

Klimatische Untersuchung zum Vorhaben „FW2-Neubau der Feuerwa- che Kirchhellen“ in Bottrop-Kirchhellen - Endfassung -

Bericht C 5319-1 vom 17.04.2023 / Druckdatum: 26.06.2023

Auftraggeber: Stadt Bottrop
Fachbereich Immobilienwirtschaft
Postfach 101554
46215 Bottrop

Bericht-Nr.: C 5319-1

Datum: 17.04.2023 / Druckdatum: 26.06.2023

Ansprechpartner/in: Herr Siebers / Frau Fritsch

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 113 Seiten,
davon 64 Seiten Text und 49 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
ing. David den Boer
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: DUSSDE33XXX

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	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien.....	7
3	Örtliche Gegebenheiten.....	11
4	Grundlagen.....	12
4.1	Kaltluft.....	12
4.1.1	Entstehung und Wirkung von Kaltluftabflüssen.....	12
4.1.2	Bewertung von Kaltluftabflüssen.....	13
4.2	Stadtklima.....	13
4.2.1	Lufttemperatur.....	13
4.2.2	Windfeld.....	14
4.2.3	Bioklimatischer Komfort.....	15
5	Klimatische Situation in Bottrop.....	17
5.1	Stadtklimaanalyse der Stadt Bottrop.....	17
5.2	Auswirkungen des Klimawandels.....	18
5.3	Windrichtungsverteilung.....	21
5.4	Starkregenanalyse Bottrop.....	22
6	Themenkomplex Kaltluft.....	24
6.1	Berechnungsmodell.....	24
6.1.1	Modellbeschreibung.....	24
6.1.2	Aufbau und Abgrenzung des Rechengebietes.....	25
6.2	Eingangsdaten.....	25
6.2.1	Digitales Geländemodell.....	25
6.2.2	Landnutzung.....	26
6.3	Ergebnisse der Kaltluftberechnung.....	28
6.3.1	Kaltluftgeschehen zwei Stunden nach Sonnenuntergang.....	28
6.3.2	Kaltluftgeschehen sechs Stunden nach Sonnenuntergang.....	30
7	Themenkomplex Überhitzung und Durchlüftung.....	32
7.1	Berechnungsmodell.....	32
7.1.1	Modellbeschreibung.....	32
7.1.2	Aufbau der Rechengitter.....	33
7.2	Eingangsdaten.....	33
7.2.1	Gebäude.....	33

7.2.2	Vegetation.....	34
7.2.3	Oberflächen.....	35
7.2.4	Initialisierungsparameter.....	36
7.3	Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation.....	38
7.3.1	Durchlüftung.....	39
7.3.2	Lufttemperatur um 14 Uhr.....	41
7.3.3	Lufttemperatur um 4 Uhr.....	43
7.3.4	Bioklima (PET).....	44
8	Planungsempfehlungen.....	47
9	Eingangsdaten und Ergebnisse der klimaoptimierten Planvariante.....	51
9.1	Eingangsdaten.....	51
9.2	Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation.....	52
9.2.1	Durchlüftung.....	52
9.2.2	Lufttemperatur um 14 Uhr.....	52
9.2.3	Lufttemperatur um 4 Uhr.....	53
9.2.4	Bioklima (PET) am Nachmittag.....	54
10	Zusammenfassung.....	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Bewertung der planerischen Auswirkungen von Kaltluftabflüssen [10].....	13
Tabelle 4.2: Bewertung des thermischen Komforts mit PET.....	16
Tabelle 6.1: Verwendete Landnutzungsklassen im Rechenmodell KLAM_21.....	27
Tabelle 7.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen.....	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5.1: Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Bottrop-Kirchellen.....	20
Abbildung 7.1: Tagesgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit beim Simple-Forcing.....	36

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadt Bottrop plant auf den Flurstücken 472 und 473 den Neubau einer Feuer- und Rettungswache als Ersatz für die derzeit bestehende Feuerwache im Stadtbezirk Kirchhellen. Im Zuge des Klimawandels hat sich der Anspruch an städtebauliche Planungen in den letzten Jahren erhöht, sodass für das Vorhaben die bioklimatischen Auswirkungen umfänglich erfasst sowie die Planungen an die Auswirkungen des Klimawandels (insbesondere Hitze und Starkregen) angepasst werden sollen.

In der Klimaanalysekarte der Stadt Bottrop [6] wird die derzeit unversiegelte, landwirtschaftlich genutzte Fläche dem Freilandklima zugeordnet und dient somit als Frischluft- und Kaltluftproduktionsgebiete für den Ortsteil Kirchhellen. Darüber hinaus soll die laut Planungshinweiskarte [7] als regional bedeutsamer Ausgleichsraum gekennzeichnete Fläche gesichert und aufgewertet werden, indem sie von Bebauung freigehalten wird und Grünzüge ausgebaut werden.

Aufgrund der stadtklimatisch sensiblen Funktion des Plangebietes ist auf Veranlassung der Stadt Bottrop eine Klimauntersuchung durchzuführen, in der die Auswirkungen des Vorhabens auf das Kaltluftgeschehen und die sommerliche Hitzebelastung ermittelt und bewertet werden. Zunächst wird hierfür in der Plansituation die aktuelle Gebäude- und Außenanlagenplanung zugrunde gelegt, woraus thermisch und bioklimatische hoch belastete Bereiche ermittelt werden. Aufbauend auf den Simulationsergebnissen zur sommerlichen Hitzebelastung werden anschließend lokalspezifische Planungsempfehlungen zur Klimaanpassung erarbeitet, die in einer weiteren „optimierten“ Planungsvariante gutachterlich überprüft und bewertet werden.

Es werden die folgenden Szenarien untersucht:

Istfall:	derzeit unbebaute Fläche, aktueller Vegetationsbestand und aktuelle Oberflächenbeschaffenheit, realisierter Bebauungsplan Nr. 48 „Schultenkamp/Dorfheide“ [4] östlich des Plangebietes
Planfall:	Zukünftige Bebauungssituation nach Realisierung der Planung entsprechend der aktuellen Außenanlagenplanung (Anlage 1, [1]) sowie der zur Verfügung gestellten Lagepläne, Querschnitte Ansichten [2] und Dachaufsichten [3]
Optimierter Planfall:	Mögliche Bebauungssituation mit Realisierung von klimaoptimierten Anpassungsmaßnahmen (vgl. Anlage 43)

Die Kaltluftuntersuchungen werden mit dem Kaltluftmodell KLAM_21 in der aktuellen Version 2.012 ([11], [12]) unter Berücksichtigung des Reliefs und der Landnutzung durchgeführt. Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen und der Bewertung von planungsbedingten Veränderungen werden der Kaltluftvolumenstrom und die Kaltluftmächtigkeit sowie das Kaltluftströmungsfeld herangezogen. Die Beurteilung der vorhabensbedingten Veränderung erfolgt gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ [10].

Die mikroklimatischen Untersuchungen zur Ermittlung der Auswirkungen auf die sommerliche Hitzebelastung werden mithilfe des Stadtklimamodells ENVI-met in der Version 5.03 (Summer Release 2022) [13] für den Ist- und den Planfall sowie für den optimierten Planfall durchgeführt. Hierbei wird für den Ist- und Planfall die in Bottrop an heißen Sommertagen typische nordöstliche Anströmungsrichtung sowie die allgemein häufig auftretende südwestliche Anströmungsrichtung berücksichtigt. Da in Bottrop hohe Temperaturen mit nordöstlichen Anströmungen einhergehen, wird zur Bewertung der Klimaanpassungsmaßnahmen im optimierten Planfall lediglich die nordöstliche Windrichtung untersucht. In die Klimasimulation 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 Durchlüftungsverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

Die den Berechnungen der Istsituation zugrunde liegenden örtlichen Gegebenheiten sowie die Abgrenzung des Plangebietes werden in Anlage 2 dargestellt. Anlage 3 zeigt einen Überblick über die lokalen Gegebenheiten für den Planfall.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung			Kat.	Datum
[1]	Lageplan Stellplatzanordnung / Oberflächengestaltung (Außen- anlagenplanung)	Ahlenberg Ingenieure GmbH	P	Stand 17.02.2023
[2]	Lagepläne, Ansichten, Quer- schnitte	Ahlenberg Ingenieure GmbH	P	Stand: 17.02.2023
[3]	Lageplan Dachaufsicht	Ahlenberg Ingenieure GmbH	P	Stand 23.02.2023
[4]	Bebauungsplan Nr. 48 „Schul- tenkamp/Dorfheide“	Stadt Bottrop	P	Arbeitsstand: 17.06.2021
[5]	Stadtklimaanalyse Stadt Bott- rop (Bericht)	Regionalverband Ruhr, Refe- rat 9, Geoinformation und Raumbeobachtung	P	2019
[6]	Klimaanalysekarte Stadt Bott- rop	Regionalverband Ruhr, Refe- rat 9, Geoinformation und Raumbeobachtung	P	2019
[7]	Planungshinweiskarte Stadt Bottrop	Regionalverband Ruhr, Refe- rat 9, Geoinformation und Raumbeobachtung	P	2019
[8]	Klimaatlas NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nord- rhein-Westfalen: https://www.kli- maatlas.nrw.de/karte-klimaatlas	Lit.	Abruf am: 19.10.2022
[9]	Starkregengefahrenkarte Bott- rop – Kurzbericht und Daten	KaiserIngenieure / Ingenieur- gesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH; zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P	August 2019
[10]	VDI 3787 Blatt 5 Lokale Kaltluft	Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normen- ausschuss KRdL	RIL	2003
[11]	Das Kaltluft-Abfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grund- lagen und Handhabung des PC-Programms	Deutscher Wetterdienst	Lit.	2008
[12]	Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21	Deutscher Wetterdienst	Lit.	November 2017
[13]	Rechenmodell ENVI-met, Versi- on 5.03 (Summer Release 2022)	ENVI_MET GmbH https://www.envi-met.com/	Lit.	2022

Titel / Beschreibung / Bemerkung			Kat.	Datum
[14]	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
[15]	Zeitreihe der Windrichtung und -geschwindigkeit der LANUV-Station Bottrop-Welheim aus dem Zeitraum 01.01.2012 – 31.12.2021	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen	P	2022
[16]	Digitales Geländemodell (DTM Germany 20m v1 by Sonny)	Open Data Portal Österreich: http://data.opendataportal.at/dataset/dtm-germany/DTM	P	Stand: 30.08.2021
[17]	Digitales Geländemodell (DGM) – Gitterweite 2 m	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[18]	LOD2-Modell des Untersuchungsgebietes im CityGML-Format	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[19]	Normalisiertes digitales Oberflächenmodell (NDOM) des Untersuchungsgebietes	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[20]	Digitale Orthophotos (DOP)	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[21]	Amtliche Basiskarte (ABK) des Untersuchungsgebietes	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[22]	INSPIRE-WFS NW Bodenbedeckungsvektor ALKIS	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[23]	BK 50; Bodenkarte von NRW 1:50.000	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	2022
[24]	Orientierende Bodenuntersuchung für den Neubau der Feuerwache 2 auf dem Grundstück „In der Koppel“ in Bottrop-Kirchellen	Geologie:büro Gelsenkirchen; zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	Lit.	25.02.2020
[25]	Baumkataster der Stadt Bottrop	Stadt Bottrop: https://www.bottrop.de/daten-karten/karten/umwelt/index.php	P	Stand: 30.10.2018
[26]	GALK-Straßenbaumliste	GALK e.V., Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz: http://strassenbaumliste.galk.de/	Lit.	2022

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[27]	VDI 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur humanbiometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung.	RIL	2008
[28]	VDI 3787, Blatt 8. Umweltmeteorologie. Stadtentwicklung im Klimawandel	RIL	2022
[29]	Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels	A. Matzarakis, in Umweltmeteorologie, Nr. 3, 2013	Lit. 2013
[30]	Stadtklima	S. Henninger & S. Weber, 2019	Lit 2019
[31]	Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur-Verbraucherschutz NRW	Lit 2011
[32]	Meteorologie	H. Häckel, 4. Auflage	Lit 1999
[33]	Klimatologie	W. Kuttler, 2. Auflage	Lit 2013
[34]	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
[35]	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
[36]	Beaufort-Skala	Wetter- und Klimalexikon des Deutschen Wetterdienstes: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100310&lv3=100390	Lit. Abruf am: 23.02.2022
[37]	VDI 3787, Blatt 8. Umweltmeteorologie. Stadtentwicklung im Klimawandel.	Verein Deutscher Ingenieure	RIL 2020

Kategorien:

G Gesetz

V Verordnung

VV Verwaltungsvorschrift

RdErl. Runderlass

N

RIL

Lit

P

Norm

Richtlinie

Buch, Aufsatz, Berichtigung

Planunterlagen / Betriebsangaben

3 Örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet befindet sich im südlichen Teil des Bottroper Stadtteils Kirchhellen. Nördlich des Plangebietes verläuft die Straße In der Koppel mit verschiedenen Wohnbebauungen. Im Osten der Fläche befindet sich die Rentforter Straße, auf deren gegenüberliegenden Straßenseite der neu aufgestellte Bebauungsplan Nr. 48 „Schultenkamp/Dorfheide“ derzeit umgesetzt und bereits in der Istsituation als vollständig bebaut angenommen wird. Südlich wird das Plangebiet von einer Ackerfläche begrenzt, im Westen grenzen weitere Wohngebäude an die Fläche an. Das nahezu ebene Untersuchungsgelände wird derzeit ackerbaulich genutzt, bebaut werden soll lediglich der östliche Teilbereich des Plangebietes.

Anlage 2 zeigt eine Übersicht über die derzeitige Situation im Umfeld des Planvorhabens. Ergänzend dazu sind in Anlage 35 und Anlage 37 die aktuellen Vegetationsbestände und Oberflächenbeschaffenheiten dargestellt.

Vorgesehen ist der Neubau einer Feuer- und Rettungswache (FW2), die aus zwei Gebäudeteilen zusammensetzt wird. Zur Minderung der von dem Betrieb der Wache ausgehenden Lärmimmissionen ist zudem die Errichtung einer 4,5 m-hohen Lärmschutzwand entlang der Straße In der Koppel vorgesehen. Das aktuelle Außenanlagenkonzept [1] sieht vor, die Flächen im Plangebiet weitestgehend versiegelt zu gestalten. Demzufolge werden die (Alarm-) Stellplätze und der zwischen den beiden Gebäuden gelegene Platz mit einem Pflasterbelag oberflächenversiegelt. Zudem soll ein Großteil der Flächen asphaltiert werden. Entlang der südlichen und westlichen Plangebietsgrenze schließt das Grundstück mit einer Grünfläche ab. Da sich das gesamte Plangebiet im Eigentum der Stadt Bottrop befindet, werden die restlichen Flächen außerhalb des Geländes zukünftig nicht mehr landwirtschaftlich genutzt.

Anlage 3 zeigt eine Übersicht über die zukünftige Bebauungssituation auf Grundlage des aktuellen Außenanlagenkonzeptes (Stand 17.02.2023) [1]. Die dargestellten Gebäude und inneren Erschließungsflächen dienen als Grundlage für die Kaltluft- und Mikroklimasimulationsrechnungen. Eine detaillierte Darstellung der Vegetationsbestände und Oberflächenbeschaffenheiten im Planfall zeigen Anlage 36 und Anlage 38.

4 Grundlagen

4.1 Kaltluft

Für den Themenkomplex Kaltluft ist das Wissen um die Entstehung und die Wirkung von Kaltluftabflüssen für die Ergebnisinterpretation wichtig. Auf diese werden daher im Folgenden eingegangen. Darüber hinaus wird die Ergebnisbewertung entsprechend der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 [10] erläutert.

4.1.1 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.

4.1.2 Bewertung von Kaltluftabflüssen

Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen und der Bewertung von planungsbedingten Veränderungen wird in der Regel der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Gemäß [10] 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“ [10]. 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 4.1 dargestellte Skala verwendet.

Tabelle 4.1: Bewertung der planerischen Auswirkungen von Kaltluftabflüssen [10]

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

Bei der Auswertung der prozentualen Änderungen kommt es häufig zu unerwünschten Effekten in der Darstellung, die aus modellbedingten Rundungsfehlern der Geschwindigkeitskomponenten resultieren. Dies führt insbesondere in Bereichen mit sehr geringen Absolutwerten des Kaltluftvolumenstroms zu irreführenden, nicht-planungsbedingten hohen prozentualen Abweichungen im gesamten KLAM-Rechengebiet. Für die Darstellungen der prozentualen Differenzen wurde daher ein Kriterium gewählt, welches für extrem niedrige Abweichungen der Strömungsgeschwindigkeiten von unter 1 cm/s die prozentualen Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand ausschließt.

4.2 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 [34].

4.2.1 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 [32]. 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 [34].

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 [30].

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.

Von besonderer gesundheitlicher Bedeutung sind Perioden mit anhaltender Hitzebelastung in denen heiße Tage in Kombination mit Tropennächten über einen längeren Zeitraum auftreten. Besonders Mitarbeitende einer Feuerwache, die durch lange Dienstzeiten und belastenden Arbeitseinsätzen an Hitzetagen besonders starken Belastungen ausgesetzt sind, können sich aufgrund der fehlenden Nachtabkühlung nicht ausreichend gut erholen. Daher sollte der Standort der Feuerwache in besonderem Maße auch Belange der Erholung und Regeneration zum Erhalt der menschlichen Gesundheit berücksichtigen, indem die nächtliche Überwärmung durch Klimaanpassungsmaßnahmen im Umfeld minimiert wird.

4.2.2 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 [32].

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 [30]. 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 [33].

4.2.3 Bioklimatischer 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 [29]. 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 [27] 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 4.2 dargestellt:

Tabelle 4.2: Bewertung des thermischen Komforts mit PET

PET	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische 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

5 Klimatische Situation in Bottrop

5.1 Stadtklimaanalyse der Stadt Bottrop

Zur stadtklimatologischen Einordnung des Plangebietes wurden die Klimaanalysekarte und die Planungshinweiskarte der städtischen Klimaanalyse aus dem Jahr 2019 [5] herangezogen. Grundlage dieser Klimaanalyse sind mesoskalige Klimasimulationen, welche eine Vielzahl relevanter klimatischer Parameter für das gesamte Bottroper Stadtgebiet liefern. Aufbauend auf den Simulationsergebnissen erfolgt eine Analyse und Bewertung der klimatischen Situation in Bottrop, woraus die Planungshinweise der Planungshinweiskarte abgeleitet werden.

Die Klimaanalysekarte gliedert das Stadtgebiet in Klimatope. Als Klimatope werden räumliche Einheiten bezeichnet, die aufgrund vergleichbarer Eigenschaften bezüglich der Flächennutzung, der Bebauungsdichte, des Versiegelungsgrades, der Rauigkeit und des Vegetationsbestandes ähnliche mikroklimatische Bedingungen aufweisen.

Ausschnitte der entsprechenden Karten sind in Anlage 4 (Klimaanalysekarte) und Anlage 5 (Planungshinweiskarte) dargestellt.

Gemäß der Klimaanalysekarte ist das Plangebiet dem Freilandklima zuzuordnen. Freilandklimatope entwickeln sich über landwirtschaftlich genutzten Flächen und zeichnen sich durch gute Austauschverhältnisse und stark ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur mit deutlich niedrigeren nächtlichen Lufttemperaturen aus. Dadurch stellen diese Flächen potenzielle Ausgleichsräume dar, die bei entsprechenden Wetterlagen eine klimatisch entlastende Funktion für die Siedlungsräume einnehmen können. Aus der Klimaanalyse [5] geht weiterhin hervor, dass insbesondere den Freilandklimatopen im Norden des Bottroper Stadtgebietes eine hohe klimatische Relevanz als Kaltluft- und Frischluftlieferanten für die Bebauung in Kirchellen-Mitte und weiteren Stadtgebieten zuzuschreiben ist.

Die Bebauung, die sich nördlich und westlich an das Plangebiet anschließt, ist dem Vorstadtklimatop zuzuordnen. Die dort vorhandene, lockere Bebauung verändert das lokale Mikroklima nur geringfügig. Die Fläche des östlich angrenzenden BPlans Nr. 48 „Schultenkamp/Dorfheide“ wird in der Klimaanalyse noch als Freilandklima ausgewiesen, da die Umsetzung des Bebauungsplanes in den Simulationen noch nicht berücksichtigt wurde. Hier ist davon auszugehen, dass sich nach der Realisierung des Vorhabens ebenfalls ein Vorstadt- oder Stadtrandklima einstellt.

Mit Blick auf die prognostizierten Veränderungen, die sich bedingt durch den Klimawandel im Laufe des 21. Jahrhunderts in der Region voraussichtlich einstellen werden (vgl. Kapitel 5.2), soll durch die Beachtung und Umsetzung der Maßnahmenempfehlungen eine klimawandel-

gerechete Stadtentwicklung in Bottrop gesichert werden. Die ausgewiesenen Planungsempfehlungen in Anlage 5 sind dabei als Rahmenvorgaben anzusehen, die in der Bauleitplanung als Orientierung für eine nachhaltige Anpassung der Stadt an den Klimawandel dienen sollen.

Das Plangebiet wird in der Planungshinweiskarte als „Regional bedeutsamer Ausgleichsraum Freiland“ klassifiziert. Für diesen Ausgleichsraum werden folgende Planungshinweise gegeben:

- stadtnahe Freiflächen sind als Ausgleichsräume zu sichern und von Bebauung freizuhalten
- eine Grünflächenvernetzung in die Siedlungsbereiche hinein ist anzustreben
- von einer riegelförmigen Bebauung an den Siedlungsrändern ist abzusehen
- durch eine geeignete Vegetationswahl (z.B. wasserversorgte Feld- und Wiesenflächen) können diese Ausgleichsräume aus klimatischer Sicht aufgewertet werden

Zudem ist der Planungshinweiskarte zu entnehmen, dass sich das Plangebiet unmittelbar südlich der klimatischen Baugrenze befindet. Zum Schutz von klimatisch wertvollen Räumen und als Hinweis gegen eine Zersiedelung des Stadtgebietes sollte an diesen Stellen eine Bebauung und Versiegelung vermieden werden.

Das Vorhaben steht in Teilen im Gegensatz zu den oben aufgeführten Planungsempfehlungen. Um negativen Beeinträchtigungen der klimatischen Funktion der Fläche entgegenzuwirken und um die positive Wirkung für das Umfeld erhalten zu können, sind bei der Realisierung des Planvorhabens nach Möglichkeit Klimaanpassungsmaßnahmen vorzusehen.

5.2 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.

Der Klimaatlas NRW [8] liefert für drei verschiedenen RCP-Klimaszenarien Informationen zur Entwicklung zukünftiger Klimavariablen und -kenntnis aus regionalen Klimamodellen. Die RCP-Szenarien kamen im fünften Sachstandsbericht des Weltklimarates zum Einsatz und stehen für repräsentative Konzentrationspfade (englisch: Representative Concentration Pathways). Diese berücksichtigen bestimmte Szenarien von anthropogenen Treibhausgasemissionen, die den Energie- und Strahlungshaushalt der Erde und damit auch das Klima beeinflussen.

- RCP8.5: „weiter-wie-bisher“-Szenario
- RCP4.5: mittleres Szenario
- RCP2.6: „Klimaschutz-Szenario“ zur Einhaltung des 2-Grad-Ziels

Für die Sommermonate Juni, Juli und August veranschaulichen die folgenden Grafiken die zukünftigen Entwicklungen der mittleren Lufttemperaturen sowie die Anzahl der heißen Tage (Tagesmaximum > 30 °C) und Tropennächte (Tagesminimum > 20 °C) im Untersuchungsgebiet auf Basis des Klimaatlas NRW für den Referenzzeitraum 1971-2000 sowie die Projektionen für die „nahe Zukunft“ 2031-2060 und für die „ferne Zukunft“ 2071-2100. Diese Prognosewerte beruhen auf Ergebnissen verschiedener Modellrechnungen, denen unterschiedliche Eingangsdaten, Randannahmen und Modellierungstechniken zu Grunde liegen. Die Ergebnisse der verschiedenen Modellrechnungen sind aber grundsätzlich als gleich wahrscheinlich anzusehen. Für die Auswertung wird daher das 50. Perzentil der Klimaprojektionen herangezogen. Das 50. Perzentil teilt hierbei die Berechnungsergebnisse, so dass 50 % der Modelle geringere Ergebnisse und 50 % der Modelle größere Ergebnisse zeigen.

Bei Zugrundelegung des Szenarios RCP2.6 ist demnach davon auszugehen, dass:

- die mittlere Lufttemperatur im Sommer bis Ende des Jahrhunderts um 1,1 °C steigt,
- die Anzahl der heißen Tage von 7 auf 12 ansteigt und die sich die Anzahl der Tropennächte bis Ende des Jahrhunderts auf durchschnittlich 3 Tage erhöht

Für das mittlere Szenario RCP4.5 wird prognostiziert, dass gegenüber dem Referenzzeitraum 1970-2000:

- die mittlere Lufttemperatur im Sommer von 17,6 °C auf 19,6 °C in der „fernen“ Zukunft ansteigt,

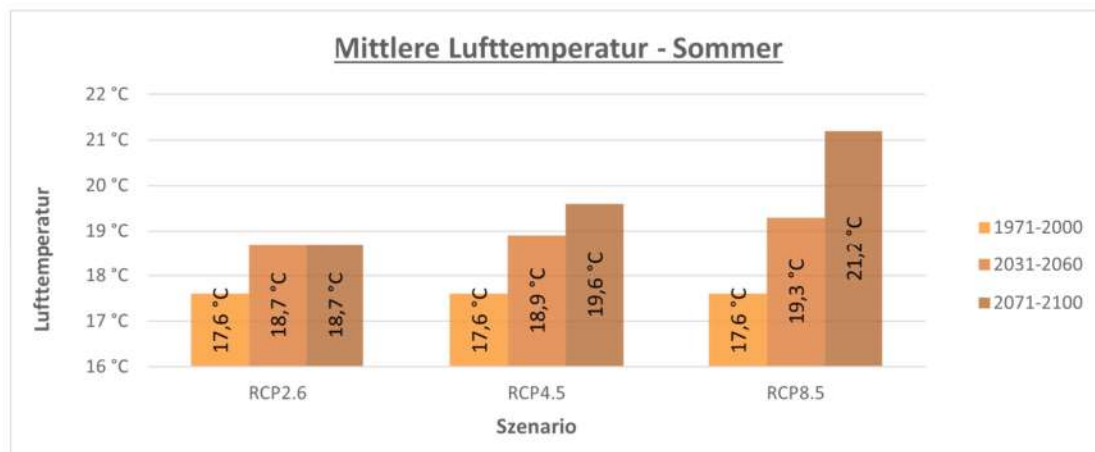
- die sich Anzahl der Heißen Tage bis zum Jahr 2100 von 7 auf 14 erhöht und im Schnitt 4,5 Tropennächte pro Jahr auftreten.

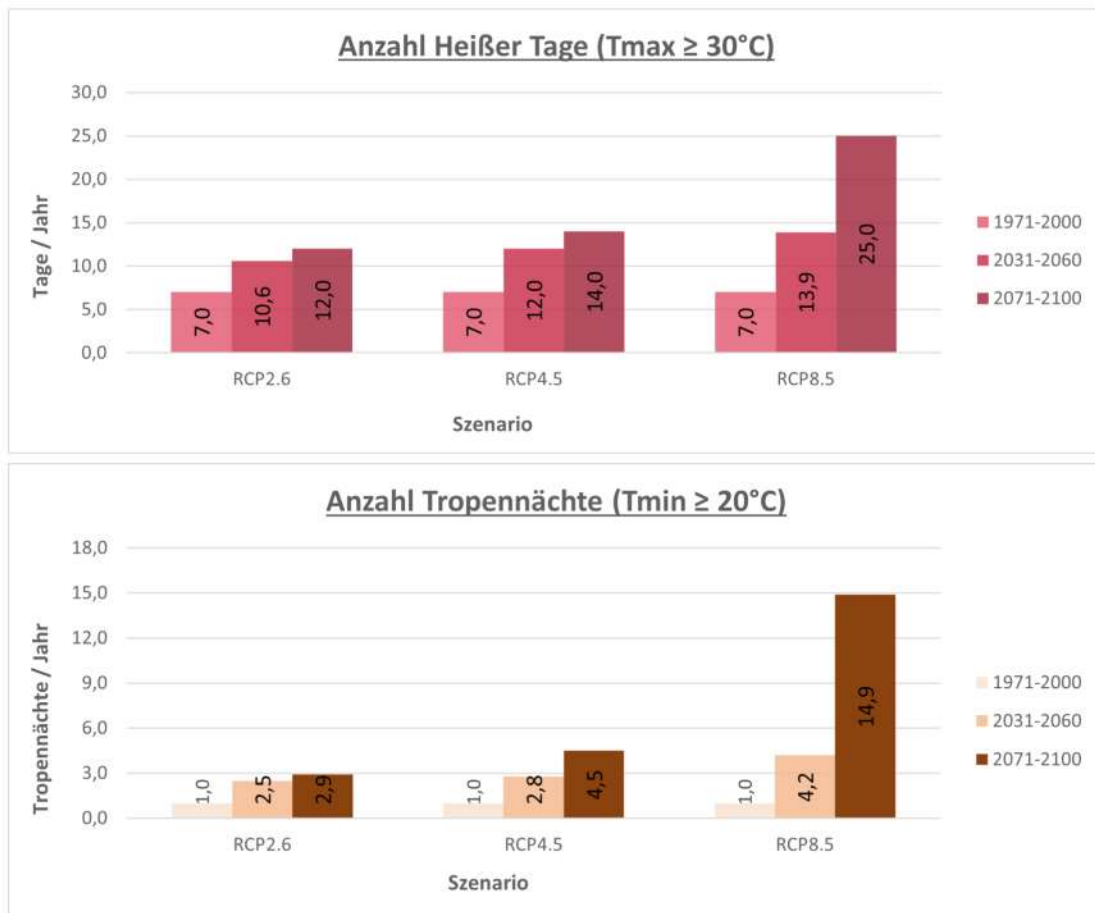
Die Klimamodelle geben für das worst-case-Szenario RCP8.5 an, dass gegenüber dem Referenzzeitraum 1970-2000:

- sich die sommerlichen Temperaturen im Mittel um 1,7 °C (2031-2060) bzw. um 3,6 °C (2071-2100) erhöhen
- sich bis zum Ende des Jahrhunderts die Anzahl der Heißen Tage verdreifachen und im Mittel 14,9 Tropennächte pro Jahr auftreten werden.

Jedes der Szenarien verdeutlicht, dass die sommerliche Hitzebelastung in der Zukunft zum Teil drastisch zunehmen wird. Bei der Planung von Bauvorhaben sollten daher klimatische Belange und gegebenenfalls notwendige Optimierungen berücksichtigt werden, um auch in Zukunft gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu schaffen.

Abbildung 5.1: Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Bottrop-Kirchhellen





5.3 Windrichtungsverteilung

Die Windrichtungsverteilung im Untersuchungsgebiet wurde auf Grundlage von Wetterdaten der LANUV-Wetterstation Bottrop-Welheim abgeleitet [15]. Diese Station liegt etwa 8,6 km südöstlich des Plangebietes und gibt auf Grund ihrer Nähe sehr gut die übergeordneten Windverhältnisse im Plangebiet wieder.

Die Anlage 6 zeigt die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an dieser Station in allen Situationen des Auswertzeitraumes 2012 - 2021 (links) sowie für Tage mit einer Temperatur $> 30^{\circ}\text{C}$ (Hitzetage) auf der rechten Seite.

Die Windrichtungsverteilung für den gesamten Zeitraum (Windrose auf der linken Seite) zeigt, dass Wind in Bottrop bevorzugt aus südwestlichen Richtungen weht.

Die Windrichtungsverteilung an Hitzetagen (rechte Seite) weicht deutlich von diesem Bild ab. So gehen Strahlungswetterlagen mit hohen Temperaturen in der Regel mit nordöstlichen Anströmungen einher. Anströmungen aus den verbleibenden Windrichtungen treten vergleichsweise selten auf.

Basierend auf den Windrichtungsverteilungen für den gesamten Auswertzeitraum und für Hitzetage werden in den Mikroklimauntersuchungen zur thermischen Belastung und Durchlüftung die Windrichtungen Nordost (70°) und Südwest (220°) gewählt. Die optimierte Planungsvariante wird lediglich mit der an Hitzetagen relevanten nordöstlichen Windrichtung simuliert.

5.4 Starkregenanalyse Bottrop

Zunehmende Wetterextreme infolge des Klimawandels stellen viele Kommunen und Gemeinden vor neue Herausforderungen. In städtisch geprägten Regionen verursachen Starkniederschläge immer häufiger enorme Schäden und stellen Gefahren für das Menschenleben dar. Um eine Planungs- und Entscheidungsgrundlage zu schaffen, sollten Bereiche mit potentiellen Gefahren durch Starkregen wie z.B. Geländesenken identifiziert werden.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens soll daher die Betroffenheit des Standortes und seiner direkten Zuwege gegenüber den Folgen von Starkregenereignissen betrachtet werden. Diesbezüglich liegen Daten sowie der Kurzbericht einer stadtweiten Starkregenanalyse für Bottrop [9] vor. Die Ermittlung der Fließwege von Oberflächenabflüssen (aus dem Kanalnetz und wild abfließendes Wasser) sowie der Fließtiefen bzw. -geschwindigkeiten stellt ein geeignetes Werkzeug zur Planung von Schutz und Vorsorgemaßnahmen dar.

Eine erste Einschätzung möglich gefährdeter Gebiete kann über die Lokalisierung tiefer gelegener Bereiche und über die Ermittlung des wild abfließenden Wassers vorgenommen werden. In Anlage 7 sind die Senken und die Hauptfließwege nach der Flussordnungszahl (FLOZ) nach Strahler dargestellt. Dabei erhalten die äußersten Zuflüsse die Zahl 1. Die FLOZ steigt um eine Einheit, wenn zwei Abschnitte gleicher Ordnung zusammentreffen. Entlang des Plangebietes verläuft ein Entwässerungsgraben, der der FLOZ 1 zugeordnet werden kann. Flüsse mit kleiner FLOZ sind zwar grundsätzlich bei regionalen Unwetterereignissen überflutungsgefährdet, da es sich hierbei jedoch um kein ausgeprägtes Fließgewässer handelt und auch keine Senken im Umfeld des Plangebietes vorhanden sind, kann eine mögliche Gefährdung durch Starkregen im Umfeld der Planung zunächst ausgeschlossen werden.

Durch eine Oberflächenabflussmodellierung kann eine genauere Gefährdungsabschätzung durchgeführt werden. Im Gegensatz zu einer topographischen Fließwegeanalyse kann durch ein Oberflächenabflussmodell bestimmt werden, wo der Wasserstrom infolge von Richtungsänderungen der Tiefenlinie der Geländeoberfläche umgelenkt und durch Trägheit der Außenkurve folgend ausufern oder abzweigen kann.

In Anlage 8 bis Anlage 11 sind die maximalen Fließtiefen und Fließgeschwindigkeiten für ein Starkniederschlagsereignis mit 45 mm/h und mit 90 mm/h dargestellt. Die maximale Fließtie-

fe in Anlage 8 und Anlage 9 verdeutlicht, dass sich das Niederschlagswasser innerhalb des Plangebietes selbst bei extremen Niederschlagsereignissen nur geringfügig auf unter 5 cm anstaut. Daraus resultiert, dass die Gefährdung für Überschwemmungen im Plangebiet selbst sowie auf den angrenzenden Flächen als sehr gering einzustufen ist.

Anlage 10 und Anlage 11 zeigen einen Ausschnitt der maximalen Fließgeschwindigkeit. Hieraus wird deutlich, dass die Fließgeschwindigkeit keine bedenklich hohen Werte annimmt, so dass im Plangebiet und dessen Umfeld keine Gefahr durch Sturzfluten mit hohen Fließgeschwindigkeiten zu erwarten ist.

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 [11], [12] 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. Jede Landnutzungs-kategorie wiederum entspricht einer fest vorgegebenen Kälteproduktionsrate und einer 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 Kaltlufthöhe errechnet. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltlufthöhe 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 12 dargestellten Bereich. Die Abmessungen des gesamten Untersuchungsraumes betragen ca. 14,9 km x 16,5 km. In den äußeren Bereichen des Rechengebietes wurde eine horizontale Gitterauflösung von 27,5 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 Interessensgebiet 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 Gitterweite gegenüber dem gröberen Einflussbereich um den Faktor 5 reduziert. Daraus ergibt sich in diesem Bereich eine horizontale Gitterauflösung von 5,5 m. Die Abmessungen des Nestinggebietes betragen etwa 1,6 km in Ost-West- und etwa 1,6 km 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 aus einem frei verfügbaren digitalen Geländemodell von Deutschland mit einer Gitterweite von 20 m [18] abgeleitet. Innerhalb des Nestinggebietes wurden die Geländehöhen dem hochaufgelösten, vom Land NRW kostenfrei zur Verfügung gestellten digitalen Geländemodell (DGM1) [19] entnommen. Das hochaufgelöste DGM wurde dem 20 m-DGM aufgeprägt und das Gesamt-DGM in eine einheitliche horizontale Gitterauflösung von 5,5 m überführt. Anlage 12 zeigt die Geländehöhen im gesamten Untersuchungsraum.

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 das vom Land NRW kostenfrei zur Verfügung gestellte LOD2-Gebäudemodell [18] herangezogen.

Lage und Höhe der zukünftigen Bebauung wurden aus den zur Verfügung gestellten Ansichten, Lagepläne und Querschnitten [2] entnommen.

6.2.2 Landnutzung

Die zur Bestimmung von Kaltluftproduktionsraten und Rauigkeiten benötigten Informationen zur Landnutzung im Untersuchungsraum wurden mithilfe des von der Europäischen Umweltagentur zur Verfügung gestellten Datensatzes Urban-Atlas mit Stand 2018 [14] abgeleitet. Dieser Dienst stellt sehr hoch aufgelöste (0,25 – 1,0 ha) Landnutzungsdaten, die aus Satellitenbildern abgeleitet werden, für europäische Ballungsgebiete zur Verfügung. Siedlungsbereiche werden im Urban Atlas nach verschiedenen Versiegelungsgraden unterschieden, so dass Rauigkeiten und Kälteproduktionsraten innerhalb von Siedlungsgebieten in den KLAM-Berechnungen relativ genau erfasst werden können.

Da die Landnutzungsklassen des Urban Atlas nicht den in KLAM_21 verwendeten Landnutzungsklassen entsprechen, wurden die jeweiligen Landnutzungsklassen in die standardmäßig vorgegebenen KLAM-Klassen übersetzt.

Innerhalb des Nestinggebietes mit aufgelöster Bebauung sollten gemäß eines Hinweises der Modellentwickler die Einzelgebäude als orographische Strukturen innerhalb des Geländemodells simuliert werden. Hierzu wird empfohlen, die Landnutzung der Modellgitterzellen mit Gebäuden als versiegelte Fläche zu modellieren. Bereiche innerhalb von städtischer Bebauung, die nicht einem Gebäude zuzuordnen sind, sollten je nach Durchgrünungsgrad als halb versiegelte oder komplett versiegelte Freiflächen berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall wurden in Abhängigkeit von der Nutzung, des Versiegelungsgrades und des Baumbestandes außerhalb der Gebäudestrukturen zusätzlich auch die Landnutzungsklassen Park und unversiegelte Freifläche angesetzt.

Anlage 13 zeigt die in den Berechnungen berücksichtigte Landnutzung im gesamten Recherchegebiet im Istfall. Anlage 14 und Anlage 15 stellen die Landnutzung im Istfall und Planfall im Umfeld des Planvorhabens im Detail dar.

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
Schrebergarten	0,05	0,1	3,0	0,15	0,1	10,0	3,0	0,8	0,15
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
- wai(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 [12])
- 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 (Kaltluftvolumenstrom, Kaltluflhöhe, Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule sowie Richtung und Stärke der bodennahen Strömung) zu zwei Zeitpunkten ausgewertet und dargestellt. Der erste Auswertzeitpunkt 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.

6.3.1 Kaltluftgeschehen zwei Stunden nach Sonnenuntergang

In Anlage 16 ist der Kaltluftvolumenstrom sowie die Stärke und Richtung der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule für das gesamte Rechengebiet dargestellt. Anlage 17 zeigt das Kaltluftgeschehen für das Umfeld des Planvorhabens.

Die Gesamtansicht des Einzugsgebietes zeigt, dass bereits in den frühen Nachtstunden Kaltluft auf den höher gelegenen Frei- und Waldflächen der Kirchheller Heide im Osten von Kirchhellen produziert wird und dem Gefälle folgend in Richtung des südöstlich gelegenen Bottroper Stadtgebiet und in Richtung Osten nach Kirchhellen abfließt. Die Kaltluftvolumenstromdichte innerhalb dieses Kaltluftabflusses liegt hierbei typischerweise zwischen 3 und 6 m³/m*s.

Aufgrund des Reliefs stellt sich nördlich von Kirchhellen eine nordostwärts gerichtete Strömung in Richtung Dorsten ein. Aufgrund der zahlreichen Freiflächen, die dazu beitragen, dass sich die Kaltluftbildungsrate und damit auch die Volumenstromdichte erhöht, erreicht der Kaltluftvolumenstrom innerhalb dieses Abflusses mit 7 bis 12 m³/m*s etwas höhere Werte als der Abfluss im Süden von Bottrop-Kirchhellen.

Anlage 17 verdeutlicht, dass zu Beginn der Nacht südlich des Planvorhabens eine schwache, nach Osten gerichtete Strömung mit Kaltluftvolumenstromdichten von bis zu 4 m³/m*s vorliegt. Ein Teil der aus den höher gelegen Bereichen der Kirchheller Heide stammenden Strömung wird aufgrund der geringen Rauigkeit über den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Umfeld des Plangebietes in Richtung der bebauten Bereich von Bottrop Kirchhellen geleitet. Das Plangebiet wird somit in den frühen Nachtstunden von einer schwachen, von Südwest nach Nordost gerichteten Kaltluftströmung durchströmt. Zu diesem Auswertzeitpunkt dringt die Strömung jedoch noch nicht weit in die angrenzenden bebauten Bereiche von Kirchhellen ein.

Die Umsetzung des Planvorhabens hat zum einen zur Folge, dass sich die Rauigkeit innerhalb des Plangebietes erhöht. Zum anderen reduzieren sich infolge des höheren Versiegelungsanteils die Kaltluftproduktionsflächen.

Anlage 18 zeigt den Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang nach Realisierung des Planvorhabens. Es wird ersichtlich, dass die vorgesehene Bebauung eine Veränderung des Kaltluftvolumenstroms im Plangebiet selbst sowie in den angrenzenden Bereichen hervorruft. Der neue Gebäudekomplex für die Feuer- und Rettungswache bewirkt eine Umlenkung des Kaltluftvolumenstroms, sodass sich die Strömung auf der strömungszu- und -abgewandten Gebäudeseite abschwächt, gleichzeitig aber an den Gebäudekanten durch Umlenkeffekte intensiviert.

Anlage 19 zeigt die entsprechende prozentuale Differenz gegenüber der Istsituation. Hieraus wird deutlich, dass infolge der geplanten Bebauung die Kaltluftvolumenstromdichte innerhalb des Plangebietes und dessen nahen Umfelds um mehr als 10 % zu- bzw. abnehmen. Gemäß dem Klassifizierungsschema der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 wären die Auswirkungen des Planvorhabens demnach mit „hoch“ zu bewerten. Hierbei treten starke prozentuale Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms von > 10 % auf der strömungszu- und -abgewandten Seite des Plangebäudes sowie in der nordwestlich angrenzenden, zukünftigen Bebauung auf. „Hohe Abnahmen“ reichen hierbei ausgehend von der Plangebietsgrenze etwa 150-200 m in die angrenzende Bebauung ein.

Höhere Volumenstromdichten gegenüber der Istsituation werden infolge von Umlenkungseffekten an den Seiten des Plangebäudes in der nordwestlich angrenzenden Bebauung entlang der Straße In der Koppel sowie östlich entlang der Rentforter Straße ausgewiesen.

Ergänzend zu den prozentualen Änderungen zeigt Anlage 20 die absoluten Änderungen des Kaltluftvolumenstroms gegenüber der Bestandssituation. Hieraus wird ebenfalls ersichtlich, dass sich signifikante Änderungen auf das direkte Umfeld des Planvorhabens beschränken. Eine signifikante Abschwächung der Belüftung von Kirchhellen in den frühen Nachtstunden kann auf Grundlage der Simulationsergebnisse ausgeschlossen werden.

Ergänzend zeigt Anlage 21 die Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Istfall im Umfeld des Planvorhabens. Darüber hinaus zeigen die Pfeile die Richtung und Stärke der bodennahen Kaltluftströmung an. Über dem Plangebiet liegt die Höhe der Kaltluftschicht großflächig zwischen 16 und 20 m. Die bodennahe Strömungen zeigen analog zum Kaltluftvolumenstrom eine ausgeprägte, von Südwest nach Nordost gerichtete Strömung.

In Anlage 22 sind Kaltfluthöhe und das bodennahe Strömungsfeld im Planfall dargestellt. In der Abbildung ist zu erkennen, dass sich die Kaltluftmächtigkeit trotz einer partiellen Versiegelung der Freifläche nicht verändert hat. Da sich bereits in den frühen Morgenstunden eine relativ hohe Kaltluftschichtdicke ausbildet, können die vergleichsweise niedrigen Plangebäu-

de überströmt werden. Ergänzend zeigen Anlage 23 und Anlage 24 die prozentualen und absoluten Änderungen der Kaltluftmächtigkeit im Planfall gegenüber dem Istfall. Es wird deutlich, dass signifikante prozentuale Abnahmen der Kaltluftmächtigkeit nur oberhalb der Plangebäude auftreten. Im Umfeld des Planvorhabens wirkt sich das Vorhaben in Bezug auf die Kaltluftmächtigkeit nicht aus.

6.3.2 Kaltluftgeschehen sechs Stunden nach Sonnenuntergang

In Anlage 25 ist der Kaltluftvolumenstrom sowie die Stärke und Richtung der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule für das gesamte Rechengebiet dargestellt. Anlage 26 zeigt das Kaltluftgeschehen für das Umfeld des Planvorhabens.

Die beiden Abbildungen verdeutlichen, dass sich im Lauf der Nacht die Reichweite und Intensität der aus der Kirchheller Heide stammenden Kaltluftströmung deutlich erhöht hat. Diese Strömung reicht nun in weite Teile des Kirchhellener Stadtgebietes und sorgt hier für eine verbesserte Durchlüftung und Abkühlung. Die Kaltluftvolumenstromdichte in der Hauptachse südlich des Plangebietes beträgt typischerweise zwischen 6 und 9 m³/m*s. Im Plangebiet selbst hat sich die Kaltluftvolumenstromdichte im Vergleich zu den frühen Nachtstunden nur geringfügig um ca. 1,5 m³/m*s erhöht und liegt bei ca. 4 m³/m*s, was vor allem auf die gestiegene Kaltluftmächtigkeit (vgl. Anlage 30) zurückzuführen ist. Zudem dreht die Strömung im Lauf der Nacht auf eher westliche Richtungen, sodass das Plangebiet nicht mehr wie in den frühen Nachtstunden als schwache Leitbahn für Kaltluft in das Kirchhellener Stadtgebiet dient.

Die Situation nach Realisierung des Planvorhabens zeigt die Anlage 27. Anlage 28 weist die entsprechende prozentuale Differenz gegenüber der Istsituation aus. Auch in der späteren Nachtstunde zeigt sich, dass sich infolge der veränderten Bebauungsstruktur im Luv und Lee des Vorhabens durch die planungsbedingte Erhöhung der Rauigkeit Abnahmen der Kaltluftvolumenstromdichte ergeben. Gleichzeitig resultieren aus der Umlenkung am Plangebäude nördlich und südlich Zunahmen der Stromdichten. Diese Änderungen beschränken sich auf das direkte Umfeld des Planvorhabens und reichen östlich des Plangebietes maximal 80 m in die angrenzende Bebauung ein. Ergänzend zeigt Anlage 29 die absoluten vorhabensbedingten Änderungen des Kaltluftvolumenstroms in der zweiten Nachthälfte.

Anlage 30 zeigt die Mächtigkeit sowie das bodennahe Strömungsfeld im Istfall im Umfeld des Plangebietes zum Zeitpunkt sechs Stunden nach Sonnenuntergang. Im Vergleich zur Situation in den frühen Morgenstunden ist die Kaltluftschichtdicke um etwa 14 m auf ca. 29 m angewachsen. In Bezug auf das bodennahe Kaltluftströmungsfeld wird deutlich, auch nach sechs Stunden immer noch ein leichter, ostwärts gerichteter Kaltluftabfluss in Bodennähe stattfindet. Dabei ist Strömung auf den Freiflächen stärker ausgeprägt als innerhalb der Kirchhellener Bebauung, sodass dort eine Akkumulation der Kaltluft stattfindet. Innerhalb der Be-

baung sind somit zum Ende der Nacht kaum noch positive Effekte durch die Zufuhr neuer Kaltluft aus dem außerstädtischen Freiflächen zu erwarten

Anlage 31 stellt die Kaltluftmächtigkeit sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Planfall dar. Ergänzend zeigen Anlage 32 und Anlage 33 die prozentualen und absoluten Änderungen der Kaltluftmächtigkeit im Planfall gegenüber dem Istfall. Analog zu den frühen Nachtstunden sind auch zu diesem Auswertezeitpunkt nur Änderungen oberhalb der Plangebäude zu erkennen, weshalb weitreichende, planungsbedingte Veränderungen auf die Kaltluftmächtigkeit ausgeschlossen werden können.

Insgesamt zeigt sich, dass sich im Umfeld der beiden Plangebäude zwar lokal deutliche Veränderungen in der Kaltluftdynamik ergeben. Eine planungsbedingte, signifikante Schwächung der aus Richtung der Kirchheller Heide über das Plangebiet in die Siedlungsbereiche von Kirchhellen gelenkten schwachen Kaltluftströmungen sowie eine signifikante Abnahme der Kaltluftproduktion können auf Grundlage der Simulationsergebnisse jedoch ausgeschlossen werden.

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 5.0.3 [13] zunächst für die nachfolgend aufgeführten Varianten mit Hauptwindrichtung Nordost und Südwest durchgeführt:

Istfall: derzeit unbebaute Fläche, aktueller Vegetationsbestand und aktuelle Oberflächenbeschaffenheit, realisierter Bebauungsplan Nr. 48 „Schultenkamp/Dorfheide“ [4] östlich des Plangebietes

Planfall: Zukünftige Bebauungssituation nach Realisierung der Planung entsprechend des aktuellen Außenanlagenkonzeptes (Anlage 1, [1]) sowie der zur Verfügung gestellten Lagepläne, Querschnitte und Ansichten [2]

Anhand der Ergebnisse wurden anschließend Planungsempfehlungen zur Minimierung negativer lokalklimatischer Folgen erarbeitet und in einer optimierten Planvariante simuliert und bewertet.

7.1.1 Modellbeschreibung

ENVI-met 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 34.

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.

7.1.2 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. 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 715,0 in x- und 650,0 m in y-Richtung. Die Lage des Rechengebietes kann den Grafiken zu den Eingangsdaten (Anlage 35 bis Anlage 38) entnommen werden.

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 zwölf Schichten eine feine Vertikalauflösung von 1,0 m festgelegt. Ab der Modellhöhe von 12 m erhöht sich die vertikale Zellausdehnung um jeweils 3 %. Bei einer Anzahl von 25 Gitterzellen in z-Richtung ergibt sich hieraus eine maximale Modellhöhe von 28,0 m.

7.2 Eingangsdaten

7.2.1 Gebäude

Gebäude fließen in die ENVI-met Simulationsrechnungen mit ihrer Lage und Höhe sowie den verbauten Materialien und ihren thermischen und strahlungstechnischen Eigenschaften ein.

Lage und Höhe der Bestandsbebauung außerhalb des Plangebietes im Untersuchungsgebiet wurden aus dem vom Land NRW zu Verfügung gestellten LOD2-Gebäudemodell [18] abgeleitet. Anlage 35 und Anlage 37 zeigen hierzu den berücksichtigten Gebäudebestand im Istfall, Anlage 36 und Anlage 38 enthalten den Gebäudebestand sowie das Plangebäude im Planfall, welches auf Grundlage der Lagepläne, Ansichten und Querschnitte [2] abgeleitet wurde. Wie in der Dachaufsicht [3] dargestellt, wurden die Dächer des Plangebäudes in Teilen mit einer extensiven Dachbegrünung versehen. Für die extensive Begrünung wurde eine Substratdicke von 12 cm mit einem aufliegenden Bewuchs von 10 cm in den Berechnungen berücksichtigt.

Neben der Lage und Höhe müssen den Gebäuden in ENVI-met auch thermische und strahlungstechnische Eigenschaften zugewiesen werden. In den Berechnungen wurde allen Dächern und Fassaden der ENVI-met Standardaufbau (moderate Isolierung) zugeordnet. Nur das Reflexionsvermögen (Albedo) der äußeren Schicht wurde angepasst. Hier wurde bei

den Gebäudewänden und -dächern der Bestandsbebauung im Umfeld wie folgt nach dunklen und hellen Oberflächen unterschieden:

- Mittelhelle Fassade: Albedo 0,5 ($\hat{=}$ mitteleuropäischer Standard)
- Mittelhelle Dachfläche: Albedo 0,5 ($\hat{=}$ mitteleuropäischer Standard)
- Klinkergebäude (rot): Albedo 0,3
- Dunkle Dachfläche: Albedo 0,2

Für das Plangebäude wurde gemäß den zur Verfügung gestellten Querschnitten [2] für das untere Stockwerk eine mittelhelle Klinkerfassade mit einer Albedo von 0,5 und für das obere Stockwerk eine Holzfassade mit einer Albedo von 0,44 im Modell berücksichtigt.

Die Rauminnentemperatur beträgt bei allen Gebäuden zum Startzeitpunkt der Simulationsrechnung 20 °C.

7.2.2 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. Die Erfassung der Lage und Höhe der Bäume im öffentlichen und privaten Raum erfolgte mithilfe des hochaufgelösten digitalen Oberflächenmodells (NDOM) des Landes NRW [19]. In Teilen des Untersuchungsgebietes konnten die Baumarten mithilfe des Baumkatasters der Stadt Bottrop [25] bestimmt werden. Da das Baumkataster nur einen kleinen Teilbereich des Untersuchungsgebietes abdeckt und für den Großteil des Baumbestandes somit keine Informationen zu den Baumtypen vorlagen, wurde den Bäumen im Istfall pauschal ein „dichter“ Belaubungsgrad zugewiesen.

Für die Berechnungen zum Planfall wurden die Standorte der Baumneupflanzungen aus dem Außenanlagenkonzept [1] entnommen. Für die Neuanpflanzungen von Bäumen entlang der Stellplätze nördlich des Plangebäudes wurde eine Höhe von 5 m und ein „dichter Belaubungsgrad“ festgelegt.

Aktuell wird die Plangebietsfläche landwirtschaftlich genutzt. Mit der Umsetzung des Planvorhabens wird lediglich ein Teilbereich der Fläche bebaut. Die verbleibenden Freiflächen westlich des Geländes der Feuer- und Rettungswache sowie die Fläche zwischen der vorgesehenen Lärmschutzwand und der Straße In der Koppel stehen zukünftig jedoch nicht mehr für eine landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung, daher wurde für diesen Teilbereich im PI-

anfall ein niedriger Rasenbewuchs (10 cm) angesetzt. Die Regenrückhalteflächen, die sich östlich und westlich des Kirchhellener Rings im angrenzenden BPlan befinden, erhielten einen 1 m hohen Grasbewuchs.

Den restlichen unversiegelten Bereichen im Untersuchungsgebiet ohne Baumbewuchs wurde im Istfall und den beiden Planfällen pauschal ein niedriger Bewuchs (Gras, Rasen) mit einer Wuchshöhe von 10 cm zugewiesen.

In Anlage 35 und Anlage 36 sind die in die Berechnungen eingehenden Vegetationsbestände für beide Planungssituationen dargestellt.

7.2.3 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 werden bei unversiegelten Grünflächen zusätzlich die Bodeneigenschaften des Untergrundes berücksichtigt, da sich je nach Bodenart und damit einhergehender Korngrößenzusammensetzung unterschiedliche Versickerungsraten und Wasserspeicherfähigkeiten ergeben. Für das Untersuchungsgebiet wurden das Bodenprofil auf Grundlage eines uns zur Verfügung gestellten Bodengutachtens [24] in den Berechnungen berücksichtigt. Demnach handelt es sich um einen sandigen Boden auf schluffig-sandigem Untergrund. Diese Bodeneigenschaften sind in beiden Berechnungsvarianten auf den unversiegelten Vegetationsflächen unterhalb der angesetzten Rasenfläche relevant.

Da die Oberflächengestaltung im angrenzenden Bebauungsplangebiet (Nr. 48 Schultenkamp / Dorfheide) derzeit noch nicht bekannt ist, wurde eine 20 %ige Teilversiegelung mit Beton angenommen.

Die versiegelten Flächen im Bestand in- und außerhalb des Plangebietes wurden anhand einer von Peutz durchgeführten Ortsbegehung in Ergänzung mit aktuellen Orthofotos [20] und ALKIS - Bodenbedeckungsdaten des Landes NRW [22] erfasst. Für Straßen wurde hierbei Asphalt, für weitere versiegelte Flächen wie z.B. Parkplätze Beton bzw. verschiedene Pflasterarten als Versiegelungsmaterial vorgegeben.

Die Ableitung der Oberflächenarten im Planfall erfolgte auf Grundlage der Außenanlagenplanung [1]. Demzufolge ist für das Gelände der Feuer- und Rettungswache überwiegend eine Asphaltfläche vorgesehen. Für die vorgesehenen Stellplätze zwischen Lärmschutzwand und

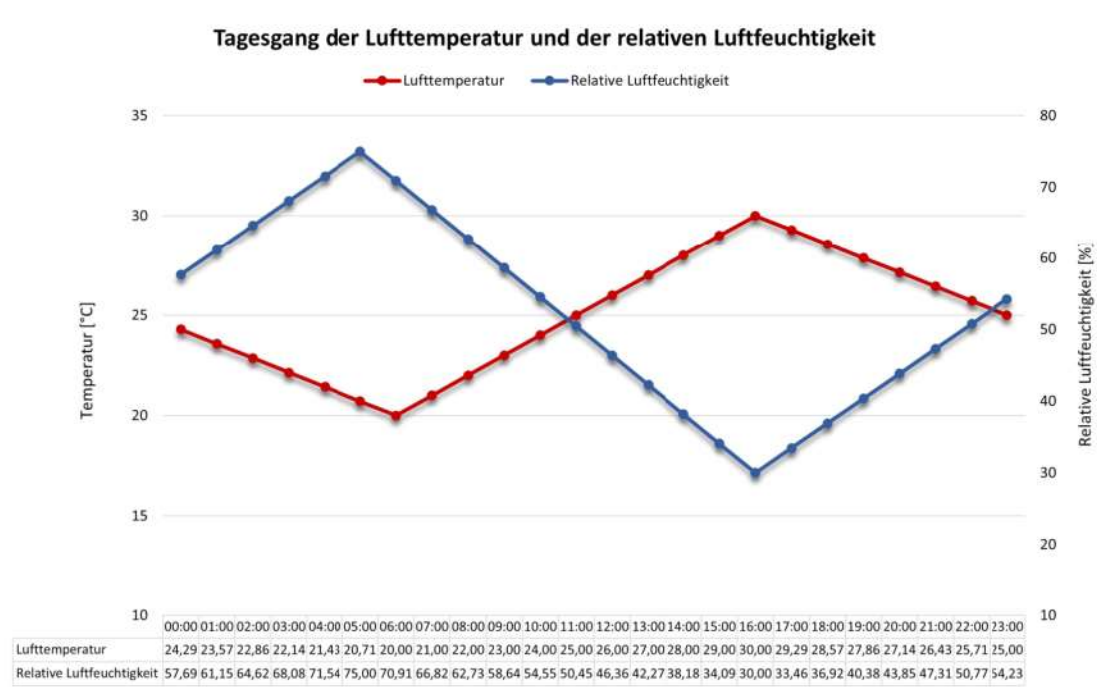
Plangebäude sowie für den zwischen den Plangebäuden gelegenen Platz wurde eine helle Pflasterfläche im Modell berücksichtigt.

Anlage 37 und Anlage 38 zeigen die ins Modell einfließenden Oberflächenbeschaffenheiten für den Ist- und Planfall.

7.2.4 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. Gemäß der Beaufort-Skala [36], mit der die Auswirkungen des Windes beschrieben werden können, entspricht eine derartige Windgeschwindigkeit einem „leichten Zug“. Die Wirkung an Land wird als „kaum merklich, Rauch treibt leicht ab, Windflügel und Windfahnen unbewegt“ beschrieben.

Zur Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen wurden Wetterdaten der LANUV-Station Bottrop-Welheim herangezogen. Die Windrose für alle Situationen im Auswertzeitraum 2012-2021 zeigt ein deutliches Windrichtungsmaximum aus Südwesten, während an Hitzetagen besonders häufig nordöstliche Windrichtungen auftreten. Daher wurden im Rahmen der mikroklimatischen Untersuchung die beiden Windrichtungen Nordost (70°) und Südwest (220°) als die beurteilungsrelevanten Anströmungsrichtungen ausgewählt (vgl. Kapitel 5.3 und Anlage 6). Die optimierte Planungsvariante wird lediglich mit der an Hitzetagen relevanten nordöstlichen Windrichtung simuliert.

Die Berechnungen umfassen insgesamt 36 h und starten um 4 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 [35]. 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 164,5 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	51,59°N, 6,92°E
Startzeit der Simulation	20.06., 04:00 Uhr
Dauer der Simulation	36 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 z_0	0,1 m
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	1,5 m/s
Windrichtung	70° (Nordost) und 220° (Südwest)
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 %

7.3 Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation

Die Berechnungen wurden mit den dokumentierten Eingangsdaten für den Ist- und den Planfall geführt.

Für die Untersuchung zur Durchlüftung wurden die Windfelder um 14 Uhr analysiert und im bodennahen Höhengniveau (1,5 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 wird 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 Temperaturen 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.

Die Anlage 39 bis Anlage 42 sind so aufgebaut, dass die obere Abbildungsreihe den Istfall und den Planfall mit der untersuchten nordöstlichen Windrichtung sowie die planungsbedingten Differenzen zeigt. Die untere Abbildungsreihe enthält ebenfalls die beiden Planungssituationen inklusive der Differenzwerte für die südwestliche Anströmungsrichtung.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist grundsätzlich zu beachten, dass die Berechnungsergebnisse die stadtklimatologischen Verhältnisse unter den zugrunde gelegten Einström- und Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 7.2.4) darstellen. Änderungen der aufgeführten Initialisierungsparameter werden zu abweichenden Ergebnissen führen.

7.3.1 Durchlüftung

Anlage 39 zeigt die simulierten Windgeschwindigkeiten für den Ist- und Planfall sowie die aus der Planung resultierenden Windgeschwindigkeitsdifferenzen für die untersuchten Windrichtung Nordost und Südwest in einer Höhe von 1,5 m über Grund um 14 Uhr.

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:

- Als gut durchlüftet erweisen sich insbesondere ausgedehnte Bereiche mit geringer Rauigkeit. Hierzu zählen vor allem die Freiflächen im südlichen Untersuchungsgebiet oder auch parallel zur Windrichtung verlaufende Straßen wie der Kirchhellener Ring oder die Straße Dorfheide, welche sich im östlich angrenzenden BPlan Schultenkamp / Dorfheide befinden.
- In den dichter bebauten Bereichen des Untersuchungsgebietes, wie beispielsweise innerhalb der Wohnbebauung, die sich nördlich über die Straße In der Koppel an das Plangebiet anschließt, ist die Belüftungssituation aufgrund der erhöhten Rauigkeit gegenüber den ungestörten Freiflächen deutlich reduziert. Hier werden bei der simulierten sommerlichen Schwachwindsituation überwiegend Windgeschwindigkeitswerte unter 0,5 m/s erreicht.

- Innerhalb des Plangebietes ist bei beiden untersuchten Windrichtungen eine ähnliche Durchlüftungssituation gegeben. Das Plangebiet stellt derzeit eine unbebaute, landwirtschaftlich genutzte Freifläche dar und wird daher mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten von bis zu 1,25 m/s sehr gut durchlüftet. Da in den Simulationen der im angrenzenden BPlan Schultenkamp / Dorfheide vorgesehene Lärmschutzwand entlang der Rentforter Straße berücksichtigt wurde, zeigt das Windfeld bei der nordöstlichen Windrichtung im östlichen Teilbereich des Plangebietes leicht reduzierte Windgeschwindigkeitswerte auf. Zudem haben die Bestandsbäume entlang der Rentforter Straße auf Höhe des Plangebietes ebenfalls einen leichten windgeschwindigkeitsmindernden Einfluss. In wenigen Metern Entfernung zu diesen beiden Strömungshindernissen hat sich das Windfeld jedoch wieder normalisiert, sodass das restliche Plangebiet bei der nordöstlichen Windrichtung ebenfalls sehr gut durchlüftet ist.

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

- Aufgrund der Hinderniswirkung des Plangebäudes und der vorgesehenen Lärmschutzwand zeigen die Simulationen im Umfeld der neuen Bebauung bei beiden untersuchten Windrichtungen deutliche Geschwindigkeitsreduktionen gegenüber der unbebauten Bestandssituation.
- Dies ist vor allem auf die Kubatur des Gebäudes zurückzuführen. Durch die Bauweise in einer geschlossenen L-Form ohne durchströmbare Gebäudeteile und durch den quer zu beiden Windrichtungen ausgerichteten östlichen Gebäudeblock werden die Windgeschwindigkeiten im Nahbereich des Gebäudes deutlich reduziert. Auf den jeweils windabgewandten Gebäudeseiten übersteigen die Windgeschwindigkeiten somit kaum mehr 0,5 m/s.
- Aufgrund der weitestgehend niedrigen Gebäudehöhen beschränken sich die Abnahmen der Windgeschwindigkeiten jedoch auf das nahe Umfeld der neuen Bebauung. Außerhalb der Plangebietsgrenzen sind nur geringfügige Veränderungen gegenüber der Bestandssituation entlang der Rentforter Straße zu verzeichnen, welche jedoch als unbedenklich eingestuft werden können. Eine Verschlechterung der Durchlüftungssituation in der angrenzenden Wohnbebauung kann auf Grundlage der Simulationsergebnisse für beide Windrichtungen ausgeschlossen werden.

7.3.2 Lufttemperatur um 14 Uhr

Anlage 40 zeigt die simulierten Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe für die untersuchten Anströmungsrichtungen Nordost (70°) und Südwest (220°) für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen zur wärmsten Tagesstunde (14 Uhr).

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

- Grundsätzlich erwärmt sich die Luft bei den beiden simulierten Anströmungsrichtungen Nordost und Südwest vergleichsweise stark beim Überströmen von großflächigen Freiflächen, da sich die bodennahen Luftschichten trotz einer guten Durchlüftung durch die direkte solaren Einstrahlung in Kombination mit fehlender Verschattung hier besonders stark aufheizen. Somit werden auf den Freiflächen im südlichen Untersuchungsgebiet relativ hohe Temperaturen ausgewiesen.
- Bereiche, die relativ gut durchlüftet und durch umstehende Gebäude oder Vegetation verschattet werden, wie beispielsweise nordwestlich des Plangebietes entlang der Straße in der Koppel, weisen im Gegensatz zu den unverschatteten Freiflächen geringere Lufttemperaturen auf. Als etwas kühler erweist sich zudem das Umfeld der Regenrückhalteflächen östlich und westlich des Kirchhellener Rings, da hier durch die stetige Verdunstung von Wasser der Umgebungsluft Wärme entzogen werden kann.
- Aufgrund der Verschattungs- und Verdunstungskühlleistung von Vegetation werden in Bereichen mit dichten Baumbeständen insgesamt die niedrigsten Temperaturen am Nachmittag ausgewiesen. So wird beispielsweise entlang der Rentforter Straße im nördlichen Untersuchungsgebiet aufgrund des hohen Baumbestandes ein geringes Temperaturniveau erreicht.
- Im Plangebietes erwärmt sich die landwirtschaftliche Fläche aufgrund fehlender Verschattung in den Nachmittagsstunden relativ stark, sodass bei beiden untersuchten Windrichtungen Temperaturen zwischen 28,3 und 28,6 °C erreicht werden. Bei der nordöstlichen Anströmungsrichtung liegen die Temperaturen in Teilbereichen des Plangebietes auch leicht darunter, da sich die Luft beim Überströmen auf den von Bäumen verschatteten Flächen entlang der Rentforter Straße leicht abgekühlt hat.

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

- Sowohl die Abbildungen zur Lufttemperatur am Nachmittag als auch die Differenzdarstellungen zeigen, dass durch das Planvorhaben eine deutliche Veränderung des nachmittäglichen Temperaturniveaus im Umfeld des Planvorhabens erfolgt.
- Die Ergebnisse für beide untersuchten Windrichtungen zeigen, dass durch die Versiegelung der natürlichen Oberflächen und dem damit einhergehenden Verlust der Verdunstungskühlleistung der landwirtschaftlichen Grünfläche eine deutliche Temperaturzunahme von bis zu 0,4 °C gegenüber der Bestandssituation zu erwarten ist. Hiervor betroffen ist insbesondere der südliche Teilbereich des Plangebietes. Zwar erwärmt sich bereits die landwirtschaftliche Fläche im Bestand aufgrund der fehlenden Verschattung relativ stark auf, durch die vorgesehene asphaltierte Oberflächenbeschaffenheit rund um das Plangebäude gehen jedoch deutlich höhere Oberflächentemperaturen einher, die eine stärkere Aufheizung der bodennahen Luftschichten hervorrufen.
- Bei der an Hitzetagen dominierenden Windrichtung Nordost beschränken sich signifikante Temperaturzunahmen auf die Flächen innerhalb der Plangebietsgrenzen, leichte Temperaturerhöhungen von bis zu 0,2 °C sind jedoch auch außerhalb des Plangebietes bis in 50-100 m Entfernung nachzuweisen. Von diesen Erwärmungstendenzen sind überwiegend die angrenzenden Grün- und Verkehrsflächen betroffen, kleinräumig werden jedoch auch in der westlich an das Plangebiet angrenzenden Wohnbebauung geringfügig höhere Temperaturen prognostiziert.
- Bei der südwestlichen Anströmungsrichtung lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass sich die gegenüber der Bestandssituation aufgewärmte Luft vor dem Plangebäude staut und somit im Bereich der vorgesehenen Übungsflächen Temperaturen von bis zu 28,9 °C erwartet werden. Bei dieser Windrichtung beschränken sich die Erwärmungstendenzen jedoch auf die Flächen der Feuer- und Rettungswache, sodass von keiner Temperaturzunahme in der angrenzenden Wohnbebauung auszugehen ist.
- Die weiteren Planungen sollten darauf abzielen die thermische Belastung auf den Aufenthalts- und Übungsflächen in den Nachmittagsstunden zu reduzieren, da die Mitarbeitenden der Feuerwehr während ihrer Arbeitszeit besonderen körperlichen Belastungen ausgesetzt sind.
- In den Berechnungsergebnissen wird weiterhin ersichtlich, dass infolge der neuen Bebauungssituation in Teilbereichen auch Temperaturabnahmen erwartet werden können. Durch die neuen Gebäude werden neue Verschattungszonen generiert, was zu einer verminderten direkten solaren Einstrahlung und demzufolge zu einer reduzierten Aufheizung der Oberflächen führt. Zudem wirkt sich die Verschattung der Baumneupflanzungen im Bereich der Stellplätze positiv auf das Temperaturniveau

aus. Trotz einer verminderten Durchlüftung können demnach bei der nordwestlichen Anströmungsrichtung Temperaturabnahmen von bis 0,5 °C und bei der südwestlichen Anströmungsrichtung von bis zu 0,4 °C auf den Flächen innerhalb der Plangebietsgrenzen verzeichnet werden. Bei der südwestlichen Windrichtung profitiert auch die zukünftige Bebauung im östlich angrenzenden Bplan Schultenkamp / Dorfheide von geringfügigen Temperaturabnahmen.

7.3.3 Lufttemperatur um 4 Uhr

Anlage 41 zeigt die simulierten Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen für die untersuchten Anströmungsrichtungen um 4 Uhr in der kältesten Nachtstunde.

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

- Die Luft hat sich in den Nachtstunden gegenüber der Nachmittagssituation aufgrund der langwelligen Ausstrahlung und der damit einhergehenden negativen Energiebilanz abgekühlt.
- Da im Istfall das Plangebiet unbebaut und unversiegelt ist, nehmen die Oberflächen innerhalb des Plangebietes im Vergleich zur Wohnbebauung nördlich des Plangebietes tagsüber weniger Wärme auf, wodurch die landwirtschaftliche Fläche effektiver auskühlt. Da die Bebauung nördlich des Plangebietes jedoch sehr locker und ebenfalls durch hohen Anteil unversiegelter Flächen gekennzeichnet ist, tritt hier kein ausgeprägter Wärmeinseleffekt auf, wie es häufig in innerstädtischen Bereichen zu beobachten ist. Daher sind die Temperaturunterschiede zwischen der Freifläche im Plangebiet und der angrenzenden Bebauung relativ gering ausgeprägt.
- Weiterhin wird in der Ergebnisdarstellung zum Bestandsfall deutlich, dass bei der untersuchten Windrichtung Südwest die über den Freiflächen im südlichen Untersuchungsgebiet gebildete kühle Luft südlich in das Plangebiet einströmt, weshalb das Temperaturniveau innerhalb des Plangebietes bei dieser Anströmrichtung im Vergleich zur nordöstlichen Anströmung geringer ausgeprägt ist.
- Innerhalb des Plangebietes werden daher bei der untersuchten Windrichtung Südwest Temperaturen zwischen 22,9 und 23,1 °C erreicht. Durch das Einströmen etwas wärmerer Luft aus den bebauten Bereichen des östlich angrenzenden BPlans betragen die Temperaturen bei nordöstlicher Anströmung flächendeckend rund 23,2 °C.

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

- Sowohl die Absolutdarstellungen zum Planfall als auch die Differenzdarstellungen zeigen, dass durch Realisierung des Planvorhabens bei beiden Anströmungsrichtungen von einer leichten nächtlichen Erwärmung gegenüber der Bestandssituation auszugehen ist.
- Diese Erwärmung ist auf die veränderte Bebauungssituation zurückzuführen. Sowohl die geplanten Gebäude als auch die neuen versiegelten Flächen haben sich aufgrund einer hohen Wärmespeicherkapazität der Baumaterialien im Tagesverlauf aufgeheizt und geben die gespeicherte Wärme nun im Lauf der Nacht an die Umgebungsluft ab, während die unversiegelten Flächen im Bestand effektiver auskühlen.
- Die Temperaturerhöhungen betragen bei der an Hitzetagen dominierenden nordöstlichen Windrichtung bis zu 0,2 °C. Diese geringfügige Erwärmung beschränkt sich bei dieser Windrichtung nur auf die Flächen innerhalb der Plangebietsgrenzen, sodass eine Erhöhung der thermischen Belastung in den Nachtstunden in den angrenzenden Wohngebieten auf Grundlage der Simulationen ausgeschlossen werden kann.
- Anders als bei der nordöstlichen Windrichtung reichen die Erwärmungstendenzen bei der südwestlichen Anströmungsrichtung bis in ca. 100 m Entfernung zu den Plangebietsgrenzen in die zukünftige Wohnbebauung im östlich angrenzenden Bplan Schultenkamp / Dorfheide hinein. Diese Temperaturzunahmen sind aber aufgrund der geringen Ausprägung bis maximal 0,15 °C als eher unbedenklich einzustufen.
- Zwar wirken sich der Einsatz natürlicher Baumaterialien, in diesem Fall Holz, und die vorgesehene extensive Dachbegrünung bereits positiv auf die Wärmeaufnahme des Plangebäudes in den Tagstunden aus, es sollte jedoch mit weiteren geeigneten Maßnahmen darauf abgezielt werden, die nächtlichen Erwärmungen innerhalb und außerhalb der Plangebietsgrenzen zu reduzieren.

7.3.4 Bioklima (PET)

Anlage 42 zeigt die simulierten PET-Werte für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für die untersuchten Windrichtungen am Nachmittag. Die dargestellten PET-Werte sind das Ergebnis einer Mittelwertwertbildung aus den Simulationsergebnissen zwischen 12 und 16 Uhr.

Die Grafiken in Anlage 42 zeigen, dass infolge der gewählten Initialisierungsparameter (Sommertag mit einer maximalen Temperatur von 30 °C) sowohl 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 mit eingeschränkter Durchlüftung als schwach 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 > 41 °C insbesondere in Bereichen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und gleichzeitig unverminderter Sonneneinstrahlung.
- Außerhalb des Plangebietes treten bei beiden untersuchten Anströmungsrichtungen extreme bioklimatische Belastungen im Bereich der sonnenzugewandten, windabgewandten Gebäudeseiten in den Wohngebieten auf, da die Reflexion der einfallenden Strahlung an den Gebäuden bei gleichzeitig fehlender Verschattung und geringer Durchlüftung besonders belastend auf das Bioklima wirkt.
- Geringere thermische Belastungen herrschen dagegen in den von Bäumen und Gebäuden verschatteten Bereichen vor. Aufgrund der Verschattungswirkung und Verdunstungskühlleistung der Vegetation werden die insgesamt niedrigsten PET-Werte entlang der Rentforter Straße im nördlichen Untersuchungsgebiet oder nordwestlich des Plangebietes entlang der Straße In der Koppel erreicht. Aufgrund der starken Verschattung durch die Bäume liegen hier keine bioklimatischen Belastungen vor.
- In gut durchlüfteten Bereichen, wie beispielsweise die Freiflächen im südlichen Untersuchungsgebiet oder in parallel zur Windrichtung ausgerichtete Straßen wie dem Kirchhellener Ring, ist der PET-Wert etwas weniger extrem ausgeprägt, dennoch ist die bioklimatische Belastung aufgrund der direkten Sonneneinstrahlung als „stark“ einzustufen.
- Auf der zukünftig bebauten Fläche ist die Wärmebelastung bei beiden Anströmungsrichtungen innerhalb des Plangebietes ähnlich ausgeprägt. Die sehr gute Durchlüftung wirkt sich zwar positiv auf die bioklimatische Belastung aus, dennoch ist die Wärmebelastung aufgrund der direkten solaren Einstrahlung als stark einzustufen.

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

- Durch die Realisierung des Planvorhabens ist in weiten Teilen des Plangebietes mit einer Zunahme der bioklimatischen Belastung zu rechnen. Vereinzelt wird infolge der neuen Bebauung jedoch auch eine Verbesserung des Bioklimas prognostiziert.
- Durch die zu erwartende Einschränkung der Durchlüftung, der fehlenden Verschattung, der Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit und der Reflexion der Sonneneinstrahlung am Plangebäude sind insbesondere auf den sonnenzugewandten Gebäudeseiten im Bereich der vorgesehenen Übungsflächen extreme Wärmebelastungen zu erwarten. Um das bioklimatische Belastungsniveau für die ohnehin belasteten Mitarbeitenden der Feuerwehr in den heißen Nachmittagsstunden zu reduzieren sollten in dem Bereich nach Möglichkeit geeignete Reduktionsmaßnahmen getroffen werden.
- Weiterhin erweist sich aus bioklimatischer Sicht der vorgesehene Platz, der die beiden Gebäudeteile verbindet und zukünftig als Eingangsbereich genutzt werden soll, als extrem ungünstig. Durch die direkte Sonneneinstrahlung in Kombination mit fehlender Durchlüftung werden hier die höchsten PET-Werte prognostiziert.
- Sowohl die Absolutdarstellungen als auch die Differenzdarstellungen zeigen jedoch auch, dass bei beiden Anströmungsrichtungen bedingt durch die Höhe der Plangebäude und der Baumneupflanzungen im Bereich der Stellplätze neue Verschattungszonen generiert werden, in denen nur eine mäßige thermische Wärmebelastung vorliegt.
- Beim Vergleich zwischen Ist- und Planfall wird weiterhin deutlich, dass sich die Änderungen des thermischen Belastungsempfindens bei beiden Windrichtungen fast ausschließlich auf das Plangebiet beschränken und somit die bioklimatische Belastung im Umfeld des Vorhabens nicht verändert wird. In wenigen Metern Entfernung zum Plangebiet sind lediglich entlang der Rentforter Straße kleinräumige Erhöhungen zu erwarten. Da hiervon keine sensiblen Aufenthaltsbereiche betroffen sind, können diese als unkritisch eingestuft werden.

8 Planungsempfehlungen

Die Berechnungsergebnisse der mikroklimatischen Untersuchung zeigen, dass sich in Bezug auf die Durchlüftungssituation und die bioklimatischen Verhältnisse die planungsbedingten Auswirkungen auf das direkte Umfeld des Planvorhabens beschränken. Hinsichtlich der thermischen Belastungen konnten auf Grundlage der Simulationsergebnisse sowohl innerhalb als auch außerhalb der Plangrenzen Temperaturzu- und abnahmen durch die Umsetzung des Vorhabens FW2 festgestellt werden. Bezüglich des Temperaturniveaus ist am Nachmittag mit geringfügigen Temperaturzunahmen bei nordöstlicher Anströmungsrichtung und mit leichten Temperaturabnahmen bei südwestlicher Anströmungsrichtung in der angrenzenden Bebauung zu rechnen. Bei der südwestlichen Windrichtung reichen leichte Temperaturzunahmen in der Nacht bis in die östlich angrenzenden Bebauung hinein.

Aufgrund der veränderten Bebauungssituation, einem geringeren Vegetationsanteil, einem höheren Versiegelungsgrad und einer daraus resultierenden veränderten Durchlüftungs- und Strahlungssituation bilden sich zudem innerhalb des Plangebietes Bereiche mit sehr hohen bioklimatischen und thermischen Belastungen aus.

Da die Aufenthalts- und Übungsflächen der Feuerwache sowohl von den nachmittäglichen und nächtlichen Temperaturerhöhungen als auch von den hohen PET-Werten betroffen sind und die Mitarbeitenden der Feuerwehr während ihrer Arbeitszeit besonderen körperlichen Belastungen ausgesetzt sind, sollten bei fortschreitender Planung Maßnahmen zur Reduktion des Belastungsniveaus berücksichtigt werden. Die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des thermischen und bioklimatischen Belastungsniveaus beitragen:

Erhöhung des Baumanteils

Da Bäume sowohl durch Verschattung als auch über Abkühlungsprozesse durch Evapotranspiration zur Verminderung der bodennahen Lufttemperatur beitragen, wird empfohlen weitere Baumstandorte in Erwägung zu ziehen. Dabei sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass das ohnehin durch die geplante Bebauung beeinträchtigte Windfeld nicht zusätzlich gestört wird. Daher sollten die Bäume eine ausgeprägte Krone aufweisen und im Stammbereich möglichst wenig Strömungswiderstand durch Äste und Blätter liefern.

Da die vorgesehene Nutzung als Feuer- und Rettungswache nur begrenzte Möglichkeiten zur Neuanpflanzung für Bäume zulässt, sollte versucht werden, möglichst hohe Bäume im privaten Grünstreifen, der das Gelände südlich, westlich und nördlich umschließt, anzupflanzen, um über den Schattenwurf in den heißen Nachmittagsstunden eine Reduktion der bioklimatischen Belastung auf den Übungsflächen zu erzielen.

In Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels empfiehlt die VDI 3787 Blatt 8 [37], 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 [26].

Temporäre Verschattungselemente

Um die hohe bioklimatische Belastung in Bereichen mit direkter Sonneneinstrahlung zu reduzieren, können als zusätzliche Alternative auch Sonnensegel oder bewachsene Pergolen eingesetzt werden, um in den heißen Nachmittagsstunden Aufenthaltsflächen zu schaffen, in denen nur eine mäßige thermische Belastung vorliegt. Hierfür eignen sich besonders die bioklimatisch hoch belasteten Übungsflächen auf der Südseite der Gebäudes oder der Platz, der die beiden Gebäudeteile miteinander verbindet. Sollten auf der Übungsfläche betriebs- und sicherheitsbedingt keine feststehenden Verschattungselemente realisierbar sein, besteht eine weitere Möglichkeit darin, bedarfsweise mobile Verschattungsmaßnahmen wie beispielsweise Sonnenschirme oder Pavillons einzusetzen.

Zusätzliche Gebäudebegrünung

Das derzeitige Planungskonzept sieht bereits auf nahezu allen Dachflächen eine extensive Dachbegrünung vor.

Zusätzliche Gebäudebegrünungen mit positiven klimatischen Effekten können in Form von einem höheren Anteil an Fassadenbegrünung vorgenommen werden. Diese Begrünungsart liefert zwar keine zusätzlichen Verschattungsflächen, kann aber die Reflexion von den Gebäuden in Richtung Boden reduzieren und die Verdunstung erhöhen, wodurch sich ebenfalls das Bioklima verbessert. Ein weiterer Vorteil dieser Begrünungsart liegt darin, dass die Gebäude tagsüber weniger Wärme aufnehmen, wodurch sich die nächtliche Wärmerückstrahlung ebenfalls reduziert. Zudem greift diese Begrünungsart nur geringfügig in das Windfeld ein. Durch die aktive Bewässerung der Fassadenbegrünung kann auch während anhaltenden Trockenphasen durch Verdunstung Kühle entstehen. Für die Realisierung von Fassadenbegrünung würden sich neben der vorgesehenen Lärmschutzwand insbesondere die stark aufheizenden Süd- und Südwestfassaden der Feuerwache anbieten.

Neben der bereits extensiv begrünten Dachflächen würde sich eine zumindest in Teilbereichen umgesetzte intensive Dachbegrünung zusätzlich positiv auf das Mikroklima auswirken, da mehrschichtige und mächtigere Substrate die Regenwasserrückhaltung verbessern und gleichzeitig in Trockenphasen für eine längere Wasserversorgung der Pflanzen sorgen können. Für die bodennahen Temperaturverhältnisse wirken sich insbesondere Dachbegrünun-

gen auf niedrigen Dächern positiv aus, da hier die im Dachniveau abgekühlte Luft effektiver in den bodennahen Bereich heruntergemischt werden kann, während die auf hohen Dächern abgekühlte Luft nur unwesentlich zu einer Abkühlung im Bodenniveau beitragen kann.

Gebäudestellung

Die Gebäudestellung sollte entsprechend der Umgebung und Windrichtung gewählt werden. Gebäude, die sich entlang der Windrichtung orientieren, ermöglichen eine gute Durchlüftung des Grundstückes. Sowohl die mikroklimatische Untersuchung als auch die Kaltluftuntersuchung hat ergeben, dass die aktuelle Gebäudestellung eine vollständige Durchlüftung des Plangebietes verhindert. Dahingehend sollte, insbesondere im Hinblick auch die thermische und bioklimatische Belastung, in Erwägung gezogen werden, das Plangebäude in Teilen durchströmbär zu gestalten, um eine durchgehende Belüftungsleitbahn zu ermöglichen.

Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten

Um die nächtliche Wärmeaufnahme zu reduzieren ist der gezielte Einsatz von Materialien mit geringer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Helle Beläge auf Verkehrsflächen reflektieren im Gegensatz zu dunklerem Asphalt einen größeren Anteil der einfallenden Sonnenenergie sofort wieder (Albedo) und können damit das Aufheizen der bodennahen Oberflächen erheblich verringern. Dementsprechend wird auch nachts weniger Wärme an die umliegenden Luftschichten abgegeben. Darüber hinaus empfiehlt es sich, die vorgesehenen Stellplätze teilversiegelt, z.B. mit Rasengittersteinen oder Sickerpflaster auszuführen. Zudem sollte die Flächenversiegelung so weit wie möglich reduziert werden, um Versickerung und Verdunstung zu gewährleisten.

Geeignete Baumaterialien verwenden

Typisch städtische Baumaterial wie Beton nehmen aufgrund ihrer thermischen Eigenschaften tagsüber deutlich mehr Energie auf als natürliche Oberflächen wie beispielsweise Holz und geben diese nachts wieder an die Umgebungsluft ab. Um die nächtliche Wärmebelastung zu verringern, ist daher der gezielte Einsatz von Baumaterialien entsprechend ihrer thermischen Eigenschaften sinnvoll. Neben den stofflichen Eigenschaften ist auch die Oberflächenbeschaffenheit der Baumaterialien relevant. Abhängig von der Oberfläche des Materials wird ein Teil der auftreffenden Sonnenenergie sofort wieder reflektiert und steht damit nicht zur Erwärmung zur Verfügung. Helle Baumaterialien erhöhen diesen Effekt, reflektieren also mehr kurzwellige Strahlung. Dadurch heizen sich hell gestrichene Häuser oder Straßen mit hellem Asphaltbelag weniger stark auf und geben im Lauf der Nacht entsprechend weniger Wärme an die Umgebungsluft ab. Um das Bioklima nicht zusätzlich durch starke Reflexionen an sehr hellen Fassaden negativ zu beeinflussen, sollte die Fassade nach Möglichkeit „mittelhell“ mit einem Hellbezugswert (Albedo) zwischen 0,5 und 0,6 gestaltet werden.

Das aktuelle Gebäudekonzept sieht bereits die Gestaltung der oberen Etage aus Holz vor. Hierbei sollte darauf geachtet werden, möglichst helle Holzarten zu verwenden, um einen möglichst hohen Anteil der eintreffenden Sonnenenergie zu reflektieren.

Offene Wasserflächen

Die Verdunstung von Wasser verbraucht Wärmeenergie aus der Luft und kühlt so die aufgeheizte Luft. Indem der Anteil von Wasserflächen in Städten erhöht wird, kann ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig in der meist relativ trockenen Stadtatmosphäre die Luftfeuchtigkeit erhöht werden. Bewegte Wasser wie Springbrunnen oder Wasserzerstäuber tragen hierbei insgesamt in größerem Maß zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen. Hierfür würde sich beispielsweise der vorgesehene Platz, der die beiden Gebäudeteile verbindet und den zukünftigen Eingangsbereich darstellt eignen, da hier die bioklimatische Belastung extrem hoch ausgeprägt ist.

9 Eingangsdaten und Ergebnisse der klimaoptimierten Planvariante

9.1 Eingangsdaten

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden grundsätzlich mögliche Maßnahmen erarbeitet und abgestimmt, mit denen den zu erwartenden Erwärmungstendenzen gegenüber der Ist-situation sowie der Ausbildung thermisch und bioklimatisch stark belasteter Bereiche auf dem Gelände der Feuerwache entgegengewirkt werden kann. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen wurde eine weitere Simulationsrechnung („optimierter Planfall“) für die nordöstliche Anströmungsrichtung durchgeführt. Die klimatische Untersuchung berücksichtigt konkurrierende Belange anderer Fachthemen dabei nicht abschließend.

Anlage 43 zeigt eine Übersicht über die erarbeiteten Optimierungsmaßnahmen. In der Simulationsrechnung wurden die folgenden Maßnahmen berücksichtigt:

- Begrünung der Lärmschutzwand entlang der straßenzugewandten Seite entlang der Straße In der Koppel
- Bodengebundene Fassadenbegrünung an den sonnenzugewandten Süd- und Westfassaden. Ausgenommen sind der Übungsturm sowie die südlichen Fassadenabschnitte, die für Garagen vorgesehen sind
- Intensive, bewässerte Dachbegrünung auf den Dachflächen, auf denen bisher eine extensive Dachbegrünung vorgesehen ist
- Entsiegelung der Stellplatzflächen durch teilversiegelte Materialien (z.B. Rasengittersteine)
- Gestaltung des Platzes ohne umschließende Mauer sowie Errichtung einer begrünten Pergola in Holzbauweise
- Überdachung der Stellplätze entlang der Lärmschutzwand an der Straße in der Koppel in einer begrünten Holzbauweise
- Baumpflanzungen auf der Grünfläche: Großkronige, 30 m-hohe Bäume
- Verwendung heller Baumaterialien: helle Klinkerfassade im EG und helles Holzmaterial im OG (Albedowert 0,55)

Die Empfehlung, die Gebäudestellung zur Verbesserung der Durchlüftung offener zu gestalten, wird aufgrund des fortgeschrittenen Planungsstandes sowie aus schallschutztechnischen Gründen in der optimierten Planungsvariante nicht berücksichtigt.

Die Eingangsdaten zur Vegetation und zur Oberflächenbeschaffenheit für den optimierten Planfall werden in Anlage 44 und Anlage 45 dargestellt.

9.2 Ergebnisse der mikroklimatischen Simulation

9.2.1 Durchlüftung

Anlage 46 zeigt die simulierten Windgeschwindigkeiten für den Planfall und den optimierten Planfall sowie die aus der Optimierung resultierenden Windgeschwindigkeitsdifferenzen für die untersuchte nordöstliche Windrichtung.

Zur Durchlüftungssituation im optimierten Planfall lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Durch die freiere Gestaltung des Platzes zwischen den beiden Gebäudeteilen ohne umgebende Mauer wird dieser insgesamt etwas besser durchlüftet.
- Aufgrund des geringen Strömungswiderstandes im Stammbereich und leichter Kanalisierungseffekte zwischen den Bäumen werden im optimierten Planfall bodennah im Bereich des breiten Grünstreifens geringfügig höhere Windgeschwindigkeiten von bis zu 0,4 m/s im Vergleich zum Planfall ausgewiesen.
- Durch die Überdachung der Stellplätze entlang der Lärmschutzwand sind hier kleinräumig geringfügige Abnahmen der Windgeschwindigkeiten von bis zu 0,3 m/s zu erwarten.
- Im Vergleich zum Planfall ergeben sich durch die Optimierungsmaßnahmen keine weiteren Änderungen der Durchlüftung im direkten Umfeld der Feuerwache.

9.2.2 Lufttemperatur um 14 Uhr

Anlage 47 zeigt die simulierten Lufttemperaturen für den Planfall und den optimierten Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen zur wärmsten Tagesstunde für die untersuchte Hauptwindrichtung Nordost.

Aus der Ergebnisauswertung zum optimierten Planfall können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die klimaoptimierten Maßnahmen bewirken eine deutliche Reduktion der thermischen Belastung innerhalb der Plangebietsgrenzen.
- Der deutlichste Abkühlungseffekt wird durch die Verschattung infolge der neuen Bäume im Grünstreifen erzielt. Im für die Simulationen angenommenen ausgewachsenen Zustand mit 30 m Höhe und einer breiten Krone werden in den heißen Nachmittagsstunden Teile der sich stark aufheizenden Asphaltfläche verschattet, sodass

sich die Oberflächen in den heißen Nachmittagsstunden weniger stark aufheizen. Hierdurch wird eine deutliche Abkühlung von bis zu 1,0 °C erreicht.

- Hinsichtlich der Verschattung durch die neuen Bäume gilt zu beachten, dass in den Simulationen der 21. Juni mit dem Sonnenhöchststand berücksichtigt wurde. Aufgrund des niedrigeren Sonnenstandes mit entsprechend längeren Schattenwürfen würden sich die Bäume an anderen heißen Sommertagen noch positiver auf das thermische Belastungsniveau in der Nähe der Übungsfläche auswirken.
- Zudem wird über die Verdunstungskühlleistung der bodengebundenen Fassadenbegrünung und der bewässerten intensiven Dachbegrünung der Luft Wärme entzogen, was sich ebenfalls auf das nachmittägliche Temperaturniveau auswirkt.
- Die Verschattung durch begrünte Überdachungen im Bereich der Stellplätze entlang der Lärmschutzwand und auf dem Platz bewirken in Kombination mit der Entsiegelung der Stellplatzflächen eine reduzierte Aufheizung der Materialien und leisten damit ebenfalls einen Beitrag zur Reduktion der thermischen Belastung am Nachmittag. Im Kombination mit der verbesserten Durchlüftung können die Temperaturen im Bereich des Platzes um bis zu 0,3 °C reduziert werden.
- Die Erwärmungstendenzen außerhalb des Plangebietes, wie sie schon im Planfall ohne Optimierungsmaßnahmen aufgetreten sind, können durch die realisierbaren Anpassungsmaßnahmen jedoch nicht vollständig kompensiert werden. Durch eine klimaoptimierte Umsetzung des Planvorhabens treten somit weiterhin leichte Temperaturerhöhungen um bis zu 0,15 °C außerhalb der Plangrenzen auf. Hiervon sind jedoch keine sensiblen Wohnnutzungen betroffen, sodass diese als geringfügigen Zunahmen als unkritisch betrachtet werden können.

9.2.3 Lufttemperatur um 4 Uhr

Anlage 48 zeigt die simulierten Lufttemperaturen für den Planfall und den optimierten Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen in der kältesten Nachtstunde.

Aus der Ergebnisauswertung können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die geringfügigen Erwärmungstendenzen innerhalb des Plangebietes, die aus der Bebauung der Freifläche resultieren, können durch die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen vollständig kompensiert werden.
- Infolge der verringerten Wärmeaufnahmen der Materialien durch die neue Verschattung, der zusätzlichen Gebäudebegrünung und durch den Einsatz heller Baumateri-

alien wird der Wärmeaufnahme in den Tagstunden und somit der Wärmeabgabe in den Nachtstunden entgegengewirkt.

- Durch die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen können gegenüber dem Planfall ohne Optimierungen Temperaturreduktionen von bis zu 0,3 °C zwischen Plangebäude und Lärmschutzwand und bis zu 0,2 °C in weiten Teilen innerhalb der Plangebietsgrenzen erzielt werden. Leichte Abkühlungstendenzen reichen bis in ca. 150 m Entfernung zu den Plangebietsgrenzen hinaus.

9.2.4 Bioklima (PET) am Nachmittag

Anlage 49 zeigt die simulierten PET-Werte für den Planfall und den optimierten Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für die untersuchte Hauptwindrichtung an Hitzetagen am Nachmittag.

Aus der Ergebnisauswertung können folgende Aussagen getroffen werden:

- Durch die Verschattung der neuen Bäume im Grünstreifen werden großräumige Verschattungszonen generiert, in denen keine oder nur eine schwache thermische Belastung vorliegt. Gegenüber dem Planfall kann hierdurch eine großflächig eine Reduktion des PET-Wertes zwischen 5 und 18 °C erzielt werden.
- Durch die neue Verschattung wird auf dem Platz, der die beiden Gebäudeteile verbindet, in Kombination mit der verbesserten Durchlüftung eine deutliche Verbesserung der bioklimatischen Belastung erreicht. Ebenso geht die Überdachung der Stellplätze entlang der Lärmschutzwand lokal auch mit deutlich reduzierten PET-Werten gegenüber dem Planfall einher.
- Kleinräumig sind im Bereich der Stellplätze auch leichte Zunahmen des PET-Wertes zu erwarten, was auf die verminderte Windgeschwindigkeit zurückzuführen ist. Hier von sind jedoch keine Aufenthaltsflächen betroffen, sodass diese Zunahmen, auch aufgrund der geringen Ausprägung von rund 2 °C, als nicht signifikant eingestuft werden können.
- Eine geringfügige Erhöhung der PET-Werte ist nach Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen auch auf der Rasenfläche im westlichen Teilbereich des Plangebiets zu erwarten, welche auf eine durch die hohen Bäume bedingte Veränderung des Windfeldes zurückzuführen sind. Da sich diese leichten Erhöhungen auf ungenutzte Rasenflächen innerhalb der Plangebietsgrenzen beschränken und auch nur sehr schwach ausgeprägt sind, können diese als unkritisch eingestuft werden.

- Als bioklimatisch extrem belastet erweist sich weiterhin die vorgesehene Übungsfläche vor der Südfassade der Feuerwache. Da hier aus betriebs- und sicherheitstechnischen Gründen keine feststehenden Verschattungselemente realisierbar sind, sollten hier nach Möglichkeit bedarfsweise mobile Verschattungmaßnahmen, z.B. durch Sonnenschirme oder Pavillons realisiert werden, um die extreme Belastung an einem Hitzetag in den Nachmittagsstunden zu reduzieren.

10 Zusammenfassung

Die Stadt Bottrop plant auf den Flurstücken 472 und 473 den Neubau einer Feuer- und Rettungswache als Ersatz für die derzeit bestehende Feuerwache im Stadtbezirk Kirchhellen. Im Zuge des Klimawandels hat sich der Anspruch an städtebauliche Planungen in den letzten Jahren erhöht, sodass für das Vorhaben die bioklimatischen Auswirkungen umfänglich erfasst sowie die Planungen an die Auswirkungen des Klimawandels (insbesondere Hitze und Starkregen) angepasst werden sollen.

In der Klimaanalysekarte der Stadt Bottrop [6] wird die derzeit unversiegelte, landwirtschaftlich genutzte Fläche dem Freilandklima zugeordnet und dient somit als Frischluft- und Kaltluftproduktionsgebiete für den Ortsteil Kirchhellen. Darüber hinaus soll die laut Planungshinweiskarte [7] als regional bedeutsamer Ausgleichsraum gekennzeichnete Fläche gesichert und aufgewertet werden, indem sie von Bebauung freigehalten wird und Grünzüge ausgebaut werden.

Aufgrund der stadtklimatisch sensiblen Funktion des Plangebietes wurde auf Veranlassung der Stadt Bottrop eine Klimauntersuchung durchgeführt, in der die Auswirkungen des Vorhabens auf das Kaltluftgeschehen und die sommerliche Hitzebelastung ermittelt und bewertet wurden. Zunächst wird hierfür in der Plansituation die aktuelle Gebäude- und Außenanlagenplanung zugrunde gelegt, woraus lokalspezifische Planungsempfehlungen zur Klimaanpassung erarbeitet wurde, welche in einer weiteren, optimierten Planungsvariante gutachterlich geprüft wurden.

Es wurden zunächst die folgenden Szenarien untersucht:

- Istfall: derzeit unbebaute Fläche, aktueller Vegetationsbestand und aktuelle Oberflächenbeschaffenheit, realisierter Bebauungsplan Nr. 48 „Schultenkamp/Dorfheide“ [4] östlich des Plangebietes
- Planfall: Zukünftige Bebauungssituation nach Realisierung der Planung entsprechend der aktuellen Außenanlagenplanung [1] sowie der zur Verfügung gestellten Lagepläne, Querschnitte Ansichten [2] und Dachaufsichten [3]

Die Kaltluftuntersuchungen wurden mit dem Kaltluftmodell KLAM_21 in der aktuellen Version 2.012 ([11], [12]) unter Berücksichtigung des Reliefs und der Landnutzung durchgeführt (vgl. Kapitel 6.2). Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen und der Bewertung von planungsbedingten Veränderungen werden der Kaltluftvolumenstrom und die Kaltluftmächtigkeit sowie das Kaltluftströmungsfeld herangezogen. Die Beurteilung der vorhabensbedingten Veränderung erfolgte gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ ([10], vgl. Kapitel 4.1.2).

Die mikroklimatischen Untersuchungen zur Ermittlung der Auswirkungen auf die sommerliche Hitzebelastung wurden mithilfe des Stadtklimamodells ENVI-met in der Version 5.03 (Summer Release 2022) [13] für den Ist- und Planfall sowie für den optimierten Planfall durchgeführt. Hierbei wurden die in Bottrop an heißen Sommertagen typische nordöstliche Anströmungsrichtung sowie die allgemein häufig auftretende südwestliche Anströmungsrichtung für den Ist- und Planfall berücksichtigt. Im optimierten Planfall wurde lediglich die nordöstliche Windrichtung untersucht. In die Klimasimulation fließen 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 Durchlüftungsverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

Die Berechnungsergebnisse zum Kaltluftgeschehen im Istfall zeigen, dass zwei Stunden nach Sonnenuntergang Kaltluft, welche auf den höher gelegenen Frei- und Waldflächen im Osten von Kirchhellen gebildet wird, dem Gelände folgend in Richtung Bottroper Stadtgebiet abfließt. Ein Teil dieser Strömung fließt dabei in Richtung Kirchhellen, sodass das Plangebiet von einer schwachen, von Südwest nach Nordost gerichteter Kaltluftströmung durchströmt wird. Zu diesem Zeitpunkt dringt die Strömung jedoch noch nicht weit in die angrenzenden bebauten Bereiche von Kirchhellen ein (vgl. Kapitel 6.3.1). Zum Zeitpunkt sechs Stunden nach Sonnenuntergang (vgl. Kapitel 6.3.2) zeigt sich, dass sich die Reichweite und Intensität der aus Osten stammenden Kaltluftströmung deutlich erhöht hat und somit im Kirchhellener Stadtgebiet für eine verbesserte Durchlüftung und Abkühlung sorgt. Im Plangebiet selbst hat sich die Kaltluftvolumenstromdichte im Vergleich zu den frühen Nachtstunden jedoch kaum erhöht, was auf die gestiegene Kaltluftmächtigkeit zurückzuführen ist. Zudem dreht die Strömung im Lauf der Nacht auf eher westliche Richtungen, sodass das Plangebiet nicht mehr wie in den frühen Nachtstunden als schwache Leitbahn für Kaltluft in das Kirchhellener Stadtgebiet dient.

Durch die neue Feuerwache wird zu beiden Auswertezeitpunkten eine Umlenkung des Kaltluftvolumenstroms bewirkt, sodass sich die Strömung auf der strömungszu- und abgewandten Gebäudeseite bis in die nordöstlich angrenzende Wohnbebauung hinein abschwächt, sich gleichzeitig aber an den Gebäudekanten durch Umlenkeffekte intensiviert. Daraus ergeben sich prozentuale Zu- und Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms, die gemäß dem Klassifizierungsschema der VDI 3787 Blatt 5 als „hoch“ einzustufen sind. Diese signifikanten Änderungen beschränken sich jedoch auf das nahe Umfeld des Planvorhabens, sodass eine signifikante und weitreichende Abschwächung der Kaltluftströmung in Richtung Kirchhellener Stadtgebiet auf Grundlage der Simulationsergebnisse ausgeschlossen werden konnte.

Bezüglich der prozentualen Änderungen der Kaltluftmächtigkeit konnten sowohl nach zwei als auch nach sechs Stunden nach Sonnenuntergang lediglich Änderungen oberhalb der Plangebäude festgestellt werden. Im Umfeld des Planvorhabens wirkt sich das Vorhaben in Bezug auf die Kaltluftmächtigkeit nicht aus.

Die Berechnungsergebnisse der mikroklimatischen Untersuchung in Kapitel 7.3 haben gezeigt, dass sich in Bezug auf die Durchlüftungssituation und die bioklimatischen Verhältnisse die planungsbedingten Auswirkungen auf das direkte Umfeld des Planvorhabens beschränken.

Hinsichtlich der thermischen Belastungen konnten auf Grundlage der Simulationsergebnisse sowohl innerhalb als auch außerhalb der Plangrenzen Temperaturzu- und abnahmen durch die Umsetzung des Vorhabens FW2 festgestellt werden. Bezüglich des Temperaturniveaus ist am Nachmittag mit geringfügigen Temperaturzunahmen bei nordöstlicher Anströmungsrichtung und mit leichten Temperaturabnahmen bei südwestlicher Anströmungsrichtung in der angrenzenden Bebauung zu rechnen. Bei der südwestlichen Windrichtung reichen leichte Temperaturzunahmen in der Nacht bis in die östlich angrenzenden Bebauung hinein.

Aufgrund der veränderten Bebauungssituation, einem geringeren Vegetationsanteil, einem höheren Versiegelungsgrad und einer daraus resultierenden veränderten Durchlüftungs- und Strahlungssituation bilden sich zudem innerhalb des Plangebietes Bereiche mit sehr hohen bioklimatischen und thermischen Belastungen aus.

Da die Aufenthalts- und Übungsflächen der Feuerwache sowohl von den nachmittäglichen und nächtlichen Temperaturerhöhungen als auch von den hohen PET-Werten betroffen sind und die Mitarbeitenden der Feuerwehr während ihrer Arbeitszeit besonderen körperlichen Belastungen ausgesetzt sind, sollten bei fortschreitender Planung Maßnahmen zur Reduktion des Belastungsniveaus berücksichtigt werden. Die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen (vgl. Kapitel 8) können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des thermischen und bioklimatischen Belastungsniveaus beitragen:

- Erhöhung des Baumanteils in der privaten Grünfläche zur Erhöhung der Verschattungswirkung und Verdunstungskühlleistung durch Vegetation
- temporäre Verschattungselemente wie beispielsweise Sonnensegel oder begrünte Pergolen zur Reduktion der bioklimatischen Belastung oder bedarfsweise mobile Verschattungsmaßnahmen wie beispielsweise Sonnenschirme oder Pavillons auf den Übungsflächen
- weitere Gebäudebegrünung in Form von Fassadenbegrünung an der Lärmschutzwand sowie an Süd- und Westfassaden der Feuerwache und intensiver Dachbegrünung zur Verringerung von Reflexionen auf den Aufenthalts- und Übungsflächen sowie der Erhöhung der Verdunstungsleistung
- Optimierung der Gebäudestellung in Form von durchströmbaren Gebäudeteilen

- klimaoptimierte Gestaltung der Oberflächen, z.B. durch Einsatz teilversiegelter Materialien im Bereich der Stellplätze
- Verwendung von natürlichen und hellen Baumaterialien
- Schaffung offener Wasserflächen bzw. Realisierung von Springbrunnen oder Wasserzerstäubern

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden grundsätzlich mögliche Maßnahmen erarbeitet, mit denen den zu erwartenden mikroklimatischen Auswirkungen entgegengewirkt werden kann. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen wurde eine weitere Simulationsrechnung („optimierter Planfall“) mit der nordöstlichen Anströmungsrichtung durchgeführt (vgl. Kapitel 9).

Hierbei wurden folgende Optimierungsmaßnahmen angesetzt:

- Begrünung der Lärmschutzwand an der straßenzugewandten Seite entlang der Straße In der Koppel
- Bodengebundene Fassadenbegrünung an den sonnenzugewandten Süd- und Westfassaden. Ausgenommen sind der Übungsturm sowie die südlichen Fassadenabschnitte, die für Garagen vorgesehen sind
- Intensive, bewässerte Dachbegrünung auf den Dachflächen, auf denen bisher eine extensive Dachbegrünung vorgesehen ist
- Entsiegelung der Stellplatzflächen mittels teilversiegelter Materialien (z.B. Rasengittersteine)
- Gestaltung des Platzes ohne umschließende Mauer sowie Errichtung einer begrünten Pergola in Holzbauweise
- Überdachung der Stellplätze entlang der Lärmschutzwand an der Straße in der Koppel in einer begrünten Holzbauweise
- Baumpflanzungen auf der Grünfläche: Großkronige, 30 m-hohe Bäume
- Verwendung heller Baumaterialien: helle Klinkerfassade im EG und helles Holzmaterial im OG (Albedowert 0,55)

Die Berechnungsergebnisse in Kapitel 9.2 haben gezeigt, dass mit den Optimierungsmaßnahmen die thermische Belastung und die zu erwartenden Erwärmungen am Nachmittag insbesondere innerhalb des Plangebietes deutlich reduziert werden können. Aufgrund der unvermeidbaren asphaltierten Oberflächenbeschaffenheit und der damit verbundenen starken Aufheizung der Oberflächen können die planungsbedingten, leichten Temperaturzunahmen in der westlich angrenzenden Bebauung nicht vollständig kompensiert, jedoch aber deutlich reduziert werden. In den Nachtstunden kann durch die Optimierungsmaßnahmen ein gewünschter Abkühlungseffekt gegenüber dem aktuellen Planstand erzielt werden, so dass den zu erwartenden Erwärmungstendenzen gegenüber der Istsituation entgegengewirkt werden kann.

In Bezug auf die bioklimatische Belastungssituation wird durch die Realisierung der klimaoptimierten Maßnahmen insbesondere eine deutliche Verbesserung im Bereich der Bäume entlang der Grünfläche erreicht. Zudem wird durch die Verschattungsmaßnahmen und die durchströmbare Gestaltung auf dem zuvor sehr stark belasteten Platz zwischen den Gebäudeteilen eine deutliche Reduktion des PET-Wertes erreicht. Das Ziel, die bioklimatische Belastung auf der Übungsfläche südlich des Plangebäudes möglichst gering zu halten, um die Mitarbeitenden der Feuerwehr nicht zusätzlich zu belasten, kann durch die zu Grunde gelegten, realisierbaren Optimierungsmaßnahmen an einem heißen Sommertag im Juni nicht vollständig erreicht werden.

Aus Vorsorgegründen für die Mitarbeitenden der Feuerwache sollte dennoch eine Vielzahl an Minderungsmaßnahmen berücksichtigt werden, um die thermische und bioklimatische Belastung zu reduzieren.

Peutz Consult GmbH

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

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

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Lageplan des Planvorhabens „Feuer- und Rettungswache (FW2)“ in Bottrop Kirchhellen
- Anlage 2 Übersichtslageplan im Umfeld des Planvorhabens im Istfall
- Anlage 3 Übersichtslageplan im Umfeld des Planvorhabens im Planfall
- Anlage 4 Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte der Stadt Bottrop im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 5 Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte der Stadt Bottrop im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 6 Windrichtungs- und geschwindigkeitsverteilung an der LANUV-Station Bottrop-Welheim im Zeitraum 2012 – 2021 (links: alle Situationen; rechts: $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- Anlage 7 Fließwege und Senken im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 8 Maximale Fließtiefe bei einem Starkniederschlag von 45 mm/h
- Anlage 9 Maximale Fließtiefe bei einem Starkniederschlag von 90 mm/h
- Anlage 10 Maximale Fließgeschwindigkeit bei einem Starkniederschlag von 45 mm/h
- Anlage 11 Maximale Fließgeschwindigkeit bei einem Starkniederschlag von 90 mm/h
- Anlage 12 Geländehöhen und Lage des Nestinggebietes innerhalb des äußeren Rechengebietes
- Anlage 13 Landnutzung innerhalb des KLAM-Rechengebietes – Übersicht
- Anlage 14 Landnutzung innerhalb des KLAM-Nestinggebietes - Istfall

- Anlage 15 Landnutzung innerhalb des KLAM-Nestinggebietes - Planfall

- Anlage 16 Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im KLAM-Rechengebiet

- Anlage 17 Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens - Istfall

- Anlage 18 Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens – Planfall

- Anlage 19 Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

- Anlage 20 Absolute Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

- Anlage 21 Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens - Istfall

- Anlage 22 Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens – Planfall

- Anlage 23 Prozentuale Änderung der Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

- Anlage 24 Absolute Änderung der Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

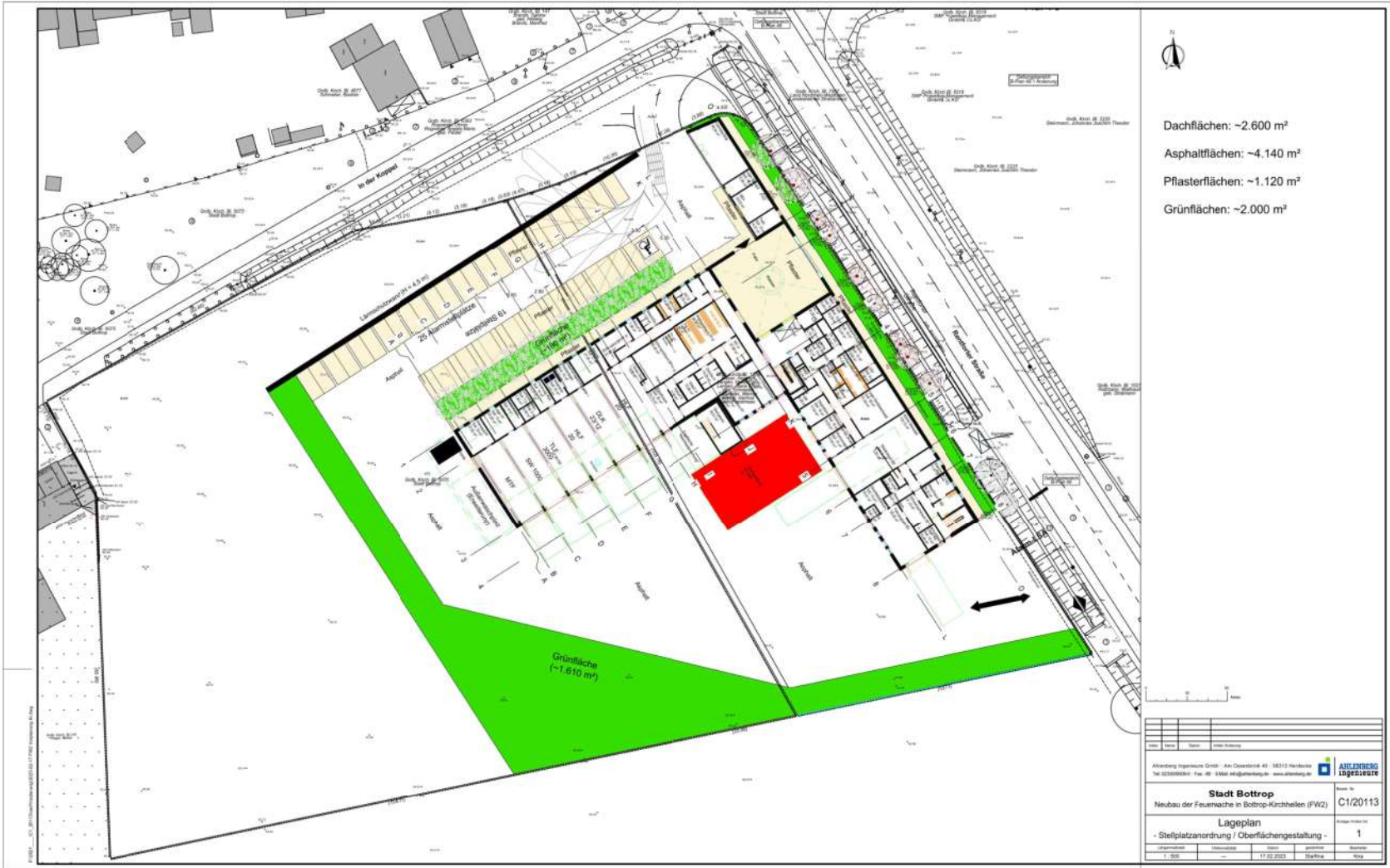
- Anlage 25 Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im KLAM-Rechengebiet

- Anlage 26 Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens – Istfall

- Anlage 27 Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens – Planfall
- Anlage 28 Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 29 Absolute Änderung des Kaltluftvolumenstroms sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 30 Kaltlufthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens – Istfall
- Anlage 31 Kaltlufthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens – Planfall
- Anlage 32 Prozentuale Änderung der Kaltlufthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 33 Absolute Änderung der Kaltlufthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 34 ENVI-met Modell-Architektur
- Anlage 35 Vegetation im Istfall
- Anlage 36 Vegetation im Planfall
- Anlage 37 Oberflächenbeschaffenheiten im Istfall
- Anlage 38 Oberflächenbeschaffenheiten im Planfall
- Anlage 39 Windfeld in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 70° bzw. 220°

- Anlage 40 Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 70° bzw. 220°
- Anlage 41 Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 70° bzw. 220°
- Anlage 42 PET-Werte in 1,5 m Höhe über Grund am Nachmittag bei einer Anströmungsrichtung von 70° bzw. 220°
- Anlage 43 Klimaoptimierte Planungsempfehlungen
- Anlage 44 Vegetation im optimierten Planfall
- Anlage 45 Oberflächenbeschaffenheiten im optimierten Planfall
- Anlage 46 Windfeld in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 70° (optimierter Planfall)
- Anlage 47 Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 70° (optimierter Planfall)
- Anlage 48 Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei einer Anströmungsrichtung von 70° (optimierter Planfall)
- Anlage 49 PET-Werte in 1,5 m Höhe über Grund am Nachmittag bei einer Anströmungsrichtung von 70° (optimierter Planfall)

Anlage 1: Lageplan des Planvorhabens „Feuer- und Rettungswache (FW2)“ in Bottrop-Kirchhellen



Anlage 2: Übersichtslageplan im Umfeld des Planvorhabens im Istfall



 Plangebiet

0 50 100 150 200 m



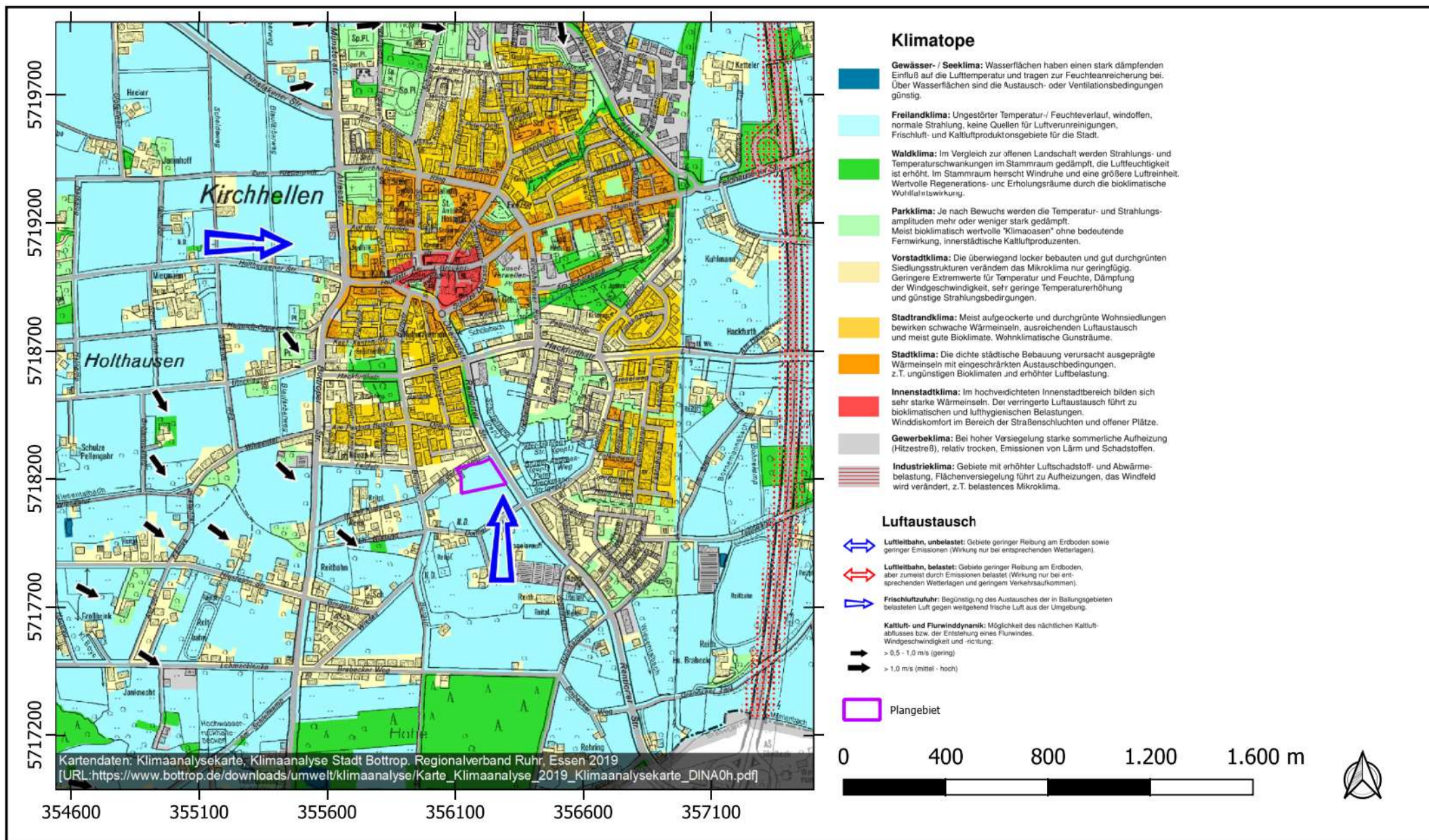
Anlage 3: Übersichtslageplan im Umfeld des Planvorhabens im Planfall



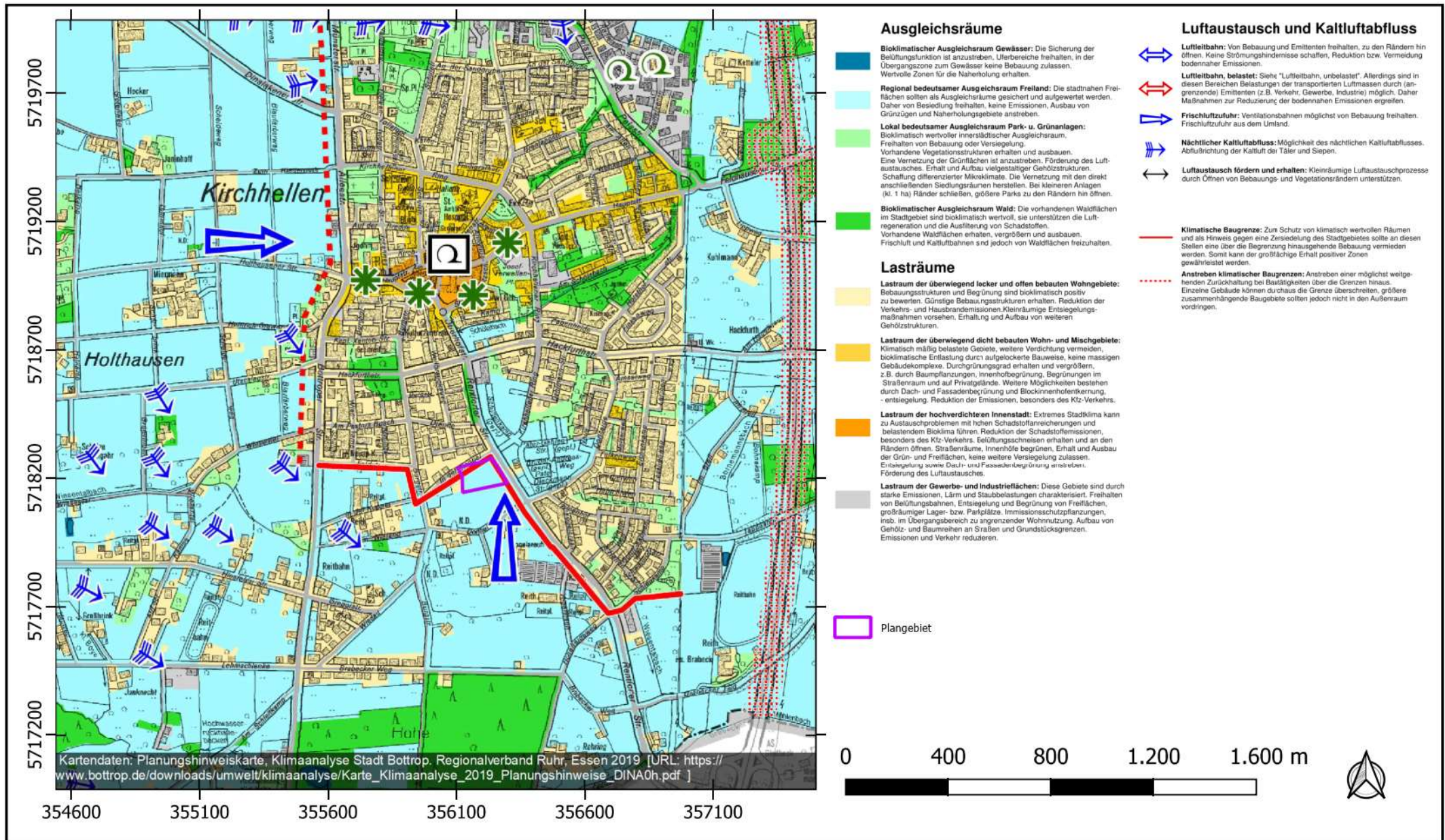
Plangebiet

0 50 100 150 200 m



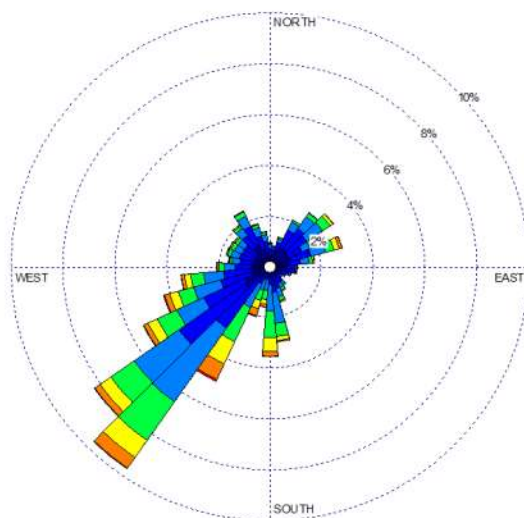


Anlage 5: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte der Stadt Bottrop im Umfeld des Planvorhabens



Anlage 6: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der LANUV-Station Bottrop-Welheim
im Zeitraum 2012 - 2021

- alle Situationen -

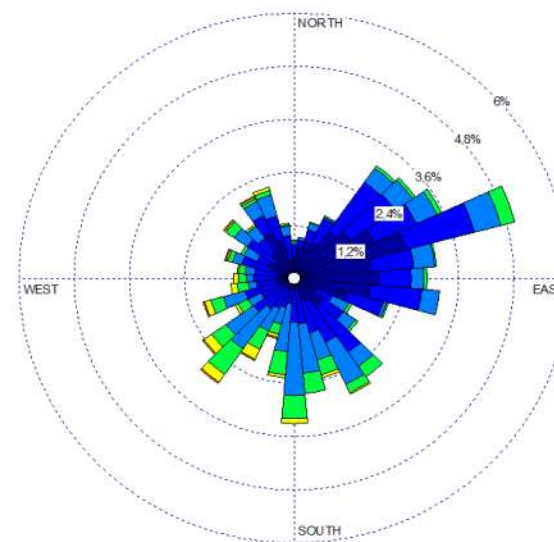


WIND SPEED
(m/s)

Red	>= 8,00
Orange	6,00 - 8,00
Yellow	5,00 - 6,00
Light Green	4,00 - 5,00
Blue	3,00 - 4,00
Dark Blue	2,00 - 3,00
Dark Blue	1,00 - 2,00

Calms: 9,13%

- Tage mit Tmax > 30°C -

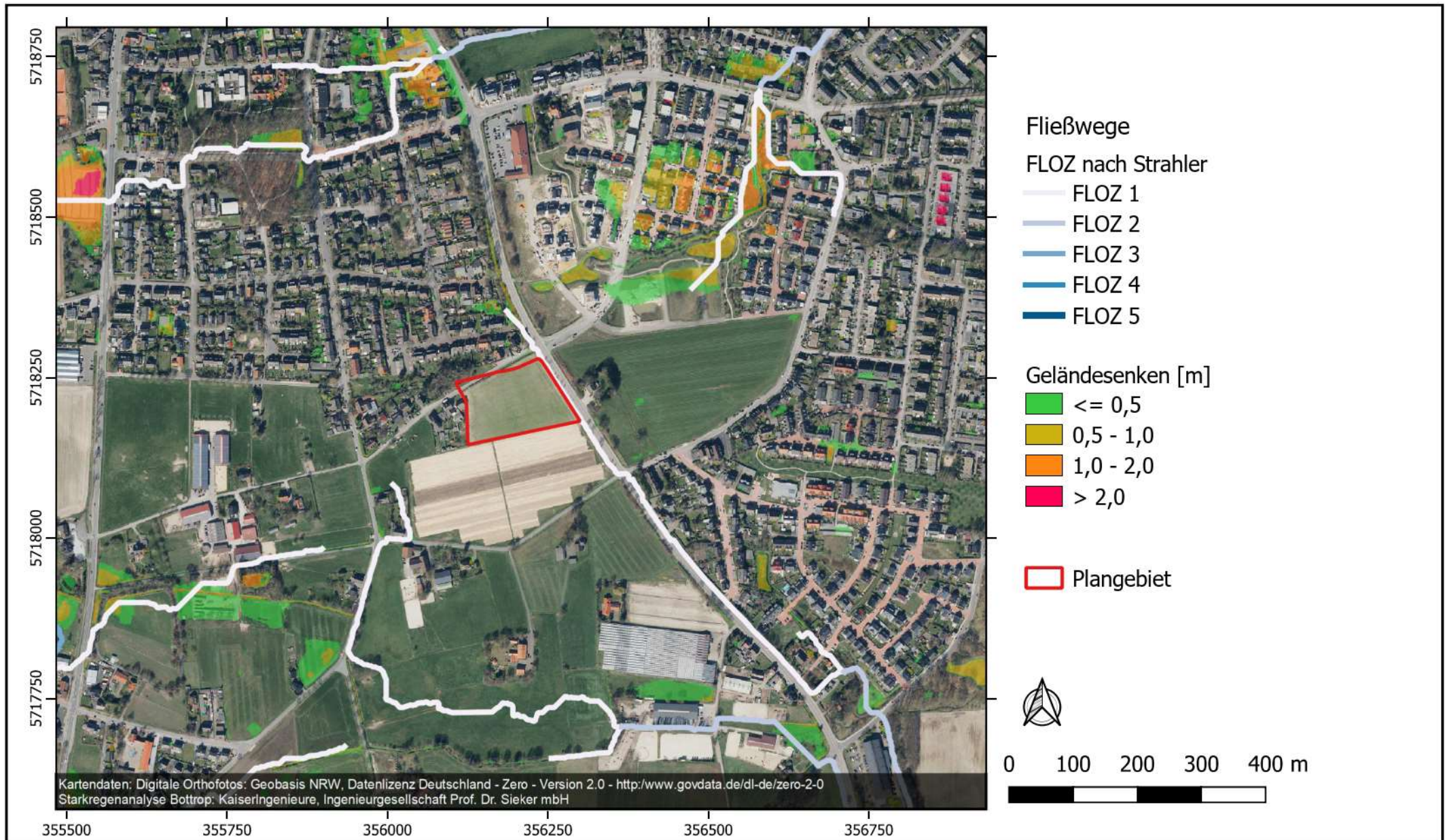


WIND SPEED
(m/s)

Red	>= 8,00
Orange	6,00 - 8,00
Yellow	5,00 - 6,00
Light Green	4,00 - 5,00
Blue	3,00 - 4,00
Dark Blue	2,00 - 3,00
Dark Blue	1,00 - 2,00

Calms: 17,53%

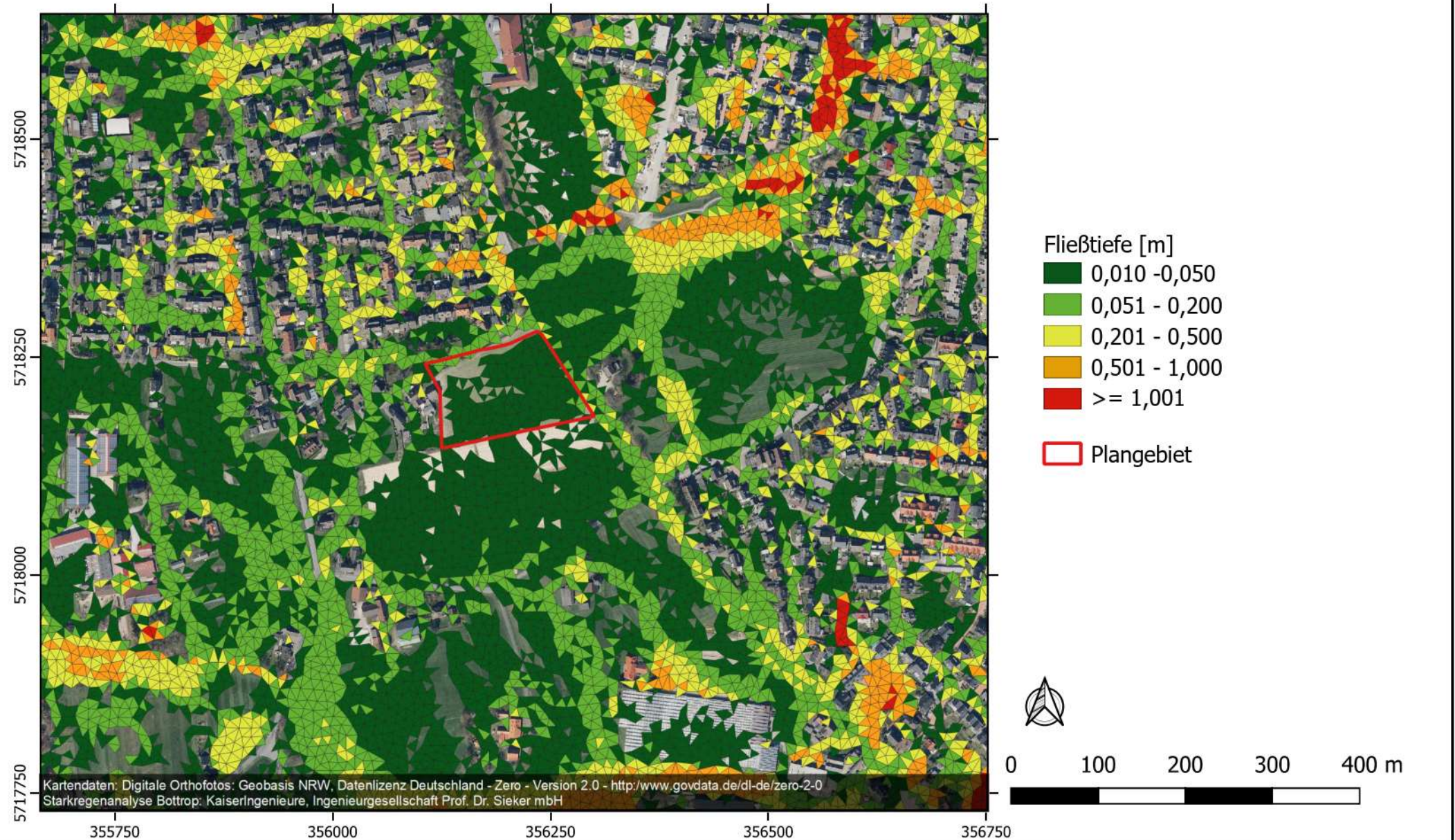
Anlage 7: Fließwege und Senken im Umfeld des Planvorhabens



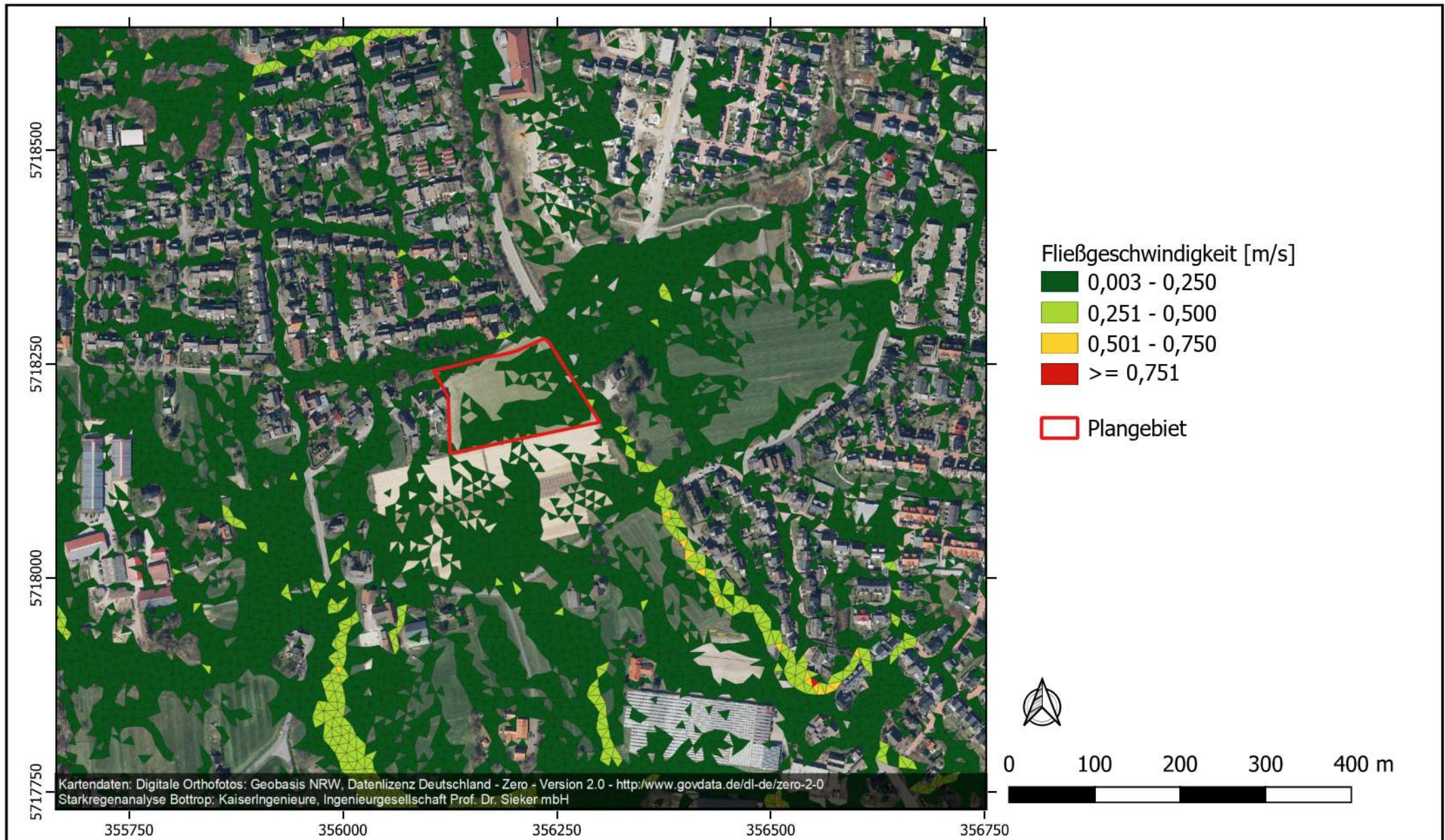
Anlage 8: Maximale Fließtiefe bei einem Starkniederschlag von 45 mm/h



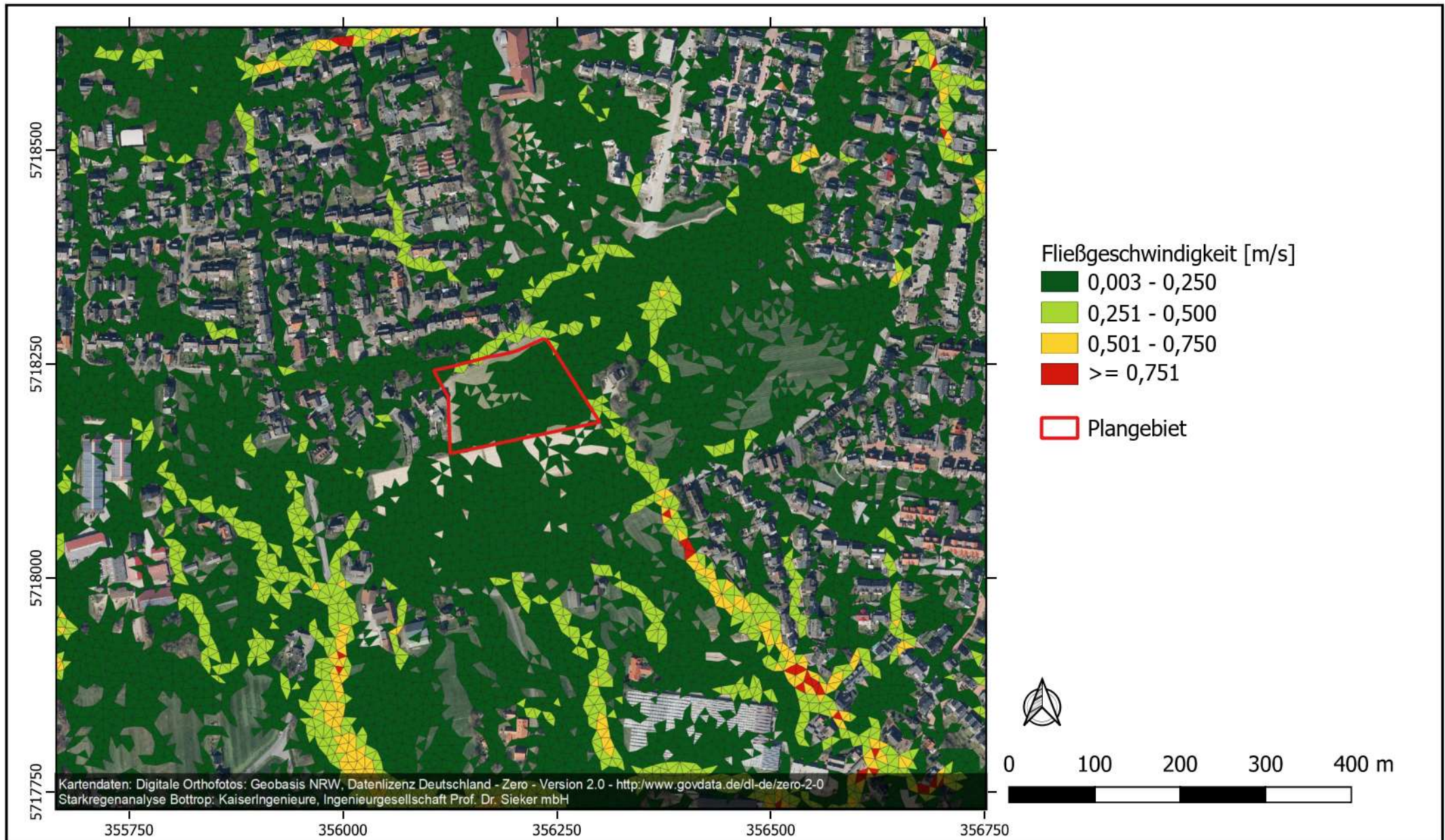
Anlage 9: Maximale Fließtiefe bei einem Starkniederschlag von 90 mm/h



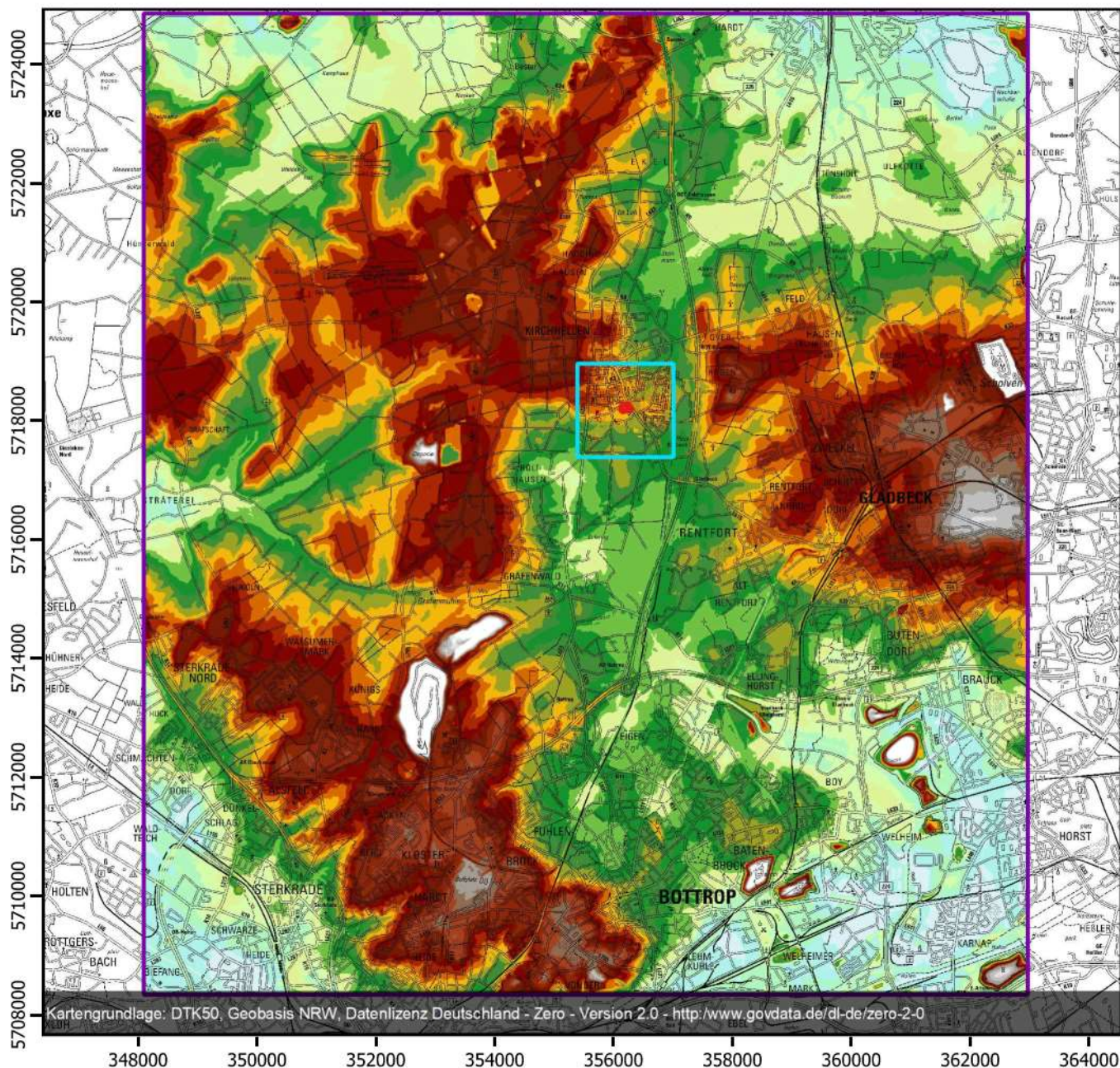
Anlage 10: Maximale Fließgeschwindigkeit bei einem Starkniederschlag von 45 mm/h



Anlage 11: Maximale Fließgeschwindigkeit bei einem Starkniederschlag von 90 mm/h



Anlage 12: Geländehöhen und Lage des Nestinggebietes innerhalb des äußeren Rechengebietes - Übersicht



Geländehöhe ü. NHN [m]

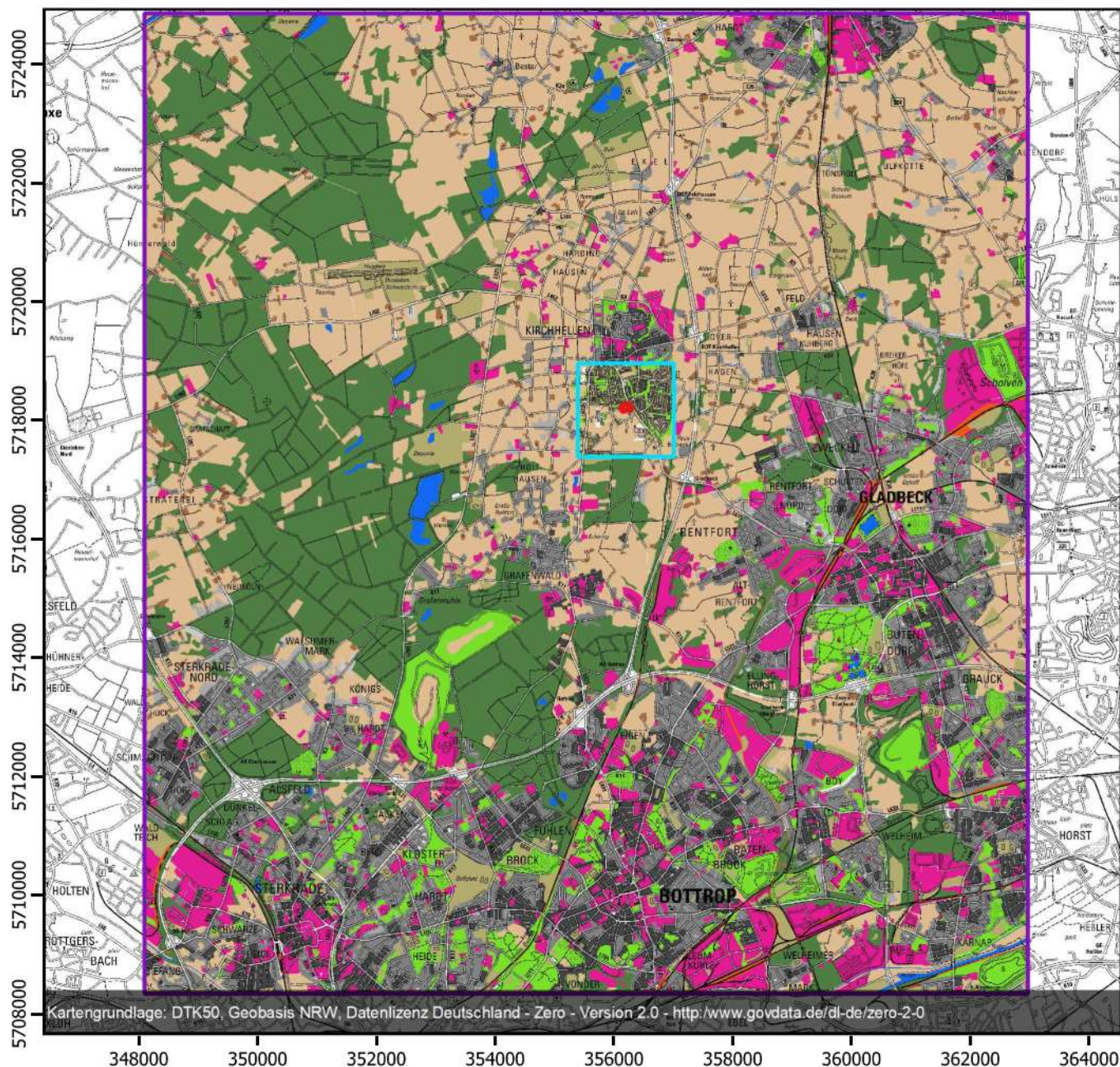
<= 30	48 - 51	69 - 72
30 - 33	51 - 54	72 - 75
33 - 36	54 - 57	75 - 78
36 - 39	57 - 60	78 - 81
39 - 42	60 - 63	81 - 84
42 - 45	63 - 66	84 - 87
45 - 48	66 - 69	> 87

- Plangebiet
- Inneres Rechengebiet ("Nesting")
- Äußeres Rechengebiet

0 1.500 3.000 4.500 6.000 m



Anlage 13: Landnutzung innerhalb des KLAM-Rechengebietes - Übersicht



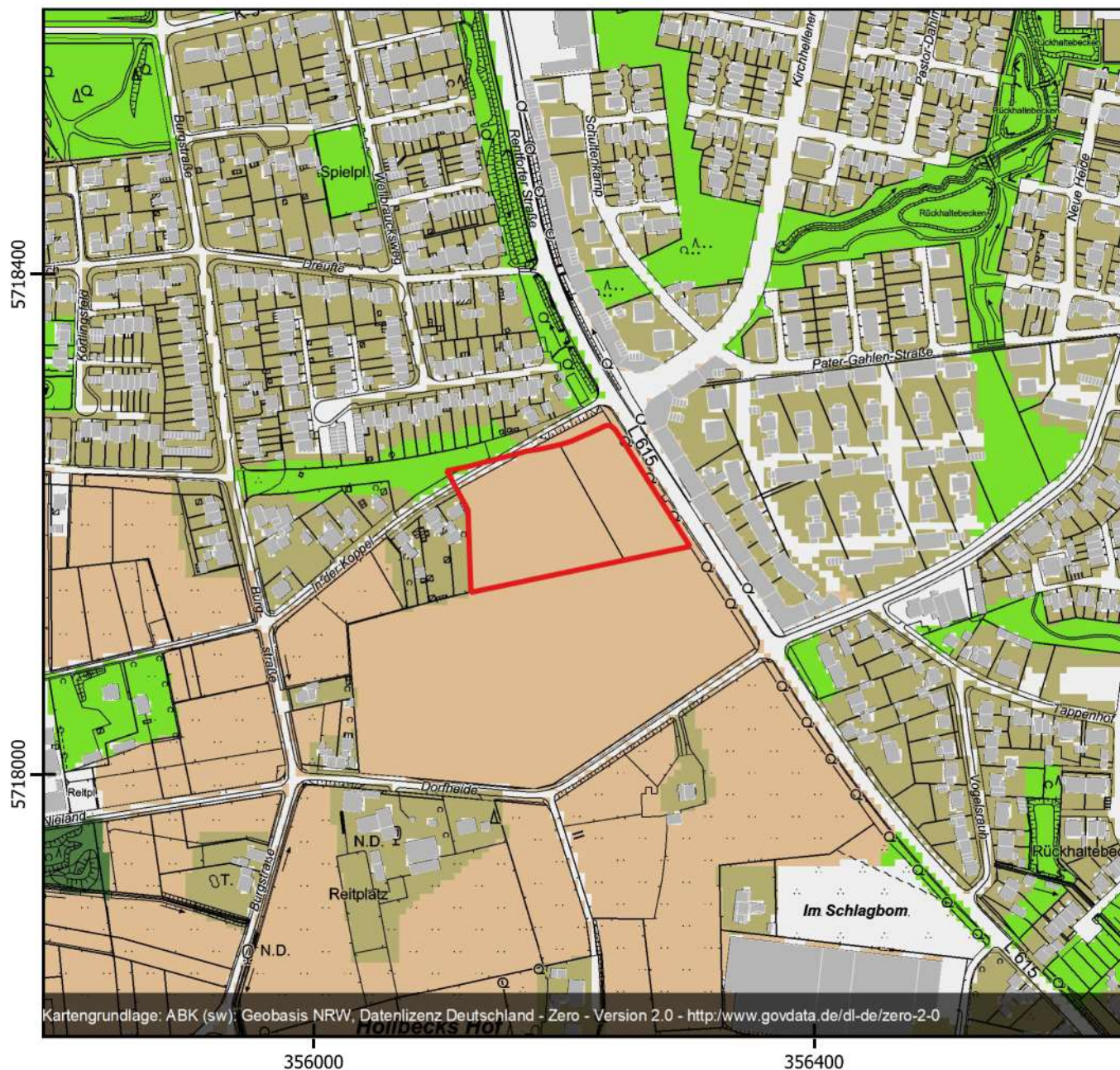
Landnutzung

Wald	Siedlungsstruktur (VG > 80 %)	Plangebiet
halb versiegelte Fläche	Siedlungsstruktur (VG 50 – 80 %)	Inneres Rechengebiet ("Nesting")
Park	Siedlungsstruktur (VG 30 – 50 %)	Äußeres Rechengebiet
unversiegelte Freifläche	Siedlungsstruktur (VG 10 – 30 %)	
versiegelte Freifläche	Siedlungsstruktur (VG < 10 %)	
Wasser	isolierte Bebauungsstrukturen	
Bahnflächen	Industrie u. Gewerbegebiete	

0 1.500 3.000 m



Anlage 14: Landnutzung innerhalb des KLAM-Nestinggebietes - Istfall



Landnutzung

- halb versiegelte Fläche
- Park
- unversiegelte Freifläche
- versiegelte Freifläche

- Bestandsgebäude
- Plangebiet

0 75 150 225 300 m



Anlage 15: Landnutzung innerhalb des KLAM-Nestinggebietes - Planfall

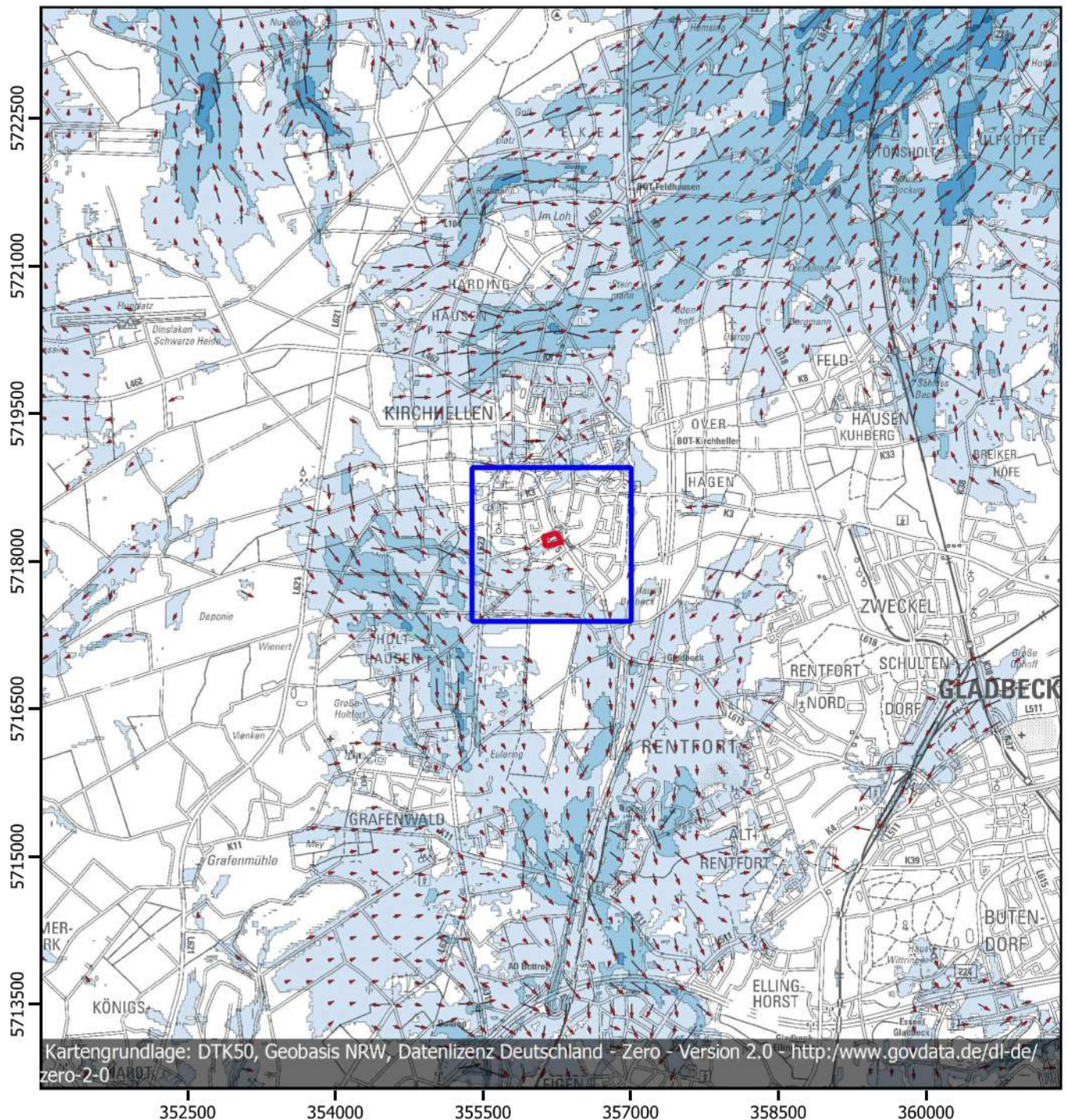


Landnutzung

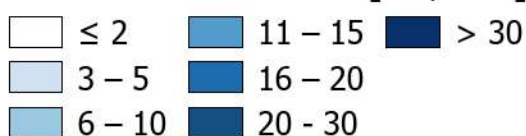
- | | |
|--------------------------|-----------------|
| halb versiegelte Fläche | Bestandsgebäude |
| Park | Plangebäude |
| unversiegelte Freifläche | Lärmschutzwand |
| versiegelte Freifläche | Plangebiet |



Anlage 16: Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im KLAM-Rechengebiet



Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$]



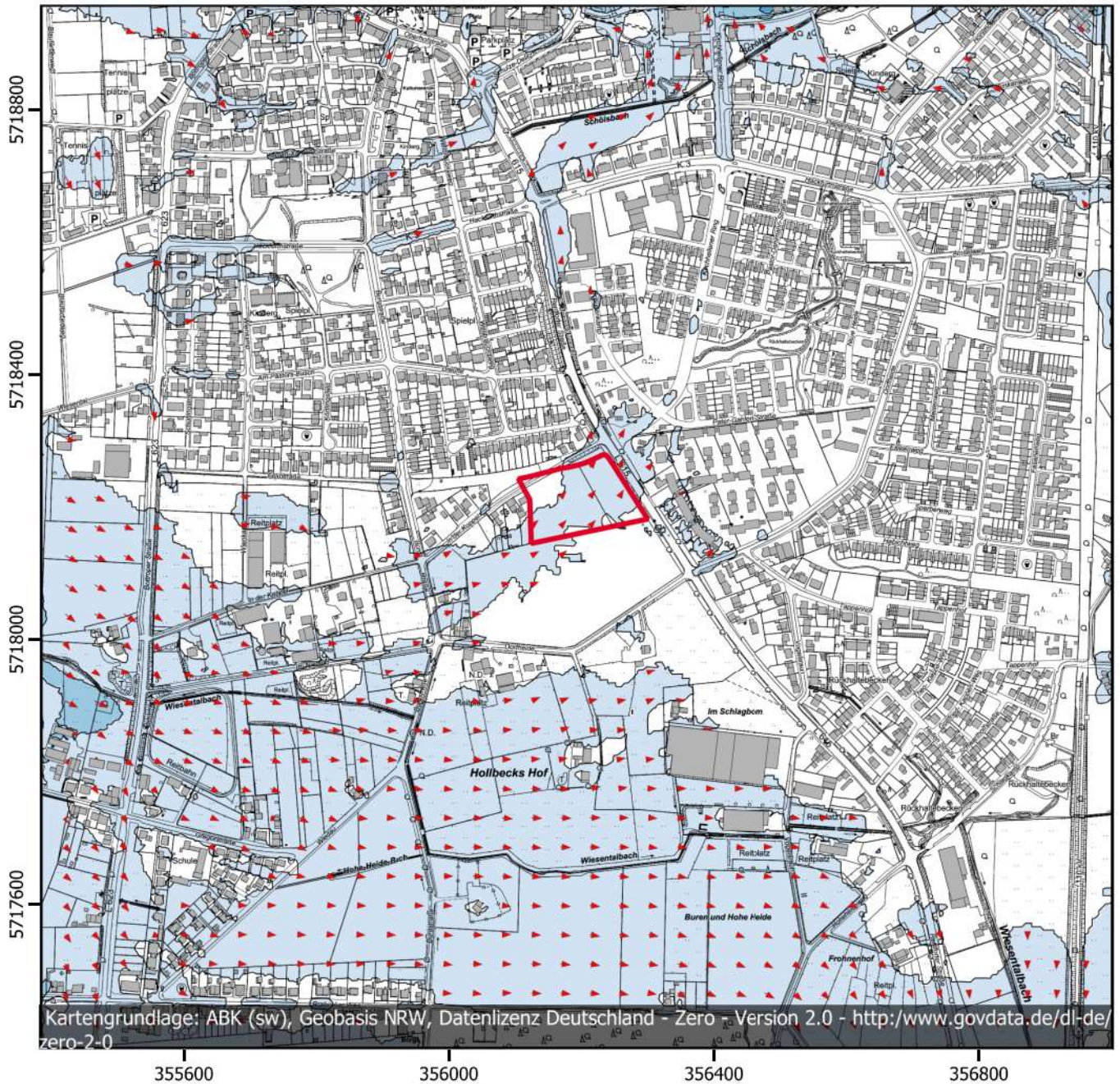
→ Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule

Inneres Rechengebiet ("Nesting")
 Plangebiet

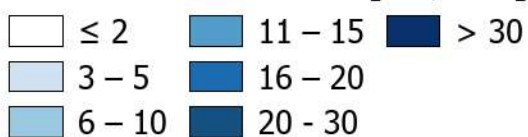
0 1.000 2.000 3.000 4.000 m



Anlage 17: Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens - Istfall



Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/\text{m}^*\text{s}$]



Bestandsgebäude

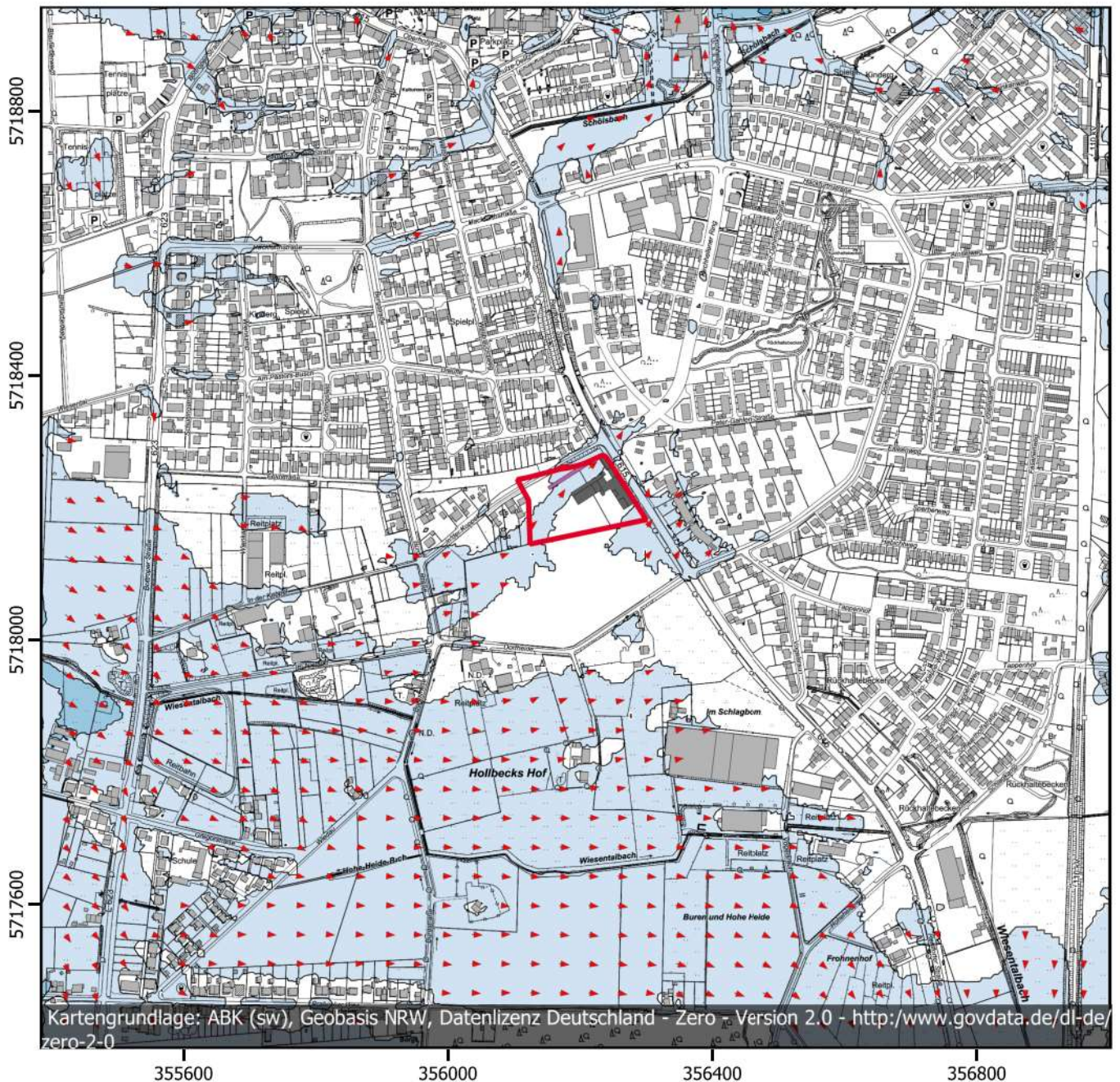
Plangebiet

Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule

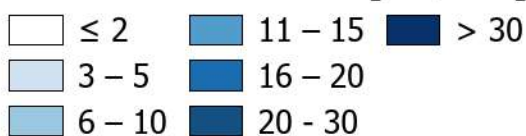
0 150 300 450 600 m



Anlage 18: Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens - Planfall



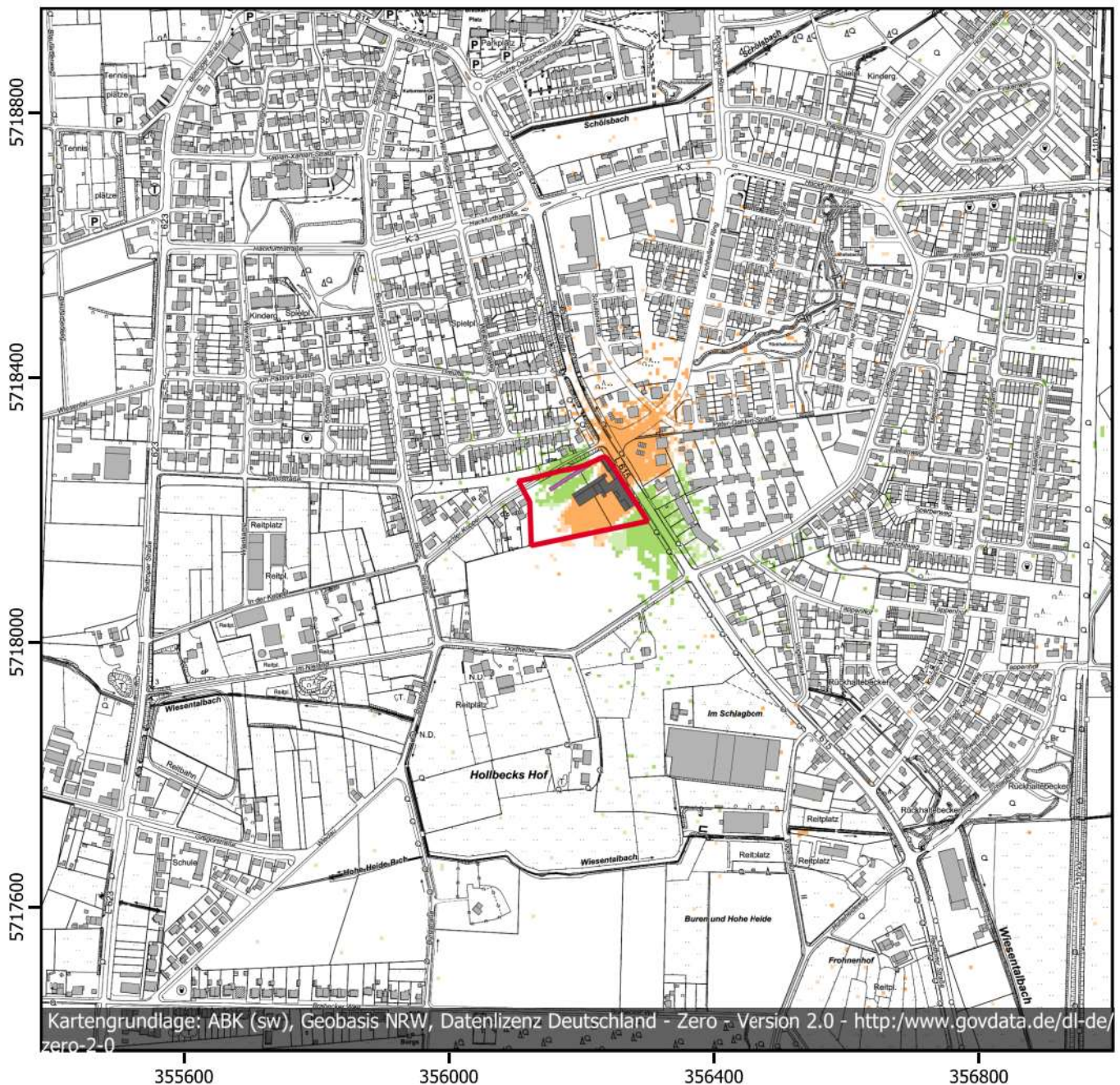
Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$]



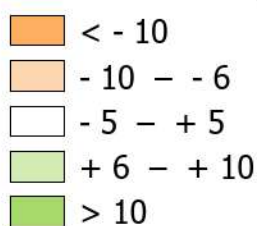
Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule



Anlage 19: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



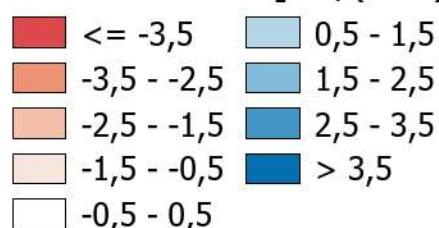
Veränderung des Kaltluft- volumenstrom [%]



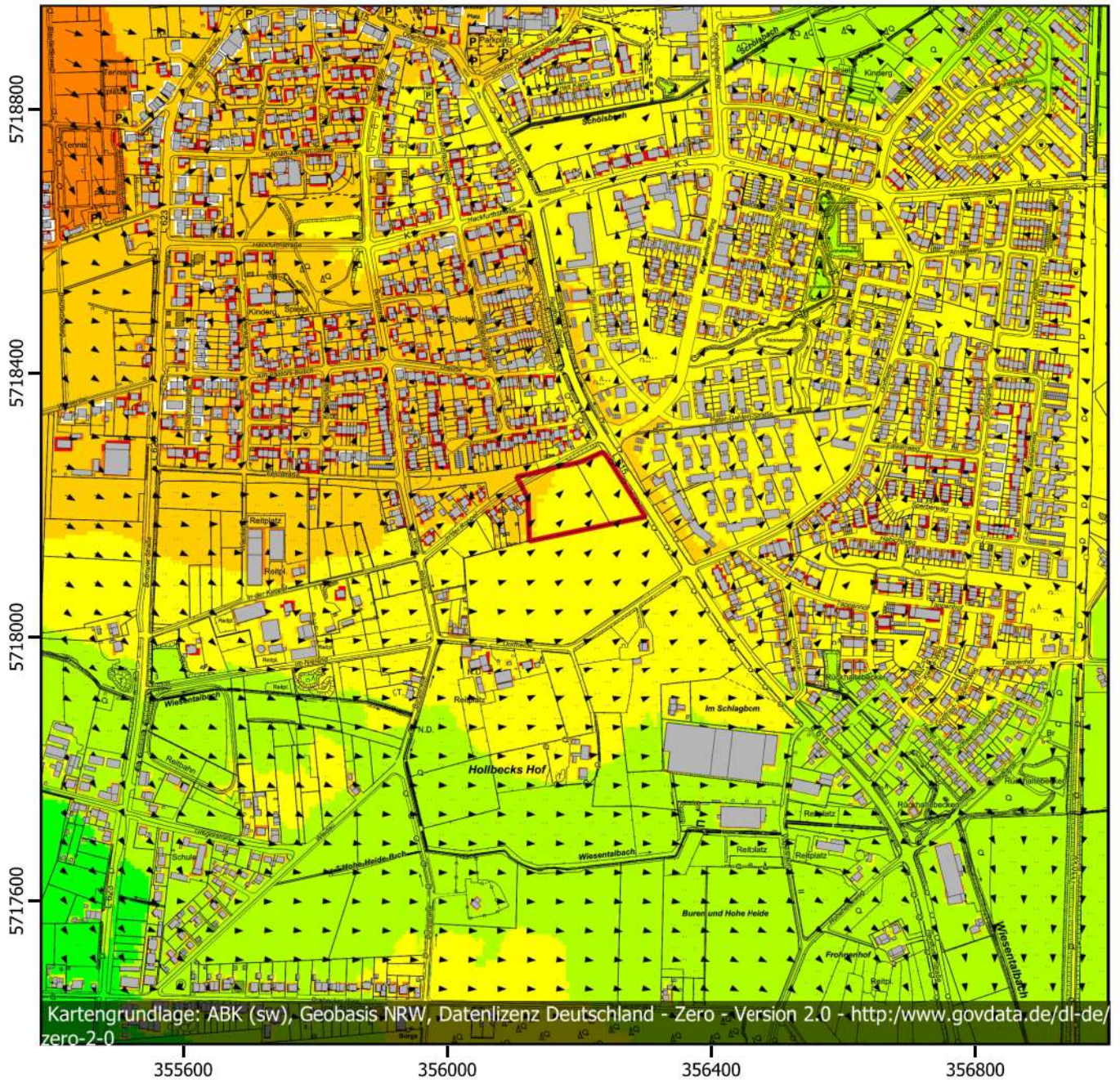
Anlage 20: Absolute Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



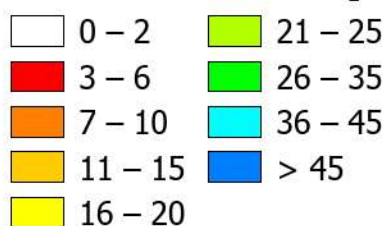
Veränderung des Kaltluftvolumenstroms [$\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$]



Anlage 21: Kaltluflthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang
im Umfeld des Planvorhabens - Istfall



Höhe Kaltluftschicht [m]



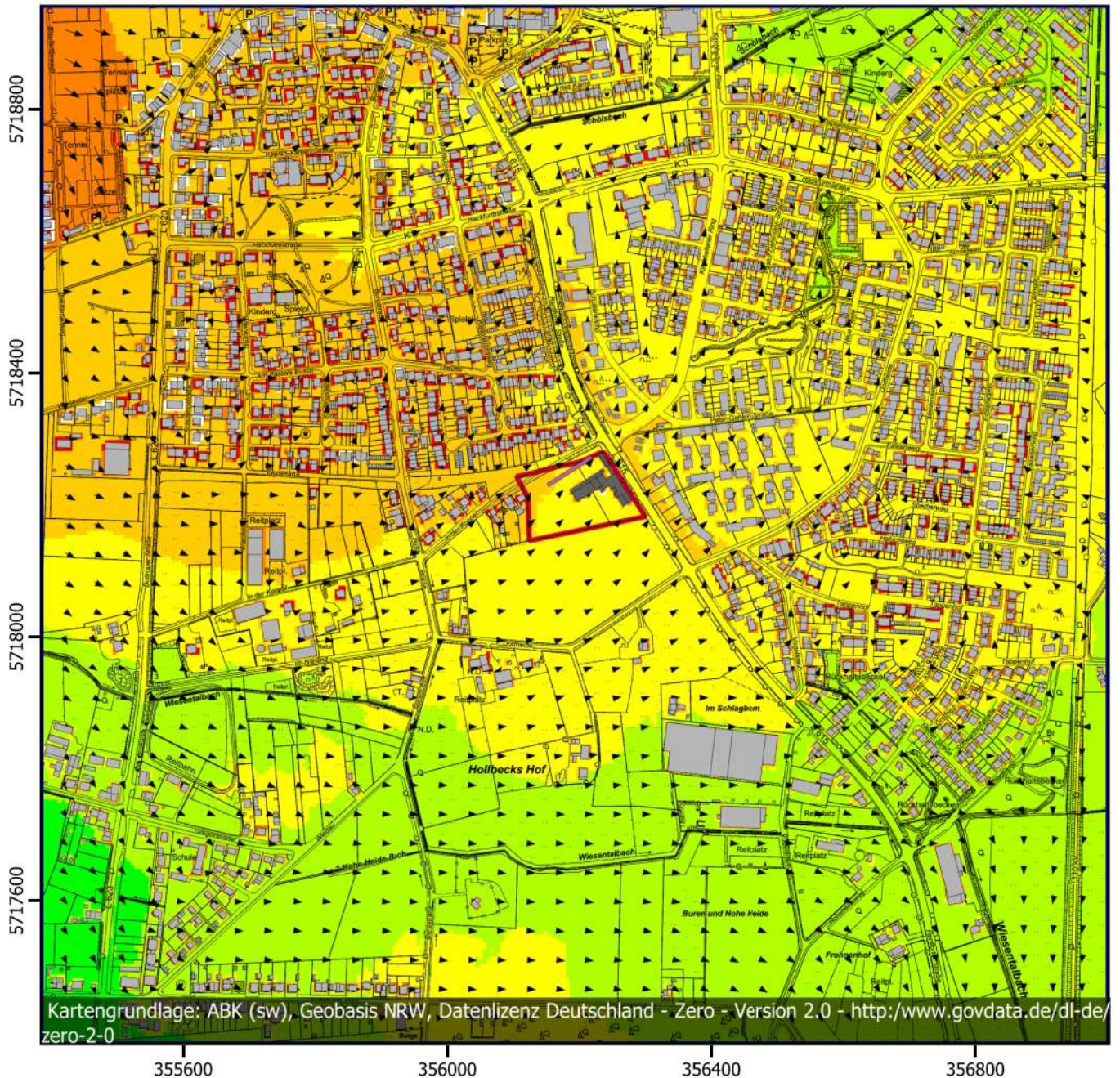
→ Richtung und Stärke der bodennahen Strömung

Bestandsgebäude
Plangebiet

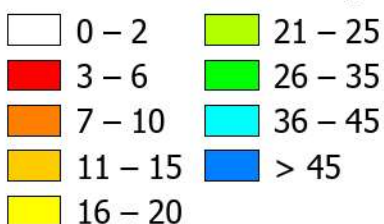
0 150 300 450 600 m



Anlage 22: Kaltfluthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang
im Umfeld des Planvorhabens - Planfall



Höhe Kaltluftschicht [m]



→ Richtung und Stärke der
bodennahen Strömung

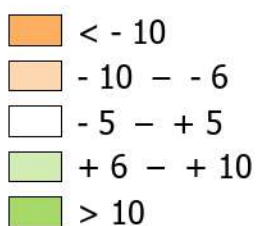


Anlage 23: Prozentuale Änderung der Kaltluflthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

PEUTZ



Veränderung der Kaltluftmächtigkeit [%]



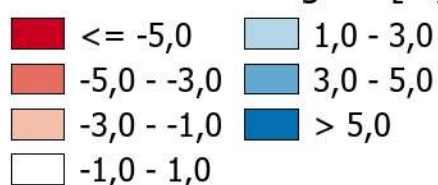
0 150 300 450 600 m



Anlage 24: Absolute Änderung der Kaltlufthöhe zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



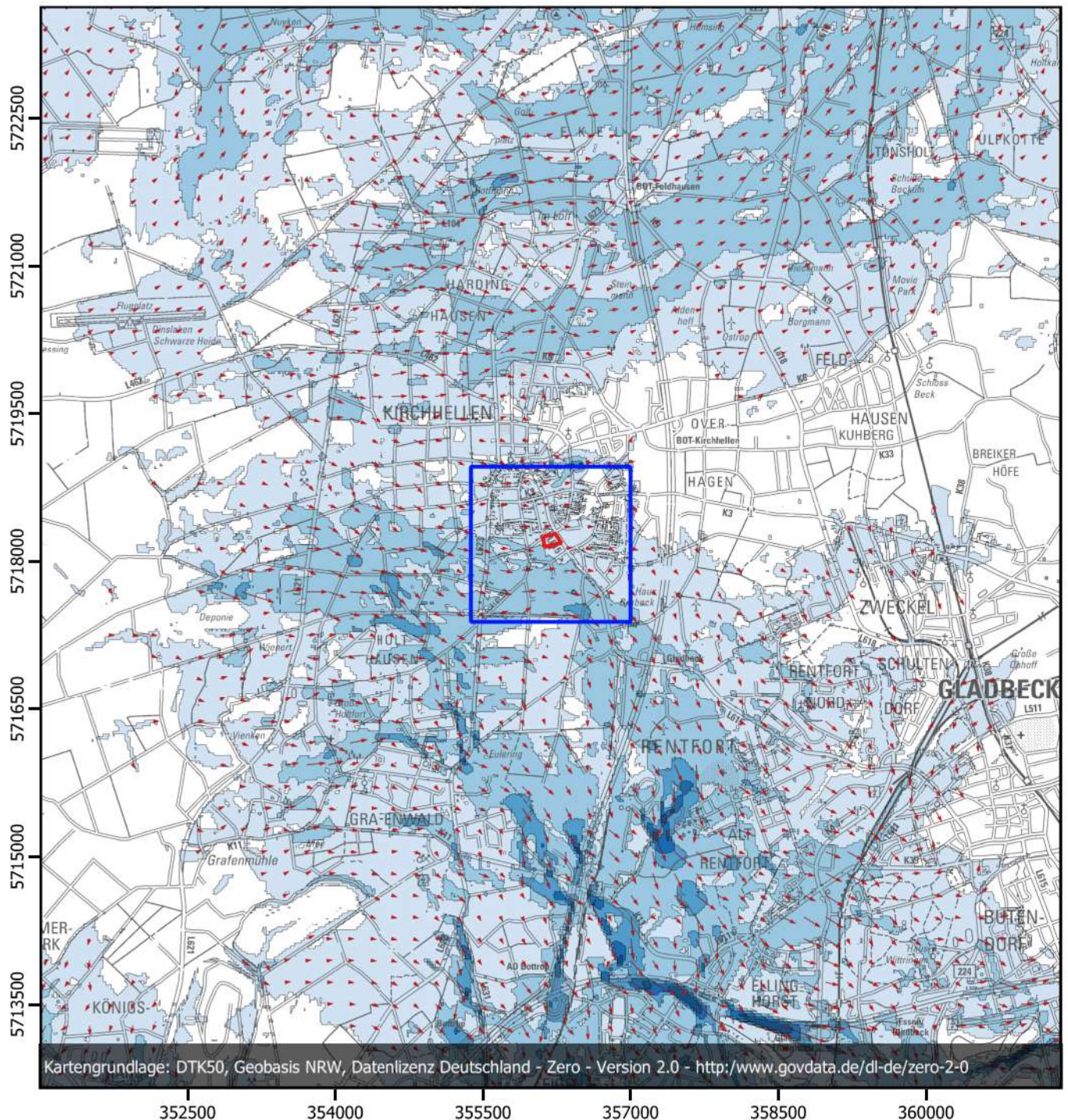
Veränderung der Kaltluftmächtigkeit [m]



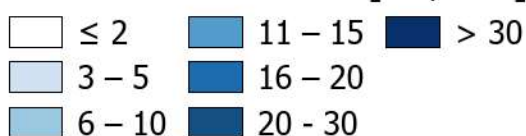
0 150 300 450 600 m



Anlage 25: Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im KLAM-Rechengebiet



Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$]



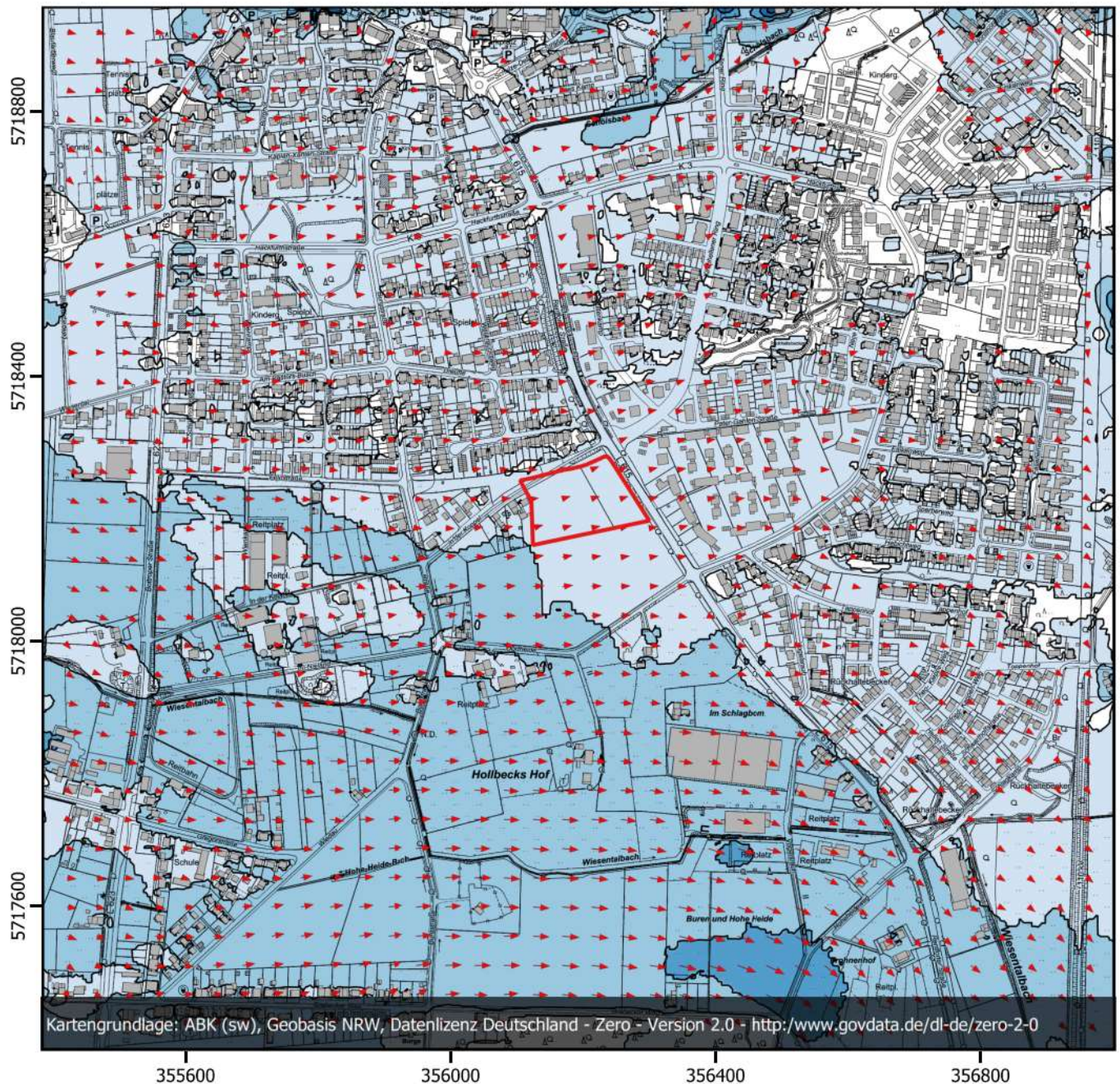
→ Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule

Plangebiet
 Inneres Rechengebiet ("Nesting")

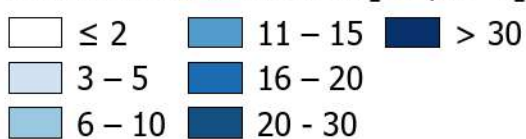
0 1.000 2.000 3.000 4.000 m



Anlage 26: Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens - Istfall



Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$]

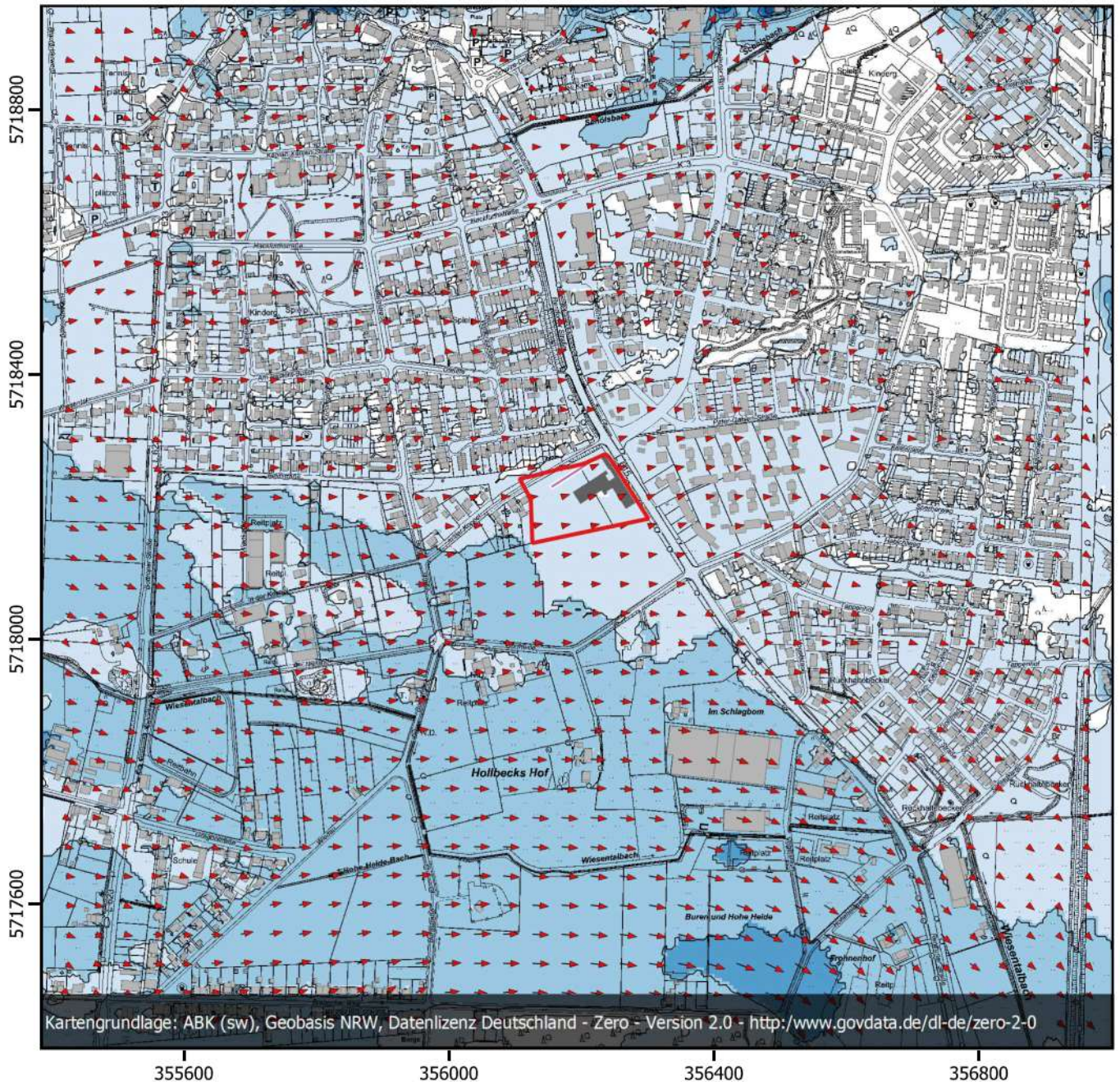


Bestandsgebäude
 Plangebiet

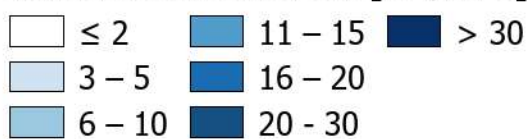
Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule



Anlage 27: Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens - Planfall



Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/\text{m}^*\text{s}$]



Richtung und Stärke der mittleren Strömung innerhalb der Kaltluftsäule

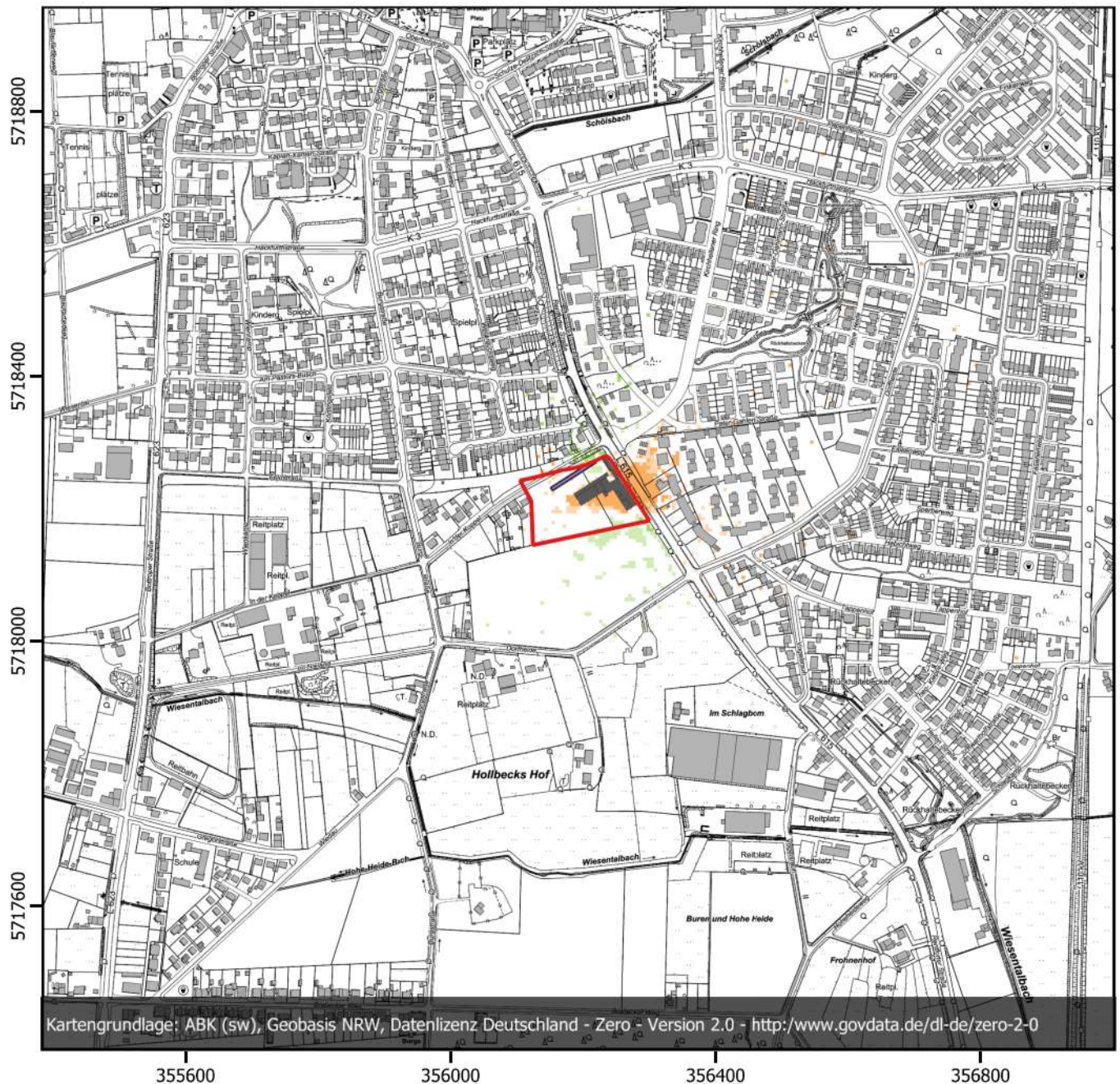


0 150 300 450 600 m



Anlage 28: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

PEUTZ



Vorhabensbedingte Veränderung des Kaltluftvolumenstrom [%]

- < - 10
- 10 – - 6
- 5 – + 5
- + 6 – + 10
- > 10

- Bestandsgebäude
- Plangebäude
- Lärmschutzwand
- Plangebiet

0 150 300 450 600 m



PEUTZ



	$\leq -3,5$		$0,5 - 1,5$
	$-3,5 - -2,5$		$1,5 - 2,5$
	$-2,5 - -1,5$		$2,5 - 3,5$
	$-1,5 - -0,5$		$> 3,5$
	$-0,5 - 0,5$		



PEUTZ



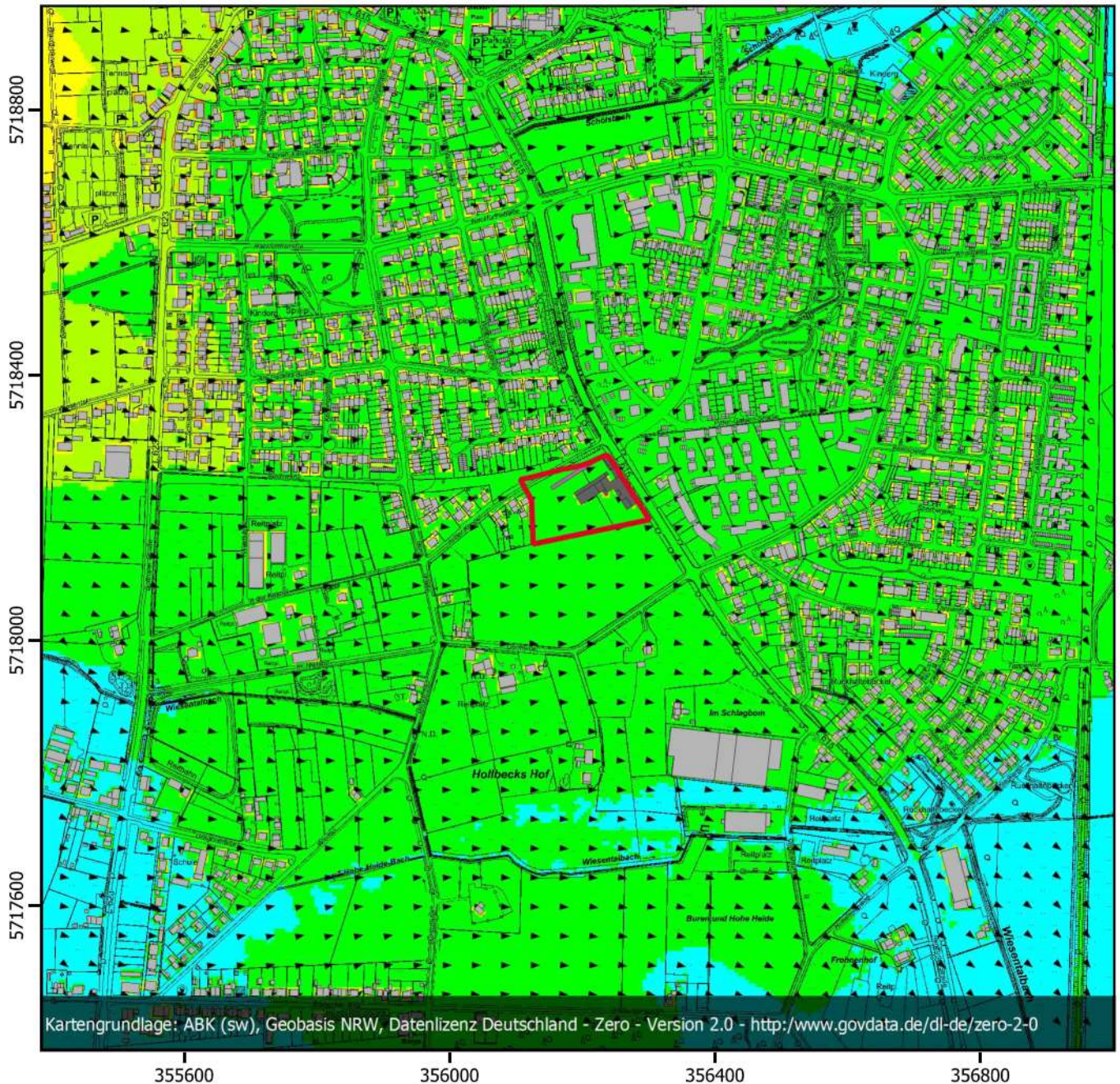
	0 – 2		21 – 25
	3 – 6		26 – 35
	7 – 10		36 – 45
	11 – 15		> 45
	16 – 20		

 Plangebiet

A horizontal line representing a 600 m race track. Above the line, there are tick marks and labels at 0, 150, 300, 450, and 600 m. Below the line, the segments from 0 to 150 m and from 300 to 450 m are shaded black, while the segments from 150 to 300 m and from 450 to 600 m are white.



Anlage 31: Kaltfluthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang
im Umfeld des Planvorhabens - Planfall



Höhe Kaltluftschicht [m]

0 – 2	21 – 25
3 – 6	26 – 35
7 – 10	36 – 45
11 – 15	> 45
16 – 20	

→ Richtung und Stärke der bodennahen Strömung

Bestandsgebäude
Plangebäude
Lärmschutzwand
Plangebiet

0 150 300 450 600 m

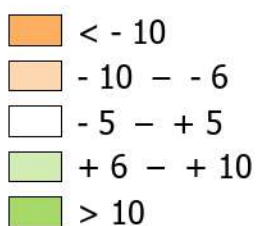


Anlage 32: Prozentuale Änderung der Kaltluflthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

PEUTZ



Veränderung der Kaltluftmächtigkeit [%]



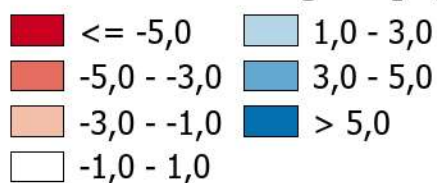
0 150 300 450 600 m



Anlage 33: Absolute Änderung der Kaltlufthöhe sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

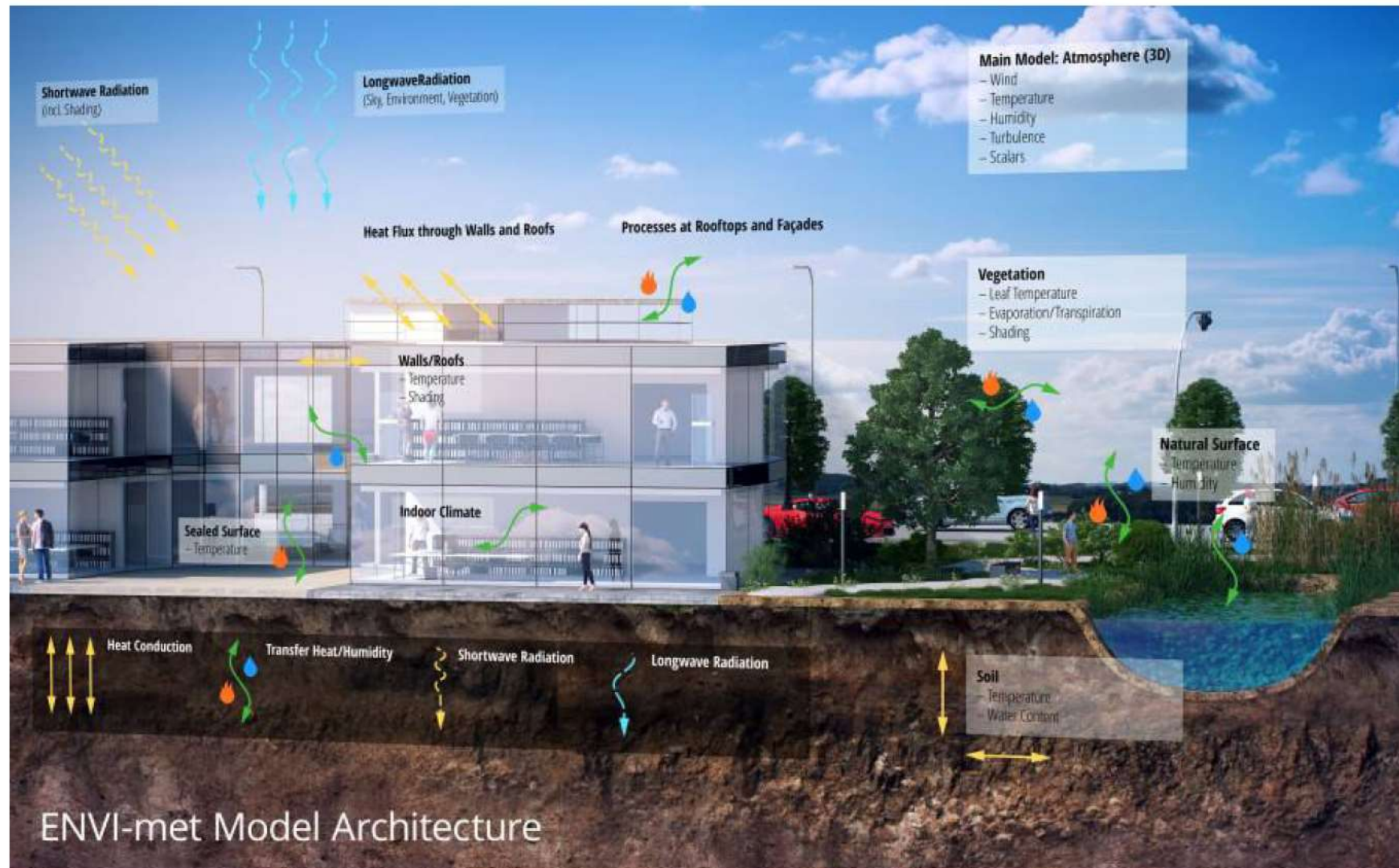


Vorhabensbedingte Veränderung der Kaltluftmächtigkeit [m]



0 150 300 450 600 m







Legende

Vegetationshöhe

Strauch, 2 m

5 m

10 m

15 m

20 m

25 m

30 m

Gras, 10 cm

Gras, 1 m

Landwirtschaftlicher Bewuchs, 1 m

Teilversiegelte Oberflächen

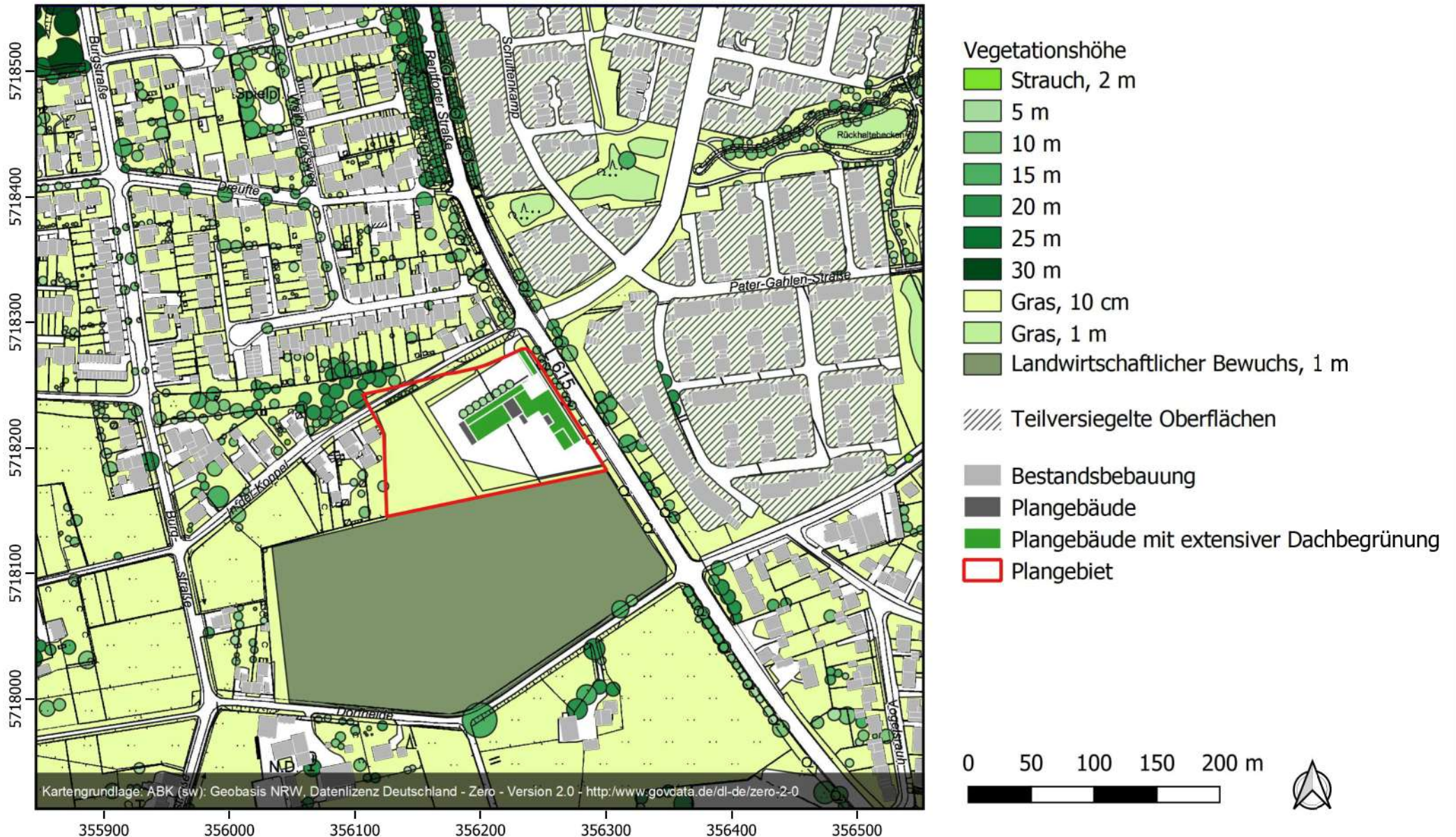
Bestandsgebäude

Plangebiet

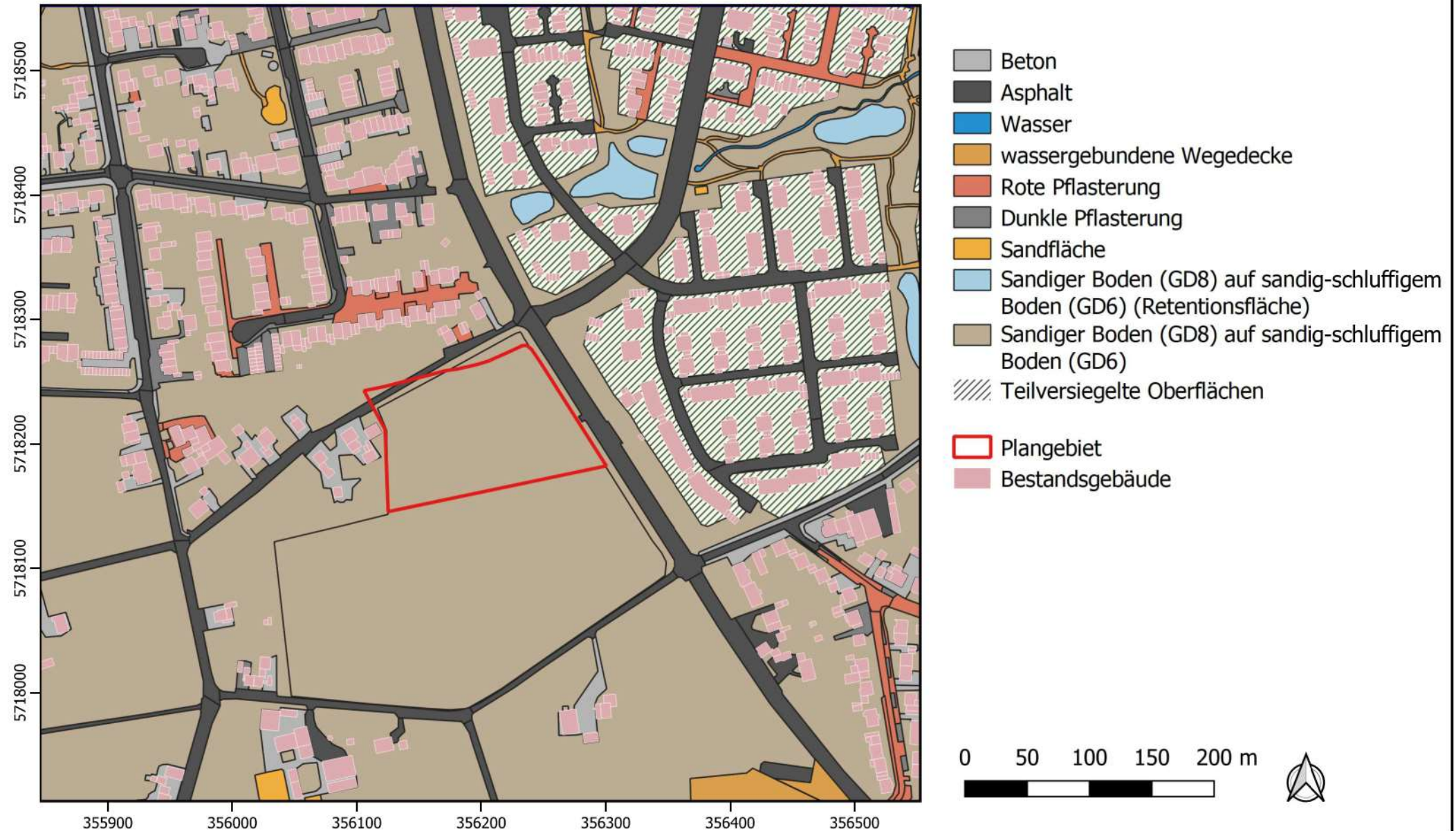
0 50 100 150 200 m



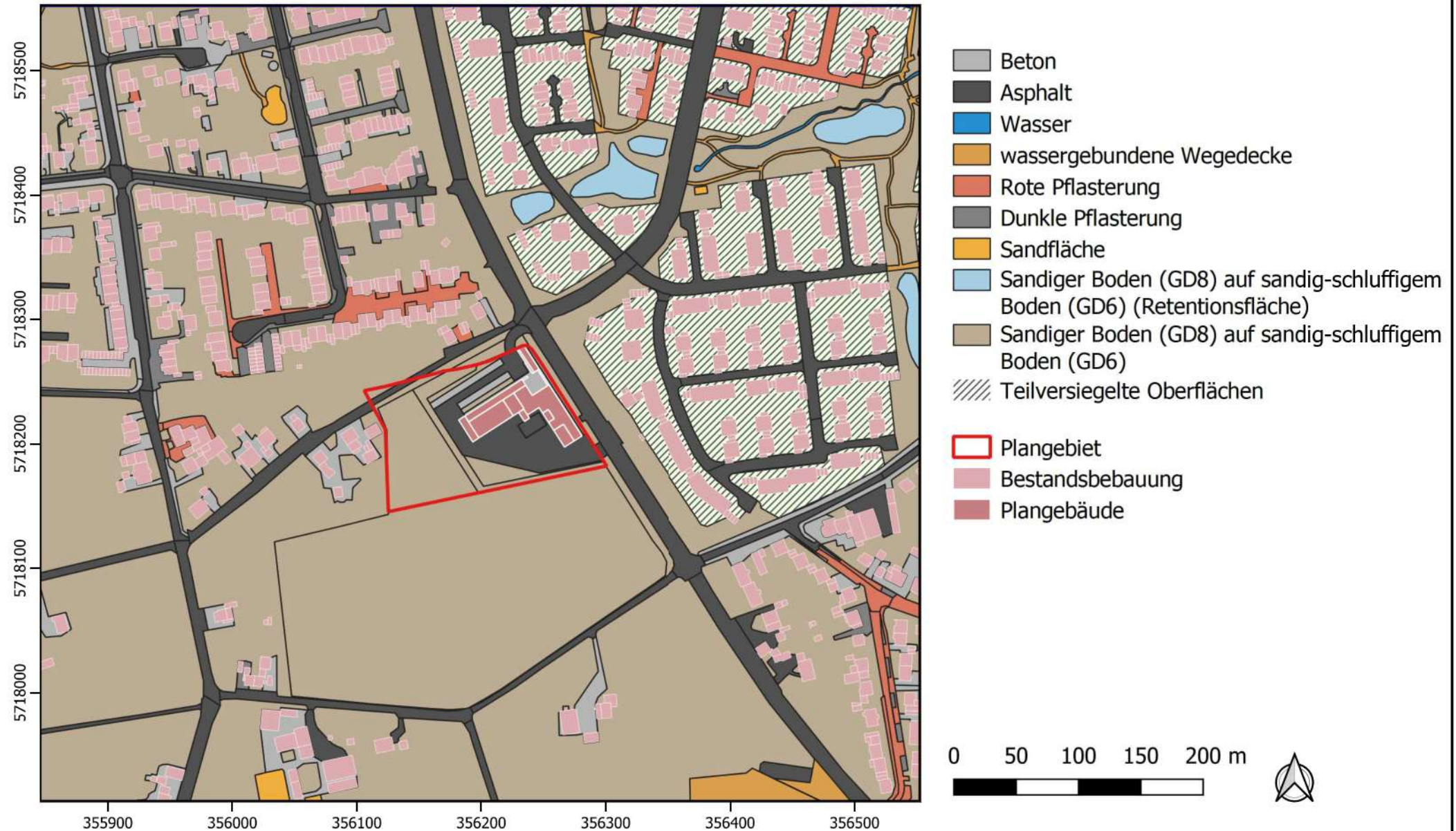
Anlage 36: Vegetation im Planfall



Anlage 37: Oberflächenbeschaffenheiten im Istfall

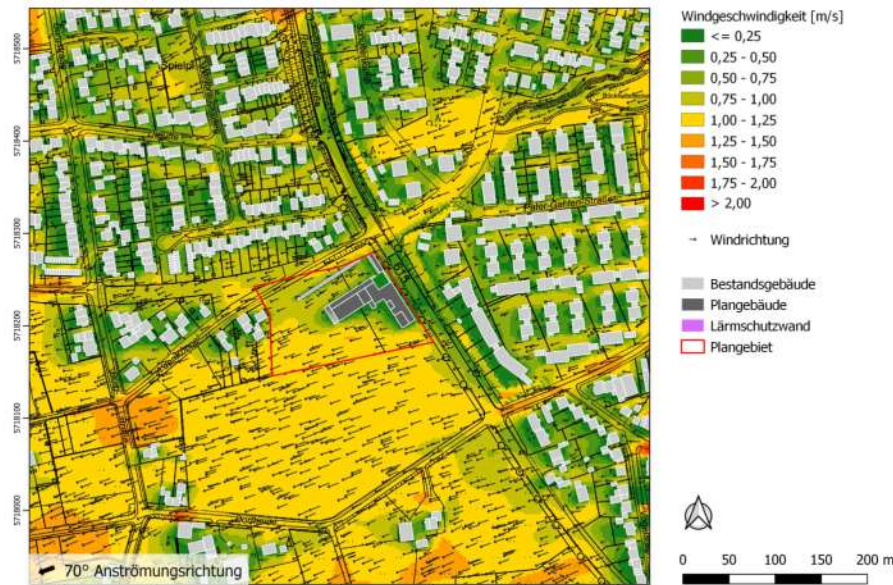


Anlage 38: Oberflächenbeschaffenheiten im Planfall

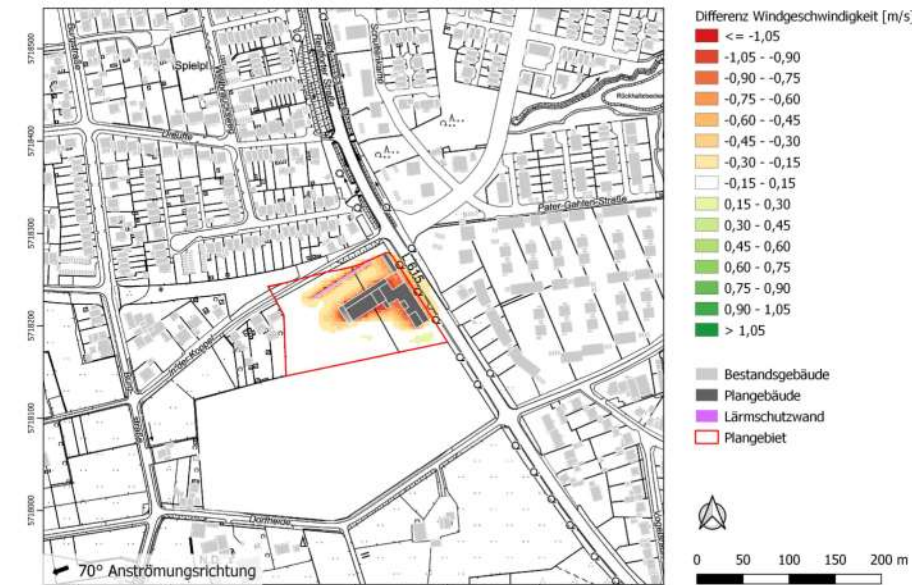




Istfall bei 70° Anströmungsrichtung



Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



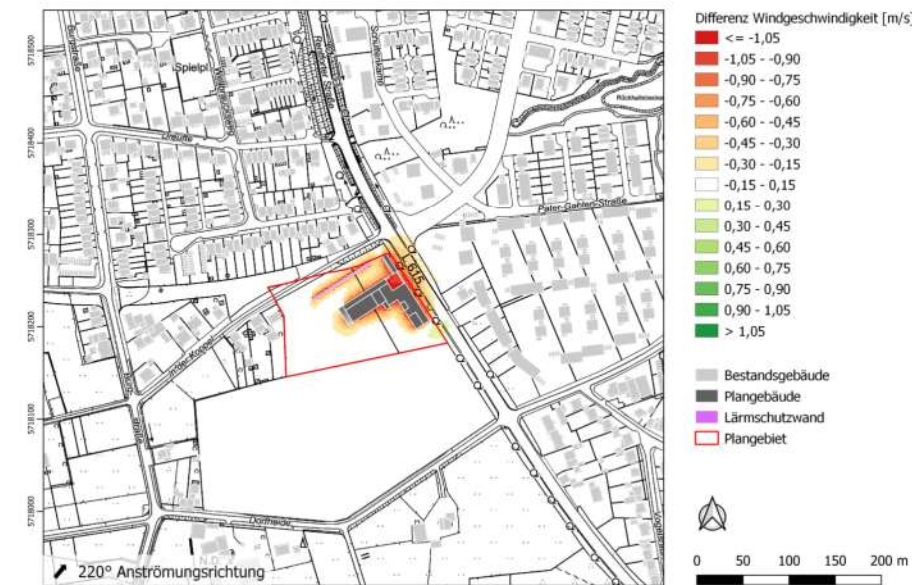
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



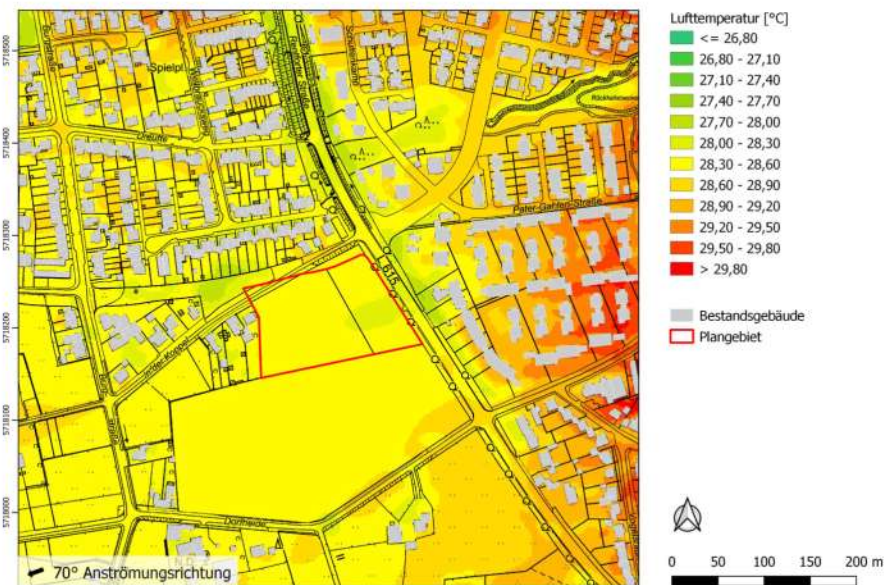
Istfall bei 220° Anströmungsrichtung



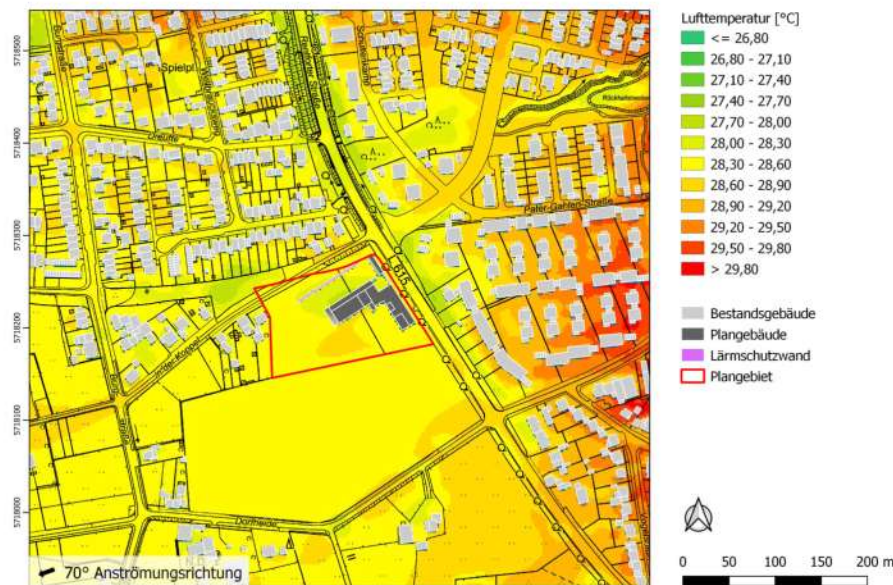
Planfall bei 220° Anströmungsrichtung



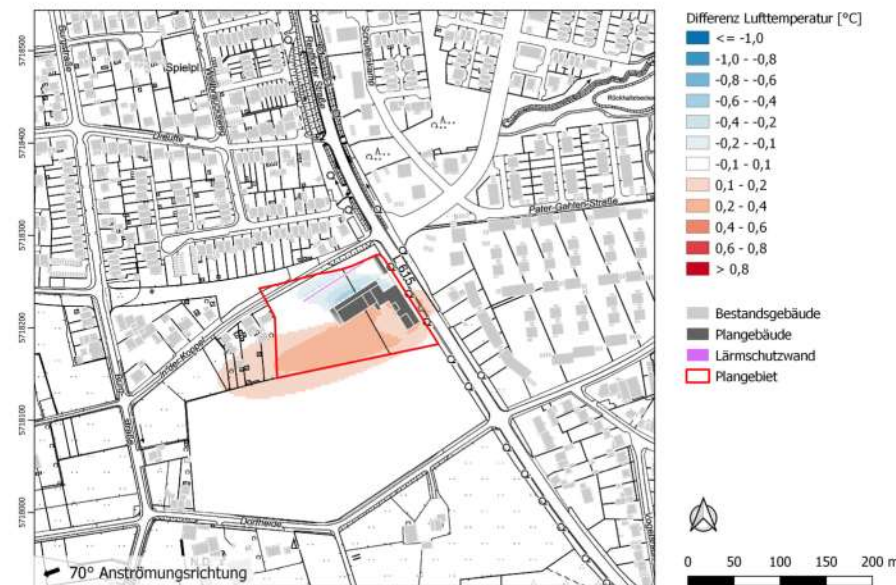
Differenz bei 220° Anströmungsrichtung



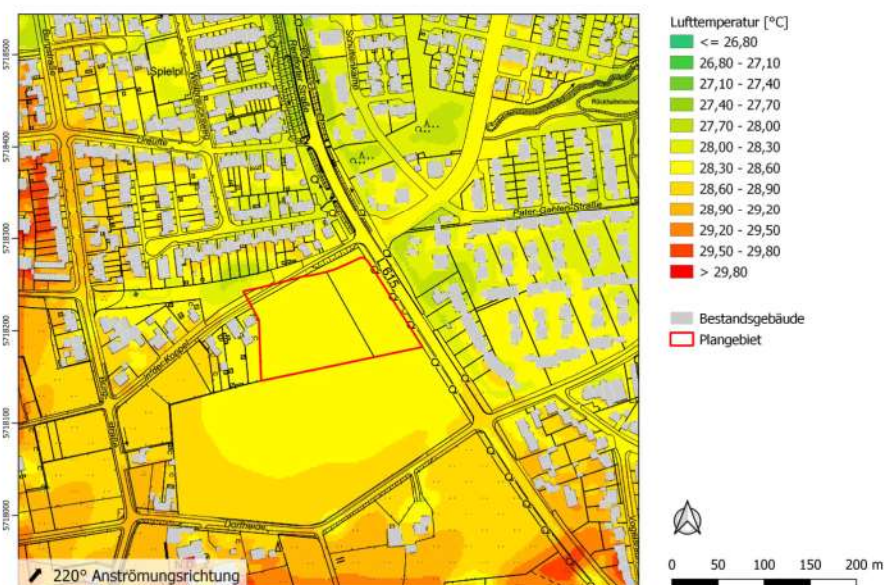
Istfall bei 70° Anströmungsrichtung



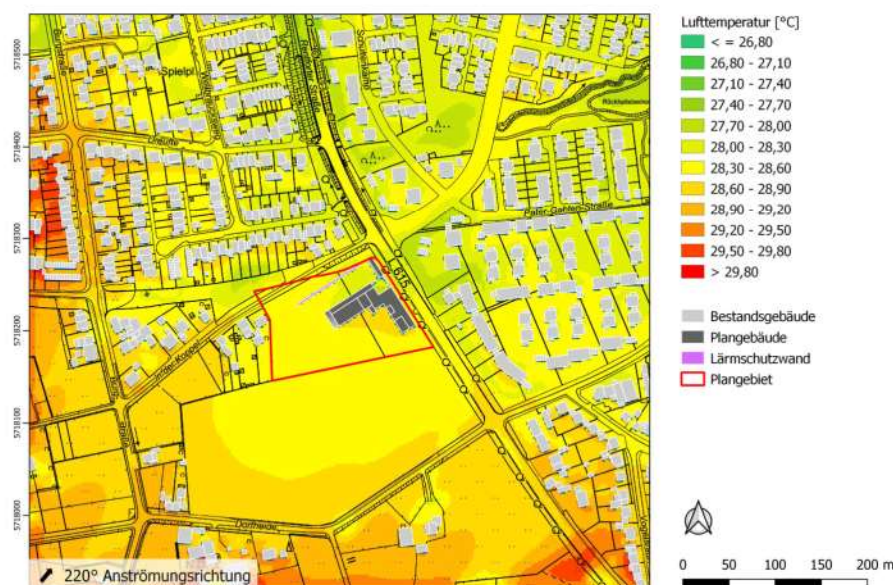
Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



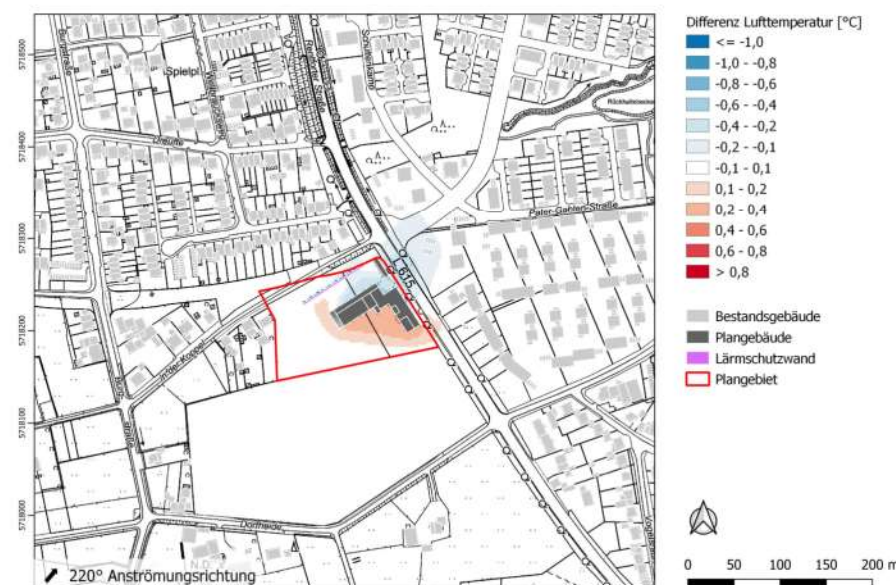
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



Istfall bei 220° Anströmungsrichtung



Planfall bei 220° Anströmungsrichtung



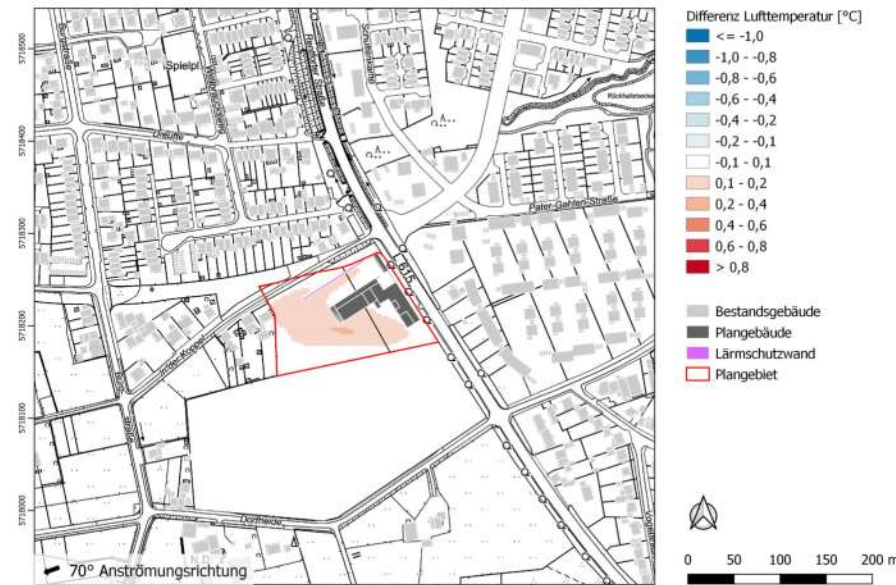
Differenz bei 220° Anströmungsrichtung



Istfall bei 70° Anströmungsrichtung



Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



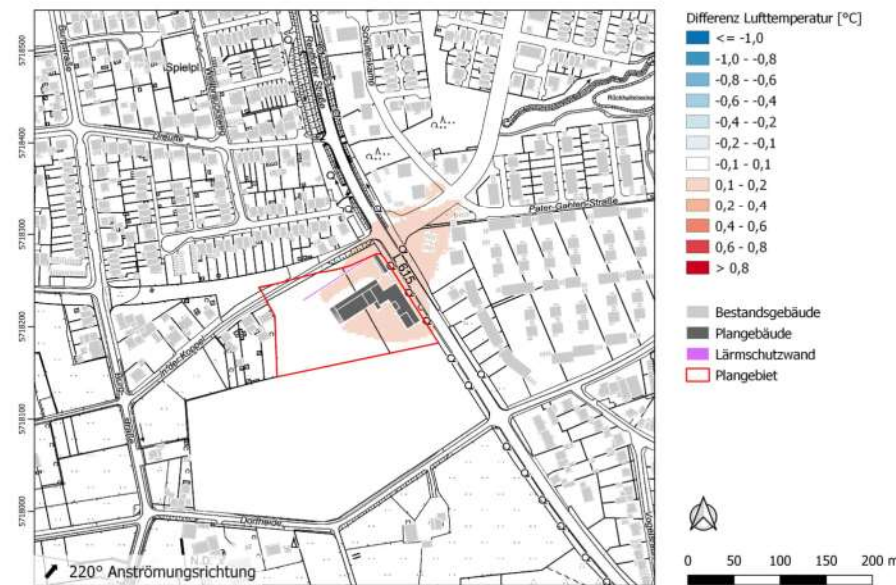
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



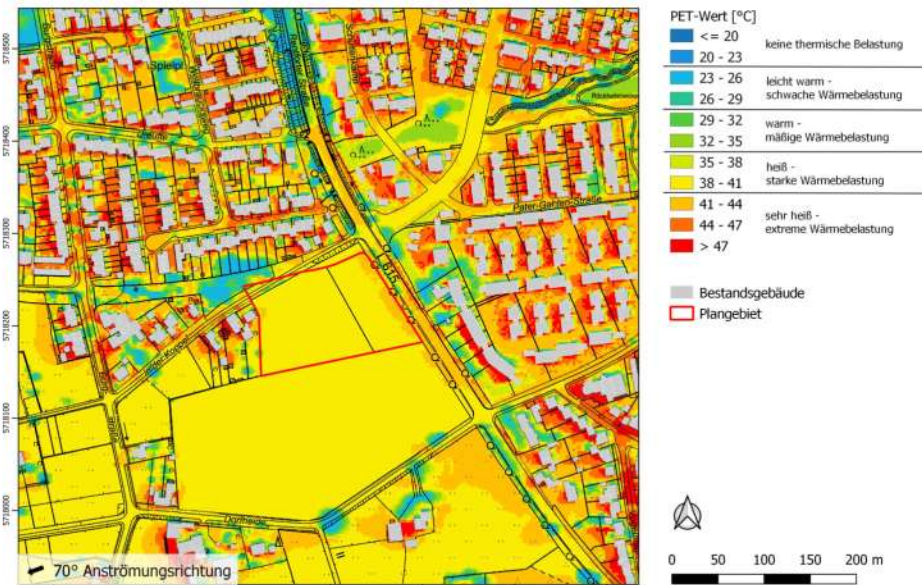
Istfall bei 220° Anströmungsrichtung



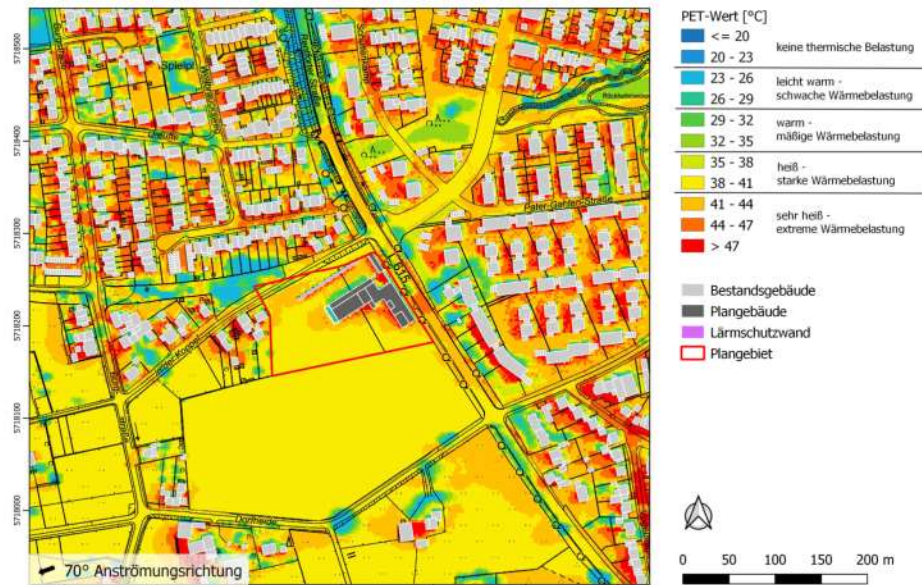
Planfall bei 220° Anströmungsrichtung



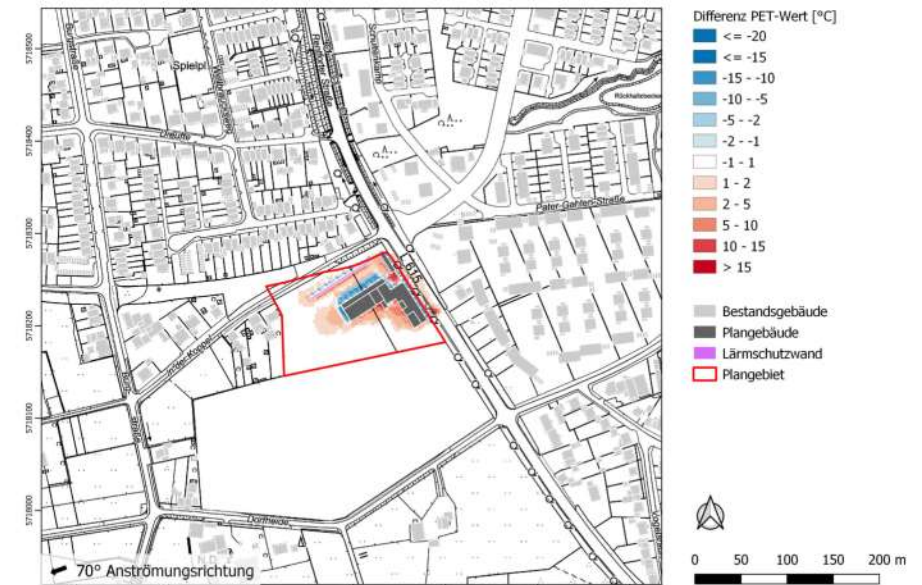
Differenz bei 220° Anströmungsrichtung



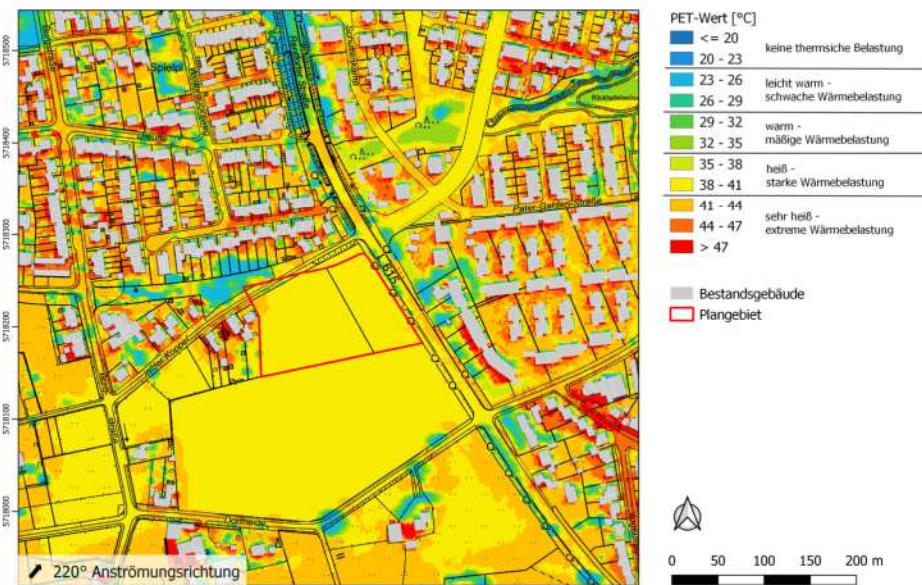
Istfall bei 70° Anströmungsrichtung



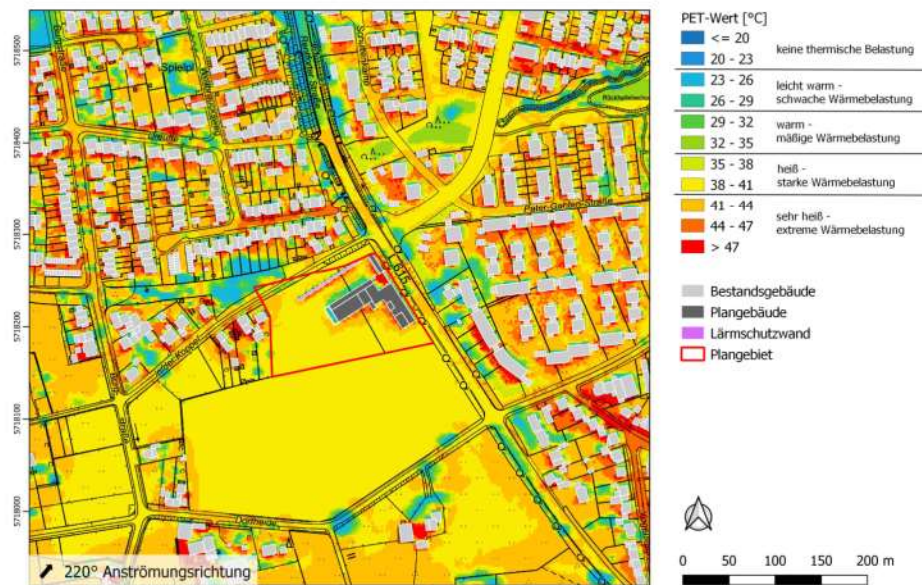
Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



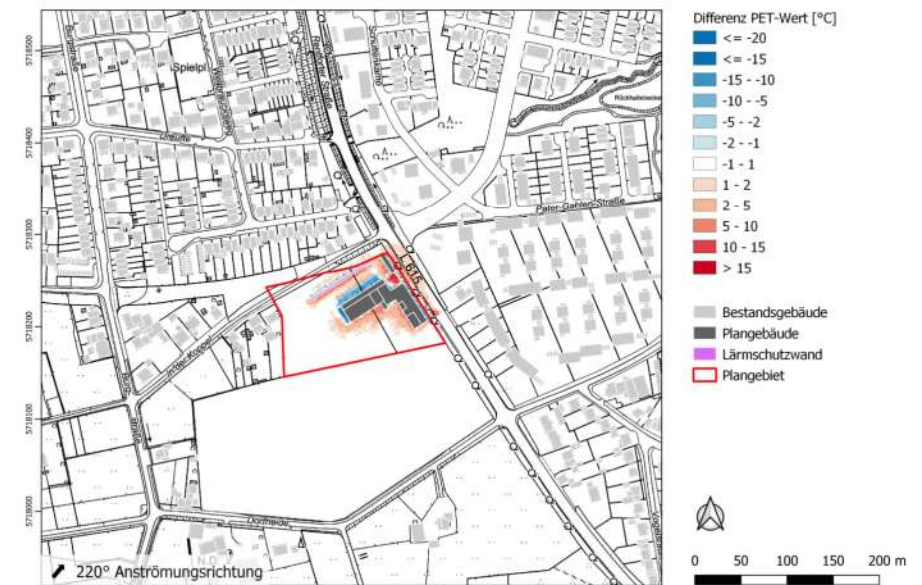
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



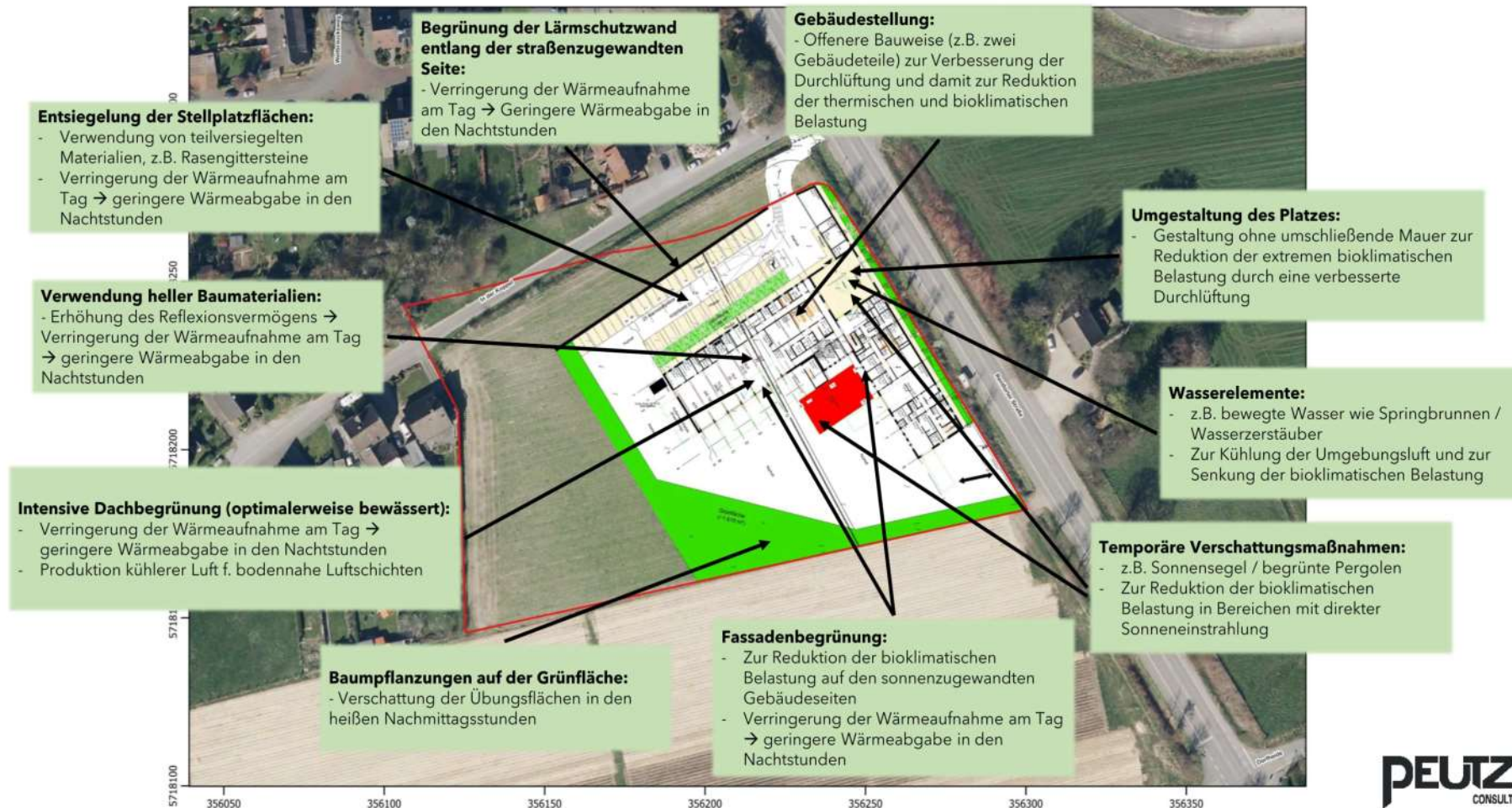
Istfall bei 220° Anströmungsrichtung



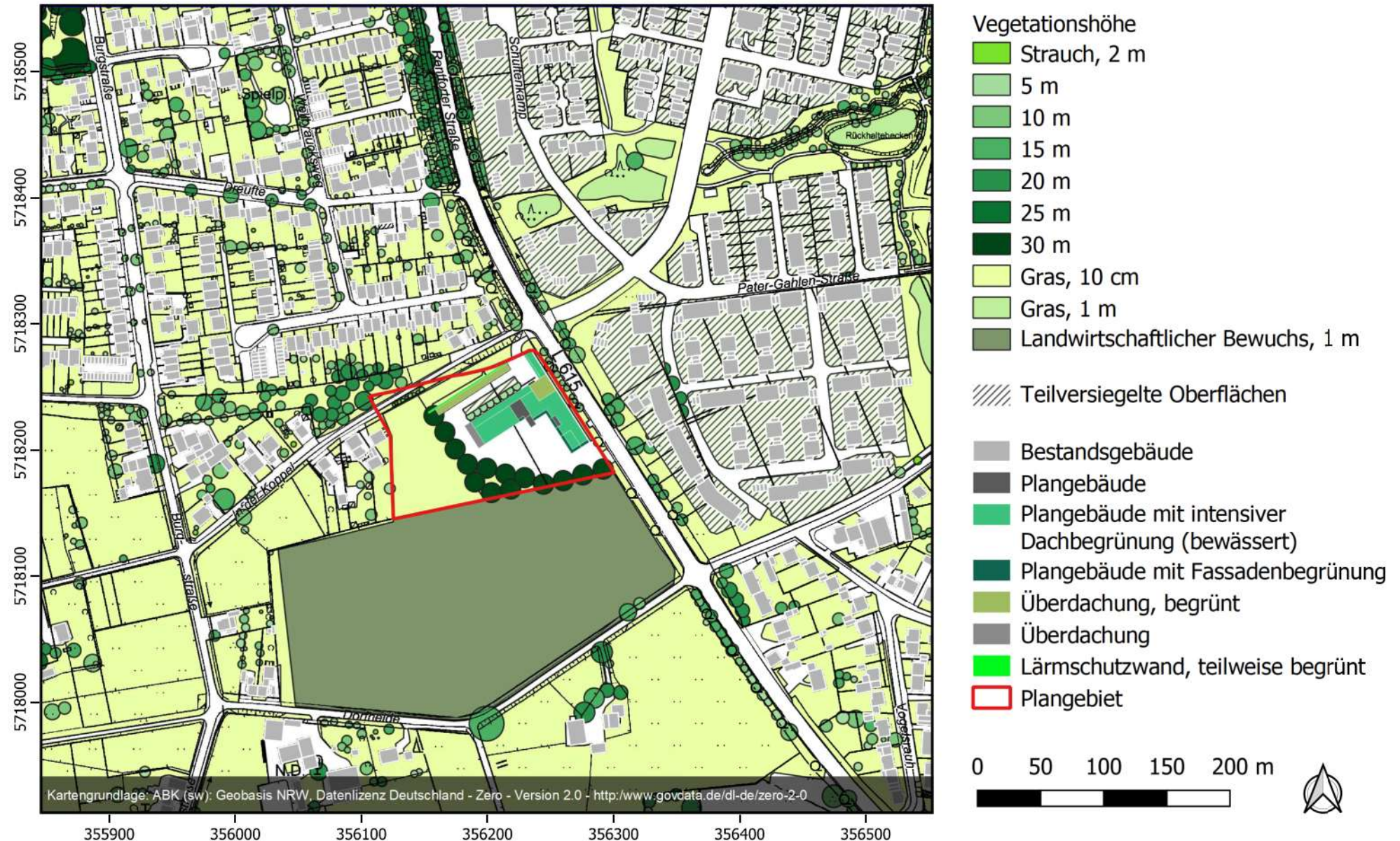
Planfall bei 220° Anströmungsrichtung



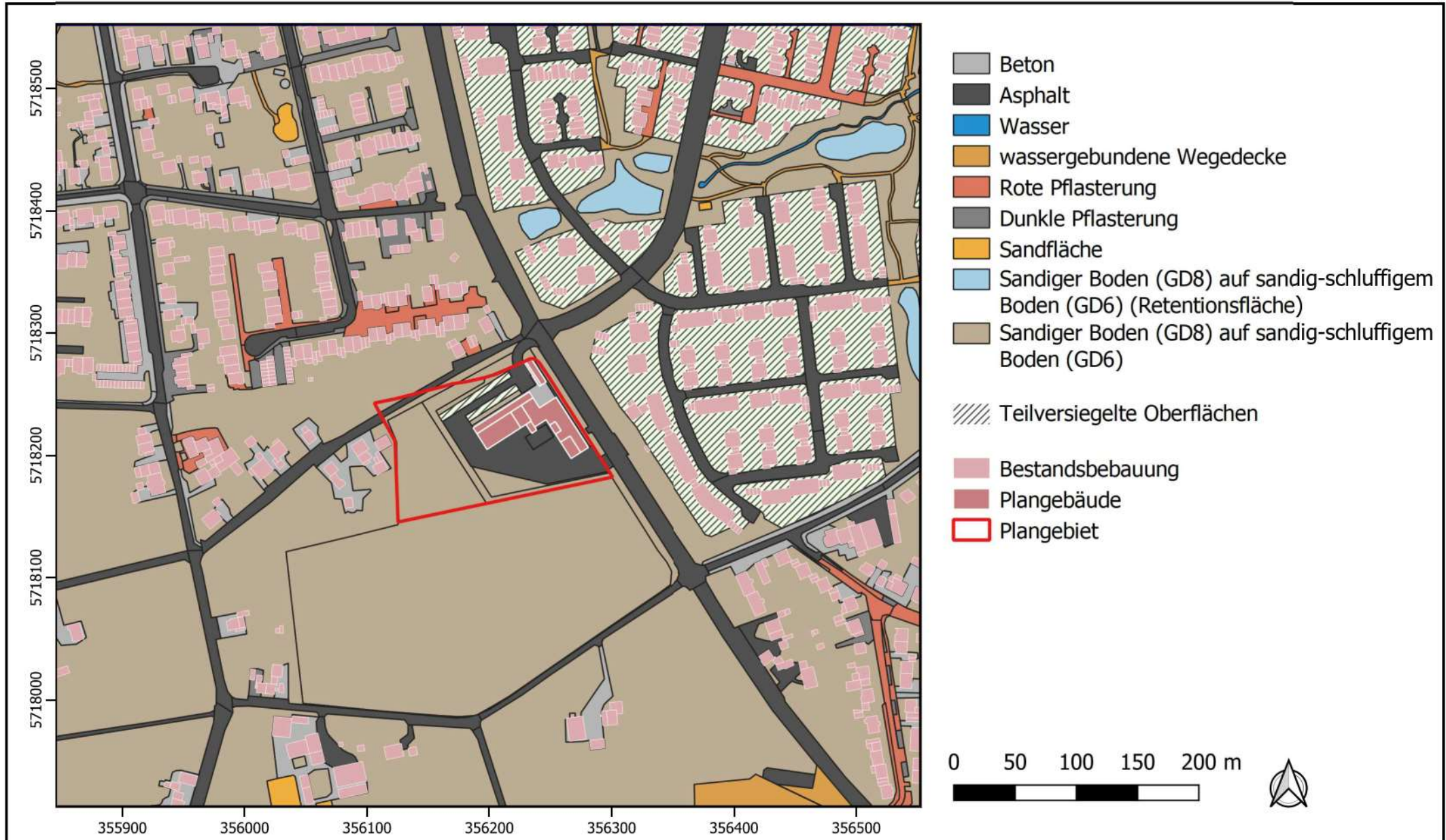
Differenz bei 220° Anströmungsrichtung



Anlage 44: Vegetation im optimierten Planfall



Anlage 45: Oberflächenbeschaffenheiten im optimierten Planfall

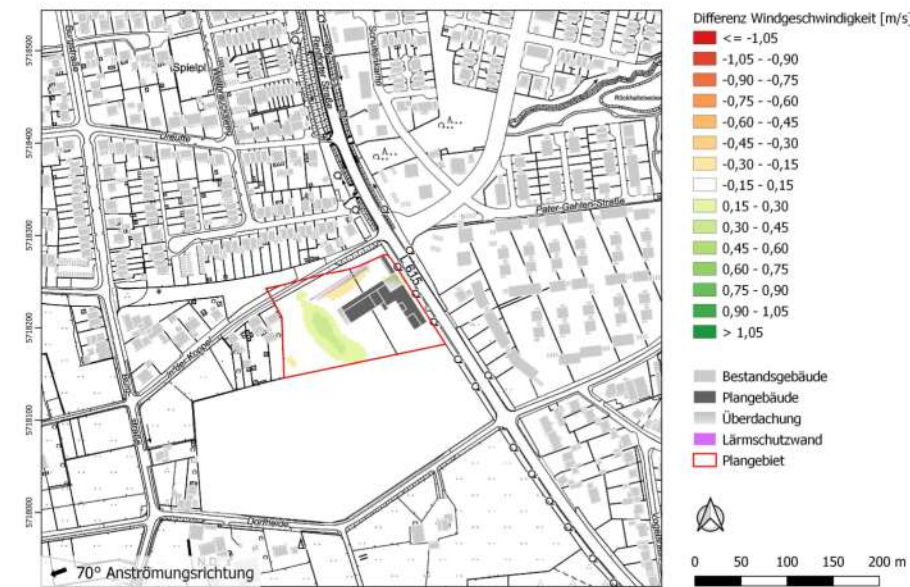




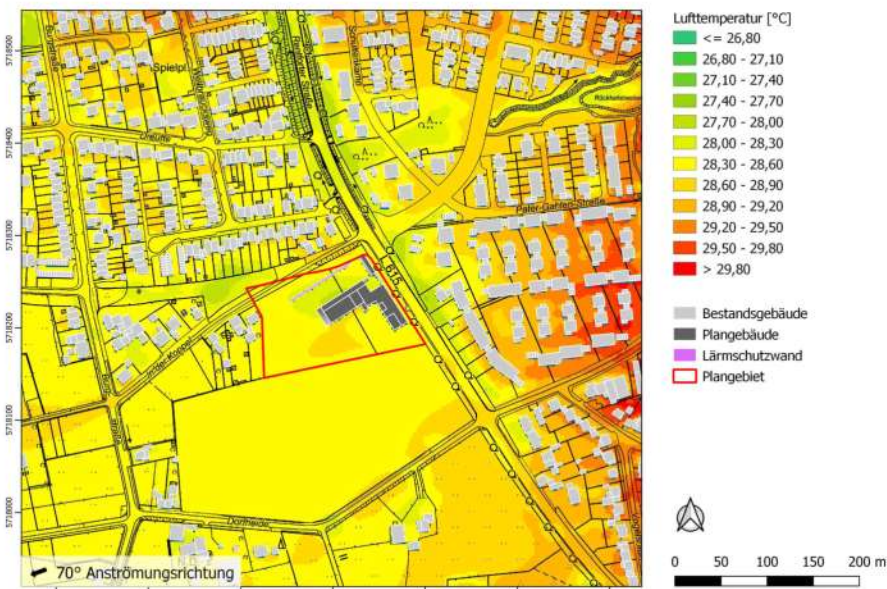
Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



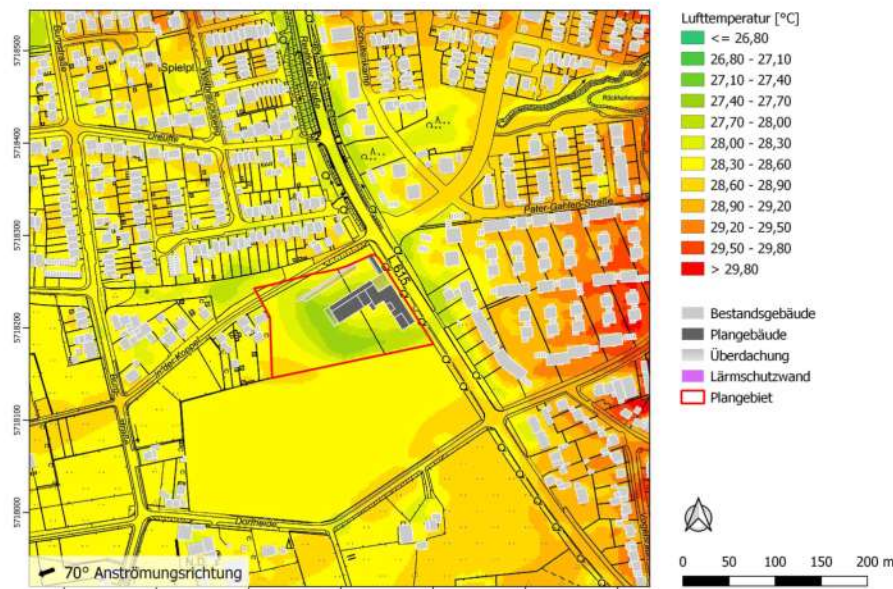
optimierter Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



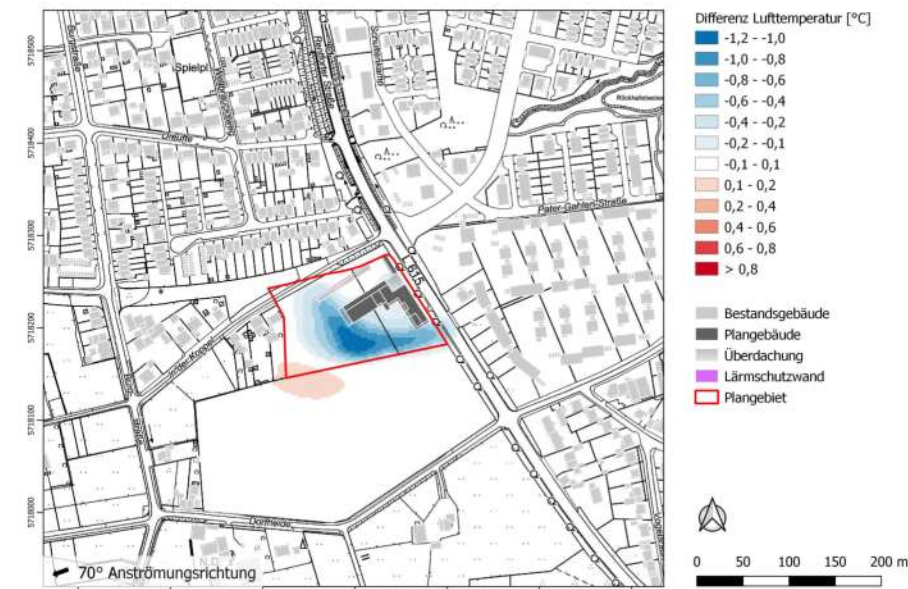
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



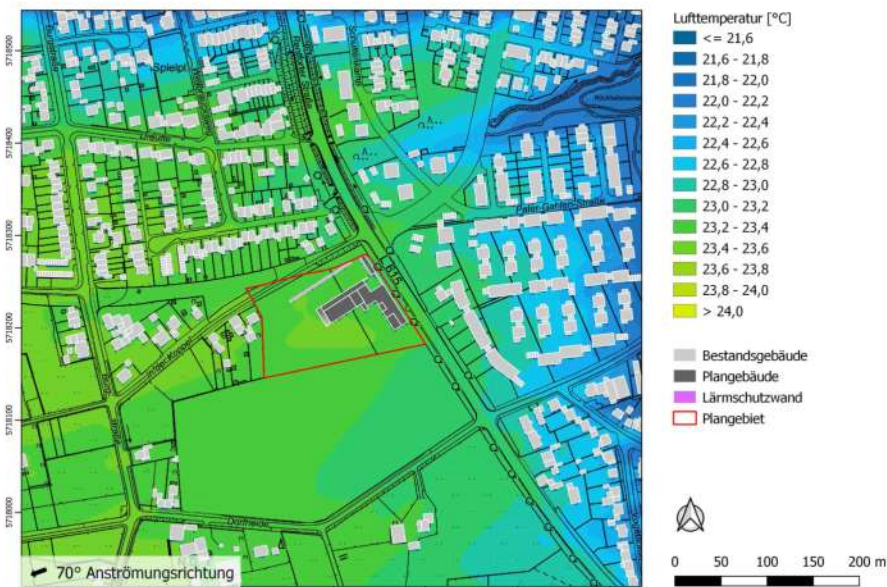
Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



optimierter Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



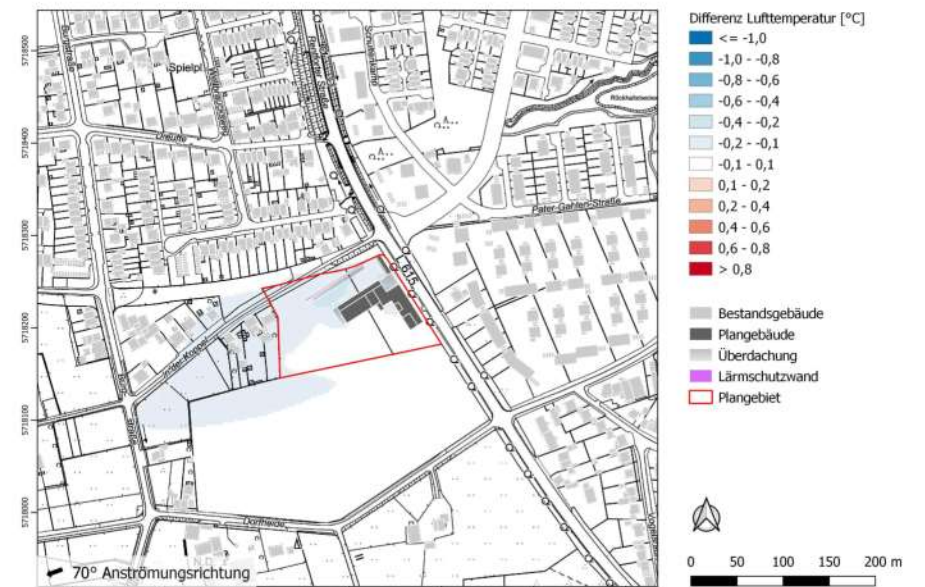
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



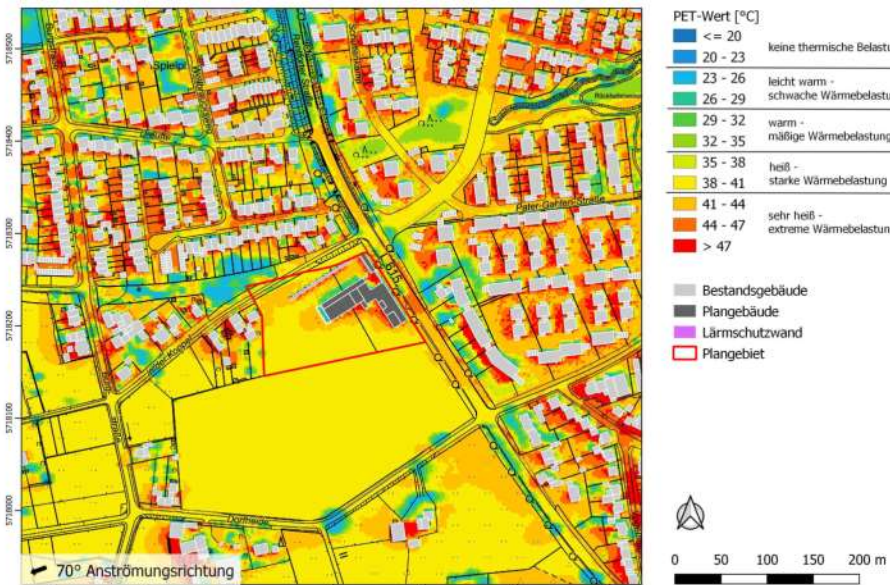
Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



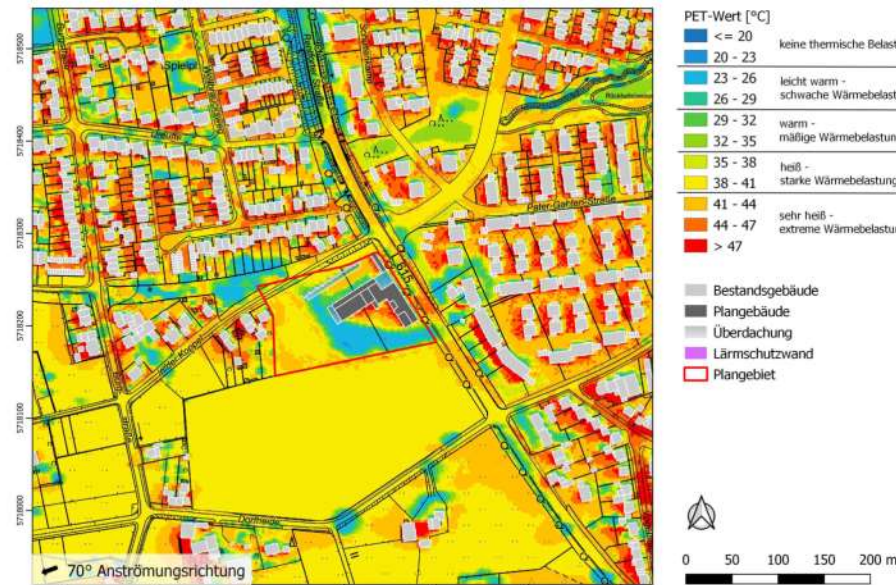
optimierter Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



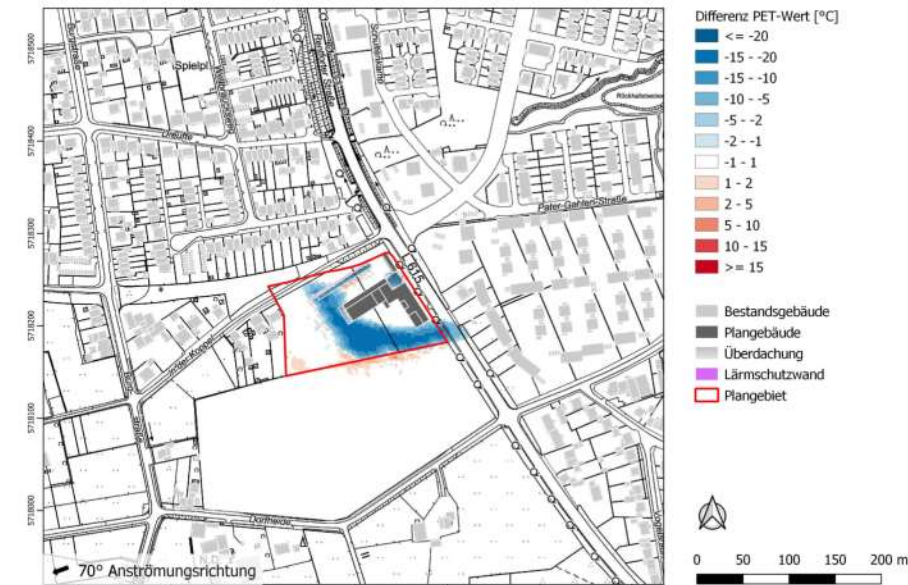
Differenz bei 70° Anströmungsrichtung



Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



optimierter Planfall bei 70° Anströmungsrichtung



Differenz bei 70° Anströmungsrichtung