

SCHALLSCHUTZ + BAUPHYSIK
AKUSTIK + MEDIEN-TECHNIK
ERSCHÜTTERUNGSSCHUTZ
UMWELTECHNOLOGIE

PEUTZ
CONSULT

Mikroskalige Klimauntersuchung für das Vorhaben Innovations- und Technocampus (ITC) in Krefeld

Bericht FA 9047-2 vom 03.09.2021

Auftraggeber: Innovationscampus Krefeld LM I und II GmbH
Rheinpromenade 11
40789 Monheim

Bericht-Nr.: FA 9047-2
Datum: 03.09.2021
Ansprechpartner/in: Frau Fritsch

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 84 Seiten,
davon 40 Seiten Text und 44 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
Dipl.-Ing. Ferry Koopmans
AG Düsseldorf
HRB Nr. 22586
Ust-IdNr.: DE 119424700
Steuer-Nr.: 106/5721/1489

Bankverbindungen:

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

Niederlassungen:

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

peutz.de

Inhaltsverzeichnis

1 Situation und Aufgabenstellung.....4

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien.....5

3 Örtliche Gegebenheiten.....8

4 Grundlagen.....10

4.1 Stadtklima.....10

4.1.1 Lufttemperatur.....10

4.1.2 Windfeld.....11

4.1.3 Relative Luftfeuchtigkeit.....11

4.1.4 Thermischer Komfort.....12

4.2 Auswirkungen des Klimawandels.....13

5 Berechnungsmodell.....16

5.1 Modellbeschreibung.....16

5.2 Aufbau der Rechengitter.....16

5.3 Eingangsdaten.....17

5.3.1 Gebäude.....17

5.3.2 Vegetation.....18

5.3.3 Oberflächen.....19

5.3.4 Initialisierungsparameter.....20

6 Ergebnisse.....23

6.1 Lufttemperaturen.....23

6.1.1 4 Uhr.....23

6.1.2 14 Uhr.....25

6.2 Durchlüftung.....26

6.3 Relative Luftfeuchtigkeit.....29

6.4 Bioklima (PET).....30

7 Planungsempfehlungen.....32

8 Zusammenfassung.....34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET..... 12
Tabelle 5.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen.....22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1 Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Krefeld.....15

1 Situation und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant die Errichtung eines Innovations- und Technologiecampus (ITC) auf einem ca. 5 ha großen, überwiegend aus Freifläche bestehenden Areal in zentraler Lage im Krefelder Stadtteil Dießem / Lemheide. Für die derzeit weitestgehend unbebaute Fläche gelten mehrere Bebauungspläne (Nrn. 96 [1], 96.1 [2], 291 [3]), welche eine Mischung aus gewerblicher und industrieller Nutzung vorsehen.

Die Planung sieht die Entwicklung der Fläche zum Gewerbestandort mit den Nutzungsbereichen Forschung, Lehre und Arbeit vor. Der Bebauungsplan (Nr. 840 „Untergath / westlich Bäckerpfad“) wird derzeit aufgestellt [4].

Im Flächennutzungsplan der Stadt Krefeld ist der nördliche Teil des Plangebiets als Gewerbegebiet und der südliche Teil als eine Kombination aus Industriegebiet, Grünfläche mit dem Nutzungszweck „Parkanlage“ und anbaufreier Zone dargestellt. Zur Umsetzung des Planvorhabens ist somit eine Änderung des Flächennutzungsplanes nötig. Dies soll in einem Parallelverfahren erfolgen.

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens sind die Auswirkungen des Planvorhabens auf das lokale Mikroklima zu untersuchen. Hierzu werden mithilfe des mikroskaligen Stadtklimamodells ENVI-met in der aktuellen Version 4.4.6 (Summer Release 2021) Simulationsrechnungen für den Ist- und Planfall in zwei Hauptwindrichtungen für einen heißen Sommertag durchgeführt. In die Berechnungen fließen Gebäudestellungen und -höhen, der Vegetationsbestand sowie die Oberflächenbeschaffenheit ein.

Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgt anhand der simulierten Temperaturverhältnisse sowie der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes zu zwei verschiedenen Uhrzeiten. Zusätzlich werden neben der relativen Luftfeuchtigkeit die Windverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m und in 15 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

In den Berechnungen zum Istfall wird in Abstimmung mit dem Planungsamt der Stadt Krefeld die gemäß vorliegendem Planungsrecht mögliche Nutzung und nicht die derzeitige Nutzung zu Grunde gelegt. Die für die Berechnung der Istsituation zugrunde liegenden örtlichen Gegebenheiten sowie die Eingrenzung des Plangebietes und die mögliche Bebauung gemäß Planrecht werden in Anlage 1 dargestellt. Anlage 2 beinhaltet einen Überblick über die lokalen Gegebenheiten für den Planfall.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[1] Bebauungsplan Nr. 96	Stadt Krefeld	P 1976
[2] 1. Ergänzung des Bebauungsplanes Nr. 96 (96.1)	Stadt Krefeld	P 1996
[3] Bebauungsplan Nr. 291	Stadt Krefeld	P 1971
[4] Bebauungsplan Nr. 840; Plan-Nr. 178 280 GL 03d - mögliche Bebauung nach aktuellem Planungsrecht	BKI – Beratungsgesellschaft für kommunale Infrastruktur mbH	P 19.07.2021
[5] Bebauungsplan Nr 840; Plan-Nr. 178 280 E 01i_lc – städtebauliches Konzept	BKI – Beratungsgesellschaft für kommunale Infrastruktur mbH	P 23.07.2021
[6] Neues Wohngebiet an der Feldstraße	Rheinische Post; https://rp-online.de/nrw/staedte/krefeld/krefeld-an-der-feldstrasse-werden-18-ein-familienhaeuser-gebaut-bautraeger-ist-die-dornieden-gruppe_aid-39629207	Lit. Letzter Zugriff: 18.08.2021
[7] Aachener wollen 100 Millionen in Krefeld investieren	Rheinische Post: https://rp-online.de/nrw/staedte/krefeld/aachener-wollen-100-millionen-in-krefeld-investieren_aid-46934233	Lit. Letzter Zugriff: 18.08.2021
[8] Zeitreihe der Windrichtung und -geschwindigkeit der Station Düsseldorf Flughafen aus dem Zeitraum 2011-2020	Deutscher Wetterdienst https://opendata.dwd.de/	P 2021
[9] BK 50; Bodenkarte von NRW 1:50.000	Geologischer Dienst NRW: http://www.gis-rest.nrw.de/atom-Feed/rest/atom/5c120c49-1486-4fc0-827c-da14624af4a4.html	P Juli 2021
[10] LOD2-Modell des Untersuchungsgebietes im CityGML-Format	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P. Letzter Zugriff: Juli 2021
[11] Normalisiertes digitales Oberflächenmodell (NDOM) des Untersuchungsgebietes	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P. Letzter Zugriff: Juli 2021
[12] Digitale Orthophotos (DOP) des Untersuchungsgebietes	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P Letzter Zugriff: Juli 2021

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[13]	Amtliche Basiskarte (ABK) des Untersuchungsgebietes Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	Letzter Zugriff: Juli 2021
[14]	INSPIRE-WFS NW Bodenbedeckungsvektor ALKIS Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P	Letzter Zugriff: Juli 2021
[15]	Rechenmodell ENVI-met, Version 4.4.6 - Summer Release 2021 ENVI_MET GmbH https://www.envi-met.com/	Lit.	2021
[16]	GALK-Straßenbaumliste GALK e.V., Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz: http://strassenbaumliste.galk.de/	P	Letzter Zugriff: Juli 2021
[17]	Baumkataster der Stadt Krefeld Stadt Krefeld https://gisdata.krzn.de/files/open-datagis/Stadt_Krefeld/Aktueller_Baumbestand.kml	P	Letzter Zugriff: Juli 2021
[18]	Bericht zum Luftqualitätsmodell Krefeld - Grobscreening IMA Cologne GmbH	Lit.	Februar 2007
[19]	VDI 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur humanbiometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Verein Deutscher Ingenieure	RIL	2008
[20]	Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels A. Matzarakis, in Umweltmeteorologie, Nr. 3, 2013	Lit.	2013
[21]	Stadtklima S. Henninger & S. Weber, 2019	Lit	2019
[22]	Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur-Verbraucherschutz NRW	Lit	2011
[23]	Meteorologie H. Häckel, 4. Auflage, 2019	Lit	1999
[24]	Klimatologie W. Kuttler, 2. Auflage, 2013	Lit	2013
[25]	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
[26]	Klimaatlas NRW Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: https://www.klimaatlas.nrw.de/	Lit	Letzter Zugriff: August 2021

Titel / Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[27] DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit	Deutsches Institut für Normung e.V. www.din.de	N 2006

Kategorien:

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

3 Örtliche Gegebenheiten

Umgebung Plangebiet

Das Plangebiet befindet sich in Krefeld-Süd, im Stadtteil Dießem-Lemheide. Südlich wird das Gebiet durch den Fuß- und Radweg entlang der B 57 (Untergath) begrenzt, an welche sich eine Mischung aus Wohn- und Gewerbebebauung anschließt. Die Straße „Bäkerpfad“ sowie westliche Teile des großflächigen Chemiestandortes bilden die östliche Grenze. Des Weiteren grenzt eine Grünfläche im Osten an. Insgesamt ist die östliche Umgebung des Plangebietes durch gewerbliche und industrielle Nutzungsformen geprägt. Das nördliche Plangebiet wird ebenfalls durch eine Grünfläche mit Gehölzbestand, welche südlich entlang der Feldstraße verläuft, eingegrenzt. Nordwestlich des Plangebietes ist weitgehend eine Wohn- und Gewerbe-Mischnutzung zu verzeichnen, zudem befindet sich an dieser Stelle das brachgefallene Areal einer ehemaligen Lackfabrik, auf dem zukünftig ein neues Wohngebiet entstehen soll [5]. Im Westen schließen das Grundstück einer Kindertageseinrichtung, die Parkanlage eines Freizeitentrums sowie Grundstücke mit kleingewerblicher und wohnlicher Bebauung an das Plangebiet an. Südwestlich des Plangebietes kreuzt die B 57 (Obergath/Untergath) die B 9 (Kölner Straße). Zwischen dieser Kreuzung und dem Plangebiet dominiert eine Bebauung mit gewerblicher Nutzung. Jenseits der Kölner Straße sowie nördlich des Plangebietes liegt vorwiegend Wohnnutzung vor.

Plangebiet Istfall

Zur Ableitung der Flächennutzung auf Grundlage des bestehenden Planrechtes wurde durch die BKI Aachen ein mögliches Bebauungs- und Begrünungskonzept erarbeitet und uns zur Verfügung gestellt [4]. Das Konzept sieht auf der ca. 4,2 ha großen Gewerbefläche den Bau von drei größeren Industriegebäuden vor, die insgesamt eine Fläche von etwa 2 ha einnehmen. Innerhalb des südlichen Plangebietes liegen darüber hinaus drei Bestandsgebäude (vgl. Anlage 1). Entlang des Fuß- und Radweges am Untergath verläuft bis zum südlichen Plangebiet ein Grünstreifen mit vereinzelt Baumstandorten sowie ein lichter Bewuchs mit 2 m hohen Sträuchern. Weitere Grünflächen innerhalb des Plangebietes befinden sich westlich und nördlich des nördlichen Plangebietes sowie westlich des südlichen Abschnitts des Bäkerpfads. Bei den Grünflächen handelt es sich um Rasenflächen, die an ihren Rändern teilweise Gehölzstrukturen aufweisen (Anlage 5).

Plangebiet Planfall

Das städtebauliche Konzept zum B-Plan Nr. 840 sieht vor, auf einer Gewerbefläche von ca. 45.540 m² einen Innovations- und Technologiecampus zu errichten. Im Nutzungskonzept sind gemischte Nutzformen aus den Bereichen Arbeiten, Forschung und Lehre sowie Gastronomie und Freizeit, wie beispielsweise Fitness, enthalten [7]. Durch eine Verlängerung der bereits bestehenden Straße „Bäkerpfad“ von Ost nach West soll das nördliche mit dem südlichen Plangebiet verbunden werden. Darüber hinaus ist im nordöstlichen Teil des südlichen Teilgebietes der Bau eines Parkhauses geplant.

Anlage 2 zeigt die auf Grundlage des aktuellen städtebaulichen Konzeptes [5] abgeleitete vorgesehene Bebauung. Die dargestellten Gebäude, inneren Erschließungsflächen, Grünflächen und Bäumen dienen als Grundlage für die Simulationsrechnungen und stellen eine Worst-Case-Betrachtung dar. Bei einer GRZ von 0,8 ergibt sich für die Freiflächennutzung eine Mischform aus Rasen- und Betonflächen mit beispielhaften 37 Baumstandorten. Des Weiteren sieht die Planung eine extensive Dachbegrünung auf etwa 70 % der gewerblich genutzten Gebäude vor.

4 Grundlagen

4.1 Stadtklima

Durch die Umgestaltung der natürlichen Oberflächen und ihrer Eigenschaften wird lokal das Klima verändert. In urbanen Gebieten mit ihren zahlreichen künstlichen Materialien und Formen resultiert daraus das Stadtklima [25].

4.1.1 Lufttemperatur

Durch die Überwärmung von Stadtgebieten, die im Allgemeinen als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird, sind im Vergleich zur ländlichen Umgebung bodennah höhere Lufttemperaturen zu verzeichnen. Im Jahresmittel beträgt der Temperaturunterschied zwischen 1 bis 2 K, in den Sommermonaten kann die Differenz mehr als 10 K betragen [23]. 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 [25].

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 kurzweilige 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 [21].

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

4.1.2 Windfeld

Städte, insbesondere Großstädte, stellen durch einen Komplex aus Grünflächen, Straßenzügen, Parkplätzen und verschiedensten Bauweisen eine äußerst strukturierte Oberfläche dar. Dementsprechend zeichnet sich ein Stadtkörper vor allem durch eine erhöhte aerodynamische Rauigkeit gegenüber dem nicht bebauten, unbewaldeten Umland aus [23].

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 [21]. 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 [24].

4.1.3 Relative Luftfeuchtigkeit

Obwohl sich im Stadtgebiet die atmosphärische Wasserspeicherung in Form der absoluten Feuchtigkeit aufgrund von Wasserdampf-Emissionen aus Verbrennungsprozessen nur unwesentlich von ländlichen Gebieten unterscheidet, ist dort die relative Luftfeuchtigkeit bedingt durch die höheren Temperaturen im Allgemeinen geringer. Neben den höheren Temperaturen, die aus dem städtischen Wärmeinseleffekt resultieren, spielt auch der geringere Anteil an Wasser – und Grünflächen im Vergleich zum unbebauten Umland eine wesentliche Rolle. Beim Verdunstungsprozess wird der Luft Wärmeenergie entzogen, die somit zur Erwärmung der Luft nicht mehr zur Verfügung steht. Nachts jedoch können höhere städtische Oberflächentemperaturen den Tauabsatz im Vergleich zum kühleren Umland verzögern oder sogar gänzlich verhindern, wodurch sich gleich hohe oder höhere relative Luftfeuchtigkeitswerte in den urbanen Gebieten einstellen. Allerdings sind die Verhältnisse in starkem Maße von den jeweiligen mikroskaligen Standortbedingungen abhängig [21] [22].

Durch eine Erhöhung des Wasser- und Grünflächenanteils kann insbesondere tagsüber ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig die Luftfeuchtigkeit in der meist relativ trockenen Stadtatmosphäre erhöht werden. Dabei überwiegt die positive Wirkung des Abkühlungseffektes gegenüber den Nachteilen einer eventuell auftretenden Schwüle, die das Bioklima negativ beeinflussen könnte [22].

4.1.4 Thermischer Komfort

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht nur von der Lufttemperatur, sondern auch von den Einstrahlungsbedingungen (jahres- und tageszeitliche Varianz, Schattenwurf, langwellige Abstrahlung von Objekten in der Umgebung), der Windgeschwindigkeit sowie der Luftfeuchtigkeit beeinflusst [20]. 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 [19] werden verschiedene Methoden zur Quantifizierung des thermischen Komforts aufgeführt. Im Folgenden wird zur Beurteilung des thermischen Komforts die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) herangezogen. Die PET beschreibt das thermische Empfinden bei wechselnden Umgebungsbedingungen. Eine thermische Belastung kann sowohl durch Kälte (niedriger PET-Wert) als auch durch Hitze (hoher PET-Wert) verursacht werden. Neben der Temperatur berücksichtigt der PET-Wert die für die Beschreibung des physiologischen Wärmeempfindens notwendigen Parameter Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und die mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung. Ein PET-Wert zwischen 18 °C und 23 °C beschreibt ein Temperaturempfinden, das als behaglich bezeichnet wird.

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

Tabelle 4.1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET

PET	Thermisches Empfinden	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

4.2 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 [26] liefert für drei verschiedenen RCP-Klimaszenarien Informationen zur Entwicklung zukünftiger Klimavariablen und -kenntage 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 beeinflussen und damit auch das Klima.

- 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 Graphiken die zukünftigen Entwicklungen der mittleren Lufttemperaturen sowie die Anzahl der heißen Tage und Tropennächte im Untersuchungsgebiet auf Basis des Klimaatlases 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 wahrscheinliche 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,
- sich die Anzahl der Heißen Tage bis Ende des Jahrhunderts verdoppelt und die Anzahl der Tropennächte verdreifacht.

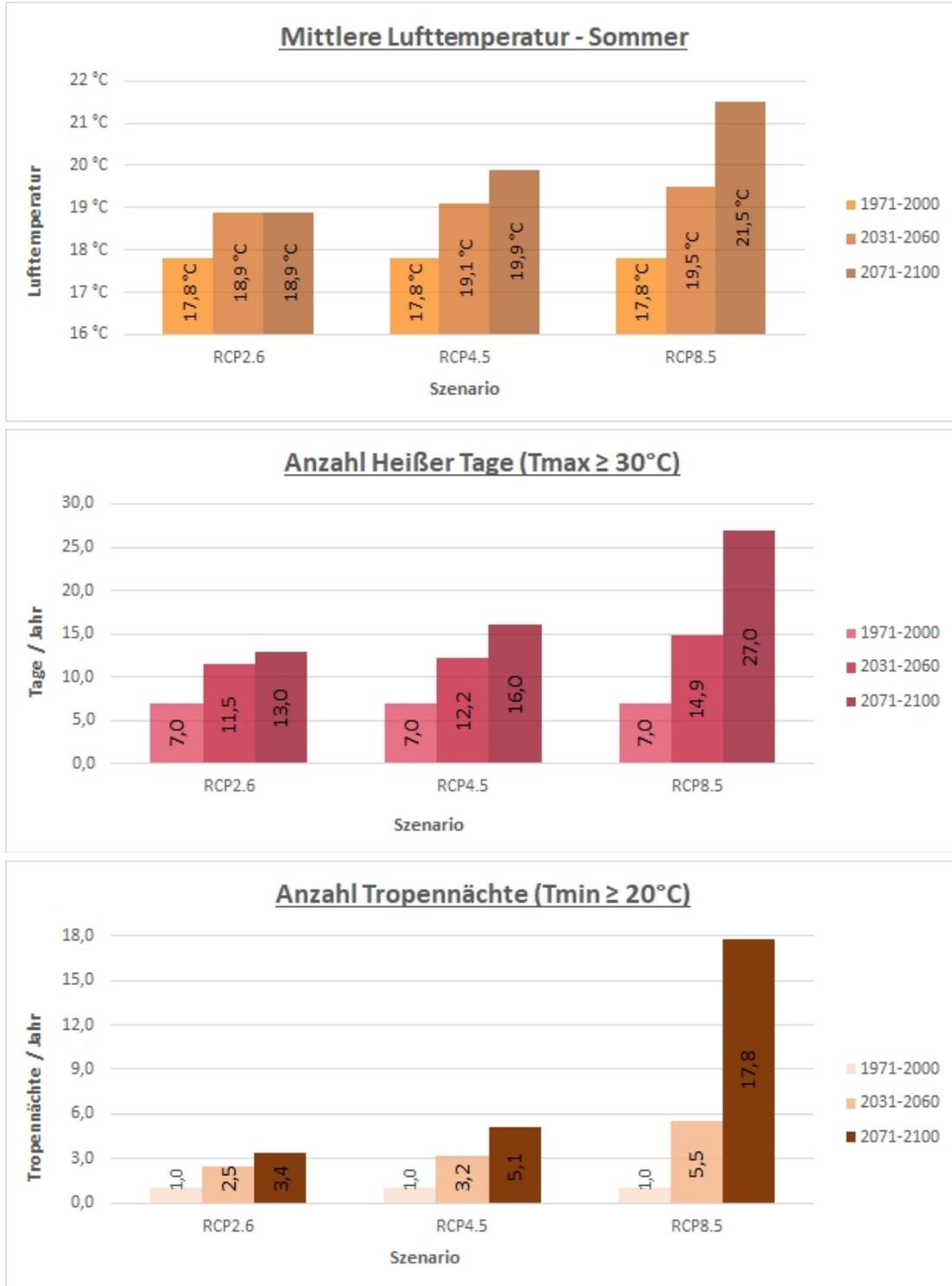
Für das mittlere Szenario RCP4.5 wird prognostiziert, dass:

- die mittlere Lufttemperatur im Sommer von 17,8 °C auf 19,9 °C in der „fernen“ Zukunft ansteigt,
- die Anzahl der Heißen Tage von 7 auf 16 ansteigt und im Schnitt 5,1 Tropennächte pro Jahr auftreten.

Die Klimamodelle geben für das worst-case-Szenario RCP8.5 vor, dass:

- sich die sommerlichen Temperaturen im Mittel um 1,7 °C (2031-2060) bzw. um 3,7 °C (2071-2100) erhöhen,
- sich bis zum Ende des Jahrhunderts die Anzahl der Heißen Tage fast vervierfacht und im Mittel 17,8 Tropennächte pro Jahr beobachtet werden können.

Abbildung 4.1 Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Krefeld



5 Berechnungsmodell

Die infolge des Planvorhabens zu erwartenden Klimaänderungen im lokalen Umfeld des Bauvorhabens werden mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der Version 4.4.6 (Summer Release 2021) [15] für die nachfolgend aufgeführten Varianten und jeweils zwei Hauptwindrichtungen (Südost und Nordost) durchgeführt:

- Istfall: Gebäude, Oberflächenbeschaffenheit und Vegetation gem. möglichem Bebauungskonzept abgeleitet aus dem gültigen Planrecht [4]
- Planfall: Realisierung der Planung abgeleitet aus dem städtebaulichen Konzept mit Stand 23.07.2021 unter Berücksichtigung einer extensiven Teilbegrünung von 70% der gewerblichen Flachdachbauten [5]

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

5.1 Modellbeschreibung

ENVI-met in der Version 4.4.6 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 3.

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.

5.2 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 Auswir-

kungen in den umliegenden bebauten Flächen des Krefelder Stadtteils Dießem / Lemheide 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 733,5 m in x- und 649,0 m in y-Richtung.

Für die Auflösung der Rechenzellen in der Vertikalen wurde ein variabler Ansatz mit in der Höhe zunehmenden vertikalen Ausdehnungen der Gitterboxen gewählt. So wurde für die unteren fünf Schichten eine feine Vertikalauflösung von 1,0 m festgelegt. Ab der Modellhöhe von 5 m erhöht sich die vertikale Zellausdehnung um jeweils 12 %. Bei einer Anzahl von 25 Gitterzellen in z-Richtung ergibt sich hieraus eine maximale Modellhöhe von 85,7 m.

5.3 Eingangsdaten

5.3.1 Gebäude

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

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

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

Lage und Höhe der Bestandsbebauung außerhalb des Plangebietes im Untersuchungsgebiet wurde aus dem vom Land NRW zur Verfügung gestellten LOD2-Modells [10] abgeleitet.

Anlage 1 zeigt hierzu den berücksichtigten Gebäudebestand im Istfall, Anlage 2 enthält den Gebäudebestand sowie die Plangebäude im Planfall. Die gemäß Planrecht mögliche Bebauung im Istfall wurde durch die BKI Aachen erarbeitet und uns zur Verfügung gestellt [4]. Die geplante Bebauung für den Planfall wurde auf Grundlage des aktuellen städtebaulichen Konzepts [5] abgeleitet.

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

5.3.2 Vegetation

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

Neben der Wuchsform (Breite und Höhe des Baumes) muss für jeden im Modell platzierten Baum die Belaubungsdichte vorgegeben werden. Dieser Parameter wurde für die Bestandsbäume anhand der im Internet veröffentlichten Straßenbaumliste der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz [16] abgeschätzt. Die hier für jede Straßenbaumart hinterlegte Information zur Lichtdurchlässigkeit wurde in die in ENVI-met vorgegebenen Belaubungsklassen übersetzt. Hierbei entspricht eine geringe Lichtdurchlässigkeit einem sehr dichten Belaubungsgrad, eine mittlere Lichtdurchlässigkeit einem dichten Belaubungsgrad und eine starke Lichtdurchlässigkeit einem lichten Belaubungsgrad.

Die Erfassung der Bäume im öffentlichen Straßenraum erfolgte mithilfe des im Internet veröffentlichten Baumkatasters der Stadt Krefeld [17]. Zur Ableitung der nicht im Baumkataster verzeichneten Bäume im privaten und öffentlichen Raum wurde das hochaufgelöste digitale Oberflächenmodell (NDOM) des Landes NRW [11] herangezogen. Da in diesem Fall die Lage und Höhe der Bäume, nicht aber deren Art bestimmt werden konnte, wurde diesen Bäumen pauschal ein „dichter Belaubungsgrad“ zugewiesen.

Gemäß dem aktuell geltenden Planrecht wurde in den Berechnungen zum Istfall im südlich gelegenen Schutzgrünstreifen des Plangebietes südlich der Baumreihe ein leichter Bewuchs mit 2 m-hohen Sträuchern angesetzt.

Für die Berechnungen zum Planfall wurden dem aktuellen Planstand [5] die Orte, Belaubungsdichten und Höhen der Baumneupflanzungen im Plangebiet entnommen. In die Berechnungen fließen für die geplanten Baumstandorte eine Baumhöhe von 10 m und eine „sehr dichte“ Belaubung ein.

Unversiegelten Bereichen im Untersuchungsgebiet ohne Baumbewuchs wurde im Ist- und Planfall pauschal ein niedriger Bewuchs (Gras, Rasen) mit einer Wuchshöhe von 10 cm zugewiesen.

In den Berechnungen zum Planfall wurde innerhalb des Plangebietes davon ausgegangen, dass alle Flachdächer, ausgenommen das des Parkhauses, zu 70% mit einer extensiven Dachbegrünung versehen werden. Hierfür wurde eine Substratdicke von 12 cm und darauf ein 10 cm hoher Bewuchs angesetzt.

In Anlage 5 und Anlage 6 werden die in die Berechnungen eingehenden Vegetationsbestände für beide Planungssituationen dargestellt.

5.3.3 Oberflächen

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

Anders als bei den versiegelten Flächen wurden bei unversiegelten Grünflächen zusätzlich die Bodeneigenschaften des Untergrundes berücksichtigt, da sich je nach Bodenart und damit einhergehender Korngrößenzusammensetzung unterschiedliche Versickerungsraten und Wasserspeicherfähigkeiten ergeben. Auf Grundlage des Informationssystems „Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen im Maßstab 1:50.000 (BK50)“ [9] wurden die Bodenprofile bis in 4,5 m Tiefe in den ENVI-met Berechnungen berücksichtigt. Die Ableitung der Oberflächenarten auf dem Plangebiet im Planfall erfolgte auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Freiflächenplanung [5].

Die versiegelten Flächen im Bestand außerhalb des Plangebietes wurden anhand aktueller Luftbilder [12] und ALKIS - Bodenbedeckungsdaten [14] erfasst. Für Straßen wurde hierbei Asphalt, für weitere versiegelte Flächen wie z. B. Parkplätze Beton als Versiegelungsmaterial vorgegeben.

In der Simulation für den Istfall wird innerhalb des Plangebietes gemäß des möglichen Bauungskonzeptes des BKI [4] eine teilversiegelte Oberfläche mit Beton angenommen, im östlichen Plangebiet verläuft der südliche Teil des Bäckerpfades als asphaltierte Fläche. Allen unversiegelten Bereichen wird unterhalb der angesetzten Rasenfläche die zugrunde liegende Bodeneigenschaft zugewiesen. Im Planfall verläuft zusätzlichen zu den versiegelten Betonflächen eine asphaltierte Erschließungsstraße von West nach Ost, zudem wird der Grünstreifen im südlichen Plangebiet verkleinert [5].

Anlage 7 und Anlage 8 zeigen die angesetzten Oberflächenbeschaffenheiten für den Ist- und Planfall auf.

5.3.4 Initialisierungsparameter

In der für die Simulationen verwendeten Modellversion 4.4.6 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.

Im vorliegenden Fall wurde ein Simple-Forcing mit einem typischen Temperatur- und Feuchtigkeitstagesgang für einen Sommertag mit einer Maximaltemperatur von 30 °C angewandt. Die Amplitude der Lufttemperatur reicht hierbei von 20,0 °C um 5 Uhr morgens bis zu 30,0 °C um 16 Uhr. Die Werte der relativen Feuchte schwanken zwischen 75 % um 5 Uhr und 30 % um 16 Uhr.

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 im Boden vorhanden ist. Dies repräsentiert die typischen Verhältnisse an einem Sommertag, dem wenige Tage zuvor Regenfälle vorausgegangen waren. Durch Verdunstungsprozesse wirkt diese Feuchte kühlend auf die darüber liegenden Luftschichten. Ein komplett ausgetrockneter Boden nach einer Hitzeperiode hat demnach eine deutlich niedrigere Kühlleistung, was einerseits durch insgesamt höhere Temperaturen im Rechenmodell sichtbar werden würde und andererseits zu einem geringeren Unterschied zwischen versiegelten und unversiegelten Flächen führen würde. Im Gegensatz dazu ist ein gesättigter Boden nach anhaltendem sommerlichen Landregen mit einer höheren Kühlleistung und damit mit insgesamt niedrigeren Temperaturen und stärkeren Unterschieden zwischen den Oberflächenarten verbunden.

Für die Anströmung wurde eine konstante Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe vorgegeben. Dies entspricht einer typischen sommerlichen Schwachwindsituation. Zur Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen wurden Wetterdaten von der vom Deutschen

Wetterdienst betriebenen Messstation Düsseldorf-Flughafen für den Zeitraum 2011 - 2020 herangezogen. Die Station liegt etwa 13 km südöstlich des Untersuchungsgebietes und gibt die Windrichtungsverteilung im Krefelder Stadtgebiet gemäß dem für das gesamte Krefelder Stadtgebiet durchgeführten Luftschadstoffscreenings [18] hinreichend genau wieder .

Anlage 4 zeigt die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Station Düsseldorf Flughafen in allen Situationen des Auswertezitraumes (links) sowie für heiße Tage mit einer Maximaltemperatur > 30 °C (rechts).

Die Windrichtungsverteilung für den gesamten Auswertezitraum zeigt, bedingt durch die Ausrichtung des Rheintales ein deutliches Windrichtungsmaximum aus Richtung Südost. Ein sekundäres Windrichtungsmaximum entfällt auf die südwestlichen Anströmungsrichtungen.

Die Windrichtungsverteilung an Hitzetagen unterscheidet sich deutlich von der Windrichtungsverteilung des gesamten Auswertezitraums. So weht der Wind an Hitzetagen fast ausschließlich aus dem östlichen Halbraum mit einem deutlichen südöstlichen Windrichtungsmaximum. Südwestliche Anströmungen treten – anders als im gesamten Untersuchungszeitraum – nur sehr selten auf.

Im Rahmen der Klimasimulationen zur Hitzebelastung werden daher nachfolgend die Windrichtungen Südost (150°) und Nordost (30°) untersucht.

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

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

Die nachfolgende Tabelle 5.1 dokumentiert die wichtigsten Initialisierungsparameter der Simulationsrechnungen:

Tabelle 5.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen

Initialisierungsparameter	Startwert
Geographische Position	51,32°N, 6,57°E
Startzeit der Simulation	20.06., 05:00 Uhr
Dauer der Simulation	35 Stunden
Lufttemperatur in 2 m über Grund	Simple Forcing (Spanne zwischen 20,0 °C und 30,0 °C)
Relative Feuchte in 2 m über Grund	Simple Forcing (Spanne zwischen 30 % und 75 %)
Rauigkeitslänge z0	0,1 m
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	1,5 m/s
Windrichtung	150° (Südost) und 30° (Nordost)
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 %

6 Ergebnisse

Die Berechnungen wurden mit den dokumentierten Eingangsdaten für den Ist- und den Planfall für jeweils zwei Anströmungsrichtungen durchgeführt. Zur Bestimmung der thermischen Kenngrößen PET-Wert und Lufttemperatur wurden die Simulationsergebnisse zu zwei verschiedenen Tageszeiten (14 Uhr – wärmste Stunde des Tages und 4 Uhr – kälteste Nachtstunde) in Bodennähe (1,5 m ü. Grund) ausgewertet und dargestellt.

Für die Untersuchung zur Durchlüftung wurden die Windfelder um 14 Uhr analysiert und in zwei verschiedenen Höhengniveaus (bodennah, 1,5 m ü. Grund und in 15 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. Die relative Luftfeuchte wurden ebenfalls um 14 Uhr ausgewertet.

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

Tagsüber wird die thermische Belastung neben der Lufttemperatur zusätzlich durch Strahlungstemperatur, die Windgeschwindigkeit und die relative Luftfeuchte geprägt. Diese Einflussparameter werden durch den PET-Wert beschrieben. Für die 14 Uhr-Situation wurde daher der PET-Wert und die Lufttemperatur zur Beurteilung herangezogen, für die 4 Uhr-Situation wurde nur die Lufttemperaturverteilung analysiert und dargestellt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse gilt grundsätzlich zu beachten, dass die Berechnungsergebnisse die stadtklimatologischen Verhältnisse unter den zugrunde gelegten Einström- und Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 5.3.4) repräsentieren. Änderungen aufgeführten Initialisierungsparameter werden zu anderen Ergebnissen führen.

6.1 Lufttemperaturen

6.1.1 4 Uhr

Anlage 9 bis Anlage 14 zeigen die simulierten Lufttemperaturen für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen für die beiden Anströmungsrichtungen in der kältesten Nachtstunde (4 Uhr).

Für den Ist- als auch für den Planfall werden in den Nachtstunden gebietsweise Höchsttemperaturen von 24,0 °C im Untersuchungsgebiet prognostiziert, wobei die Temperaturen im

Plangebiet weitestgehend Werte im Bereich von 23,5 °C (+/- 0,25) in beiden Fällen annehmen.

Südöstliche Anströmung

Aus Anlage 11, die die Temperaturdifferenz zwischen Plan- und Istfall bei südöstlicher Anströmungsrichtung beinhaltet, geht hervor, dass in den Innenhöfen der im nördlichen Plangebiet befindlichen Plangebäude trotz verringerter Luftzufuhr und gleichbleibender Oberflächenbeschaffenheit auf den Freiflächen eine Abkühlung zu verzeichnen ist. Die Differenzen betragen dort in etwa zwischen -0,4°C bis -0,8°C. Die Abkühlung resultiert aus der Höhe der Plangebäude, welche zu einer weitreichenden Verschattung der Innenhöfe führt, sodass tagsüber die direkte solare Einstrahlung über diesen Flächen geringer als im Istfall ist und somit in den Nachtstunden weniger Wärme von dieser Fläche an die unterste Atmosphärenschicht abgegeben wird.

Nördlich des südlichen Plangebietes sowie nordöstlich des nördlichen Plangebietes ergeben sich durch die geplanten Gebäudekomplexe geringe Erwärmungen zwischen 0,1°C und 0,2°C. Diese Erwärmungseffekte resultieren aus einer insgesamt höheren Bebauungsdichte gegenüber dem Istfall, da sich hier die aus Südosten einströmenden Luftmassen über den Gebäuden tagsüber stärker erwärmen kann und somit die nächtliche Wärmeausstrahlung der Gebäude nach Norden transportiert wird. Bei einer Entfernung größer als ca. 200 m zum Plangebiet hinaus ist dieser geringfügige Effekt nicht mehr sichtbar. Ansonsten sind im Untersuchungsgebiete keine weiteren Temperaturdifferenzen außerhalb des Plangebietes festzustellen.

Nordöstliche Anströmung

Wie auch bei der südöstlichen Windrichtung sind bei der nordöstlichen Anströmungsrichtung in den Innenhöfen der Plangebäude im nördlichen Plangebiet negative Temperaturdifferenzen von -0,2 bis -0,4°C zu verzeichnen (vgl. Anlage 14). Durch die Realisierung des Planvorhabens ergibt sich weiterhin eine leichte Abkühlungstendenz im mittleren Plangebiet. In Teilbereichen der westlich angrenzenden Parkanlage ist durch den erhöhten Bebauungsgrad gegenüber dem Bezugsfall mit einer leicht erhöhten Temperatur in den Nachtstunden zu rechnen. Dieser Effekt reicht bis ca. 100 m in den Park hinein.

Mit zunehmender Entfernung zum Plangebiet verringern sich die Auswirkungen des Vorhabens. Eine weitreichende klimatische Veränderung auf die umliegende Bebauung kann somit zum Zeitpunkt der stärksten nächtlichen Abkühlung ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ergeben die Rechnungen keine nächtlichen Erwärmungstendenzen im Bereich von sensiblen Nutzungen (Wohngebieten) sondern nur in gewerblich genutzten Bereichen bzw. im westlich an das Plangebiet angrenzenden Park.

6.1.2 14 Uhr

Anlage 15 bis Anlage 20 zeigen die simulierten Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen für beide untersuchten Anströmungsrichtungen um 14 Uhr.

Sowohl für den Istfall als auch für den Planfall können bei südöstlichen und nordöstlichen Windbedingungen im Untersuchungsgebiet bis zu 30,3 °C erreicht werden. Dies betrifft insbesondere die unteren Luftschichten über asphaltierten Flächen, da sich diese unter den gegebenen Randbedingungen aufgrund ihrer Eigenschaften (vgl. Kapitel 5.3.3) besonders stark aufheizen.

Südöstliche Anströmung

Die Ergebnisse für den Istfall, dargestellt in Anlage 15, zeigen auf, dass bei dieser Hauptwindrichtung innerhalb des Plangebietes Temperaturen zwischen 27,5 °C und 29,5 °C erreicht werden, wobei die höheren Temperaturen im südlichen Plangebiet und im südlichen Abschnitt des Bäckerpfads auftreten.

Anlage 16 zeigt die nachmittägliche Temperaturverteilung nach Realisierung des Planvorhabens. Die Effekte der vorgesehenen Bebauung im Gegensatz zu den großen Gewerbehallen im Istfall werden bei der Temperatursimulation für den Planfall deutlich. Bedingt durch die im städtebaulichen Konzept angesetzten Gebäudehöhen von 19 m bis 25 m werden im Plangebiet Verschattungszonen generiert, wodurch sich die im Schatten liegenden Oberflächen und in Folge daraus die bodennahen Luftschichten gegenüber der zu Grunde gelegten Istsituation weniger stark erwärmen. Wie auch für den Istfall werden im Planfall für das südliche Plangebiet die höchsten Lufttemperaturen prognostiziert.

Die Differenzdarstellung in Anlage 17 zeigt auf, dass durch die zusätzlichen Verschattungseffekte im Planfall die Temperatur im Plangebiet in nahezu allen Bereichen um -0,1 °C bis stellenweise -0,8 °C abnimmt. Diese Abkühlungseffekte erstrecken sich über das Plangebiet hinaus, sodass sich auch noch am nördlichen Rand des Rechengebiets eine nachmittägliche Temperaturreduktion von bis zu 0,3 °C ergibt. Ausgenommen hiervon sind die sonnenzugewandten Bereiche im Süden des Plangebiets. Hier werden stellenweise Temperaturerhöhungen von bis zu 0,4 °C prognostiziert. Diese Temperaturerhöhungen beschränken sich dabei weitestgehend auf das Plangebiet.

Nordöstliche Anströmung

Die Berechnungen für den Istfall aus Anlage 18 zeigen für das Plangebiet eine relativ homogene Verteilung der Temperaturwerte zwischen 27,5 und 28,5°C auf. Sie fallen damit im Mittel etwas geringer als bei südöstlichen Anströmungsbedingungen aus.

Aus Anlage 20, die die Differenzdarstellung zwischen Plan- und Istfall enthält, zeigt sich, dass aus der Planung ähnlich wie bei der südöstlichen Anströmungsrichtung am Nachmittag größtenteils eine Abkühlung gegenüber der planungsrechtlichen Istsituation resultiert. Dies ist vor allem auf die zusätzliche Verschattung durch die neuen Gebäude und Bäume zurückzuführen. Hierbei prognostizieren die Simulationen einen Abkühlungseffekt von -0,1 bis -0,6 °C. Die abkühlende Wirkung reicht hierbei über die Grenzen des Untersuchungsgebietes hinaus.

Leichte Erwärmungstendenzen von bis zu + 0,4 °C gegenüber der planungsrechtlichen Istsituation werden in Teilbereichen des Plangebietes im Bereich der neuen Erschließungsstraße berechnet. Diese Temperaturerhöhungen beschränken sich jedoch weitestgehend auf das Plangebiet.

Somit zeigen die Simulationen, dass sich durch das Planvorhaben in den heißen Nachmittagsstunden gegenüber der Istsituation keine weiteren Erwärmungen im Bereich von sensiblen Nutzungen im Umfeld des Plangebietes ergeben.

Entsprechend den Erwartungen sind durch die Realisierung des Planvorhabens Auswirkungen auf das Temperaturniveau auf den windzugewandten Seiten bei beiden Windrichtungen auszuschließen.

6.2 Durchlüftung

Anlage 21 bis Anlage 32 zeigen die simulierten Windgeschwindigkeiten für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Geschwindigkeitsdifferenzen für beide Hauptwindrichtungen in zwei Bezugsniveaus (1,5 m und 15 m über Grund).

Bedingt durch die abbremsende Wirkung der Rauigkeitselemente im Untersuchungsgebiet liegen die Windgeschwindigkeiten im bodennahem Niveau in der Ist- und Plansituation unter 1,5 m/s innerhalb des Plangebietes, wobei die Geschwindigkeiten in den umliegenden Bereichen der Gebäude, besonders in der windabgewandten Seite, noch deutlich darunter liegen. In einer Höhe von 15 m ergeben sich durch den abnehmenden Einfluss von Gebäuden und

Vegetation unabhängig von der Windrichtung höhere Windgeschwindigkeiten von bis zu 2,5 m/s. Über Freiflächen, wie etwa Parkplätze, und Straßenschluchten, die zur Hauptwindrichtung ausgerichtet sind, werden in der Regel höhere Windgeschwindigkeiten als in den dichter bebauten Bereichen erzielt.

Südöstliche Anströmung

Anlage 21 zeigt das bodennahe Windfeld in 1,5 m bei einer südöstlichen Anströmung im Istfall, Anlage 24 beinhaltet die Simulationsergebnisse für das 15 m-Niveau. Die Ergebnisse der Windfeldberechnung zeigen, dass das Plangebiet im Istfall in beiden Höhenniveaus insgesamt gut durchlüftet wird. Außerhalb der Leebereiche der Gebäude gemäß Planrecht werden bis zum 1,5 m/s (1,5 m Höhe) bzw. 2,0 m/s (15 m Höhe) erreicht.

Wie Anlage 22 aufzeigt, verursacht das Planvorhaben aufgrund der gegenüber der angenommenen Istsituation insgesamt höheren Bebauungsdichte eine deutliche Reduktion der Windgeschwindigkeiten innerhalb des Plangebietes. Dabei wird in den meisten Bereichen nur noch eine Windgeschwindigkeit unter 0,5 m/s erzielt. Entlang des Bäkerpfades und im zentralen Teil des Plangebietes erreichen die Werte vereinzelt bis zu 1,5 m/s. Bedingt durch die vorgesehenen Gebäudehöhen zeigen sich ebenfalls in 15 m Höhe Auswirkungen auf das Windfeld, indem in den umliegenden Bereichen der Plangebäude lediglich Windgeschwindigkeiten von bis zu 0,75 m/s erreicht werden.

Die Differenzdarstellung in Anlage 23 veranschaulicht die Beeinträchtigung des Windfeldes durch die Plangebäude im bodennahen Niveau. Betroffen sind insbesondere die ehemals vorgesehenen Freiflächen, auf denen nun Gebäude realisiert werden sollen. Die Abweichungen der Werte gegenüber dem Istfall betragen bis zu -1,0 m/s. Da die divergenten Strömungen, die südlich aus der Hammersteinstraße Richtung Plangebiet fließen, durch die südlichen Plangebäude kanalisiert werden, entstehen im südlichen Teil des Bäkerpfades kleinräumige Zonen mit einer positiver Windgeschwindigkeitsdifferenz von +0,45 m/s. Auch im zentralen Plangebiet sind bedingt durch Kanalisierungseffekte positive Änderungen zu verzeichnen.

Der windgeschwindigkeitsmindernde Einfluss der neuen Bebauung wird auch in 15 m Höhe deutlich (vgl. Anlage 26). Ausgenommen von sehr kleinräumigen Bereichen mit positiver Differenz im östlichen Bereich des südlichen Plangebietes sowie im zentralen Plangebiet nimmt die Windgeschwindigkeit dort großflächig um über 1 m/s ab.

Insgesamt beschränken sich die planbedingten Windgeschwindigkeitsänderungen weitestgehend auf das Plangebiet, sodass wenige Meter hinter den geplanten Gebäuden das ursprüngliche Windgeschwindigkeitsniveau wieder erreicht wird.

Nordöstliche Anströmung:

Analog zur südöstlichen Windrichtung geben die Modellrechnungen in Anlage 27 für den Istfall wieder, dass das Plangebiet insgesamt gut durchlüftet wird. Besonders im südlichen Teil des nördlichen Plangebietes sowie im südlichen Plangebiet werden Geschwindigkeitswerte von bis zu 1,25 m/s, stellenweise auch von 1,5 m/s erreicht. Auf den windabgewandten Seiten der vorgesehenen Gebäude treten geringere Geschwindigkeiten von bis zu 0,75 m/s auf. Hohe Windgeschwindigkeiten von über 2,0 m/s werden auch in 15 m Höhe prognostiziert (Anlage 30). Auf den Leeseiten der im Bebauungsplan vorgesehenen Gebäude lassen sich jedoch auch Bereiche mit geringen Werten (0,25 -1,00 m/s) für das obere Niveau feststellen.

Anlage 28 und Anlage 31 und stellen die Situationen der beiden untersuchten Ebenen für den Planfall dar. Hieraus wird ersichtlich, dass bei nordöstlicher Anströmung durch die Realisierung des Vorhabens ebenfalls eine deutliche Reduktion der Windgeschwindigkeit resultiert. Im bodennahen Niveau (Anlage 28) betragen die simulierten Werte der Windgeschwindigkeit weitestgehend 0,25 m/s bis 0,75 m/s.

Positiv auf die Durchlüftung des Plangebiets wirkt sich die Gebäudelücke zwischen nördlichem und südlichem Plangebiet im Bereich der Erschließungsstraße aus. Durch die in Bezug auf die nordöstliche Anströmung günstige Ausrichtung kann Luft aus Richtung Nordost in das Plangebiet gelangen und hier zur Reduktion von Hitzestress beitragen.

Bei Betrachtung der Differenzdarstellungen zwischen Plan- und Istfall in Anlage 29 und Anlage 32 wird ersichtlich, dass bei Realisierung des Planvorhabens sowohl in Bodennähe als auch in 15 m Höhe analog zur südöstlichen Anströmung die Windgeschwindigkeiten deutlich abnehmen.

Für das Windfeld in 1,5 m wird prognostiziert, dass die Windgeschwindigkeit besonders in den südlichen Teilen des nördlichen und südlichen Plangebietes zwischen -0,6 und -1,05 m/s abnimmt. Dies gilt zum Teil auch für die an das Plangebiet angrenzenden Gebiete wie etwa dem westlich gelegenen Park oder stellenweise für die südlich verlaufenden B 57. Insgesamt beschränken sich die Windgeschwindigkeitsreduktionen jedoch auch hier weitestgehend auf das Plangebiet.

Im südöstlichen Bereich des Plangebietes ist eine kleinräumig begrenzte Zunahme der Windgeschwindigkeit zu verzeichnen, da sich aufgrund des rechten unteren Plangebäudes der durchströmbare Bereich entlang der B 57 an dieser Stelle verschmälert. Im südlichen Teil des nördlichen Plangebietes gehen mit der Anordnung der Plangebäude gegenüber der Bebauung gemäß Planrecht stellenweise höhere Windgeschwindigkeiten im Bereich von 1 m/s einher.

Der in Anlage 32 enthaltenen Differenzdarstellung in 15 m Höhe ist zu entnehmen, dass die Plangebäude das Windfeld sowohl auf der windzugewandten als auch auf der windabgewandten Seite deutlich beeinflussen.

Durch das Planvorhaben ist im Plangebiet für beide Windrichtungen gegenüber dem planungsrechtlichen Istfalls insgesamt mit verringerten Windgeschwindigkeiten zu rechnen, da das Windfeld bei beiden Varianten durch die zusätzliche Bebauung stark beeinträchtigt wird. Sowohl im bodennahen Niveau als auch im oberen Niveau ergeben sich abgesehen von den bereits erwähnten direkt an das Plangebiet angrenzenden Differenzen keine weiteren Änderungen im Untersuchungsgebiet hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten. Eine durchgreifende Verschlechterung der Belüftungssituation durch das Planvorhaben kann somit für die umliegenden Bebauungsgebiete ausgeschlossen werden.

6.3 Relative Luftfeuchtigkeit

Anlage 33 bis Anlage 38 beinhalten die simulierten Werte für die relative Luftfeuchtigkeit für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für die beiden Anströmungsrichtungen um 14 Uhr.

Grundsätzlich verläuft der typische Tagesgang der relativen Luftfeuchte entgegengesetzt zum Tagesgang der Lufttemperatur, d.h. zum Zeitpunkt der stärksten Erwärmung ist ein Minimum zu erwarten.

Die relative Luftfeuchtigkeit nimmt sowohl bei südöstlicher als auch bei nordöstlicher Anströmungsrichtung Werte zwischen 34 % bis stellenweise maximal 48 % an. In beiden Fällen ergibt die Simulation aus modelltechnischen Randeffekten an den Einströmrändern besonders geringe Prozentwerte, diese sollten daher nicht interpretiert werden.

Aus den Untersuchungen für beide Windrichtungen im Istfall (Anlage 33 und Anlage 36) geht hervor, dass die höchsten Werte in der Parkanlage südwestlich des Plangebietes aufgrund des dichten Baumbestandes erreicht werden. Im Plangebiet selbst ist am Nachmittag mit einer relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich von 40 bis 44 % zu rechnen.

Anlage 34 und Anlage 37 veranschaulichen die Situation für den Planfall. Sowohl bei der südöstlichen als auch bei der nordöstlichen Windrichtung betragen die Simulationswerte der relativen Luftfeuchtigkeit im nördlichen Plangebiet stellenweise bis zu 46 %, größtenteils liegen die Werte jedoch zwischen 40 und 44 %.

Anhand der Differenzdarstellungen in Anlage 35 und Anlage 38 kann die Aussage für beide Windrichtungen getroffen werden, dass durch die Realisierung des Planvorhabens jeweils innerhalb von 150 - 200 m auf der windabgewandten Seite höhere relative Luftfeuchtigkeits-

werte zwischen 1-3 % auftreten. Auch innerhalb des Plangebietes können leicht höhere Werte verzeichnet werden. Dies lässt sich unter anderem mit den erweiterten Rasenflächen, der extensiven Dachbegrünung und den zusätzlichen Baumstandorten begründen, die durch zusätzliche Verdunstung für eine höhere Luftfeuchte sorgen.

6.4 Bioklima (PET)

Anlage 39 bis Anlage 44 zeigen die simulierten PET-Werte für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für beide untersuchten Anströmungsrichtungen um 14 Uhr.

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

Südöstliche Anströmung

Innerhalb des Plangebietes im Istfall (Anlage 39) werden aufgrund des hohen Versiegelungsgrades insgesamt sehr hohe PET-Werte erreicht, sodass das thermische Wärmeempfinden gemäß Tabelle 4.1 größtenteils als „sehr heiß“ eingestuft werden kann. Zwischen den beiden südlichen Gebäuden werden bei südöstlicher Anströmung besonders hohe PET-Werte (> 49 °C) erzielt. Dies lässt sich durch die Kombination aus einer verringerten Durchlüftung, der reflektierten Strahlung an den Gebäuden, sowie der unverminderten Sonneneinstrahlung begründen. Durch Verschattungseffekte werden auf der sonnenabgewandten Seite der Gebäude auch Zonen mit geringerer thermischer Belastung (35 – 41 °C) generiert.

Die positiven Effekte auf die Wärmebelastung durch Verschattung zeigt auch die Situation für den Planfall (Anlage 40). Aus der Anlage wird deutlich, dass bedingt durch die vorgesehenen Höhen der Plangebäude weitreichende Schattenbereiche im Plangebiet entstehen, innerhalb derer eine deutlich reduzierte bioklimatische Belastung vorherrscht.

Sehr hohe Werte werden hingegen unter anderem entlang der von West nach Ost verlaufenden Erschließungsstraße berechnet. Diese hohen Werte sind insbesondere auf die starke Aufheizung der Asphaltfläche, die unverminderte solare Einstrahlung sowie die geringen Windgeschwindigkeiten zurückzuführen. Hinzu kommt die reflektierte Strahlung an den nördlich davon liegenden Gebäuden, die die thermische Behaglichkeit zusätzlich negativ beeinflusst.

Ungünstige bioklimatische Bereiche bilden sich zudem auf der Ostseite der östlichen Plangebäude im südlichen und nördlichen Plangebiet aus. Da hier tagsüber die Sonneneinstrahlung unvermindert die Oberfläche erreichen kann und bedingt durch die halboffene, quer zur Windrichtung stehende Bebauung die Durchlüftung stark eingeschränkt wird, nimmt der PET Werte über 51 °C an. Der negative Einfluss auf die thermische Behaglichkeit durch die direkte Sonneneinstrahlung wird auch zwischen dem Parkhaus und dem südlichsten Plangebäude ersichtlich, da hier die PET-Werte außerhalb der Verschattungszonen sehr hoch sind.

Nordöstliche Anströmung

Die Situation für die nordöstliche Anströmungsrichtung (Anlage 42 und Anlage 43) spiegelt im Wesentlichen die Ergebnisse der südöstlichen Windrichtung wieder. Ein Unterschied zeigt sich auf der Freifläche zwischen Bäckerpfad, Untergath und dem südlichsten Plangebäude. Aufgrund der bei nordöstlichen Anströmungen besseren Durchlüftung werden hier niedrigere PET-Werte als bei südöstlichen Anströmungen prognostiziert.

Die beiden Differenzdarstellungen (Anlage 41 und Anlage 44) liefern die Erkenntnis, dass der PET-Wert nicht nur durch die direkte Sonneneinstrahlung beeinflusst wird, sondern auch durch die reflektierte Strahlung an Gebäuden. Dementsprechend ist eine Verschlechterung des Wertes auf der sonnenzugewandten Seite der Plangebäude zu verzeichnen. Gegenüber der planungsrechtlichen Istsituation kann sich der PET-Wert in diesen Bereichen um 5-15 °C verschlechtern. Bei beiden Anströmungsrichtungen sind besonders die sonnenzugewandten Umgebungen der südlichen Plangebäude betroffen.

Positiv kann bei beiden Hauptwindrichtungen aufgeführt werden, dass die durch Bäume und Gebäude verschatteten Bereichen sowie die Innenhöfe der Gebäude lediglich durch eine mäßig bis starke Wärmebelastung an einem heißen Sommertag gekennzeichnet sind. Die Ergebnisse deuten auf eine Verbesserung des PET-Wertes zwischen -5 und -15 °C hin.

Außerhalb des Plangebietes sind bei beiden Windrichtungen durch das Planvorhaben keine nennenswerten Veränderungen des PET-Wertes feststellbar.

Zur Gewährleistung gesunder Arbeitsverhältnisse und einer zufriedenstellenden Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen sollte der Ausbildung von extremen bioklimatischen Belastungszonen nach Möglichkeit mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden.

7 Planungsempfehlungen

Die Berechnungsergebnisse zeigen auf, dass das Windfeld durch die vorgesehene Bebauung im Planvorhaben innerhalb des Plangebietes zwar beeinträchtigt wird, sich aber dennoch durch die genannten Gründe eine Verminderung der nachmittäglichen Lufttemperatur über das Plangebiet hinaus ausprägt. Als problematisch stellen sich hingegen die Bereiche mit sehr hohen bioklimatischen Belastungen heraus, welche vor allem aus den eingeschränkten Belüftungsverhältnissen, der ungeminderten solaren Einstrahlung und der Reflexion von Sonnenstrahlung aus der zusätzlichen Gebäudefläche resultieren. Daher sollten die Maßnahmen auf die Reduktion der thermischen Belastung abzielen, um die Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen aus bioklimatischer Sicht zu verbessern. Folgende Maßnahmen können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des 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. Dahingehend empfehlenswert sind beispielsweise Baum-Rigolen entlang der asphaltierten Fläche im Plangebiet, die die bodennahe Erwärmung tagsüber und damit auch in den Nachtstunden eindämmen. Da im südwestlichen Teil des südlichen Plangebietes eine Verschattung durch umliegende Gebäude kaum gegeben ist, würden sich zusätzliche zu den vier geplanten Baumstandorten weitere Baumpflanzungen eignen, um an dieser Stelle eine Verbesserung des Bioklimas zu erreichen. Auch im stark belasteten Umfeld zwischen dem Parkhaus und dem südlichsten Plangebäude können weitere Baumstandorte für eine Verminderung des Hitzestresses sorgen. In Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels bieten sich hierfür insbesondere stadtklimafeste, also hitze- und trockenheitsresistente Arten an, die zudem eine geringe oder mittlere Lichtdurchlässigkeit aufweisen.

Fassadenbegrünung und intensive Dachbegrünung

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine zusätzliche Gebäudebegrünung in Form von Fassadenbegrünung vorzunehmen, besonders in den Bereichen mit sehr hoher thermischer Belastung auf der sonnenzugewandten Seite der Plangebäude. 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 sich die Ge-

bäude 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.

Neben der bereits extensiv genutzten Dachflächen würde sich eine 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.

Grünflächenbewässerung

Während langer Hitzeperioden trocknen die Böden aus. Die trockenen Böden verhalten sich dann ähnlich wie Stein und Beton und können keinen Beitrag mehr zur Kühlung leisten. Auf ausreichend mit Wasser versorgten Grünflächen und Böden wird dagegen ein Teil der Energie durch Verdunstung (Transpiration von Pflanzen und Evaporation von Böden) in latente Wärme umgewandelt. Flächen mit hoher Evaporation heizen sich deshalb deutlich weniger auf und können angrenzende städtische Flächen kühlen. Um eine ausreichende Bewässerung der Grünflächen auch in Trockenperioden zu gewährleisten, sollten in Zeiten des Wasserüberschusses (z.B. nach Starkregen) die städtischen Oberflächen in die Lage versetzt werden, das anfallende Wasser zwischenspeichern, um es dann in Hitzeperioden wieder abzugeben, damit durch Verdunstung über den Boden und die Vegetation Kühle entstehen kann. Dies kann z.B. über eine Mulden- und Beckenversickerung, Rigolen- und Rigolenrohrversickerung oder Mulden-Rigolen-Versickerung geschehen. Auch intensive Dach- und Fassadenbegrünungen sind in der Lage Wasser zwischenspeichern und so in langen Trockenperioden die Verdunstungsleistung der städtischen Oberflächen zu erhöhen

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 innerstädtische Springbrunnen oder Wasserzerstäuber tragen hierbei insgesamt in größerem Maß zu Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen. Offene Wasserflächen haben zudem eine ausgleichende Wirkung auf die Lufttemperaturen in der Umgebung.

8 Zusammenfassung

Auf einer Fläche von rund 5 ha soll im Krefelder Stadtteil Dießem / Lemheide ein Innovations- und Technologiecampus (ITC) entstehen. Für die derzeit weitestgehend unbebaute Fläche gelten mehrere Bebauungspläne welche eine Mischung aus gewerblicher und industrieller Nutzung vorsehen. Die Planung sieht die Entwicklung der Fläche zum Gewerbestandort mit den Nutzungsbereichen Forschung, Lehre und Arbeit vor.

Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens sind die Auswirkungen des Planvorhabens auf das Lokalklima zu untersuchen. Hierzu wurden Simulationsberechnungen mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der aktuellen Version 4.4.6 für den Ist- und den Planfall für zwei Hauptwindrichtungen für einen heißten Sommertag durchgeführt. In den Berechnungen zum Istfall wird in Abstimmung mit dem Planungsamt der Stadt Krefeld die gemäß vorliegendem Planungsrecht mögliche Nutzung und nicht die derzeitige Nutzung zu Grunde gelegt. Für beide Planungssituationen fließen die Gebäudestellungen und -höhen, der Vegetationsbestand sowie die Oberflächenbeschaffenheit ein.

Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgte anhand der simulierten Temperaturverhältnisse sowie der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes zu zwei verschiedenen Uhrzeiten. Zusätzlich wurden die Windverhältnisse in einer Auswertehöhe von 1,5 m und in 15 m sowie die Werte der relativen Luftfeuchte ausgewertet und dargestellt. Die Beurteilung der Windverhältnisse erfolgte anhand der Windgeschwindigkeit.

Die Berechnungsergebnisse liefern die Erkenntnis, dass sich die planungsbedingten windklimatischen und thermischen Veränderungen weitestgehend auf das Plangrundstück beschränken, sodass im Umfeld des Plangebietes nicht mit einer negativen klimatischen Veränderung zu rechnen ist. Weiträumige Veränderungen über das Plangebiet hinaus treten nur am Tag auf. Da es sich dabei jedoch um Abkühlungstendenzen der Lufttemperatur infolge von planbedingten zusätzlichen Verschattungen handelt, sind diese Veränderungen als unkritisch anzusehen.

Innerhalb des Plangebietes sind nachts kleinräumig bei beiden untersuchten Anströmungsrichtungen leichte Erwärmungstendenzen durch die Umsetzung des Planvorhabens ersichtlich. Da davon auszugehen ist, dass aufgrund der vorgesehen Büronutzung nachts keine Betroffenheiten auftreten, sind diese leichten Erwärmungen ebenfalls als unkritisch einzustufen.

Durch das Planvorhaben ist im Plangebiet für beide Windrichtungen gegenüber dem Istfall insgesamt mit verringerten Windgeschwindigkeiten zu rechnen, da das Windfeld bei beiden Varianten durch die vorgesehene Bebauung stark beeinträchtigt wird. Die Geschwindigkeitsreduktion beschränkt sich weitestgehend auf das Plangebiet. Daher ist eine durchgreifende

Verschlechterung der Belüftungssituation durch das Planvorhaben für die umliegenden Wohn- und Gewerbegebiete auszuschließen.

Für die relative Luftfeuchtigkeit ergeben sich durch die Realisierung des Planvorhabens bei beiden Anströmungsrichtungen infolge des erhöhten Grünanteils in Form von zusätzlichen Bäumen, Rasenflächen und Dachbegrünungen jeweils auf der windabgewandten Seite leicht höhere Werte. Auch innerhalb der Plangrenzen sind den Ergebnissen verbesserte Werte zu entnehmen.

Infolge der hohen Bebauungsdichte und der zum Teil stark verminderten Durchlüftung werden für einige Bereiche innerhalb des Plangebietes ungünstige bioklimatische Bedingungen prognostiziert. Zur Gewährleistung gesunder Arbeitsverhältnisse und einer zufriedenstellenden Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen sollte der Ausbildung dieser HotSpots nach Möglichkeit mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden.

Minderungen der zum Teil hohen thermischen Belastung innerhalb des Plangebietes können durch die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen erzielt werden:

- Zusätzliche Baumstandorte, die für weitere Verschattungszonen sorgen und empfindliche Bereiche auf der sonnenzugewandten Seite der Gebäude oder entlang der geplanten asphaltierten Fläche kühlen
- Weitere Gebäudebegrünung in Form von intensiver Dachbegrünung und Fassadenbegrünung, um das beeinträchtigte Windfeld nicht zusätzlich zu stören, jedoch aber die Reflexion der Sonnenstrahlung an den Gebäuden zu verringern und die nachmittägliche Wärmeaufnahme der Gebäude zu reduzieren
- Künstliche Bewässerung der Grün- und Rasenflächen, um die Verdunstungskühlung auch während langer Hitze- bzw. Trockenperioden aufrecht zu erhalten
- Offene Wasserflächen zur Förderung der Verdunstungskühlung

Neben positiven Effekten für die bioklimatische Belastung innerhalb des Plangebietes kann durch die Umsetzung der genannten Maßnahmen auch den nächtlichen Erwärmungstendenzen entgegengewirkt werden.

Peutz Consult GmbH

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

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

Anlagenverzeichnis

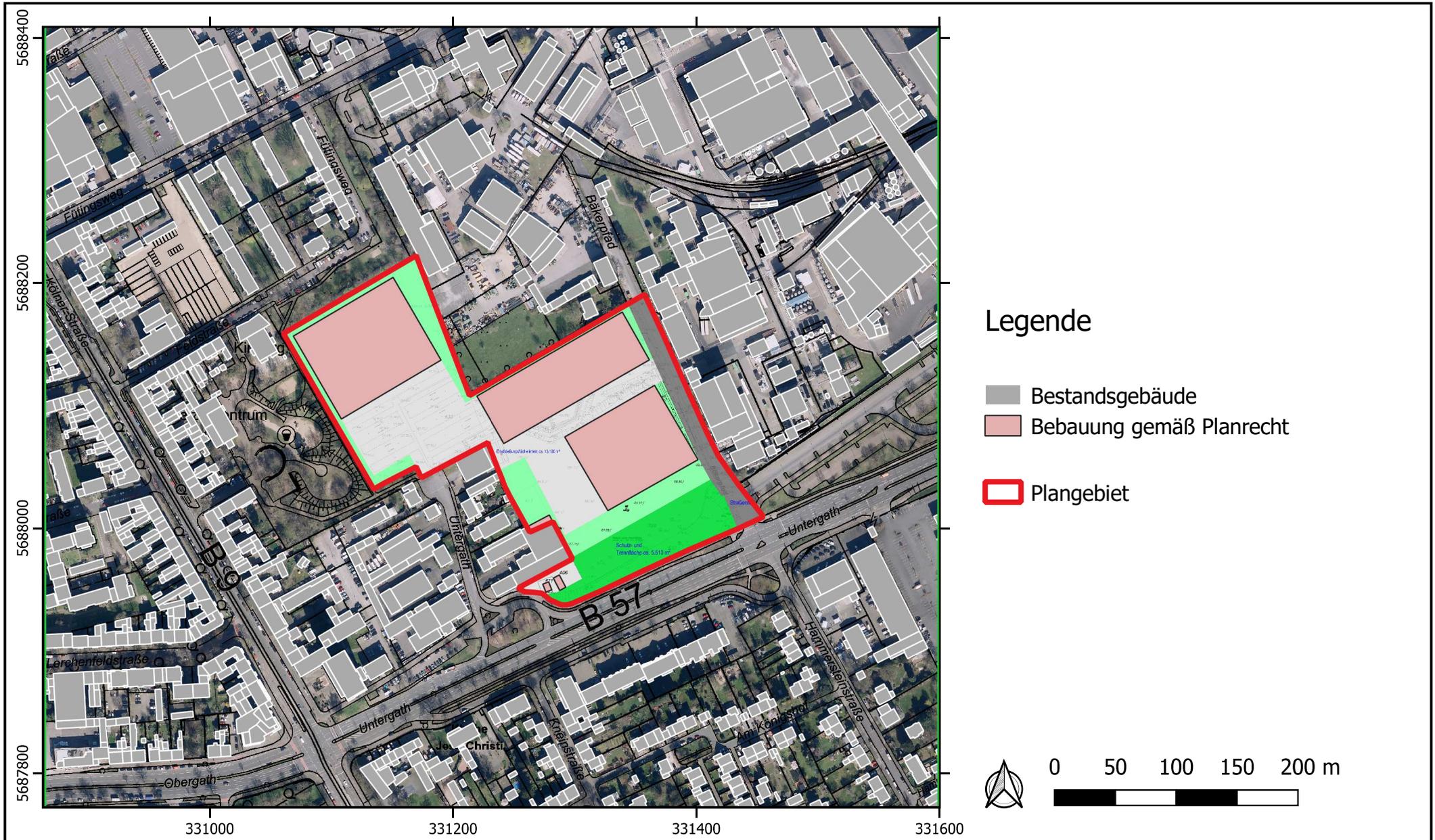
- Anlage 1 Übersichtslageplan und Gebäude im Istfall
- Anlage 2 Übersichtslageplan und Gebäude im Planfall
- Anlage 3 ENVI-met Modell-Architektur
- Anlage 4 Windrichtungs- und geschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Düsseldorf-Flughafen im Zeitraum 2010-2020 (links: Allgemein; rechts: $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$)
- Anlage 5 Vegetation im Istfall
- Anlage 6 Vegetation im Planfall
- Anlage 7 Oberflächenbeschaffenheit im Istfall
- Anlage 8 Oberflächenbeschaffenheit im Planfall
- Anlage 9 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Istfall
- Anlage 10 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall
- Anlage 11 Differenz der Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 12 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Istfall
- Anlage 13 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall

- Anlage 14 Differenz der Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 4 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung– Planfall minus Istfall
- Anlage 15 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Istfall
- Anlage 16 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall
- Anlage 17 Differenz der Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 18 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Istfall
- Anlage 19 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall
- Anlage 20 Differenz der Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung– Planfall minus Istfall
- Anlage 21 Windfeld in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall
- Anlage 22 Windfeld in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall
- Anlage 23 Differenz der Windgeschwindigkeit in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 24 Windfeld in 15 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall
- Anlage 25 Windfeld in 15 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall

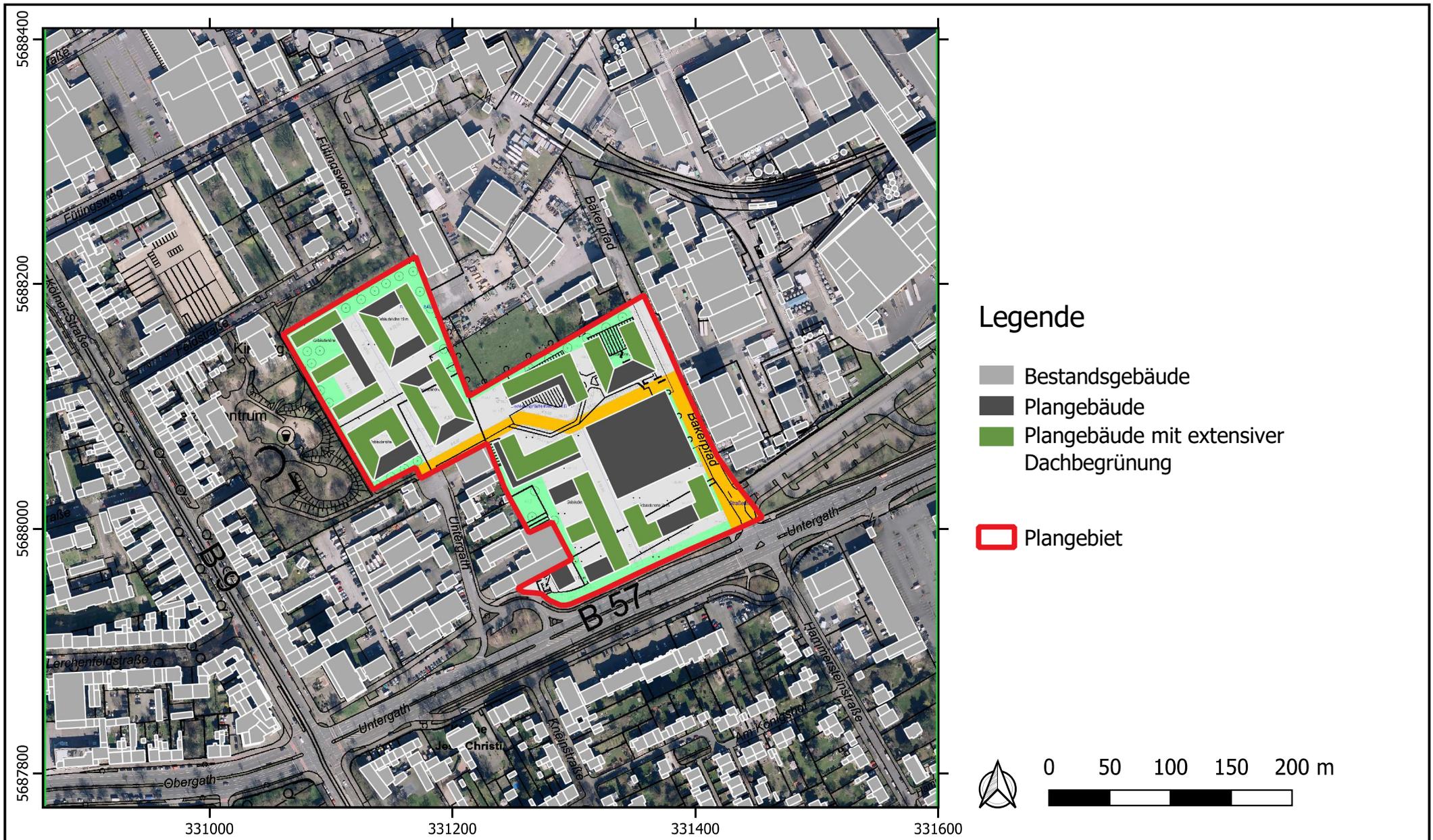
- Anlage 26 Differenz der Windgeschwindigkeit in 15 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 27 Windfeld in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall
- Anlage 28 Windfeld in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall
- Anlage 29 Differenz der Windgeschwindigkeit in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 30 Windfeld in 15 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall
- Anlage 31 Windfeld in 15 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall
- Anlage 32 Differenz der Windgeschwindigkeit in 15 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall
- Anlage 33 Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Istfall
- Anlage 34 Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall
- Anlage 35 Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 36 Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Istfall
- Anlage 37 Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall

- Anlage 38 Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 39 PET-Wert in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall
- Anlage 40 PET-Wert in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall
- Anlage 41 Differenz des PET-Wertes in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall
- Anlage 42 PET-Wert in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall
- Anlage 43 PET-Wert in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall
- Anlage 44 Differenz des PET-Wertes in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung – Planfall minus Istfall

Anlage 1: Übersichtslageplan und Gebäude im Istfall

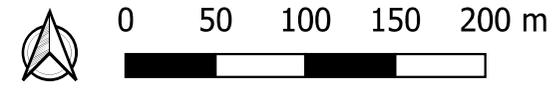


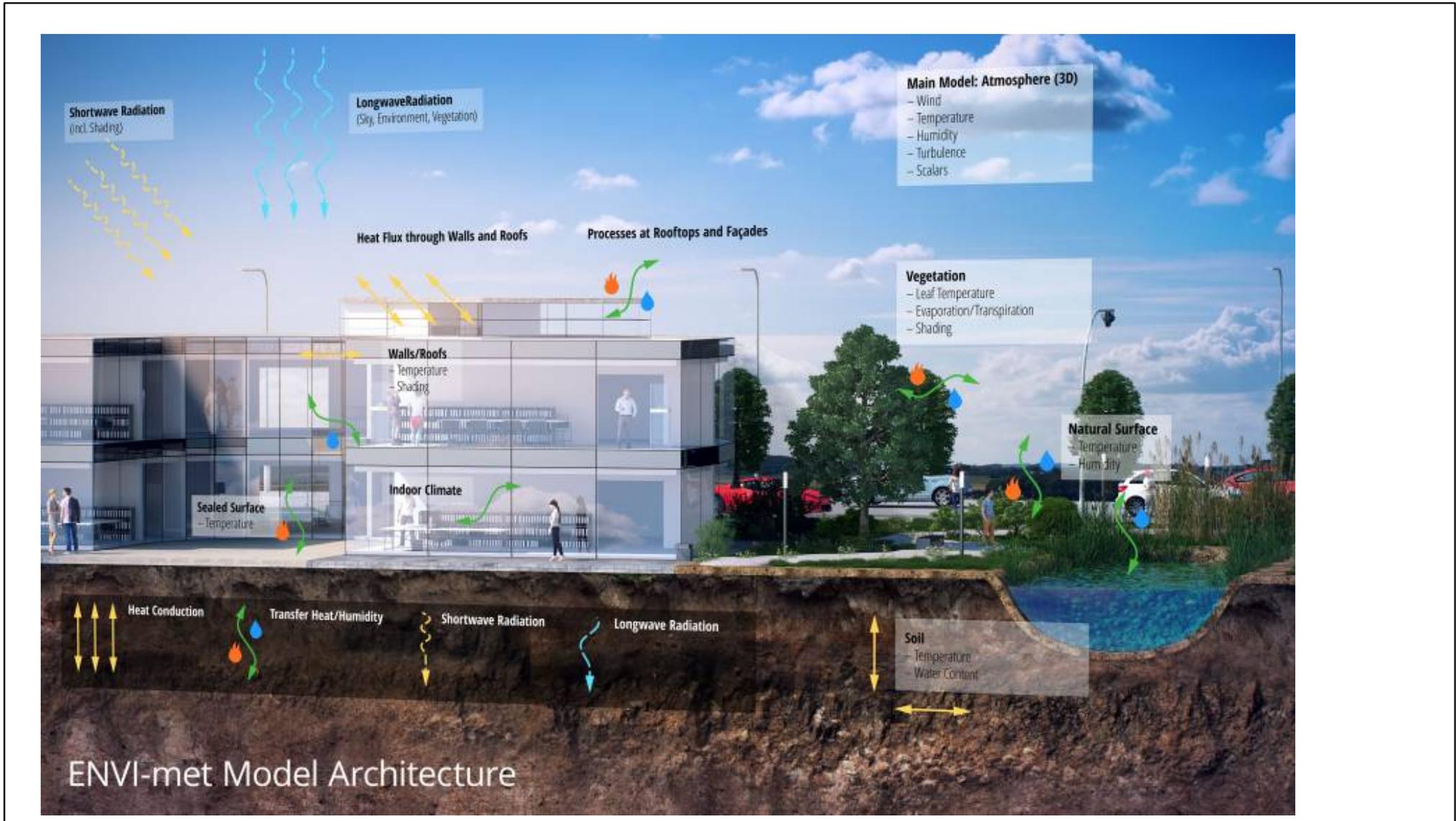
Anlage 2: Übersichtslageplan und Gebäude im Planfall



Legende

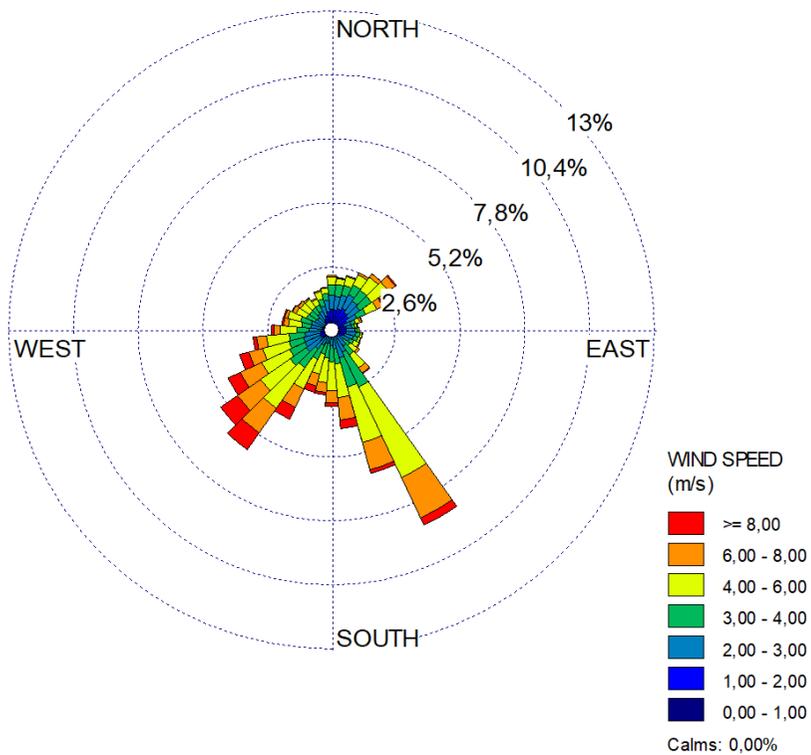
- Bestandsgebäude
- Plangebäude
- Plangebäude mit extensiver Dachbegrünung
- Plangebiet



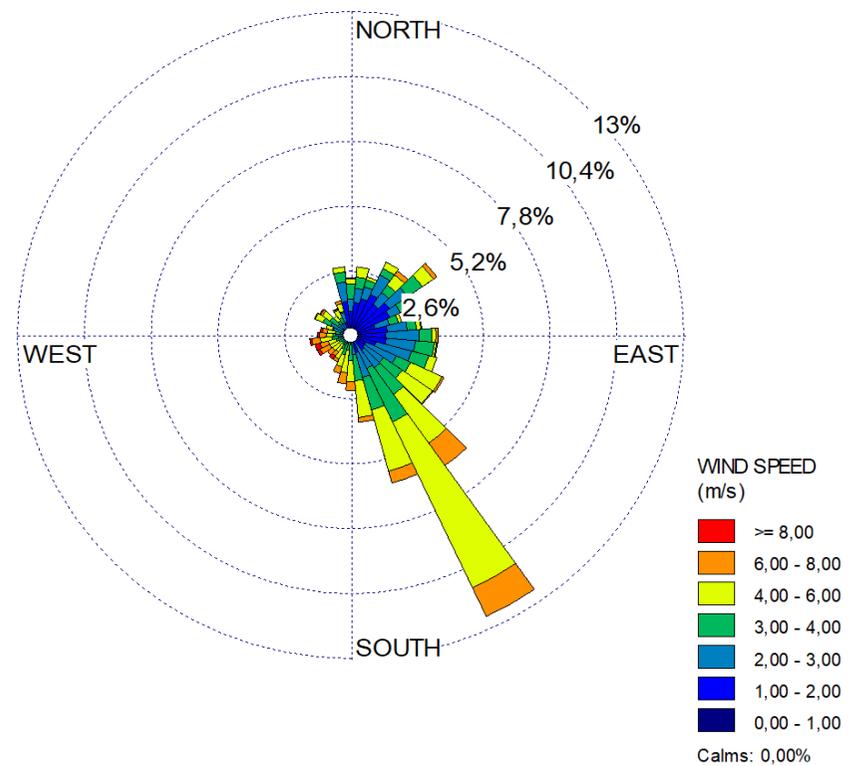


Anlage 4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Düsseldorf Flughafen im Zeitraum 2011 - 2020

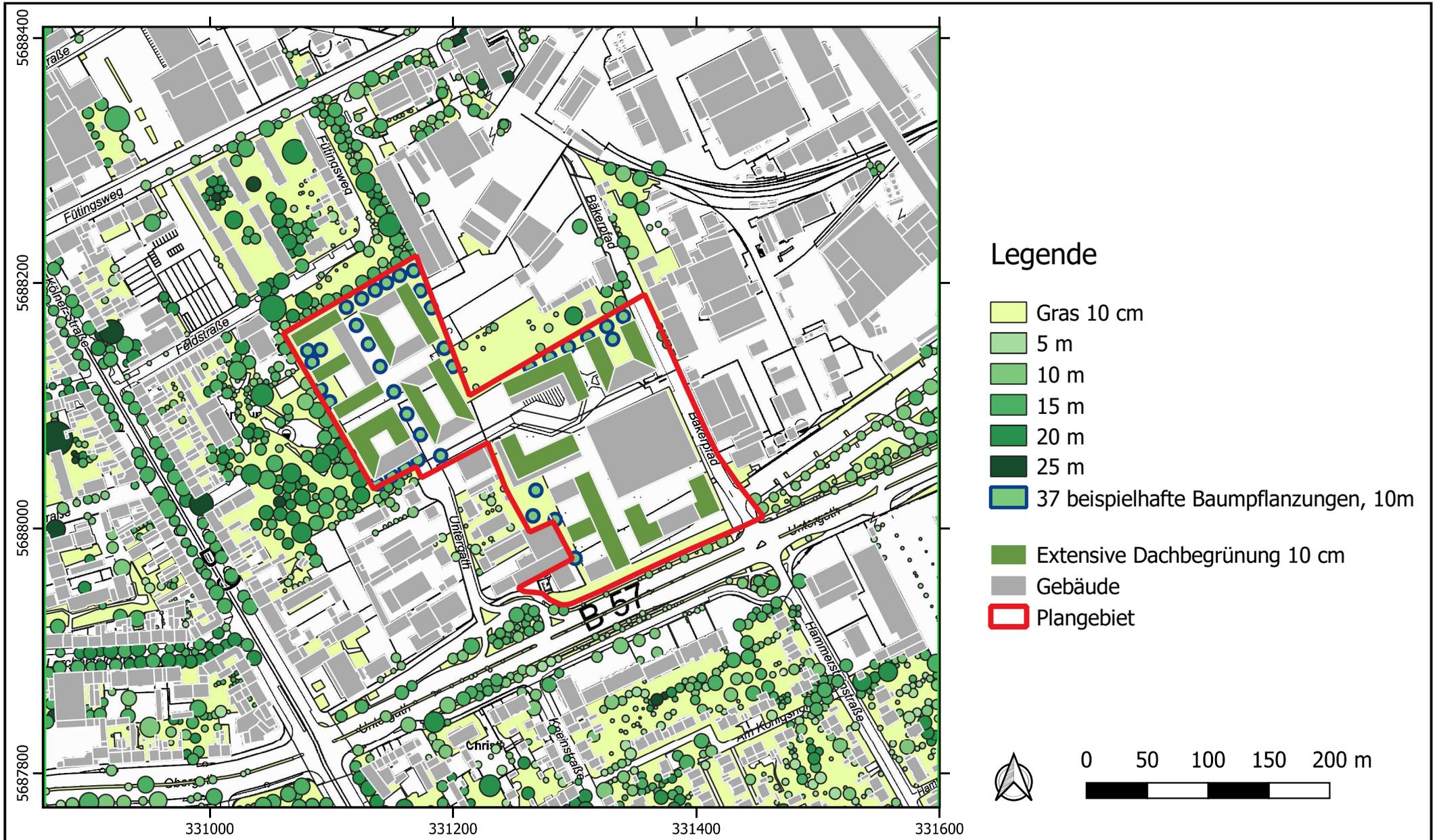
- alle Situationen -



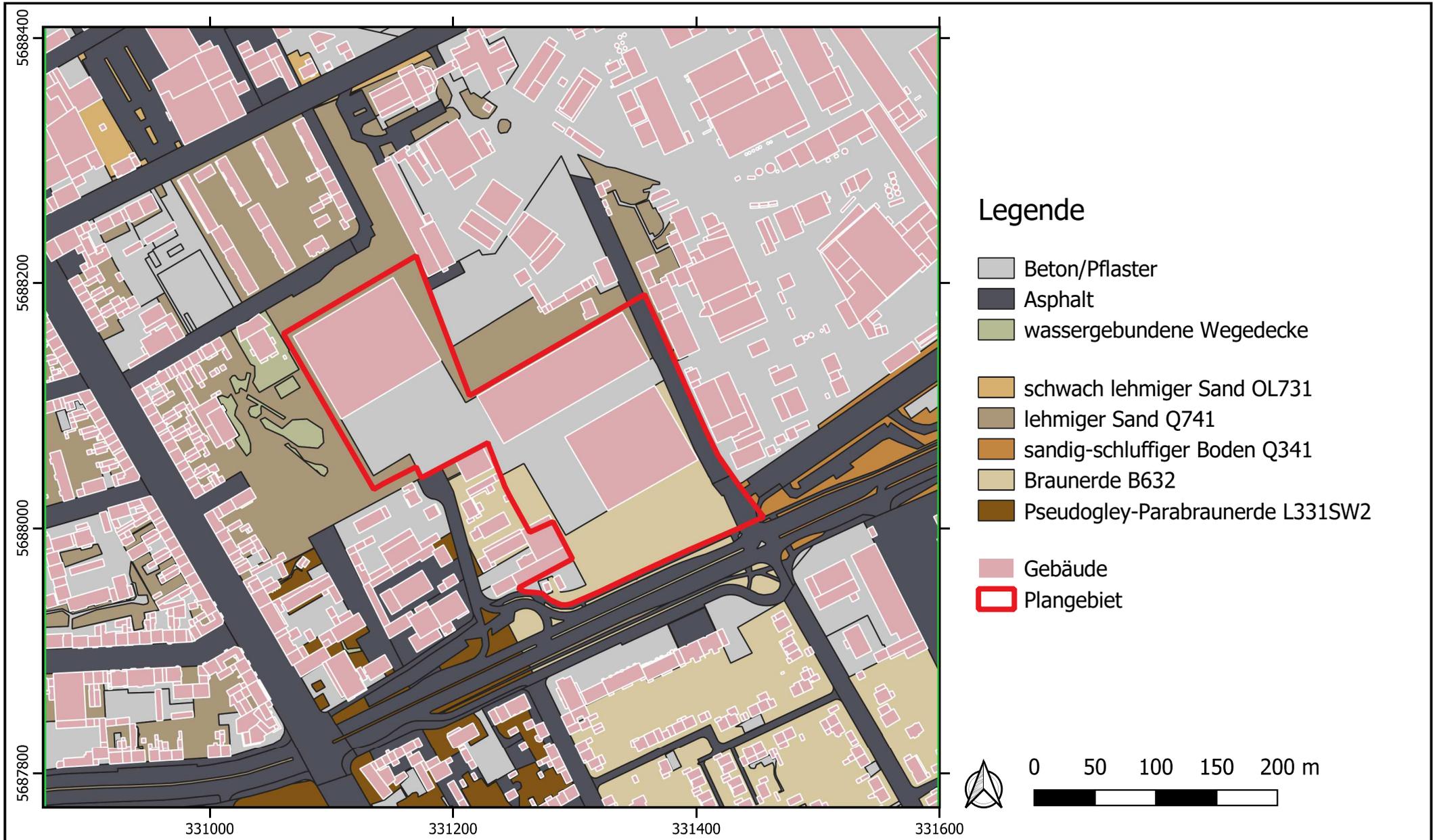
- Tage mit Tmax > 30°C -



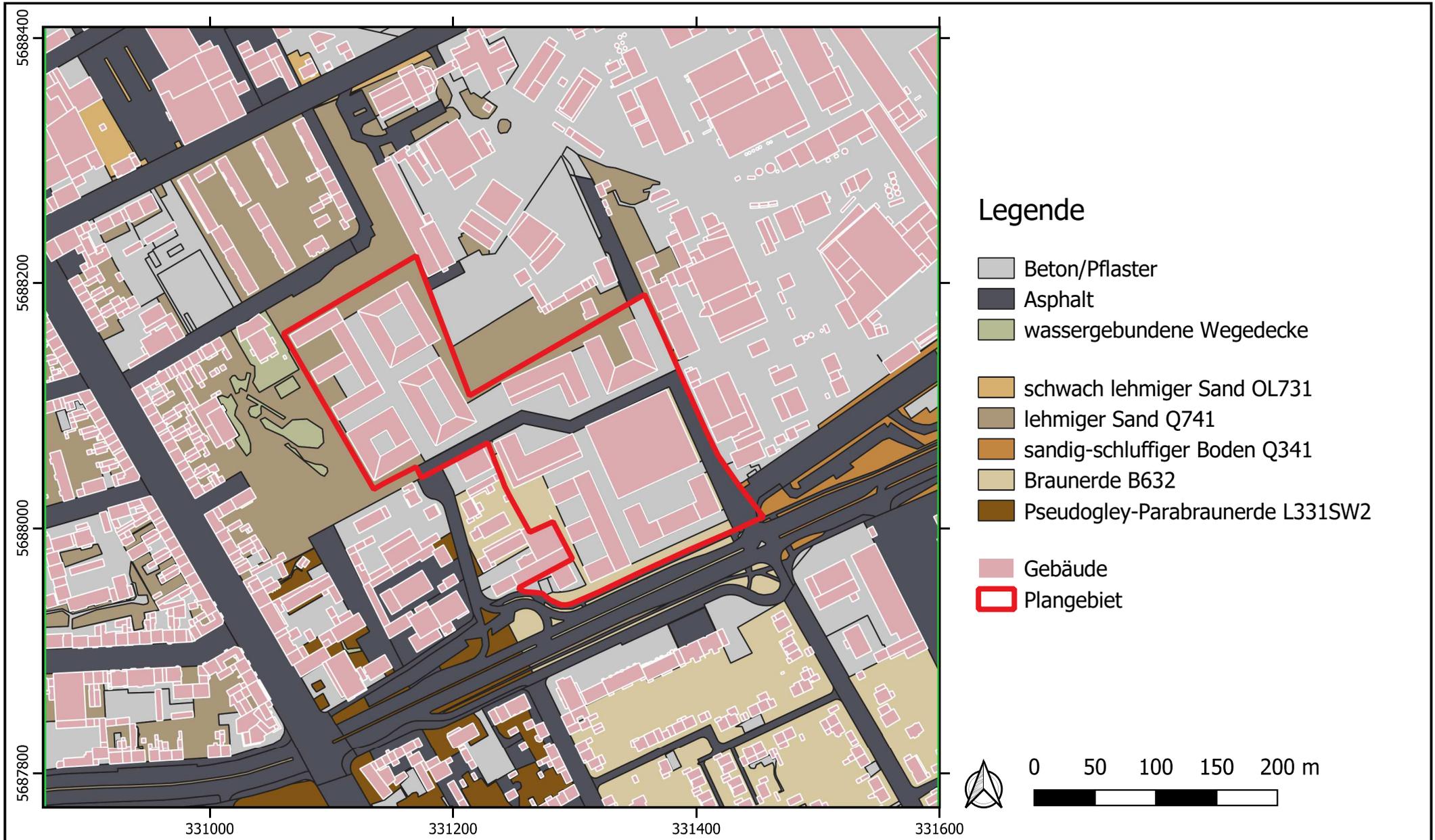
Anlage 6: Vegetation im Planfall



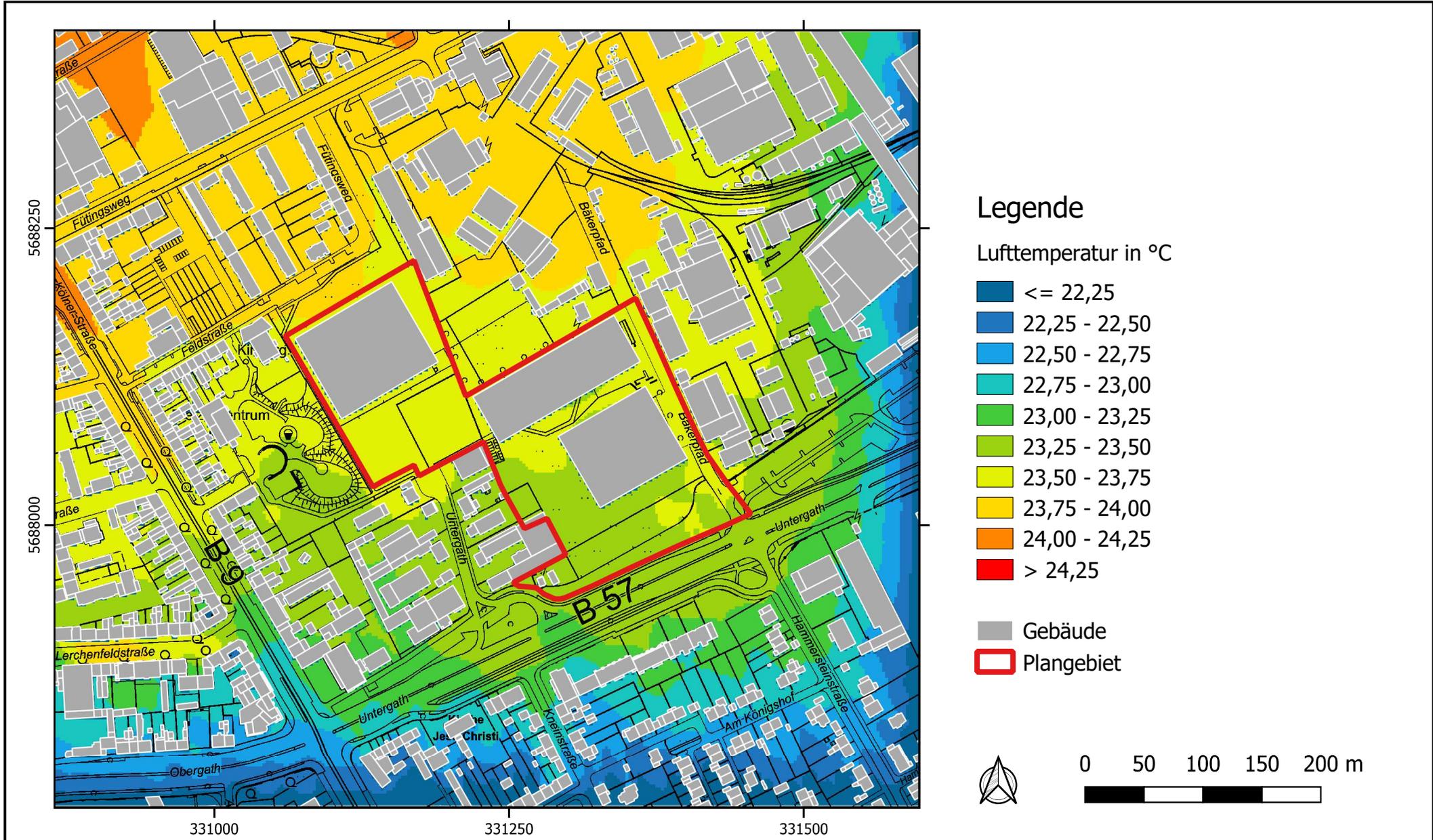
Anlage 7: Oberflächenbeschaffenheit im Istfall



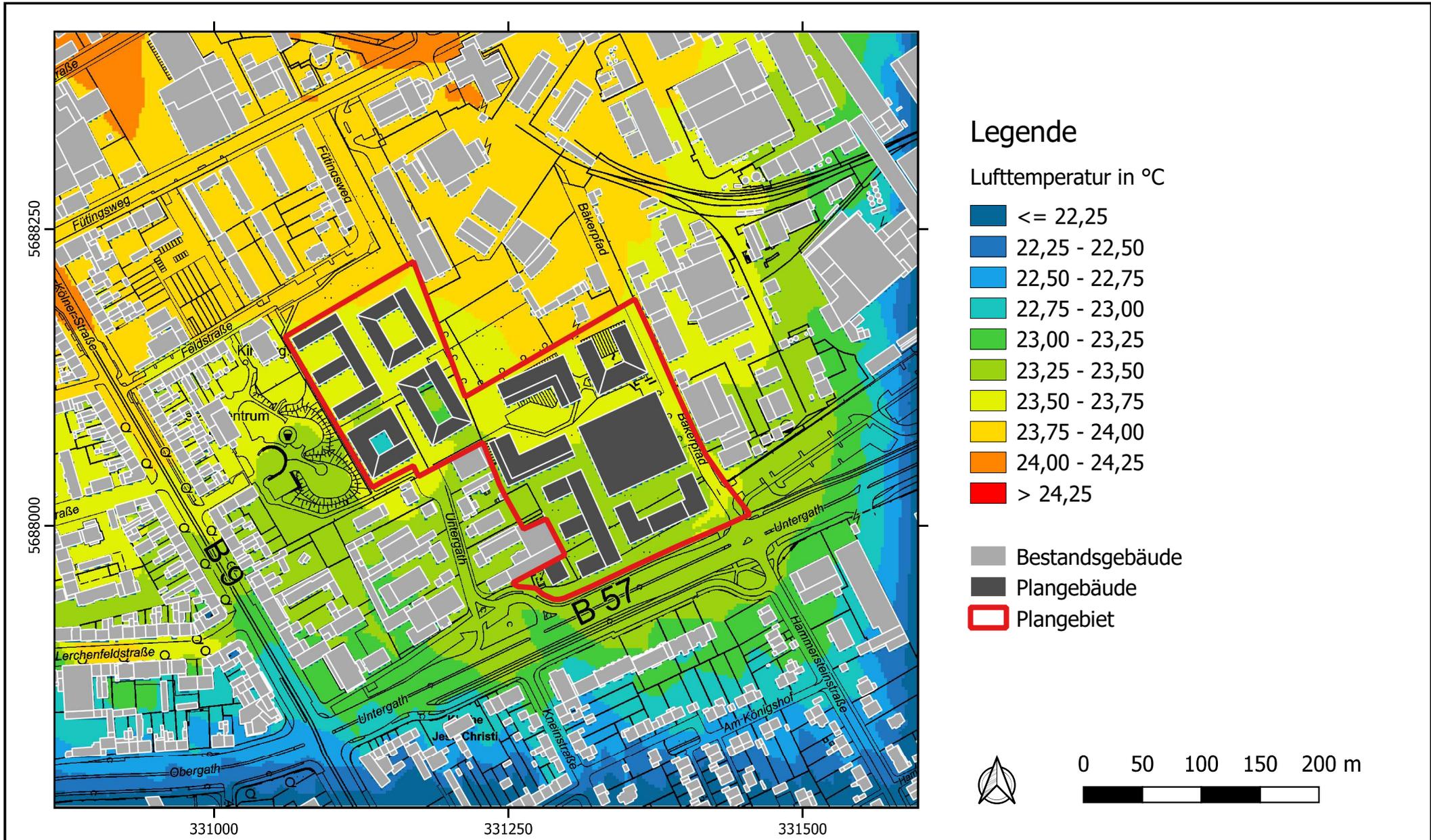
Anlage 8: Oberflächenbeschaffenheit im Planfall



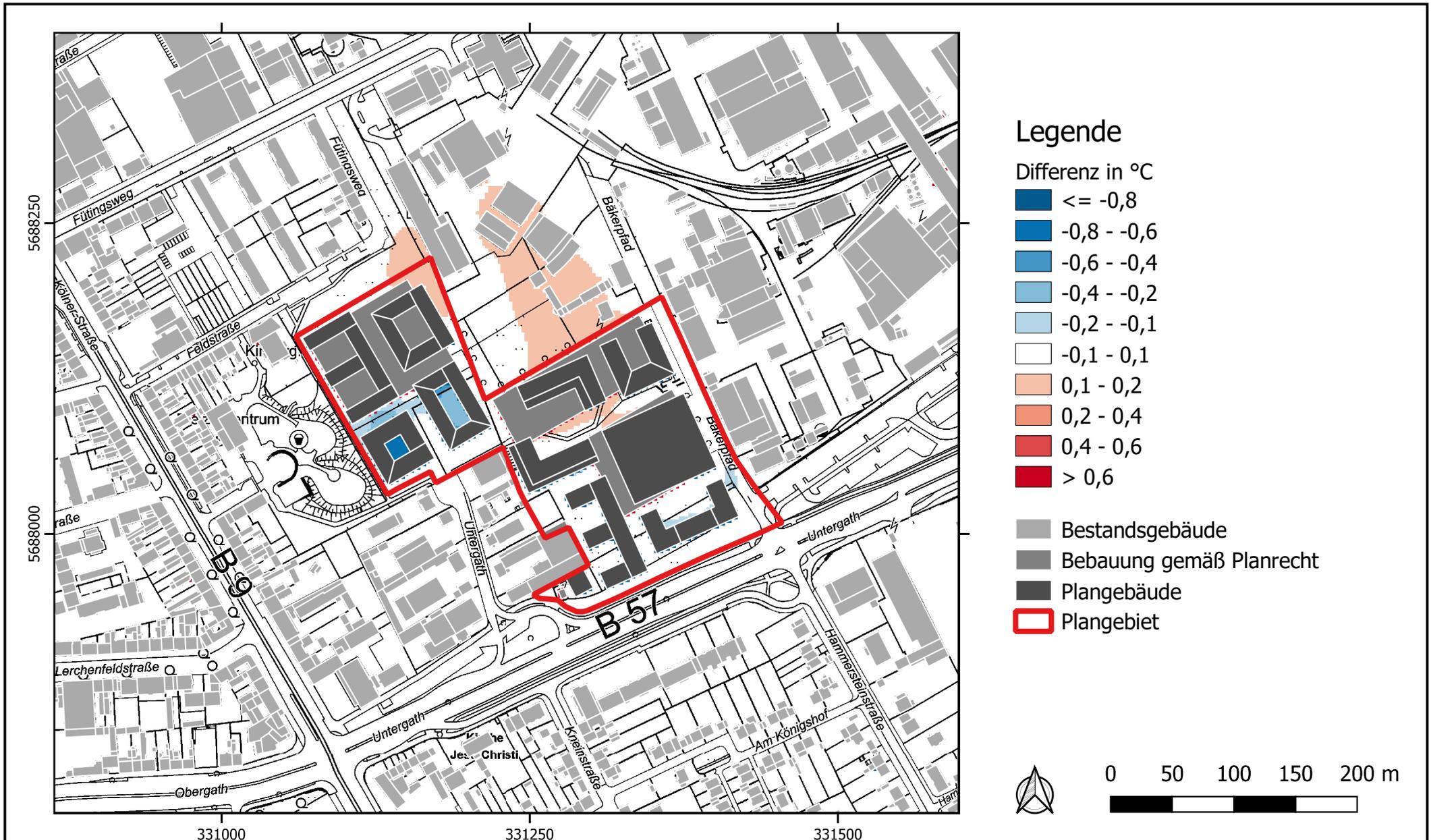
Anlage 9: Lufttemperatur in 1,5 m Höhe ü. Grund um 4 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall

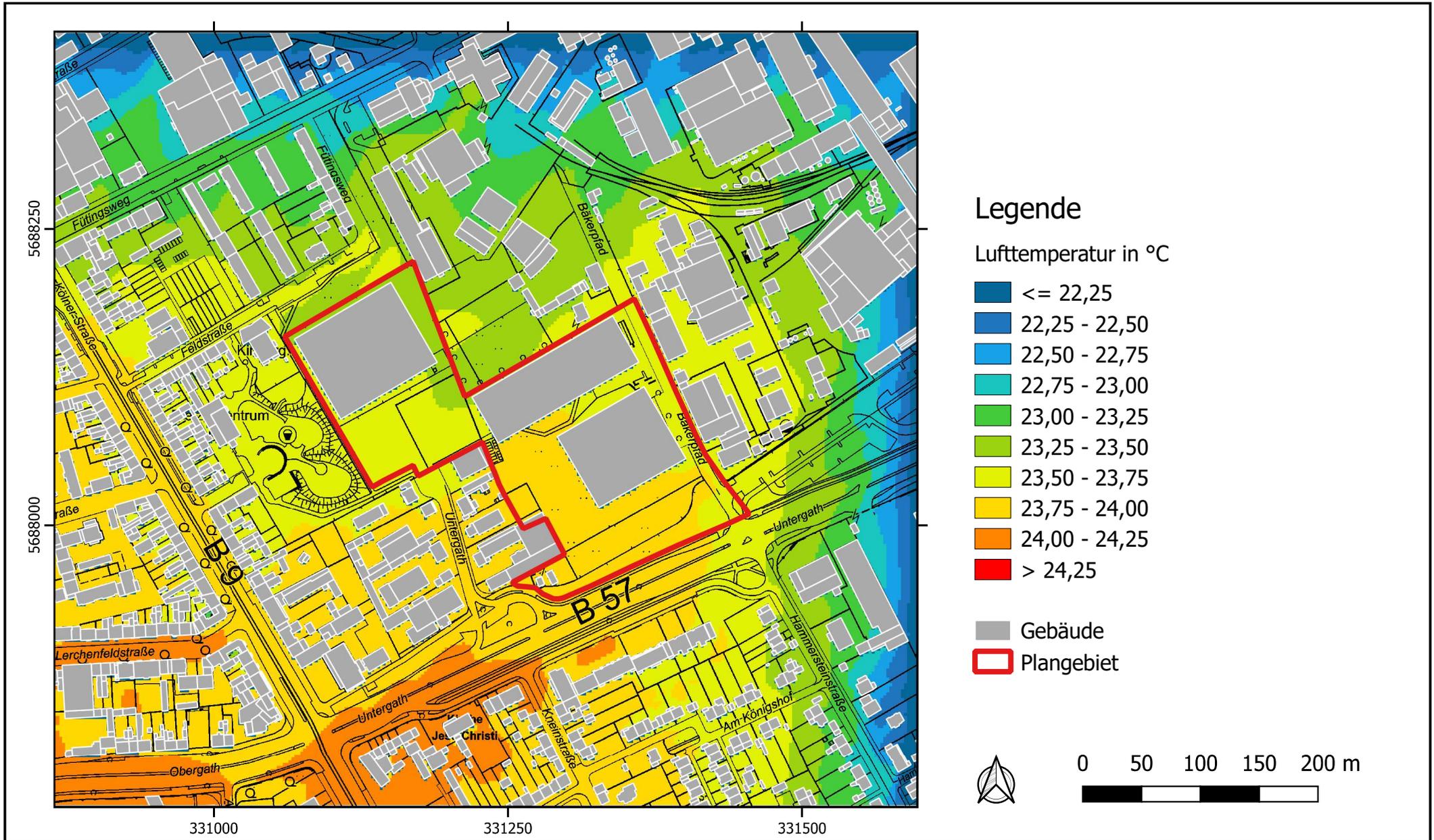


Anlage 10: Lufttemperatur in 1,5 m Höhe ü. Grund um 4 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall

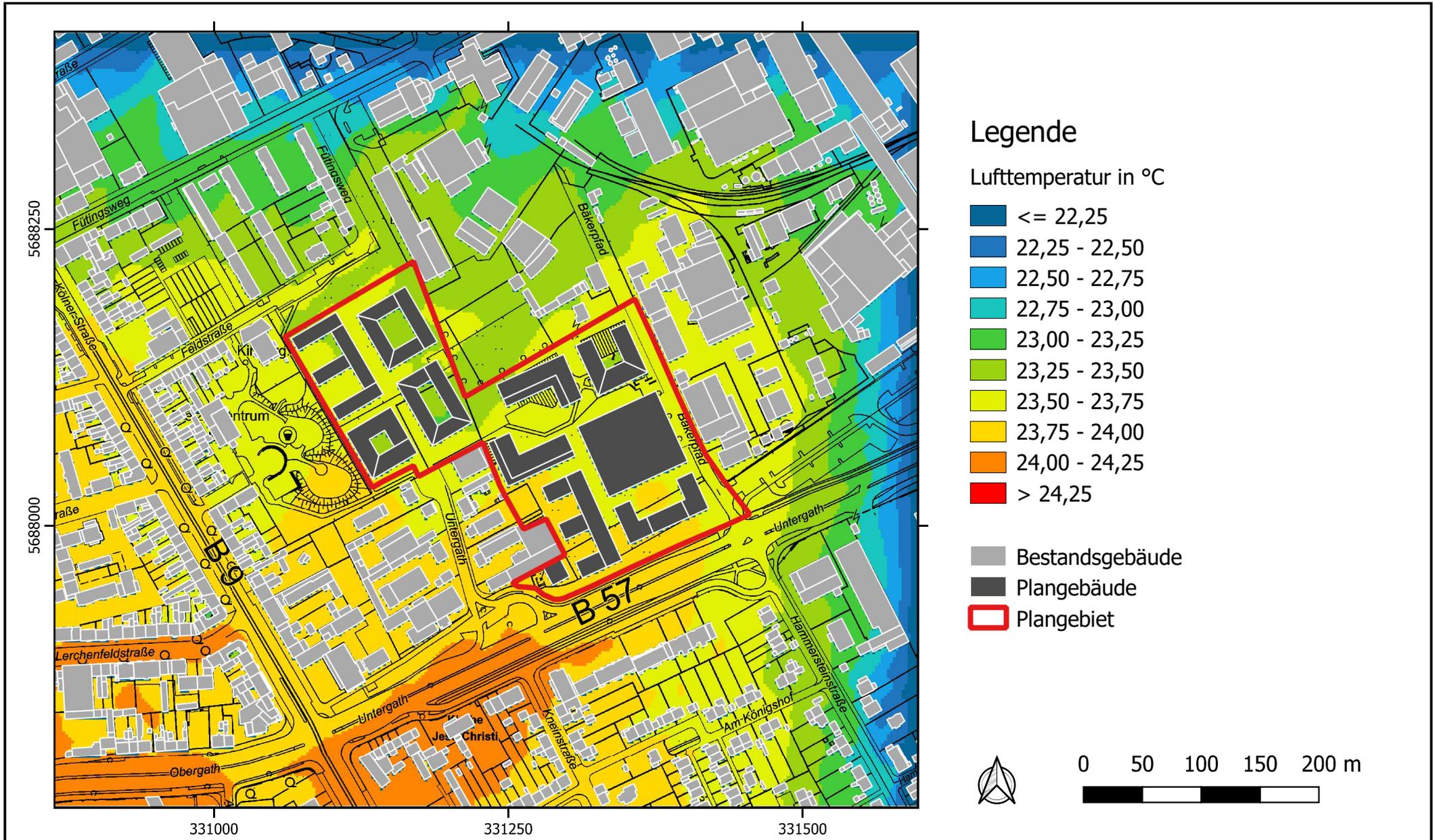


Anlage 11: Differenz der Lufttemperatur in 1,5m Höhe über Grund um 4 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall

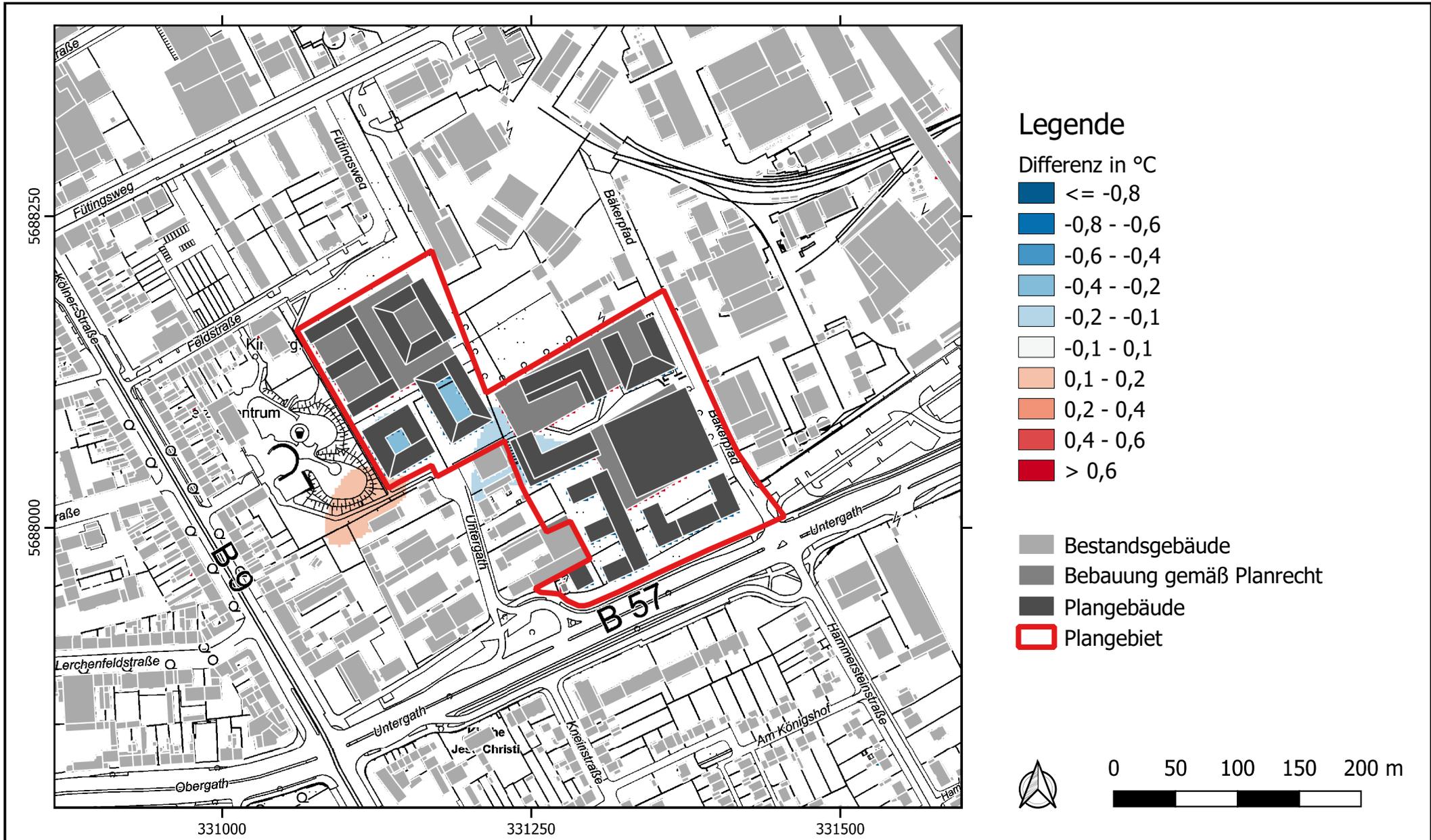




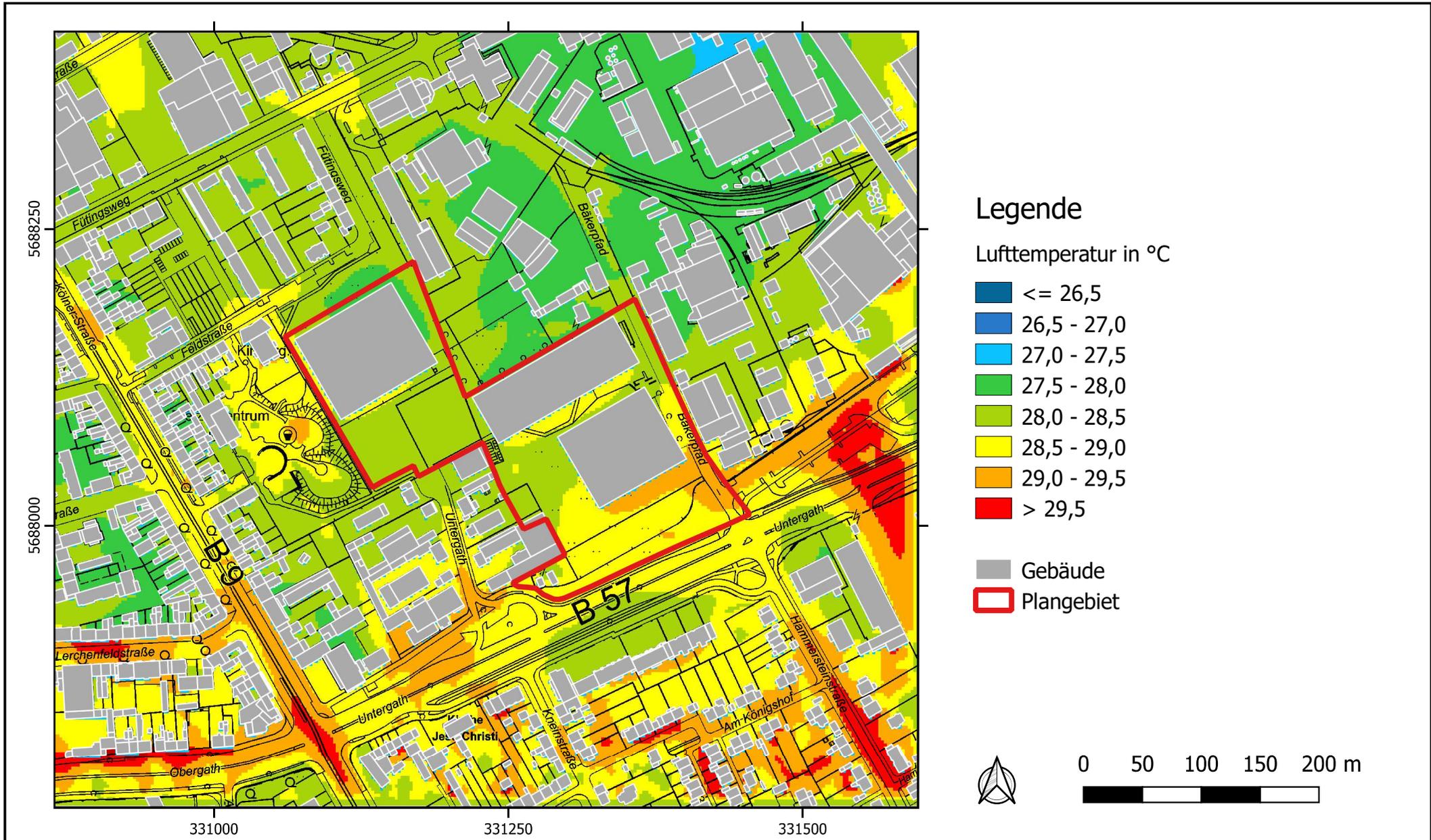
Anlage 13: Lufttemperatur in 1,5 m Höhe ü. Grund um 4 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall



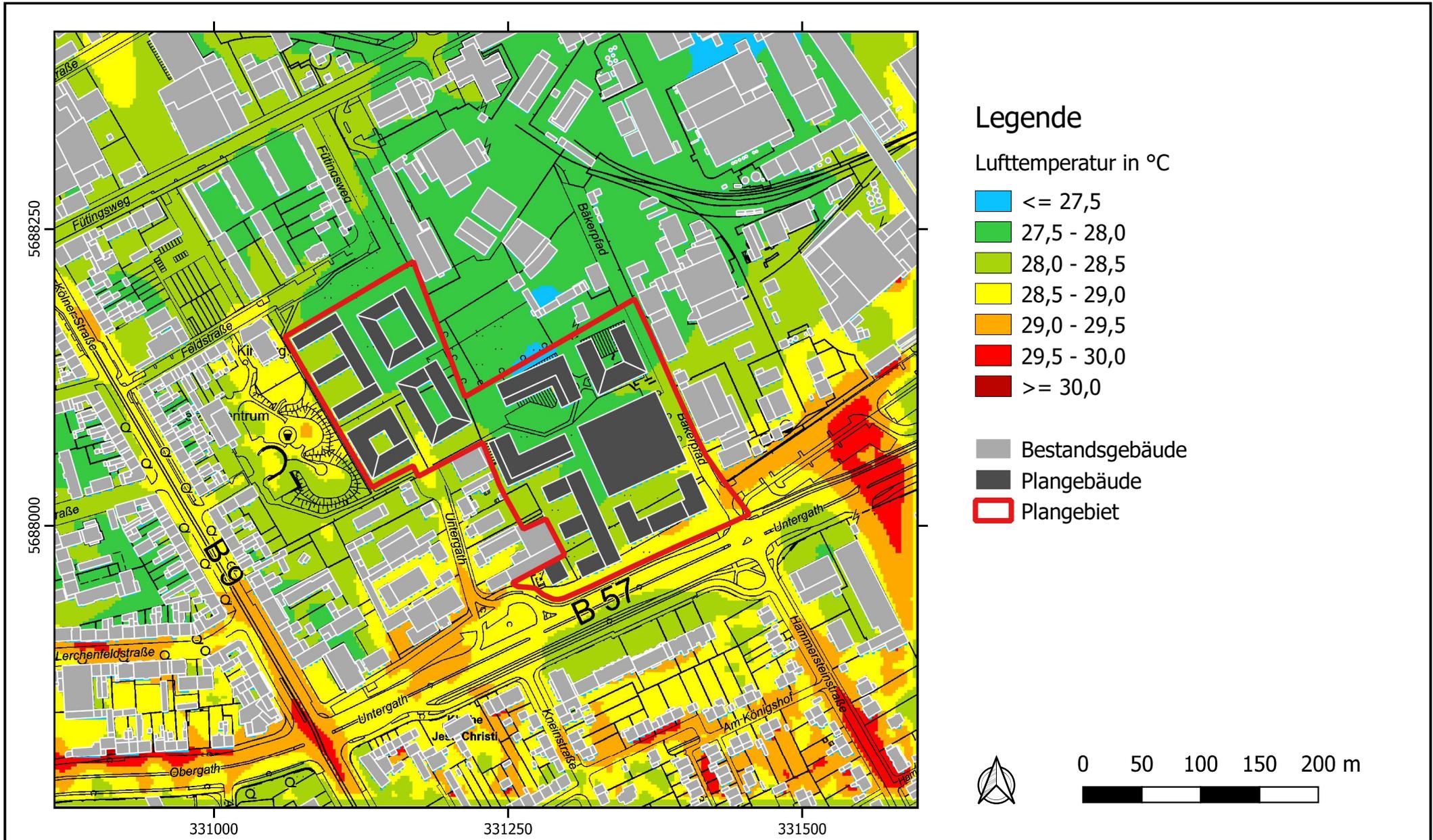
Anlage 14: Differenz der Lufttemperatur in 1,5m Höhe über Grund um 4 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall



Anlage 15: Lufttemperatur in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall



Anlage 16: Lufttemperatur in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall



Anlage 17: Differenz der Lufttemperatur in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall



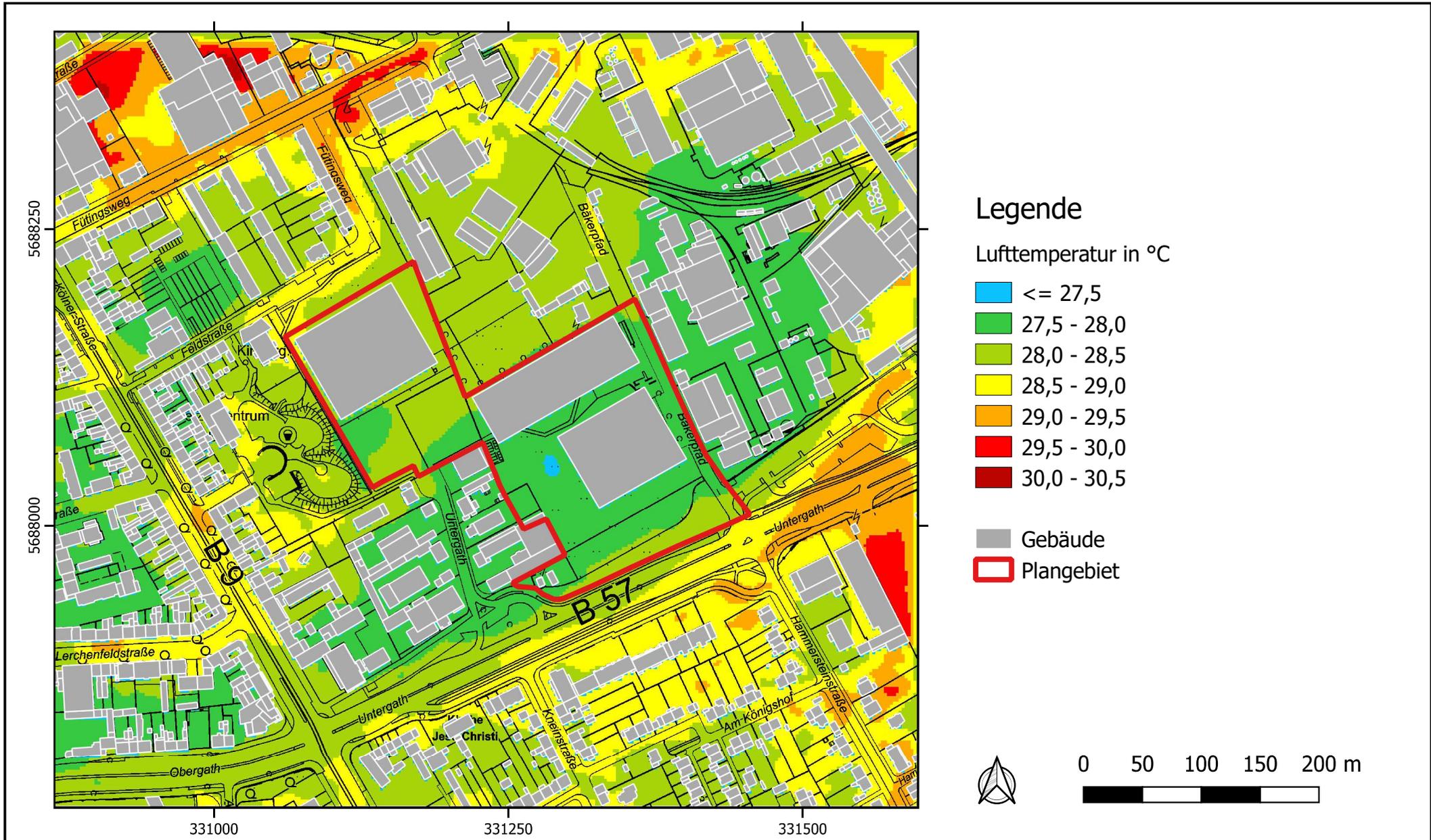
Legende

Differenz in °C

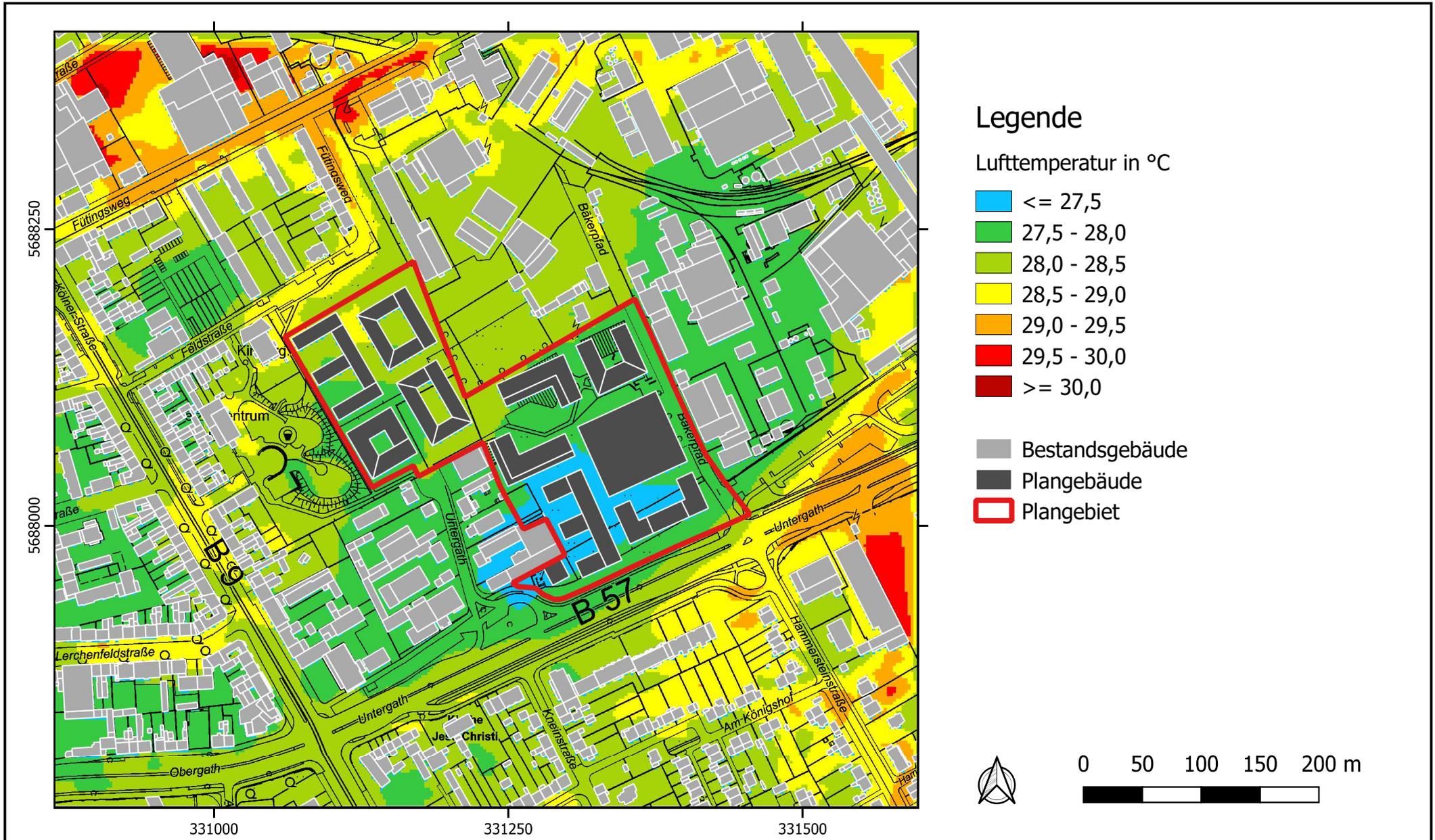
- ≤ -1,0
- 1,0 - -0,8
- 0,8 - -0,6
- 0,6 - -0,4
- 0,4 - -0,2
- 0,2 - -0,1
- 0,1 - 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,4
- 0,4 - 0,6
- > 0,6

- Bestandsgebäude
- Bebauung gemäß Planrecht
- Plangebäude
- Plangebiet

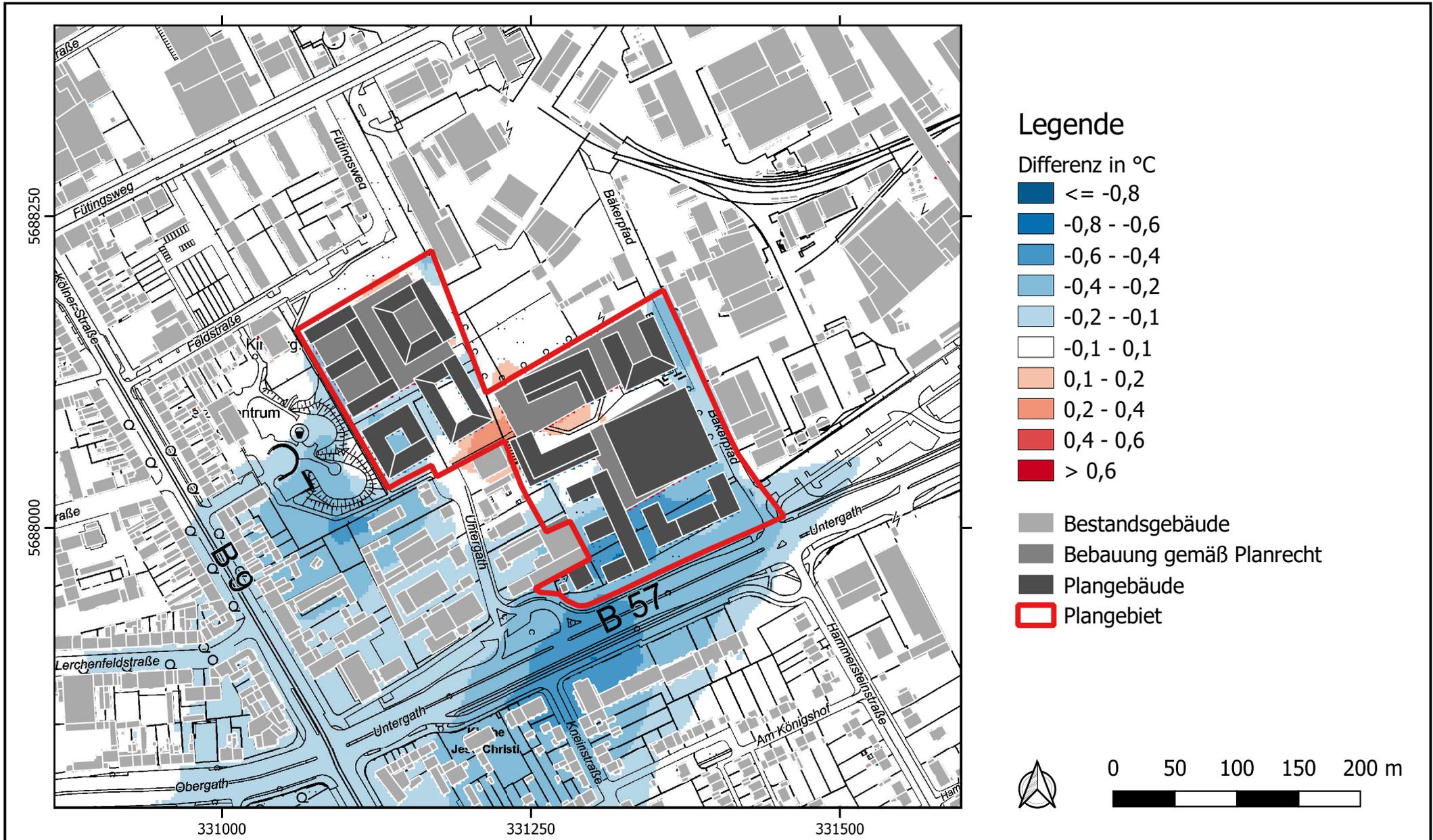




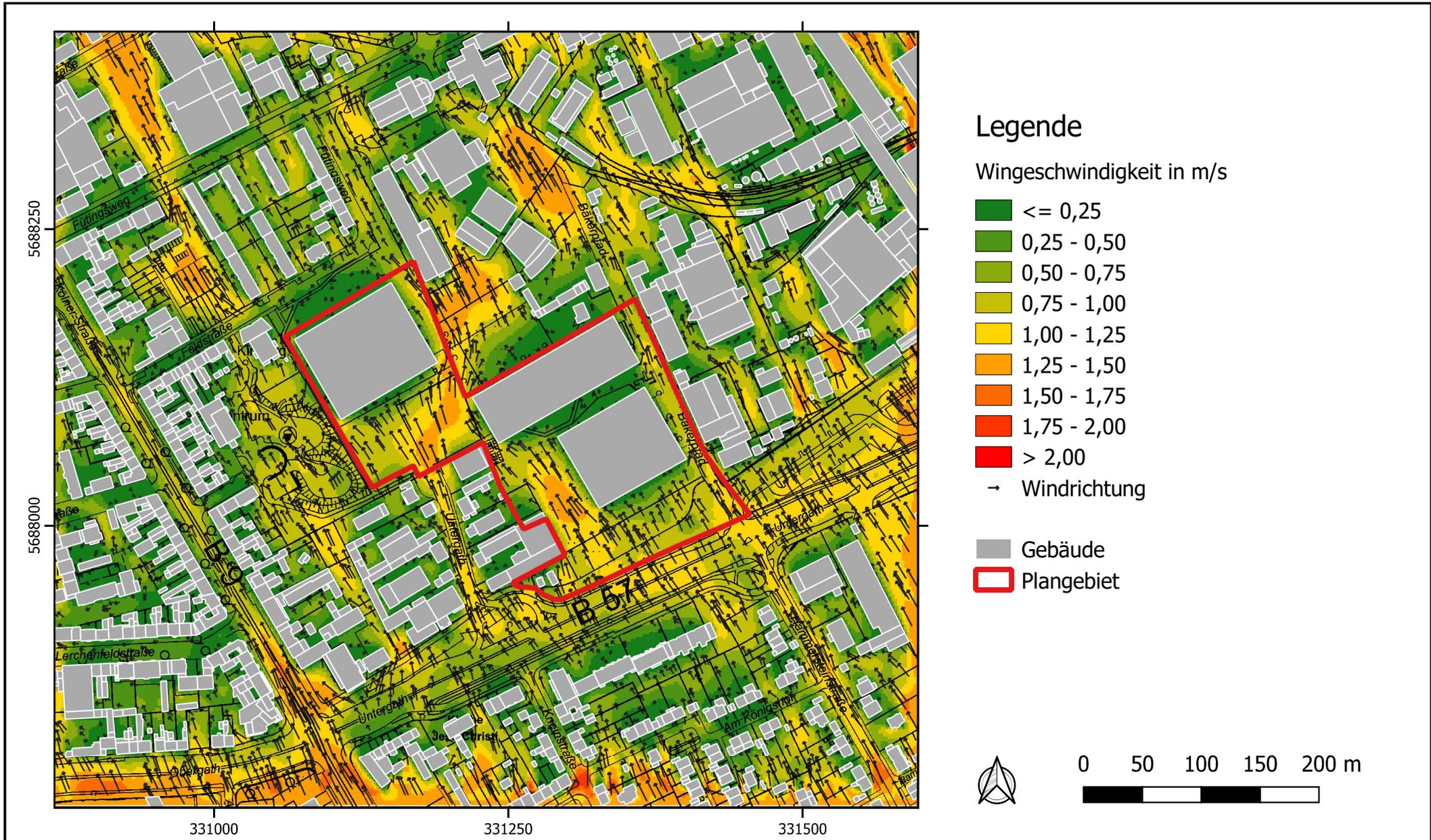
Anlage 19: Lufttemperatur in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall

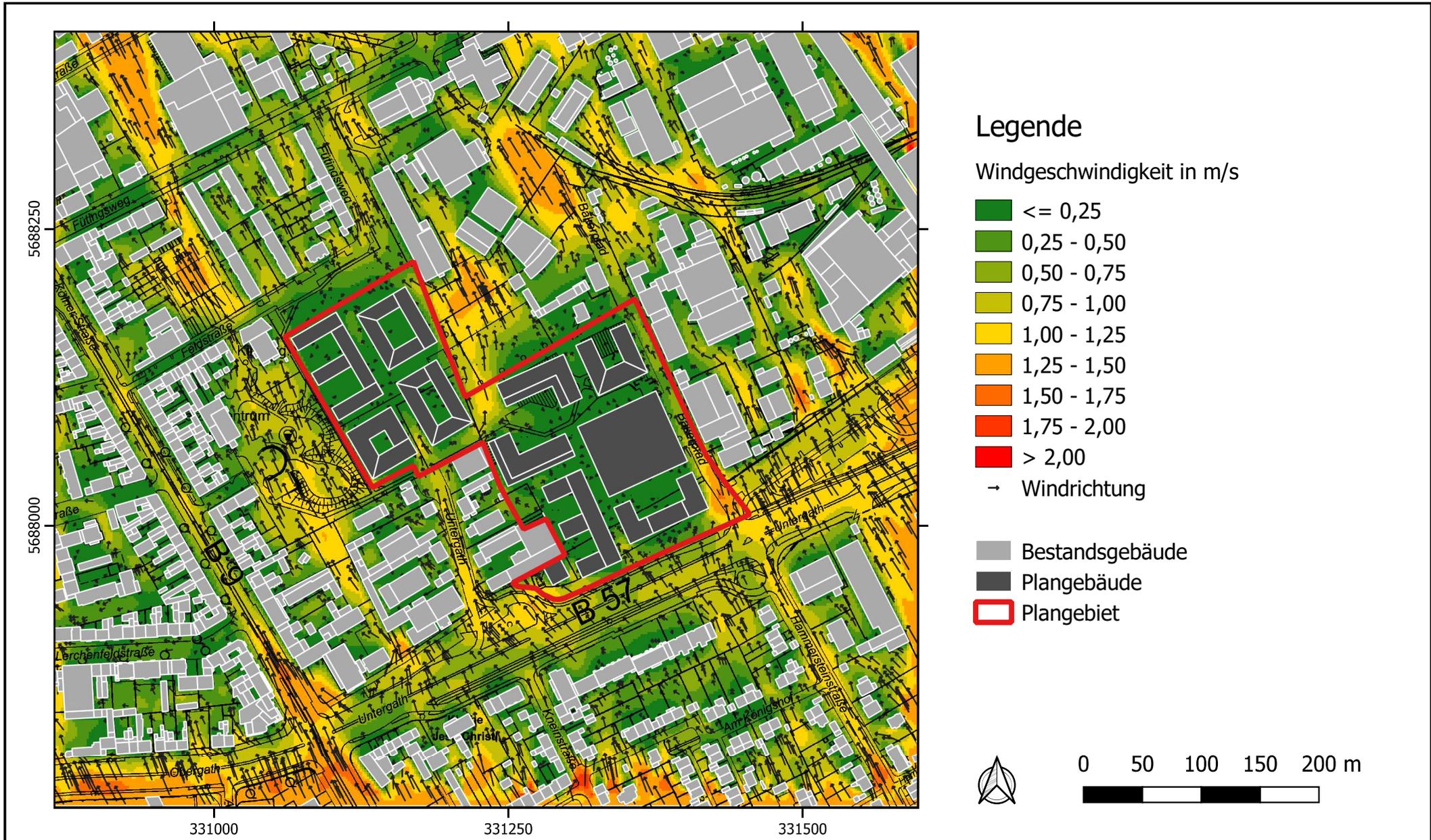


Anlage 20: Differenz der Lufttemperatur in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall

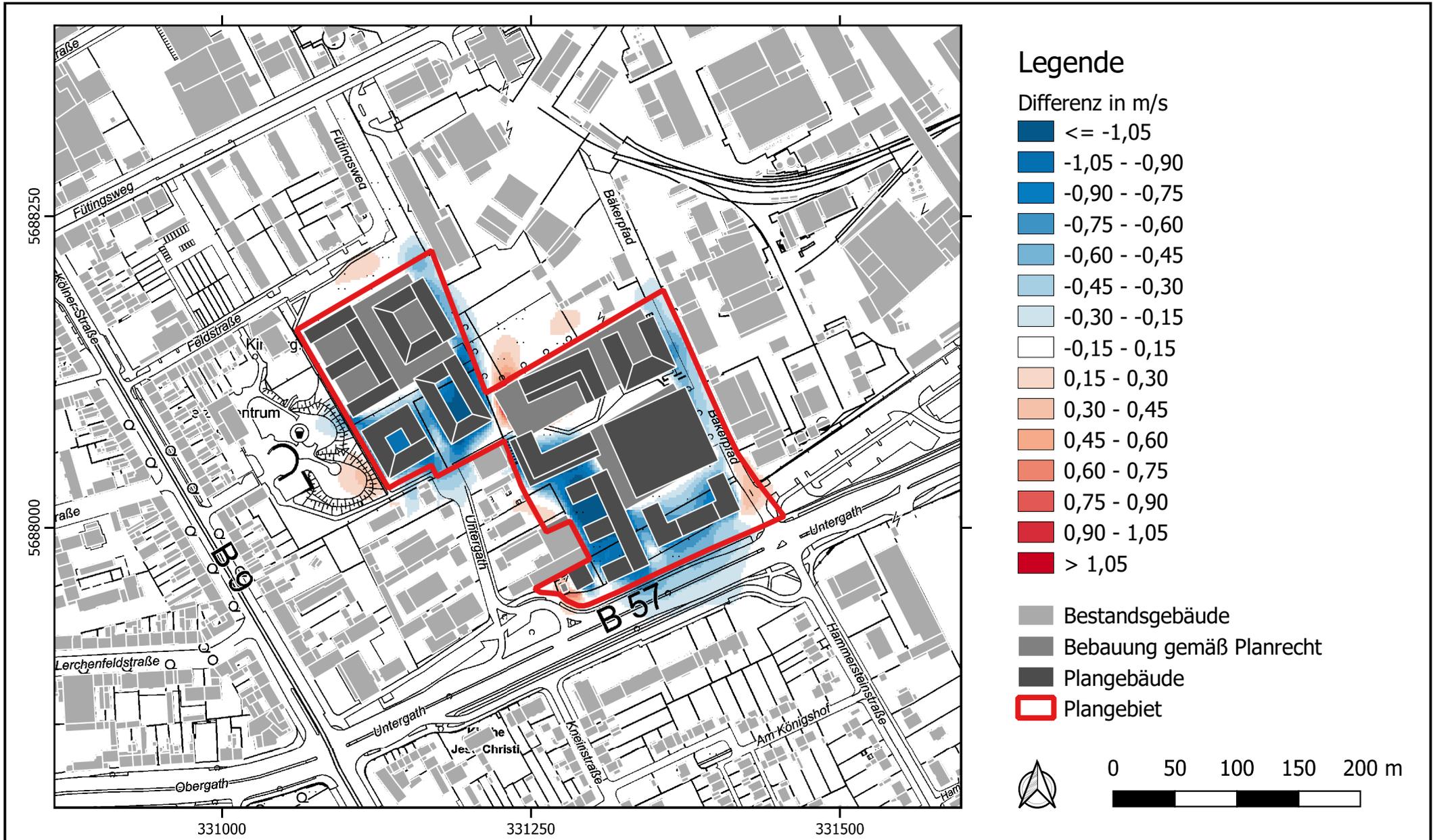


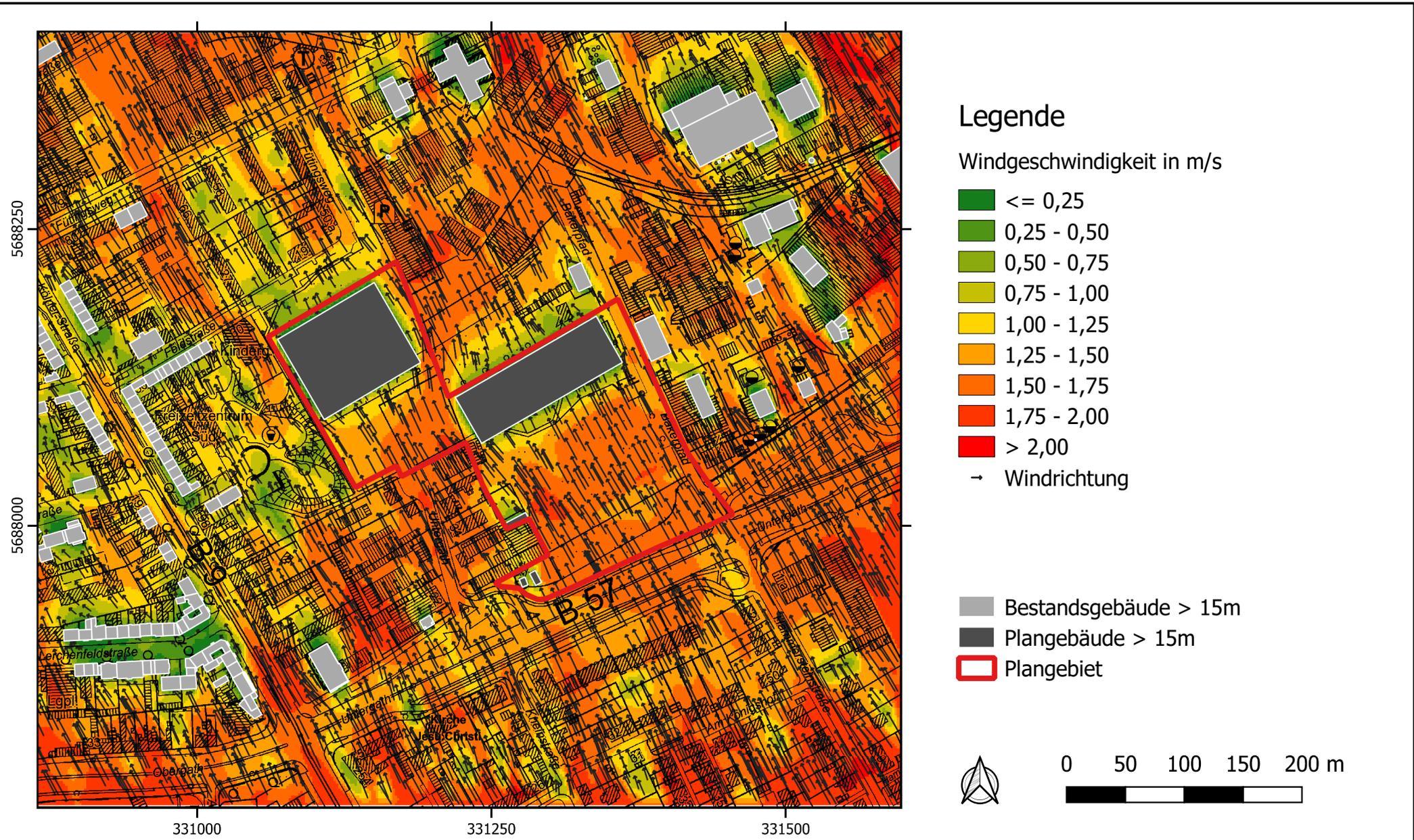
Anlage 21: Windfeld in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall

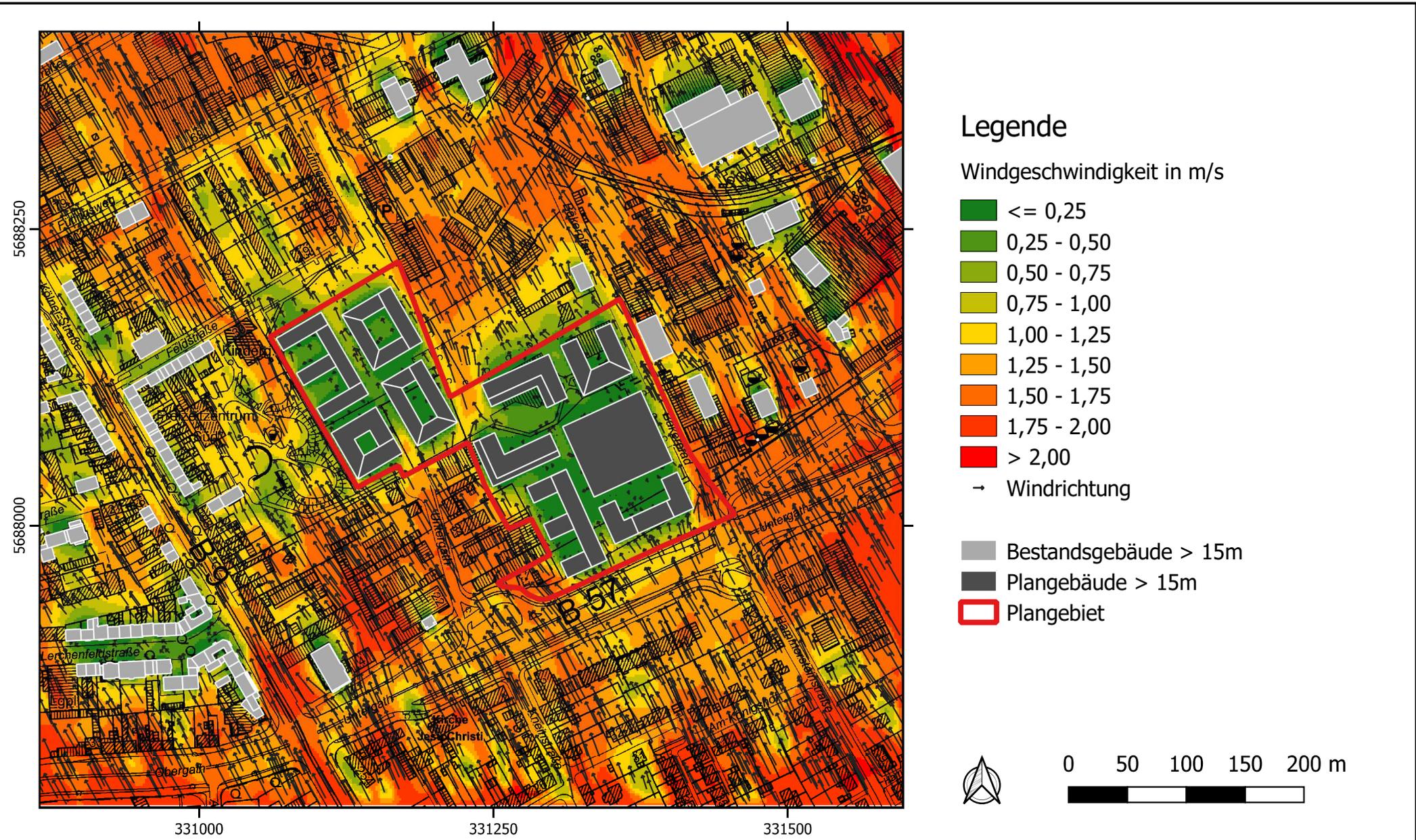




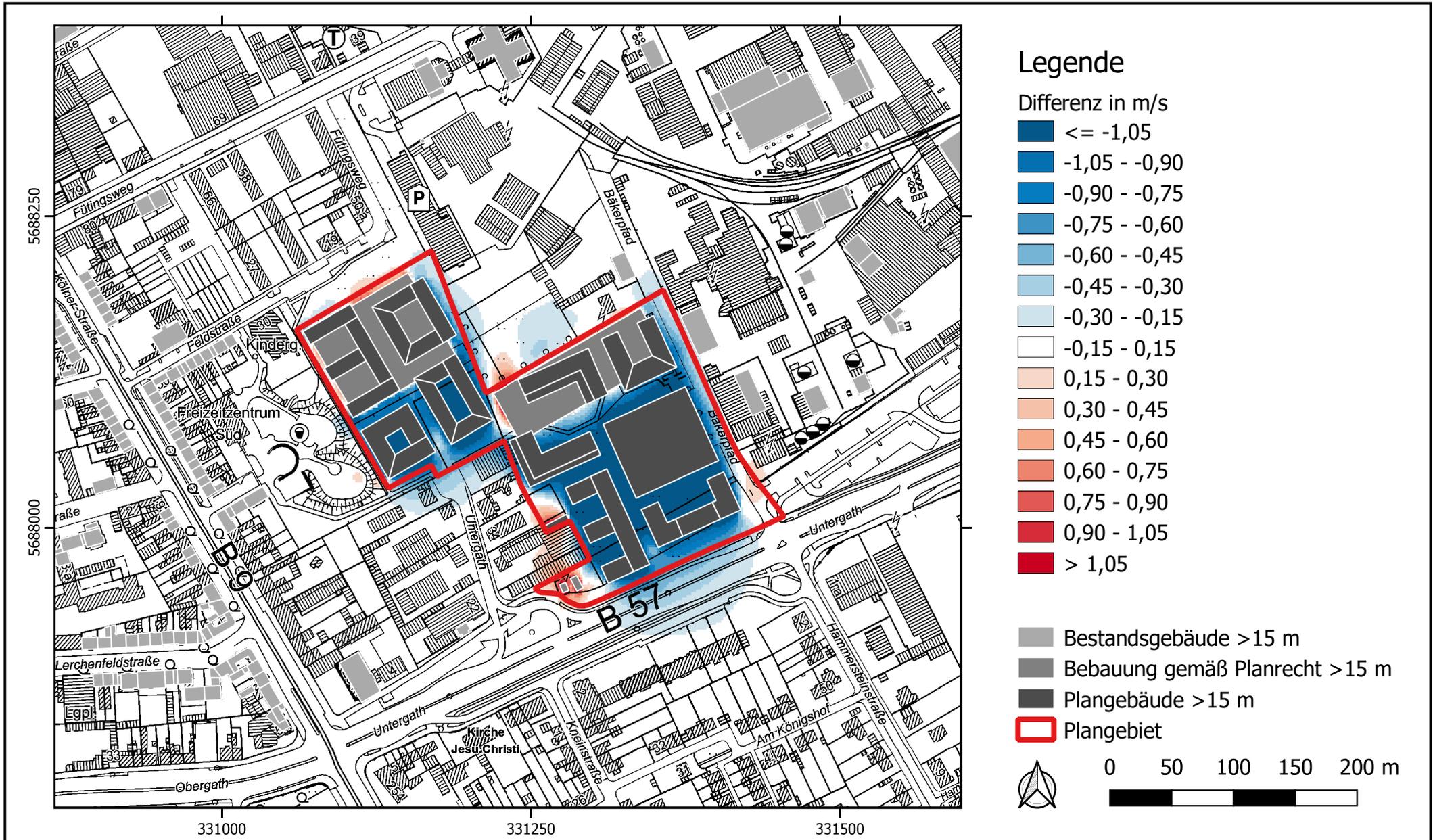
Anlage 23: Differenz der Windgeschwindigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall

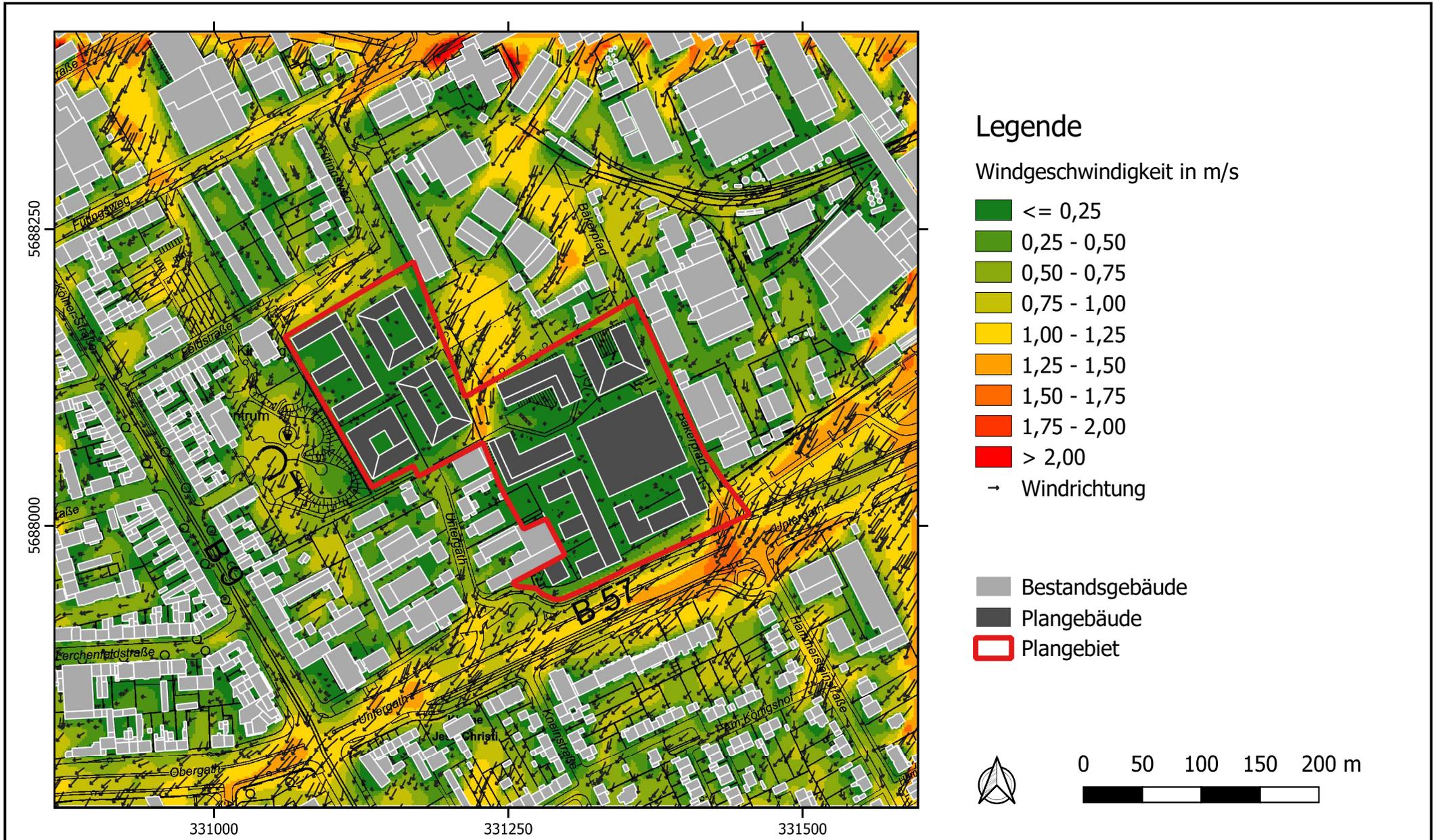




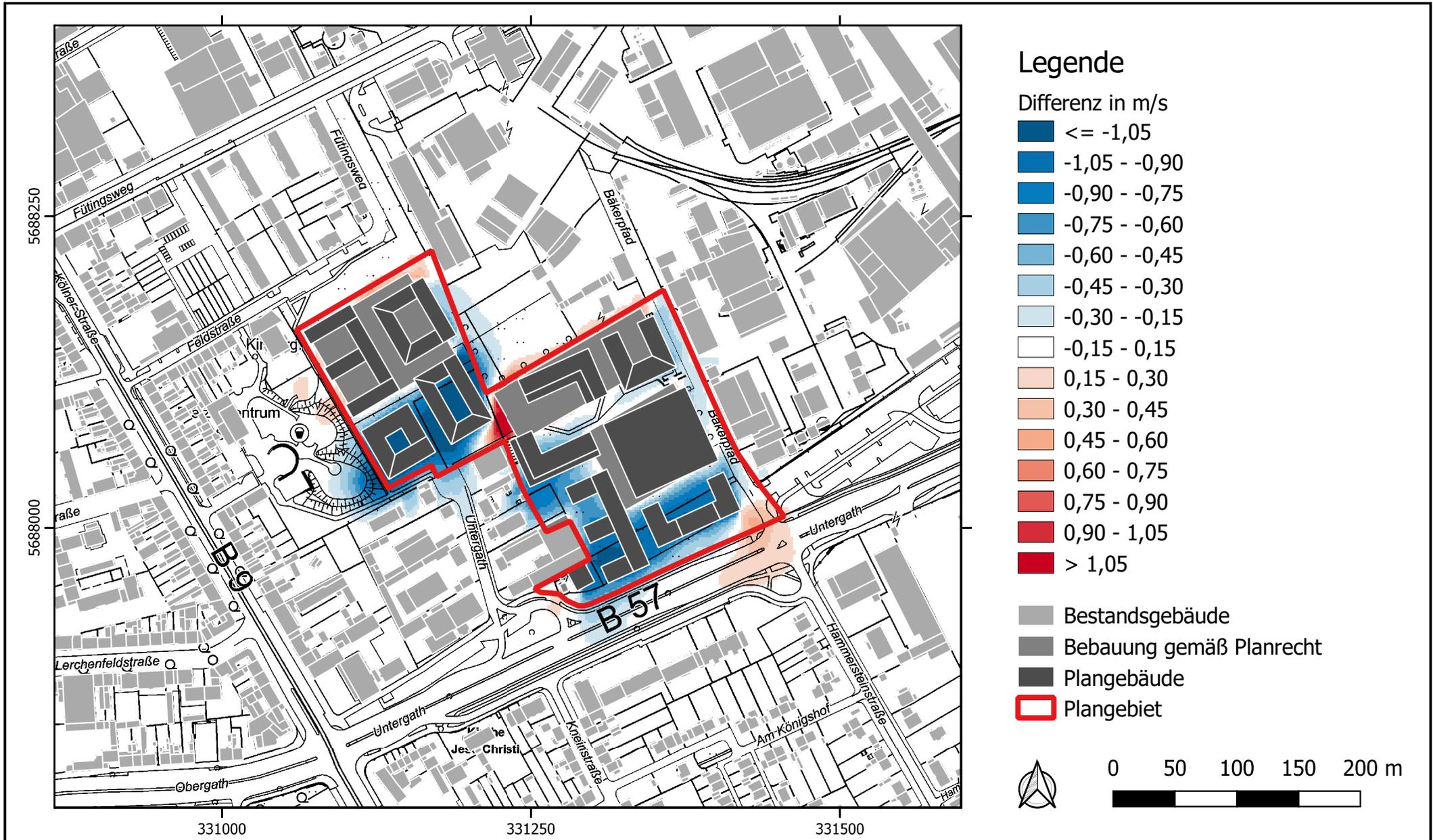


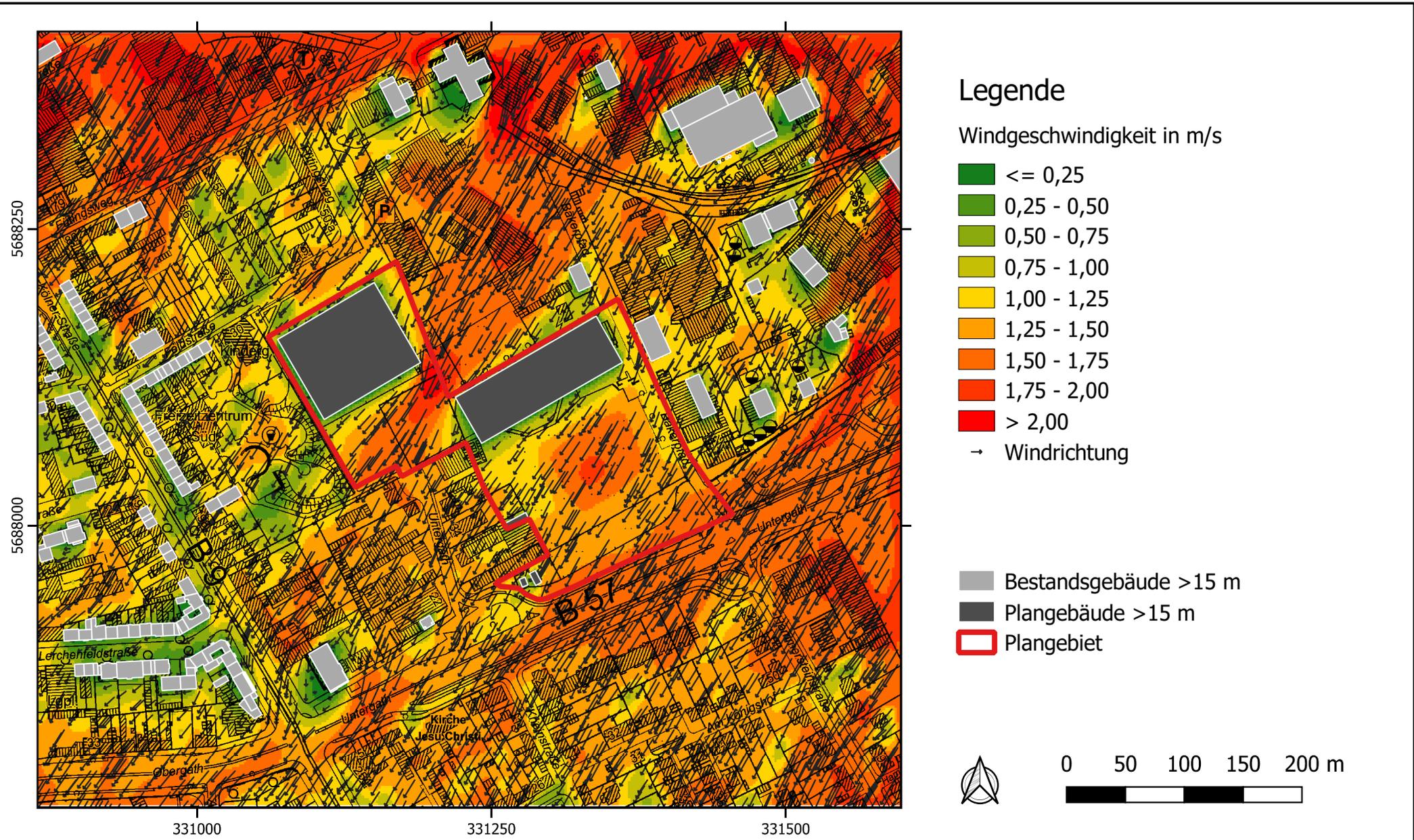
Anlage 26: Differenz der Windgeschwindigkeit in 15m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall

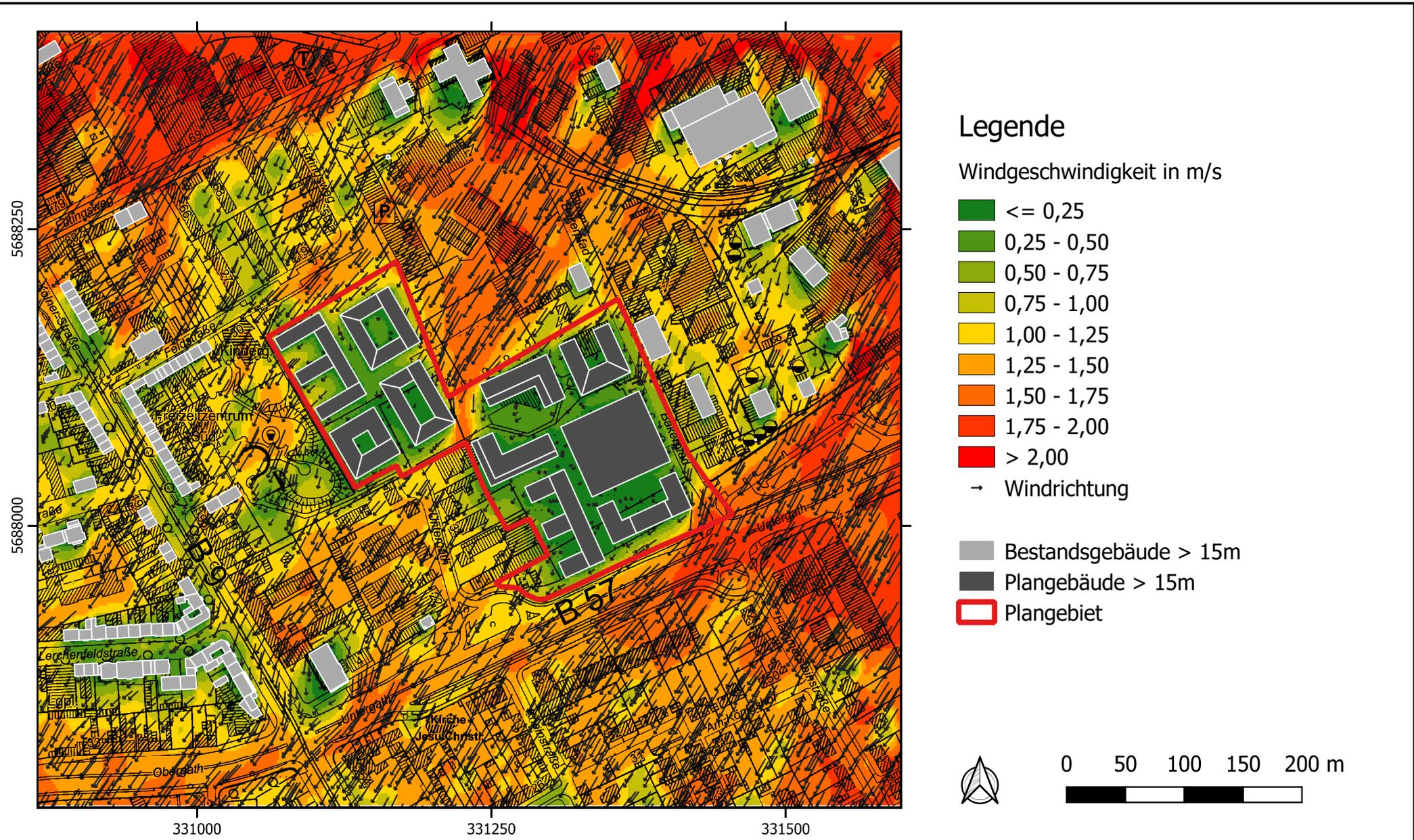




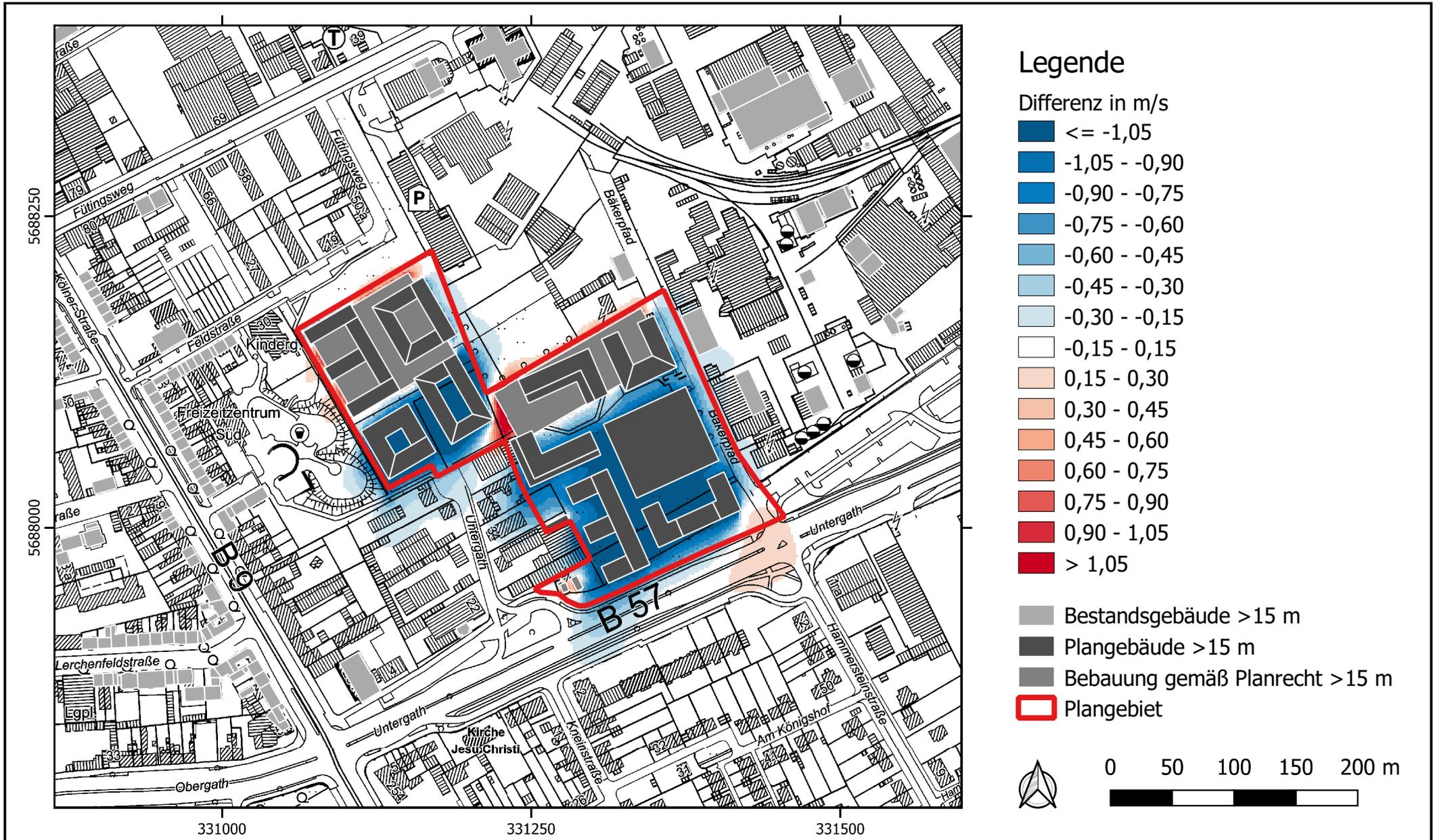
Anlage 29: Differenz der Windgeschwindigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall



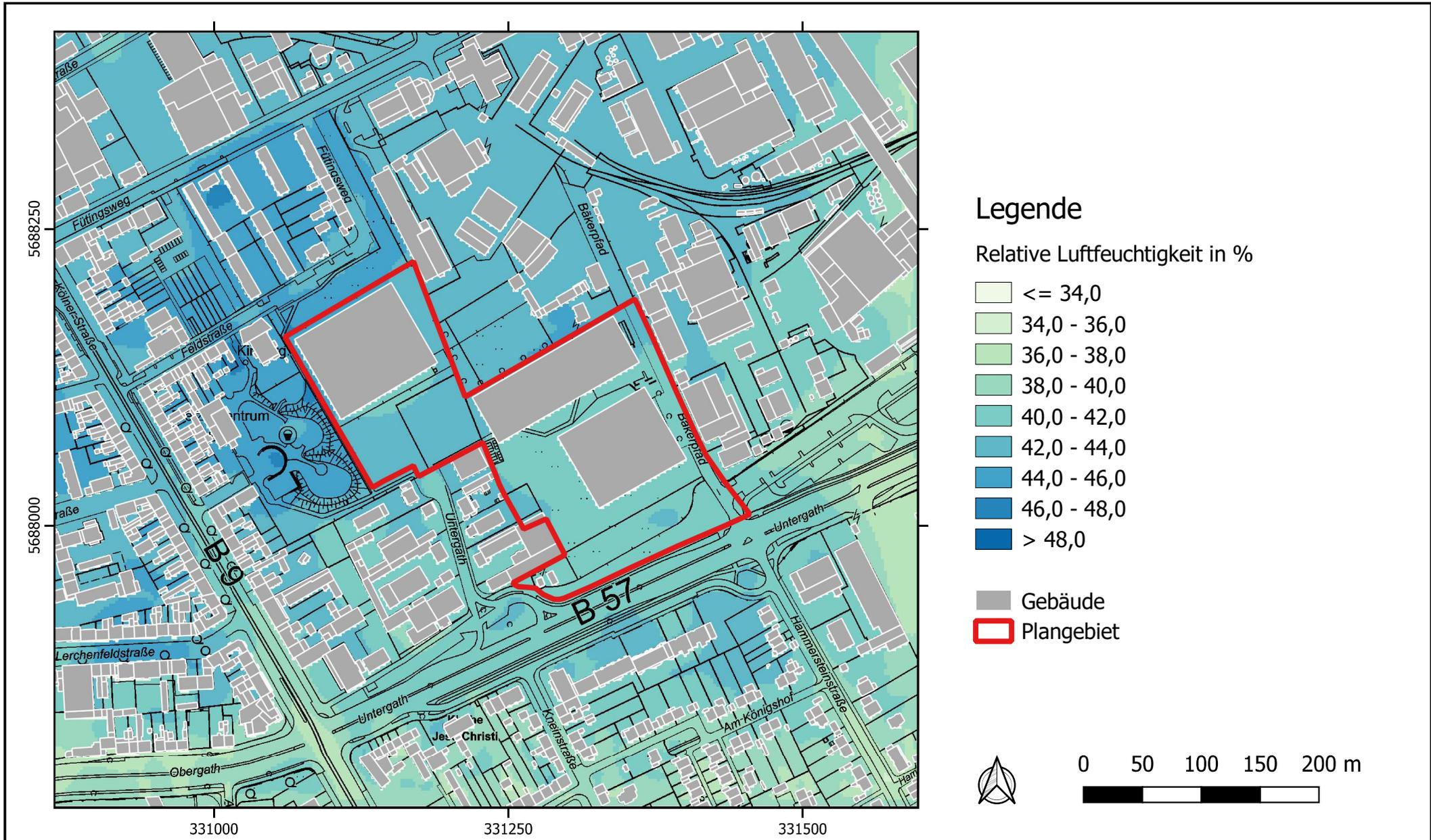




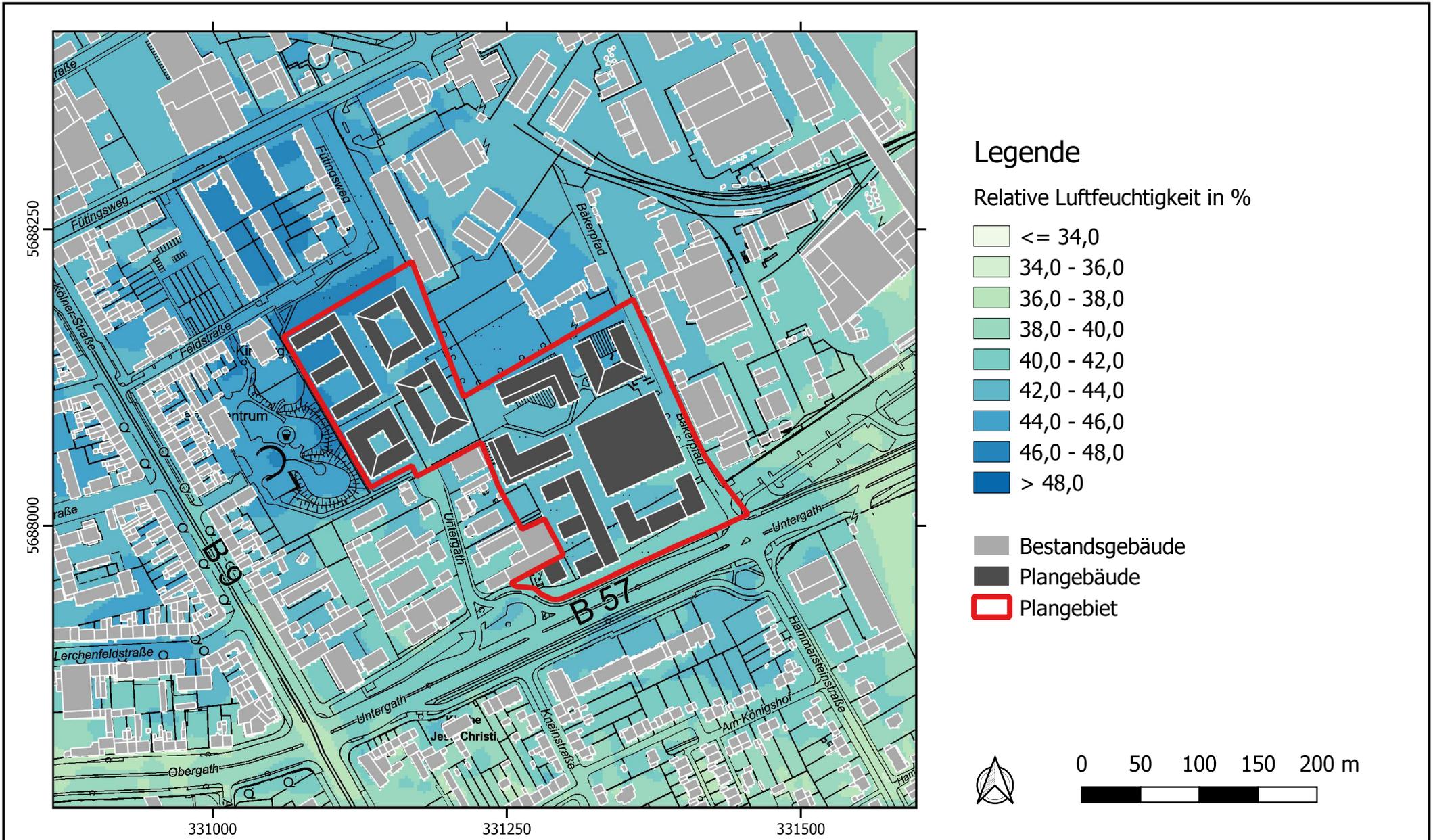
Anlage 32: Differenz der Windgeschwindigkeit in 15m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmung - Planfall minus Istfall



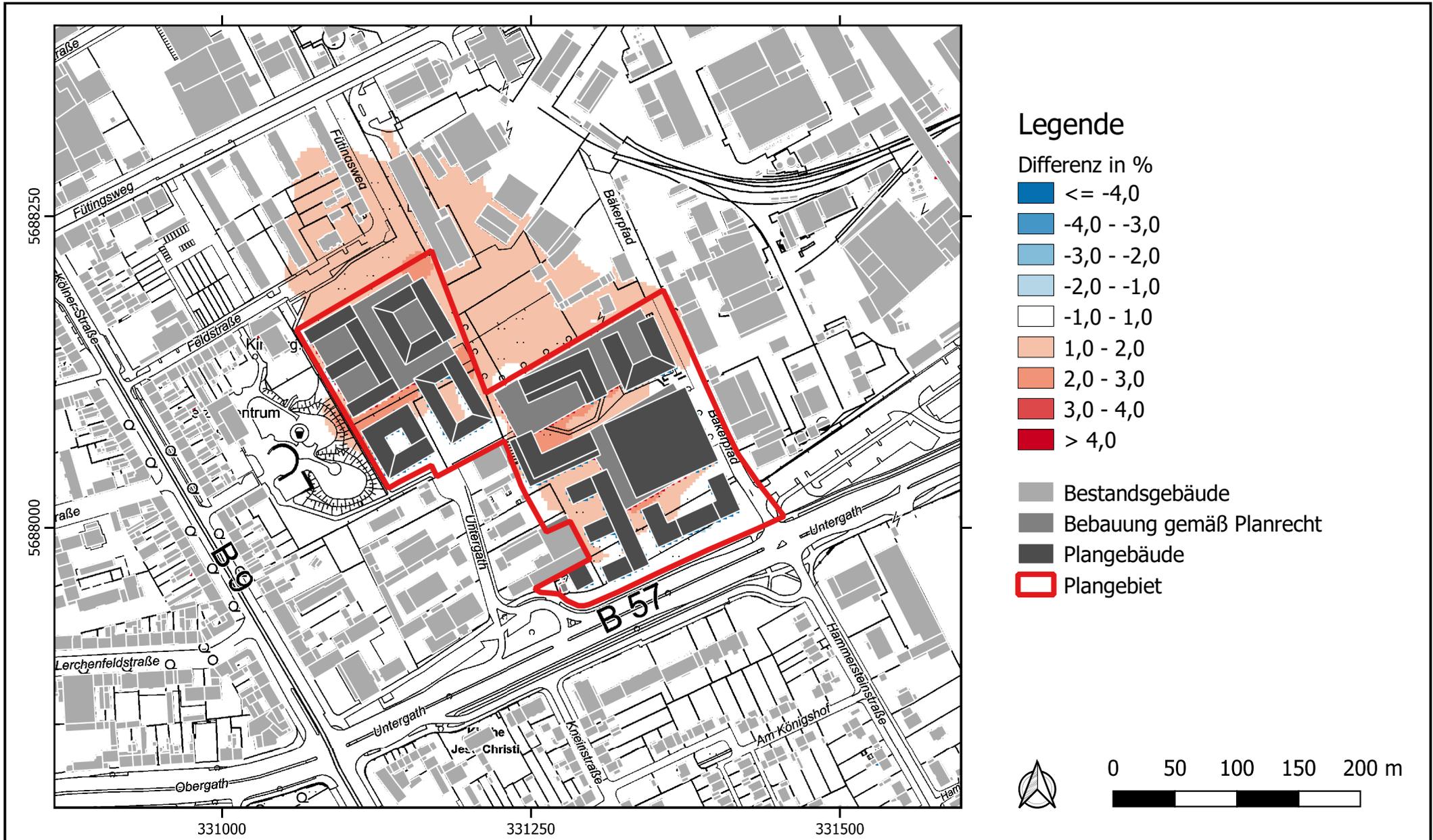
Anlage 33: Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall



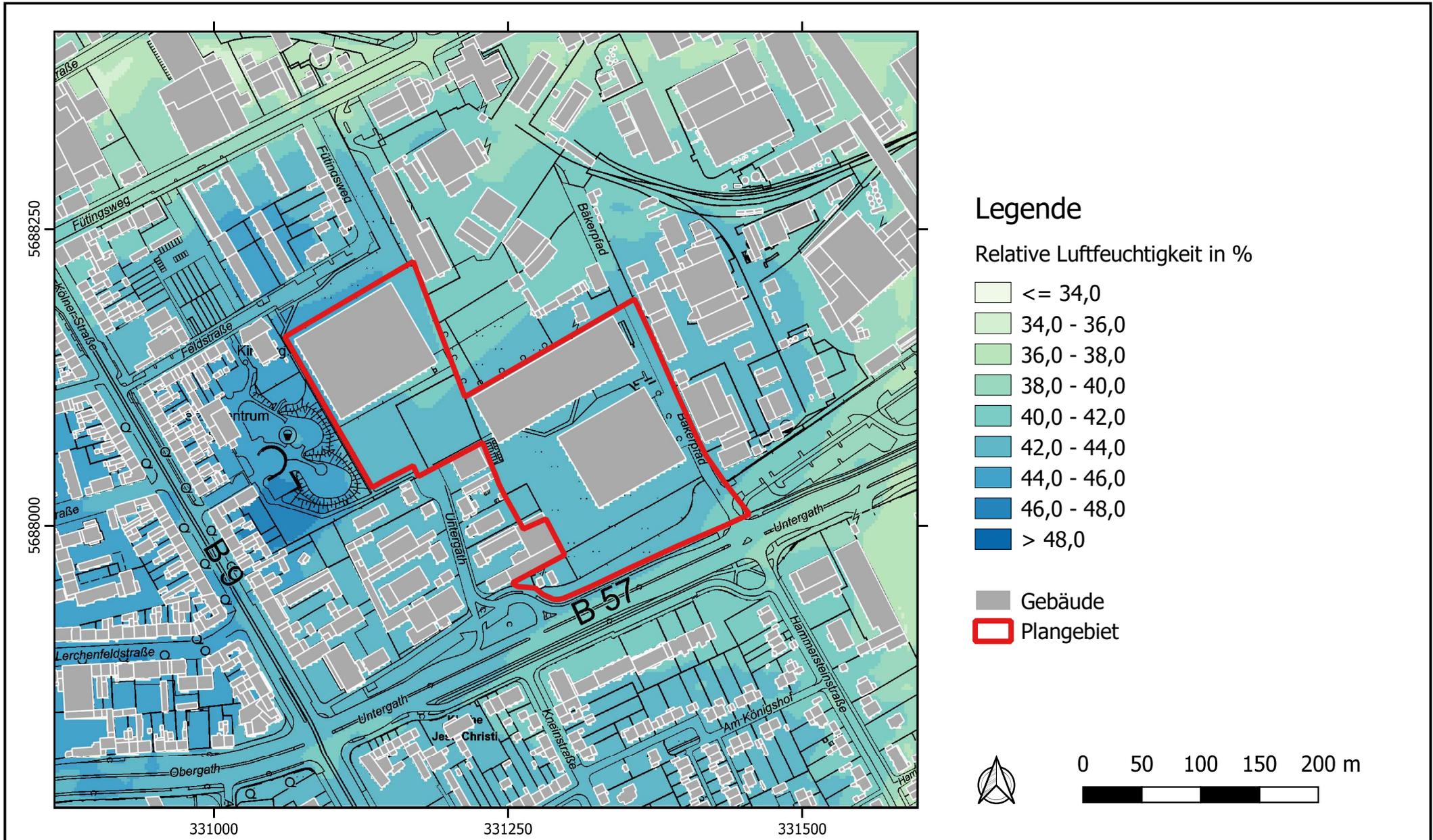
Anlage 34: Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall



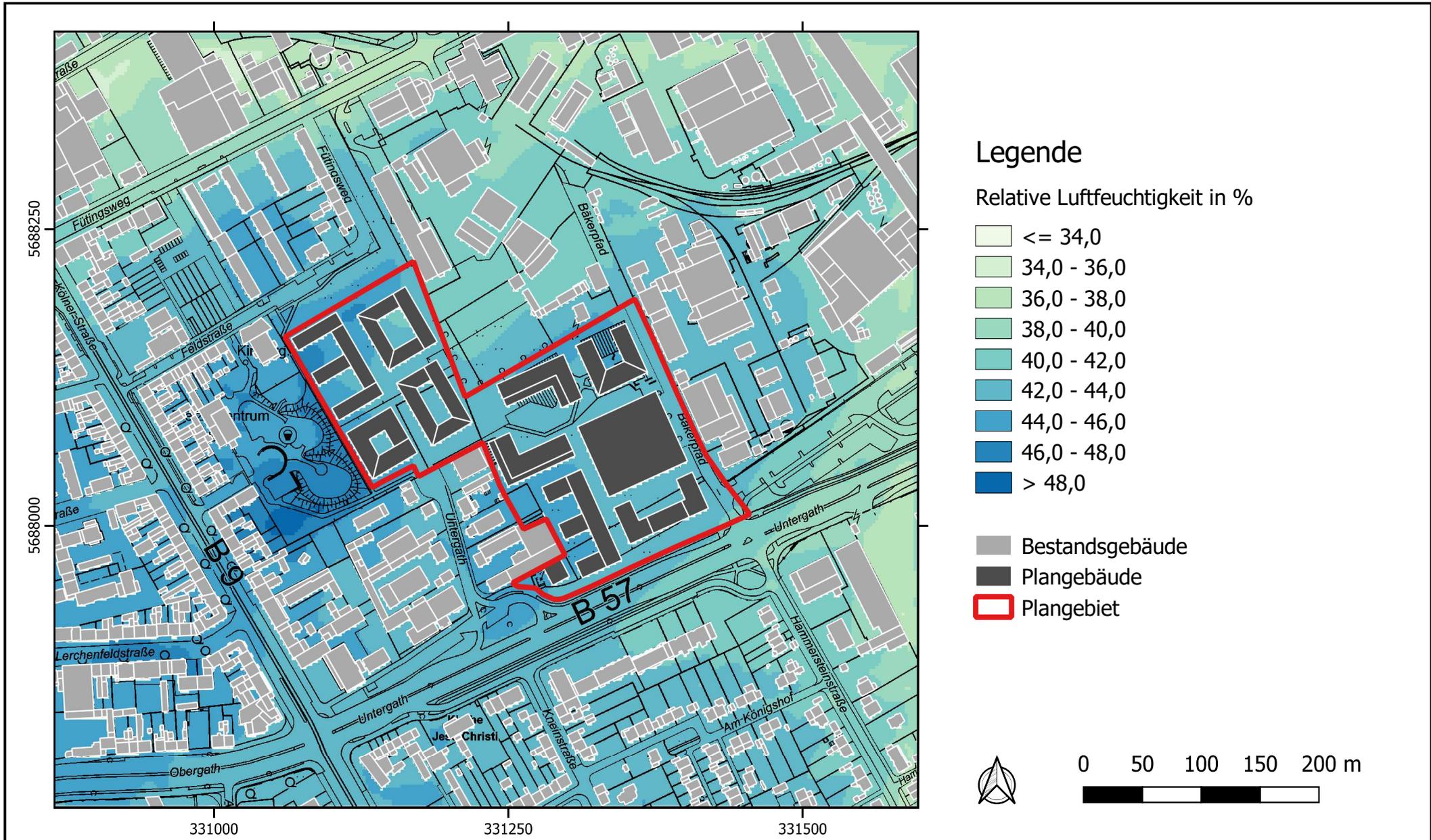
Anlage 35: Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall



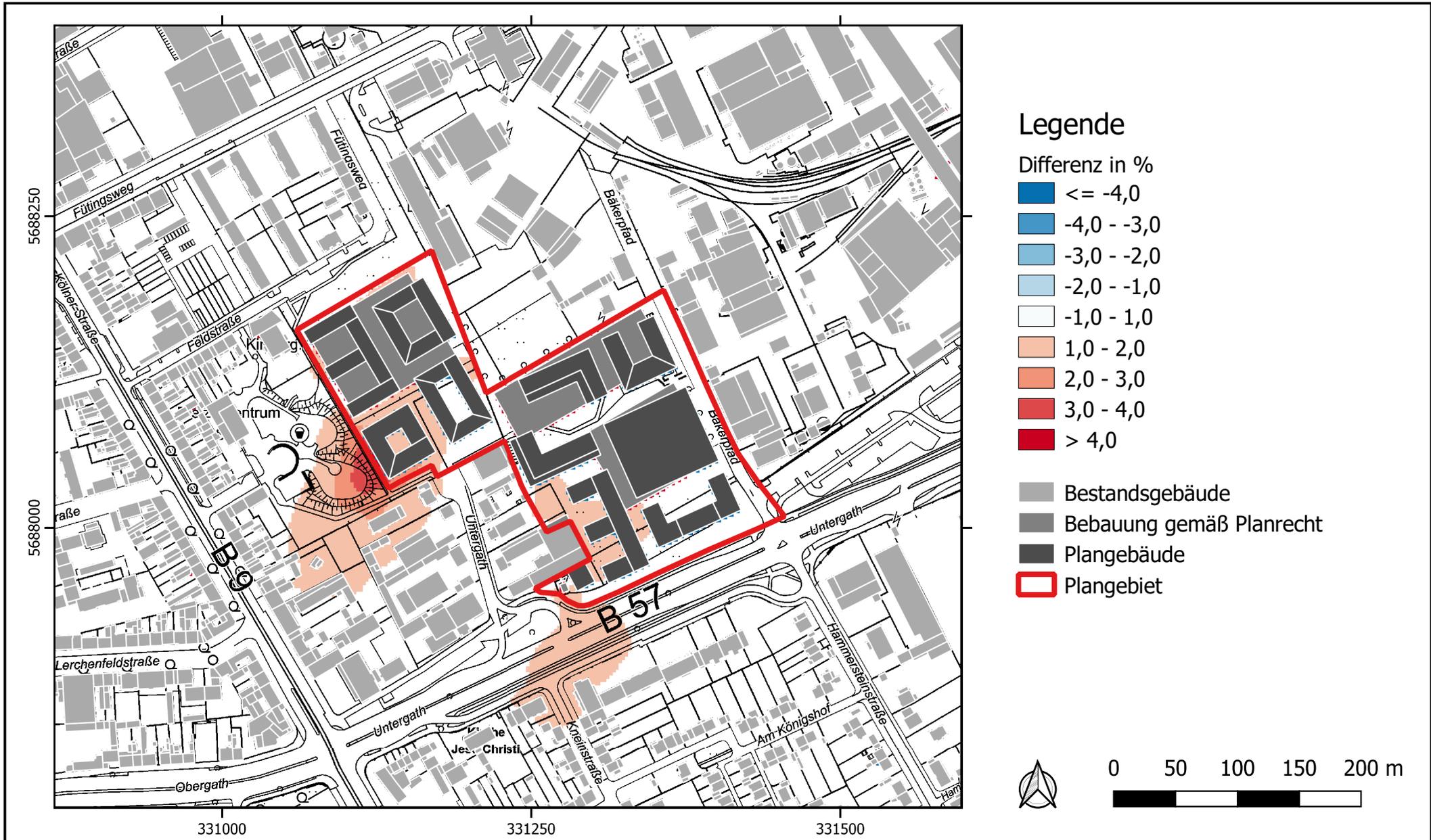
Anlage 36: Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall

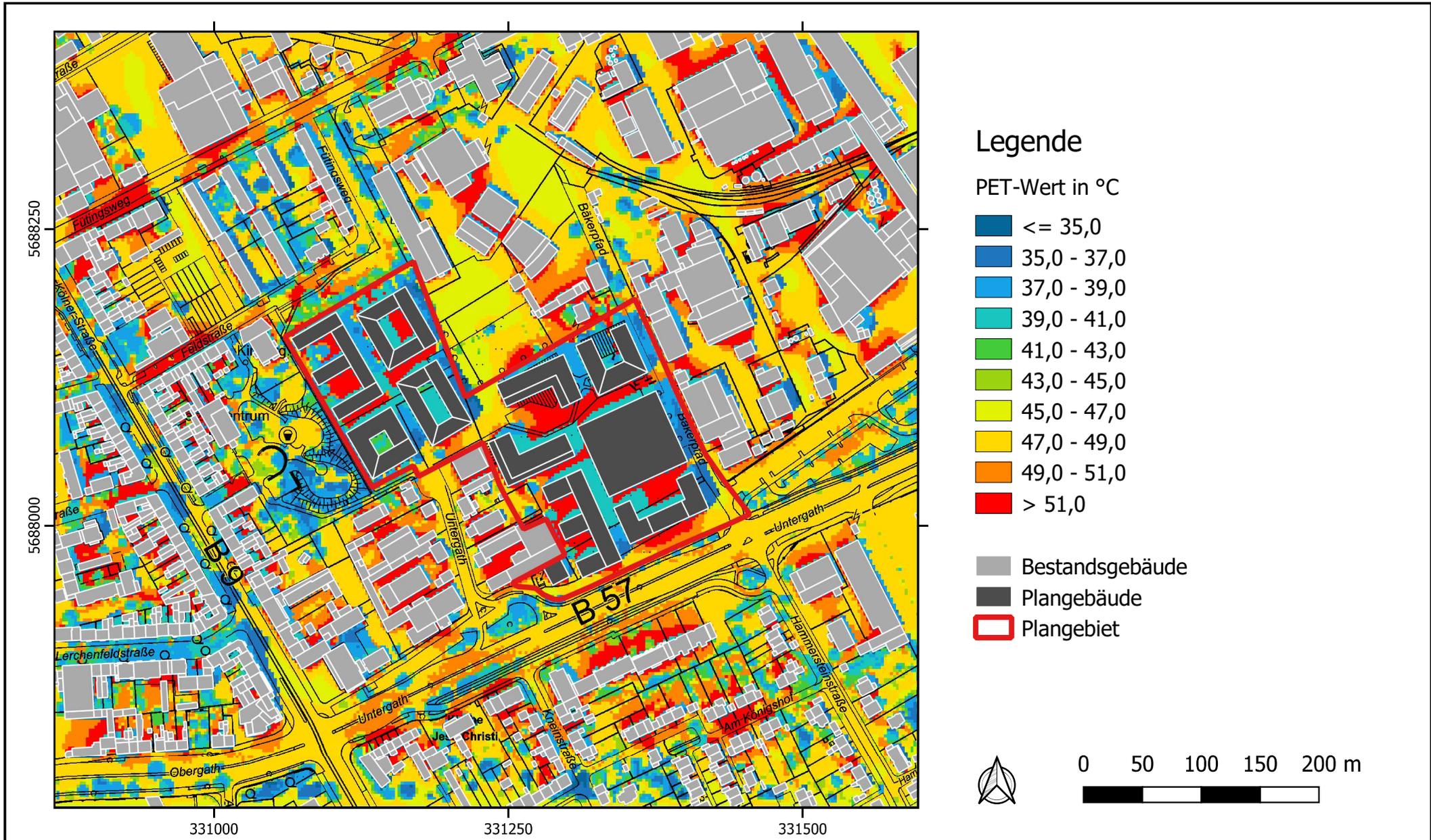


Anlage 37: Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall

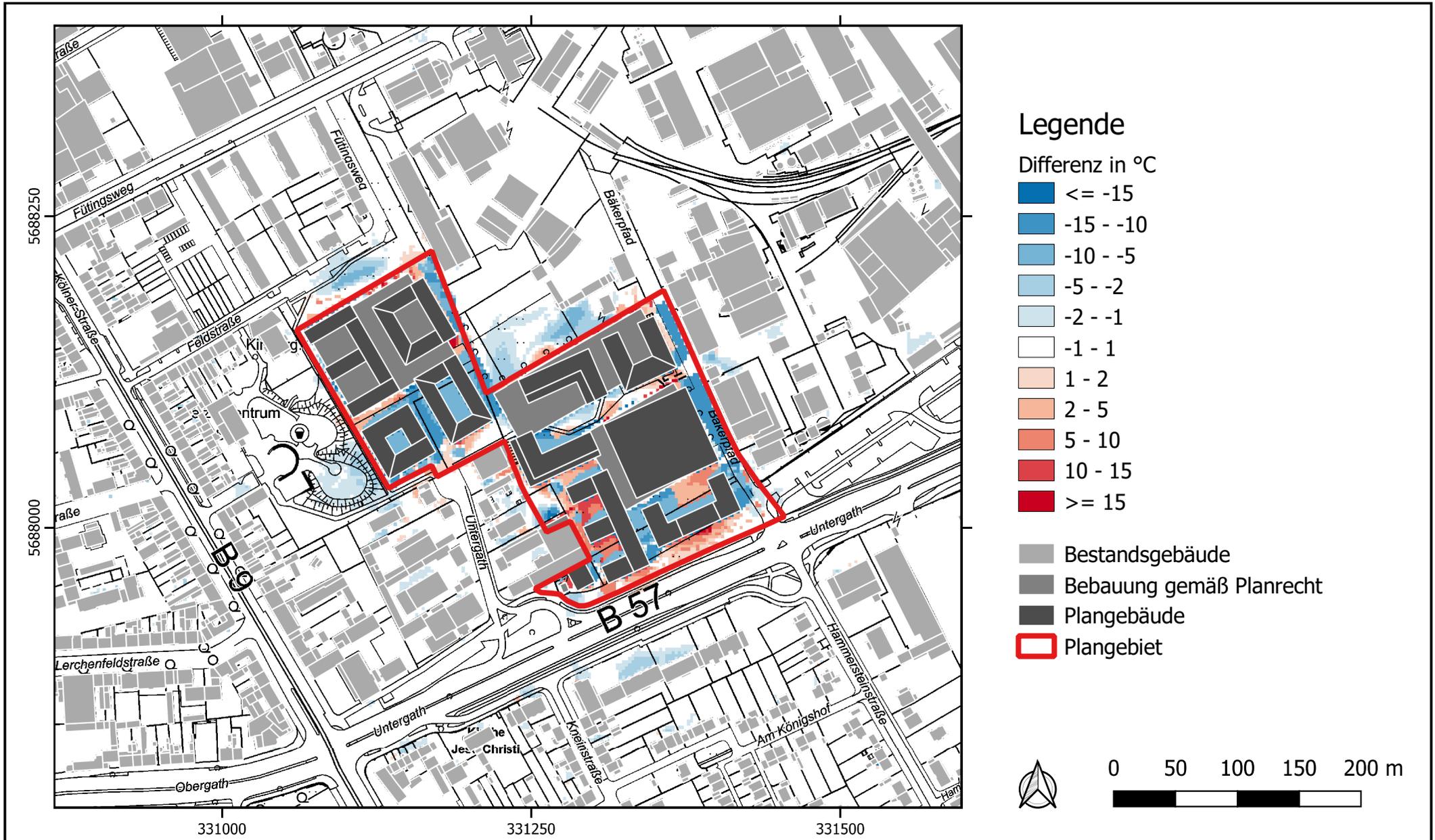


Anlage 38: Differenz der relativen Luftfeuchtigkeit in 1,5m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall

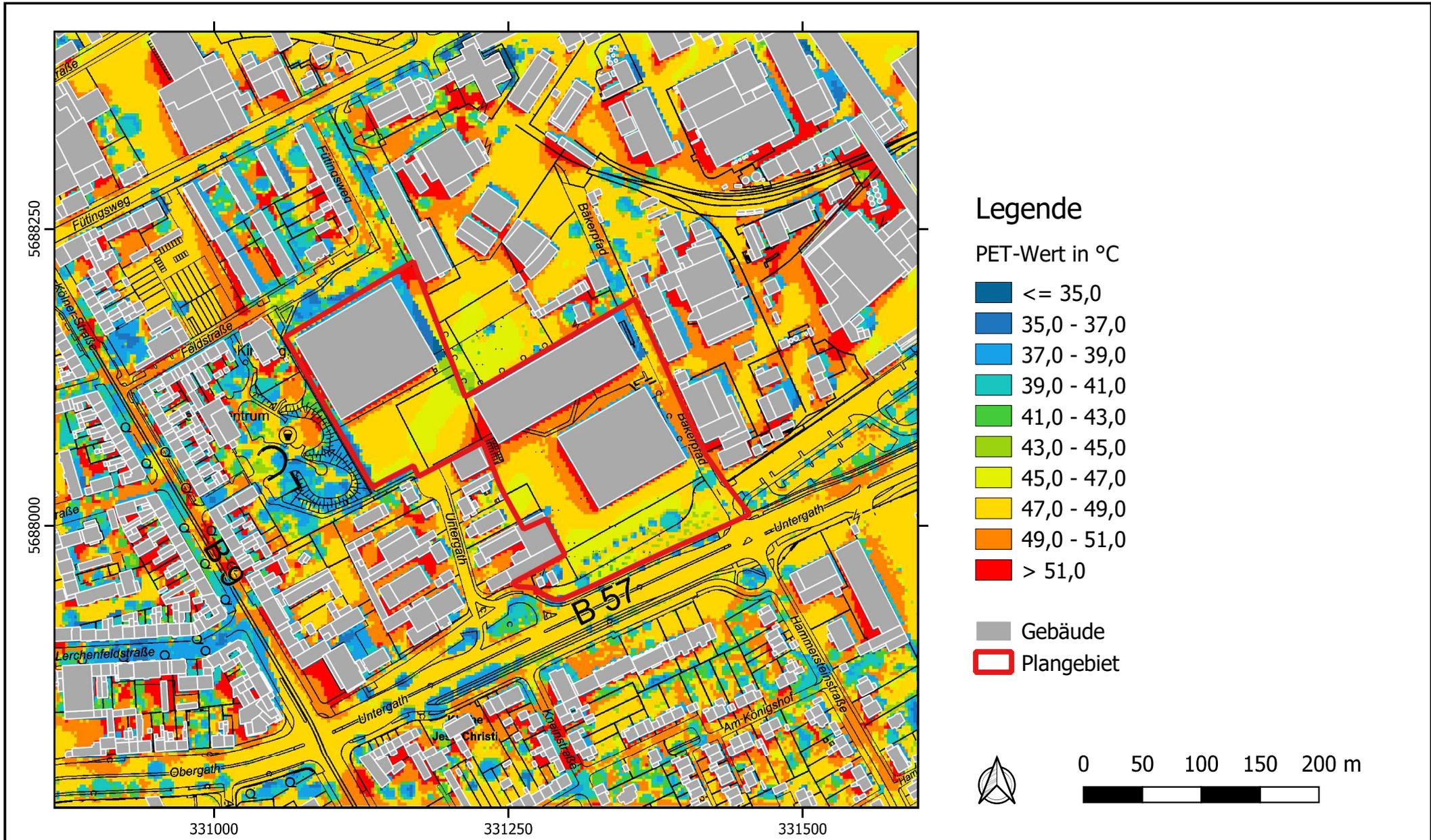


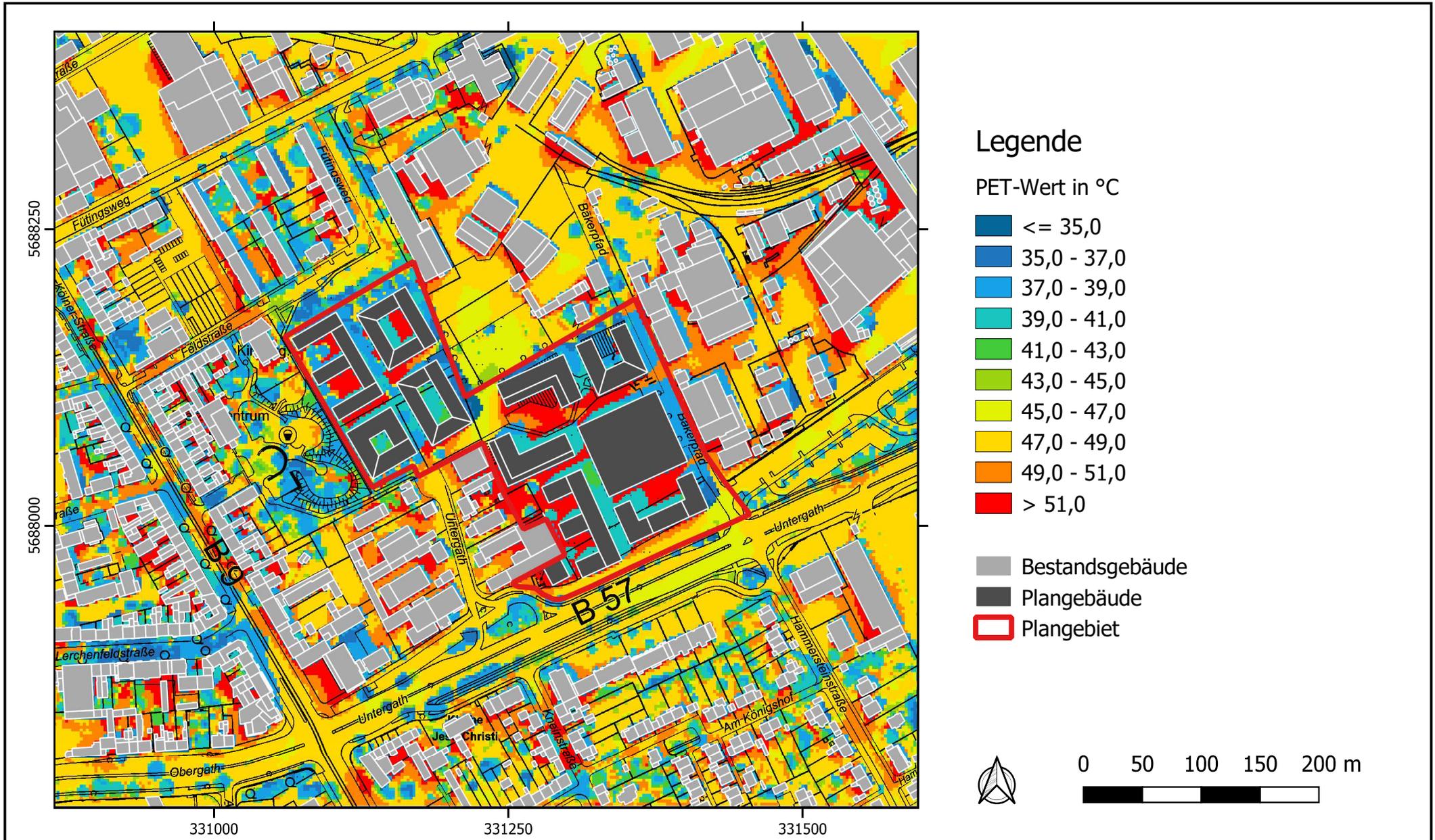


Anlage 41: Differenz des PET-Wertes in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei südöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall



Anlage 42: PET-Wert in 1,5 m Höhe ü. Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Istfall





Anlage 44: Differenz des PET-Wertes in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr bei nordöstlicher Anströmungsrichtung - Planfall minus Istfall

