktor, sondern je nach Situation und Tageszeit können auch die Strahlungs- und Windverhältnisse dominant sein. Charakteristisch für das Stadtklima sind Wärmebelastungen bis zum Hitzestress, die insbesondere aus der zusätzlichen Abstrahlung der erwärmten Gebäude und der versiegelten Flächen sowie der infolge der erhöhten Rauigkeit gegenüber dem Umland reduzierten Windgeschwindigkeit resultieren.

In der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 [20] werden verschiedene Methoden zur Quantifizierung des thermischen Komforts aufgeführt. Im Folgenden wird zur Beurteilung des thermischen Komforts die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) herangezogen. Die PET beschreibt das thermische Empfinden bei wechselnden Umgebungsbedingungen. Eine thermische Belastung kann sowohl durch Kälte (niedriger PET-Wert) als auch durch Hitze (hoher PET-Wert) verursacht werden. Neben der Temperatur berücksichtigt der PET-Wert die für die Beschreibung des physiologischen Wärmeempfindens notwendigen Parameter Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung. Ein

PET-Wert zwischen 18 °C und 23 °C beschreibt ein Temperaturempfinden, das als behaglich bezeichnet wird.

Die durch den PET-Wert definierten Klassen des thermischen Komforts sind in der nachfolgenden Tabelle 4.1 dargestellt:

Tabelle 4.1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET

PET	Thermisches Empfinden	Thermophysiological Belastungsstufe
< 4 °C	sehr kalt	extreme Kältebelastung
4 °C – 8 °C	kalt	starke Kältebelastung
8 °C – 13 °C	kühl	mäßige Kältebelastung
13 °C – 18 °C	leicht kühl	schwache Kältebelastung
18 °C – 23 °C	behaglich	keine thermische Belastung
23 °C – 29 °C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
29 °C – 35 °C	warm	mäßige Wärmebelastung
35 °C – 41 °C	heiß	starke Wärmebelastung
> 41 °C	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

4.2 Kaltluft

4.2.1 Entstehung und Wirkung von Kaltluftabflüssen

In wolkenarmen, windschwachen Nächten (Strahlungsnächten) bildet sich durch die negative Strahlungsbilanz über Freiflächen eine bodennahe Kaltluftschicht aus. Im topographisch gegliederten Gelände fließt diese Kaltluft entsprechend der Neigung des Geländes hangabwärts. Damit nennenswerte Kaltluftabflüsse entstehen, sollte die Hangneigung erfahrungsgemäß wenigstens 1 bis 2 Grad betragen.

Die Mächtigkeit einer solchen Kaltluftschicht kann in Abhängigkeit des Nachtzeitpunktes, der Größe des Kaltlufteinzugsgebietes sowie den meteorologischen Rahmenbedingungen stark schwanken. Im Allgemeinen beträgt sie zwischen 1 und 50 m. Staut sich der Kaltluftabfluss an Hindernissen oder in Senken, bildet sich ein sogenannter Kaltluftsee, in dem die Kaltluft zum Stehen kommt. In solchen Kaltluftseen kann die Kaltluftschichtdicke auch deutlich größere Mächtigkeiten annehmen. Die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb eines Kaltluftabflusses liegt typischerweise in der Größenordnung zwischen 1 und 3 m/s. Aufgrund der oftmals nur sehr flachen Ausprägung und den geringen Strömungsgeschwindigkeiten sind Kaltluftabflüsse sehr störanfällig, sodass Hindernisse wie Gebäude, Wälle oder Lärmschutzwände unter gewissen Randbedingungen zu einem Strömungsabbruch führen können.

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark von der Landnutzung ab: Freilandflächen weisen die höchsten Kaltluftproduktionsraten (zwischen 10-20 m³/m²h) auf, für Waldflächen schwanken die Literaturangaben sehr stark (zwischen 1 m³/m²h in ebenem Gelände und 30-40 m³/m²h am Hang). Besiedelte, versiegelte Gebiete verhalten sich bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel).

Unter Umweltgesichtspunkten werden Kaltluftabflüssen sowohl positive als auch negative Auswirkungen zugewiesen. Zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Nimmt sie zu viele Schadstoffe auf, kann ihr Zufluss von Schaden sein.

4.2.2 Bewertung von Kaltluftabflüssen

Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen und der Bewertung von planungsbedingten Veränderungen wird in der Regel der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Gemäß [8] ist der Kaltluftvolumenstrom das Produkt aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Kaltluftsäule sowie der Kaltluftschichtdicke und gibt an, wie viel Kaltluft in einer definierten Zeit (z.B. Sekunde) durch einen 1 m breiten Querschnitt strömt. Der Kaltluftvolumenstrom ist somit ein lokal gültiges Maß und damit für die Messung, die Bewertung und die Modellrechnung sehr gut geeignet.

Die Bewertung der planbedingten Veränderungen im Kaltluftgeschehen erfolgt gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ [8]. Diese Richtlinie schlägt vor, als Maß der Beeinflussung die prozentuale Änderung eines Parameters gegenüber dem Istzustand sowie die Häufigkeit des Auftretens heranzuziehen. Zur Bewertung einer planbedingten Veränderung wird daher in dieser Untersuchung die in Tabelle 4.2 dargestellte Skala verwendet.

Tabelle 4.2: Bewertung der planerischen Auswirkungen von Kaltluftabflüssen [8]

Prozentuale Änderung gegenüber dem Ist-Zustand	≤ 5 %	≤ 10 %	> 10 %
Auswirkung	gering	mäßig	hoch

5 Klimatische Situation in Koblenz

5.1 Auswirkungen des Klimawandels

Städte werden bereits heute mit den Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert. Dazu gehören steigende Temperaturen, Hitzestress sowie eine Zunahme von Extremereignissen wie beispielsweise Starkregen. Mit Blick auf die Zukunft und unter dem Aspekt der zunehmenden Urbanisierung ist besonders in städtischen Gebieten mit einer Zunahme dieser Betroffenheit zu rechnen. Daher stehen diese vor der Herausforderung, Synergien zwischen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Klima und Städtebau erlangt daher eine wachsende Bedeutung.

Um Aussagen zu möglichen zukünftigen Klimaentwicklungen zu treffen, können komplexe Klimarechenmodelle herangezogen werden, die die physikalischen Prozesse im Klimasystem abbilden. Unter der Annahme verschiedener Klimaszenarien, die die zukünftige Entwicklung, wie beispielsweise das Bevölkerungswachstum, den technischen Fortschritt oder den Energiemix berücksichtigen, können aus den Ergebnissen Klimaprojektionen aufgestellt werden.

Im Rahmen des Projekts „KlimawandelAnpassungsCoach RLP“ [7] wurden Klimaprojektionen aus regionalen Klimamodellen für den Raum Koblenz analysiert, um Erkenntnisse über die zukünftige klimatische in Entwicklung für zwei verschiedene RCP-Szenarien zu erlangen.

Die RCP-Szenarien kamen im fünften Sachstandsbericht des Weltklimarates zum Einsatz und stehen für repräsentative Konzentrationspfade (englisch: Representative Concentration Pathways). Diese berücksichtigten bestimmte Szenarien von anthropogenen Treibhausgasemissionen, die den Energie- und Strahlungshaushalt der Erde und damit auch das Klima beeinflussen. Das RCP8.5-Szenario kann als „weiter-wie-bisher“-Szenario definiert werden, und stellt somit ein worst-case-Szenario dar, d.h. ohne effektiven Klimaschutz und einem Anstieg der CO₂-Emissionen bis ins Jahr 2100. Das RCP2.5-Szenario gilt als Klimaschutzszenario zur Einhaltung des 2-Grad-Ziels mit einer moderaten Klimaentwicklung.

Die folgende Abbildung zeigt die Projektionen der Entwicklung der mittleren Temperaturen im gesamten Kalenderjahr bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Es wird deutlich, dass im Raum Koblenz sowohl für das Klimaschutzszenario als auch für das „weiter-wie-bisher“-Szenario mit einem Anstieg der mittleren Temperatur zu rechnen ist. Das RCP8.5-Szenario projiziert einen Anstieg zwischen 2,7 und 4,3 °C bis zum Ende des Jahrhunderts gegenüber dem Jahr 2000. Bei einem RCP2.5-Szenario beträgt der zusätzliche Temperaturanstieg immer noch zwischen 0,8 und 1,5 °C.

Diese Prognosewerte beruhen auf Ergebnissen verschiedener Modellrechnungen, denen unterschiedliche Eingangsdaten, Randannahmen und Modellierungstechniken zugrunde liegen, daher umfassen die Angaben eine große Spanne. Die Ergebnisse der verschiedenen Modellrechnungen sind aber grundsätzlich als gleich wahrscheinlich anzusehen.

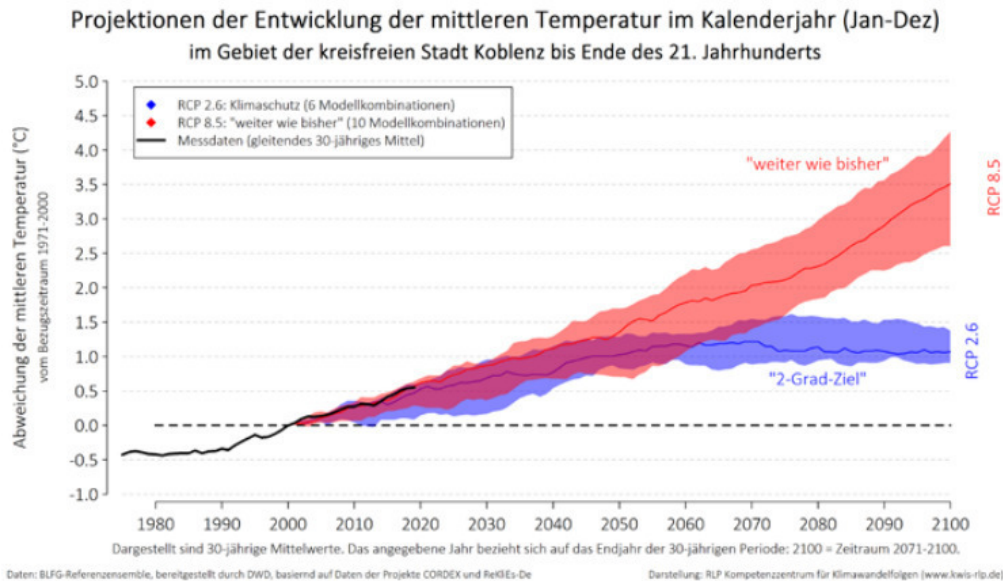


Abbildung 5.1: Projektionen der Entwicklung der mittleren Temperatur im Kalenderjahr in Koblenz [7]

Aufgrund der Beckenlage und des hohen städtischen Versiegelungsgrades gehört Koblenz zu dem am stärksten von Hitze betroffenen Städten in Deutschland, daher ist die Verwundbarkeit gegenüber Hitze dort besonders hoch. Die folgende Abbildung veranschaulicht die Entwicklung der Heißen Tage (Maximum der Lufttemperatur > 30 °C) im Kalenderjahr für den Zeitraum 1951 bis 2019.

Aus der Abbildung geht hervor, dass die Tage mit Hitzebelastungen in Koblenz in Folge des Klimawandels kontinuierlich zunehmen. So wurden im Mittel der Jahre 1951 – 1980 im Sommer sechs Hitzetage erreicht. Im Mittel der Jahre 1990 bis 2019 wurde bereits an 13 Tagen eine maximale Temperatur > 30°C erreicht. In ausgeprägten Hitzesommern, wie beispielsweise in den Jahren 2003, 2015 oder 2018 übersteigt die Anzahl der Hitzetage das Mittel um ein Vielfaches. Eine deutliche Häufung an Hitzetagen ist seit den 1990er-Jahren zu beobachten.

Aufgrund der der projizierten mittleren Temperaturerhöhung und der vergangenen Entwicklung der Anzahl an Heißen Tagen wird sich infolge des Klimawandels zukünftig die Anzahl an

Tagen mit Lufttemperaturen über 30 °C mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit in Koblenz weiter erhöhen.

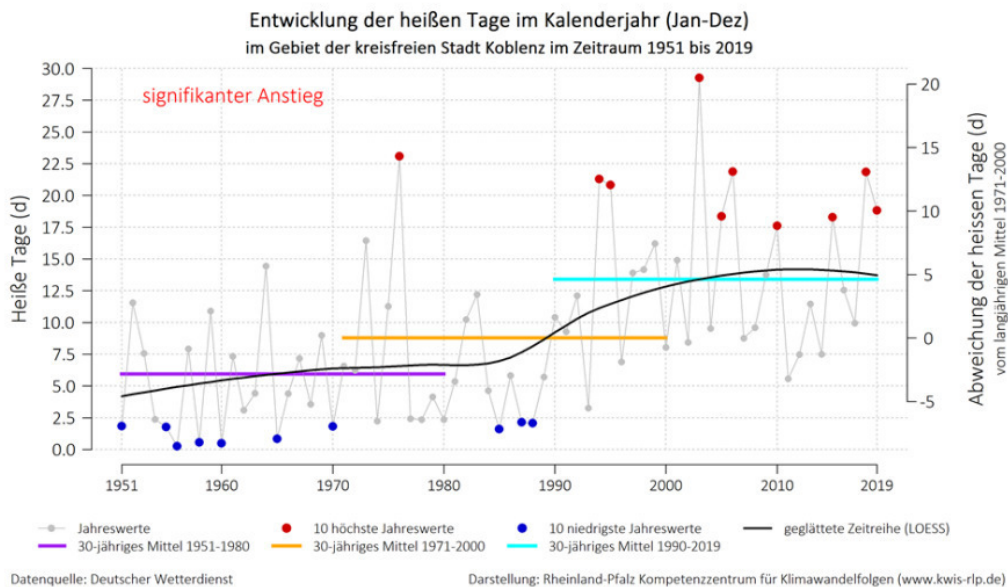


Abbildung 5.2: Entwicklung der Heißen Tage im Kalenderjahr in Koblenz (1951-2019) [7]

5.2 Windrichtungsverteilung an heißen Tagen

Die Windrichtungsverteilung im Untersuchungsgebiet wurde auf Grundlage von Wetterdaten der Wetterstation Bendorf des Deutschen Wetterdienstes abgeleitet [9]. Die Station liegt etwa 5,3 km nordwestlich des Untersuchungsgebietes und gibt aufgrund ihrer Nähe und ähnlicher topographischer Gegebenheiten gut die übergeordnete Windrichtungsverteilung im Plangebiet wieder. Lokal können diese übergeordneten Windverhältnisse aufgrund von Geländeformen und / oder dichter Bebauung überprägt werden.

In Anlage 3 ist die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Station Bendorf nahe Koblenz für heiße Tage mit einer Maximaltemperatur > 30 °C dargestellt. Die Windrose zeigt eine dominierte Windrichtung aus Nordost. Anströmungen aus den übrigen Sektoren treten an Hitzetagen vergleichsweise selten auf. In den Mikroklimauntersuchungen zur thermischen Belastung und Durchlüftung wird daher ein besonderer Fokus auf die nordöstlichen Anströmungsrichtungen gelegt. Um die Auswirkungen des Planvorhabens auf die nördlich angrenzende Ortsgemeinde Urbar beurteilen zu können, wird als weitere dominierende Windrichtung an heißen Tagen die südöstliche Anströmungsrichtung (150°) herangezogen.

6 Themenkomplex Kaltluft

6.1 Berechnungsmodell

6.1.1 Modellbeschreibung

Die Kaltluftberechnungen wurden mit der aktuellen Version des vom Deutschen Wetterdienst entwickelten Kaltluftabflussmodells KLAM_21 [5] durchgeführt.

KLAM_21 ist ein zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung. Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem beliebig auswählbaren, rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt, typische Gitterabstände sind dabei 20 bis 50 m.

Die Modellgebietsgröße wird in der Regel so gewählt, dass alle relevanten Kaltlufteinzugsgebiete erfasst sind. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Jeder Landnutzungsklasse wiederum entspricht eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine Rauigkeit als Maß für den aerodynamischen Widerstand. Außerdem können aus dem Gelände herausragende Hindernisse (z.B. Einzelgebäude, Dämme, Schallschutzwände) modelliert werden, die von der Kaltluft erst überwunden werden, wenn sie eine bestimmte Höhe erreicht hat. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrößen bestimmt das Entstehen, Fließen und die Ansammlung der Kaltluft.

Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, also ein wolkenloser Himmel angenommen.

KLAM_21 ist in der Lage, Kaltluftbewegungen in ihrer Dynamik und zeitlichen Entwicklung flächendeckend wiederzugeben.

Die physikalische Basis des Modells bilden eine vereinfachte Bewegungsgleichung und eine Energiebilanzgleichung, mit der der Energieverlust und damit der „Kälteinhalt“ der Kaltluftschicht bestimmt wird. Aus dem Kälteinhalt einer jeden Säule wird dann (unter der Annahme einer bestimmten Höhenabhängigkeit der Abkühlung) die Kaltluflhöhe errechnet. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltluflhöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten.

6.1.2 Aufbau und Abgrenzung des Rechengebietes

Zur korrekten Quantifizierung der Kaltluftabflüsse im Plangebiet muss sichergestellt werden, dass das gesamte Kaltlufteinzugsgebiet oberhalb des Plangebietes in den Berechnungen berücksichtigt wird. Daher wurde vor Beginn der Berechnungen eine Geländeanalyse erstellt und das Untersuchungsgebiet entsprechend großzügig dimensioniert. Das Untersuchungsgebiet entspricht in seinen Ausmaßen dem in Anlage 4 dargestellten Bereich. Die Abmessungen des gesamten Untersuchungsraumes betragen ca. 10,1 km x 5,6 km. In den äußeren Bereichen des Rechengebietes wurde eine horizontale Gitterauflösung von 20 m realisiert.

Bei den zu erwartenden Auswirkungen des Planvorhabens handelt es sich eher um kleinräumige Effekte. Um diese Auswirkungen sichtbar zu machen, ist es sinnvoll, die Gebäudestrukturen innerhalb des Plangebietes sowie in dessen Umfeld explizit abzubilden und als Strömungshindernisse zu berücksichtigen.

Das Rechenmodell KLAM_21 gestattet eine explizite Gebäudeberücksichtigung mithilfe eines „Nesting“ des Modellgebietes, d. h. die Einbettung eines (oder mehrerer) hoch aufgelöster „Kernbereiche“ in einen gröber aufgelösten „Einflussbereich“. Ein solches Nesting ist dann von Vorteil, wenn das eigentliche Untersuchungsgebiet relativ klein ist, dabei aber einen großen Einflussbereich besitzt, der bei einer angemessenen Simulation des Kaltluftgeschehens mit berücksichtigt werden muss. Innerhalb des Nestinggebietes wird die Gitterauflösung des gröbereren Einflussbereichs um den Faktor 5 erhöht.

Die Lage des in dieser Untersuchung verwendeten Nestingbereiches, in dem die Gebäudestrukturen explizit aufgelöst wurden, zeigt Anlage 4. In diesem Bereich wurde eine horizontale Gitterauflösung von 4 m realisiert. Die Abmessungen des Nestinggebietes betragen etwa 862 m in Ost-West- und etwa 708 m in Nord-Süd-Richtung.

Für die Berechnung wurde eine Strahlungsnacht ohne übergeordneten Regionalwind angenommen, d. h. die Berechnungsergebnisse zeigen das reine, thermisch bedingte Kaltluftgeschehen.

6.2 Eingangsdaten

6.2.1 Digitales Geländemodell

Die für die Berechnung notwendigen Informationen zur Geländehöhe wurden uns von der Stadt Koblenz [10] in einer Auflösung von 1 m zur Verfügung gestellt. Diese wurden in eine einheitliche horizontale Gitterauflösung von 2 m überführt. Anlage 4 zeigt die Geländehöhen im Umfeld des Plangebietes.

Für die fachgerechte Berücksichtigung des Gebäudeeinflusses innerhalb des Nestinggebietes müssen die Gebäudehöhen auf das digitale Geländemodell aufgeprägt werden (vgl. Kapitel 6.2.2). Hierzu wurde für die Bestandsbebauung ein 3D-Gebäudemodell herangezogen, das uns von der FIRU Koblenz GmbH zur Verfügung gestellt wurde [13] und in Teilbereichen ergänzt wurde.

Lage und Höhe der Plangebäude wurden auf Grundlage des städtebaulichen Konzeptes [1] und der zum B-Plan zugehörigen Kennwerttabelle [3] erfasst. Anlage 5 und Anlage 6 zeigen die Geländehöhen inklusive der aufgeprägten Gebäudehöhen im Umfeld des Plangebietes für den Ist- und Planfall.

6.2.2 Landnutzung

Die zur Bestimmung von Kaltluftproduktionsraten und Rauigkeiten benötigten Informationen zur Landnutzung im Untersuchungsraum wurden für das Koblenzer Stadtgebiet mithilfe des von der EU zur Verfügung gestellten Datensatzes Urban-Atlas mit Stand 2018 [12] abgeleitet. Dieser Dienst stellt sehr hoch aufgelöste Landnutzungsdaten, die aus Satellitenbildern abgeleitet werden, für europäische Ballungsgebiete zur Verfügung. Der Vorteil dieses Datensatzes gegenüber anderen Datenquellen zur Landbedeckung (z.B. Corine und ALK) besteht darin, dass in den Siedlungsbereichen nach verschiedenen Versiegelungsgraden unterschieden wird und somit die Rauigkeit und Kälteproduktion innerhalb von Siedlungsgebieten in den KLAM-Berechnungen deutlich genauer erfasst werden kann.

Da die Landnutzungsklassen des Urban Atlas, bzw. des Corine-Katasters nicht den in KLAM_21 verwendeten Landnutzungsklassen entsprechen, mussten zunächst die jeweiligen Landnutzungsklassen-Klassen in die standardmäßig vorgegebenen KLAM-Klassen reklassifiziert werden. Anlage 7 enthält einen Überblick über die Landnutzung im gesamten Rechengebiet, Anlage 8 und Anlage 9 zeigen die in den Berechnungen berücksichtigte Landnutzung im Umfeld des Plangebietes im Ist- und Planfall.

Allerdings stehen diese Daten derzeit noch nicht flächenhaft für ganz Deutschland zur Verfügung. Zur Komplettabdeckung des Untersuchungsgebietes fehlen die Informationen für den Rhein-Lahn- und den Westerwaldkreis. Für diese Bereiche wurde zur Ableitung der Landnutzung auf das Corine-Landnutzungskataster mit Stand 2018 [11] zurückgegriffen.

Die in den Kaltluftberechnungen verwendeten Landnutzungsklassen mit den entsprechenden Parametern können der nachfolgenden Tabelle 6.1 entnommen werden.

Tabelle 6.1: Verwendete Landnutzungsklassen im Rechenmodell KLAM_21

Nutzungen	z0g	grz	hg	wai	bg	hv	xlai	a	vsg
Wald	0,4	0,0	0,0	0,0	0,9	20,0	6,0	0,56	0,0

halb vers. Fläche	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,5
Park	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	20,0	6,0	1,0	0,05
unvers. Freifläche	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
versiegelte Fläche	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
Wasser	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bahnfläche	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,75	0,0
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad > 80%	0,1	0,6	12,0	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,9
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad 50 - 80%	0,1	0,4	10,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,65
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad 30 - 50%	0,1	0,2	8,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,4
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad 10 - 30%	0,1	0,1	8,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,2
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad < 10%	0,1	0,05	8,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,1
Isolierte Strukturen	0,1	0,2	8,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,4
Industrie – und Gewerbegebiete	0,1	0,6	12,0	0,9	0,0	0,0	0,0	-99	0,9

Mit:

- z0g(i)** Rauigkeitslänge des Bodens in m ohne Beachtung explizit spezifizierter Bebauung oder Bewaldung
- grz(i)** Grundflächenzahl, Anteil der bebauten Fläche an der Gesamtfläche
- hg(i)** mittlere Gebäudehöhe in m
- wa(i)** Wandflächenindex, mittleres Verhältnis der Wandfläche eines Gebäudes zu dessen Grundfläche
- bg(i)** mittlerer Bedeckungsgrad des Bodens mit Bäumen
- xlai(i)** Blattflächenindex, über die Höhe aufsummierte einseitige Blattfläche eines Baumes im Verhältnis zu seiner Kronenquerschnittsfläche
- hv(i)** mittlere Baumhöhe in m
- a(i)** relativer Wirkungsgrad der effektiven Ausstrahlung im Vergleich zu einer optimalen Abkühlungsfläche (Bei einem Wert von -99 wird a als Funktion von Bebauung und Versiegelung berechnet [6])
- vsg(i)** Versiegelungsgrad der Gesamtfläche einschließlich der bebauten Flächenanteile

6.3 Ergebnisse der Kaltluftberechnung

Die Kaltluftsimulationen wurden ohne übergeordneten Regionalwind durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse zeigen somit ausschließlich das thermisch bedingte Kaltluftgeschehen. Im Folgenden wird die Kaltluftsituation (Kaltfluthöhe und Kaltluftvolumenstrom) zu zwei Zeitpunkten ausgewertet und dargestellt. Der erste Auswertezeitpunkt ist zwei Stunden nach

Sonnenuntergang und der zweite Auswertzeitpunkt sechs Stunden nach Sonnenuntergang. Erfahrungen zeigen, dass nach sechs Stunden das Kaltluftgeschehen stationär wird, d. h. dass sich nach diesem Zeitpunkt kaum noch Änderungen im Strömungsgeschehen ergeben.

Zur Verdeutlichung des großräumigen Kaltluftgeschehens innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes werden zunächst die Kaltluftmächtigkeit und der Kaltluftvolumenstrom zwei und sechs Stunden nach Sonnenuntergang für den Istfall dargestellt.

Anschließend werden die Kaltluftmächtigkeit sowie der Kaltluftvolumenstrom für den Planfall sowie die vorhabenbedingten Änderungen innerhalb des Nestinggebietes für beide Auswertzeitpunkte dargestellt.

Bei der Interpretation der Darstellungen des Kaltluftvolumenstroms ist zu beachten, dass die Windfeile die mittlere Strömung innerhalb der gesamten Kaltluftsäule angeben.

6.3.1 Kaltluftgeschehen zwei Stunden nach Sonnenuntergang

Aus der Ergebnisauswertung zum Kaltluftgeschehen zwei Stunden nach Sonnenuntergang können zum Bestandsfall folgende Aussagen getroffen werden:

- Anlage 10 zeigt die Mächtigkeit der Kaltluftschicht innerhalb des Nestinggebietes. Es wird deutlich, dass der Höhenzug, auf dem das Plangebiet liegt, eine vergleichsweise geringe Kaltluftmächtigkeit zwischen <1 und 5 m aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die auf den Höhen gebildete Kaltluft dem Gelände folgend abfließt und sich dementsprechend nicht akkumulieren kann.
- In den südlich und nördlich des Plangebietes verlaufenden Tälern fließt die Kaltluft aus den angrenzenden Hängen zusammen und es bildet sich eine deutlich ausgeprägtere Kaltluftschicht aus. So werden bereits in den frühen Nachtstunden im nördlich angrenzenden Mallendarer Bachtal Kaltluftmächtigkeiten von bis zu 80 m und im südlichen angrenzenden Tal entlang der Arenberger Straße Kaltluftmächtigkeiten von bis zu 35 m erreicht.
- Aufgrund der Plateaulage und des relativ hohen Versiegelungsgrades liegt innerhalb des Plangebietes nur eine sehr geringe Kaltluftschichtdicke zwischen 1 und 5 m vor.
- Aus Anlage 16, die den Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang darstellt, wird deutlich, dass der Kaltluftvolumenstrom sowohl in den höheren gelegenen Bereichen des Ausschnittes als auch in den stark versiegelten städtischen Bereichen nur sehr geringe Werte $< 1 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ annimmt. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die auf den Höhenzügen gebildete Kaltluft kontinuierlich abfließt und sich somit keine ausgeprägten Kaltluftschichtdicken, die für einen hohen

Volumenstrom notwendig sind, ausbilden können. Zum anderen ist in den stark versiegelten Bereichen die Kaltluftproduktion zu gering, um nennenswerte Kaltluftabflüsse generieren zu können.

- Als gut durchlüftet erweisen sich insbesondere die nördlich des Plangebietes verlaufenden Talsenken, da sich hier die auf den Freiflächen gebildete Kaltluft akkumuliert und weiter talabwärts fließt. Im Mallendarer Bachtal werden daher die höchsten Kaltluftstromdichten von rund $75 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ erreicht. Weiterhin treten sowohl im Koblenzer Stadtteil Niederberg entlang der Arenberger Straße im südlichen Darstellungsgebiet als auch in der Ortsgemeinde Urbar nördlich des Plangebietes relativ hohe Kaltluftvolumenströme von bis zu $20 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ auf.
- Aufgrund des relativ hohen Versiegelungsgrades ist dem Plangebiet keine maßgebliche Funktion als Kaltluftproduktionsgebiet zuzuschreiben. Infolge des leichten Gefälles innerhalb des Plangebietes fließt der geringe Anteil gebildeter Kaltluft im nördlichen Plangebiet nach Norden in Richtung Mallendarer Bachtal ab, während die Fließrichtung des Kaltluftvolumenstroms im südlichen Plangebiet nach Süden in Richtung Niederberg ausgerichtet ist. Die Kaltluftvolumenstromdichten liegen durchgehend unter $1 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$.

Anlage 11 zeigt die Kaltluftmächtigkeit innerhalb des Nestinggebietes zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Planfall, Anlage 12 stellt die prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit im Planfall gegenüber dem Istfall dar. Anlage 17 und Anlage 18 enthalten den Kaltluftvolumenstrom im Planfall sowie die prozentuale Änderung gegenüber dem Istfall zu dieser Auswertzeit. Anhand der Simulationsergebnisse können folgende Aussagen zu den planungsbedingten Auswirkungen hinsichtlich des Kaltluftgeschehens getroffen werden:

- Mit der Realisierung des Planvorhabens geht in erster Linie eine Veränderung der Bebauungsstruktur einher. Die Flächen innerhalb des Plangebietes werden analog zur Istsituation weiterhin als halb versiegelte Flächen angenommen, hinzu kommt lediglich der von West nach Ost gerichtete Grünzug.
- Aufgrund der veränderten Bebauungsstruktur sind innerhalb des nördlichen Plangebietes sowie außerhalb des Plangebietes bis in die angrenzende Wohnsiedlung in Koblenz-Urbar leicht höhere Kaltluftmächtigkeiten zu erwarten. Im südlichen Plangebiet und in der südlich an das Plangebiet angrenzenden Wohnbebauung entlang der Niederberger Höhe, der Johannes-Casel-Straße sowie entlang der Ellingstraße zeigen die Simulationen hingegen eine leichte Abnahme der Kaltluflhöhe. Diese Entwicklung ist auf die erhöhte Hinderniswirkung an der Südseite des Plangebietes zurückzuführen, durch die die lokal im Plangebiet gebildete Kaltluft sich eher in nördliche Richtungen verlagert. Da in beiden Fällen die absolute Kaltluflhöhe nur sehr geringe Werte annimmt ($< 5 \text{ m}$), betragen die Änderungen nur wenige Zentimeter und

sind daher als irrelevant für das Kaltluftgeschehen in der Umgebung des Vorhabens anzusehen.

- Durch die geplanten Bebauung ergeben sich auch in Bezug auf den Kaltluftvolumenstrom prozentuale Änderungen von über 10 %, welche gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt als „hohe“ Auswirkung zu klassifizieren wären. Zunahmen werden hierbei auf der nördlichen Seite des Plangebietes sowie entlang der Arenberger Straße bis zur Straße „Im Monzentel“ ausgewiesen, Abnahmen ergeben sich im südlichen Teil des Plangebietes sowie im Bereich zwischen der Johannes Castell-Straße und der Ellingstraße.
- Aufgrund der sehr niedrigen absoluten Kaltluftvolumenstromdichten innerhalb des Plangebietes sowie in dessen nahem Umfeld sind die Veränderungen insgesamt als nicht signifikant und unbedenklich einzustufen.
- Zur Bilanzierung der dargelegten Veränderungen wurde der Kaltluftvolumenstrom in Bereichen, in denen eine signifikante Minderung oder Zunahme von mehr als 5 % durch das Planvorhaben erfolgte, für den Ist- und den Planfall aufsummiert und anschließend die prozentuale Veränderung ermittelt. Die nachfolgende Tabelle weist die so ermittelten Kaltluftvolumenströme für Bereiche mit signifikanten Änderungen für den Ist- und den Planfall und deren prozentuale Veränderung aus. Insgesamt ergibt sich eine Erhöhung des Kaltluftvolumenstroms von 0,4 %. Gemäß dem vorgeschlagenen Klassifizierungsschema der VDI 3787 Blatt 5 (vgl. Tabelle 4.1) sind die bilanzierten planerischen Auswirkungen somit als gering zu bewerten.

Tabelle 6.2: Bilanzierung des Kaltluftvolumenstroms in Bereichen mit signifikanten Zu- oder Abnahmen – 2 Stunden nach Sonnenuntergang

Aufsummierter Kaltluftvolumenstrom – Istfall (m ³ /m·s)	Aufsummierter Kaltluftvolumenstrom – Planfall (m ³ /m·s)	Prozentuale Veränderung
29.914,0	30.040,6	+0,4 %

- Ein relevanter Einfluss des Planvorhabens auf das Kaltluftgeschehen in den frühen Nachstunden und insbesondere eine Schwächung der Kaltluftleitbahnen in Richtung Koblenz kann auf Grundlage der Rechenergebnisse ausgeschlossen werden.

6.3.2 Kaltluftgeschehen sechs Stunden nach Sonnenuntergang

Aus der Ergebnisauswertung zum Kaltluftgeschehen sechs Stunden nach Sonnenuntergang können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die Berechnungsergebnisse zum Kaltluftgeschehen in der zweiten Nachthälfte zeigen, dass aufgrund des stetigen Zuflusses von Kaltluft aus den höher gelegenen

Kaltlufteinzugsgebieten sowohl die Kaltluftmächtigkeit als auch die Kaltluftvolumenstromdichte in den Tallagen gegenüber der Situation in der ersten Nachthälfte ansteigt.

- Im Vergleich mit der Situation zum frühen Nachtzeitpunkt ergeben sich sowohl in Bezug auf die Kaltluftmächtigkeit (Anlage 13) als auch auf den Kaltluftvolumenstrom (Anlage 19) im Plangebiet keine signifikanten Änderungen. Dies ist vor allem auf die Hügellage zurückzuführen, die dazu führt, dass die geringen Mengen lokal produzierter Kaltluft permanent in Richtung Norden oder Süden abfließen.
- Hinsichtlich der prozentualen Änderung der Kaltluftmächtigkeit (Anlage 15) ist festzustellen, dass die Änderungen analog zu den frühen Nachtstunden zum Teil über 10 % betragen. Diese sind jedoch aufgrund der ohnehin geringen Kaltluftmächtigkeiten im Plangebiet sowie in dessen angrenzenden Bereichen als unkritisch anzusehen.
- Die Situation zum Kaltluftvolumenstrom nach Realisierung zeigt Anlage 20, Anlage 21 weist die entsprechende prozentuale Differenz gegenüber der Istsituation aus. Auch in der späteren Nachtstunde zeigt sich, dass durch die Realisierung des Planvorhabens und damit der damit veränderten Bebauungsstruktur die Kaltluftvolumenstromdichte innerhalb der Plangebietsgrenzen sowie in den angrenzenden Gebieten nördlich, östlich und südlich um größtenteils um mehr als 10 % verändert. Die positiven Änderungen im Norden resultieren vor allem aus einer geringeren Hinderniswirkung der neuen Plangebäude. Da diese parallel zur Fließrichtung der Kaltluft ausgerichtet sind und nicht wie die Gebäude im Istfall hindernd wirken, werden leicht höhere Strömungsgeschwindigkeiten und damit ein leicht größerer Kaltluftvolumenstrom erzielt. Im Süden hingegen wirken die neuen Plangebäude hemmend auf den Kaltluftabfluss, daher wird an dieser Stelle sowie in den südlich angrenzenden Wohnbereichen ein niedrigerer Kaltluftvolumenstrom prognostiziert.
- Auch in der zweiten Nachthälfte kann auf Grund der nur sehr geringen absoluten Veränderungen ein relevanter Einfluss des Planvorhabens auf das Kaltluftgeschehen und insbesondere eine Schwächung der Kaltluftleitbahnen in Richtung Koblenz ausgeschlossen werden.
- Analog zur Situation in den frühen Nachtstunden wurde auch für den Zeitpunkt sechs Stunden nach Sonnenuntergang der Kaltluftvolumenstrom in Bereichen, in denen eine signifikante Minderung oder Zunahme von mehr als 5 % durch das Planvorhaben erfolgte, für den Ist- und den Planfall aufsummiert und anschließend die prozentuale Veränderung ermittelt. Die nachfolgende Tabelle weist die so ermittelten Kaltluftvolumenströme für Bereiche mit signifikanten Änderungen für den Ist- und den Planfall und deren prozentuale Veränderung aus. Insgesamt ergibt sich eine

Minderung des Kaltluftvolumenstroms von 2,0 %. Gemäß dem vorgeschlagenen Klassifizierungsschema der VDI 3787 Blatt 5 (vgl. Tabelle 4.2) sind die bilanzierten planerischen Auswirkungen somit als gering zu bewerten.

Tabelle 6.3 Bilanzierung des Kaltluftvolumenstroms in Bereichen mit signifikanten Zu- oder Abnahmen – 6 Stunden nach Sonnenuntergang

Aufsummierter Kaltluftvolumenstrom – Istfall (m³/m·s)	Aufsummierter Kaltluftvolumenstrom – Planfall (m³/m·s)	Prozentuale Veränderung
30.937,7	30.324,3	-2,0 %

7 Themenkomplex Überhitzung und Durchlüftung

7.1 Berechnungsmodell

Die infolge des Planvorhabens zu erwartenden Klimaänderungen im lokalen Umfeld des Bauvorhabens werden mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der Version 5.03 (Summer Release 2022) [19] für die nachfolgend aufgeführten Varianten und jeweils zwei Hauptwindrichtungen (West und Ost) durchgeführt:

- Istfall: Bestandsbebauung, aktueller Vegetationsbestand und aktuelle Oberflächenbeschaffenheit
- Planfall: Zukünftige Bebauungssituation nach Realisierung der Planung abgeleitet aus dem Vorentwurf des städtebaulichen Konzeptes [1], aus dem Vorentwurf des Bebauungsplanes [2] und aus den Festsetzungen zur Durchgrünung des Plangebietes [4]

Anhand der Ergebnisse dieser beiden Varianten werden anschließend Planungsempfehlungen zur Minimierung negativer lokalklimatischer Folgen erarbeitet.

7.2 Modellbeschreibung

ENVI-met in der Version 5.03 ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches Modell zur Simulation der Wechselwirkungen zwischen Oberflächen, Pflanzen und der Luft. Es wurde für die Mikroskala mit typischen horizontalen Gitterauflösungen zwischen 0,5 und 5 m und typischen Simulationszeiten zwischen 24 und 48 Stunden mit Zeitschritten zwischen 1 und 5 Sekunden entwickelt. Diese sowohl räumlich als auch zeitlich sehr detaillierte Auflösung erlaubt die Analyse kleinräumiger Wechselwirkungen zwischen Gebäuden, Oberflächen, Pflanzen und der Atmosphäre.

Zur Berechnung nutzt ENVI-met verschiedene Untermodelle, die miteinander gekoppelt sind. Einen Überblick über die miteinander gekoppelten Modelle gibt die Anlage 22.

Als Ergebnis liefert das Rechenmodell die räumlich und zeitlich variierenden Ausgabegrößen für Boden, Luft, Gebäude und Vegetation. Berechnet werden unter anderem Temperaturen, Feuchte, Strahlungsparameter, bioklimatische Kenngrößen (z. B. PET- und PMV-Werte) sowie Windrichtung und Windgeschwindigkeit.

7.2.1 Aufbau der Rechengitter

Die Ausdehnung des Untersuchungsraumes wurde so groß definiert, dass zum einen das gesamte Plangebiet abgedeckt ist und zum anderen Aussagen zu den klimatischen Auswirkungen in den umliegenden Flächen getroffen werden können.

Die Modellrechnungen erfordern die Definition eines Rechengebietes und eine Aufteilung dieses Gebietes in viele quaderförmige Rechenzellen.

Die Modellrechnungen erfordern die Definition eines Rechengebietes und eine Aufteilung dieses Gebietes in viele quaderförmige Rechenzellen. Für die vorliegende Untersuchung wurde eine horizontale Gitterauflösung von 2,5 m realisiert. Mikroskalige Effekte durch Kleinstrukturen wie Bäume und Einzelgebäude werden bei dieser Gitterauflösung noch hinreichend genau abgebildet. Die Ausdehnung des Rechengebietes beträgt 925 m in x- und 650 m in y-Richtung.

Für die Auflösung der Rechenzellen in der Vertikalen wurde ein variabler Ansatz mit in der Höhe zunehmenden vertikalen Ausdehnungen der Gitterboxen gewählt. So wurde für die unteren sechs Schichten eine feine Vertikalauflösung von 1,0 m festgelegt. Ab der Modellhöhe von 8 m erhöht sich die vertikale Zellausdehnung um jeweils 10 %. Bei einer Anzahl von 30 Gitterzellen in z-Richtung ergibt sich hieraus eine maximale Modellhöhe von 52,6 m.

7.3 Eingangsdaten

7.3.1 Gebäude

Gebäude sind ein maßgeblicher Einflussfaktor für die typische Ausprägung des Stadtklimas. Die in ihnen verbauten Materialien wie z. B. Stahl und Beton heizen sich im Tagesverlauf aufgrund ihrer Wärmespeichereigenschaften deutlich stärker auf als eine unversiegelte Freifläche. Die über den Tag gespeicherte Wärme wird während der Nacht wieder an die Umgebungsluft abgegeben.

Tagsüber lassen sich aber auch gegenläufige Effekte feststellen. So können sich durch Gebäude verschattete Flächen in Bodennähe deutlich weniger stark aufheizen als unverschattete Freiflächen. Zudem wird der Luft, durch die Zwischenspeicherung in den Gebäuden, Wärme entzogen. Dementsprechend ist der städtische Wärmeinseleffekt nachts oftmals deutlich ausgeprägter als am Tag.

Neben dem Einfluss auf den Wärmehaushalt beeinflusst die dichte Bebauungsstruktur einer Stadt zudem die Windverhältnisse. Aufgrund der gegenüber dem Umland deutlich erhöhten Rauigkeit ist die mittlere Windgeschwindigkeit in städtischen Gebieten oftmals deutlich reduziert mit entsprechenden negativen Auswirkungen auf die Durchlüftung. Daher kann die nachts abgegebene Wärme nicht oder nicht vollständig aus der Stadt ausgetragen werden.

Lage und Höhe der Bestandsbebauung außerhalb des Plangebietes im Untersuchungsgebiet wurden aus dem LOD1-Gebäudemodell [13] und ergänzend dazu aus dem digitalen Oberflächenmodell [14] abgeleitet. Anlage 1 zeigt hierzu den berücksichtigten Gebäudebestand im Istfall, Anlage 2 enthält den Gebäudebestand sowie die Plangebäude im Planfall, welche hinsichtlich Ihrer Struktur und Lage auf Grundlage des städtebaulichen Konzept [2] abgeleitet wurden. Als Grundlage für die Gebäudehöhe dient die Kennwerttabelle des Bebauungsplanes [3]. Gemäß den Festsetzungen zur Durchgrünung [4] wird in allen urbanen Gebieten im mittleren und südlichen Bebauungsband sowie im Baufeld MU4 im nördlichen Bebauungsband eine extensive Dachbegrünung mit einer Substratdicke von 12 cm und einem aufliegenden Bewuchs von 10 cm auf 70 % der Staffelgeschossflächen in den Berechnungen berücksichtigt.

Neben der Lage und Höhe müssen den Gebäuden in ENVI-met auch thermische und strahlungstechnische Eigenschaften zugewiesen werden. Hier wurden für alle Gebäudewände und -dächer die ENVI-met Standardeigenschaften (moderate Isolierung) zu Grund gelegt. Die Rauminnentemperatur beträgt bei allen Gebäuden zum Startzeitpunkt der Simulationsrechnung 20 °C.

7.3.2 Vegetation

Neben den Gebäuden ist die Vegetation eine weitere wichtige Einflussgröße zur Ausprägung des individuellen Stadtklimas. Der Einfluss von Bäumen und niedrigem Bewuchs auf das Mikroklima kann mit ENVI-met detailliert untersucht werden. In den Simulationsrechnungen werden u.a. die Verschattung durch die Baumkronen, die Verdunstung und Transpiration der Blätter und der Einfluss der Vegetation auf die Windverhältnisse berücksichtigt.

Neben der Wuchsform (Breite und Höhe des Baumes) muss für jeden im Modell platzierten Baum die Belaubungsdichte vorgegeben werden, da diese Informationen über die Lichtdurchlässigkeit enthält. Diese wird im Anschluss in die von ENVI-met vorgegebenen Belaubungsklassen übersetzt. Hierbei entspricht eine geringe Lichtdurchlässigkeit einem sehr dichten Belaubungsgrad, eine mittlere Lichtdurchlässigkeit einem dichten Belaubungsgrad und eine starke Lichtdurchlässigkeit einem lichten Belaubungsgrad.

Die Erfassung der Bäume im öffentlichen und privaten Raum erfolgte mittels eines digitalen Oberflächenmodells (DOM) [14]. Da in diesem Fall die Lage und Höhe, nicht aber deren Art bestimmt werden konnte, wurde diesen Bäumen pauschal ein „dichter“ Belaubungsgrad zugewiesen.

Für das Plangebiet wurde für die Istsituation zusätzlich zu den Bestandsbäumen ein wilder Bewuchs mit 1 m- bzw. 3 m-hohen Sträuchern angesetzt.

Unversiegelten Bereichen im Untersuchungsgebiet ohne Baumbewuchs wurde pauschal ein niedriger Bewuchs (Gras, Rasen) mit einer Wuchshöhe von 10 cm zugewiesen. Die landwirtschaftlichen Flächen nördlich und nordöstlich des Plangebietes erhielten gemäß einer sommerlichen Situation einen 1 m-hohen Bewuchs.

Für die Berechnungen zum Planfall wurden die Festsetzungen zur Durchgrünung im Plangebiet [4] zugrunde gelegt. Für die Neuanpflanzungen von Bäumen wurde, abgeleitet aus dem festgesetzten Stammumfang von 20-25 cm, eine Höhe von 5 m und ein dichter Belaubungsgrad festgelegt. Neu gepflanzten Sträuchern wurde eine Höhe von 1 m zugewiesen, für die vorgesehenen Gras- und Krautfluren wurde ebenfalls eine Wuchshöhe von 1 m angenommen. Die restlichen, im städtebaulichen Konzept [1] gekennzeichneten öffentlichen Grünflächen erhielten einen 10 cm-hohen Grasbewuchs.

In Anlage 23 und Anlage 24 werden die in die Berechnungen eingehenden Vegetationsbestände für beide Planungssituationen dargestellt.

7.3.3 Oberflächen

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor zur Ausprägung des innerstädtischen Klimas ist die Oberflächenbeschaffenheit. So wird durch die erhöhte Oberflächenversiegelung die Verdunstung gegenüber einer Freifläche reduziert, was zu einer Erhöhung der Temperaturen führt. Über versiegelten Flächen erfolgt zudem eine stärkere Wärmespeicherung der einfallenden kurzwelligen Strahlung. Diese Wärme wird nachts wieder an die Umgebungsluft abgegeben und sorgt für eine gegenüber dem Umland deutlich reduzierte Abkühlung.

Anders als bei den versiegelten Flächen wurden bei unversiegelten Grünflächen zusätzlich die Bodeneigenschaften des Untergrundes berücksichtigt, da sich je nach Bodenart und damit einhergehender Korngrößenzusammensetzung unterschiedliche Versickerungsraten und Wasserspeichereigenschaften ergeben. Auf Grundlage des uns vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Baugrundgutachtens [18] wurden die Bodenprofile bis in 4,5 m Tiefe in den ENVI-met Berechnungen berücksichtigt.

Im Planfall wird in den Bodenprofilen zusätzlich beachtet, dass im Rahmen der Quartiersentwicklung Tiefgaragen vorgesehen sind. Daher wird in den dafür vorgesehenen Teilbereichen zusätzlich eine wasserundurchlässige Betonschicht in 1 m Tiefe in den Berechnungen berücksichtigt.

Die versiegelten Flächen im Bestand inner- und außerhalb des Plangebietes wurden anhand digitaler Orthofotos [15] und auf Grundlage von Fotos einer Ortsbegehung erfasst. Für Straßen wurde hierbei Asphalt, für weitere versiegelte Flächen wie z. B. Parkplätze wurde Beton bzw. Pflaster als Versiegelungsmaterial vorgegeben.

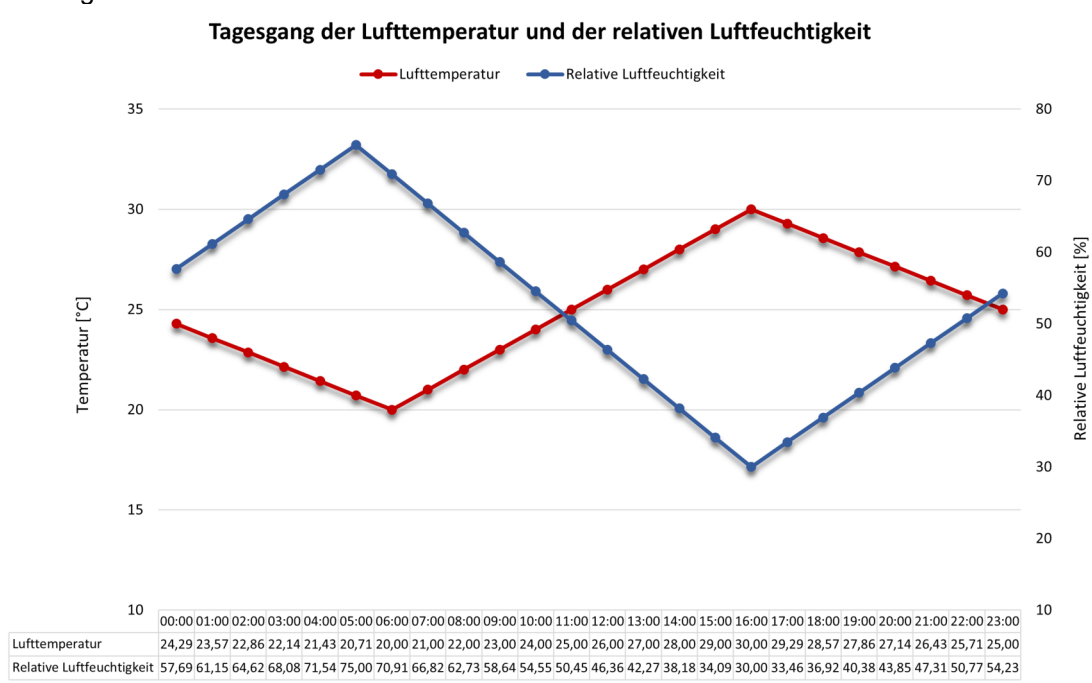
Die Ableitung der Oberflächenarten innerhalb des Plangebietes erfolgte im Planfall auf Grundlage des städtebaulichen Konzeptes [1] und der Kennwerttabelle des Bebauungsplanes [3]. Der Versiegelungsgrad jedes Baufeldes basiert demnach auf der Grundflächenzahl (GRZ II) aus der zum B-Plan zugehörigen Kennwerttabelle [3]. Die Grundflächenanzahl beträgt in jedem Baufeld 0,8. Da zum jetzigen Zeitpunkt die Verteilung von versiegelten Flächen in den einzelnen Baufeldern noch nicht bekannt ist, wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber in den Baufeldern eine teilversiegelte Fläche aus Beton und Rasenfläche im Modell berücksichtigt. Da ebenfalls die Dächer der Tiefgaragen begrünt werden sollen, zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht deren Lage bekannt ist, werden diese als unversiegelte Flächen mit Rasenbewuchs im Modell berücksichtigt. Demnach wird in allen Baufeldern die verbleibende GRZ II nach Abzug der Gebäudegrundfläche zu 50% als unversiegelt (Tiefgaragen) und zu 50% mit einer versiegelten Oberflächenbeschaffenheit angenommen. Für die Straßenverkehrsflächen innerhalb des Plangebietes wurde Asphalt angenommen.

Anlage 25 und Anlage 26 zeigen die ins Modell einfließenden Oberflächenbeschaffenheiten und Bodenarten für den Ist- und Planfall.

7.3.4 Initialisierungsparameter

Innerhalb von ENVI-met können die tageszeitlichen Schwankungen der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und relative Feuchte entweder über feste Startparameter oder durch ein sogenanntes „Simple-Forcing“ vorgegeben werden. Beim Simple-Forcing werden die Bedingungen am Einströmrand für jede Stunde des Tages explizit vorgegeben. Als meteorologischer Antrieb für die Klimamodelle wurde ein heißer Sommertag mit einer nachmittäglichen Maximaltemperatur von 30°C und einer nächtlichen Minimaltemperatur von 20°C gewählt. Die Tagesgänge der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit können aus der folgenden Abbildung 7.1 entnommen werden:

Abbildung 7.1: Tagesgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit beim Simple-Forcing



Ein weiterer wichtiger Initialisierungsparameter ist die Bodenfeuchte zum Startzeitpunkt der Simulation. Im vorliegenden Fall wurde eine Bodenfeuchte von 75 % in der oberflächennahen Bodenschicht angesetzt, d.h. dass noch ausreichend Wasser für Verdunstungsprozesse im Boden vorhanden ist. Dies repräsentiert die typischen Verhältnisse an einem Sommertag, dem wenige Tage zuvor Regenfälle vorausgegangen waren. Durch Verdunstung wirkt diese Feuchte kühlend auf die darüber liegenden Luftschichten. Ein komplett ausgetrockneter Boden nach einer Hitzeperiode hat demnach eine deutlich niedrigere Kühlleistung, was einerseits durch insgesamt höhere Temperaturen im Rechenmodell sichtbar werden würde und andererseits zu einem geringeren Unterschied zwischen versiegelten und unversiegelten Flächen führen würde. Im Gegensatz dazu ist ein gesättigter Boden nach anhaltendem sommerlichen Landregen mit einer höheren Kühlleistung und damit mit insgesamt niedrigeren Temperaturen und stärkeren Unterschieden zwischen den Oberflächenarten verbunden.

Für die Anströmung wurde eine konstante Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe vorgegeben. Dies entspricht einer typischen sommerlichen Schwachwindsituation. Zur Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen an Tagen mit einer Maximaltemperatur über 30 °C wurden Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes an der Station Bendorf herangezogen. Anhand dieser Wetterdaten wurden die Windrichtungen Nordost (50°) und Südost (150°) als die beurteilungsrelevanten Anströmungsrichtungen bei Hitzewetterlagen ausgewählt (vgl. Kapitel 5.2 und Anlage 3).

Die Berechnungen umfassen insgesamt 35 h und starten um 5 Uhr zum Zeitpunkt des Sonnenaufgangs. Für die Ergebnisanalyse werden die Modellausgaben des zweiten Tages genutzt. Der erste Tag dient lediglich als Modell-Einschwingphase.

Als Eingangsparameter zur Berechnung des thermischen Komforts mittels des PET-Wertes werden die Standardeinstellung gemäß der Norm DIN EN ISO 7730 verwendet [27]. Dabei wird von einer 35-jährigen männlichen Person mit einem Körpergewicht von 75 kg und einer Größe von 1,75 m ausgegangen, die eine leichte körperliche Aktivität (langsames Gehen mit 4 km/h) ausübt. Hieraus ergibt sich eine metabolische Rate von 84,5 W. Weiterhin wird ein Bekleidungsindex von 0,9 einbezogen, was einem leichten Anzug entspricht.

Die nachfolgende Tabelle 7.1 dokumentiert die wichtigsten Initialisierungsparameter der Simulationsrechnungen:

Tabelle 7.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen

Initialisierungsparameter	Startwert
Geographische Position	50,37°N, 7,63°E
Startzeit der Simulation	20.06., 05:00 Uhr
Dauer der Simulation	35 Stunden
Lufttemperatur in 2 m über Grund	Simple Forcing (Spanne zwischen 20,0 °C und 30,0 °C)
Relative Feuchte in 2 m über Grund	Simple Forcing (Spanne zwischen 30 % und 75 %)
Rauigkeitslänge z0	0,1 m
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	1,5 m/s
Windrichtung	50° (Nordost) und 150° (Südost)
Bodentemperatur	
Oberste Schicht (0-20 cm)	20,5 °C
mittlere Schicht (20 – 50 cm)	21,5 °C
tiefe Schicht (50 – 200 cm)	20,3 °C
Gesteinsschicht (> 200 cm)	20,3 °C
Bodenfeuchte	
Oberste Schicht (0-20 cm)	75,0 %
mittlere Schicht (20 – 50 cm)	80,0 %
tiefe Schicht (50 – 200 cm)	70,0 %
Gesteinsschicht (> 200 cm)	70,0 %

7.4 Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation

Die Berechnungen wurden mit den dokumentierten Eingangsdaten für den Ist- und den Planfall für jeweils zwei Anströmungsrichtungen durchgeführt. Für die Untersuchung zur Durch-

lüftung wurden die Windfelder um 14 Uhr analysiert und in zwei verschiedenen Höhengniveaus (bodennah, 1,5 m ü. Grund und in 14 m ü. Grund) ausgewertet und dargestellt. Die Windfelder zu anderen Tageszeiten unterscheiden sich nur unwesentlich von der 14 Uhr Situation und werden daher nicht analysiert.

Zur Bestimmung der thermischen Belastung wurden die beiden Kenngrößen Lufttemperatur und PET-Wert analysiert. Dabei wurde die Lufttemperatur zu zwei verschiedenen Tageszeiten (14 Uhr – wärmste Stunde des Tages und 4 Uhr – kälteste Nachtstunde) ausgewertet und dargestellt, in der Ergebnisauswertung zum PET-Wert wurde der Mittelwert zwischen 12 und 16 Uhr visualisiert.

Nachts ist für die Bewertung der bioklimatischen Belastungssituation insbesondere die Lufttemperatur von Bedeutung, da bei hohen nächtlichen Lufttemperaturen die Erholung durch das Schlafen deutlich eingeschränkt wird.

Tagsüber wird die thermische Belastung neben der Lufttemperatur zusätzlich durch die Strahlungstemperatur, die Windgeschwindigkeit und die relative Luftfeuchte geprägt. Diese Einflussparameter werden durch den PET-Wert beschrieben.

Für die Situation am Nachmittag wurde daher der PET-Wert und die Lufttemperatur zur Beurteilung herangezogen, für die Nachtsituation wurde nur die Lufttemperaturverteilung um 4 Uhr analysiert und dargestellt.

Die Anlage 27 bis Anlage 31 sind so aufgebaut, dass jeweils die obere Abbildungsreihe den Istfall und den Planfall sowie die planungsbedingten Differenzen bei nordöstlicher Anströmungsrichtung zeigt, die untere Reihe stellt die Ergebnisse bei südöstlicher Anströmung dar.

Bei der Interpretation der Ergebnisse gilt grundsätzlich zu beachten, dass die Berechnungsergebnisse die stadtklimatologischen Verhältnisse unter den zugrunde gelegten Einström- und Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 7.3.4) repräsentieren. Änderungen der aufgeführten Initialisierungsparameter werden zu abweichenden Ergebnissen führen.

7.4.1 Durchlüftung

Anlage 27 und Anlage 28 zeigen die simulierten Windgeschwindigkeiten für den Istfall und den Planfall sowie die aus der Planung resultierenden Windgeschwindigkeitsdifferenzen für die untersuchte südöstliche und nordöstliche Windrichtung in zwei Bezugsniveaus (1,5 m und 14 m) um 14 Uhr. Die berechneten Windfelder beziehen sich hierbei auf eine typische Schwachwindsituation mit einer ungestörten Anströmgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe. Gemäß der Beaufort-Skala mit der die Auswirkungen des Windes beschrieben werden können, entspricht eine derartige Windgeschwindigkeit einem „leichten Zug“. Die Wir-

kung an Land wird als „kaum merklich, Rauch treibt leicht ab, Windflügel und Windfahnen unbewegt“ beschrieben.

In den Ergebnisdarstellungen zeigen grüne Farbtöne deutlich reduzierte Windgeschwindigkeiten an. Orangene Farbtöne weisen Flächen aus, in denen die mittlere Windgeschwindigkeit in etwa der ungestörten Freilandgeschwindigkeit entspricht.

Für die Berechnungsergebnisse im Istfall lassen sich folgende allgemeine Aussagen treffen:

- In beiden Bezugsniveaus erweisen sich insbesondere ausgedehnte Bereiche mit geringer Rauigkeit als gut durchlüftet. Hierzu zählen beispielsweise die landwirtschaftlich genutzten Flächen nördlich des Plangebietes, die Parkplatzflächen des BAAINBw und Sportplatzflächen im Westen des Plangebietes sowie parallel zur Windrichtung verlaufende Straßen, wie beispielsweise die Friesenstraße südlich des Plangebietes bei südöstlicher Anströmungsrichtung.
- Innerhalb des Plangebietes werden bodennah insgesamt nur relativ geringe Windgeschwindigkeiten ausgewiesen. Dies ist insbesondere auf die quer zu beiden Windrichtungen ausgerichteten Bestandsgebäude zurückzuführen, aber auch der hohe Vegetationsanteil wirkt aufgrund der erhöhten Rauigkeit strömungsmindernd.
- Im bodennahen Niveau werden somit innerhalb des Plangebietes bei nordöstlicher Anströmungsrichtung kaum Windgeschwindigkeiten über 1 m/s erreicht. Bei südöstlicher Anströmung sind die Windgeschwindigkeiten aufgrund von Kanalisierungseffekten zwischen den Bestandsgebäuden der Landesarchäologie im Nordosten zwar etwas höher, im restlichen Plangebiet werden jedoch ebenfalls kaum Windgeschwindigkeiten über 1 m/s erzielt.
- Aufgrund des insgesamt niedrigeren Versperrungsgrades sind im Auswertenniveau von 14 m über Grund sowohl innerhalb als auch außerhalb des Plangebietes höhere Windgeschwindigkeiten zu erwarten. Im Plangebiet werden mit Ausnahme des westlichen Teilbereichs bei beiden Anströmungsrichtungen Geschwindigkeitswerte bis zu 2,0 m/s erreicht.

Aus der Ergebnisauswertung zum Planfall und zu den planungsbedingten Differenzen können folgende Aussagen zur Durchlüftungssituation in Bodennähe und im Überdachniveau im getroffen werden:

- Neben einer veränderten Vegetationsbeschaffenheit haben die vorgesehenen Plangebäude aufgrund ihrer Höhe, ihrer Ausrichtung und ihrer Kubatur einen deutlichen Einfluss auf die Durchströmbarkeit des Plangebietes.

- Im bodennahen Niveau nehmen die Windgeschwindigkeiten innerhalb des Plangebietes weitestgehend deutlich zu. Im zentralen Plangebiet entsteht durch die neue Bebauung und die wegfallenden Baumstandorte ein von Nord nach Süd gerichteter Belüftungskorridor, in dem im Vergleich zur Istsituationen höhere Windgeschwindigkeiten von bis zu 0,75 m/s prognostiziert werden. Hohe Geschwindigkeitszunahmen werden ebenfalls entlang der nördlichen und westlichen Plangebietsgrenzen sowie in dem von West nach Ost verlaufenden grünen Band erzielt.
- Aufgrund der Hinderniswirkung der Plangebäude zeigen die Simulationen im direkten Umfeld der neuen Gebäude jedoch auch Geschwindigkeitsreduktionen. Hinsichtlich der Durchlüftung erweisen sich insbesondere U-förmige Gebäudestrukturen als ungünstig, da diese den stärksten geschwindigkeitsmindernden Einfluss auf das Windfeld haben. Im südlichen Bebauungsband werden daher Geschwindigkeitsreduktion von bis 0,75 m/s ausgewiesen. Im mittleren und nördlichen Bebauungsband betragen die Abnahmen der Windgeschwindigkeit bis 0,50 m/s.
- Durch die Realisierung des Planvorhabens werden im oberen Auswertenniveau (14 m) sowohl Geschwindigkeitszunahmen als auch -abnahmen prognostiziert.
- Im Überdachniveau werden bei beiden Anströmungsrichtungen im nordöstlichen Teilbereich des nördlichen Bebauungsbandes, entlang der westlichen Plangebietsgrenze sowie im zentralen Plangebiet höhere Geschwindigkeiten gegenüber der Istsituation erreicht. Die Differenz beträgt bis 0,75 m/s und ist ebenfalls auf die fehlenden Baumstandorte und die geringeren Gebäudehöhen im Planfall zurückzuführen.
- Infolge der höheren Gebäudehöhen im mittleren und südlichen Bebauungsband wird dort das Windfeld deutlich eingeschränkt, sodass die Geschwindigkeitswerte bis maximal 1 m/s von der Istsituation abweichen. Bei nordöstlicher Anströmungsrichtung sind bis in 100 m Entfernung zu den Plangebietsgrenzen entlang der südlich der Niederberger Höhe verlaufenden Wohnbebauung leichte Geschwindigkeitsreduktionen festzustellen, die jedoch als unkritisch bewertet werden können, zumal bodennah keine signifikante Verschlechterung der Durchlüftungsverhältnisse zu beobachten ist.
- Insgesamt erstreckt sich der Einfluss der neuen Bebauung bei beiden Windrichtungen und Auswertenniveaus weitestgehend auf die Bereiche innerhalb der Plangebietsgrenzen. Auswirkungen in den umgebenden sensiblen Nutzungen sind auf Grundlage der Simulationsergebnisse nicht zu erwarten.

7.4.2 Lufttemperatur um 14 Uhr

Anlage 29 zeigt die simulierten Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe für die beiden untersuchten Windrichtungen (50° und 150°) für den Istfall und den Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen zur wärmsten Tagesstunde (14 Uhr).

Aus der Ergebnisauswertung zum Bestandsfall können folgende Aussagen zum nachmittäglichen Temperaturniveau im getroffen werden:

- An den Einströmrändern im Untersuchungsgebiet werden bei beiden Windrichtungen vereinzelt relativ hohe Temperaturen ausgewiesen. Diese hohen Temperaturen resultieren allerdings aus modelltechnischen Randeffekten und sollten daher nicht weiter interpretiert werden. Verlässliche Ergebnisse sind etwa ab Entfernungen von 100 m zum Einströmrand zu erwarten.
- Grundsätzlich erwärmt sich die Luft bei den an Hitzetagen typischen Anströmrichtungen Nordost und Südost besonders stark beim Überströmen von großflächig versiegelten Oberflächen. Somit werden beispielsweise auf der westlich an das Plangebiet angrenzenden Fläche des BAAINBw relativ hohe Temperaturen am Nachmittag ausgewiesen.
- Aufgrund der Verschattungs- und Verdunstungskühlleistung von Vegetation werden in Bereichen mit dichten Baumbeständen insgesamt niedrigere Temperaturen ausgewiesen. Dahingehend wird beispielsweise innerhalb der nördlich an das Plangebiet angrenzenden Waldfläche ein geringeres Temperaturniveau erreicht.
- Innerhalb des Plangebietes wird aufgrund des aktuellen dichten Bewuchses mit Sträuchern und Bäumen insgesamt ein gedämpftes Temperaturniveau in Bodennähe erreicht.
- Davon ausgenommen sind die Innenhöfe der U-förmigen Bestandsgebäude, die zur jeweiligen Windrichtung hin geöffnet sind. Dort heizen sich die durch fehlende Vegetation unverschatteten versiegelten Oberflächen am Nachmittag stärker auf, sodass dort in Verbindung mit einem gehinderten Abtransport der erwärmten Luftmassen insgesamt höhere Lufttemperaturen ausgewiesen werden. Als vergleichsweise warm erweisen sich ebenfalls die unverschatteten versiegelten Flächen entlang der mittleren Gebäuderiegel.
- Innerhalb des Plangebietes ergibt sich ein Temperaturunterschied von bis 1,6 °C.

Aus der Ergebnisauswertung zum Planfall und zu den planungsbedingten Differenzen können folgende Aussagen zum nachmittäglichen Temperaturniveau im getroffen werden:

- Sowohl die Abbildungen zur Lufttemperatur am Nachmittag im Planfall als auch die Differenzdarstellungen zeigen, dass durch das Planvorhaben eine Veränderung des nachmittäglichen Temperaturniveaus erfolgt.
- Durch die im Vergleich zur dicht bewachsenen Istsituation geringere Verschattungswirkung der neu angepflanzten Bäume ist bei beiden Anströmungsrichtungen das Temperaturniveau innerhalb des Plangebietes im Vergleich zum Istfall homogener ausgeprägt, sodass nach Realisierung des Vorhabens lediglich ein Temperaturunterschied von bis zu 0,5 °C innerhalb des Plangebietes zu erwarten ist.
- Bei der an Hitzetagen dominierenden Windrichtung Nordost (50°) zeigt sich, dass trotz der vorgesehenen Neupflanzungen von Bäumen und Sträuchern im Plangebiet eine Aufheizung der Oberflächen und Gebäude einhergeht und damit weitestgehend höhere Lufttemperaturen als im Istfall ausgewiesen werden. Dies betrifft vor allem die nördliche Hälfte des Plangebietes. Ausschlaggebend ist hier vor allem die in den Berechnungen zugrunde gelegte niedrige Wuchshöhe der neu gepflanzten Vegetation, sodass im Vergleich zur 3 m-hohen, dichten Strauchschicht und der höheren Anzahl an Bäumen im Istfall eine stärkere solare Einstrahlung zu einer Erwärmung der bodennahen Luftschichten führt. Aus der Differenzdarstellung zu dieser Windrichtung kann eine Erwärmung der bodennahen Lufttemperatur um bis zu 0,6 °C in der Nordhälfte abgeleitet werden, in einzelnen Teilbereichen beträgt die Erwärmung bis zu 0,8 °C.
- Durch die verbesserte Durchlüftung im bodennahen Niveau (vgl. Kapitel 7.4.1) und die neu entstanden Belüftungskorridore kann anhand der Simulationsergebnisse für die nordöstliche Windrichtung ebenfalls festgehalten werden, dass durch die Umsetzung des Planvorhabens insbesondere im südlichen Teil des Plangebietes auch niedrigere Lufttemperaturen resultieren.
- Gemäß der Absolutdarstellung ist das Temperaturniveau bei südöstlicher Windrichtung analog zur nordöstlichen Anströmungsrichtung ebenfalls relativ homogen ausgeprägt. Durch den Rückbau der U-förmigen Bestandsgebäude und durch den Neubau von zur Windrichtung parallel ausgerichteten Plangebäuden resultieren in einigen Bereichen im nördlichen Abschnitt des Plangebietes Abkühlungen um bis 0,8 °C. Gleichzeitig gehen aus den Simulationen durch die verringerte Verschattung durch Bäume und Gebäude auch Bereiche mit deutlichen Erwärmungstendenzen hervor. Eine deutliche Erhöhung der bodennahen Lufttemperaturen ist auch innerhalb der südlichen Bebauung, entlang der östlichen und westlichen Plangebietsgrenzen sowie im westlichen Teilbereich des grünen Bandes zu erkennen.

- Bei der an Hitzetagen relevanten Anströmungsrichtung Nordost beschränken sich die Erwärmungstendenzen weitestgehend auf das Plangebiet, sodass hiervon keine angrenzenden sensiblen Nutzungen betroffen sind. Gleichzeitig kann positiv aufgeführt werden, dass nach dem aktuellen Stand der Planungen die Wohnbebauungen südlich des Plangebietes entlang der Niederberger Höhe, der Johannes-Casel-Straße, der Friesenstraße sowie der Ellingstraße von weiträumigen Abkühlungstendenzen von bis zu 0,8 °C profitieren.
- Bei der südöstlichen Anströmungsrichtung resultieren aus der Umsetzung des Vorhabens außerhalb des Plangebietes ebenfalls Abkühlungstendenzen von bis zu 0,4 °C. Diese Abkühlungstendenzen sind in der nördlich angrenzenden Ortsgemeinde Urbar sowie auf der westlich angrenzenden Sportfläche zu erwarten.
- Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse ist zu beachten, dass die neu angepflanzten Bäume noch eine relativ niedrige Wuchshöhe und geringe Kronenbreiten aufweisen. Damit ist die Verschattungs- und Verdunstungskühlleistungen relativ schwach ausgeprägt. Mit fortschreitender Zeit und zunehmender Wuchshöhe und -breite ist ein stärkerer Einfluss der Vegetation auf das lokale Mikroklima in Form von niedrigeren bodennahen Lufttemperaturen zu erwarten.

7.4.3 Lufttemperatur um 4 Uhr

Anlage 30 zeigt die simulierten Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe für die beiden untersuchten Windrichtungen für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen um 4 Uhr in der kältesten Nachtstunde.

Aus der Ergebnisauswertung zum Bestandsfall können folgende Aussagen zum nächtlichen Temperaturniveau im Untersuchungsgebiet getroffen werden:

- An den Einströmrändern des Rechengebietes werden sehr geringe Temperaturen ausgewiesen. Diese niedrigen Temperaturen resultieren aus modelltechnischen Randeffekten und sollten daher nicht weiter interpretiert werden. Verlässliche Ergebnisse sind etwa ab Entfernungen von 150 m zum Einströmrand zu erwarten.
- Die Luft hat sich in den Nachtstunden gegenüber der Nachmittagssituation aufgrund der langwelligen Ausstrahlung und der damit einhergehenden negativen Energiebilanz abgekühlt.
- Aufgrund der relativ hohen Vegetationsdichte im Istfall nehmen die Oberflächen innerhalb des Plangebietes im Vergleich zu versiegelten unverschatteten Flächen, wie

beispielsweise die westlich angrenzenden Parkplatzflächen, tagsüber weniger Wärme. Dadurch ist die nächtliche Wärmeabgabe der Materialien im Plangebiet vergleichsweise schwächer ausgeprägt.

- Dennoch kann aus den Simulationen abgeleitet werden, dass sich die Luft beim Überströmen des Plangebietes aufgrund der nächtlichen Wärmeabgabe der im Tagverlauf aufgeheizten Gebäudematerialien und Oberflächen erwärmt. Demnach sind bei beiden Anströmungsrichtungen auf der jeweils windabgewandten Seite des Plangebietes etwas höhere nächtliche Temperaturen zu erwarten als auf der windzugewandten Seite.
- Durch die genannte Wärmeausstrahlung beträgt der Temperaturunterschied bei nordöstlicher Windrichtung daher 1,2 °C. Bei südöstlicher Windrichtung fällt der Temperaturgradient innerhalb des Plangebietes mit etwa 0,7 °C geringer aus, da bereits etwas wärmere Luft aus der südlich angrenzenden Wohnbebauung in das Plangebiet einströmt.

Aus der Ergebnisauswertung zum Planfall und zu den planungsbedingten Differenzen können folgende Aussagen zum nachmittäglichen Temperaturniveau getroffen werden:

- Sowohl die Abbildungen zur Lufttemperatur in der Nacht als auch die Differenzdarstellungen zeigen, dass durch die Realisierung des Planvorhabens bei beiden Anströmungsrichtungen von einer deutlichen nächtlichen Erwärmung gegenüber der Bestandssituation auszugehen ist.
- Die Erwärmung ist darauf zurückzuführen, dass sich die geplanten Gebäude und die neuen versiegelten Flächen aufgrund der fehlenden Verschattung durch Vegetation und der hohen Wärmespeicherkapazität der Baumaterialien im Tagverlauf aufgeheizt haben und die gespeicherte Wärme nun im Lauf der Nacht an die Umgebungsluft abgeben, während die dicht bewachsenen Flächen im Bestand deutlich effektiver auskühlen.
- Innerhalb des Plangebietes werden somit bei den beiden Windrichtungen Temperaturen ausgewiesen, die weitestgehend zwischen 0,2 °C und 0,8 °C höher sind als im Istfall.
- Die Erwärmungen können zudem weit über die Plangebietsgrenzen hinaus in den Modellen nachgewiesen werden. Somit sind auch sensible Wohnnutzungen südlich des Plangebietes bei nordöstlicher Anströmungsrichtung sowie Teile der nördlich angrenzenden Ortsgemeinde Urbar bei südöstlicher Anströmungsrichtung von einer Erwärmung in den Nachtstunden betroffen. Zwar verringern sich mit zunehmender

Entfernung zum Plangebiet die Auswirkungen des Planvorhabens, in den direkt angrenzenden Bereichen beträgt die Differenz zum Istfall jedoch bis zu 0,6 °C bei nordöstlicher Anströmungsrichtung und bis zu 0,4 °C bei südöstlicher Anströmungsrichtung.

- Für die Simulationsergebnisse in den Morgenstunden ist ebenfalls zu beachten, dass mit zunehmender Wuchshöhe der Bäume der Aufheizung der Oberflächen am Tag entgegen gewirkt wird, sodass sich die nächtliche Wärmeabgabe der städtischen Materialien und der Einfluss auf die angrenzende Wohnbebauung mit der Zeit verringern wird.

7.4.4 Bioklima (PET)

Anlage 31 zeigt die simulierten PET-Werte für den Istfall und den Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für die untersuchten Windrichtungen am Nachmittag. Die dargestellten PET-Werte sind das Ergebnis einer Mittelwertwertbildung der Simulationsergebnisse zwischen 12 und 16 Uhr.

Die Grafiken zeigen, dass infolge der gewählten Initialisierungsparameter (Sommertag mit einer maximalen Temperatur von 30°C) sowohl im Ist- als auch im Planfall im gesamten Untersuchungsgebiet mit Wärmebelastungen (vgl. Tabelle 4.1) gerechnet werden muss. Dabei ist die Wärmebelastung in von Bäumen und Gebäuden verschatteten Bereichen als mäßig bis stark zu bezeichnen, in unverschatteten Bereichen mit eingeschränkter Durchlüftung wird die Wärmebelastung aber als extrem empfunden.

Aus der Ergebnisauswertung zum Bestandsfall können folgende Aussagen zum nachmittäglichen Bioklima im Untersuchungsgebiet getroffen werden:

- Grundsätzlich ergeben sich sehr hohe bioklimatische Belastungen mit PET-Werten > 47 °C insbesondere in Bereiche mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und gleichzeitig unverminderter Sonneneinstrahlung
- Außerhalb des Plangebietes treten bei der an Hitzetagen typischen nordöstlichen Anströmungsrichtung in Koblenz extreme bioklimatische Belastungen mit PET-Werten > 51 °C in der Wohnbebauung südlich des Plangebietes entlang der Niederberger Höhe, Friesenstraße, Johannes-Casel-Straße und Ellingstraße auf. Auch in Teilen der nördlich an das Plangebiet angrenzenden Ortsgemeinde Urbar ist die bioklimatische Belastung bei dieser Windrichtung extrem ausgeprägt. Davon betroffen sind insbesondere die sonnenzugewandten, windabgewandten Gebäudeseiten, da die Reflexion der einfallenden Strahlung an den Gebäuden bei gleichzeitig fehlender Verschattung und geringer Durchlüftung besonders belastend auf das Bioklima wirkt.

- Bei südöstlicher Anströmungsrichtung ist in den an das Plangebiet angrenzenden Wohngebieten aufgrund der besseren Durchlüftungssituation der PET-Wert weniger extrem ausgeprägt, dennoch ist an einem heißen Sommertag die bioklimatische Belastung weitestgehend sehr hoch.
- Innerhalb des Plangebietes entstehen bei beiden Anströmungsrichtungen vor allem in den Innenhöfen der U-förmigen Bestandsgebäude Bereiche mit einer extremen thermischen Belastung. Dies ist ebenfalls auf die schwache Durchlüftung bei gleichzeitig direkter Sonneneinstrahlung zurückzuführen.
- Geringere thermische Belastungen herrschen dagegen in den von Bäumen und Gebäuden verschatteten Bereichen in weiten Teilen innerhalb des Plangebietes. Aufgrund der zahlreichen Bäume und dem dichten Bewuchs mit Sträuchern, die für Verdunstungskühlung und Verschattung sorgen, ist dort die thermische Belastung großflächig als mäßig bis stark zu bewerten (vgl. Tabelle 4.1).

Aus der Ergebnisauswertung zum Planfall und zu den planungsbedingten Differenzen können folgende Aussagen zur nachmittäglichen bioklimatischen Belastung getroffen werden:

- Durch die Realisierung des Planvorhabens nach aktuellem Stand ist innerhalb des Plangebietes weitestgehend mit einer deutlichen Erhöhung der thermischen Belastung zu rechnen. Vereinzelt wird infolge der neuen Bebauung und einer hierdurch lokal erhöhten Verschattung aber auch eine Verbesserung des Bioklimas prognostiziert.
- Trotz einer weitestgehend planungsbedingten Verbesserung der Durchlüftung, die sich grundsätzlich positiv auf das Bioklima auswirkt, führt der relativ hohe Versiegelungsgrad im Planfall sowie das Fehlen von Verschattung in der Auswerteebene von 1,5 m zu extremen Wärmebelastungen ($> 41 \text{ °C}$). Hiervon betroffen sind insbesondere das Umfeld der Wohnbebauung im nördlichen Band sowie die vorgesehenen Grünflächen im mittleren grünen Band und entlang der westlichen Plangebietsgrenzen.
- Die Differenzdarstellungen in Anlage 31 zeigen jedoch auch, dass, bedingt durch die Höhe der Plangebäude, im Umfeld der neuen Bebauung auch Verschattungszonen generiert werden, in denen nur eine mäßige thermische Belastung vorliegt. Demnach ist vor allem auf den sonnenabgewandten Seiten der Plangebäude im mittleren und südlichen Bebauungsband die bioklimatische Belastung verhältnismäßig gering.
- Signifikante Veränderungen der bioklimatischen Belastung, die über die Plangebietsgrenzen hinausgehen, können nicht festgestellt werden. Geringfügige positive als

auch negative Abweichungen gegenüber der Istsituation beschränken sich auf das unmittelbare Umfeld des Planvorhabens bis in wenige Meter Entfernung, sodass keine sensiblen Nutzungen sondern lediglich Verkehrsflächen von den Veränderungen betroffen sind.

8 Planungsempfehlungen

Die Berechnungsergebnisse der mikroklimatischen Untersuchung zeigen, dass sich Veränderungen des lokalen Klimas weitestgehend auf das Plangebiet und dessen nahes Umfeld beschränken. Dies trifft insbesondere auf die Durchlüftung, das nachmittägliche Temperaturniveau sowie die bioklimatische Belastung am Nachmittag zu. In Bezug auf das nächtliche Temperaturniveau sind jedoch weitreichende Erwärmungstendenzen im Umfeld der Planung zu erwarten.

Innerhalb des Plangebietes ist trotz der verbesserten Durchlüftung des Plangebietes überwiegend mit einer Verschlechterung der thermischen Belastungssituation am Tag und in der Nacht zu rechnen, was in erster Linie auf den hohen Versiegelungsgrad und das weitestgehende Fehlen von Verschattung zurückzuführen ist.

Um die klimatische Situation innerhalb des Plangebiets und in dessen Umfeld zu verbessern, sollten bei fortschreitender Planung folgende Planungsempfehlungen berücksichtigt werden. Diese können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des Belastungsniveaus beitragen.

Pflanzung und Erhalt von Bäumen

Da Bäume sowohl durch Verschattung als auch über Abkühlungsprozesse durch Evapotranspiration zur Verminderung der thermischen Belastung beitragen, wird empfohlen, im gesamten Plangebiet möglichst viele Baumpflanzungen in Erwägung zu ziehen bzw. möglichst viele Bäume zu erhalten. Hierfür bieten sich insbesondere die Grünflächen im mittleren Band und entlang der westlichen und östlichen Plangebietsgrenze an, die als Aufenthaltsbereiche genutzt werden sollen. In Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels empfiehlt die VDI 3787 Blatt 8 [28], insbesondere stadtklimafeste, also hitze- und trockenheitsresistente Arten auszuwählen, die jedoch während andauernden Hitzeperioden ausreichend bewässert werden sollten, um eine Verbesserung der thermischen Verhältnisse sicherzustellen. Weiterhin sollte beachtet werden, großkronige Arten mit geringer oder mittlerer Lichtdurchlässigkeit zu wählen, um eine effektive Transpiration und Verschattungswirkung zu erzielen. Hinweise zu geeigneten Arten liefert zum Beispiel die GALK-Straßenbaumliste [29]. In den Festsetzungen zur Durchgrünung des Plangebietes ist bereits eine Vielzahl an neuen Baum- und Strauchpflanzungen vorgesehen. Da diese zum Zeitpunkt der Pflanzung jedoch relativ niedrige Wuchshöhen und Kronenbreiten aufweisen, ist der Beitrag zur Verschattung und Verdunstungskühlung anfangs relativ gering. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die vorgesehene Bepflanzung im Laufe der Zeit einen positiven Anteil zur Reduktion der thermischen Belastung am Tag und in der Nacht beitragen wird.

Gebäudebezogenes Grün

Eine weitere Möglichkeit zum Erhalt bzw. zur Steigerung der Kühlfunktion besteht darin, eine zusätzliche Gebäudebegrünung in Form von Dach- und Fassadenbegrünungen vorzunehmen. Für Fassadenbegrünungen bieten sich besonders die Fassaden mit sehr hoher thermischer Belastung auf den sonnenzugewandten Seiten der Plangebäude an. Diese Begrünungsart reduziert die Reflexion von den Gebäuden in Richtung Boden und erhöht gleichzeitig die Verdunstung, wodurch eine Verbesserung des Bioklimas erzielt werden kann. Weitere Vorteile dieser Begrünungsart liegen darin, dass zum einen die Gebäude tagsüber weniger Wärme aufnehmen, wodurch die nächtliche Wärmeabstrahlung ebenfalls reduziert und die Kühlung der umgebenden Luftschichten weiter gefördert wird. Zum anderen greift eine Fassadenbegrünung nur geringfügig in das Windfeld ein.

Durch die Begrünung weiterer Dachflächen, vor allem der Flachdächer niedriger Gebäude, kann ebenfalls ein positiver Effekt auf das Mikroklima erreicht werden, indem die Aufheizung der Gebäude verringert und die Verdunstungskühlleistung erhöht wird. Die Wirksamkeit einer intensiven Dachbegrünung ist gegenüber einer extensiven Dachbegrünung aufgrund der höheren Wasserspeicherkapazität deutlich höher, sodass in Trockenphasen eine langanhaltendere Wasserversorgung der Pflanzen gewährleistet wird. Darüber hinaus kann eine intensive Dachbegrünung zur Kaltluftbildung im Dachniveau in den Nachtstunden beitragen.

Grünflächenbewässerung

Während langer Hitzeperioden trocknen die Böden aus. Die trockenen Böden verhalten sich dann ähnlich wie Stein und Beton und können keinen Beitrag mehr zur Kühlung leisten. Auf ausreichend mit Wasser versorgten Grünflächen und Böden wird dagegen ein Teil der Energie durch Verdunstung (Transpiration von Pflanzen und Evaporation von Böden) in latente Wärme umgewandelt. Flächen mit hoher Evaporation heizen sich deshalb deutlich weniger auf und können angrenzende städtische Flächen kühlen. Um eine ausreichende Bewässerung der Grünflächen auch in Trockenperioden zu gewährleisten, eignen sich beispielsweise oberirdische oder unterirdische Regenwasserspeicher, um in Zeiten des Wasserüberschusses (z.B. nach Starkregen) das anfallende Wasser zwischenzuspeichern, damit es dann in Hitzeperioden wieder abgegeben werden kann.

Klimaoptimierte Gestaltung von Oberflächen

Um die nachmittägliche Wärmeaufnahme zu reduzieren, sollten im Außenbereich Oberflächen und Baumaterialien mit hellen Oberflächen genutzt werden, da bei hellen Oberflächen ein Großteil der eintreffenden Strahlung reflektiert wird und sich die Baumaterialien somit weniger stark erwärmen. Anzustreben ist ein Hellbezugswert > 50 . Es ist jedoch z.B. durch die Schaffung von verschatteten Zonen darauf zu achten, dass durch die erhöhte Reflexion keine Verschlechterung des Bioklimas im Straßenraum hervorgerufen wird. Zur Verringerung

der Wärmebelastung sollten zudem Baumaterialien nach ihren thermischen Eigenschaften ausgewählt werden. So erwärmen sich insbesondere Stahl und Beton tagsüber stark und geben nachts die gespeicherte Energie an die Umgebungsluft. Das Gegenteil ist bei natürlichen Baumaterialien wie beispielsweise Holz der Fall.

Grundsätzlich sollte darauf abgezielt werden, den Versiegelungsgrad weitestgehend zu reduzieren, um Versickerung und Verdunstung zu gewährleisten [28]. Hierzu sollten auf Stellplätzen sowie den Geh- und Zufahrtswegen nach Möglichkeiten wasserdurchlässige Befestigungen realisiert werden. Mögliche Beläge sind Schotterterrassen, Rasengittersteine, Kunststoffrasengitter, Rasenfugenpflaster, Betonpflastersteine, Kies-/ Splittabdeckungen, Splittfugenpflaster – oder Porenpflaster.

Gebäudestellung

Die Gebäudestellung sollte entsprechend der Umgebung und Windrichtung gewählt werden. Gebäude die sich entlang der Windrichtung orientieren ermöglichen eine gute Durchlüftung des Grundstücks an sich. Zudem wird die Durchlüftung der bebauten Flächen im Lee des geplanten Gebäudes in geringerem Maße gestört. Grundsätzlich erweisen sich U-förmige Gebäudestrukturen hinsichtlich der Durchströmbarkeit als ungünstig, sodass warme Luftmassen an heißen Sommertag kaum abtransportiert werden können. Um die thermische Belastung in den Innenhöfen zu reduzieren, sollten diese Gebäudekubaturen nach Möglichkeit offener gestaltet werden, z.B. durch eine Reduktion der Gebäudehöhen an den Südseiten der U-förmigen Strukturen .

Schaffung von offenen Wasserflächen

Eine weitere Möglichkeit hohen Wärmebelastungen entgegenzuwirken besteht darin, offene Wasserflächen zu schaffen. Die Verdunstung von Wasser verbraucht Wärmeenergie aus der Luft und wirkt dementsprechend kühlend. Bewegte Wasser wie Springbrunnen oder Wasserzerstäuber tragen hierbei insgesamt in größerem Maß zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen und bieten sich vor allem für Aufenthalts- und Spielplatzflächen an.

9 Zusammenfassung

Der Auftraggeber plant im Rahmen des vorhabenbezogenen Bebauungsplans Nr. 293 die städtebauliche Entwicklung des ehemaligen Unterkunftsgebietes der Fritsch-Kaserne in der Stadt Koblenz. Zur Entwicklung des Konversionsareals ist die Aufstellung eines Bebauungsplans erforderlich. Der voraussichtliche räumliche Geltungsbereich des B-Plans umfasst ca. 12,5 ha.

Bei städtebaulichen Planungen und Bauleitverfahren gewinnen Fragestellungen einer klimatisch optimierten Stadtentwicklung immer mehr an Bedeutung. Daher wurden im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens sowohl eine mikroskalige Stadtklimaanalyse als auch eine Kaltluftuntersuchung durchgeführt. Die Untersuchungen haben die stadtklimatischen Auswirkungen der Planung im Plangebiet selbst und in der Umgebung aufgezeigt, woraus Optimierungsvorschläge zur Planung unterbreitet wurden.

Zur Beurteilung der Auswirkungen des Planvorhabens auf das lokale Mikroklima wurden mithilfe des mikroskaligen Stadtklimamodells ENVI-met in der Version 5.03 (Summer Release 2022) Simulationsrechnungen für den Ist- und Planfall und zwei Hauptwindrichtungen für einen heißen Sommertag durchgeführt. In die Berechnungen flossen Gebäudestellungen und -höhen, der Vegetationsbestand sowie die Oberflächenbeschaffenheit ein. Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgte anhand der simulierten Temperaturverhältnisse zu zwei verschiedenen Uhrzeiten sowie anhand der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes am Nachmittag. Zusätzlich wurden die Windverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m und 14 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

Vor dem Hintergrund, dass eine veränderte Bebauung des Plangebietes das lokale Kaltluftgeschehen beeinflussen kann, wurde weiterhin gutachterlich geprüft, wie sich die Neuentwicklung der Konversionsfläche auf das Kaltluftgeschehen auswirkt. Zu diesem Zweck wurden Kaltluftberechnungen mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 in der aktuellen Version 2.012. unter Berücksichtigung des Reliefs, der Landnutzung sowie der Bebauungssituation im Umfeld des Planvorhabens durchgeführt. Die Beurteilung der Veränderung erfolgte anhand eines Vergleichs der im Modell berechneten Kaltluftkenngrößen.

Die Kaltluftsimulationen für den Istfall zeigen, dass sowohl in den frühen als auch in den späten Nachtstunden aufgrund der Plateaulage und des relativ hohen Versiegelungsgrades im Plangebiet kaum Kaltluft gebildet wird und dementsprechend vergleichsweise geringe Kaltluftmächtigkeiten erreicht werden. Infolge des leichten Gefälles innerhalb des Plangebietes fließt der geringe Anteil gebildeter Kaltluft im nördlichen Plangebiet in Richtung Norden Malenderer Bachtal ab, während die Fließrichtung des Kaltluftvolumenstroms im südlichen Plangebiet nach Süden in Richtung Niederberg ausgerichtet ist.

Durch die geplante Bebauung ergeben sich in Bezug auf den Kaltluftvolumenstrom prozentuale Änderungen von über 10 %, welche gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 als „hohe“ Auswirkungen zu klassifizieren wären. Aufgrund der sehr niedrigen absoluten Kaltluftvolumenstromdichten innerhalb des Plangebietes sowie in dessen nahen Umfeld sind diese Veränderungen insgesamt jedoch als nicht signifikant und unbedenklich einzustufen.

Zur Quantifizierung der dargelegten Veränderungen wurde der Kaltluftvolumenstrom in Bereichen, in denen eine signifikante Minderung oder Zunahme von mehr als 5 % durch das Planvorhaben erfolgte, für den Ist- und Planfall aufsummiert und anschließend die prozentuale Veränderung ermittelt. Die Bilanzierung ergibt für die Situation zwei Stunden nach Sonnenuntergang eine Erhöhung um 0,4 % und für die Situation sechs Stunden nach Sonnenuntergang einen Rückgang um -2,0 %. Gemäß dem oben genannten Klassifizierungsschema sind die bilanzierten planerischen Auswirkungen somit insgesamt als gering zu bewerten.

Die Berechnungsergebnisse der mikroklimatischen Untersuchung zeigen, dass sich die Änderungen der Durchlüftung bei den beiden untersuchten Windrichtungen auf das Plangebiet und dessen unmittelbaren Umfeld beschränken und somit keine signifikanten Auswirkungen in den umgebenden Wohngebieten zu erwarten sind. Im bodennahen Niveau nehmen die Windgeschwindigkeiten innerhalb des Plangebietes weitestgehend zu. Im zentralen Plangebiet entsteht durch die neue Bebauung und die wegfallenden Baumstandorte ein von Nord nach Süd gerichteter Belüftungskorridor. Bereiche mit Geschwindigkeitsreduktionen entstehen vor allem im Umfeld der U-förmigen Plangebäude. Im oberen Auswertenniveau wird das Windfeld durch die höheren Gebäudehöhen in der südlichen Hälfte des Plangebietes deutlich eingeschränkt. Das nördliche Bebauungsband und die Bereiche entlang der westlichen Plangebietsgrenze werden hingegen infolge der fehlenden Baumstandorte und der niedrigen Plangebäude besser durchströmt.

Innerhalb des Plangebietes ist trotz der verbesserten Durchlüftung des Plangebietes überwiegend mit einer Verschlechterung der thermischen Belastungssituation am Tag und in der Nacht zu rechnen, was in erster Linie auf den hohen Versiegelungsgrad und das weitestgehende Fehlen von Verschattung zurückzuführen ist. Bei den an Hitzetagen relevanten nordöstlichen und südöstlichen Windrichtungen sind vor allem nachts im Plangebiet selbst sowie in den angrenzenden Wohnbebauungen höhere Temperaturen im Vergleich zur aktuellen Bebauungssituation zu erwarten. Zudem ist innerhalb der Plangrenzen mit einer deutlichen Erhöhung der bioklimatischen Belastung am Nachmittag zu rechnen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die festgesetzten Neupflanzungen von Bäumen und Sträuchern im Laufe der Zeit positiv auf die thermische Belastung auswirken werden.

Zur Verbesserung der bioklimatischen Belastungssituation in der nahen Zukunft sollten bei fortschreitender Planung folgende Planungsempfehlungen berücksichtigt werden. Diese können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des Belastungsniveaus beitragen.

- Erhöhung der Verschattungswirkung und Verdunstungskühlleistung durch die Pflanzung und den Erhalt von Baumstandorten
- Fassaden- und Dachbegrünung zur Steigerung der Kühlfunktion von Gebäuden
- Grünflächenbewässerung zur Kühlung und zum Erhalt der Verdunstungskühlleistung der Vegetation
- Verwendung geeigneter Baumaterialien und Entsiegelung von Oberflächen, um die Wärmeaufnahme in den Tagstunden zu reduzieren
- Schaffung von durchströmbaren Gebäudestrukturen
- Schaffung von offenen Wasserflächen zur Förderung der Verdunstungskühlung

Peutz Consult GmbH

i.V. Dipl.-Geogr. Björn Siebers
(fachliche Verantwortung / Projektbearbeitung)

i.A. M.Sc. Marisa Fritsch
(Projektbearbeitung)

Anlagenverzeichnis

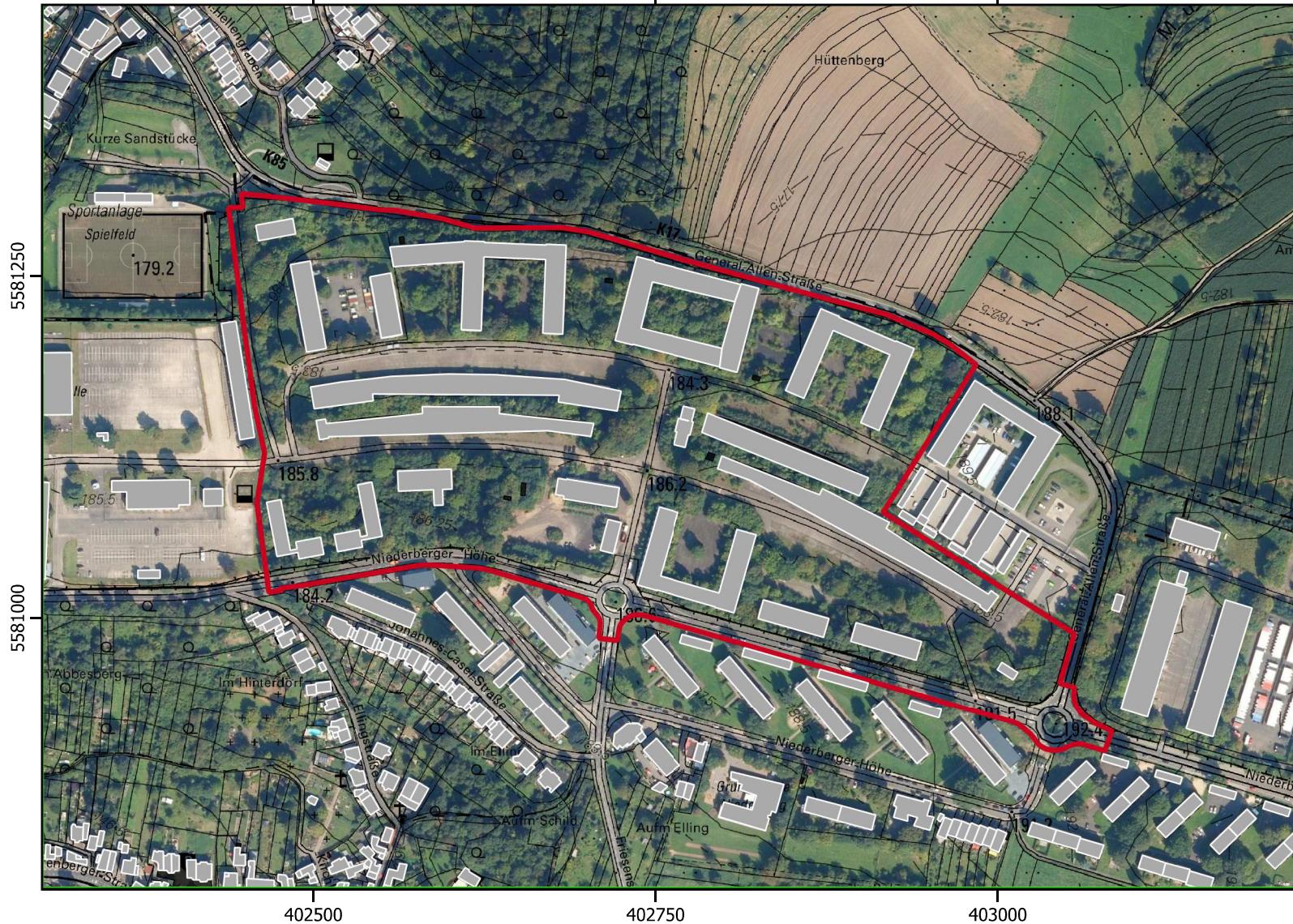
- Anlage 1 Übersichtslageplan und Gebäude im Istfall
- Anlage 2 Übersichtslageplan und Gebäude im Planfall
- Anlage 3 Windrichtungsverteilung an der DWD-Station Bendorf im Zeitraum 2001-2010 für alle Situationen (links) und an heißen Tagen ($T_{\max} > 30 \text{ °C}$) (rechts)
- Anlage 4 Geländehöhen und Lage des Nestinggebietes
- Anlage 5 Geländehöhen im Umfeld des Plangebietes – Istfall
- Anlage 6 Geländehöhen im Umfeld des Plangebietes - Planfall
- Anlage 7 Landnutzung im gesamten Untersuchungsraum
- Anlage 8 Landnutzung im Umfeld des Plangebietes - Istfall
- Anlage 9 Landnutzung im Umfeld des Plangebietes - Planfall
- Anlage 10 Höhe der Kaltluftschicht 2 Stunden nach Sonnenuntergang – Istfall
- Anlage 11 Höhe der Kaltluftschicht 2 Stunden nach Sonnenuntergang – Planfall
- Anlage 12 Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit 2 Stunden nach Sonnenuntergang
- Anlage 13 Höhe der Kaltluftschicht 6 Stunden nach Sonnenuntergang – Istfall
- Anlage 14 Höhe der Kaltluftschicht 6 Stunden nach Sonnenuntergang – Planfall
- Anlage 15 Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit 6 Stunden nach Sonnenuntergang

- Anlage 16 Kaltluftvolumenstrom 2 Stunden nach Sonnenuntergang – Istfall
- Anlage 17 Kaltluftvolumenstrom 2 Stunden nach Sonnenuntergang – Planfall
- Anlage 18 Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms 2 Stunden nach Sonnenuntergang
- Anlage 19 Kaltluftvolumenstrom 6 Stunden nach Sonnenuntergang – Istfall
- Anlage 20 Kaltluftvolumenstrom 6 Stunden nach Sonnenuntergang – Planfall
- Anlage 21 Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms 6 Stunden nach Sonnenuntergang
- Anlage 22 ENVI-met Modell-Architektur
- Anlage 23 Vegetation im Istfall
- Anlage 24 Vegetation im Planfall
- Anlage 25 Oberflächenbeschaffenheit im Istfall
- Anlage 26 Oberflächenbeschaffenheit im Planfall
- Anlage 27 Windfeld in 1,5 m Höhe um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 50° bzw. 150°
- Anlage 28 Windfeld in 14,5 m Höhe um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 50° bzw. 150°
- Anlage 29 Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 50° bzw. 150°

Anlage 30 Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe um 4 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 50° bzw. 150°

Anlage 31 PET-Wert in 1,5 m Höhe am Nachmittag bei einer Anströmungsrichtung von 50° bzw. 150°

Anlage 1: Übersichtslageplan im Istfall



Legende

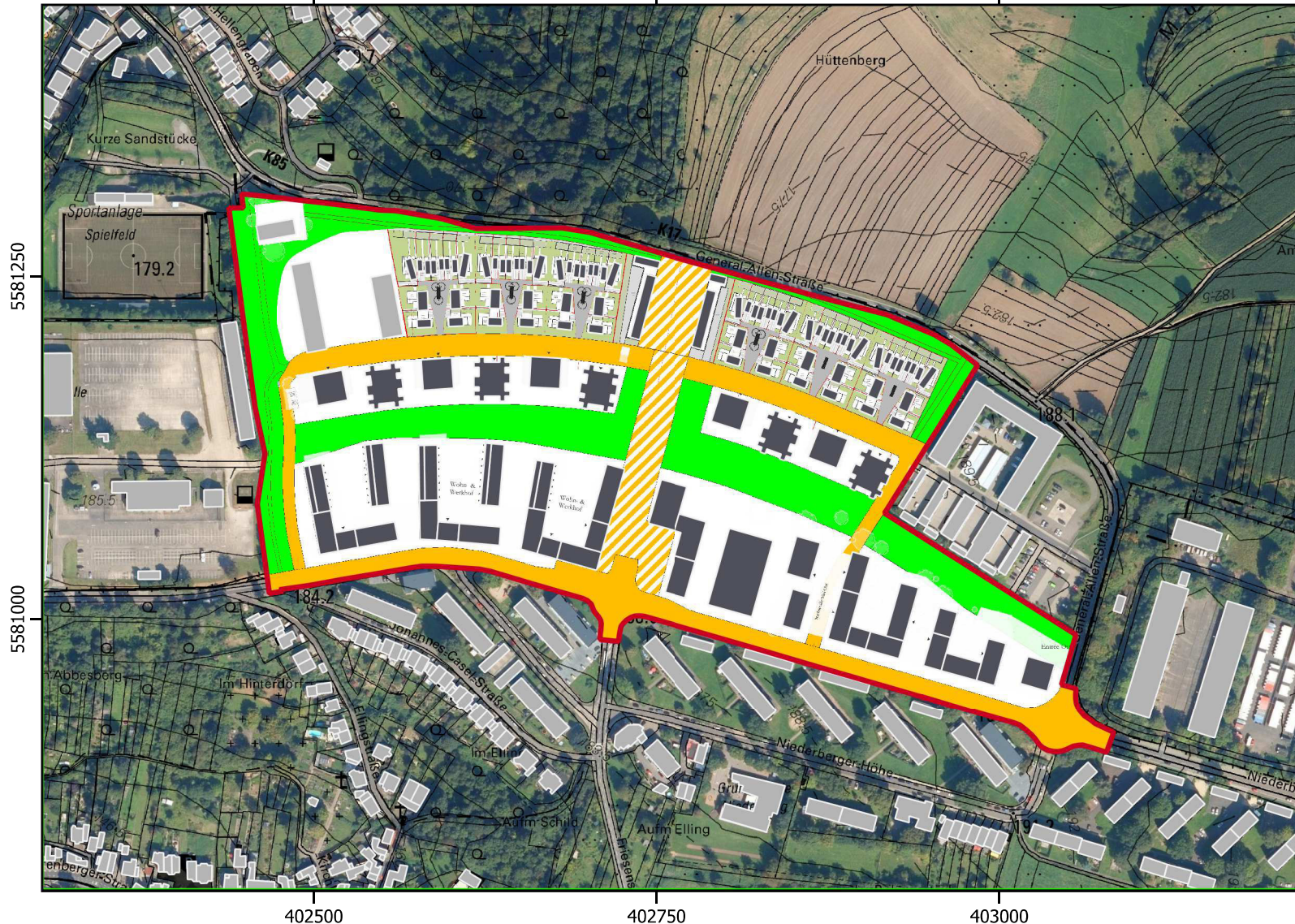
- Bestandsgebäude
- Plangebiet



0 50 100 150 200 m



Anlage 2: Übersichtslageplan im Planfall



Legende

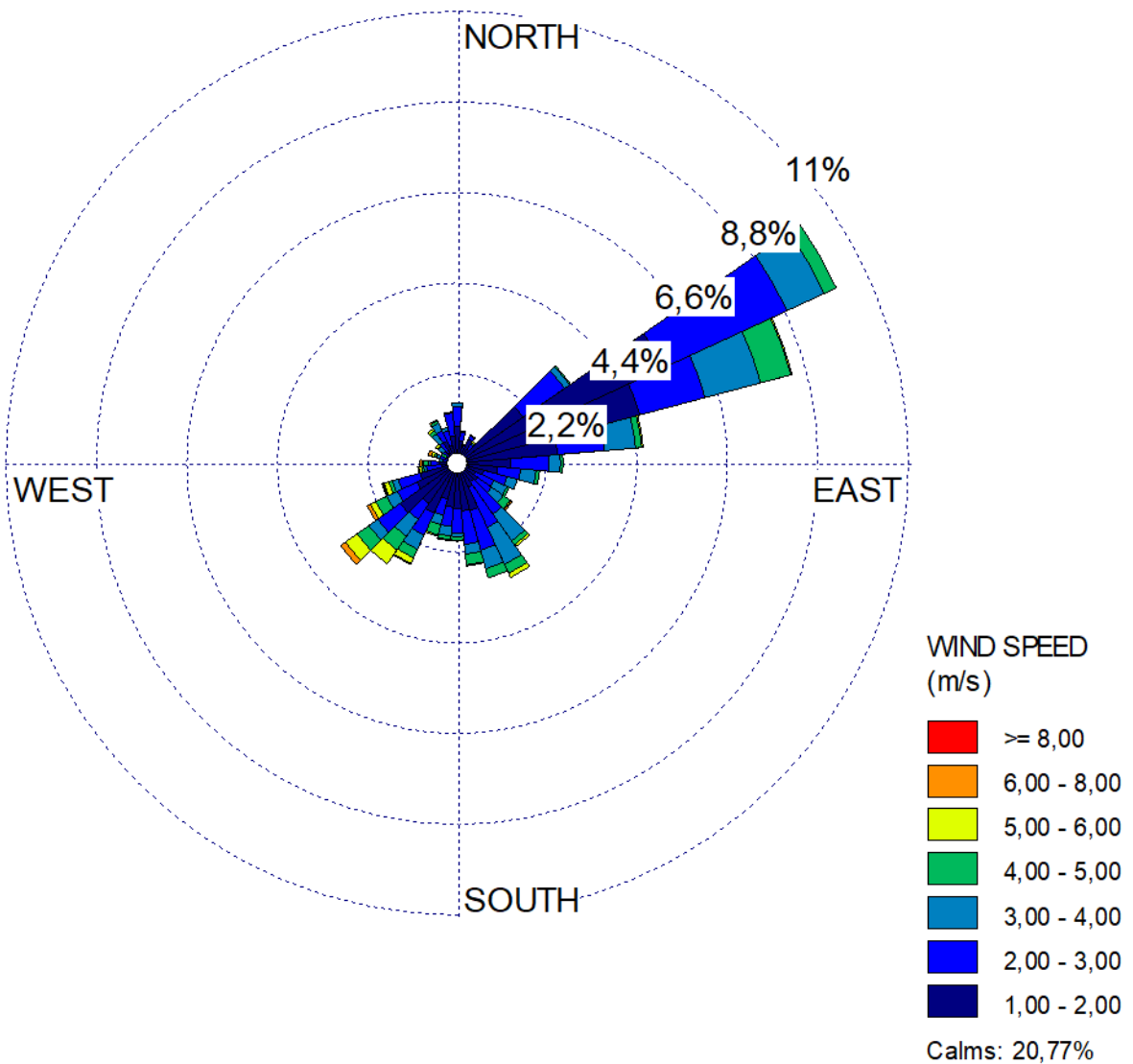
- Bestandsgebäude
- Plangebäude
- Plangebiet



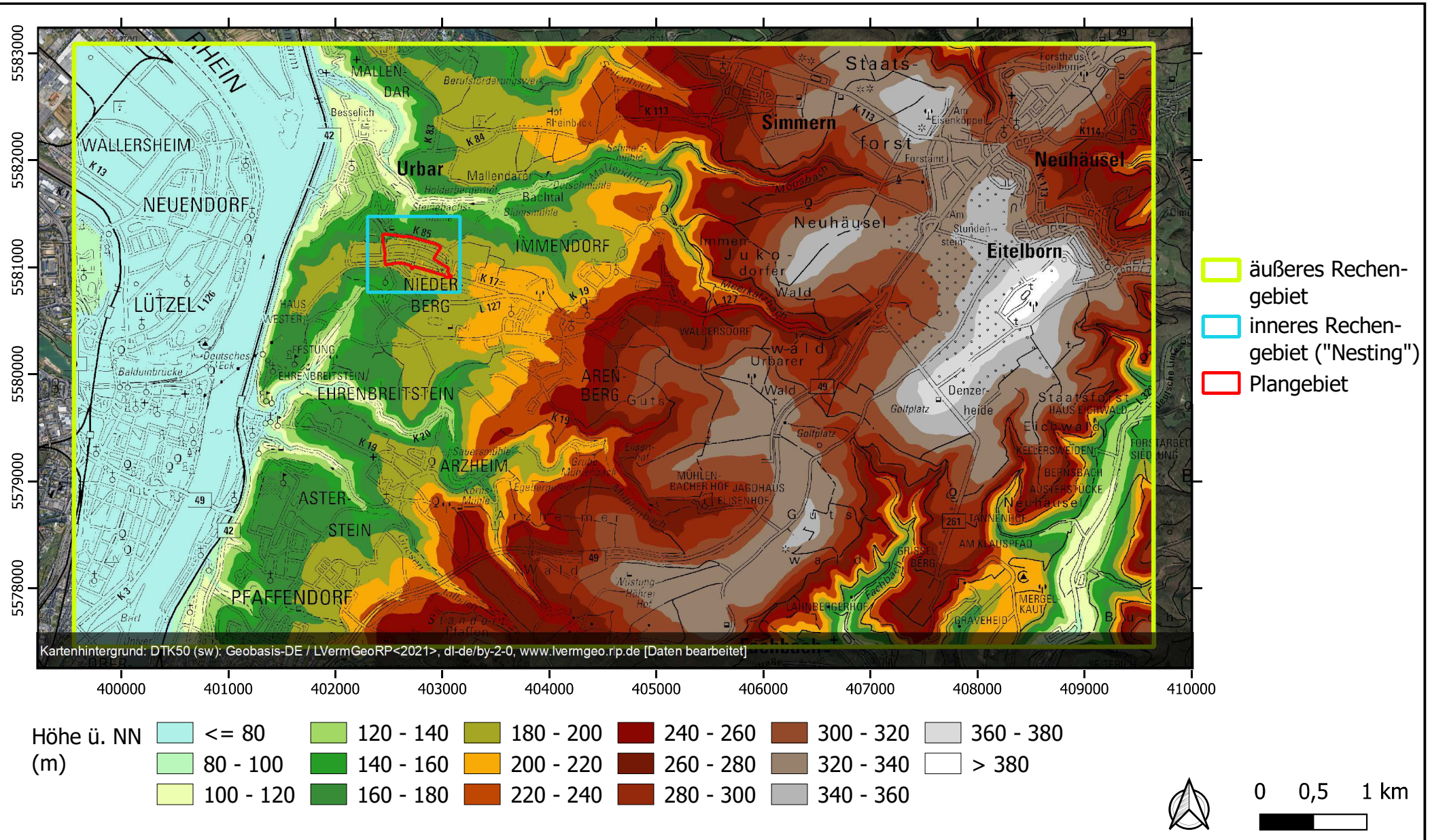
0 50 100 150 200 m



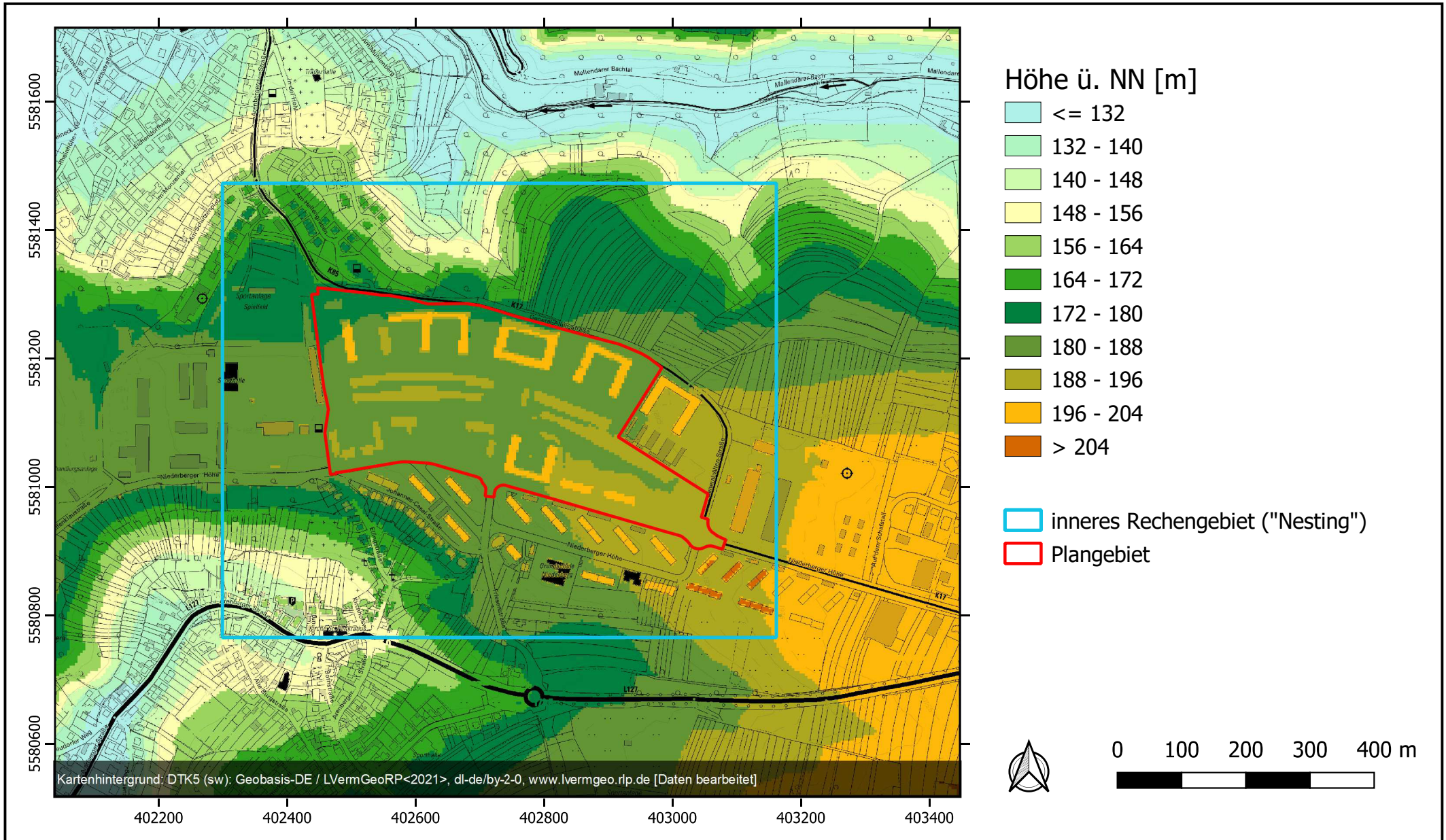
- Tage mit $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ -



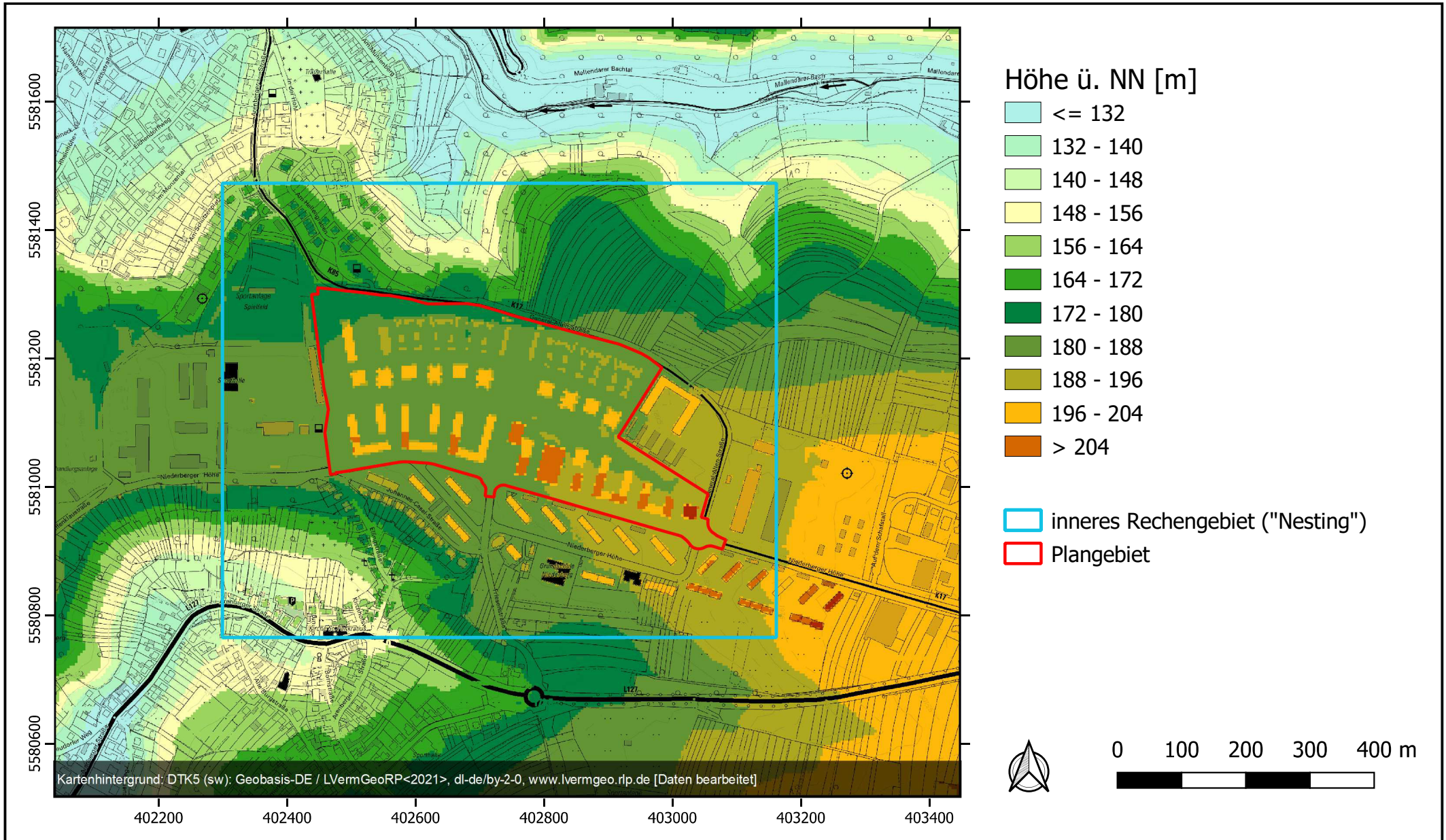
Anlage 4: Geländehöhen und Lage des Nestinggebietes



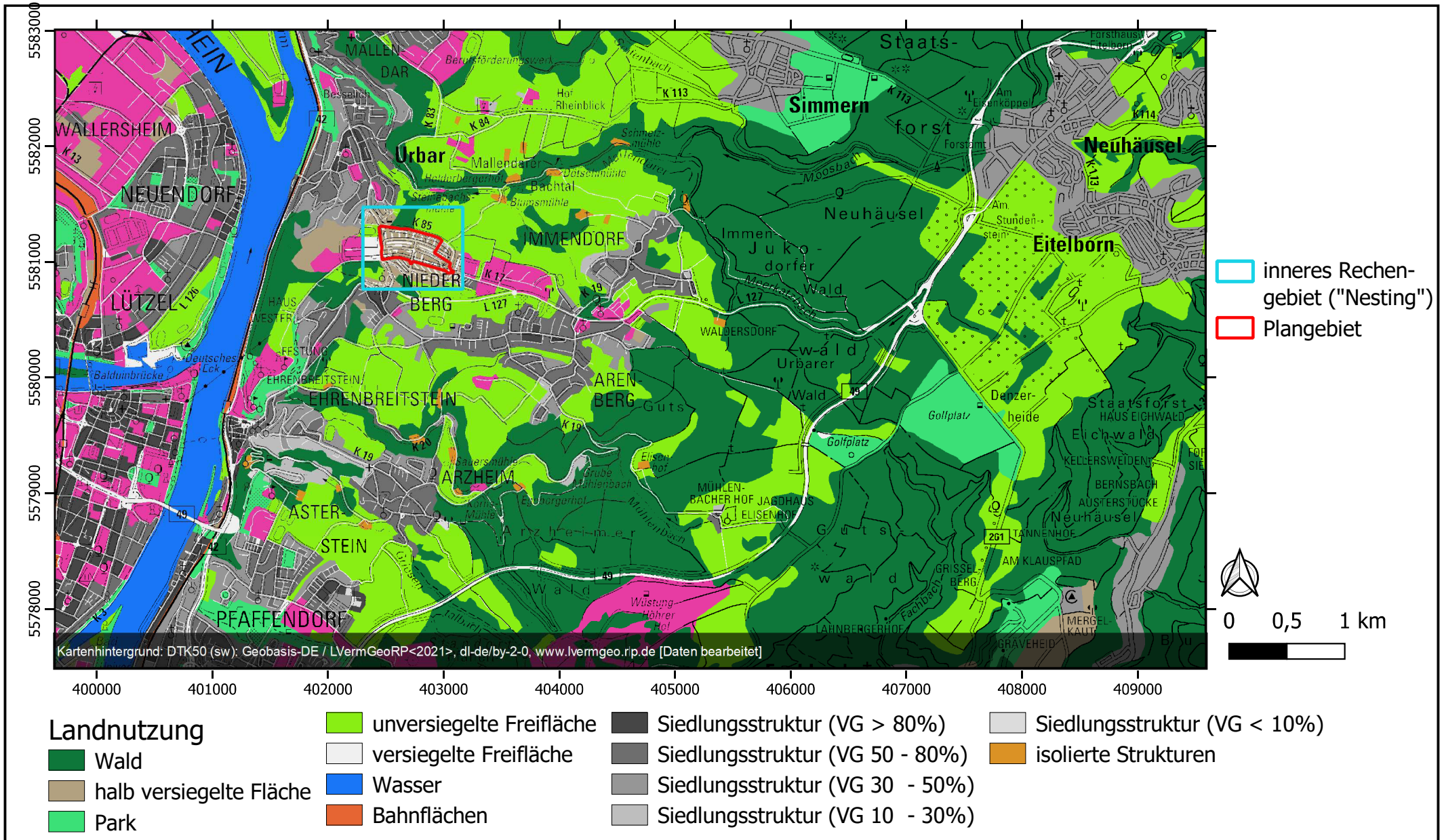
Anlage 5: Geländehöhen im Umfeld des Plangebietes - Istfall



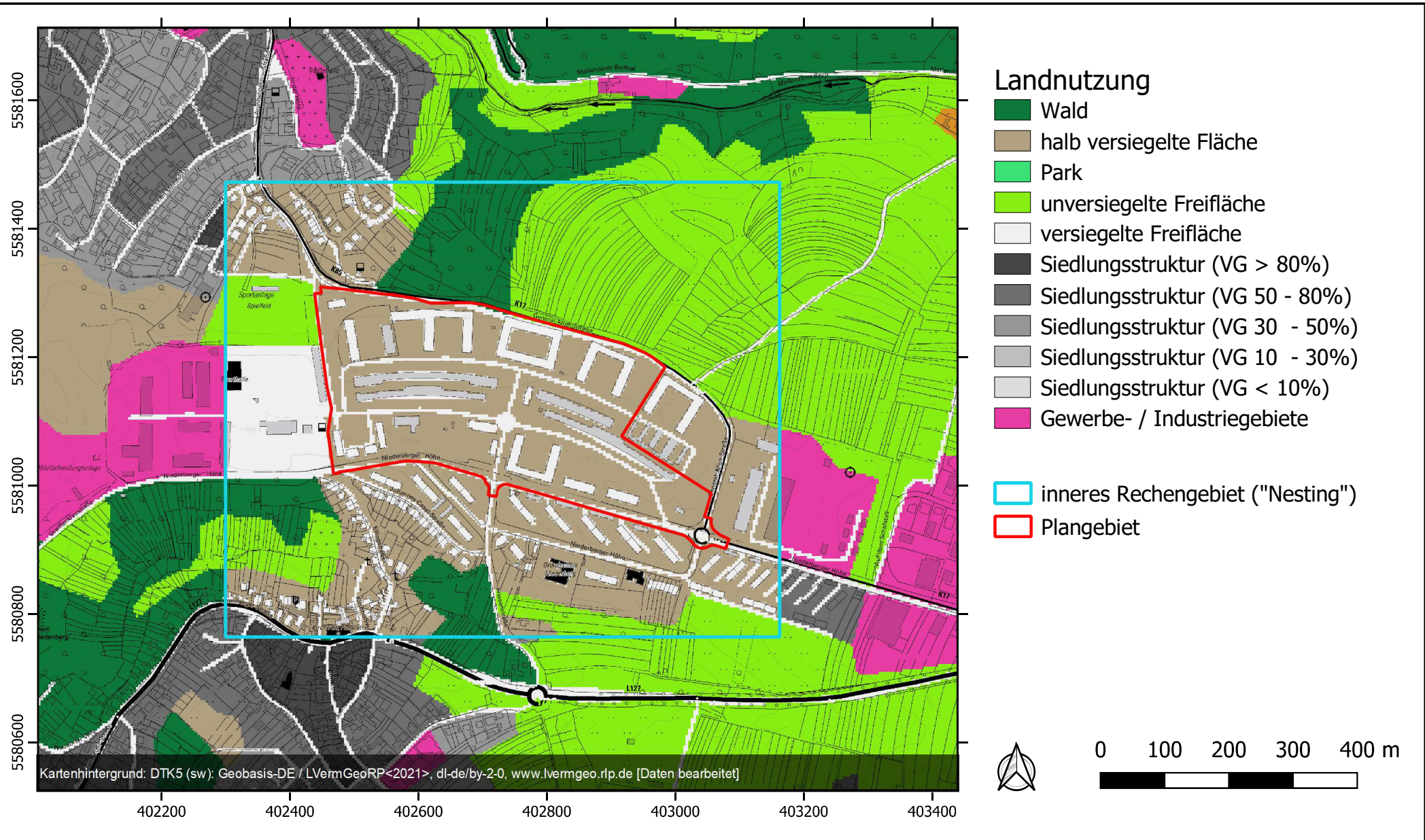
Anlage 6: Geländehöhen im Umfeld des Plangebietes - Planfall



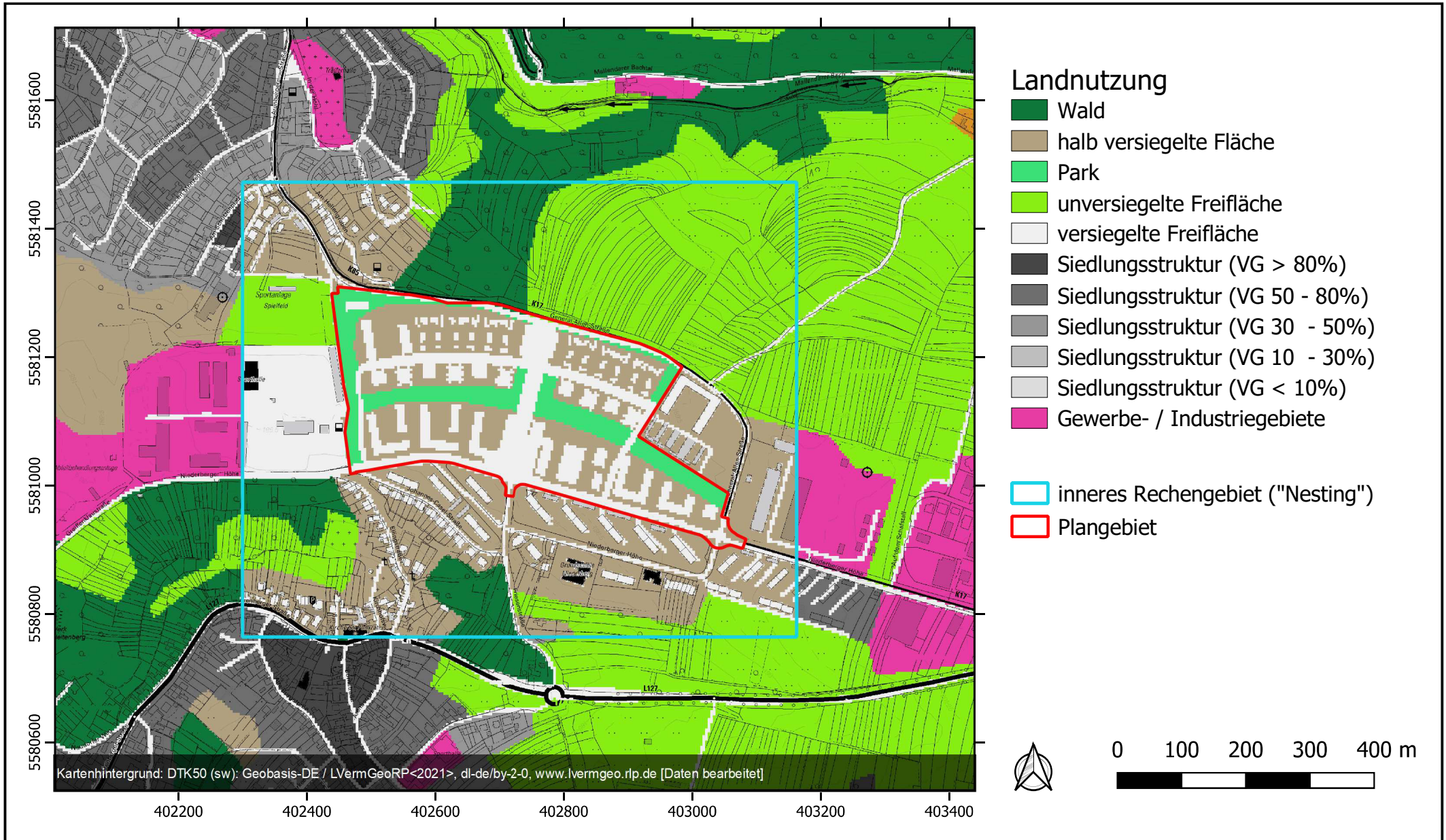
Anlage 7: Landnutzung im gesamten Untersuchungsraum



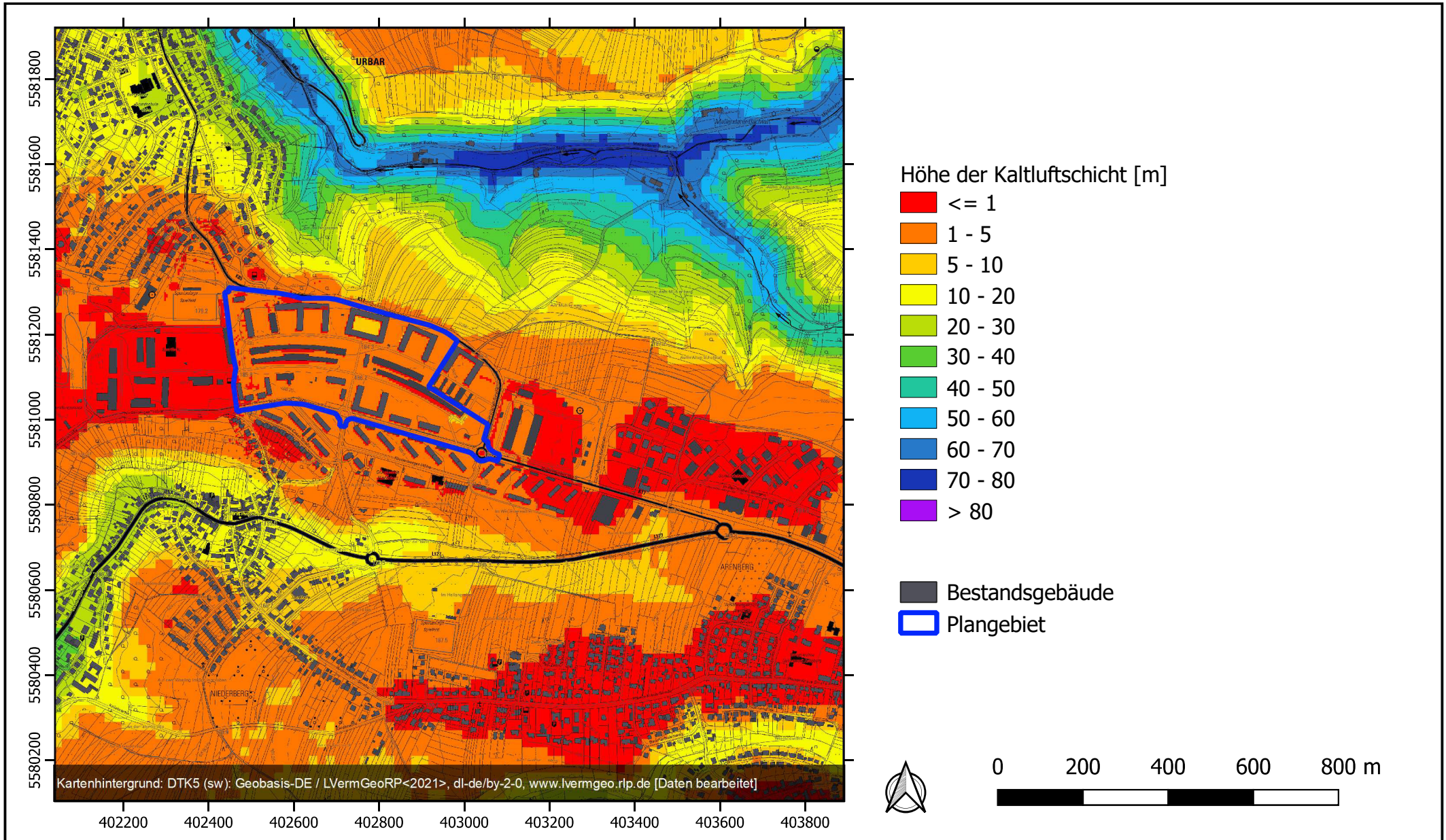
Anlage 8: Landnutzung im Umfeld des Plangebietes - Istfall



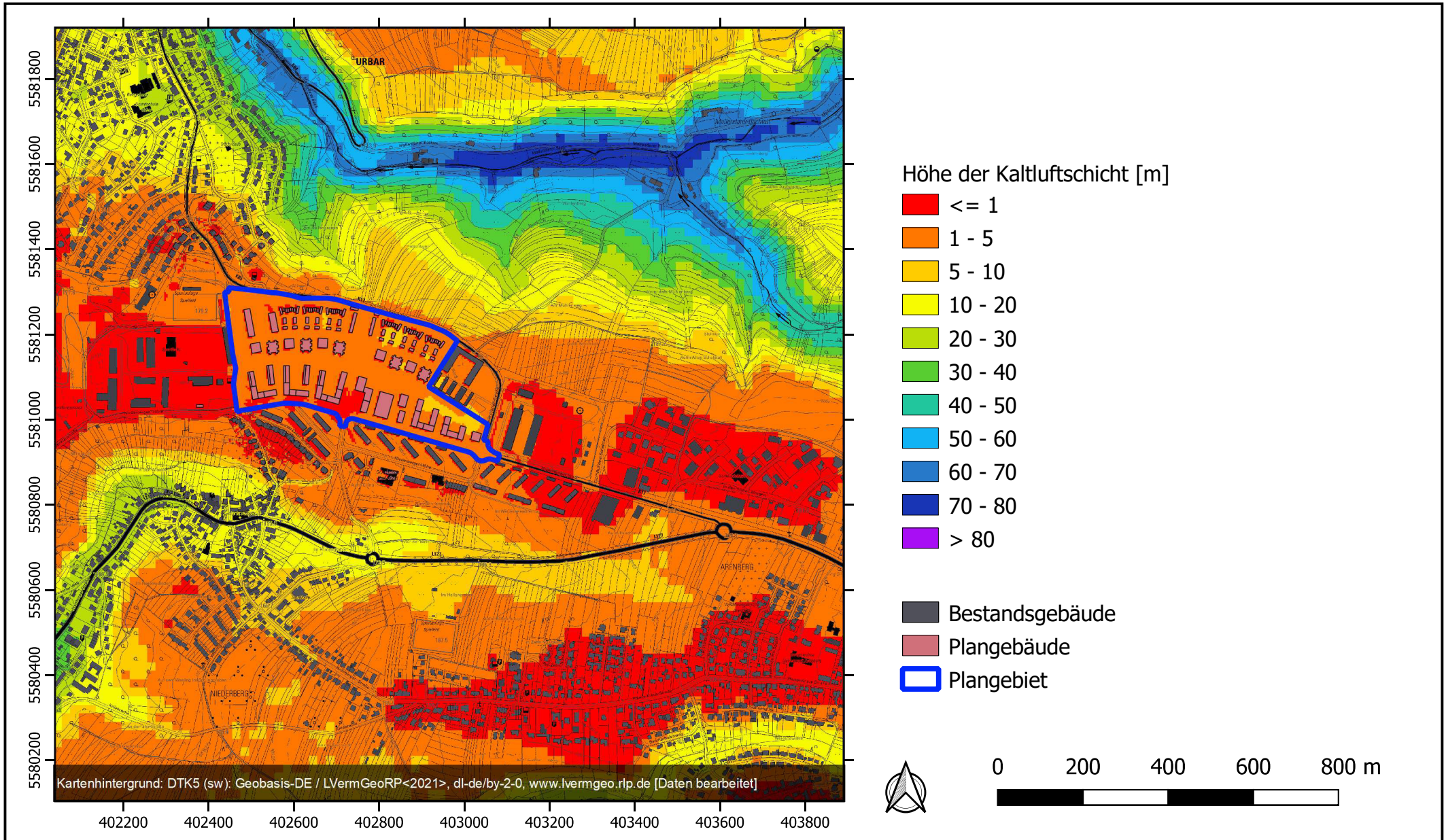
Anlage 9: Landnutzung im Umfeld des Plangebietes - Planfall



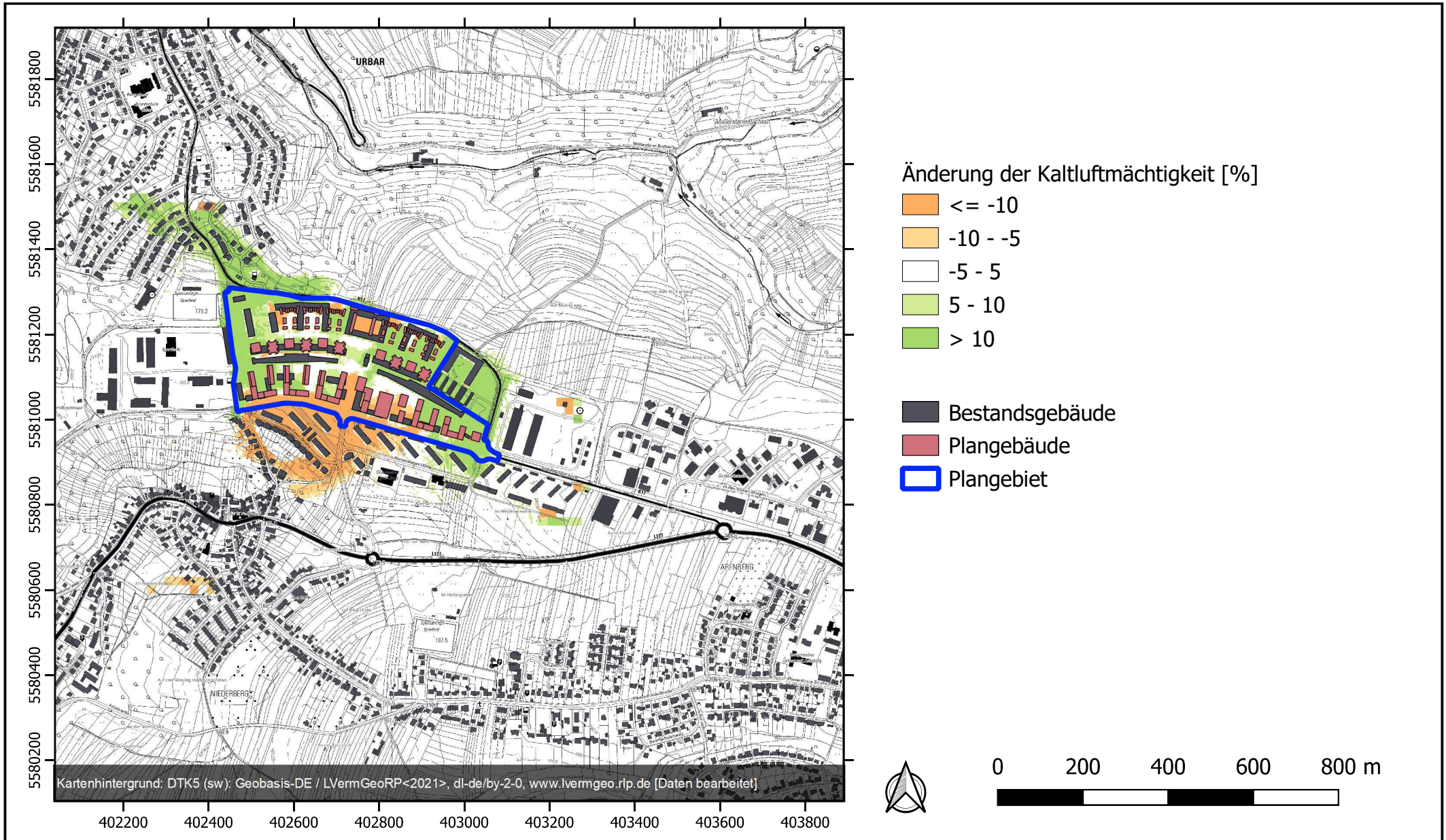
Anlage 10: Höhe der Kaltluftschicht im Istfall - 2 Stunden nach Sonnenuntergang



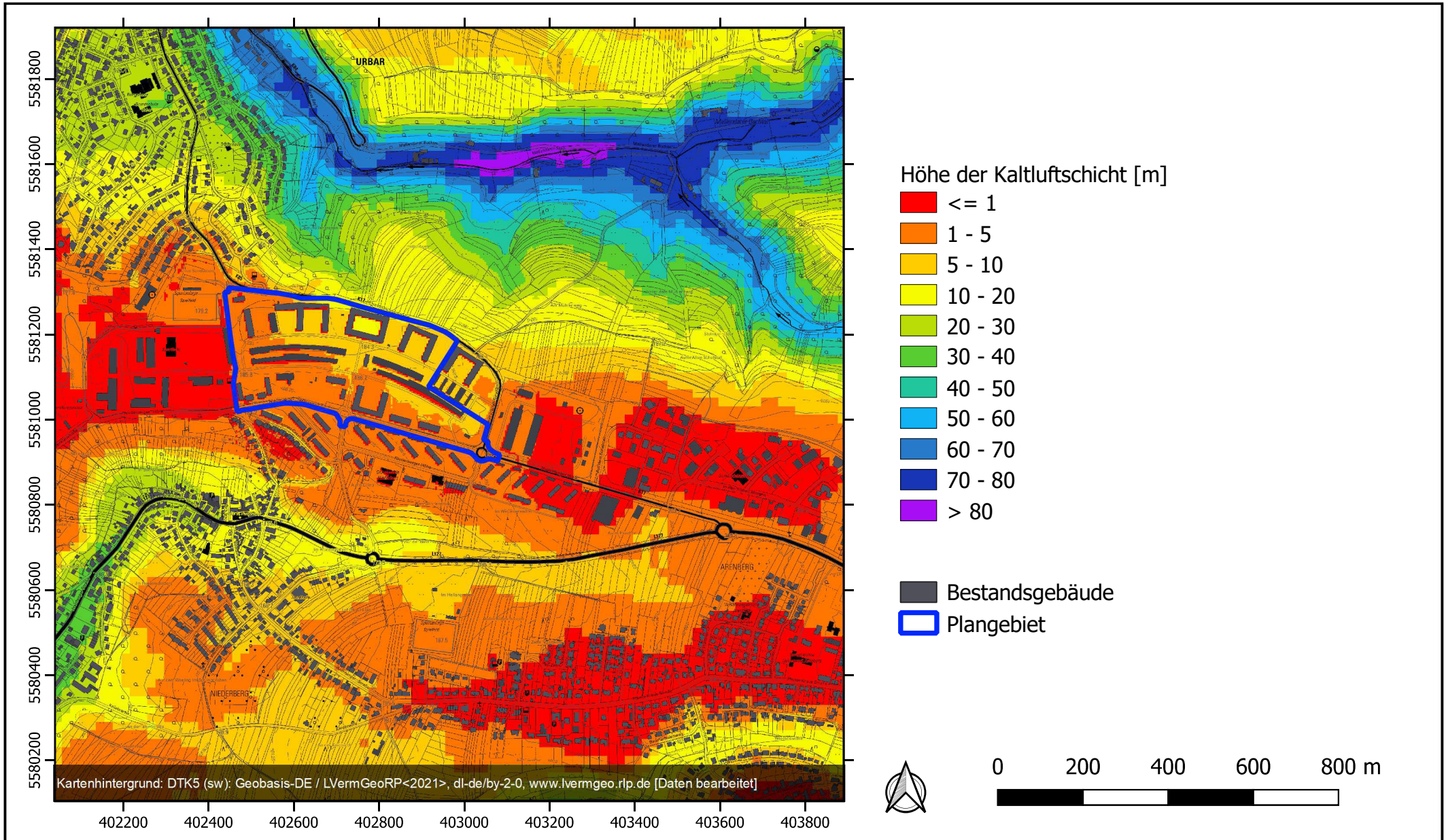
Anlage 11: Höhe der Kaltluftschicht im Planfall - 2 Stunden nach Sonnenuntergang



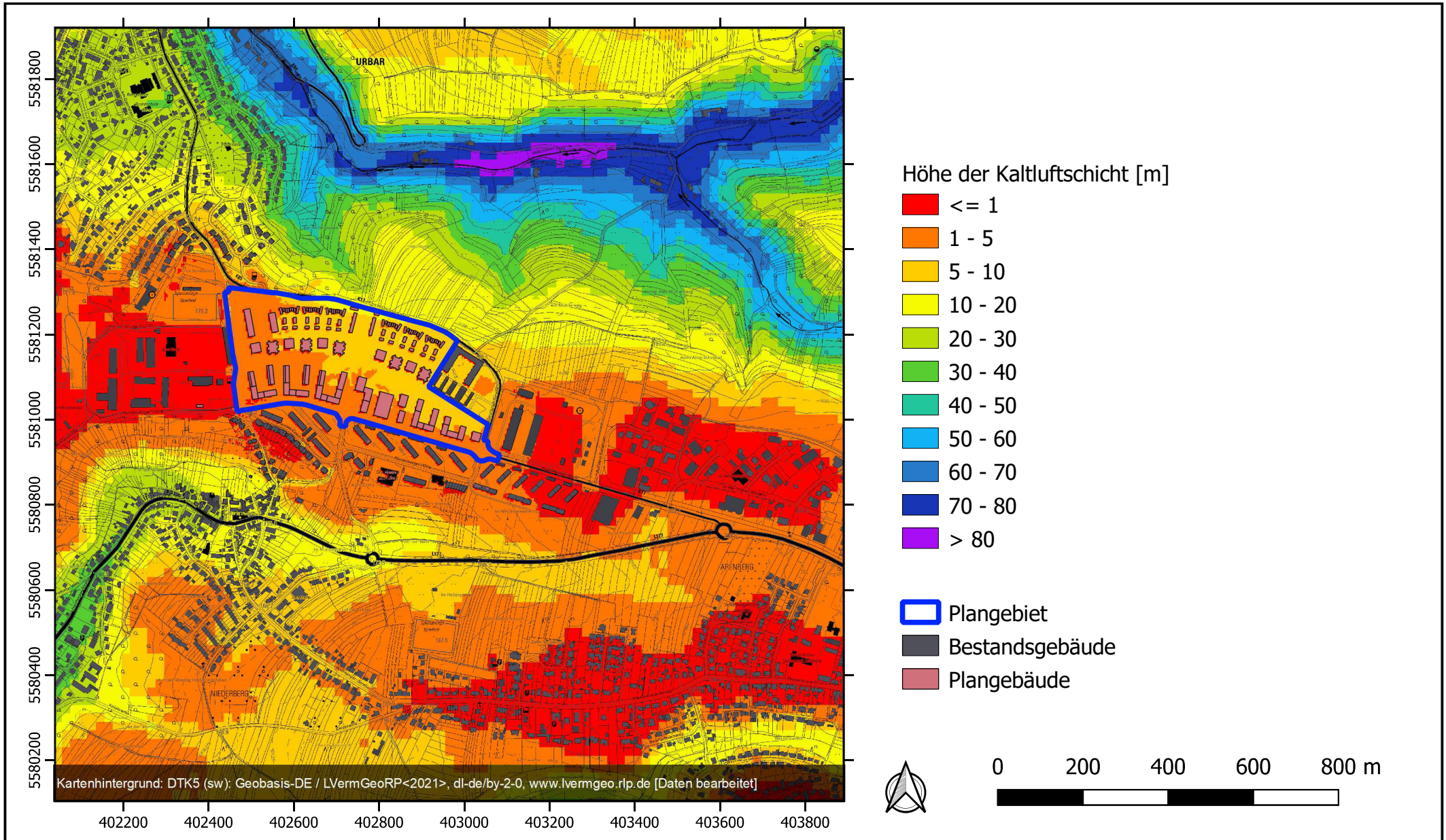
Anlage 12: Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit - 2 Stunden nach Sonnenuntergang



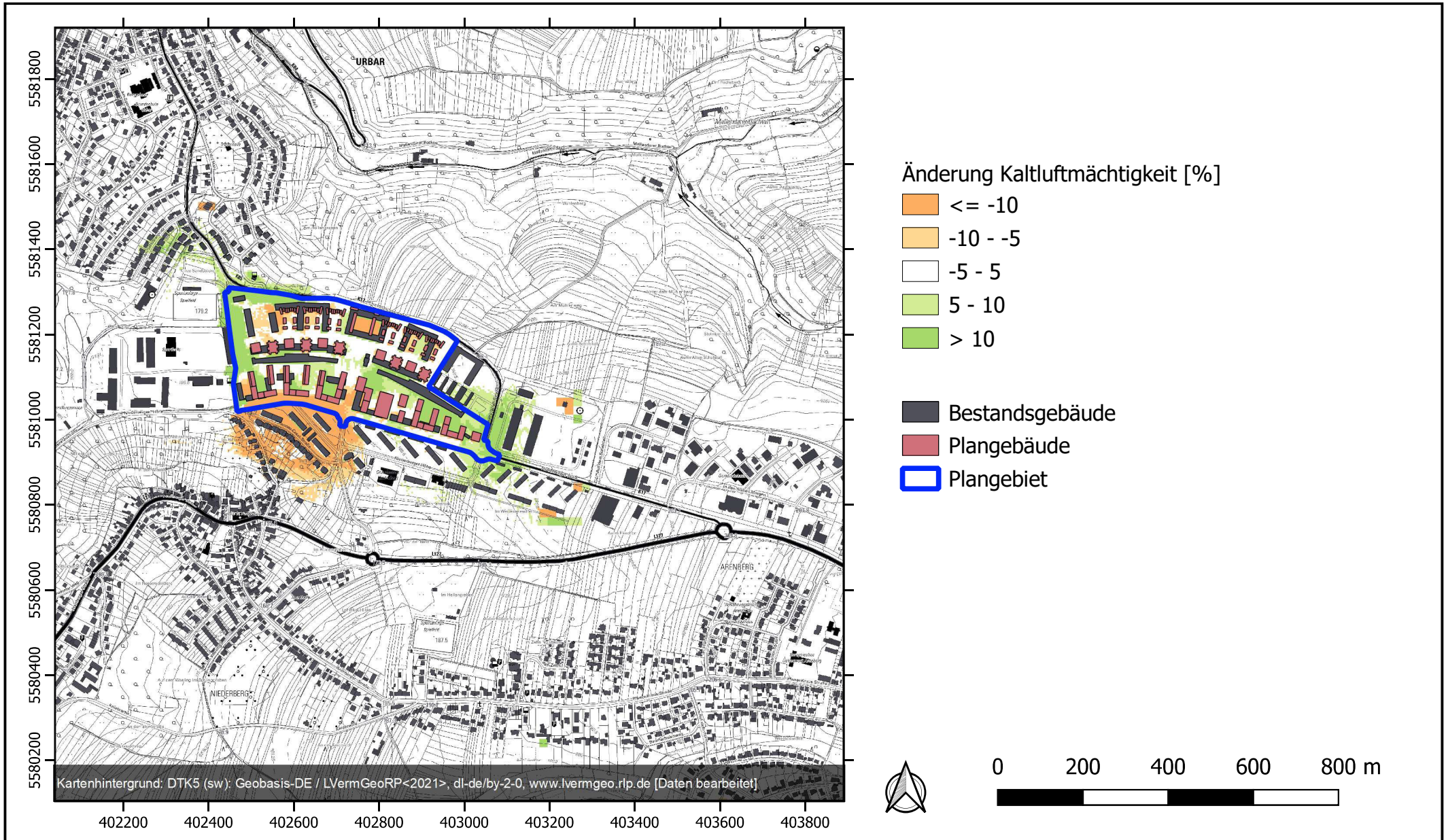
Anlage 13: Höhe der Kaltluftschicht im Istfall - 6 Stunden nach Sonnenuntergang



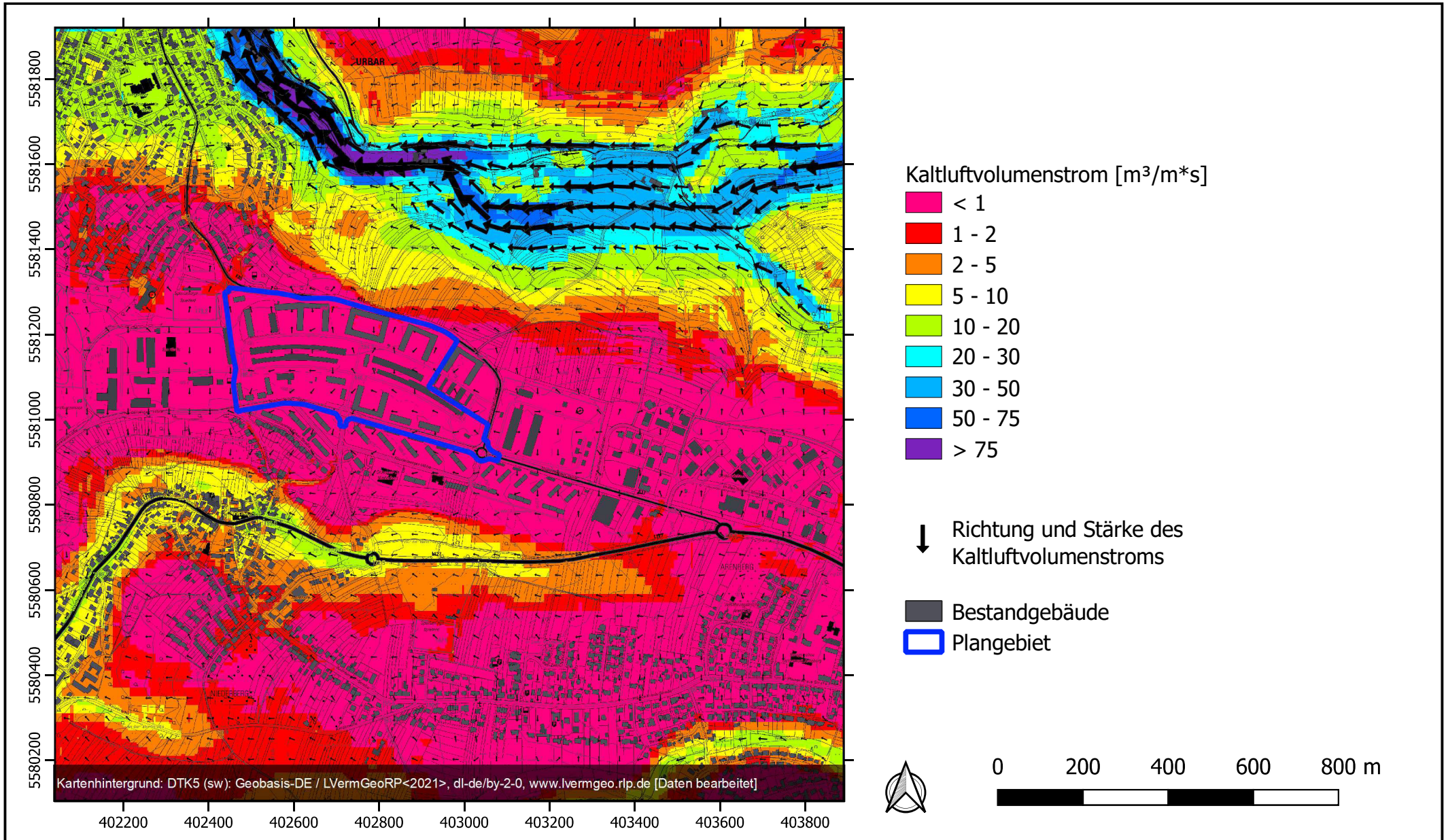
Anlage 14: Höhe der Kaltluftschicht im Planfall - 6 Stunden nach Sonnenuntergang



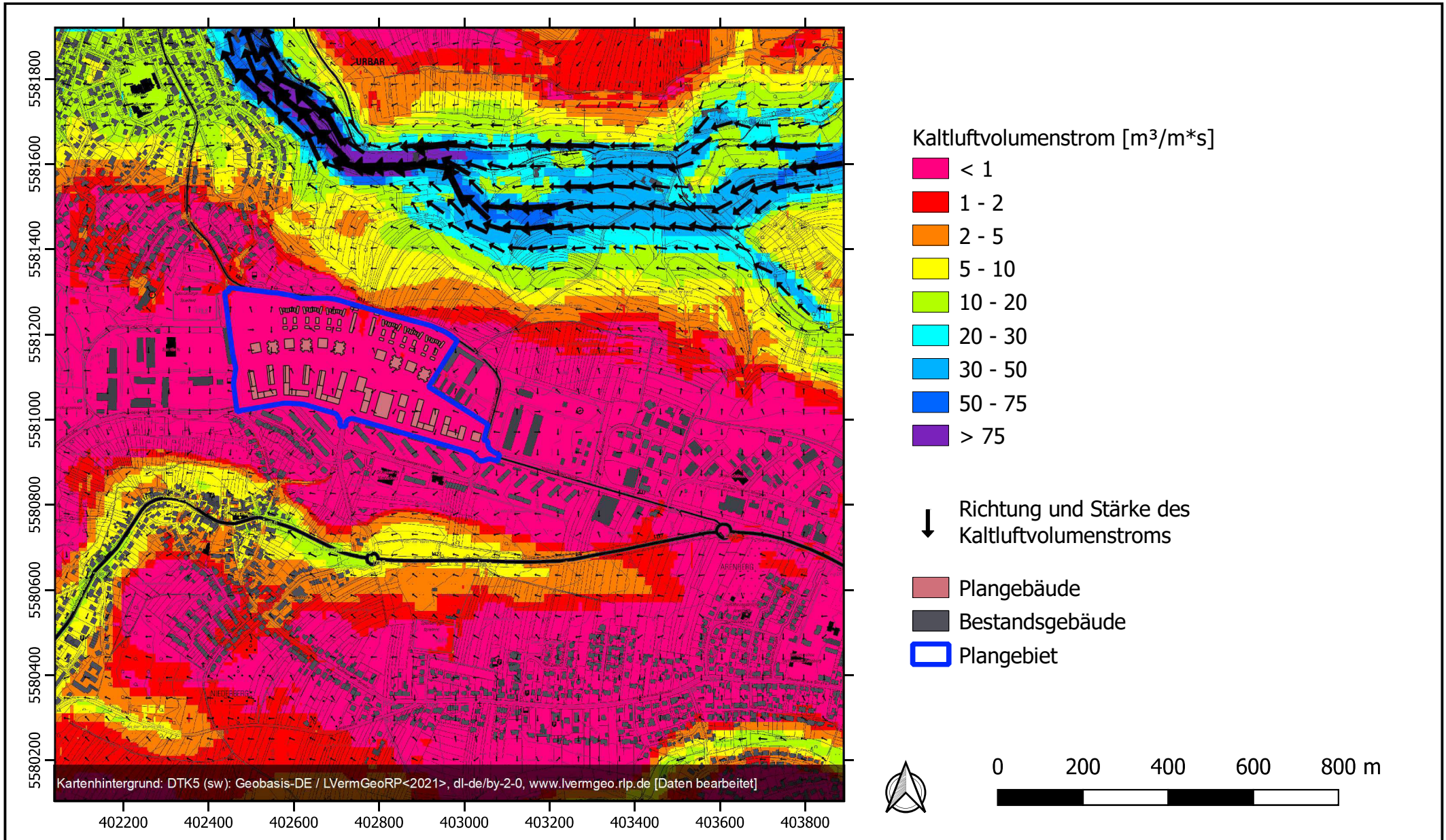
Anlage 15: Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit - 6 Stunden nach Sonnenuntergang



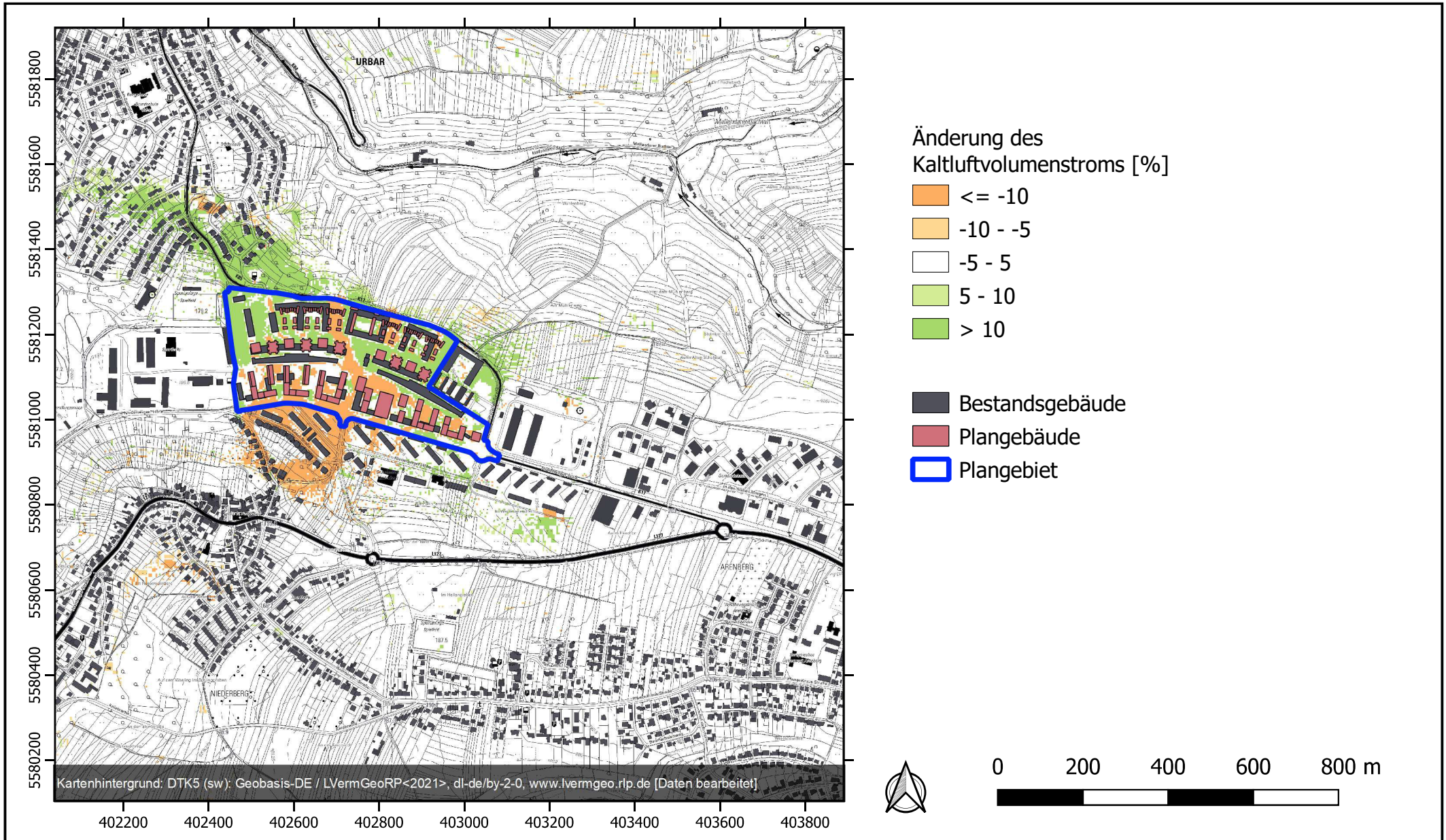
Anlage 16: Kaltluftvolumenstrom im Istfall - 2 Stunden nach Sonnenuntergang



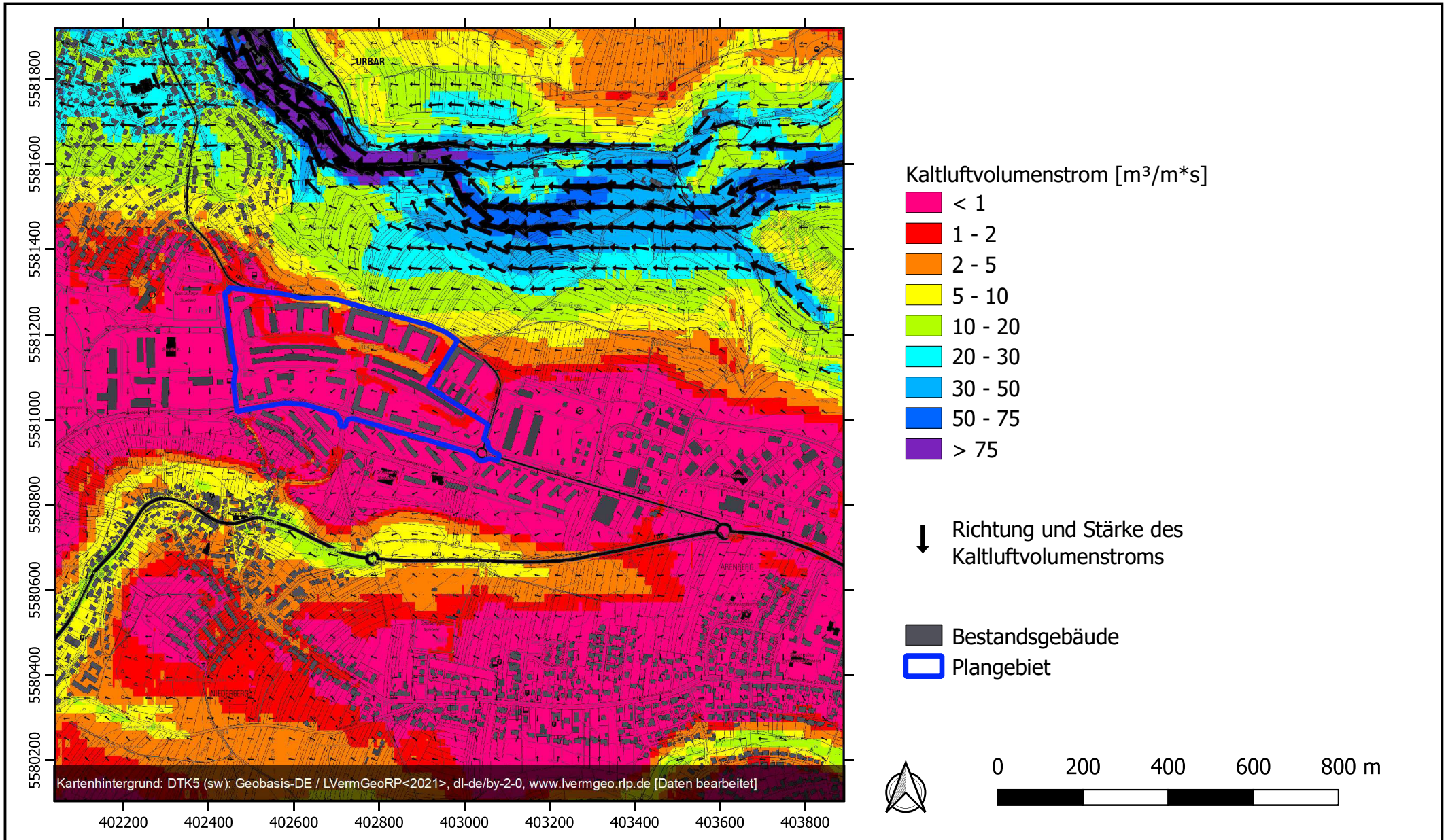
Anlage 17: Kaltluftvolumenstrom im Planfall - 2 Stunden nach Sonnenuntergang



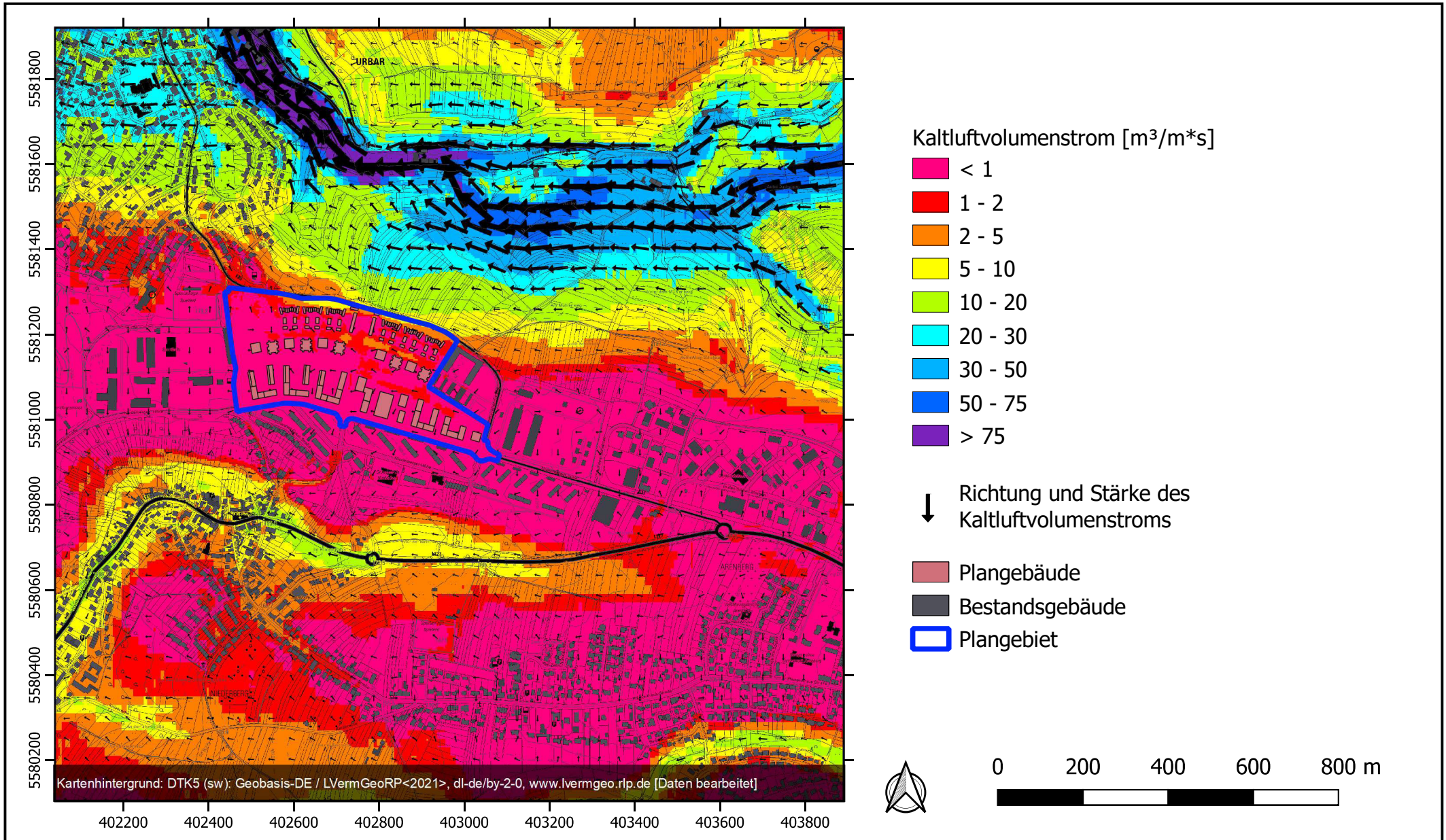
Anlage 18: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms - 2 Stunden nach Sonnenuntergang



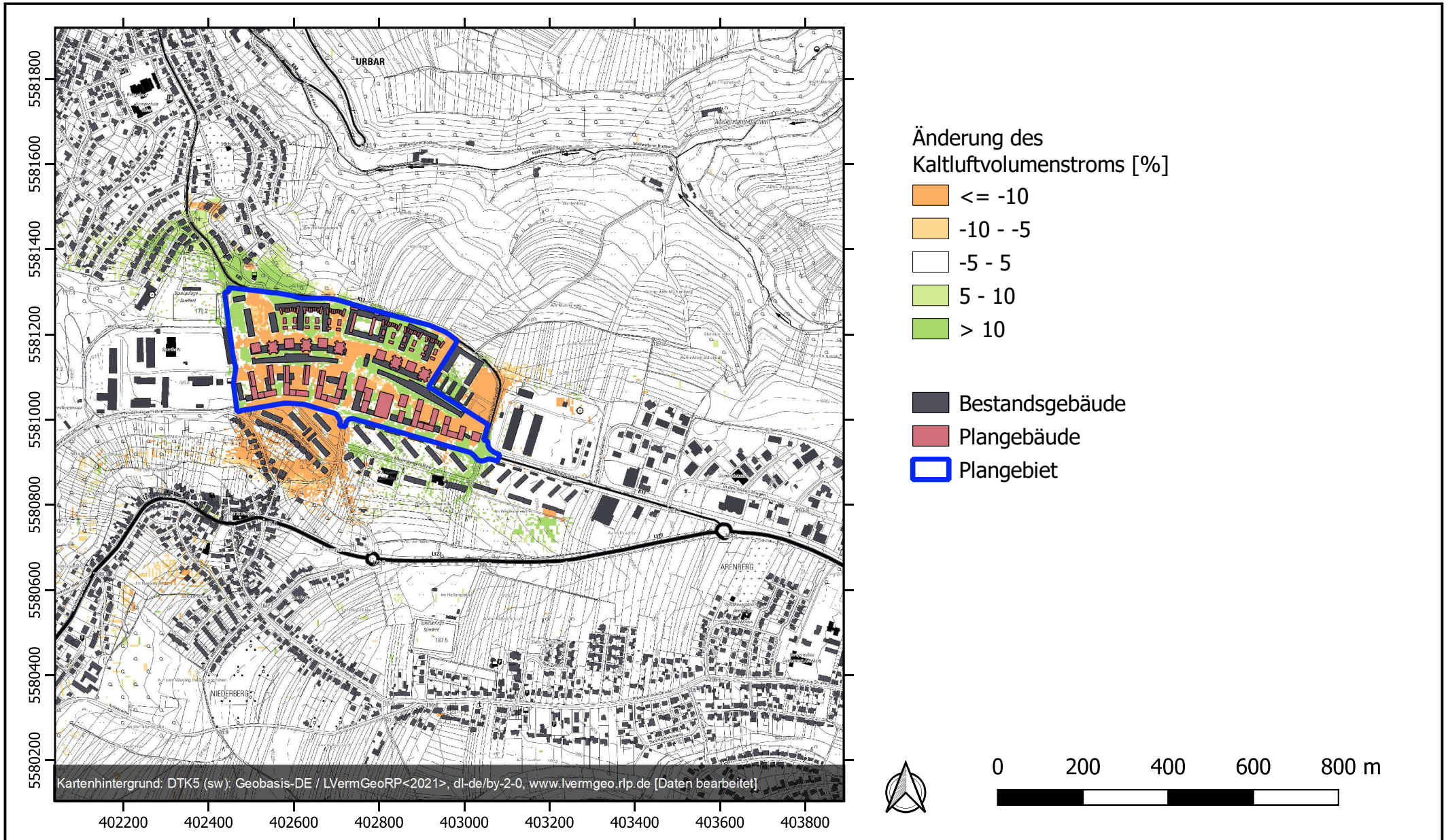
Anlage 19: Kaltluftvolumenstrom im Istfall - 6 Stunden nach Sonnenuntergang

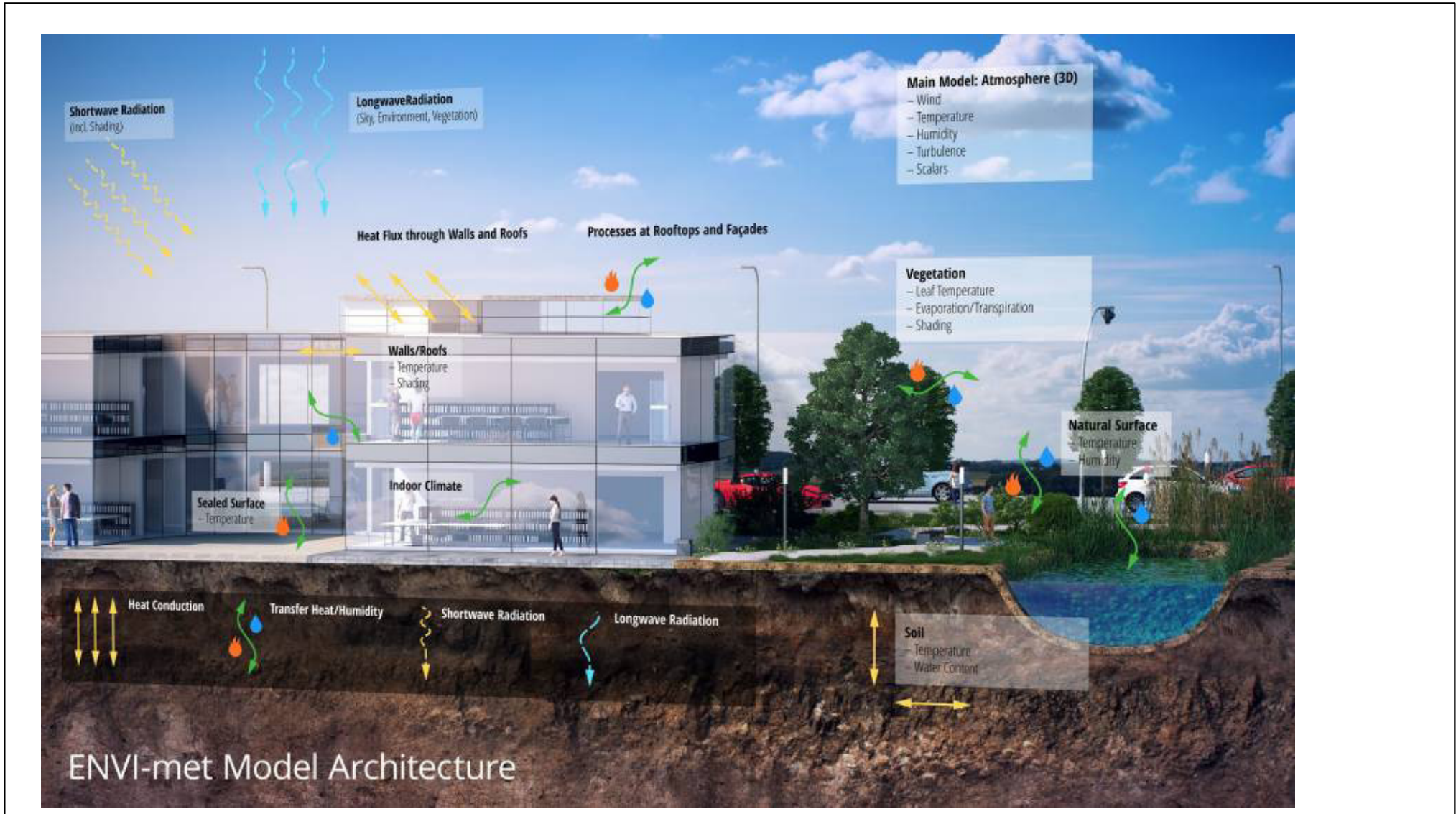


Anlage 20: Kaltluftvolumenstrom im Planfall - 6 Stunden nach Sonnenuntergang

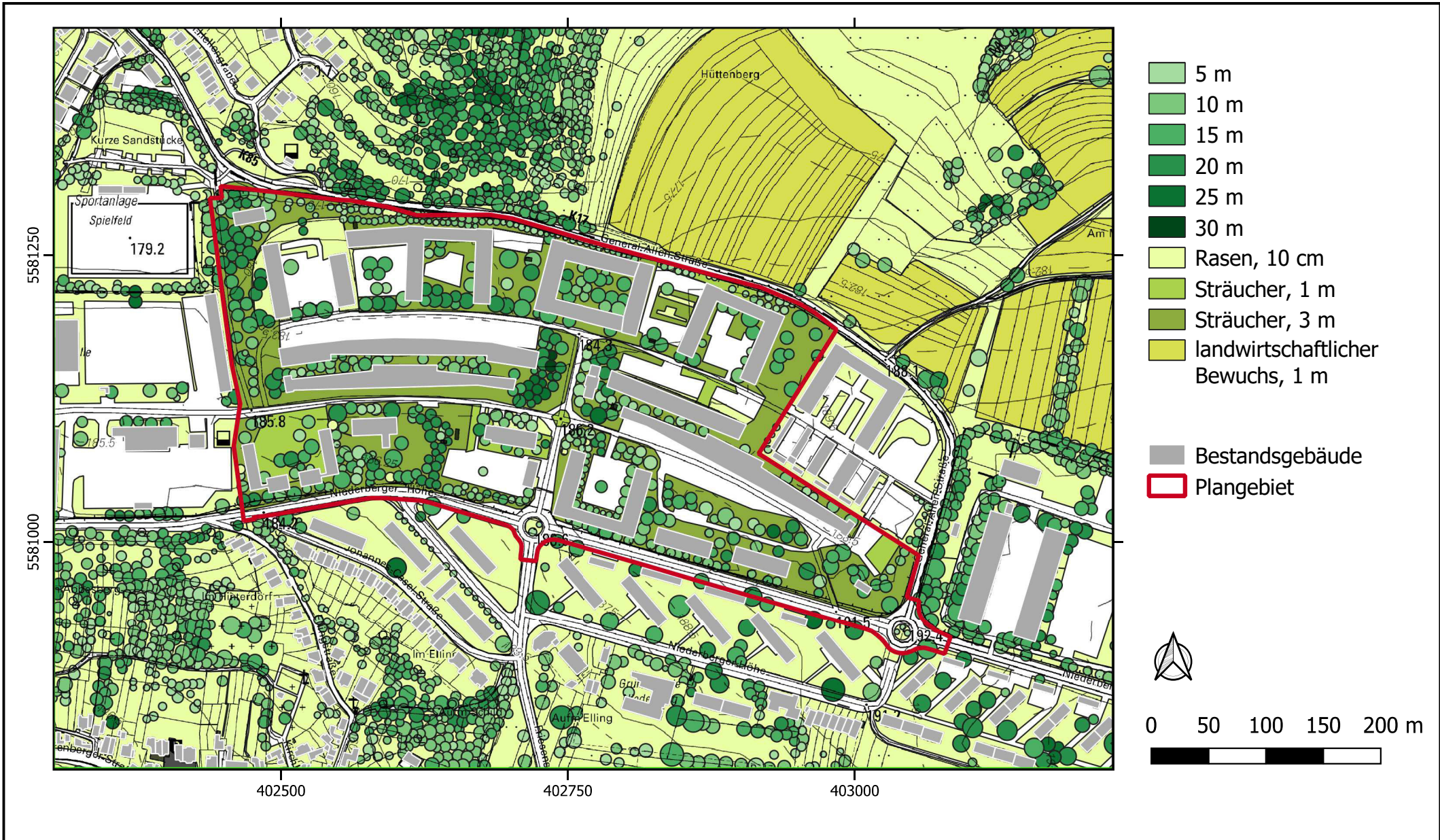


Anlage 21: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms - 6 Stunden nach Sonnenuntergang





Anlage 23: Vegetation im Istfall

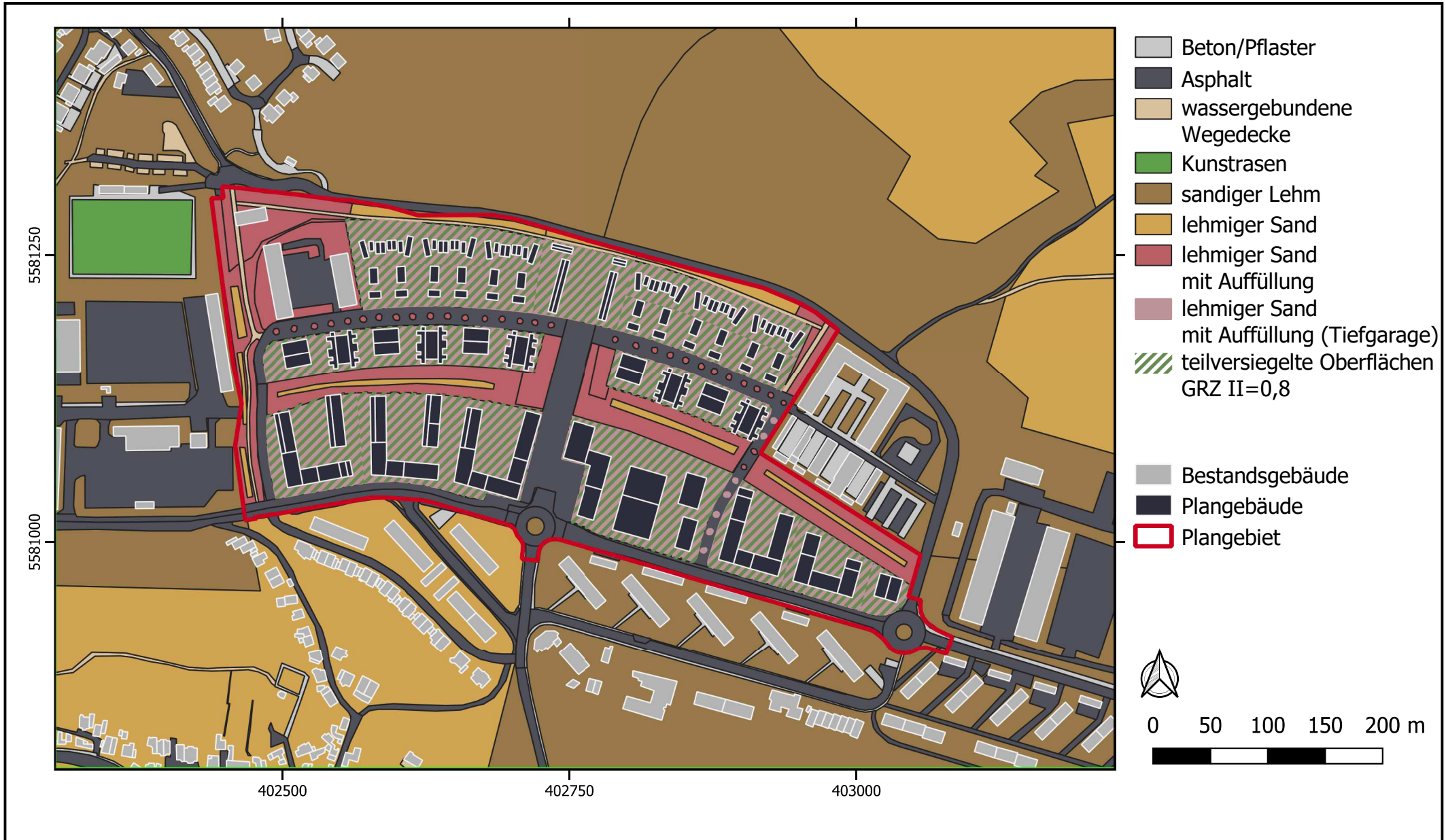


- 5 m
- 10 m
- 15 m
- 20 m
- 25 m
- 30 m
- Rasen, 10 cm
- Sträucher, 1 m
- Sträucher, 3 m
- landwirtschaftlicher Bewuchs, 1 m
- Bestandsgebäude
- Plangebiet

Anlage 25: Oberflächenbeschaffenheit im Istfall



Anlage 26: Oberflächenbeschaffenheit im Planfall





Istfall mit 50° Anströmungsrichtung



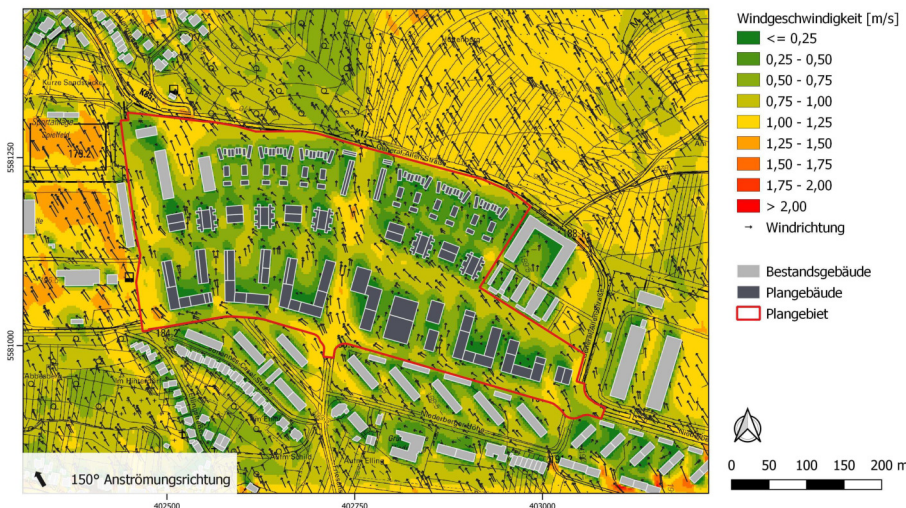
Planfall mit 50° Anströmungsrichtung



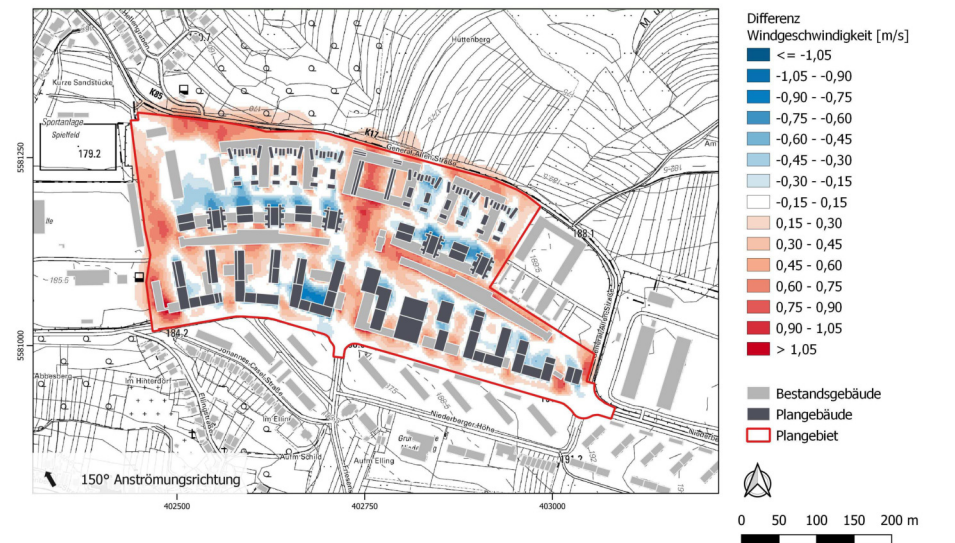
Differenz mit 50° Anströmungsrichtung



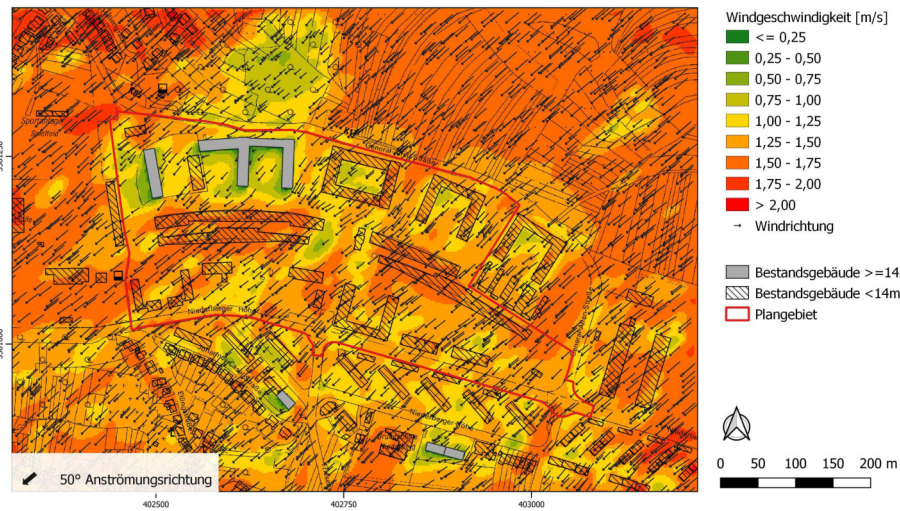
Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



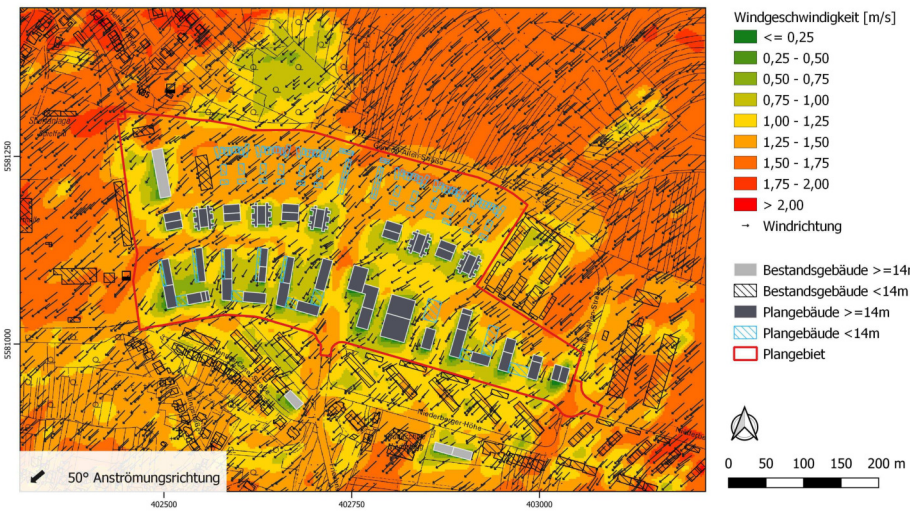
Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



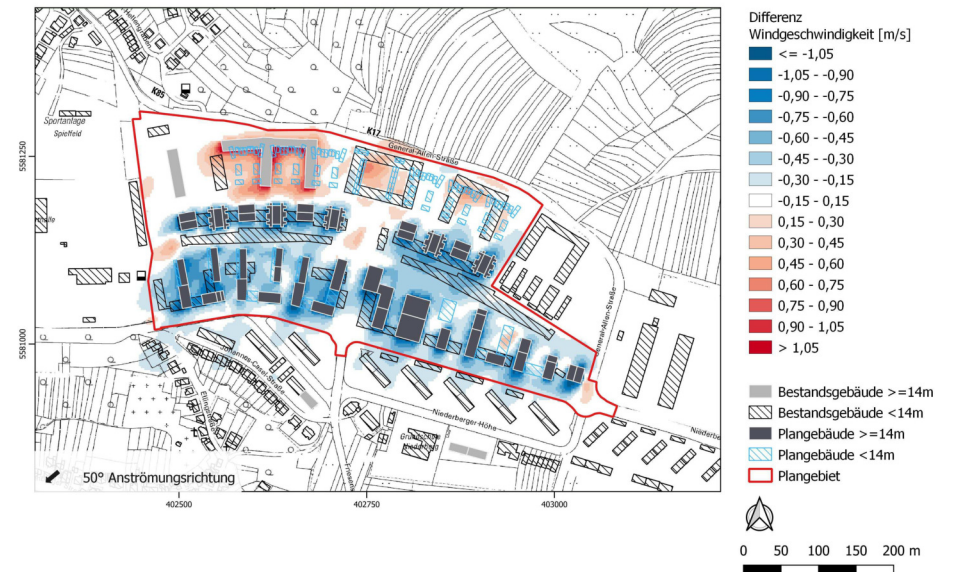
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



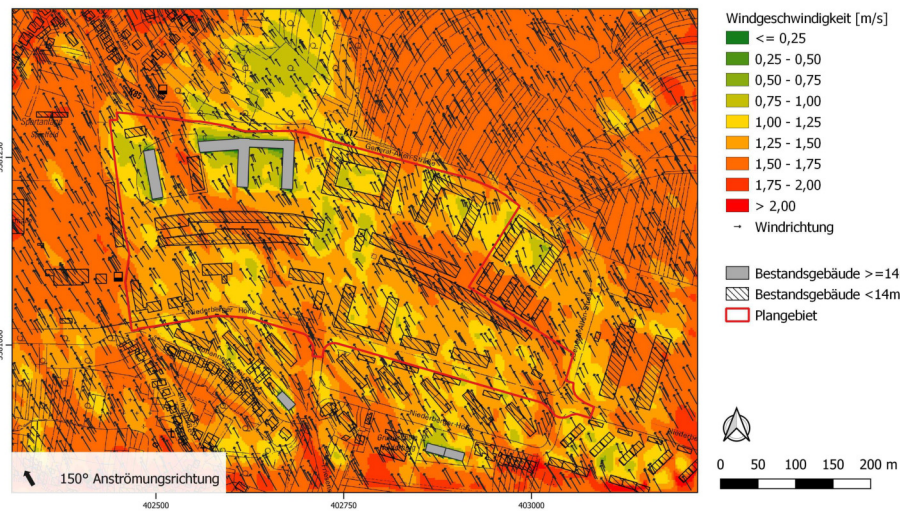
Istfall mit 50° Anströmungsrichtung



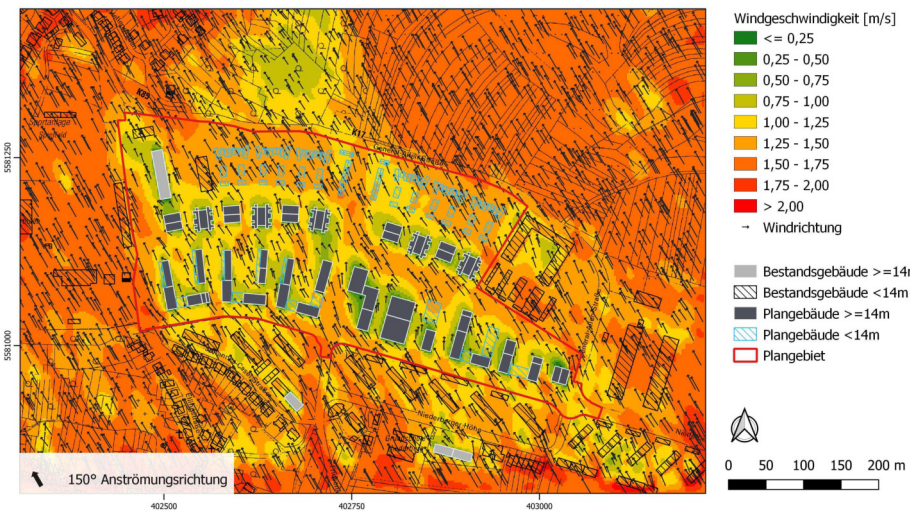
Planfall mit 50° Anströmungsrichtung



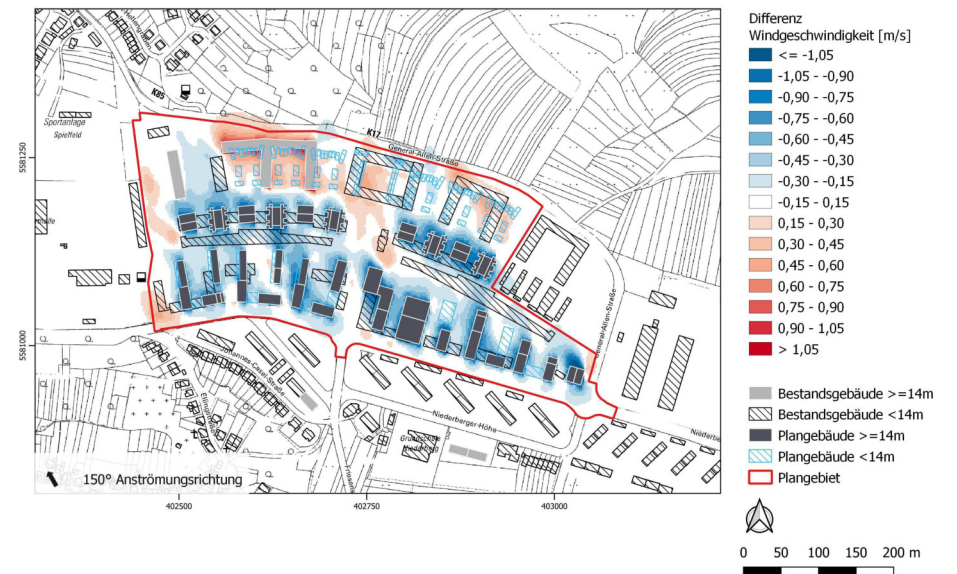
Differenz mit 50° Anströmungsrichtung



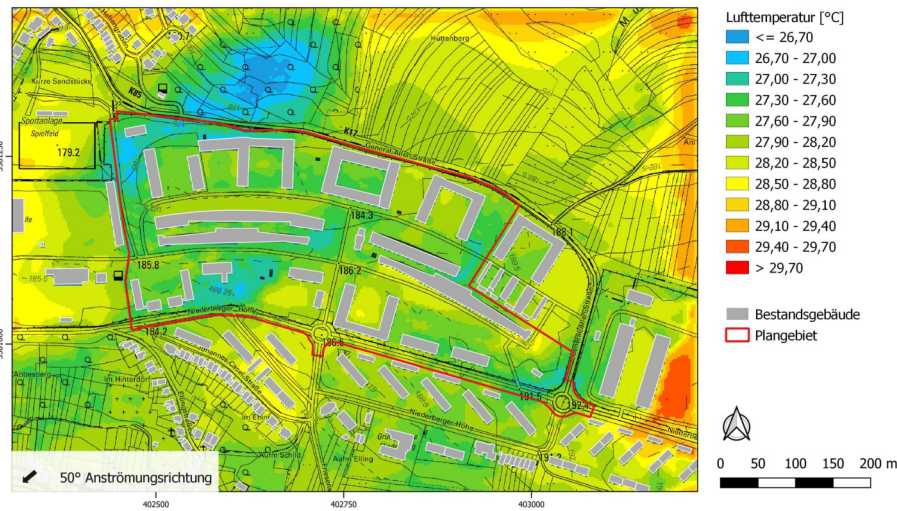
Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



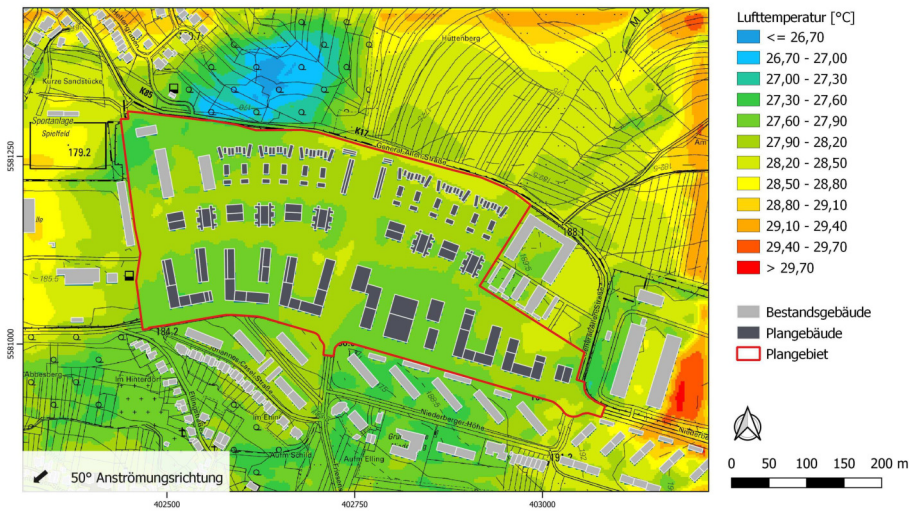
Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



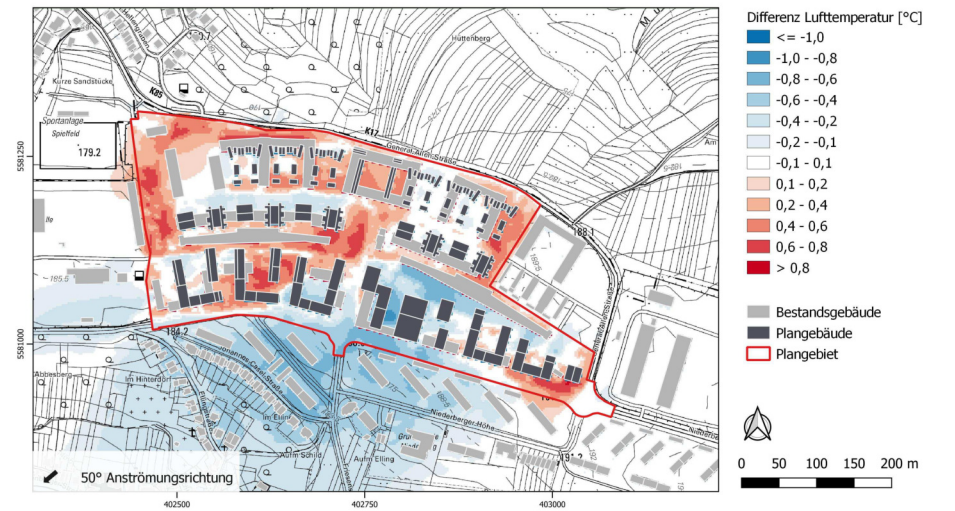
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



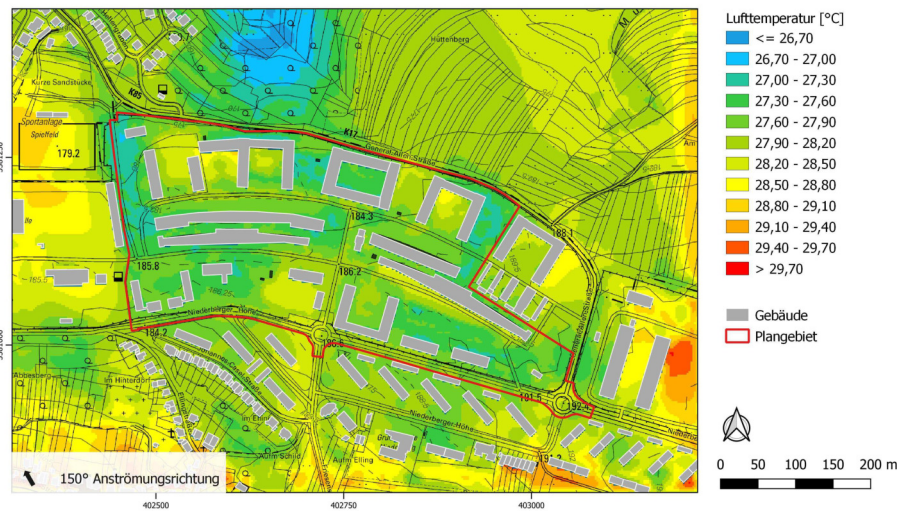
Istfall mit 50° Anströmungsrichtung



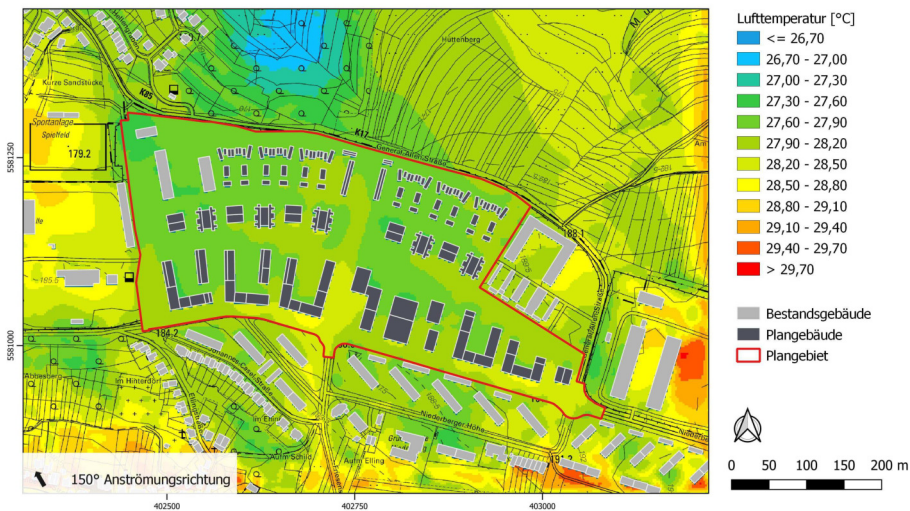
Planfall mit 50° Anströmungsrichtung



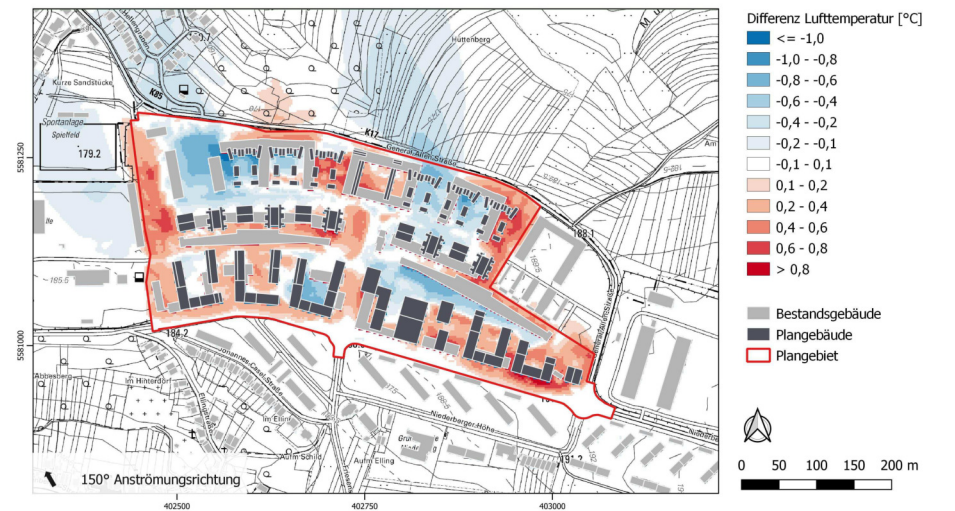
Differenz mit 50° Anströmungsrichtung



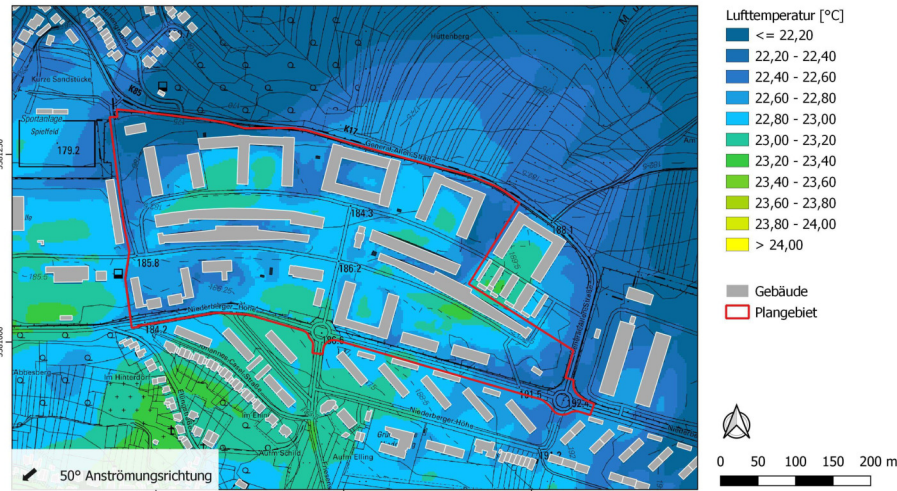
Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



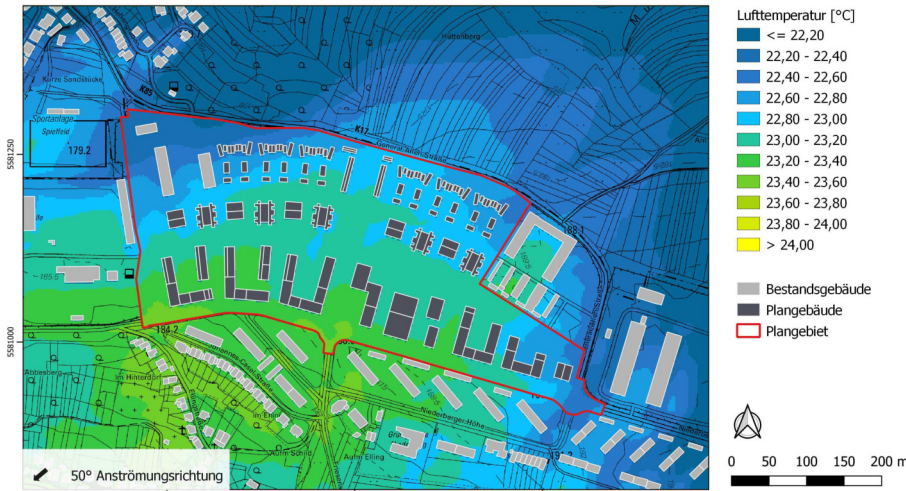
Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



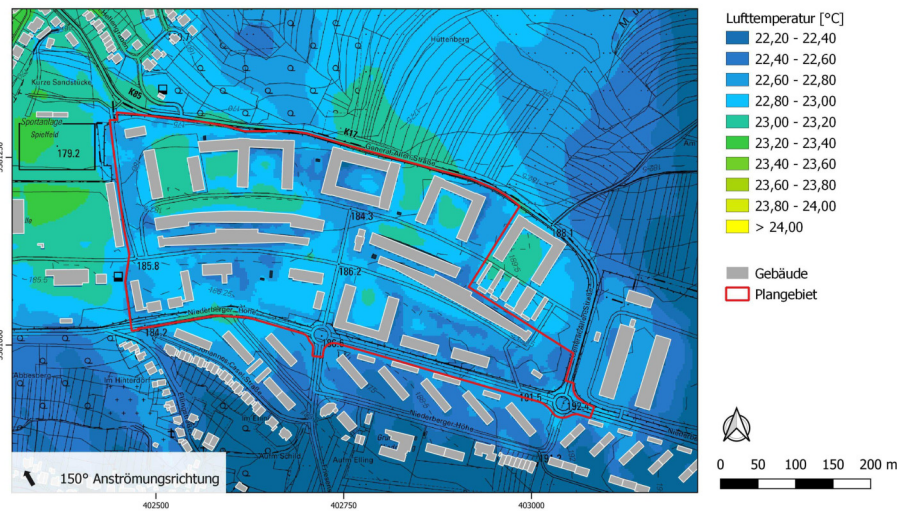
Istfall mit 50° Anströmungsrichtung



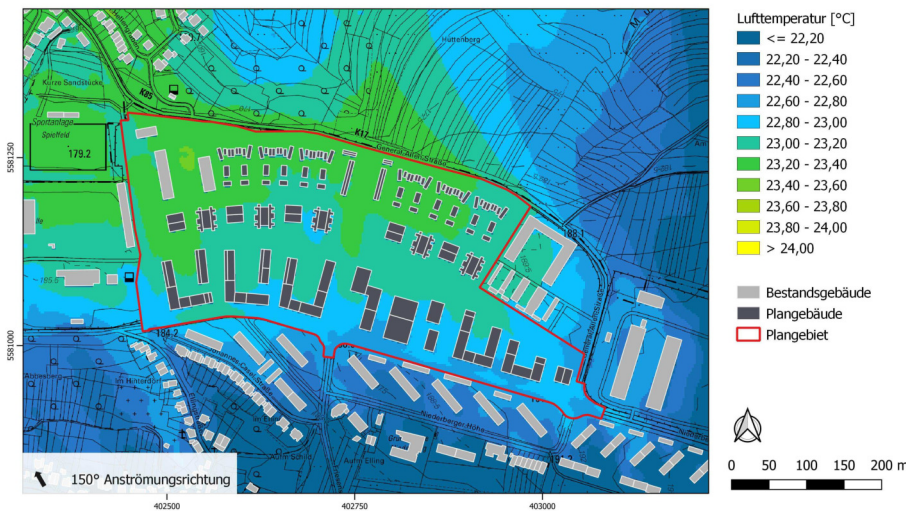
Planfall mit 50° Anströmungsrichtung



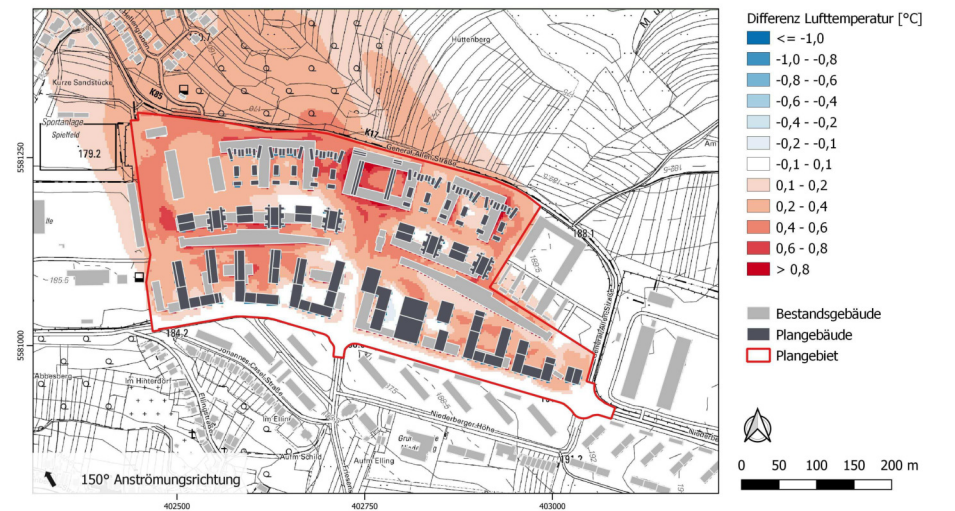
Differenz mit 50° Anströmungsrichtung



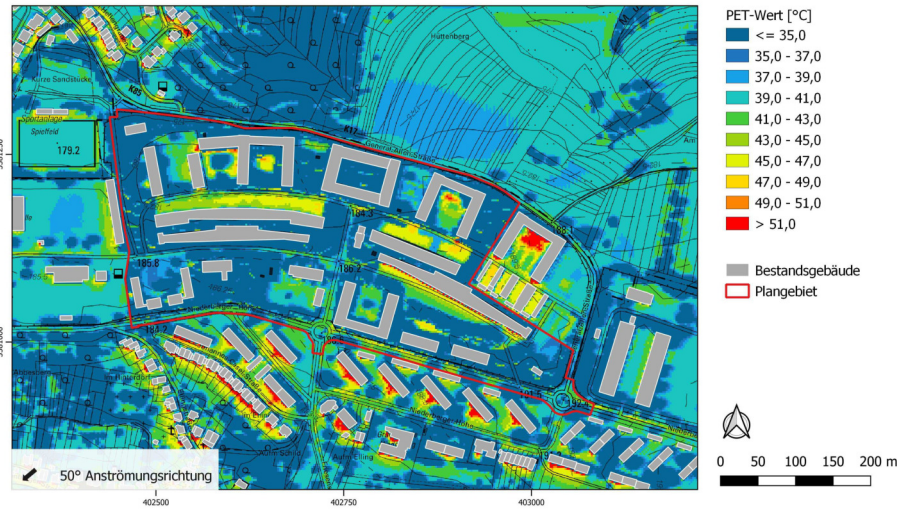
Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



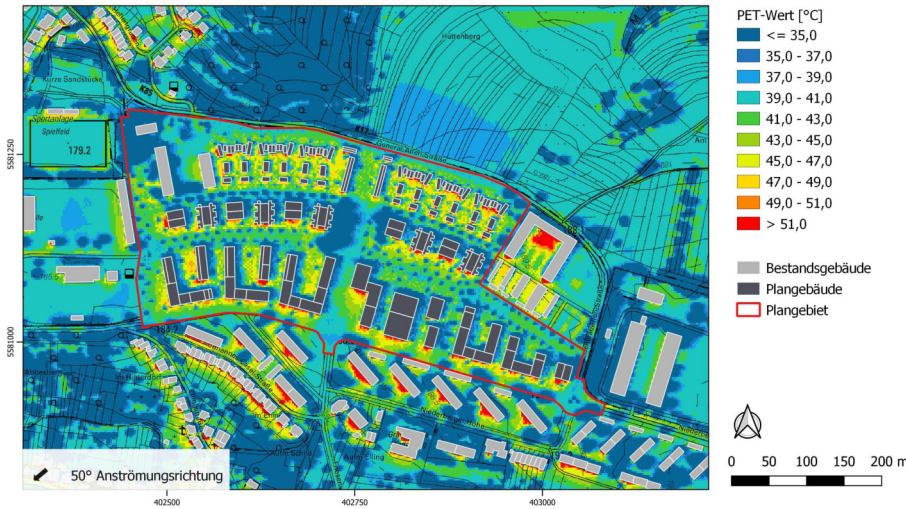
Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



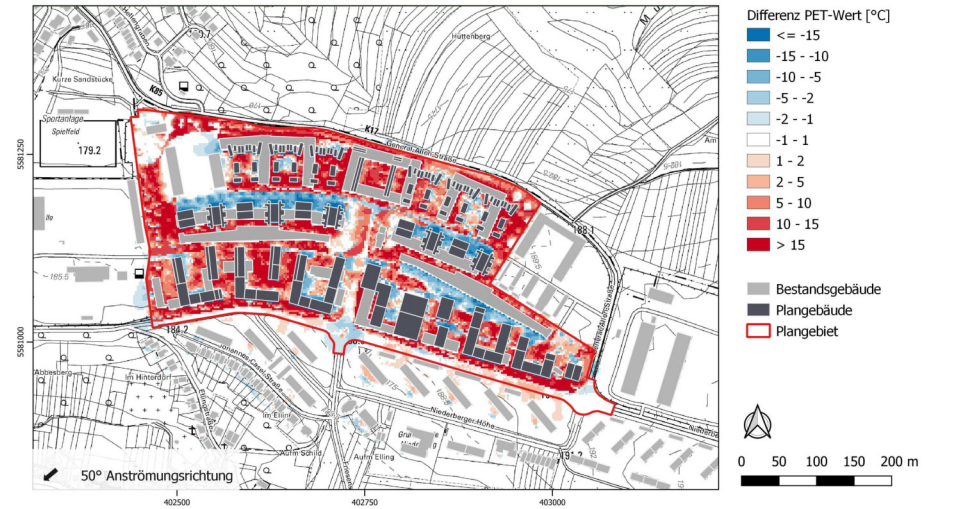
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



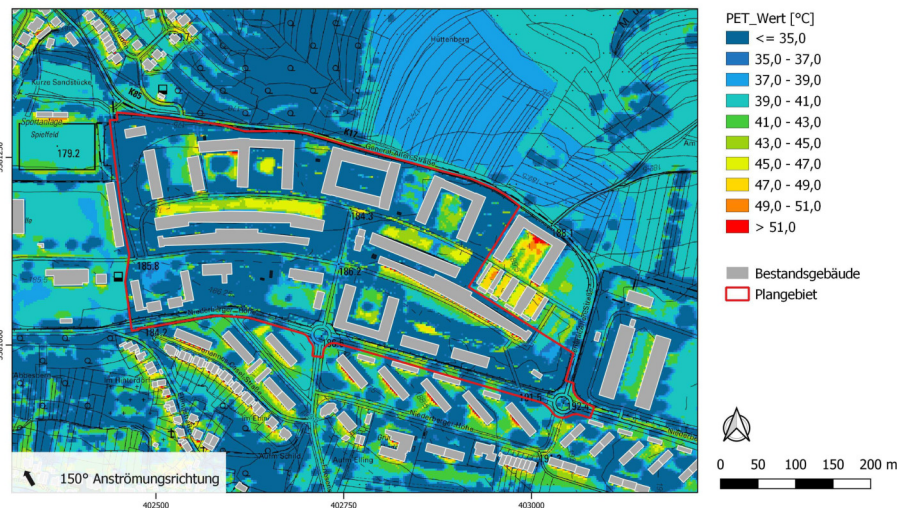
Istfall mit 50° Anströmungsrichtung



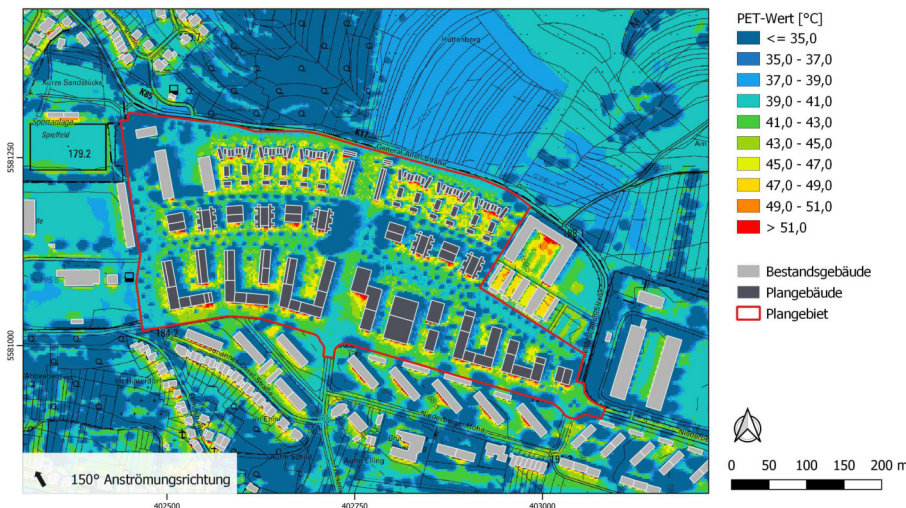
Planfall mit 50° Anströmungsrichtung



Differenz mit 50° Anströmungsrichtung



Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



Differenz mit 150° Anströmungsrichtung