

Klimauntersuchung zum 6-streifigen Ausbau der A 565 zwischen der Anschlussstelle Bonn-Ende- nich und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord

Bericht VC 7354 - 1 vom 30.07.2021

Unterlage 19.5

Auftraggeber: Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Grafenberger Allee 293
40237 Düsseldorf

Bericht-Nr.: VC 7354 - 1

Datum: 30.07.2021

Ansprechpartner/in: Herr Siebers

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 111 Seiten,
davon 56 Seiten Text und 55 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.....	5
2	Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien.....	6
3	Örtliche Gegebenheiten.....	9
4	Klimatologische Grundlagen.....	10
5	Themenkomplex Kaltluft.....	12
5.1	Grundlagen.....	12
5.1.1	Bewertung von Kaltluftabflüssen.....	12
5.2	Berechnungsmodell.....	14
5.2.1	Modellbeschreibung.....	14
5.2.2	Eingangsdaten.....	15
5.2.2.1	Aufbau und Abgrenzung des Rechengebietes.....	15
5.2.2.2	Digitales Geländemodell.....	15
5.2.2.3	Landnutzung.....	16
5.3	Ergebnisse der Kaltluftberechnungen.....	19
5.4	Großräumiges Kaltluftgeschehen.....	19
5.4.1	Kaltluftvolumenstrom – zwei Stunden nach Sonnenuntergang.....	19
5.4.2	Kaltluftvolumenstrom – sechs Stunden nach Sonnenuntergang.....	21
5.5	Kaltluftgeschehen im Umfeld des Planvorhabens.....	22
5.5.1	Mächtigkeit der Kaltluftschicht – zwei Stunden nach Sonnenuntergang.....	22
5.5.2	Kaltluftvolumenstrom – zwei Stunden nach Sonnenuntergang.....	25
5.5.3	Mächtigkeit der Kaltluftschicht – sechs Stunden nach Sonnenuntergang.....	28
5.5.4	Kaltluftvolumenstrom – sechs Stunden nach Sonnenuntergang.....	28
6	Themenkomplex Überhitzung und Durchlüftung.....	32
6.1	Grundlagen.....	32
6.1.1	Bewertung des thermischen Komforts.....	32
6.1.2	Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen.....	33
7	Berechnungsmodell.....	34
7.1	Modellbeschreibung.....	34
7.1.1	Aufbau der Rechengitter.....	34
7.1.2	Eingangsdaten.....	36
7.1.2.1	Gebäude.....	36
7.1.2.2	Lärmschutzwände.....	37

7.1.2.3	Vegetation.....	37
7.1.2.4	Oberflächen.....	38
7.1.2.5	Initialisierungsparameter.....	39
7.2	Ergebnisse.....	40
7.2.1	Lufttemperaturen.....	41
7.2.2	Durchlüftung.....	44
7.2.3	Bioklima.....	46
8	Planungsempfehlungen.....	48
9	Zusammenfassung.....	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5 1: Bewertung der planerischen Auswirkungen von Kaltluftabflüssen [6]..... 13
Tabelle 5 2: Verwendete Landnutzungsklassen im Rechenmodell KLAM_21..... 18
Tabelle 6 1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET..... 32
Tabelle 7 1: Kenndaten der vier Rechengebiete..... 35
Tabelle 7 2: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen..... 40

Abbildungsverzeichnis

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Autobahn GmbH plant den 6-streifigen Ausbau der Bundesautobahn A 565 zwischen der AS Bonn-Endenich und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord. Für das Vorhaben ist aufgrund einer Vielzahl an im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens eingegangenen Einwendungen zum Thema Stadtklima eine detaillierte Klimauntersuchung zu erstellen. Untersucht werden soll insbesondere, ob sich durch die neuen Lärmschutzanlagen eine Beeinträchtigung der Kaltluftströmungen in Richtung der Bonner Innenstadt ergibt und wie sich die zusätzliche Versiegelung, die Lärmschutzwände sowie der teilweise Wegfall von Bäumen und sonstiger Vegetation auf die bioklimatischen Verhältnisse und die Durchlüftung im Umfeld des Planvorhabens auswirken.

Für die Kaltluftuntersuchung werden Simulationsrechnungen mit dem Kaltluftmodell KLAM_21 in der aktuellen Version 2012 für den Ist- und Planfall unter Berücksichtigung des Reliefs, der Landnutzung und der bestehenden und geplanten Lärmschutzeinrichtungen durchgeführt. Hierbei wird das Rechengebiet so groß dimensioniert, dass das im Bonner Rheintal bei Strahlungswetterlagen auftretende Bergwindssystem, bei dem in den Nachtstunden abfließende Kaltluftmassen dem natürlichen Gefälle der Rheintalung folgen, in den Simulationsrechnungen abgebildet wird.

Die Beurteilung der Veränderung erfolgt gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ [6] anhand eines Vergleiches der berechneten Kaltluftkenngrößen Kaltluftschichtdicke und Kaltluftvolumenstrom.

Für die Untersuchungen zum Themenkomplex der sommerlichen Überwärmung und der Durchlüftungssituation werden Simulationsrechnungen mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der Version 4.4.5 für den Ist- und den Planfall für zwei Hauptwindrichtungen und einen warmen Sommertag durchgeführt. In die Berechnungen fließen Gebäudestellungen und -höhen, die Lage und Höhe der bestehenden und geplanten Lärmschutzwände, der Vegetationsbestand sowie die Oberflächen- und Bodenbeschaffenheiten ein.

Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgt anhand der simulierten Temperaturverhältnisse, welche zu drei Uhrzeiten (14 Uhr – heißeste Tagstunde, 22 Uhr – typische Einschlafzeit und 4 Uhr – kälteste Nachtstunde) ausgewertet werden sowie der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes, welcher um 16 Uhr ausgewertet wird. Zusätzlich werden die Windverhältnisse in einer Auswertehöhe von 1,5 m Höhe über Grund und in Höhe der Lärmschutzwände ausgewertet und dargestellt.

Die Anlagen 1 und 2 zeigen Lagepläne für die den Berechnungen zugrunde gelegte Ist- und Plansituation.

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung	Kat.	Datum
[1] Stadtklimaanalyse Bonn 2019 – Grundlagen, Methoden, Ergebnisse	Lit.	Januar 2020
[2] Verbundvorhaben „ZURES“ (Zukunftstorierte Vulnerabilitäts- und Risikoanalyse als Instrument zur Förderung der Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen)	Lit.	Zugriff Juli 2021
[3] Ventilation und Schadstoffbelastung in der Kölner Bucht. Geographische Rundschau 49 (10)	Lit.	1997
[4] Beziehungen zwischen synoptischer und lokaler Windzirkulation und der Schadstoffbelastung in der südlichen Niederrheinischen Tieflandsbucht. Ber. z. dt. Landeskunde Bd 71, H.2, S. 255 - 284	Lit.	1997
[5] Urban-orographische Bodenwindsysteme in der städtischen Peripherie Kölns	Lit.	1999
[6] VDI 3787 Blatt 5 Lokale Kaltluft	RIL	2003
[7] Digitale LIDAR-Geländemodelle von Deutschland	P.	2020
[8] Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel	Lit.	2011
[9] Das Kaltluft-Abfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms	Lit.	2008
[10] Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21	Lit.	November 2017
[11] LOD2-Modell im CityGML-Format des Untersuchungsgebietes	P	Dezember 2020
[12] Digitales Geländemodell (DGM1) des Untersuchungsgebietes	P	Dezember 2020
[13] Digitales Oberflächenmodell (LAS) des Untersuchungsgebietes	P	Dezember 2020

Titel / Beschreibung / Bemerkung			Kat.	Datum
[14]	Normalisiertes Digitales Oberflächenmodell 50 des Untersuchungsgebietes	http://www.govdata.de/dl-de/zero-2-0	P	Dezember 2020
[15]	Digitale Orthophotos des Untersuchungsgebietes		P	Dezember 2020
[16]	Amtliche Basiskarte des Untersuchungsgebietes		P	Dezember 2020
[17]	Realnutzungskartierung der Stadt Bonn	Zur Verfügung gestellt durch die Stadt Bonn	P	Februar 2021
[18]	Urban Atlas – Landnutzungsdaten im Vektorformat – Erfassungsstand 2018	Copernicus – Europe's exes on Earth: https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018	P	November 2020
[19]	CORINE Land Cover 10 ha (CLC10) im Vektorformat – Stand 2018	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/catalog/product/view/id/1071/s/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018/category/8/?__store=default	P	Dezember 2018
[20]	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	L.	2020
[21]	Rechenmodell ENVI-met, Version 4.4.5 – Summer 2020	https://www.envi-met.com/	Lit.	2020
[22]	Schalltechnische Untersuchung zum 6-streifigen Ausbau der A 565 zwischen der Anschlussstelle Bonn-Endenich und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord	Bericht VL 7354-11 der Peutz Consult GmbH	Lit.	Dezember 2019
[23]	Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels	A. Matzarakis, in Umweltmeteorologie, Nr. 3, 2013	Lit.	2013
[24]	VDI 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung.	Verein Deutscher Ingenieure	RIL	2008
[25]	VDI 3787, Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.	Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KrdL. Verein Deutscher Ingenieure.	RIL	2014

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[26]	GALK-Straßenbaumliste: http://strassenbaumliste.galk.de/	GALK e.V., Deutsche Garten- amtsleiterkonferenz	P Dezember 2020
[27]	Baumkataster der Stadt Bonn: https://opendata.bonn.de/dataset/baumstandorte	Stadt Bonn	P Dezember 2018
[28]	A565 – Ersatzneubau und Anlage von Verflechtungsstreifen zwischen AS Bonn-Poppelsdorf und AK Bonn-Nord – Geotechnischer Untersuchungsbericht nach EC 7	ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG	Lit. Mai 2018
[29]	A565 – Ersatzneubau und Anlage von Verflechtungsstreifen zwischen AS Bonn-Poppelsdorf und AK Bonn-Nord – Bericht für den Entwurf der Ingenieurbauwerke und der Strecke	ICG Düsseldorf GmbH & Co. KG	Lit. Oktober 2020
[30]	A565 – 6-streifiger Ausbau zwischen der AS Bonn-Endenich und dem AK Bonn-Nord – Landschaftspflegerischer Begleitplan	Smeets Landschaftsarchitekten Planungsgesellschaft mbH	P April 2020
[31]	Lagepläne zu den Regenrückhaltebecken Lielingsweg und Campus	Zur Verfügung gestellt durch die Autobahn GmbH	P September 2021

Kategorien:

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

3 Örtliche Gegebenheiten

Die Autobahn GmbH plant den 6-streifigen Ausbau der Bundesautobahn A 565 zwischen der AS Bonn-Endenich und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord.

Südlich des Autobahnkreuzes Bonn-Nord verläuft die Trasse zunächst bis zum kreuzenden Lielingsweg in Dammlage. Westlich und östlich dieses Abschnittes befinden sich die Wohngebiete entlang des Meisenweges und des Zeisigweges. Ab dem Lielingsweg bis zur Straße Am Probsthof wird die A 565 in Brückenlage geführt. Die Brücke überspannt hierbei unter anderem die Bahnstrecken 2630 „linke Rheinstrecke“, 2645 „Voreifelbahn“ sowie das Schienennetz der Bonner Stadtbahn. Das Umfeld des Brückenbauwerkes wird insbesondere von Büro- und Gewerbebauten geprägt. Südlich der Straße Am Probsthof verläuft die A 565 wieder in Dammlage bis sie im Bereich der AS Bonn Endenich in eine Troglage übergeht. Die an dieser Stelle querende B 56 wird als Brücke über die A 565 geführt. Nordöstlich der AS Bonn Endenich befindet sich ein Wohngebiet entlang der Verdistrasse, nordwestlich der AS Bonn Endenich liegen landwirtschaftliche Nutzflächen und Gewächshäuser. Anlage 1 zeigt einen Übersichtslageplan der Bestandssituation.

Der bestehende vierstreifige Querschnitt der A 565 wird durch die Anordnung zusätzlicher Verflechtungsstreifen zwischen der AS Bonn-Endenich und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord ergänzt. Je Fahrtrichtung werden somit künftig drei Fahr- und ein Seitenstreifen vorgehalten. Neben den hierzu notwendigen Brückenneubauten sind darüber hinaus weitere Ingenieurbauwerke (u.a. Stützwände und Lärmschutzwände) wie auch Entwässerungseinrichtungen herzustellen. Zwischen Brühler Straße und Lielingsweg erhält die in Hochlage geführte Autobahn einen Erdkern.

Aus dem geplanten 6-streifigen Ausbau der A 565 resultieren umfangreiche Lärmschutzmaßnahmen entlang des gesamten Planungsabschnittes. Die maximalen Wandhöhen werden mit 12 m im Bereich der AS Bonn Endenich zum Schutz des Wohngebietes an der Verdistrasse erreicht. Südlich des AK Bonn-Nord sowie im Bereich der AS Bonn Tannenbusch werden Wandhöhen von bis zu 9 m angestrebt.

Anlage 2 zeigt die Trassenlage nach Realisierung des Planvorhabens.

4 Klimatologische Grundlagen

Zur stadtklimatologischen Einordnung des Plangebietes wird die Klimaanalyse der Stadt Bonn aus dem Jahr 2019 [1], welche im Rahmen des Verbundvorhabens „ZURES“ (Zukunftsorientierte Vulnerabilitäts- und Risikoanalysen als Instrument zur Förderung der Resilienz von Städten und urbanen Infrastrukturen) [2] entwickelt wurde, herangezogen.

In der Stadtklimaanalyse werden u. a. die lokal für Bonn zu erwartenden Veränderungen durch den Klimawandel beschrieben. Hierfür wurden die Ergebnisse regionaler Klimamodelle ausgewertet, die mit unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben wurden. Die verschiedenen Klimaszenarien unterscheiden sich hinsichtlich des anthropogenen Strahlungsantriebes, welcher aus verschiedenen Prognosen zur zukünftigen Entwicklung des CO₂-Ausstoßes resultiert. Bei Zugrundelegung des ungünstigsten CO₂-Szenarios „RCP 8.5“ ist demnach davon auszugehen, dass

- sich die Anzahl der Sommertage (Maximaltemperatur $\geq 25^\circ \text{C}$) im Jahr 2100 gegenüber der Periode 2015 – 2045 mehr als verdreifachen wird,
- sich die Anzahl der heißen Tage (Maximaltemperatur $\geq 30^\circ \text{C}$) im selben Zeitraum etwa verfünffachen wird und
- die Anzahl der Tropennächte (Minimaltemperatur $\geq 20^\circ \text{C}$) im selben Zeitraum um den Faktor 3 bis 5 zunehmen wird.

Um für die Zukunft besser gewappnet zu sein und Veränderungen im Klima auch im Städtebau und in den Planungen besser berücksichtigen zu können, wurden im Rahmen der Klimaanalyse Planungshinweiskarten für den Tag- und Nachtzeitraum auf der Grundlage von mesoskaligen Modellrechnungen entwickelt. Auszüge dieser Planungshinweiskarten für das Umfeld des Plangebietes sind in Anlage 3 (Nachtsituation) und Anlage 4 (Tagsituation) dargestellt.

Die Planungshinweiskarte für die Nachtsituation Anlage 3 verdeutlicht, dass in den Gewerbe- und Industriegebieten im Umfeld der A 565 eine überwiegend ungünstige bioklimatische Situation vorliegt. Hierbei handelt es sich demnach um Siedlungsflächen, die durch eine sehr verdichtete Bebauung, einen hohen Versiegelungsgrad und einen sehr geringen Grünanteil charakterisiert sind. Sie weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Sie sollten sich sowohl auf die Tag- als auch auf die Nachtsituation auswirken. Eine Verbesserung der Durchlüftung und eine Erhöhung des Vegetationsanteils sollte angestrebt werden.

In den an die A 565 angrenzenden Wohngebieten nördlich des Lievelingsweges und im Bereich der Verdistraße wird hingegen eine überwiegend günstige bioklimatische Situation ausgewiesen. Diese Bereiche sind durch eine lockere, durchgrünte Bebauung mit einem gerin-

gen Versiegelungsgrad charakterisiert und weisen eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Der Vegetationsanteil sollte erhalten werden.

Den wenigen verbliebenen Freiflächen im Umfeld des Vorhabens (landwirtschaftlich genutzte Flächen und Parkflächen nordwestlich der AS Bonn-Endenich, Freiflächen im AK Bonn-Nord sowie den Schrebergartenflächen südlich der Brühler Straße) wird überwiegend eine mittlere bioklimatische Bedeutung zugewiesen. Diese Freiflächen grenzen demnach unmittelbar an den Siedlungsraum an und weisen einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom oder eine überdurchschnittliche Kaltluftproduktionsrate auf. Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur stellen sie ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen dar. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, weshalb diese Ausgleichswirkung erhalten bleiben sollte.

Neben den unter klimatologischen Gesichtspunkten klassifizierten Ausgleichs- und Wirkungsräumen sind in der Planungshinweiskarte Nacht auch die Richtung und Stärke von Kaltluftabflüssen und Flurwinden sowie der Kaltlufteinwirkungsbereich innerhalb von bebauten Gebieten dargestellt. Von West nach Ost in Richtung der überwärmten Gewerbegebiete einströmende Flurwinde treten demnach im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf. Des Weiteren fungieren die Bahnflächen im Bereich des Brückenbauwerkes der A 565 als Leitbahn für die aus Richtung Osten einströmenden kühlen Luftmassen.

Die Planungshinweiskarte für den Tag weist gegenüber der Planungshinweiskarte für die Nachtsituation eine ähnliche Ausprägung in Bezug auf die bioklimatische Belastungssituation aus. Die stark versiegelten Gewerbe- und Industriegebiete beiderseits der A 565 stellen demnach eine ungünstige, in Teilen aber auch eine sehr ungünstige humanbioklimatische Situation dar. Hier besteht ein hoher, bzw. sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie z. B. zusätzliche Begrünung, Verschattung und Entsiegelung.

In den Wohngebieten im Norden und Süden des Planungsabschnittes herrschen aufgrund der eher aufgelockerten Bebauung sowie des hohen Durchgrünungsgrades sehr günstige bis günstige humanbioklimatische Bedingungen vor. Die insgesamt günstigen Bedingungen sollten nach Möglichkeit erhalten bleiben, zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich.

5 Themenkomplex Kaltluft

5.1 Grundlagen

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 und 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.

5.1.1 Bewertung von Kaltluftabflüssen

Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen und der Bewertung von planungsbedingten Veränderungen wird in der Regel der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Gemäß [6] 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“ [6]. 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 5 1 dargestellte Skala verwendet.

Tabelle 5 1: Bewertung der planerischen Auswirkungen von Kaltluftabflüssen [6]

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

5.2 Berechnungsmodell

5.2.1 Modellbeschreibung

Die Kaltluftberechnungen wurden mit der aktuellen Version des vom Deutschen Wetterdienst entwickelten Kaltluftabflussmodells KLAM_21 [9] durchgeführt.

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

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

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

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

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

5.2.2 Eingangsdaten

5.2.2.1 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. Aus verschiedenen Untersuchungen [3] [4] ist bekannt, dass sich in der Kölner Bucht in Strahlungsnächten der Rheintalwind, ein überregionaler Kaltluftabfluss, der sich unter anderem aus der Kaltluft speist, die sich auf den Freiflächen des Rheintals südlich von Bonn (z. B. dem Siebengebirge) ausbildet. Dieses System führt zu dem an allen Wetterstationen der Kölner Bucht zu beobachtenden Windrichtungsmaximum aus südöstlichen Richtungen. Zur Berücksichtigung dieses überregionalen Windsystems wurde vor Beginn der Berechnungen eine Geländeanalyse erstellt und das Untersuchungsgebiet in Richtung Süden entsprechend großzügig dimensioniert. Neben dem Rheintal südlich von Bonn wurde auch das komplette Kaltlufteinzugsgebiet des Ahrtales in den Berechnungen berücksichtigt. Das Untersuchungsgebiet entspricht in seinen Ausmaßen dem dargestellten Bereich in Anlage 5. Die Abmessungen des gesamten Untersuchungsraumes betragen ca. 37 km in West-Ost und ca. 35 km in Nord-Süd-Ausrichtung. Im gesamten Rechengebiet wurde eine durchgehende horizontale Gitterauflösung von 12,5 m realisiert.

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

5.2.2.2 Digitales Geländemodell

Die für die Berechnung notwendigen Informationen zur Geländehöhe wurden aus für Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz frei verfügbaren digitalen Geländemodellen mit einer Gitterauflösung von 20 m [7] entnommen und in eine einheitliche horizontale Gitterauflösung von 12,5 m überführt. Anlage 5 zeigt die Geländehöhen im gesamten Untersuchungsraum.

Auswirkungen des Planvorhabens auf die Kaltluftabflüsse im Umfeld des Vorhabens sind vor allem infolge der neuen Lärmschutzwände, die ein Hindernis für die bodennahen Luftströmungen darstellen, zu erwarten. Zur Berücksichtigung dieser Hinderniswirkung wurden die Lärmschutzwände im Ist- und Planfall dem Geländemodell aufgeprägt. Lage und Höhe der Lärmschutzwände wurden hierbei dem Schallmodell zum Planfeststellungsverfahren [22] entnommen. Eine Ausnahme von dieser Vorgehensweise bilden die Lärmschutzwände auf Brückenbauwerken. Diese wurden als Landnutzungselemente zur Berücksichtigung der Durchströmbarkeit des Brückenbauwerkes berücksichtigt (vgl. hierzu Kapitel 5.2.2.3).

Anlage 6 und Anlage 7 zeigen die verwendeten Höhendaten für den Ist- und den Planfall im Umfeld des Plangebietes.

5.2.2.3 Landnutzung

Die zur Bestimmung von Kaltluftproduktionsraten und Rauigkeiten benötigten Informationen zur Landnutzung im Untersuchungsraum wurden für große Teile des Untersuchungsgebietes mithilfe des von der EU zur Verfügung gestellten Datensatzes Urban-Atlas mit Stand 2018 [18] abgeleitet. Dieser Dienst stellt sehr hoch aufgelöste Landnutzungsdaten, die aus Satellitenbildern abgeleitet werden, für europäische Ballungsgebiete zur Verfügung. Der Vorteil dieses Datensatzes gegenüber anderen Datenquellen zur Landbedeckung (z. B. Corine und ALK) besteht darin, dass in den Siedlungsbereichen nach verschiedenen Versiegelungsgraden unterschieden wird und somit die Rauigkeit und Kälteproduktion innerhalb von Siedlungsgebieten in den KLAM-Berechnungen deutlich genauer erfasst werden kann. Zusätzlich wurde uns vom Umweltamt der Stadt Bonn die Realnutzungskartierung für das Bonner Stadtgebiet [17] zur Verfügung gestellt, mit der eine weitere Detaillierung der Landnutzungen erreicht werden konnte.

Die Daten des Urban Atlas stehen derzeit allerdings noch nicht flächenhaft für ganz Deutschland zur Verfügung. Zur Komplettabdeckung des Untersuchungsgebietes fehlen die Informationen für die Gebiete in Rheinland-Pfalz, für die Eifelgemeinden südwestlich der A 61 sowie für die Gemeinden im Nordosten des Untersuchungsgebietes im Bergischen Land. Für diese Bereiche wurde zur Ableitung der Landnutzung auf das Corine-Landnutzungskataster mit Stand 2018 [19] zurückgegriffen.

Da die Landnutzungsklassen des Urban Atlas, bzw. des Corine-Katasters nicht den in KLAM_21 verwendeten Landnutzungsklassen entsprechen, mussten zunächst die jeweiligen Landnutzungsklassen in die standardmäßig vorgegebenen KLAM-Klassen reklassifiziert werden. Für die Siedlungsbereiche innerhalb des vom Urban-Atlas abgedeckten Teil des Untersuchungsgebietes wurden zudem ergänzende, benutzerdefinierte KLAM-Klassen erzeugt, die neben dem Versiegelungsgrad auch die Grundflächenzahl (Anteil der bebauten Fläche an der Gesamtfläche) sowie die typischen mittleren Gebäudehöhen pro Klasse berücksichtigen. Die Informationen zur Grundflächenzahl und zur mittleren Gebäudehöhe wurden hierbei durch Verschneidung der frei verfügbaren LOD2-Gebäudemodelle des Landes NRW [11] mit den Urban-Atlas-Landnutzungsflächen ermittelt. Anlage 8 zeigt die in den Berechnungen berücksichtigte Landnutzung für den gesamten Untersuchungsraum im Istfall.

Die Landnutzung für die Plansituation wurde auf Grundlage der Maßnahmenpläne im Landschaftspflegerischen Begleitplan [30] abgeleitet.

Ein besonderes Augenmerk der Kaltluftuntersuchung liegt auf der Hinderniswirkung der vorgesehenen Lärmschutzwände. Die Lärmschutzwände außerhalb von Brücken wurden hierzu

in das Geländemodell eingearbeitet (vgl. Kapitel 5.2.2.2). Für die Lärmschutzwände auf Brückenbauwerken funktioniert diese Vorgehensweise nicht, da im Rechenmodell keine unterströmbareren Bereiche, die für die bodennah abfließende Kaltluft aber von großer Bedeutung sind, definiert werden können. Die Einarbeitung der Oberkante der Lärmschutzwände in das Geländemodell würde daher zu einer deutlichen Überschätzung der Hinderniswirkung führen.

Die Implementierung der Lärmschutzwände auf den Brücken in das Rechenmodell wurde daher durch eine Modifizierung der Landnutzungsklassen realisiert. Hier ist es möglich, Siedlungsflächen den Anteil bebauter Fläche an der Gesamtfläche und die mittlere Gebäudehöhe vorzugeben. Hierdurch können poröse Flächen definiert werden, die von der Kaltluft durchströmt werden. Mithilfe dieser Methodik kann zwar nicht das bodennahe Durchströmen exakt abgebildet werden, die vorgegebene Porosität entspricht dann aber dem Verhältnis der unterströmbareren Bereiche zur Oberkante der Lärmschutzwand. Abweichend von der Realität geschieht das Durchströmen dieser Elemente dann nicht bodennah, sondern einheitlich über den gesamten Querschnitt bis in Höhe der Oberkante der Lärmschutzwände. Insbesondere bei geringen Kaltluflhöhen wird die Hinderniswirkung der Lärmschutzwände auf Brücken mit dieser Methodik eher überschätzt. Die so ermittelten Ergebnisse sind daher als Worst-Case-Abschätzung zu interpretieren.

Die Anlagen 11 und 12 zeigen die verwendeten Landnutzungsdaten für den Ist- und den Planfall im Umfeld des Untersuchungsgebietes.

Die in den Kaltluftberechnungen verwendeten Landnutzungsklassen mit den entsprechenden Parametern können der nachfolgenden Tabelle 5 2 entnommen werden.

Tabelle 5 2: Verwendete Landnutzungsklassen im Rechenmodell KLAM_21

Nutzungen	z0g	grz	hg	wai	bg	hv	xlai	a	vsg	
Wald	0,4	0,0	0,0	0,0	0,9	20,0	6,0	0,56	0,0	
halb vers. Fläche	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,5	
Park	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	20,0	6,0	1,0	0,05	
unvers. Freifläche	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	
versiegelte Fläche	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0	
Wasser	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Bahnfläche	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,75	0,0	
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad > 80%	0,1	0,3	11,0	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,8	
	0,1	0,6	14,0	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,8	
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad 50 - 80%	0,1	0,3	11,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,65	
	0,1	0,6	7,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,65	
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad 30 - 50%	0,1	0,3	10,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,4	
	0,1	0,6	7,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,4	
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad 10 - 30%	0,1	0,3	7,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,2	
Siedlungsstrukturen Versiegelungsgrad < 10%	0,1	0,3	5,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,05	
	0,1	0,6	7,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,05	
Isolierte Strukturen	0,1	0,2	7,0	4,0	0,0	0,0	0,0	-99	0,4	
Industrie – und Gewerbegebiete	0,1	0,3	10,0	0,9	0,0	0,0	0,0	-99	0,9	
	0,1	0,6	12,0	0,9	0,0	0,0	0,0	-99	0,9	
Brückenelemente Istfall	1	0,1	0,45	11	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	2	0,1	0,22	9	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	3	0,1	0,17	12	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	4	0,1	0,13	15	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
Brückenelemente Planfall	1	0,1	0,66	16	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	2	0,1	0,35	14	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	3	0,1	0,43	12	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	4	0,1	0,30	16	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	5	0,1	0,39	13	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0
	6	0,1	0,63	14	3,0	0,0	0,0	0,0	-99	1,0

Mit:

- z0g(i)** Rauiglängslänge des Bodens in m ohne Beachtung explizit spezifizierter Bebauung oder Bewaldung
- grz(i)** Grundflächenzahl, Anteil der bebauten Fläche an der Gesamtfläche
- hg(i)** mittlere Gebäudehöhe in m
- wa(i)** Wandflächenindex, mittleres Verhältnis der Wandfläche eines Gebäudes zu dessen Grundfläche

bg(i)	mittlerer Bedeckungsgrad des Bodens mit Bäumen
xlai(i)	Blattflächenindex, über die Höhe aufsummierte einseitige Blattfläche eines Baumes im Verhältnis zu seiner Kronenquerschnittsfläche
hv(i)	mittlere Baumhöhe in m
a(i)	relativer Wirkungsgrad der effektiven Ausstrahlung im Vergleich zu einer optimalen Abkühlungsfläche (Bei einem Wert von -99 wird a als Funktion von Bebauung und Versiegelung berechnet [10])
vsg(i)	Versiegelungsgrad der Gesamtfläche einschließlich der bebauten Flächenanteile

5.3 Ergebnisse der Kaltluftberechnungen

Die Berechnungen wurden für den Istfall und den Planfall ohne übergeordneten Regionalwind durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse zeigen somit ausschließlich das thermisch bedingte Kaltluftgeschehen. Im Folgenden wird die Kaltluftsituation 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.

Zur Verdeutlichung des großräumigen Kaltluftgeschehens innerhalb des gesamten Untersuchungsgebietes wird zunächst der Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden und sechs Stunden nach Sonnenuntergang für den Istfall dargestellt. Auf eine Darstellung der Ergebnisse des Planfalls sowie der Differenzen zwischen Ist- und Planfall wird an dieser Stelle aufgrund der in dieser Maßstäblichkeit kaum darzustellenden geringfügigen Änderungen verzichtet.

Anschließend werden die Kaltluftmächtigkeit sowie der Kaltluftvolumenstrom für den Ist- und den Planfall sowie als Differenz im Umfeld des Planvorhabens für beide Auswertzeitpunkte dargestellt.

Letztlich wird die zeitliche Entwicklung des Kaltluftvolumenstroms über acht Stunden an vier Auswertepunkten im Nahbereich des Planvorhabens aufgezeigt.

5.4 Großräumiges Kaltluftgeschehen

5.4.1 Kaltluftvolumenstrom – zwei Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 11 zeigt den Kaltluftvolumenstrom für den Istfall im gesamten Untersuchungsraum zwei Stunden nach Sonnenuntergang. Es wird deutlich, dass das Bonner Stadtgebiet bereits in den frühen Nachtstunden einen Zustrom an Kaltluft aus den umliegenden Bachtälern sowie dem Rheintal erfährt.

Der Zustrom in das nordwestliche Stadtgebiet, in welchem sich der für den Ausbau vorgesehene Streckenabschnitt der A 565 befindet, erfolgt aus südwestlicher bis westlicher Richtung. Über die Schneisen des Katzenlochbach- sowie des Melbtales fließt Kaltluft, die sich auf den Waldflächen des Kottenforsts und des Stadtwalds sowie auf den Freiflächen im südlichen Teil von Bonn bildet, zunächst dem Gefälle gemäß nach Norden. Bei Eendenich bzw. Poppelsdorf öffnen sich die beiden Täler nach Nordosten, wodurch sich eine südwestliche Anströmung des nordwestlichen Stadtgebiets mit Kaltluft ergibt. In Richtung Stadtzentrum schwächt sich der Kaltluftvolumenstrom zunehmend ab und weist im Innenstadtbereich nur noch eine geringe Intensität auf. Ein Teil der aus dem Katzenlochbachtal abfließenden Kaltluft strömt außerdem über die A 565 und die B 56 in Richtung der Ausbaustrecke.

Weitere Zuflüsse von Kaltluft in den Nordwesten von Bonn erfolgen über die Hänge des westlich angrenzenden Vorgebirges. Die dort abfließende Kaltluft wird hauptsächlich auf den geneigten Wald- und Freiflächen im Süden und Westen der Gemeinde Alfter sowie im Süden der Stadt Bornheim gebildet. Der Großteil der Kaltluft wird dem Bonner Stadtgebiet dabei über die Kaltluftschneise des in der Gemeinde Alfter gelegenen Hardbachtals bei Witterschlick zugeführt. In diesem treten zum frühen Nachtzeitpunkt bereits Kaltluftvolumenströme von bis zu $64 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ auf. Die Kaltluftschneise des Hardbachtals ist an eine großräumige Kaltluftbahn, die südwestlich von Meckenheim verläuft und deren Einzugsgebiet bis ins Ahrgebirge reicht, angebunden. Zwei Stunden nach Sonnenuntergang ist der Zufluss von Kaltluft aus dem Ahrgebirge in das Hardbachtal jedoch noch nicht stark ausgeprägt. In Bonn-Duisdorf vereinigt sich die Kaltluftschneise des Hardtbachtals mit einem kleineren Kaltluftabfluss aus dem Derletal, welcher auf Volumenstromdichten $19 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ begrenzt ist. Dies ist jedoch immer noch als hoch einzuordnen. Während der Großteil der aus dem Hardtbachtal abfließenden Kaltluft Richtung Norden strömt, fließt ein kleinerer Teil durch das Tal des Alten Baches in Lessenich/Meßdorf nach Nordosten, in die nördlich des Dransdorfer Berges gelegene Niederung, welche die Ortslage von Dransdorf beherbergt. Durch ihre Ost-West-Ausrichtung agiert diese Niederung wie ein Kanal, der die Kaltluft aus dem Tal des Alten Baches sowie einen Teil der ursprünglich nach Norden fließenden Kaltluft nach Osten in Richtung der Ausbaustrecke umleitet. Teile der Bahngleise westlich der Ausbaustrecke agieren hierbei als Kaltflutleitbahnen. In Richtung des Zentrums schwächt sich der Kaltluftvolumenstrom zunehmend ab.

Der aus dem Hardtbachtal nach Norden fließende Kaltluftstrom vereinigt sich mit mehreren kleineren Kaltluftströmen, die im Bereich der Ortschaft Alfter nach Nordosten abfließen. Diese fallen mit Volumenstromdichten von maximal $26 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ schwächer aus als der Kaltluftstrom durch das Hardbachtal, weisen jedoch ein immer noch hohes Durchlüftungspotential auf. Über die Hänge des zur Stadt Bornheim gehörenden Teil des Vorgebirges, vor allem über das Mühlenbachtal, fließt Kaltluft nach Nordosten. Der Kaltluftstrom durch das Mühlenbachtal besitzt mit Volumenstromdichten von bis zu $57 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ ein sehr hohes Durchlüftungspotential. Ein Teil dieser nach Nordosten fließenden Kaltluft wird durch Umströmung des Hennesbergs nach Osten abgelenkt. Durch diese Strömung werden auch die nach Nor-

den gerichteten Kaltluftabflüsse aus dem Hardtbachtal und der Ortschaft Alfter nach Osten geleitet. Der hieraus resultierende Kaltluftvolumenstrom erreicht den äußersten Nordwesten von Bonn nur noch mit mittlerer Intensität und schwächt sich schnell ab.

Dem linksrheinischen Südosten von Bonn wird Kaltluft über das Pecher Tal und die Täler des Wittgesbaches sowie des Mehlemer Baches zugeführt. Die Kaltluft wird auf den Wald- und Freiflächen der Gemeinde Wachtberg und des südöstlichen Bonns produziert. Mit Kaltluftvolumenstromdichten von bis zu $132 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ im Pecher Tal, $49 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ im Tal des Wittgesbaches und $93 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ im Tal des Mehlemer Baches ist das Durchlüftungspotential dieser Kaltluftschneisen sehr hoch. Ein kleinräumigerer Zufluss lokal gebildeter Kaltluft erfolgt außerdem über die im Bonner Stadtteil Friesdorf gelegenen Bachtäler. Die dort auftretenden Kaltluftvolumenströme belaufen sich auf maximal $54 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$. Das nordwestliche Stadtgebiet wird zum frühen Nachtzeitpunkt noch nicht von diesen Kaltluftabflüssen erreicht.

Eine Kanalisierung von Kaltluft findet außerdem entlang des Rheintals statt. Die Kaltluft strömt aus den südöstlich von Bonn gelegenen Tälern in das Rheintal ein, jedoch hat sich zu Beginn der Nacht noch keine kontinuierliche Kaltluftbahn ausgebildet. Ein Teil der aus dem Tal des Mehlemer Baches abfließenden Kaltluft strömt in die Rheinsenke und wird Richtung Nordwesten geleitet. Die Strömung schwächt sich jedoch schnell ab und trägt nicht signifikant zur Durchlüftung des Bonner Stadtgebiets bei.

Die dicht bebauten Bereiche der Bonner Innenstadt werden zwei Stunden nach Sonnenuntergang noch nicht von signifikanten Kaltluftströmen erreicht.

5.4.2 Kaltluftvolumenstrom – sechs Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 12 zeigt die großräumige Kaltluftsituation sechs Stunden nach Sonnenuntergang. Gegenüber der Situation zwei Stunden nach Sonnenuntergang wird deutlich, dass sich die durch das Rheintal kanalisierte Kaltluft nun zu einer großräumigen Leitbahn sehr hohen Durchlüftungspotentials entwickelt hat. Der Ursprung dieser Kaltluftbahn liegt im Ahrgebirge. Die dort gebildete Kaltluft fließt über das Ahrtal nach Osten in die Niederung des Rheins. Anschließend wird sie unter Zufluss von weiterer Kaltluft aus den einmündenden Bachtälern und bei Volumenstromdichten von bis zu $200 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ Richtung Nordwesten geleitet. Auch die Kaltluftabflüsse des Mehlemer Baches, Wittgesbaches, Pecher Tals und aus Bonn-Friesdorf werden der Kaltluftbahn des Rheintals zugeführt. In der Kaltluftschneise des Pecher Tals haben sich die Volumenstromdichten zum Ende der Nacht auf bis zu $215 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ erhöht, während sich die Intensität der übrigen drei Kaltluftabflüsse kaum verändert hat. Das südöstliche Bonner Stadtgebiet, das nun großflächig von Kaltluftvolumenströmen hoher bis sehr hoher Intensität durchflossen wird, profitiert stark von der Frischluftzufuhr aus dem Rheintal. Bei Erreichen des Bonner Zentrums hat sich der Kaltluftvolumenstrom weitgehend auf ein mittleres Niveau abgeschwächt.

Südlich des Ausbaubereichs sind im Katzenlochbachtal nun Kaltluftvolumenstromdichten bis zu $103 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ zu verzeichnen. Die Intensität dieses Kaltluftabflusses ist somit deutlich gestiegen. Der Abfluss durch das Melbtal hingegen hat sich im Laufe der Nacht kaum verändert. Währenddessen hat sich der Kaltluftstrom durch das Hardbachtal, in dem nun Volumenstromdichten von bis zu $161 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ auftreten, gegenüber dem frühen Nachtzeitpunkt deutlich verstärkt. Die Schneise erfährt nun einen vermehrten Kaltluftzustrom aus dem Ahrgebirge. Der Kaltluftabfluss aus dem Derletal ist ebenfalls angewachsen und erreicht nun Volumenstromdichten von bis zu $32 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$. Auch zum Ende der Nacht fließt ein Teil der aus dem Hardbachtal ausströmenden Kaltluft nach Norden, während der andere Teil nach Nordosten strömt. Diese Kaltluft wird dem nordwestlichen Bonner Stadtgebiet zum einen, wie in den frühen Nachtstunden, über die Kaltluftschneise des Alten Baches in Lessenich/Meßdorf zugeführt. Zum anderen strömt sie nun unter Zufluss von Kaltluft aus dem Derletal sowie dem Katzenlochbachtal bei hohen bis teilweise sehr hohen Volumenstromdichten über das Meßdorfer Feld zu. Die Umlenkung der Kaltluft durch die Dransdorfer Niederung fällt sechs Stunden nach Sonnenuntergang weniger stark aus als zu Beginn der Nacht. Dies ist auf die Zunahme der Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten und -schichtdicke im Laufe der Nacht zurückzuführen, wodurch die Niederung vermehrt Richtung Norden überanstatt Richtung Osten durchströmt wird. Des Weiteren ist der Volumenstrom der aus dem Hardbachtal nach Norden fließenden Kaltluft nun von solch großer Intensität, dass dieser, sowie die Kaltluftzuströme aus der Ortschaft Alfter, nicht mehr von der aus Bornheim nach Osten fließenden Kaltluft umgelenkt werden. Stattdessen werden die Kaltluftabflüsse aus dem Hardbachtal, Bornheim und Alfter nordwestlich von Bonn gemeinsam nach Norden geführt.

Insgesamt bildet sich in der zweiten Nachthälfte im gesamten Rheintal bei Bonn eine deutliche Süd-/ Südostströmung - der „Rheintalwind“ - aus. Durch die kontinuierliche Kaltluftzufuhr aus dem südlich von Bonn gelegenen Rheintal sowie den an Bonn angrenzenden Seitentälern werden in der zweiten Nachthälfte auch die stark versiegelten und überwärmten Innenstadtbereiche Bonns von der Kaltluftzufuhr erfasst.

5.5 Kaltluftgeschehen im Umfeld des Planvorhabens

Nachfolgend wird das Kaltluftgeschehen im Umfeld des Planvorhabens jeweils zwei Stunden und sechs Stunden nach Sonnenuntergang für den Ist- und den Planfall sowie als Differenz dargestellt. Ausgewertet werden die Parameter Mächtigkeit der Kaltluftschicht sowie der Kaltluftvolumenstrom.

5.5.1 Mächtigkeit der Kaltluftschicht – zwei Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 13 bis Anlage 15 zeigen die Mächtigkeit der Kaltluftschicht zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Ist- und im Planfall sowie als prozentuale Differenz.

Anlage 13 kann entnommen werden, dass die größten Kaltluftmächtigkeiten im Istfall aufgrund der relativen Tieflage des Geländes im nördlichen Dransdorf, an der Nordspitze des Ortsteils Eendenich, im Tal des Katzenlochbaches (im hiesigen Mittellauf Eendenicher Bach genannt) und um die Anschlussstelle Poppelsdorf der A 565 auftreten. In diesen Bereichen werden Schichtdicken zwischen 22 und 26 m erreicht. Die Kaltluftmächtigkeit sinkt mit zunehmender Geländehöhe. Im westlichen Eendenich, südöstlichen Dransdorf, östlichen Tannenbusch sowie in Auerberg liegen die Kaltluftmächtigkeiten hierdurch weitgehend unterhalb von 15 m. Beim Ausströmen aus dem Tal des Eendenicher Baches in die niedriger gelegene Weststadt fließt sich die Kaltluft „breit“, wodurch ihre Mächtigkeit ebenfalls auf weniger als 15 m abnimmt. In den höher gelegenen und dicht bebauten Gebieten der Ortsteile Nordstadt und Castell ist die Kaltluft aus den angrenzenden Tälern zu diesem frühen Nachtzeitpunkt noch nicht eingetroffen, die Kaltluftschichtdicke ist daher weitgehend gleich null. Innerhalb der Grenzen des Ausbaubereichs ist die Höhe der Kaltluftschicht über der A 565 im südlichsten Teil aufgrund der relativen Tieflage der Fahrbahn größer als 15 m. Oberhalb der darauffolgenden Rampe verringert sie sich auf bis zu 5 m, reicht für die Überströmung des Tausendfüßlers jedoch bereits zum frühen Nachtzeitpunkt aus. Durch den nördlich der Brücke längs der Fahrbahnrampe installierten Lärmschutz wird die A 565 hier nur noch knapp von der Kaltluft überströmt. Die Mächtigkeit beträgt über der Fahrbahn teilweise weniger als 3 m. Durch die anschließende relative Tieflage des Geländes nimmt sie Richtung Nordosten wieder zu, bleibt allerdings unterhalb von 15 m.

Das Planvorhaben sieht die beidseitige Erhöhung der Lärmschutzwände entlang der Ausbaustrecke vor. Anlage 14 und Anlage 15 zeigen den Effekt dieser Maßnahme auf die Mächtigkeit der Kaltluftschicht: Während die Kaltluflhöhe westlich der Ausbaustrecke zunimmt, sind im Osten Abnahmen zu verzeichnen. Auf der A 565 selbst kommt es nördlich und südlich des Tausendfüßlers überwiegend zu Abnahmen, im Bereich der Brücke hingegen zu Zunahmen.

Das Verhalten lässt sich wie folgt erklären: Die aus der Dransdorfer Niederung auf die Ausbaustrecke zuströmende Kaltluft trifft nördlich und südlich der Brücke auf die nicht unterströmbaren Rampen der A 565, die nach Realisierung des Planvorhabens eine größere Höhe aufweisen als im Istfall. Hierdurch bedingt kommt es zu einem vermehrten Kaltluftstau vor dem Hindernis und somit zum Anwachsen der Kaltluftmächtigkeit. Durch diesen Effekt erhöht sich insbesondere in den im Ortsteil Tannenbusch zwischen Ausbaustrecke und Berta-Lungstras-Straße gelegenen Wohngebieten die Kaltluftmächtigkeit. Mit Ausnahme des an die A 555 grenzenden Bereichs kommt es großflächig zu Zunahmen der Kaltluftschichtdicke von mehr als 10 %. Insgesamt erstreckt sich das Gebiet, für welches hohe Zunahmen zu verzeichnen sind, bis in das im Südwesten von Auerberg gelegene Gewerbegebiet und schließt Teile der Wohnsiedlungen nordwestlich der Opper Straße, südlich des Liewelingswegs und westlich der Berta-Lungstras-Straße ein. Südlich des Tausendfüßlers werden durch Kaltluftstau verursachte Zunahmen größer 10 % für die unmittelbar an die Ausbaustre-

cke grenzenden Gewerbegrundstücke, Teile des Universitätscampus Eendenich und vor dem Hang des Dransdorfer Berges ausgewiesen.

Durch die Erhöhung des Hindernisses kann weniger Kaltluft über die A 565 hinüberströmen, weshalb sie vermehrt auf die durch den Tausendfüßler überbrückte Geländeöffnung ausweicht. Dadurch, dass nun mehr Kaltluft durch einen kleineren Querschnitt strömt, staut sich die Kaltluft ebenfalls, allerdings weniger stark als vor den nicht unterströmbaren Hindernissen. Stromaufwärts der Brücke kommt es daher überwiegend zu mäßigen Zunahmen zwischen 5 und 10 %. An den Bahndämmen treten durch Stauwirkungen vereinzelt höhere Zunahmen auf.

Das Gebiet, in dem durch den Kaltluftstau mäßige Zunahmen der Kaltluftmächtigkeit auftreten, reicht von der Ausbaustrecke im Osten bis zu den Hängen des Dransdorfer Berges im Süden, dem Sportplatz Tannenbusch im Westen und dem an die A 555 grenzenden, zu Auerberg gehörenden Gewerbegebiet im Norden.

Auf der A 565 nimmt die Kaltluflhöhe durch die Realisierung des Planvorhabens nördlich und südlich des Tausendfüßlers aufgrund der reduzierten Überströmung des Lärmschutzes um mehr als 10 % ab. Zunahmen treten lediglich im Bereich der Tieflage nordwestlich der Anschlussstelle Eendenich sowie an den durchströmbaren Unterführungen des Lievelingswegs und der Gerhard-Domagk-Straße auf. Südlich des Autobahnkreuzes Bonn-Nord wird die A 565 nur noch in sehr geringem Maße überströmt, wodurch die Kaltluftmächtigkeit dort auf wenige Meter absinkt.

Die reduzierte Überströmung der Ausbaustrecke bewirkt in deren Lee großflächige Abnahmen der Kaltluftschichtdicke. Im Nahbereich des Tausendfüßlers und der Unterführung Lievelingsweg sind die Abnahmen auf ein überwiegend mäßiges Niveau beschränkt. Das von mäßigen Abnahmen betroffene Gebiet erstreckt sich in seiner weitesten Ausdehnung bis zur K 1 (Heinrich-Böll-Ring) und beinhaltet Gewerbegrundstücke und Teile der zu Tannenbusch gehörenden Wohnbebauung westlich des Zeisigwegs. Innerhalb letzterer fällt die Abnahme vereinzelt größer als 10 % aus.

Durch den darauffolgenden Anstieg des Geländes werden die sich anschließenden Gebiete in geringerem Maße von der durch die Geländeöffnungen des Tausendfüßlers und der Unterführung Lievelingsweg strömenden Kaltluft erreicht, wodurch das Planvorhaben hier flächenhaft zu stärkeren Abnahmen (>10 %) führt. Zum einen sind hiervon in der Nordstadt ein Großteil der Gewerbegebiete zwischen Dorotheen- und Ellerstraße, in Tannenbusch das Gewerbegrundstück nordwestlich des Verteilerkreises Bonn und in der Weststadt der Großteil der Gewerbefläche zwischen den Gleisen der Voreifelbahn und der B 56 (Eendenicher Straße), sowie zum Teil südlich davon, betroffen. Zum anderen treten als hoch zu beurteilende Abnahmen der Kaltluftmächtigkeit in Teilen der Wohnsiedlungen um die Macken-, Riegeler-

und Ellerstraße sowie südlich der L 183 (Bornheimer Straße) in der Nordstadt, und um die Jonas-Cahn- und die B 56 (Eendenicher Straße) in der Weststadt auf.

Östlich der Ausbaustrecke, im Gebiet zwischen der Unterführung Gerhard-Domagk-Straße und der Anschlussstelle Eendenich fällt die Abnahme der Kaltluftschicht aufgrund der verstärkten Belüftung durch die Unterführung und insbesondere über die B 56 (Eendenicher Straße) mäßig bis gering aus. Von der mäßigen Abnahme sind neben Teilen des an die Eendenicher Straße grenzenden Gewerbegebiets auch Bereiche der Wohnnutzungen an der Verdistraße und südöstlich der Eendenicher Straße betroffen.

Am Rande des Einwirkungsbereichs des Planvorhabens südlich der Grenze zwischen Weststadt zum Bonner Zentrum kommt es zu Zunahmen der Kaltluftmächtigkeit um mehr als 10 %, die absolut betrachtet jedoch gering ausfallen.

5.5.2 Kaltluftvolumenstrom – zwei Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 16 bis Anlage 18 zeigen den Kaltluftvolumenstrom zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Ist- und im Planfall sowie als prozentuale Differenz. Bei der Interpretation der Darstellungen ist zu beachten, dass die Windpfeile die mittlere Strömung innerhalb der gesamten Kaltluftsäule repräsentieren.

In Anlage 16 ist zu erkennen, dass der für den Ausbau vorgesehene Abschnitt der A 565 im Istfall aus Südwesten und Westen von Kaltluft über- und im Bereich des Tausendfüßlers zudem unterströmt wird. Die in den Ortsteil Eendenich einströmende Kaltluft stammt aus dem südlich gelegenen Katzenlochbachtal. Im Bereich des Eendenicher Sportparks (s. unterer Bildrand) werden Kaltluftvolumenstromdichten von knapp unterhalb von $20 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ erreicht. Durch die Öffnung des Tals und den damit verbundenen Wegfall der Strömungskanalisation schwächt sich der Kaltluftvolumenstrom jedoch in Richtung Nordosten zunehmend ab. Für die Siedlungsgebiete von Eendenich sind hauptsächlich mittlere Kaltluftvolumenströme unterhalb von $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ zu verzeichnen. In der Weststadt verringern sich diese auf ein geringes Niveau. Ein Teil der aus dem Katzenlochbachtal abfließenden Kaltluft strömt außerdem über die A 565 sowie über die B 56 (Hermann-Wandersleb-Ring) in Richtung des Ausbauabschnitts. Im dargestellten Nahfeld des Planvorhabens liegen die Volumenstromdichten des Kaltluftabflusses über die A 565 stromaufwärts der Ausbaustrecke zwischen 4 und $14 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$. Auf dem Hermann-Wandersleb-Ring werden unmittelbar südwestlich der Ausbaustrecke Kaltluftvolumenstromdichten von bis zu $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ erreicht.

Östlich der A 565 strömt aus dem Melbtal abfließende Kaltluft nach Nordosten. Die Intensität des Kaltluftstroms schwächt dabei auch hier durch die Öffnung des Tals zunehmend ab. Im nördlichen Poppelsdorf, welches einen Zustrom an Kaltluft aus dem Melbtal sowie, über die Leitbahn der A 565, aus dem Katzenlochbachtal erfährt, treten großflächig Kaltluftvolumenströme mittlerer Intensität auf.

Aus der westlich der A 565 gelegenen, kanalförmigen Niederung des Ortsteils Dransdorf strömt Kaltluft auf die Ausbaustrecke zu. Die Bahngleise der Vorgebirgsbahn, linken Rhein-strecke und der Voreifelbahn nehmen dabei die Funktion von Kaltluftleitbahnen ein. Auf den Bahngleisen der Vorgebirgsbahn nördlich des Dransdorfer Baches werden Volumenstrom-dichten von bis zu $14 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ erreicht. Auf den Gleisen der Voreifelbahn beträgt der Höchst-wert $18 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ und tritt südwestlich des Sportplatzes Vogelsang auf. Das östliche Drans-dorf wird großflächig von Kaltluftvolumenströmen mittlerer Intensität belüftet. Anschließend fließt die Kaltluft nach Osten und unter- sowie überströmt den Tausendfüßler. Durch den An-stieg des Geländes und die dichter werdende Bebauung östlich des Tausendfüßlers wird der Kaltluftvolumenstrom jedoch ausgebremst und weist beim Durchströmen der Nordstadt und von Castell zu weiten Teilen eine nur noch geringe Intensität auf oder ist gleich null.

Über Tannenbusch strömt aus der Kaltluftschneise des Hardtbachtals stammende und an der Dransdorfer Niederung umgelenkte Kaltluft nach Nordosten. Der Kaltluftvolumenstrom wird durch die Hochlage der Düne Tannenbusch in deren Umgebung sowie die sich verdich-tende Bebauung auch hier ausgebremst und schwächt sich auf ein geringes Niveau ab. Für das angrenzende Auerberg sind beinahe ausschließlich geringe bzw. Kaltluftvolumenstrom-dichten gleich null zu verzeichnen.

Anlage 17 und Anlage 18 zeigen, dass es aufgrund des durch das Planvorhaben hervorge-rufenen Kaltluftstaus stromaufwärts der Ausbaustrecke in Tannenbusch und im äußersten Süden von Auerberg zu hohen Zunahmen des Kaltluftvolumenstroms kommt. Bei den betrof-fenen Gebieten handelt es sich um dieselben, die auch von Zunahmen der Kaltluftmächtig-keit von mehr als 10 % betroffen waren. Mäßige Kaltluftvolumenstromzunahmen treten ver-einzelt noch etwa bis zur Westseite der Düne Tannenbusch auf. Dadurch, dass nach Real-i-sierung des Planvorhabens ein vermehrter Teil der Kaltluft durch die mit dem Tausendfüßler überbrückte Geländeöffnung strömt und sich aufgrund dessen die Strömungsgeschwindig-keit unter der Brücke erhöht, nimmt der Kaltluftvolumenstrom im Bereich des Tausendfüßlers großflächig um mehr als 10 % zu. In den Einwirkungsbereich dieser Zunahmen, der sich in seiner weitesten Ausdehnung vom Ostende des Betriebshofs Dransdorf bis etwa auf Höhe des Ver-teilerkreises erstreckt, fallen beinahe ausschließlich Gewerbegebäude.

In den zu Dransdorf, Eendenich und der Nordstadt gehörenden Gebieten luvseitig der Aus-baustrecke kommt es, aufgrund einer durch das Planvorhaben bedingten Abbremsung der Kaltluftströmung zu Abnahmen größer 10 %. Betroffen sind in der Nordstadt die Gewerbe-grundstücke um die Brühler Straße und in Dransdorf die Gewerbeflächen zwischen linker Rhein-strecke und Voreifelbahn bis etwa zur Bergiusstraße, sowie vereinzelt die Wohnbebau-ung an der Siemensstraße und der Gerhart-Hauptmann-Straße. In Eendenich sind Betroffen-heiten für einen Teil der Gewerbe- und Universitätsgebäude südlich der Siemens- bzw. der Gerhard-Domagk-Straße, das zukünftige Stadtquartier „west.side“ und Bereiche der Wohn-bebauung nördlich der Straße „Auf dem Hügel“ zu verzeichnen. Mäßige Abnahmen des Kalt-

luftvolumenstroms treten zum einen in Tannenbusch in der Wohnsiedlung östlich der Soenneckstraße und an den nördlich der Linken Rheinstraße gelegenen Gebäuden bis etwa auf Höhe der Westseite der Düne Tannenbusch auf. Zum anderen sind in der Nordstadt die Gewerbebebauung um die Brühler Straße, in Dransdorf weitere Wohn- und Gewerbenutzungen bis etwa auf Höhe der Bunsenstraße und in Eendenich teilweise die Wohngebäude nördlich der Straße „Auf dem Hügel“ sowie südöstlich der Eendenicher Straße betroffen.

Auf der A 565 kommt es, mit Ausnahme des Tausendfüßlers und den Unterführungen Lieveblingsweg und Gerhard-Domagk-Straße, sowie der Anschlussstelle Eendenich, an welchen Zunahmen auftreten, zu hohen Kaltluftvolumenstromabnahmen. Die Zunahmen sind auf ein vermehrtes Ausweichen der Kaltluft auf diese Stellen nach Realisierung des Planvorhabens zurückzuführen. Östlich der Unterführung Gerhard-Domagk-Straße bewirkt dies lokal eine Erhöhung des Kaltluftvolumenstroms um mehr als 10 %. Nordöstlich der Anschlussstelle Eendenich fällt der Einwirkungsbereich größer aus: Die Wohnbebauung entlang des südlichen Abschnitts der Verdistrasse sowie südlich der B 56 (Eendenicher Straße) bis zur Rheinbacher Straße profitiert von hohen Kaltluftvolumenstromzunahmen. Bis zur Richard-Wagner bzw. Schubertstraße treten zudem mäßige Zunahmen auf.

Aufgrund der durch das Planvorhaben reduzierten Überströmung der A 565, dominieren stromabwärts der Ausbaustrecke flächenmäßig jedoch Kaltluftvolumenstromabnahmen. Das Betroffenheitsgebiet hoher Abnahmen erstreckt sich in seiner weitesten Ausdehnung vom Autobahnkreuz Bonn-Nord im Norden bis zur B 56 (Viktoriabrücke) im Osten und zur Lisztstraße im Süden. Es umfasst hauptsächlich Gewerbegebäude, jedoch auch Gebäude öffentlicher Nutzung sowie Wohnnutzung. Hinsichtlich der Wohnnutzungen sind die Gebäude westlich des Zeisigwegs in Tannenbusch, an der Macken-, Riegeler- und Ellerstraße sowie südlich der L 183 (Bornheimer Straße) in der Nordstadt, sowie um die Jonas-Cahn- und die B 56 (Eendenicher Straße) in der Weststadt betroffen. Durch den Einfluss des verstärkten Kaltluftvolumenstroms durch die mit dem Tausendfüßler überbrückten Geländeöffnung sowie über die B 56 an der Anschlussstelle Eendenich kommt es in der Nordstadt um die L 183 (Bornheimer Straße) zwischen L 183 (Brühler Straße) und K 1 (Heinrich-Böll-Ring) bzw. in der Weststadt zwischen Immenburgstraße und B 56 (Eendenicher Straße) zu mäßigen Abnahmen. Von diesen ist hauptsächlich Gewerbebebauung, um die Eendenicher Straße jedoch auch Wohnbebauung betroffen.

Am Rande des Einwirkungsbereichs des Planvorhabens südlich der Grenze zwischen Weststadt zum Bonner Zentrum kommt es zu Zu- sowie Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms um mehr als 10 %, die absolut betrachtet jedoch gering ausfallen.

5.5.3 Mächtigkeit der Kaltluftschicht – sechs Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 19 bis Anlage 21 zeigen die Mächtigkeit der Kaltluftschicht sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Ist- und im Planfall sowie als Differenz.

Anlage 19 zeigt, dass die Mächtigkeit der Kaltluftschicht durch die Ausbildung des Rheintalwindes im Laufe der Nacht um 18 bis 55 m angewachsen ist. Durch die Intensivierung der Kaltluftabflüsse aus dem Hardtbach-, dem Katzenlochbach- und dem Rheintal hat sich das tiefer gelegene Gelände nördlich und nordöstlich des Dransdorfer Berges mit Kaltluft, deren Mächtigkeit fast ausschließlich oberhalb von 42 m liegt, aufgefüllt. Lediglich über der Düne Tannenbusch, den Rampen und Lärmschutzwänden der A 565 und A 555, sowie weiteren, vereinzelt höhergelegenen Geländepunkten bewegt sich die Kaltfluthöhe zwischen 34 und 42 m. Die Mächtigkeit der Kaltluftschicht reicht deutlich für die Überströmung der gesamten, für den Ausbau vorgesehenen Strecke der A 565 aus. Die höchsten Schichtdicken treten mit Werten zwischen 50 und 57 m zum einen, wie zu Beginn der Nacht, in den Tieflagen der Anschlussstelle Poppelsdorf und im Norden von Eendenich östlich des Sportplatzes Vogelsang auf. Zum anderen werden sie, durch das weitere Vordringen der Kaltluft nach Osten bzw. Norden zum Ende der Nacht nun auch für die Tieflagen unterhalb des Tausendfüßlers, des Autobahnkreuzes Bonn-Nord, im Bereich des Hauptbahnhofs, des Rheindorfer Baches und des Sportparks Nord ausgewiesen. Im dargestellten Umfeld des Planvorhabens sind die stärksten Zunahmen der Kaltfluthöhe gegenüber dem frühen Nachtzeitpunkt für die Nordstadt, Castell und das Zentrum zu verzeichnen. Über dem Gelände des Dransdorfer Berges im Südwesten liegen die Kaltfluthöhen zwischen 26 und 42 m.

Anlage 20 und Anlage 21 zeigen, dass die Einwirktiefe des Planvorhabens auf die Kaltfluthöhe aufgrund deren starken Anwachsens und des somit leichter möglichen Überströmens der Hindernisse im Laufe der Nacht deutlich abgenommen hat. Die ausgewiesenen mäßigen und hohen Abnahmen der Kaltluftmächtigkeit beschränken sich auf die Fahrbahn der A 565 sowie die daran angrenzenden Lärmschutzwände. An der umliegenden Bebauung kommt es sechs Stunden nach Sonnenuntergang zu keinen bedeutsamen Änderungen.

5.5.4 Kaltluftvolumenstrom – sechs Stunden nach Sonnenuntergang

Anlage 22 bis Anlage 24 zeigen den Kaltluftvolumenstrom sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Ist- und im Planfall sowie als Differenz.

Anlage 22 verdeutlicht, dass die Kaltluft nun vornehmlich über das südwestlich gelegene Meßdorfer Feld in Richtung der Ausbaustrecke strömt. Sie fließt aus den Schneisen des Hardtbach-, Derle- und Katzenlochbachtals zu und erfährt durch die Kaltluftproduktion auf der Freifläche des Meßdorfer Feldes sowie durch deren im Vergleich zur bebauten Umgebung geringeren Oberflächenrauigkeit eine erhebliche Stärkung ihrer Volumenstromdichte.

Hierdurch kommt es über dem Feld großflächig zu hohen bis vereinzelt sehr hohen Kaltluftvolumenströmen. Im dargestellten Nahbereich des Planvorhabens tritt der höchste Kaltluftvolumenstrom mit Werten knapp unterhalb von $40 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ auf den Bahngleisen der Voreifelbahn südwestlich des Sportplatzes Vogelsang auf. Vor allem die entlang dieser Bahngleise in die Dransdorfer Niederung einfließende Kaltluft wird in deren Kanal nach Nordosten umgelenkt. Die gegenüber der frühnächtlichen Umlenkung nach Osten leicht veränderte Richtung lässt sich auf eine verminderte Leitwirkung der Orographie, welche sich in der Intensivierung von Kaltfluthöhe und -strömungsgeschwindigkeit im Laufe der Nacht begründet, zurückführen. Die umgelenkte Kaltluft strömt anschließend auf den Tausendfüßler zu. Westlich der Autobahnbrücke treten im Bereich des ehemaligen Güterbahnhofs Kaltluftvolumenströme bis zu $24 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ auf. Die über das Meßdorfer Feld nach Norden und Nordosten strömende Kaltluft belüftet das östliche Dransdorf und das nordwestliche Eendenich. Beim Einströmen in die Siedlungsgebiete nördlich und nordöstlich des Meßdorfer Feldes schwächt sich der hohe bis sehr hohe Kaltluftvolumenstrom aufgrund der durch die Bebauung erhöhten Oberflächenrauigkeit und den Wegfall der Kaltluftproduktionsfläche weitgehend auf Werte zwischen 6 und $15 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ ab. Der Kaltluftvolumenstrom, welcher das nördlich an Dransdorf grenzende Tannenbusch erreicht, verliert durch die höhere Lage und dichter werdende Bebauung des Ortsteils weiter an Intensität und weist großflächig Volumenstromdichten zwischen 6 und $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ auf.

Das südöstliche Eendenich wird in erster Linie durch die aus dem Katzenlochbachtal nach Nordosten fließende Kaltluft belüftet. Im Sportpark Eendenich ist mit Werten von bis zu $35 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ ein sehr hoher Kaltluftvolumenstrom zu verzeichnen. In den Siedlungsgebieten zwischen Hermann-Wandersleb-Ring und A 565 werden aufgrund der deutlichen Intensivierung des Kaltluftvolumenstroms durch das Katzenlochbachtal nun überwiegend Kaltluftvolumenströme zwischen 6 und $15 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ erreicht. Des Weiteren haben sich auch die Kaltluftabflüsse über die A 565 südlich der Ausbaustrecke und den Hermann-Wandersleb-Ring verstärkt. Oberhalb der Fahrbahnen werden nun auch im Nahbereich des Planvorhabens hohe Kaltluftvolumenströme oberhalb von $20 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ ausgewiesen. Zwischen den Anschlussstellen Poppelsdorf und Eendenich schwächt sich der Kaltluftvolumenstrom über die A 565 zunehmend ab.

Der Einflussbereich der Kaltluftleitbahn über die A 565 auf das nordwestlichen Poppelsdorf hat sich im Laufe der Nacht ausgeweitet und sorgt für eine Durchströmung der Siedlungsgebiete um die Sebastianstraße und des Universitätscampus Poppelsdorf von Kaltluftvolumenströmen mittlerer Stärke.

Für den Ausbauabschnitt ergibt sich südlich des Tausendfüßlers eine Anströmung aus Südwesten über das Meßdorfer Feld und aus dem Katzenlochbachtal. Nordwestlich der Anschlussstelle Eendenich wird der Kaltluftvolumenstrom durch die Kaltluftproduktion sowie der Abnahme der Oberflächenrauigkeit auf der Freifläche zwischen A 565 und B56 (Hermann-Wandersleb-Ring) verstärkt. Dadurch beträgt der Kaltluftvolumenstrom auf der Autobahn-

fahrbahn bis zu $25 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$. Stromabwärts der Ausbaustrecke, in der Weststadt, vereinigt sich der Kaltluftvolumenstrom mit den Zuflüssen aus Süden bzw. Südosten aus Poppelsdorf und dem Rheintal. Es stellt sich ein nach Norden gerichtete Strömung ein. Im Nordwesten der Weststadt liegen die Intensitäten des Kaltluftvolumenstroms großflächig zwischen 10 und $15 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$, während sie im übrigen Ortsteilgebiet überwiegend 6 bis $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ betragen.

Der Tausendfüßler wird von der in der Dransdorfer Niederung umgelenkten Kaltluft aus Südwesten angeströmt. Die Fahrbahn wird hierbei sowohl über- als auch unterströmt. In der Nordstadt trifft die Strömung auf die aus der Weststadt nach Norden strömende Kaltluft und wird von dieser mitgeführt. Im Südwesten der Nordstadt liegt die Kaltluftvolumenstromdichte überwiegend zwischen 10 und 15 m. Nördlich des Verteilerkreises Bonn, auf dem Gelände des Kleingärtnervereins Abendfrieden e. V. erfährt die Kaltluftströmung eine Verstärkung auf hohe Volumenstromdichten bis zu $23 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$. In der übrigen Nordstadt liegt der Kaltluftvolumenstrom aufgrund des ansteigenden Geländes und der dichter werdenden Bebauung großflächig zwischen 3 und $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$. Für den Ortsteil Castell ist ein Zustrom an Kaltluft mittlerer Intensität aus Südosten über die Kaltluftbahn entlang des Rheins erkennbar.

Aufgrund der Durchströmung der Ortsteile Tannendorf und Nordstadt aus Süden wird auch die Ausbaustrecke nördlich des Tausendfüßlers aus dieser Richtung angeströmt. Anschließend fließt die Kaltluft nach Auerberg. Die Volumenstromdichten hier liegen überwiegend zwischen 3 und $10 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$.

Wie Anlage 23 und Anlage 24 zu entnehmen ist, hat sich die Einwirktiefe des Planvorhabens auch hinsichtlich des Kaltluftvolumenstroms aufgrund dessen Intensivierung im Laufe der Nacht deutlich verringert. Durch die veränderten Anströmverhältnisse zum Ende der Nacht haben sich zudem die Bereiche positiver und negativer Betroffenheit verschoben. Veränderungen oberhalb von 10 % beschränken sich nun auf das westlich und östlich bis in eine Entfernung von etwa 170 m an die Ausbaustrecke angrenzende Gebiet.

Hohe Abnahmen sind in Tannenbusch für Teilbereiche dieder Wohnbebauung westlich des Meisenwegs und um den im Bereich des Zeisigwegs, in der Nordstadt und in Endenich für Teile der den Tausendfüßler umgebenden Gewerbebebauung sowie für einige Universitätsgebäude des Campus Endenich und in der Weststadt für einen kleinen Teil der Gewerbebebauung an der Straße „Am Dickobskreuz“ zu verzeichnen.

Mäßige Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms treten in Tannenbusch innerhalb der Wohnbebauung zwischen Berta-Lungstras-Straße und Ausbaustrecke sowie vereinzelt nordöstlich der Düne Tannenbusch und innerhalb der Wohn- und Gewerbebebauung zwischen Ausbaustrecke und Verteilerkreis auf. Während in Dransdorf lediglich vereinzelt Wohnbebauung südlich der Siemensstraße betroffen ist, fallen in Endenich die Gewerbebauten um die Siemensstraße und die Straße „Am Propsthof“ sowie weitere Gebäude des Universitätscampus

in den Betroffenenbereich. In der Weststadt werden mäßige Abnahmen neben den Gewerbebauten an der Straße „Am Dickobskreuz“ für Teile der Wohnbebauung um die Bruckner und Kaufmannstraße, sowie südlich der Verdistraße ausgewiesen. In der Nordstadt ist flächenhaft die Gewerbebauung entlang der L 183 (Brühler Straße) betroffen.

Hohe Zunahmen des Kaltluftvolumenstroms betreffen die Wohnbebauung zwischen Lievelingsweg, Meisenweg und Rotkelchenweg und unmittelbar östlich der Ausbaustrecke in Tannenbusch und der Gewerbebauung an der L 183 (Brühler Straße) in der Nordstadt. In Eendenich sind Teile der Gewerbe- und Campusgebäude um die Gerhard-Dormagk-Straße und in der Weststadt Teile der Wohn- und Gewerbegebäude an der Straße „Am Dickobskreuz“ und der Wohngebäude westlich der Verdistraße, sowie südlich der Linken Rheinstrecke betroffen.

Mäßige Zunahmen treten in Tannenbusch in erster Linie innerhalb der Wohnsiedlungen um den Lievelingsweg/ die Hohe Straße und die Königsberger Straße auf. Vereinzelte mäßige Zunahmen streuen sich über den gesamten Ortsteil. Gleiches ist für die Weststadt zu beobachten. Hier treten flächenhafte mäßige Zunahmen zudem an den Gewerbegebäuden um die Straße „Am Dickobskreuz“ auf. In Eendenich konzentrieren sich die Zunahmen zwischen 5 und 10 % um die Campus- und Gewerbegebäude an der Gerhard-Dormagk-Straße und der Straße „Am Propsthof“ und betreffen Teile der Wohnbebauung um die Brahmstraße. Weitere Betroffenengebiete finden sich mit den Gewerbebauten um die L 183 (Brühler Straße) und die Ennemoserstraße, sowie mit vereinzelt Teilen der Wohnbebauung um die Thomasstraße in der Nordstadt.

6 Themenkomplex Überhitzung und Durchlüftung

6.1 Grundlagen

6.1.1 Bewertung des thermischen Komforts

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 [23]. 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 [24] 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 6 1 dargestellt:

Tabelle 6 1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET

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

PET	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe
35 °C – 41 °C	heiß	starke Wärmebelastung
> 41 °C	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Nachts und abends ist für die Bewertung des Bioklimas insbesondere die Lufttemperatur von Bedeutung, da bei hohen nächtlichen Lufttemperaturen die Erholung durch das Schlafen deutlich eingeschränkt wird. Die Bewertung der Rechenergebnisse erfolgt daher nachfolgend für die Einschlafzeit (22 Uhr) und die kälteste Nachtstunde (05 Uhr) anhand der Lufttemperatur und für den Zeitpunkt einer repräsentativen heißen Tagstunde (16 Uhr) anhand der Lufttemperatur und des PET-Wertes.

6.1.2 Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen

Zur Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen wurden Wetterdaten der LANUV-Station Bonn Auerberg aus dem Zeitraum 2010 – 2020 herangezogen. Die Station befindet sich etwa 7 km nordöstlich des Untersuchungsgebietes und gibt aufgrund ihrer Nähe die übergeordneten Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet für die hier betrachtete Fragestellung hinreichend genau wieder.

Die Anlage 26 weist auf der linken Seite die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung des Zeitraumes 2010 – 2020 für alle Situationen des Gesamtzeitraums aus. Die Abbildung zeigt ein deutliches Windrichtungsmaximum aus südöstlicher Richtung. Dieses Windrichtungsmaximum ist auf die Ausrichtung des Rheintals und eine hieraus resultierende Windkanalisierung zurückzuführen. Sekundäre Windrichtungsmaxima entfallen auf südwestliche und westliche Windrichtungen.

Auf der rechten Seite ist die Windrichtungsverteilung für Hitzetage mit einer Höchsttemperatur > 30 °C, die Gegenstand dieser Untersuchung sind, ausgewiesen. Im Vergleich mit der Windrose über alle Situationen des Jahres wird deutlich, dass an Hitzetagen tendenziell niedrigere Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind, die grundsätzliche Windrichtungsverteilung mit einer Hauptwindrichtung aus Südost und sekundären Windrichtungsmaxima aus West und Südwest aber erhalten bleibt.

Im Rahmen der Klimasimulationen werden daher nachfolgend die Windrichtungen Südost (120°) und Südwest (210°) mit einer niedrigen Anströmgeschwindigkeit von 1,5 m/s in einer Höhe von 10 m über Grund untersucht.

7 Berechnungsmodell

Die infolge des Planvorhabens zu erwartenden Klimaänderungen im lokalen Umfeld des Bauvorhabens werden mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der Version 4.4.5 [21] für die nachfolgend aufgeführten Varianten und jeweils zwei Hauptwindrichtungen (Südost und Südwest) durchgeführt:

- Istfall: jetziger Ausbauzustand der A 565, aktueller Gebäude- und Baumbestand sowie aktuelle Oberflächenbeschaffenheit im Umfeld des Planvorhabens
- Planfall: geplanter 6-streifiger Ausbauzustand der A 565 unter Berücksichtigung des Lärmschutzkonzeptes [22], umgesetzte Begrünungs/- Gestaltungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen gemäß dem landschaftspflegerischen Begleitplan [30]

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

7.1 Modellbeschreibung

ENVI-met in der Version 4.4.5 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 einer und fünf 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 25.

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

7.1.1 Aufbau der Rechengitter

Für die Untersuchungen war der gesamte Ausbauabschnitt sowie dessen Umfeld zu beurteilen. Aufgrund der Länge des Bauabschnittes und der zur korrekten Abbildung der Lärmschutzwände in den Berechnungen notwendigen feinen Gitterauflösung war eine Berechnung innerhalb eines einzelnen Rechengebietes nicht möglich. Stattdessen wurden für die

Berechnungen vier sich überlappende aber voneinander unabhängige Rechengebiete definiert. Die Lage dieser Rechengebiete kann Anlage 27 entnommen werden. Die Ausdehnung dieser Rechengebiete wurde hierbei so groß definiert, dass zum einen der gesamte Planungsabschnitt abgedeckt ist und zum anderen auch Aussagen zu den klimatischen Auswirkungen in den westlich und östlich an das Plangebiet angrenzenden Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten getroffen werden konnten.

Die Modellrechnungen erfordern die Definition eines Rechengebietes und eine Aufteilung dieses Gebietes in viele quaderförmige Rechenzellen. Für das horizontale Gitter wurde in allen Rechengebieten eine Auflösung von 2,5 m realisiert. Mikroskalige Effekte durch Kleinstrukturen wie Bäume und Einzelgebäude werden bei dieser Gitterauflösung noch hinreichend genau abgebildet.

Für die Auflösung der Rechenzellen in der Vertikalen wurde für alle Rechengebiete 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 14 %. Bei einer Anzahl von 30 Gitterzellen in z-Richtung ergibt sich hieraus eine maximale Modellhöhe von 90,0 m. Mit dieser Festlegung konnte die Anforderung an die Gitterauflösung, wonach die Modelloberkante mindestens doppelt so hoch sein muss, wie das höchste Gebäude innerhalb des Untersuchungsgebietes, in allen Rechengebieten erfüllt werden.

Die nachfolgende Tabelle 7 1 weist die Dimensionen und Abmessungen der einzelnen Rechengebiete aus.

Tabelle 7 1: Kenndaten der vier Rechengebiete

Rechen- gebiet	Gitterauf- lösung	Anzahl Zellen in			Rechenzellen gesamt	Ausdehnung
		x-Richtung	y-Richtung	z-Richtung		
1	2,5	264	206	30	1.631.520	660 m x 515 m x 90 m
2	2,5	278	270	30	2.251.800	695 m x 675 m x 90 m
3	2,5	250	258	30	1.935.000	625 m x 645 m x 90 m
4	2,5	340	232	30	2.366.400	850 m x 580 m x 90 m

Zur Abbildung der wechselnden Trog- und Dammlagen der A 565 sowie der Brückenschlüsse wurde in den Berechnungen das Gelände berücksichtigt. Dieses wurde für den Istfall aus dem frei verfügbaren digitalen Geländemodell des Landes Nordrhein-Westfalen ab-

geleitet. Für den Planfall wurde das im Zuge der Schallberechnungen zum geplanten Ausbau der A 565 [22] erstellte digitale Geländemodell hinzugezogen.

7.1.2 Eingangsdaten

7.1.2.1 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 Wärmespeicherfähigkeiten deutlich stärker auf als eine unversiegelte Freifläche. Die über den Tag gespeicherte Wärme wird während der Nacht wieder an die Umgebungsluft abgegeben und verhindert somit eine effektive Abkühlung der innerstädtischen Bereiche.

Tagsüber lassen sich aber auch gegenläufige Effekte feststellen. So können sich durch Gebäude verschattete Flächen in Bodennähe deutlich weniger stark aufheizen als unverschattete Freiflächen. Dementsprechend ist der städtische Wärmeinseleffekt nachts oftmals deutlich ausgeprägter als am Tag.

Neben dem Einfluss auf den Wärmehaushalt beeinflusst die dichte Bebauungsstruktur einer Stadt aber auch 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 den Abtransport von Schadstoffen und die Durchlüftung.

Lage und Höhe der Bestandsbebauung im Untersuchungsgebiet wurde aufgrund des vom Land NRW zur Verfügung gestellten LOD2-Modells [11] abgeleitet. Anlage 28 zeigt den berücksichtigten Gebäudebestand im Istfall. Für den Planfall wurden die Gebäude, die aufgrund der Verbreiterung der A 565 abgerissen werden müssen, aus dem Gebäudedatensatz entfernt. Anlage 29 zeigt den berücksichtigten Gebäudebestand im Planfall.

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), die einer typischen mitteleuropäischen Stadt entsprechen, zu Grunde gelegt. Die Rauminnentemperatur beträgt bei allen Gebäuden zum Startzeitpunkt der Simulationsrechnung 20 °C.

Um die Unterströmbarkeit der Brückenbauwerke im Ist- und Planfall im Modell berücksichtigen zu können, wurden auch die Brücken als Gebäude in das Rechenmodell eingepflegt. Hierbei wurde eine Brückenhöhe von 2 m mit in Abhängigkeit des darunter liegenden Geländes variierendem unterströmbar Bereich angesetzt. Für die Oberflächen der Brückenbauwerke wurde als Material Asphalt mit darunter liegendem Stahlbeton vorgegeben.

7.1.2.2 Lärmschutzwände

Lärmschutzwände können in ENVI-met als sog. „SingleWalls“ berücksichtigt werden. Wände wirken stadtklimatisch vor allem auf das Windfeld ein, in dem sie den Wind ähnlich wie Gebäude abbremsen oder die Windströmung entlang der Wände kanalisieren. Lage und Höhe der Lärmschutzwände für den Ist- und den Planfall wurden den für die Planfeststellung erstellten Schallmodellen [22] entnommen. Für die teils transparent gestalteten Wände wurde als Material ein durchscheinendes Plexiglas, für die nicht transparenten Wände Beton gewählt. Die Lage der Wände kann den Anlagen 28 und 29 entnommen werden.

7.1.2.3 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 [26] 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 Bonn [27]. Zur Ableitung der nicht im Baumkataster verzeichneten Bäume im privaten und öffentlichen Raum wurde das hochaufgelöste normalisierte digitale Oberflächenmodell (NDOM) des Landes NRW [14] 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.

Unversiegelten Bereichen im Untersuchungsgebiet ohne Baum- oder landwirtschaftlichen Bewuchs wurde pauschal ein niedriger Bewuchs (Gras, Rasen 10 cm) zugewiesen.

Der Bewuchs im Planfall wurde auf Grundlage der Maßnahmenpläne des Landschaftspflegerischen Begleitplans zum Ausbau der A 565 [30] abgeleitet. Dieser sieht u. a. eine weitest-

gehende Wiederherstellung von Biotoptypen auf temporären Bauflächen vor. Die Vegetation in den Bereichen mit Wiederherstellungsmaßnahmen wurde daher gegenüber der Istsituation nicht verändert.

Anlage 30 und Anlage 31 zeigen den im Ist- und Planfall berücksichtigten Vegetationsbestand.

7.1.2.4 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.

Die versiegelten Flächen im Bestand wurden anhand aktueller Luftbilder erfasst. Für Straßen wurden hierbei Asphalt, für weitere versiegelte Flächen wie z. B. Parkplätze Beton als Versiegelungsmaterial vorgegeben.

Zur Ableitung der Bodenarten in den unversiegelten Bereichen im Umfeld des Vorhabens standen uns die Bodengutachten zum Vorhaben [28][29] zur Verfügung. Diese Gutachten zeigen, dass aufgrund der innerstädtischen Lage sowie der Nutzungshistorie im Untersuchungsgebiet entlang der A 565 in weiten Teilen mächtige Anschüttungen und somit keine natürlichen Böden vorliegen. Die festgestellten Mächtigkeiten der Anschüttungen betragen im Umfeld des Vorhabens mindestens 3 m. Bei den erkundeten Anschüttungen handelt es sich um umgelagerte bindige (Schuffe), gemischtkörnige und nichtbindige (Sande und Kiese, teilweise auch Steine) Erdstoffe, die häufig schwache bis starke Anteile mineralischer Fremdstoffe in Form von Ziegelbruch und sonstigem Bauschutt, Schlacke, Asche, Kohle sowie Glas, Metall und / oder Plastik etc. enthalten. Dieses heterogene Bodengemisch lässt sich in seiner Komplexität in ENVI met nicht abbilden. Zudem dürfte die Kühlleistung dieser Anschüttungen gegenüber einem naturnahen Boden deutlich niedriger sein. Daher wurde für das gesamte Untersuchungsgebiet ein unter klimatologischen Gesichtspunkten ungünstiger Sandboden in den unversiegelten Bereichen angesetzt.

Anlage 28 zeigt die angesetzten Oberflächentypen für den Istfall.

Für den Planfall wurden die Oberflächentypen aufgrund der Maßnahmenpläne des Landschaftspflegerischen Begleitplans [30] abgeleitet. Im Zuge des Ausbaus werden zwei Regenrückhaltebecken am Lievelingsweg sowie nördlich der Endericher Straße auf der Westseite

der A 565 gebaut. Zur Ableitung der hier anzusetzenden Oberflächenarten wurden uns durch die Autobahn GmbH detaillierte Lagepläne zur Ausführung der Becken zur Verfügung gestellt [31]. Demnach bestehen die Becken aus einem Retentionsbodenfilter, welcher unversiegelt ausgeführt und mit Schilf bepflanzt wird sowie einer versiegelten Regenrückhaltung. Im Sinne einer Worst-Case Abschätzung wurde davon ausgegangen, dass sowohl im Retentionsbodenfilter als auch im Regenrückhaltebecke kein stehendes Wasser vorhanden ist.

Anlage 29 zeigt die angesetzten Oberflächenarten für den Planfall.

7.1.2.5 Initialisierungsparameter

In der für die Simulationen verwendeten Modellversion 4.4.5 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 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 durch vorhergegangene Niederschläge im Boden vorhanden ist. Durch Verdunstung wirkt diese Feuchte kühlend auf die darüber liegenden Luftschichten. Ein komplett ausgetrockneter Boden nach einer Hitzeperiode hat demnach eine deutlich niedrigere Kühlleistung, während ein gesättigter Boden nach einem sommerlichen Landregen eine deutlich höhere Kühlleistung aufweist. Für die Sickermulden im Plangebiet wurde ein durchgehend mit Wasser gesättigter Boden angesetzt.

Für die Anströmung wurde eine konstante Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe vorgegeben. Dies entspricht einer typischen sommerlichen Schwachwindsituation. Als Anströmungsrichtung wurden die Hauptwindrichtungen Südost (120°) und West (280°) untersucht.

Die nachfolgende Tabelle 7 2 dokumentiert die wichtigsten Initialisierungsparameter der Simulationsrechnungen:

Tabelle 7 2: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen

Initialisierungsparameter	Startwert
Geographische Position	50,7°N, 7,11°E
Startzeit der Simulation	21.06., 05:00 Uhr
Dauer der Simulation	34 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	120° (Südost) und 210° (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 %

7.2 Ergebnisse

Die Berechnungen wurden mit den dokumentierten Eingangsdaten zunächst für den Ist- und den Planfall für jeweils zwei Anströmungsrichtungen durchgeführt. Zur Bestimmung der thermischen Kenngrößen PET-Wert und Lufttemperatur wurden die Simulationsergebnisse zu drei verschiedenen Tageszeiten (14 Uhr – wärmste Stunde des Tages, 22 Uhr – typische Einschlafzeit, 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 wurden daher nicht dargestellt.

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

Tagsüber wird die thermische Belastung neben der Lufttemperatur zusätzlich durch die Strahlungstemperatur, die Windgeschwindigkeit und die relative Luftfeuchte geprägt. Diese Einflussparameter werden durch den PET-Wert beschrieben. Für die 14 Uhr-Situation wurde daher der PET-Wert und die Lufttemperatur zur Beurteilung herangezogen, für die 22Uhr- und 4 Uhr-Situationen wurden nur die Lufttemperaturverteilungen analysiert und dargestellt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist grundsätzlich zu beachten, dass die Berechnungsergebnisse die stadtklimatologischen Verhältnisse unter den zugrunde gelegten Einström- und Rahmenbedingungen repräsentieren. Änderungen der Initialisierungsparameter werden zu anderen Ergebnissen führen. Hierbei ist insbesondere die Bodenfeuchte von Bedeutung. Die zugrunde gelegte Feuchte repräsentiert hierbei die Verhältnisse an einem Sommertag, dem wenige Tage zuvor Regenfälle vorausgegangen waren. Für eine länger anhaltende Hitzeperiode würde man niedrigere Bodenfeuchten ansetzen, was zu insgesamt höheren Temperaturen im Rechenmodell, gleichzeitig aber auch zu geringeren Unterschieden zwischen versiegelten und unversiegelten Flächen führen würde. Analog dazu würde eine Erhöhung der Bodenfeuchte zu niedrigeren Lufttemperaturen und stärkeren Unterschieden zwischen den verschiedenen Oberflächenarten führen.

7.2.1 Lufttemperaturen

14 Uhr

Anlage 32 bis Anlage 35 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 in den vier Rechengebieten. Die obere Abbildungsreihe zeigt jeweils die Situation bei südöstlicher Anströmung und die untere die Situation bei südwestlicher Anströmung.

Im Istfall werden am Nachmittag in den vier Untersuchungsgebieten bodennahe Temperaturen zwischen 26,5 und 29,0 °C ausgewiesen. Die höchsten Temperaturen treten hierbei insbesondere über großflächig versiegelten Bereichen mit geringer Durchlüftung, also hoher Bebauungsdichte auf. Zu den thermisch überwärmten Bereichen gehören unter anderem die Autobahnen A 555 und A 565, der Lievelingsweg östlich der A 565 sowie die stark versiegelten Gewerbegebiete östlich und westlich der A 565. Die in diesen Bereichen prognostizierten hohen Temperaturen sind auf die durch die Nachmittagssonne stark aufgeheizten versiegelten Flächen zurückzuführen, die ihre Wärme an die bodennahen Luftschichten abgeben.

Niedrigere Temperaturen werden in Bereichen mit niedrigem Versiegelungsgrad und hohem Vegetationsanteil ausgewiesen. Hierzu zählen z. B. die Wohnsiedlung westlich des AK Bonn-Nord, die Schrebergartensiedlung am Lamarenweg westlich der A 565, die parkähnliche Struktur des Campus Endenich sowie die landwirtschaftlich genutzten Flächen nördlich des Herrmann-Wandersleb-Rings.

Durch die Realisierung des Planvorhabens ändern sich verschiedene Einflussgrößen, die Auswirkungen auf die nachmittäglichen Temperaturverhältnisse haben. So erhöht sich durch den Ausbau der A 565 der Anteil versiegelter Fläche in den Untersuchungsgebieten, aufgrund des erhöhten Flächenbedarfs der Autobahn sinkt die Anzahl der Bäume und der Anteil von unversiegelten Flächen und durch die Notwendigkeit der Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen werden die Lärmschutzwände entlang der A 565 sowohl in der Länge als auch in der Höhe ausgebaut. Letzteres führt zu gegenüber der Bestandssituation veränderten Windverhältnissen.

Die aufgeführten Einflussgrößen führen in Summe zu relativ geringfügigen Änderungen des Temperaturniveaus im Nahbereich des Vorhabens. So sind Temperaturänderungen $> 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bis maximal in einer Entfernung von 200 m zum Fahrbahnrand der A 565 nachzuweisen.

Eine leichte Abkühlung um bis zu $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ wird in der Wohnsiedlung südwestlich des AK Bonn-Nord bei südöstlichen Windrichtungen (vgl. Anlage 32 oben) prognostiziert. Diese lässt sich auf die Erhöhung und Ausweitung der Lärmschutzwände westlich der A 565 zurückführen. Hierdurch wird die Zufuhr von über dem Asphalt der A 565 erhitzten Luft in die Wohnbebauung zwischen Meisenweg, Drosselweg und Rotkehlchenweg vermindert.

Eine geringfügige Erwärmung um bis zu $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ wird bei südwestlichen Anströmungen im Bereich der nördlichen Gebäude des Zeisigswegs ausgewiesen (vgl. Anlage 32 unten). In diesem Bereich staut sich im Vergleich zur Bestandssituation die Luft im Bereich der neuen Lärmschutzwand nördlich des Zeisigweges und erwärmt sich dadurch im Vergleich zur Bestandssituation stärker. Insgesamt liegt das Temperaturniveau hier aber auch nach Realisierung des Vorhabens in einem eher niedrigen Bereich.

Geringfügig kühler wird es sowohl bei südöstlichen als auch bei südwestlichen Anströmungen im Umfeld des Brückenbauwerkes (vgl. Anlage 33). Dies ist vornehmlich auf die durch die Verbreiterung der Brücke erhöhte Verschattungswirkung zurückzuführen, wodurch sich der Boden weniger stark erwärmt und somit insgesamt weniger Wärmeenergie an die darüber liegenden Luftschichten abgibt. Die im Brückenniveau über der A 565 aufgrund der zusätzlichen Versiegelung auftretende Erwärmung macht sich in den bodennahen Schichten westlich und östlich des Brückenbauwerkes nicht mehr bemerkbar.

Auch im Bereich der sich südlich des Brückenbauwerkes anschließenden Dammlage der A 565 ergeben sich in Abhängigkeit der Anströmungsrichtung westlich und östlich der Autobahntrasse Abkühlungstendenzen (vgl. Anlage 34). Bei südöstlicher Anströmungen betragen diese maximal $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ an den Gebäuden beiderseits der Straße „Am Probsthof“ und bei südwestlicher Anströmung maximal $0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ im Gewerbegebiet an der Gerhard-Domagk-Straße östlich der A 565. Auch diese Effekte sind vor allem auf die neuen Lärmschutzwände zurückzuführen, die die Zufuhr von über den Asphaltflächen der Autobahn erhitzten Luft in die angrenzenden Nutzungen vermindern.

Im Bereich der Troglage der A 565 nördlich der AS Eendenich sind für den Nachmittagszeitraum (vgl. Anlage 35 oben) keine Temperaturerhöhungen im Umfeld der A 565 zu erwarten.

22 Uhr

Anlage 36 bis Anlage 39 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 22 Uhr in den vier Rechengebieten. Die obere Abbildungsreihe zeigt jeweils die Situation bei südöstlicher Anströmung und die untere die Situation bei südwestlicher Anströmung.

In den Abendstunden sinkt die Lufttemperatur gegenüber der Nachmittagssituation aufgrund der fehlenden Einstrahlung und der einsetzenden langwelligen Ausstrahlung ab. Hierbei kühlen sich die Oberflächen von unversiegelten Freiflächen deutlich schneller ab als die Oberflächen der versiegelten Flächen, da diese tagsüber deutlich mehr Wärme aufnehmen, welche in den Abend- und Nachtstunden wiederum an die darüberliegenden Luftschichten abgegeben wird. Dementsprechend treten auch in den Abendstunden die großflächig versiegelten Teile des Untersuchungsgebietes als überwärmte Bereiche hervor. Gegenüber den Freiflächen liegt die Temperatur hier um bis zu 1,5° C höher.

Durch die Realisierung der Planung treten in den meisten Bereichen des Ausbauabschnittes keine signifikanten Temperaturänderungen gegenüber der Bestandssituation auf. Eine Ausnahme hiervon bildet die Wohnbebauung westlich der Verdistraße im Umfeld der AS Bonn-Eendenich (vgl. Anlage 39). Hier werden bei südwestlichen Anströmungen Temperaturerhöhungen von bis zu 0,5 °C berechnet. Dieser Bereich profitiert in der Istsituation von der kühlen Luft, die sich auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen westlich der Autobahn bildet und bei westlichen Winden dem Wohngebiet an der Verdistraße zugeführt wird. Durch die bis zu 12 m hohe Lärmschutzwand westlich der Wohnbebauung wird dieser Zustrom kühler Luft weitestgehend unterbunden. Bei den bei Hitzewetterlagen deutlich häufiger auftretenden östlichen Windrichtungen (vgl. Anlage 26, rechte Windrose) wird mit Temperaturerhöhungen < 0,2 °C ein deutlich niedrigerer Temperaturanstieg prognostiziert.

4 Uhr

Anlage 40 bis Anlage 43 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 4 Uhr in den vier Rechengebieten. Die obere Abbildungsreihe zeigt jeweils die Situation bei südöstlicher Anströmung und die untere die Situation bei südwestlicher Anströmung.

Gegenüber der Abendsituation hat sich die Luft aufgrund der negativen nächtlichen Energiebilanz weiter abgekühlt. Die berechneten Temperaturen liegen in den frühen Morgenstunden zwischen 21 °C und 23 ° C.

Die stärksten und am weitesten ausgreifenden Temperaturdifferenzen werden bei südöstlichen Anströmungen im Wohngebiet nördlich des Lievelingswegs westlich der A 565 prognostiziert (vgl. Anlage 40). Diese resultieren aus dem Umbau der AS Tannenbusch. Während im Istfall südlich des Lievelingswegs die A 565 über eine unterströmbare Brücke geführt wird, verläuft sie im Planfall in Dammlage. Unter der Brücke im Istfall kann die nachts stabil geschichtete kühle Luft vom Rand des Rechengebietes in das Wohngebiet nördlich des Lievelingsweges einfließen, dieser Weg ist im Planfall aufgrund der geschlossenen Dammlage versperrt. Somit wird die Abkühlung im Planfall aufgrund der fehlenden Zufuhr kühler Luft vom Rande des Rechengebietes reduziert. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass dem ENVI-met Rechenmodell die über das Rechengebiet hinausgehenden Informationen über Landnutzung, Vegetation und Gebäude nicht bekannt sind. Die vom Rechengebietsrand einströmende Luft entspricht daher eher einer über einer unversiegelten Freifläche abgekühlten Luftmasse. Tatsächlich schließt sich an den südöstlichen Rand des Rechengebietes aber das stark versiegelte und daher überwärmte Gewerbegebiet zwischen Bornheimer Straße, Brühler Straße und Lievelingsweg an. Somit ist zu erwarten, dass die Zufuhr kühler Luftmassen im Istfall tendenziell überschätzt wird und daher die Erwärmung durch die Planung – wenn überhaupt – weniger deutlich als hier ausgewiesen ausgeprägt ist.

Weitere Temperaturerhöhungen von bis zu 0,3° C werden westlich und östlich des Brückenbauwerkes prognostiziert (vgl. Anlage 41). Diese resultieren aus der durch die Verbreiterung der Fahrbahn zusätzlichen versiegelten Fläche. Anders als in den Tag- und Abendstunden werden die hierdurch ausgelösten Temperaturerhöhungen oberhalb der Autobahnbrücke durch die Stabilisierung der Atmosphäre in den Nachtstunden bis in das bodennahe Höhen-niveau heruntergemischt.

Ein weiterer Bereich mit Erwärmungen von bis zu maximal 0,4° C wird analog zu den Abendstunden bei südwestlichen Anströmungen in der Wohnsiedlung an der Verdistraße prognostiziert (vgl. Anlage 43). Grund hierfür ist die durch die hohen Lärmschutzwände eingeschränkte Zufuhr kühler Luftmassen aus Richtung der Freiflächen westlich der A 565.

7.2.2 Durchlüftung

Anlage 44 bis Anlage 47 zeigen die simulierten Windfelder für den Ist- und Planfall sowie die aus der Planung resultierenden Windgeschwindigkeitsdifferenzen in den vier Rechengebieten für beide untersuchten Anströmungsrichtungen in Bodennähe (1,5 m über Grund).

Zusätzlich zeigen Anlage 48 bis Anlage 51 die Windverhältnisse in einer Höhe von ca. 15 m oberhalb der Modelluntergrenze. Dies ist in Regel das Höhenniveau in dem die Lärmschutzwände im Planfall den größten Einfluss auf das Windfeld nehmen.

Die dargestellten Windgeschwindigkeiten beziehen sich hierbei auf die in den Berechnungen angenommene Anströmgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe. Bedingt durch die Rauigkeitselemente im Rechengebiet liegen die berechneten Windgeschwindigkeiten im bodennahen Niveau allgemein unterhalb von 1,5 m/s. In der Auswertebene von 15 m werden in den ungestörten Bereichen etwas höhere Windgeschwindigkeiten ausgewiesen.

Die berechneten Windfelder für den Istfall im Bodenniveau zeigen deutlich den Einfluss der Gebäude und Lärmschutzwände auf die bodennahen Windverhältnisse. Während auf den Freiflächen des Untersuchungsgebietes (z. B. Bahnflächen unterhalb des Brückenbauwerkes, vgl. Anlage 45) aufgrund der nur geringen Geländerauigkeit ein weitestgehend ungestörtes Windfeld mit Windgeschwindigkeiten von bis 1,5 m/s zu erkennen ist, werden in den dicht bebauten Bereichen innerhalb des Untersuchungsgebietes aufgrund der abbremsenden Wirkung der Gebäude deutlich niedrigere Windgeschwindigkeiten und somit ein deutlich reduziertes Durchlüftungspotential prognostiziert.

Auswirkung des Planvorhabens auf die Durchlüftung im bodennahen Auswertenniveau resultieren vor allem aus dem Ausbau der Lärmschutzmaßnahmen sowie dem teilweisen Wegfall von Bäumen entlang der A 565. In der Regel führen diese Maßnahmen zu einer leichten Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit beiderseits der Trasse. Windgeschwindigkeitsabnahmen $> 0,1$ m/s sind hierbei bis in eine Entfernung von 150 m zum neuen Fahrbahnrand der A 565 nachzuweisen. Darüber hinaus sind keine signifikanten Ab- oder Zunahmen der Windgeschwindigkeit, bzw. Änderungen in der Windrichtung mehr festzustellen.

Von leichten Verschlechterungen der Durchlüftungssituation sind die nachfolgend aufgeführten Bereiche betroffen:

- Wohnbebauung entlang des Meisenwegs bei südöstlichen Anströmungen (vgl. Anlage 44)
- nördlichstes Gebäude des Zeisigweges bei südöstlichen und südwestlichen Anströmungen (vgl. Anlage 44)
- Bahnflächen beiderseits des Brückenbauwerkes der A 565, Tierheim am Lambarenweg, gewerblich genutzte Gebäude beiderseits der Brühler Straße insbesondere bei südöstlicher Anströmung (vgl. Anlage 45)
- Bürogebäude „Am Probsthof“ bei südöstlicher Anströmung (vgl. Anlage 46)
- gewerblich genutztes Gebäude zwischen Gerhard-Domagk-Straße und Immenburgstraße östlich der A 565 bei beiden Anströmungsrichtungen (vgl. Anlage 46)

Die stärkste Reduktion der Windgeschwindigkeit wird im Wohngebiet entlang der Verdistrasse bei südwestlichen Windrichtungen prognostiziert (vgl. Anlage 47). Diese deutliche Windgeschwindigkeitsminderung resultiert aus der bis zu 12 m hohen Lärmschutzwand. Nachweisbare Effekte auf die bodennahe Durchlüftung reichen hier in etwa bis zur Verdistrasse.

Neben den aufgrund der Hinderniswirkung der Lärmschutzwände zu erwartenden Windgeschwindigkeitsabnahmen, sind in einigen Bereichen auch Zunahmen der Strömungsgeschwindigkeit zu erkennen, die entweder auf Kanalisierungseffekte zwischen den Lärmschutzwänden auf der Autobahn (vgl. Anlage 46) oder dem Wegfall von Bäumen, insbesondere im Bereich der neuen Regenrückhaltebecken westlich der Wohnbebauung am Zeisigweg (vgl. Anlage 44) und nordwestlich der AS Bonn-Endenich (vgl. Anlage 47).

Im 15 m-Auswertenniveau (vgl. Anlage 48 bis Anlage 51) zeigen sich bezüglich der Verteilung der Windgeschwindigkeitsänderungen ähnliche Muster wie im bodennahen Auswertenniveau. Insbesondere im Bereich des Brückenbauwerkes werden allerdings etwas größere und mit bis zu 200 m weiter ausgreifende Geschwindigkeitsreduktionen prognostiziert. Ab einer Entfernung von ca. 200 m zum neuen Fahrbahnrand der A 565 sind keine Veränderungen gegenüber dem Windfeld in der Bestandssituation mehr festzustellen.

7.2.3 Bioklima

Anlage 52 bis Anlage 55 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 5 1) gerechnet werden muss. In von Gebäuden und Bäumen verschatteten Bereichen ist die Wärmebelastung als mäßig bis stark zu bezeichnen, in unverschatteten Bereichen mit eingeschränkter Durchlüftung wird die Wärmebelastung aber auch als extrem empfunden.

Die größten bioklimatischen Belastungen treten in unverschatteten, versiegelten Bereichen mit gleichzeitig niedrigen Windgeschwindigkeiten auf. Dies ist insbesondere im Umfeld der großen Gewerbeimmobilien beiderseits der A 565 der Fall (vgl. Anlage 53 und Anlage 54). Aber auch in Straßenzüge in Wohngebieten mit geringem Baumbestand können bei ungünstiger Windrichtungen sehr hohe bioklimatische Belastungen auftreten. Dies ist z. B. in der Rheinbacher Straße und der Zülpicher Straße westlich der AS Bonn-Endenich bei südöstlichen Anströmungen der Fall (vgl. Anlage 55).

Die Veränderungen der bioklimatischen Belastungssituation durch die Realisierung des Planvorhabens beschränken sich in der Regel auf das direkte Umfeld der Planung. Eine

Fernwirkung auf die nachmittägliche bioklimatische Belastungssituation im weiter entfernten Umfeld des Vorhabens kann nicht festgestellt werden. Verschlechterungen resultieren insbesondere aus dem Wegfall von verschattenden Bäumen sowie aus der gegenüber der Istsituation zum Teil reduzierten Durchlüftung infolge der neuen Lärmschutzwände.

Nachfolgend werden die Bereiche aufgeführt, in denen sich die bioklimatische Belastung im Planfall um mehr als 1° C erhöht und in denen sich Menschen zumindest kurzzeitig aufhalten können:

- Wohngebiet am Meisenweg bei südöstlichen Anströmungen (vgl. Anlage 52)
- nördlichstes Grundstück am Zeisigweg bei südöstlichen und südwestlichen Anströmungen (vgl. Anlage 52)
- Bürogebäude beiderseits der Brühler Straße vor allem bei südöstlichen Anströmungen (vgl. Anlage 53)
- nördlich des Gebäudes gelegene Außenflächen des Tierheims am Lambarenweg bei südöstlicher Anströmung (vgl. Anlage 53)
- Freifläche zwischen Gerhard-Domagk-Straße und A 565 bei südöstlichen und südwestlichen Anströmungen
- Straßenraum der Straße „Am Probsthof“ südlich des Kreisverkehrs sowie Außenbereich des angrenzenden Bürogebäudes bei südöstlicher Anströmung
- Bebauung westlich der Verdistrasse bei südwestlichen Anströmungen

Beim letztgenannten Bereich handelt es sich um ein relativ großes zusammenhängendes Gebiet mit einer Verschlechterung der bioklimatischen Situation. Die Verschlechterung resultiert insbesondere aus der verminderten Durchlüftung infolge der bis zu 12 m hohen Lärmschutzwände sowie dem Wegfall von verschattenden Bäumen. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu bedenken, dass Strahlungswetterlagen mit Hitzebelastung die südöstlicher Anströmung, die in Bezug auf die bioklimatische Situation in der Verdistrasse keine Probleme verursacht, weitaus häufiger auftritt als die problematische südwestliche Anströmung.

8 Planungsempfehlungen

Die Berechnungen zum Kaltluftabfluss (vgl. Kapitel 5) haben gezeigt, dass sich durch die planbedingten Ausweitungen der Lärmschutzmaßnahmen in der ersten Nachthälfte die Belüftung der östlich an den Ausbauabschnitt angrenzenden Gebiete aufgrund der zu diesem Zeitpunkt noch relativ schwach ausgeprägten Kaltluftströme und der erhöhten Hinderniswirkung verschlechtert. In der zweiten Nachthälfte werden Veränderungen gegenüber der Bestandssituation aufgrund der angewachsenen Kaltluftmächtigkeit nur noch im Nahbereich der Trasse ausgewiesen. Der Einfluss der Lärmschutzwände ist dann als nicht mehr relevant einzustufen.

Die Simulationen zum Themenkomplex Hitzebelastung und Durchlüftung (vgl. Kapitel 6) haben gezeigt, dass sich planbedingte Veränderungen in der Regel auf den an die Trasse angrenzenden Nahbereich beschränken. Relativ deutliche und flächige Verschlechterungen in Bezug auf die Lufttemperaturen und die bioklimatischen Verhältnisse ergeben sich im Bereich des westlich der Verdistraße liegenden Wohngebietes. Die Verschlechterungen hier, sowie abgeschwächt auch an anderen Stellen, resultieren vor allem aus den hohen Lärmschutzwänden, die zu einer Verminderung der Durchlüftung und hieraus folgend zu einer erhöhten Hitzebelastung führen.

Verbesserungen gegenüber der hier betrachteten Plansituation sowohl in Bezug auf die Kaltluftströme als auch in Bezug auf die Hitzeproblematik ließen sich daher vor allem durch eine Reduktion der Wandhöhen in den unter klimatischen Gesichtspunkten kritischen Bereichen erzielen. Dies wird aus immissionsschutzrechtlichen Gründen allerdings vermutlich nicht möglich sein. Weitere, wenn auch weniger effektive Maßnahmen zur Hitzereduzierung sind:

- Beidseitige Begrünung der Lärmschutzwände zur Reduktion der Wärmeabgabe der Wände und zur Erhöhung der Verdunstungsabkühlung
- Auswahl von möglichst hellem Asphalt zur Erhöhung der kurzwelligen Rückstrahlung (Albedo) und damit einer verminderten Erwärmung der Luftmassen oberhalb der Autobahn
- Schnelle Umsetzung der vorgesehenen Begrünungsmaßnahmen des Landschaftspflegerischen Begleitplans

9 Zusammenfassung

Die Autobahn GmbH plant den 6-streifigen Ausbau der Bundesautobahn A 565 zwischen der AS Bonn-Endenich und dem Autobahnkreuz Bonn-Nord. Für das Vorhaben wurde aufgrund einer Vielzahl an im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens eingegangenen Einwendungen zum Thema Stadtklima eine detaillierte Klimauntersuchung erstellt. Untersucht wurde, ob sich durch die neuen Lärmschutzanlagen eine Beeinträchtigung der Kaltluftströmungen in Richtung der Bonner Innenstadt ergibt und wie sich die zusätzliche Versiegelung, die Lärmschutzwände sowie der teilweise Wegfall von Bäumen und sonstiger Vegetation auf die bioklimatischen Verhältnisse und die Durchlüftung im Umfeld des Planvorhabens auswirken.

Für die Kaltluftuntersuchung wurden Simulationsrechnungen mit dem Kaltluftmodell KLAM_21 in der aktuellen Version 2012 für den Ist- und Planfall unter Berücksichtigung des Reliefs, der Landnutzung und der bestehenden und geplanten Lärmschutzeinrichtungen durchgeführt. Hierbei wurde das Rechengebiet so groß dimensioniert, dass das im Bonner Rheintal bei Strahlungswetterlagen auftretende Bergwindssystem, bei dem in den Nachtstunden abfließende Kaltluftmassen dem natürlichen Gefälle der Rheintalung folgen, in den Simulationsrechnungen abgebildet wird.

Die Beurteilung der Veränderung erfolgte gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 „Lokale Kaltluft“ [6] anhand eines Vergleiches der berechneten Kaltluftkenngrößen Kaltluftschichtdicke und Kaltluftvolumenstrom.

Die Berechnungsergebnisse der Kaltluftuntersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In den frühen Nachtstunden bildet sich Kaltluft auf den Freiflächen westlich des Plangebietes und fließt der Geländeneigung nach in Richtung Osten ab. Die Bahngleise fungieren hierbei auf Grund ihrer geringen Rauigkeit als Leitbahn.
- Durch den Ausbau der Lärmschutzwände erhöht sich der Strömungswiderstand und die Kaltluft staut sich zunächst westlich des Planvorhabens. Dies führt zu einer Zunahme der Kaltluftmächtigkeit westlich der A 565 und zu einer Abnahme östlich der A 565.
- Aufgrund der geringeren Kaltluftmächtigkeit und der verringerten Strömungsgeschwindigkeit nimmt der Kaltluftvolumenstrom östlich der A 565 ab. Die Bereiche mit „hohen Abnahmen“ gemäß VDI 3787 Blatt 5 reichen hierbei in etwa bis zur Viktoria-brücke (ca. 1 km östlich der A 565).
- Von hohen Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms in den frühen Nachtstunden sind insbesondere Industrie- und Gewerbegebiet mit geringer Schutzbedürftigkeit betroffen.

- Betroffen von Minderungen > 10 % sind zudem die Wohngebiete nördlich des Lieveilingswegs und relativ schwach ausgeprägt auch Wohngebäude südlich des Pfaffenweiherweges.
- Im Lauf der Nacht steigt sowohl die Kaltluftmächtigkeit als auch der Kaltluftvolumenstrom im Umfeld des Planvorhabens deutlich an. Die Kaltluftzufuhr erfolgt zunehmend aus südlichen Richtungen und fließt in Richtung Norden parallel zur A 565 ab.
- Die neuen Lärmschutzwände werden aufgrund der angewachsenen Kaltluftmächtigkeit in der zweiten Nachthälfte überströmt, somit ergeben sich durch die Planung keine Veränderungen in der Kaltluftmächtigkeit.
- Signifikante Änderungen im Kaltluftgeschehen in der zweiten Nachthälfte beschränken sich auf den Nahbereich des Ausbaubereiches. Eine Fernwirkung auf weiter entfernte Bereiche kann nicht mehr festgestellt werden.

Für die Untersuchungen zum Themenkomplex der sommerlichen Überwärmung und der Durchlüftungssituation wurden Simulationsrechnungen mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der Version 4.4.5 für den Ist- und den Planfall für zwei Hauptwindrichtungen und einen warmen Sommertag durchgeführt. In die Berechnungen flossen Gebäudestellungen und -höhen, die Lage und Höhe der bestehenden und geplanten Lärmschutzwände der Vegetationsbestand sowie die Oberflächen- und Bodenbeschaffenheiten ein.

Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgte anhand der simulierten Temperaturverhältnisse, welche zu drei Uhrzeiten (14 Uhr – heißeste Tagstunde, 22 Uhr – typische Einschlafzeit und 4 Uhr – kälteste Nachtstunde) ausgewertet wurden sowie der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes, welcher um 16 Uhr ausgewertet wurde. Zusätzlich wurden die Windverhältnisse in einer Auswertehöhe von 1,5 m Höhe über Grund und in Höhe der Lärmschutzwände ausgewertet und dargestellt.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen zur sommerlichen Wärmebelastung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Signifikante Veränderungen des Temperaturniveaus durch die Realisierung des Planvorhabens beschränken sich auf den Nahbereich des Vorhabens. Ab einer Entfernung von 200 – 250 m zum Vorhaben können keine Veränderungen im Temperaturniveau mehr nachgewiesen werden.
- Im Nahbereich des Planvorhabens können sowohl leichte Erwärmungs- als auch Abkühlungstendenzen festgestellt werden. Dies ist abhängig von der jeweiligen Anströmrichtung, dem Auswertzeitraum und der Charakteristik (Troglage, Dammlage oder Brücke, Höhe der Lärmschutzwände) des Streckenabschnittes.

- In den Nachmittagsstunden ist tendenziell eher mit einer Temperaturabnahme zu rechnen. Dies ist insbesondere auf die Verschattung durch den Brückenumbau und die Erhöhung der Lärmschutzwände zurückzuführen.
- In den Abendstunden sind keine Temperaturveränderungen gegenüber der Istsituation auszumachen. Eine Ausnahme stellt die Wohnbebauung an der Ostseite der Verdistraße dar. Bei südwestlichen Anströmungen ergeben sich hier flächig Temperaturerhöhungen zwischen 0,2 und 0,5 °C.
- In den frühen Nachtstunden ergeben sich tendenziell leichte Erwärmungen bis maximal 0,4°C. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt stabil geschichteten Atmosphäre und der daraus resultierenden eingeschränkten vertikalen Durchmischung haben diese Temperaturerhöhungen etwas höhere Fernwirkungen als z.B. in den Abendstunden. Leichte Erwärmungen werden in der Wohnsiedlung südwestlich des AK Bonn-Nord bei südöstlicher Anströmung, in der Kleingartensiedlung am Lambarenweg bei südöstlicher Anströmung, im Gewerbegebiet zwischen Bornheimer Straße und Probsthof bei südwestlichen Anströmungen sowie im Wohngebiet an der Verdistraße bei südwestlichen Anströmungen prognostiziert.
- Bzgl. der bioklimatischen Belastungssituation in den Nachmittagsstunden (ausgedrückt durch den PET-Wert) ergibt sich im direkten Nahbereich (Entfernung bis maximal 50 m zum Vorhaben) zum Teil eine Erhöhung der Belastung. Da gleichzeitig die Lufttemperatur eher sinkt, ist die Erhöhung der bioklimatischen Belastung auf die Reduktion der Windgeschwindigkeit infolge der zusätzlichen, bzw. der erhöhten Lärmschutzeinrichtungen zurückzuführen. Flächenhafte Verschlechterungen im Bereich von Wohnnutzungen beschränken sich hierbei auf die Gebäude an der Ostseite der Verdistraße. Eine Fernwirkung der Planung auf die bioklimatische Belastung kann ausgeschlossen werden.

In Bezug auf die Durchlüftungssituation können die folgenden Aussagen getroffen werden:

- Erwartungsgemäß zeigen sich Windgeschwindigkeitsreduktionen in Bereichen, in denen neue Lärmschutzwände vorgesehen sind, bzw. bestehende Lärmschutzwände erhöht werden. Betroffen von niedrigeren Windgeschwindigkeiten sind insbesondere Bereiche im Luv der Autobahn, also auf der windabgewandten Seite.
- Zunahmen der Windgeschwindigkeit ergeben sich rückwärtig der Wohnbebauung am Zeisigweg aufgrund des Wegfalls des Lärmschutzwalles
- Bezogen auf eine Anströmgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe über Grund ist eine Windgeschwindigkeitsmaßnahme > 0,1 m/s bis maximal in eine Entfernung von 100 m zum Rand der Autobahn festzustellen. Danach hat sich das Windfeld wieder so generiert, dass gegenüber dem Bezugsfall keine Änderung mehr festzustellen ist. Eine durchgreifende Störung des Windfeldes, die aufgrund der Hinderniswirkung der Lärmschutzwände zu einem Abbruch der Strömung oder zu einer signifikanten Geschwindigkeitsreduzierung über die Plangebietsgrenze hinaus führt, kann auf Grundlage der Simulationsergebnisse ausgeschlossen werden.

Die Berechnungen zum Themenkomplex Hitzebelastung und Durchlüftung (vgl. Kapitel 6) haben gezeigt, dass sich planbedingte Veränderungen in der Regel auf den an die Trasse angrenzenden Nahbereich beschränken. Relativ deutliche und flächige Verschlechterungen in Bezug auf die Lufttemperaturen und die bioklimatischen Verhältnisse ergeben sich im Bereich des westlich der Verdistraße liegenden Wohngebietes. Die Verschlechterungen hier, sowie abgeschwächt auch an anderen Stellen, resultieren vor allem aus den hohen Lärmschutzwänden, die zu einer Verminderung der Durchlüftung und hieraus folgend zu einer erhöhten Hitzebelastung führen.

Verbesserungen gegenüber der hier betrachteten Plansituation sowohl in Bezug auf die Kaltluftströme als auch in Bezug auf die Hitzeproblematik ließen sich daher vor allem durch eine Reduktion der Wandhöhen in den unter klimatischen Gesichtspunkten kritischen Bereichen erzielen. Dies wird aus immissionsschutzrechtlichen Gründen allerdings vermutlich nicht möglich sein. Weitere, wenn auch weniger effektive Maßnahmen zur Hitzereduzierung sind:

- Beidseitige Begrünung der Lärmschutzwände zur Reduktion der Wärmeabgabe der Wände und zur Erhöhung der Verdunstungsabkühlung
- Auswahl von möglichst hellem Asphalt zur Erhöhung der kurzwelligen Rückstrahlung (Albedo) und damit einer verminderten Erwärmung der Luftmassen oberhalb der Autobahn
- Schnelle Umsetzung der vorgesehenen Begrünungsmaßnahmen des Landschaftspflegerischen Begleitplans

Abschließend ist festzuhalten, dass sich ein klimatischer Einfluss des Vorhabens nur im Nahbereich der Maßnahme nachweisen lässt. Auswirkungen auf die gesamt-klimatische Situation der Stadt Bonn konnten nicht festgestellt werden.

Peutz Consult GmbH

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

i.A. Helena Röhling
(Projektbearbeitung)

i.V. Oliver Streuber
(Qualitätskontrolle)

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Übersichtslageplan der Bestandssituation
- Anlage 2 Übersichtslageplan Planfall
- Anlage 3 Stadtklimaanalyse der Stadt Bonn: Planungshinweiskarte Nachtsituation
- Anlage 4 Stadtklimaanalyse der Stadt Bonn: Planungshinweiskarte Tagsituation
- Anlage 5 Geländehöhen im Untersuchungsraum
- Anlage 6 Geländehöhen im Istfall – Umfeld der Planung
- Anlage 7 Geländehöhen im Planfall – Umfeld der Planung
- Anlage 8 Landnutzung im Untersuchungsraum
- Anlage 9 Landnutzung im Istfall - Umfeld der Planung
- Anlage 10 Landnutzung im Planfall – Umfeld der Planung
- Anlage 11 Kaltluftvolumenstrom im Istfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang (gesamtes Untersuchungsgebiet)
- Anlage 12 Kaltluftvolumenstrom im Istfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang (gesamtes Untersuchungsgebiet)
- Anlage 13 Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Istfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

- Anlage 14 Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Planfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 15 Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 16 Kaltluftvolumenstrom im Istfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 17 Kaltluftvolumenstrom im Planfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 18 Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 19 Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Istfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 20 Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Planfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 21 Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 22 Kaltluftvolumenstrom im Istfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 23 Kaltluftvolumenstrom im Planfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 24 Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens
- Anlage 25 ENVI-met Model Architektur

Anlage 26 Windrichtungsverteilung an der LANUV-Station Bonn Auerberg im Zeitraum 2010 -2020

Anlage 27 Lage der ENVI-met Rechengebiete

Anlage 28 Oberflächen und Gebäude im Istfall

Anlage 29 Oberflächen und Gebäude im Planfall

Anlage 30 Vegetation im Istfall

Anlage 31 Vegetation im Planfall

Anlage 32 Lufttemperaturen im Rechengebiet 1 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr

Anlage 33 Lufttemperaturen im Rechengebiet 2 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr

Anlage 34 Lufttemperaturen im Rechengebiet 3 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr

Anlage 35 Lufttemperaturen im Rechengebiet 4 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr

Anlage 36 Lufttemperaturen im Rechengebiet 1 in 1,5 m Höhe um 22 Uhr

Anlage 37 Lufttemperaturen im Rechengebiet 2 in 1,5 m Höhe um 22 Uhr

Anlage 38 Lufttemperaturen im Rechengebiet 3 in 1,5 m Höhe um 22 Uhr

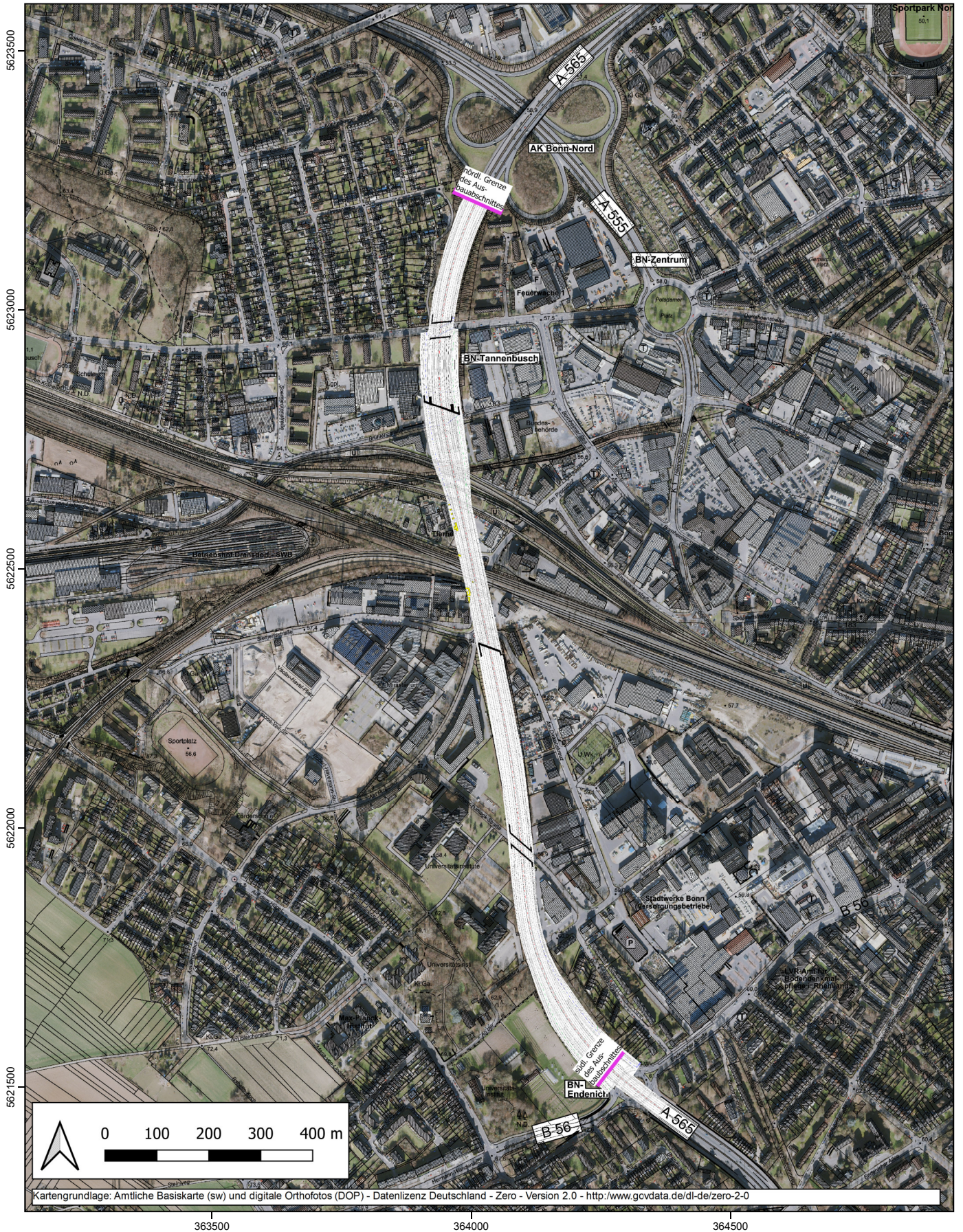
Anlage 39 Lufttemperaturen im Rechengebiet 4 in 1,5 m Höhe um 22 Uhr

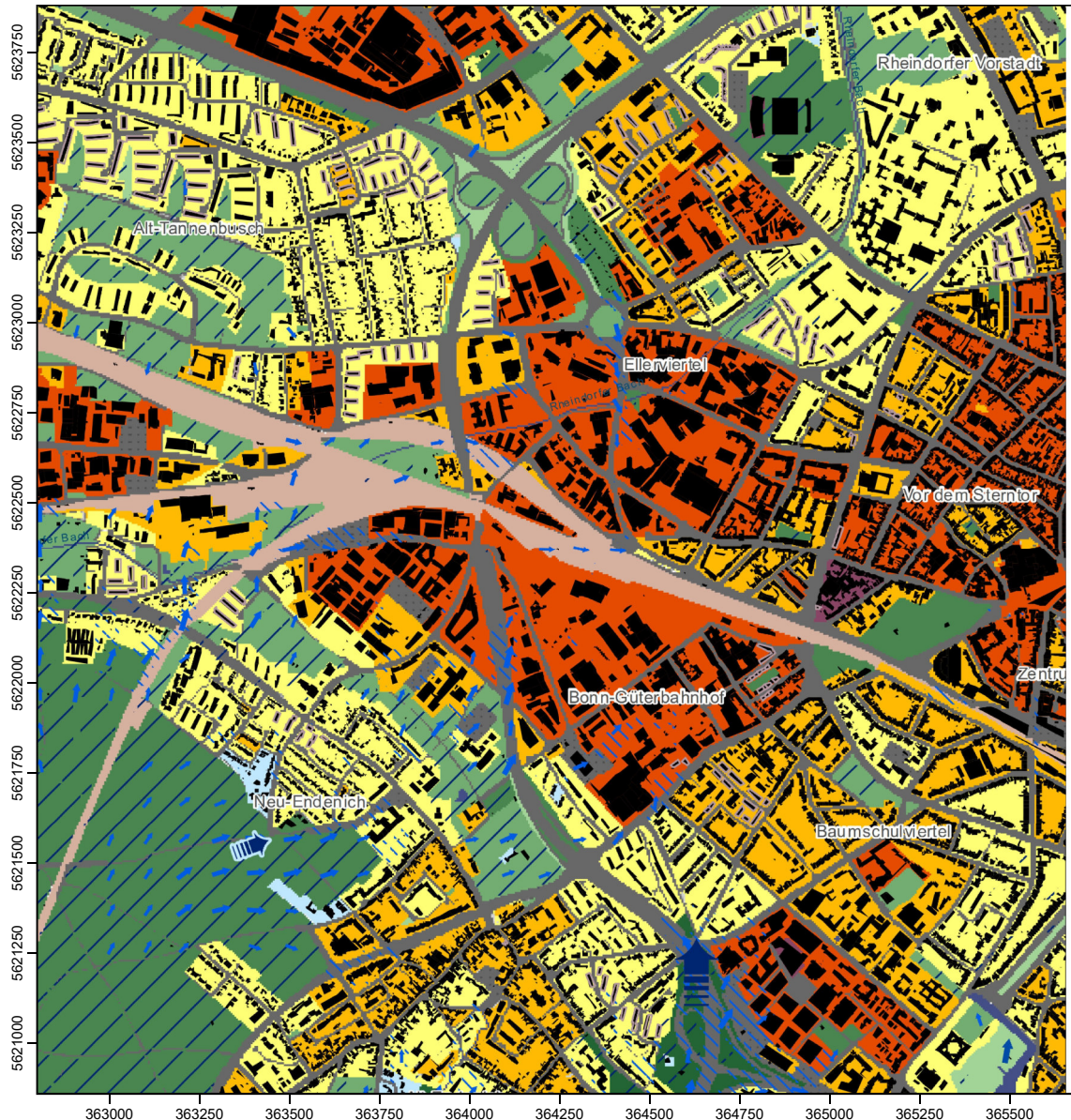
Anlage 40 Lufttemperaturen im Rechengebiet 1 in 1,5 m Höhe um 4 Uhr

Anlage 41 Lufttemperaturen im Rechengebiet 2 in 1,5 m Höhe um 4 Uhr

- Anlage 42 Lufttemperaturen im Rechengebiet 3 in 1,5 m Höhe um 4 Uhr
- Anlage 43 Lufttemperaturen im Rechengebiet 4 in 1,5 m Höhe um 4 Uhr
- Anlage 44 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 1 in 1,5 m Höhe
- Anlage 45 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 2 in 1,5 m Höhe
- Anlage 46 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 3 in 1,5 m Höhe
- Anlage 47 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 4 in 1,5 m Höhe
- Anlage 48 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 1 in 15 m Höhe (nicht ge
ländefolgender Schnitt)
- Anlage 49 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 2 in 15 m Höhe (nicht ge
ländefolgender Schnitt)
- Anlage 50 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 3 in 15 m Höhe (nicht ge
ländefolgender Schnitt)
- Anlage 51 Windgeschwindigkeit und -richtung im Rechengebiet 4 in 15 m Höhe (nicht ge
ländefolgender Schnitt)
- Anlage 52 PET-Werte im Rechengebiet 1 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr
- Anlage 53 PET-Werte im Rechengebiet 2 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr
- Anlage 54 PET-Werte im Rechengebiet 3 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr
- Anlage 55 PET-Werte im Rechengebiet 4 in 1,5 m Höhe um 14 Uhr







Allgemeingültige Planungshinweise

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels sollte im Rahmen der Entwicklungsplanung grundsätzlich der Erhalt der klimakologischen Wertigkeit einer Fläche berücksichtigt und deren Potenzial zur diesbezüglichen Aufwertung geprüft werden. Im Falle einer baulichen Entwertung bzw. Veränderung sind geeignete Maßnahmen zum Erhalt der klimakologischen Funktionen zu integrieren. Die Notwendigkeit zur Erstellung eines klimatologischen Detailgutachtens kann sich neben der hier aufgeführten Bewertung im Einzelfall durch die Intensität der geplanten Nutzungsänderung begründen. In den Siedlungsbereichen sollten Eingriffe nicht zu einer Verschlechterung auf der Fläche selbst bzw. auf angrenzenden Flächen führen. Um dies sicherzustellen ist aus dem Spektrum von Maßnahmen, die sich zur Reduktion von Hitzebelastung eignen (u.a. Gebäudebegrünung, Beachtung der Baukörperstellung, Anpassung der Bauhöhen, Erhalt der Durchlüftungssachsen, Aufwertung von Grünflächen, Entsiegelung, Albedo der Gebäudedächer usw.) eine für die jeweilige Situation geeignete und angemessene Auswahl zu treffen.

Ausgleichsräume Grün- und Freiflächen

Geringe bioklimatische Bedeutung
Es sind kleine <math>< 1\text{ha}</math> Grünflächen, die einen Siedlungsbezug haben und für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimakologische Ausgleichsräume sind. Sie weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Die angrenzende Bebauung profitiert in geringem Maß von den bereit gestellten Klimafunktionen.

Mittlere bioklimatische Bedeutung
Es sind Grünflächen, die unmittelbar an den Siedlungsraum angrenzen und einen überdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom oder Kaltluftproduktionsrate aufweisen. Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimakologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, weshalb diese Ausgleichswirkung erhalten werden sollte.

Hohe bioklimatische Bedeutung
Es handelt sich um Grünflächen, die zum Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn gehören, flächenhaften Kaltluftabfluss vorweisen, eine lokale Leitbahn bilden oder Wald zuzuordnen sind oder sie liegen in der Nähe von sehr günstig eingestuftem Siedlungsbereichen und besitzen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimakologische Funktionen mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Es ist ein Detailgutachten erforderlich.

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung
Es handelt sich um Grünflächen, die Teil einer Kaltluftleitbahn sind oder im Einzugsgebiet dieser liegen und diese speisen. Sie sind daher für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimakologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unterlassen werden. Zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen). Unmittelbar angrenzende Siedlungsgebiete profitieren enorm von ihrer klimakologischen Wirkung und sollten daher gut durchströmbär für Kaltluft bleiben.

Wirkungsräume Siedlungsflächen

Sehr günstige bioklimatische Situation
Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit hohem Grünanteil und guter Durchlüftung charakterisiert sind. Sie weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Der Vegetationsanteil und die Durchströmbarkheit sollte erhalten werden.

Günstige bioklimatische Situation
Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine lockere durchgrünte Bebauung mit einem geringen Versiegelungsgrad charakterisiert sind. Sie weisen eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Der Vegetationsanteil sollte erhalten werden.

Weniger günstige bioklimatische Situation
Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine kompaktere Bebauung, einen mittleren Versiegelungsgrad und geringen Grünanteilen charakterisiert sind. Sie weisen eine mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Es sollte eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.

Ungünstige bioklimatische Situation
Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine sehr verdichtete Bebauung und einen hohen Versiegelungsgrad und sehr geringem Grünanteil charakterisiert sind. Sie weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Sie sollten sich sowohl auf die Tag- als auch die Nachtsituation auswirken. Eine Verbesserung der Durchlüftung und eine Erhöhung des Vegetationsanteils sollte angestrebt werden.

Sehr ungünstige bioklimatische Situation
Es handelt sich um Siedlungsflächen, die durch eine hochverdichtete Bebauung, einem sehr hohen Versiegelungsgrad und sehr geringem Grünanteil charakterisiert sind. Sie weisen eine sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen auf. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sie sollten sich sowohl auf die Tag- als auch die Nachtsituation auswirken. Es sollte keine weitere Verdichtung (insbesondere zu Lasten von umgebenden Grün-/Freiflächen) erfolgen, stattdessen der Erhalt der Freiflächen und eine Verbesserung der Durchlüftung sowie möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils bzw. Entsiegelungsmaßnahmen angestrebt werden.

Kaltluftfeinwirkungsbereich innerhalb der Bebauung⁴

Kaltluft

Modelliertes Kaltluftströmungsfeld¹

Kaltluftleitbahn lokale Kaltluftleitbahn

Direkter Luftaustausch zwischen Kaltluftentstehungsgebieten und Siedlungsräumen. Vermeidung baulicher Hindernisse, die einen Kaltluftstau verursachen könnten. Bauhöhe gering halten oder reduzieren, bei Neubebauung von Baulücken Luftaustausch verbessern, Randbebauung vermeiden, Erhalt oder Erweiterung des Grün- und Freiflächenanteils. Schadstoffemissionen reduzieren.

Flächenhafter Kaltluftabfluss

Kaltluftentstehungsgebiet²

Hauptströmungsrichtung der Flurwinde³

$> 0,2$ bis $0,3$ / $> 0,3$ bis $0,5$

$> 0,5$ bis 1 / > 1 m/s

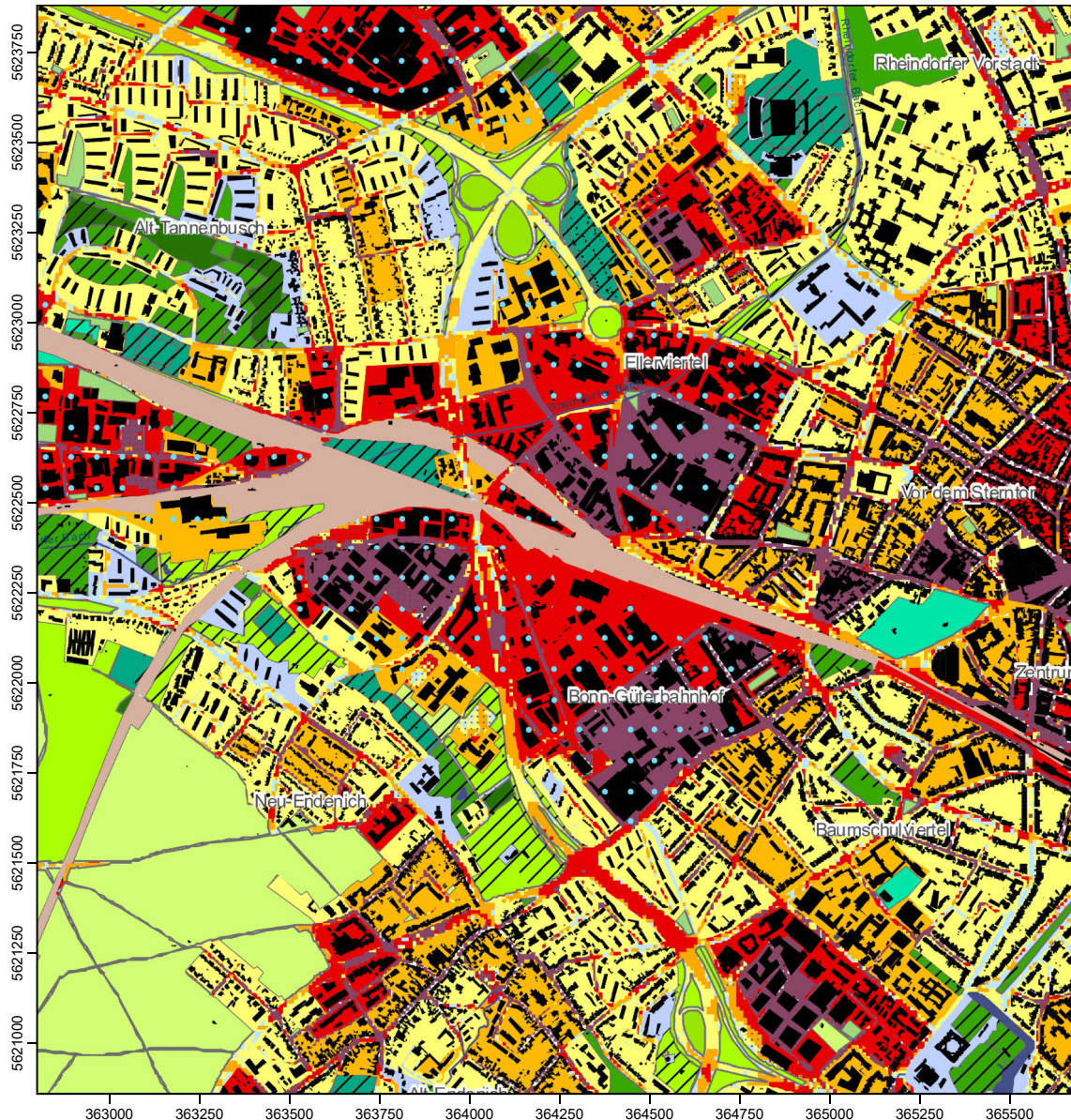
Sonstiges

Stadtgebiet Bonn

Gebäude im Stadtgebiet

Plätze

Gewässer



Ausgleichsräume - Grün- und Freiflächen

Hauptausgleichsraum - sehr hohe Priorität

Frei zugängliche Grünflächen, die von der gesamten Stadtbevölkerung für die Hitzeentlastung am Tage aufsucht werden können. Hierunter fallen insbesondere Wälder und öffentliche Parkareale. Die Erholungsfunktion und Resilienz der Grünflächen sollte erhalten und ggf. verbessert werden durch Pflanzung von klimawandelangepassten Arten. Die kostenfreie Nutzbarkeit sollte gesichert werden.

Wärmebelastung



ergänzender Ausgleichsraum - hohe Priorität

Grünflächen mit sehr hoher klimakologischer Bedeutung für die Hitzeentlastung am Tage für Teile der Stadtbevölkerung. Die Flächen sind nicht frei zugänglich oder weisen ein gegenüber dem Hauptentlastungsraum weniger gutes Mikroklima auf. Hierunter fallen insbesondere Schrebergärten, Friedhöfe, Schwimmbäder, Sportplätze. Die Erholungsfunktion sollte erhalten und ggf. verbessert werden. Die kostenfreie Nutzbarkeit bzw. Zugänglichkeit sollte während Hitzeperioden ermöglicht werden.

Wärmebelastung



Potentialraum - geringe Priorität

Frei- und Grünflächen ohne primäre Funktion als Ausgleichsraum für die Hitzebelastung am Tage. Hierunter fallen insbesondere Straßengeleitgrün, Abstandsgrün, landwirtschaftliche Nutzflächen und Brachflächen. Flächen innerhalb des Siedlungsgebiets sollten zu einem Netz von dezentralen Grünanlagen ("Pocket parks") in Wert gesetzt werden.

Wärmebelastung



/// Erreichbarkeit der Grünflächen aus thermisch ungünstigen und sehr ungünstigen Siedlungsflächen mit einer geringen bis mittleren Wärmebelastung (ohne Verkehrsleitgrün)

Wirkungsräume - Siedlungsflächen, Straßen und Plätze

Sehr günstige humanbioklimatische Situation

Es liegen humanbioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich.

Günstige humanbioklimatische Situation

Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich.

Weniger günstige humanbioklimatische Situation

Auf einzelnen Teilflächen kann ein thermisch belastende Situation auftreten. Maßnahmen zur Verbesserung können sinnvoll sein, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.

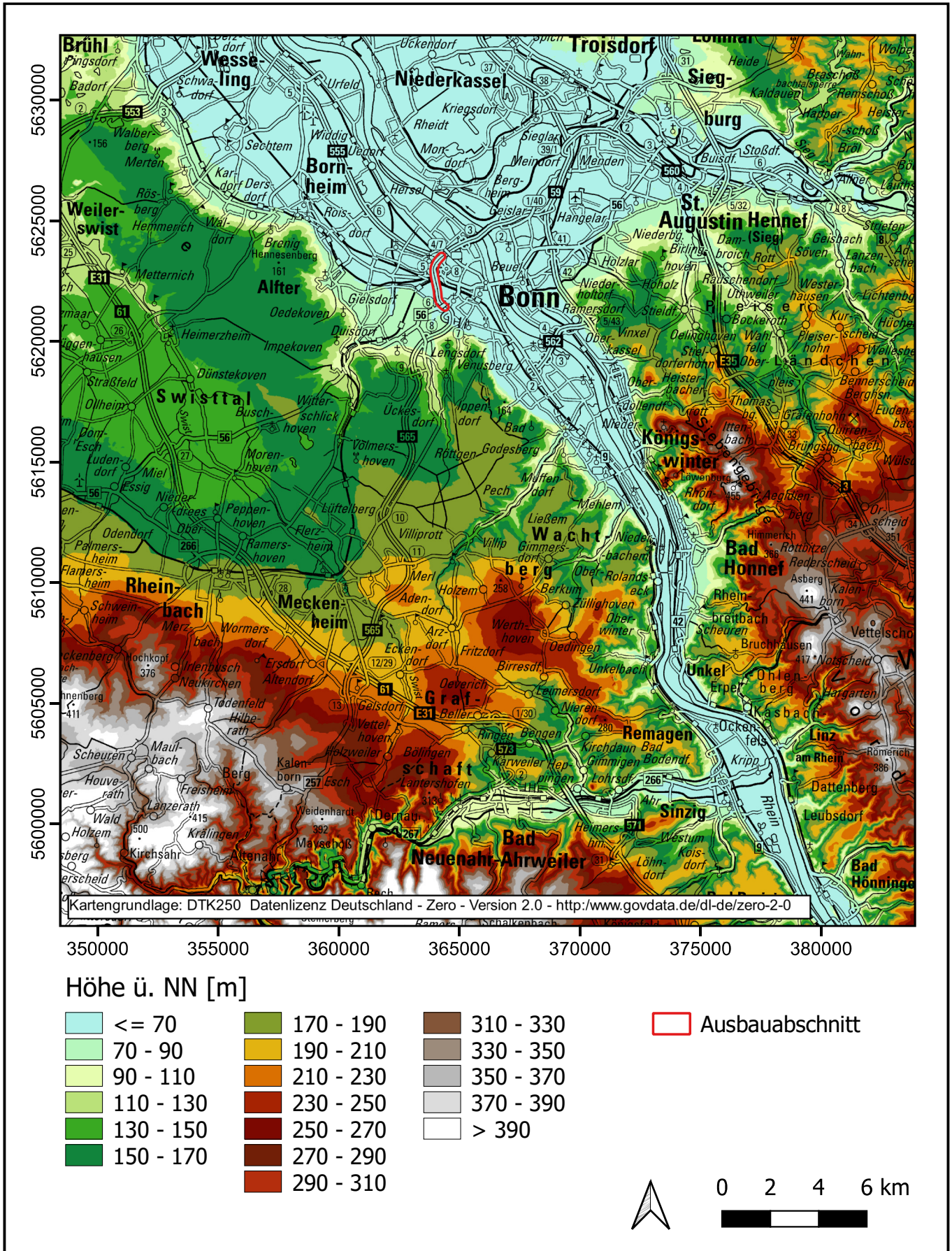
Ungünstige humanbioklimatische Situation

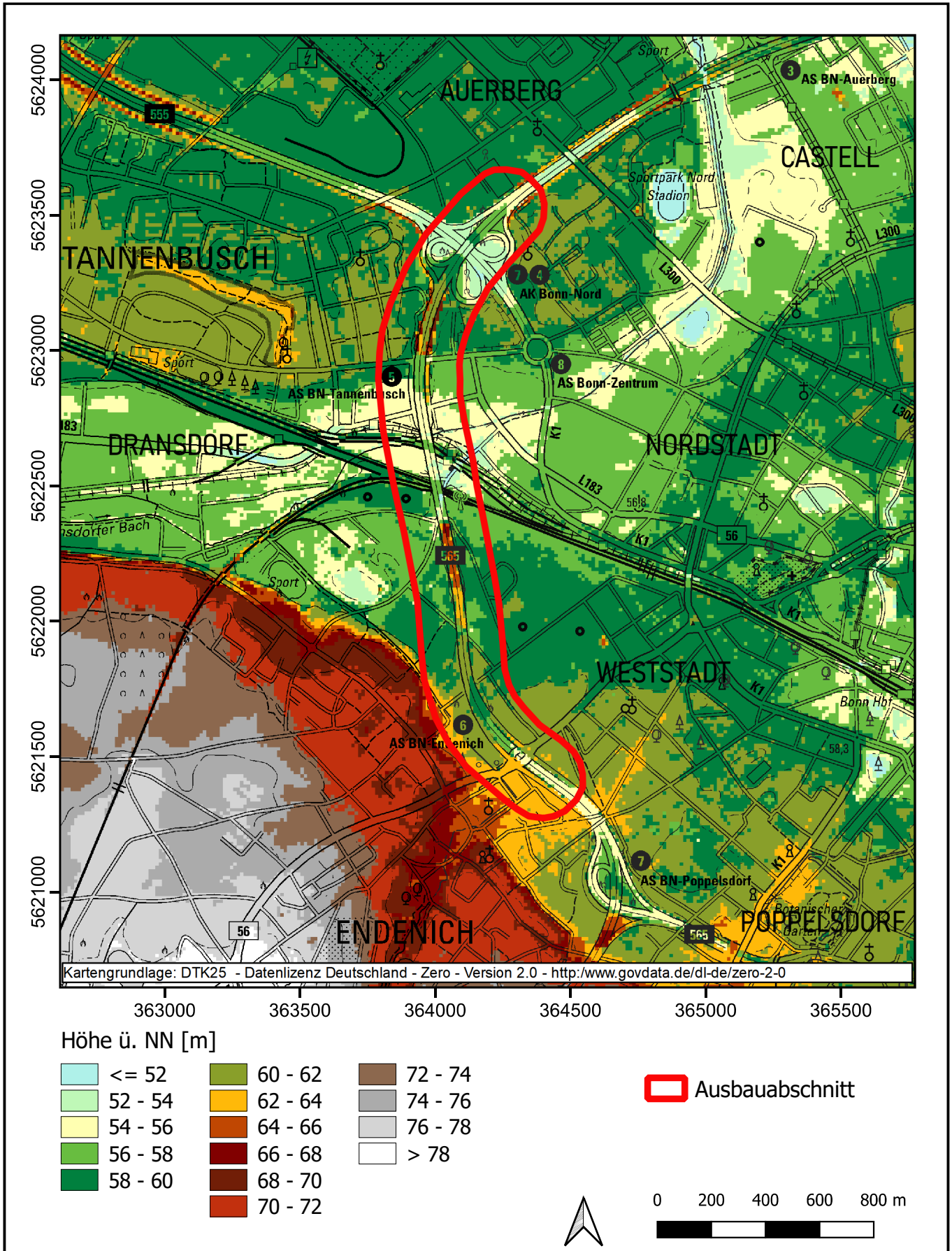
Es liegen überwiegend humanbioklimatisch ungünstige Bedingungen mit einem relevanten thermischen Belastungsniveau vor. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein. Dezentrale Grünanlagen sollten neu geschaffen werden.

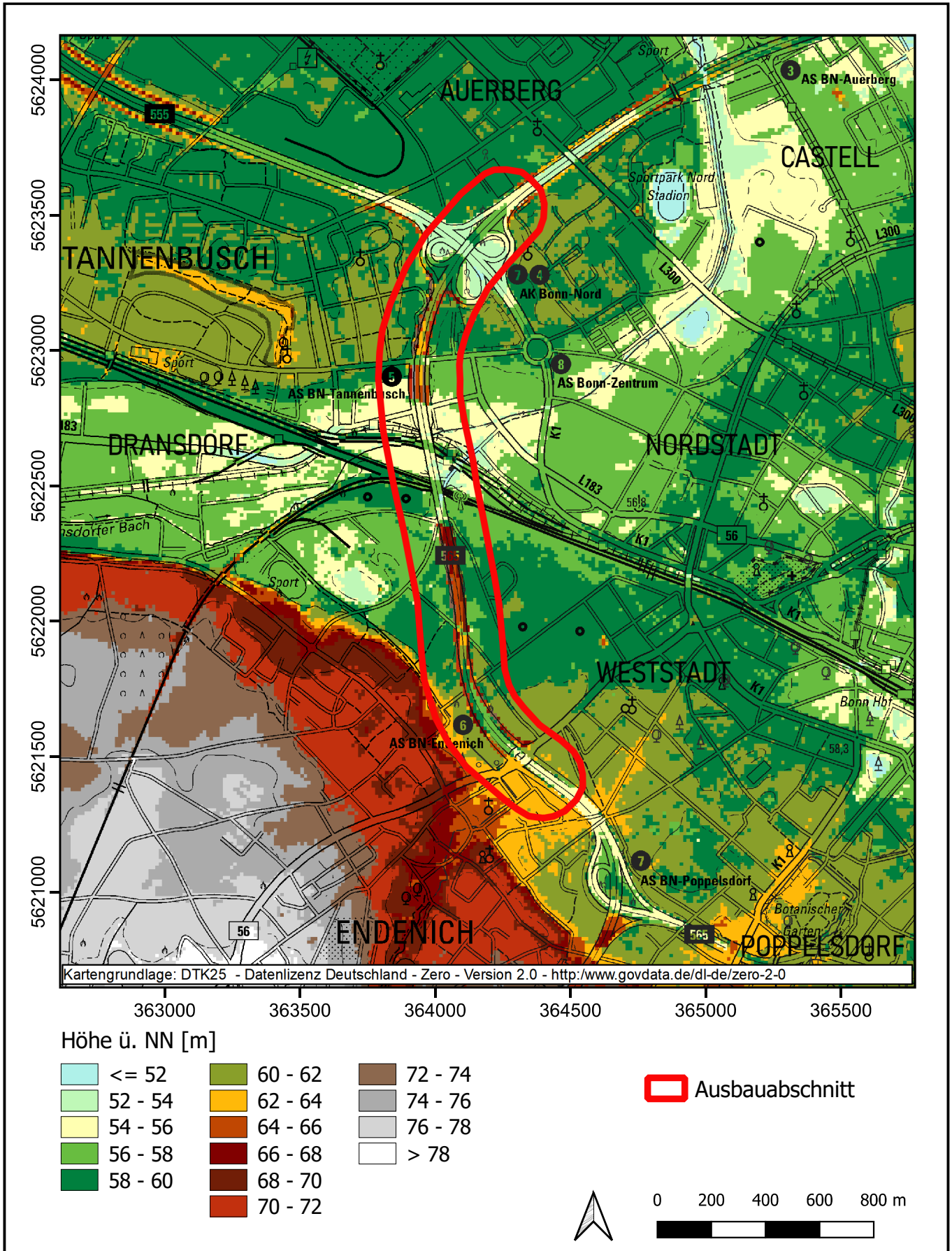
Sehr ungünstige humanbioklimatische Situation

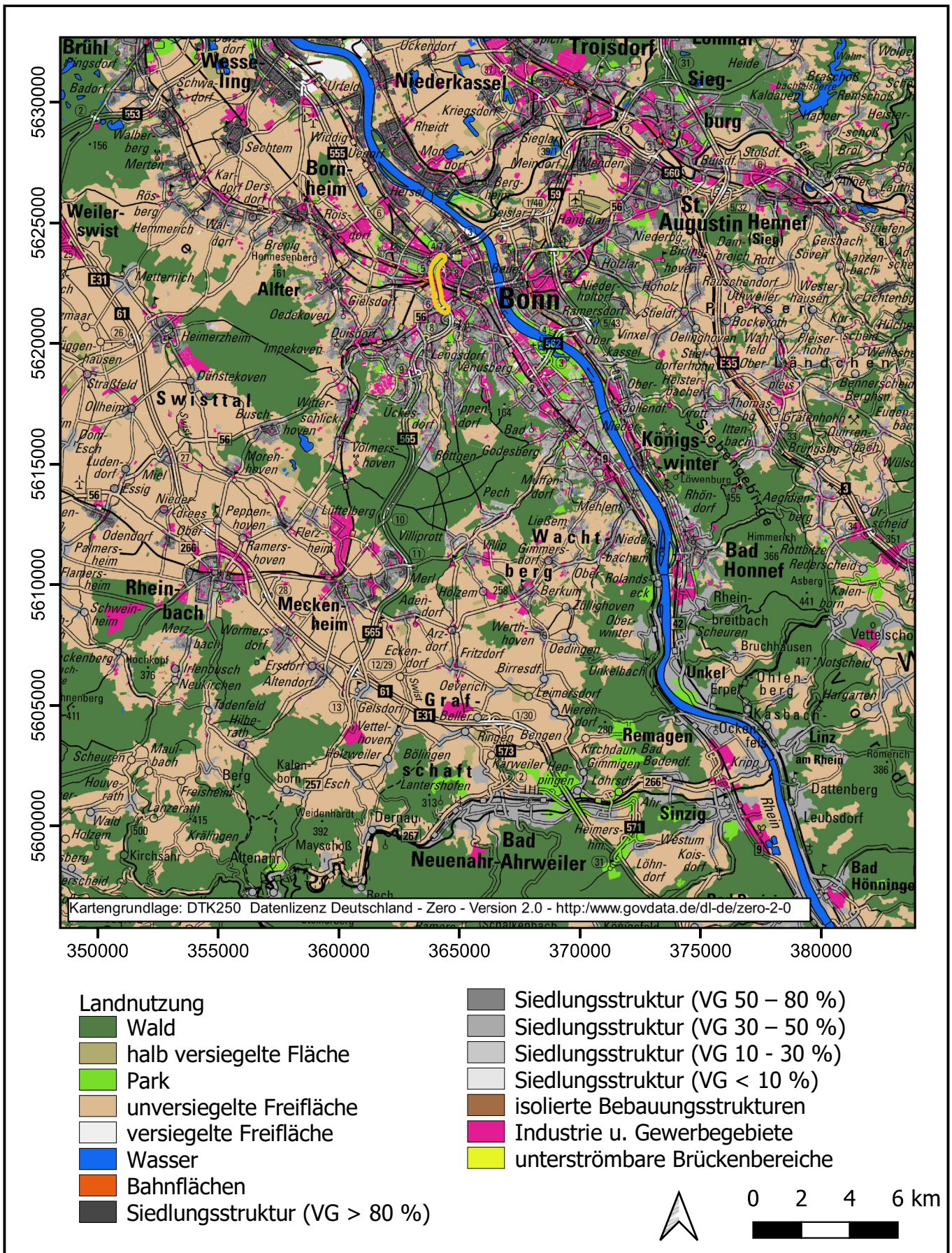
Es liegen sehr ungünstige Bedingungen mit einem hohen thermischen Belastungsniveau vor. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. dezentrale Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein oder neu geschaffen werden.

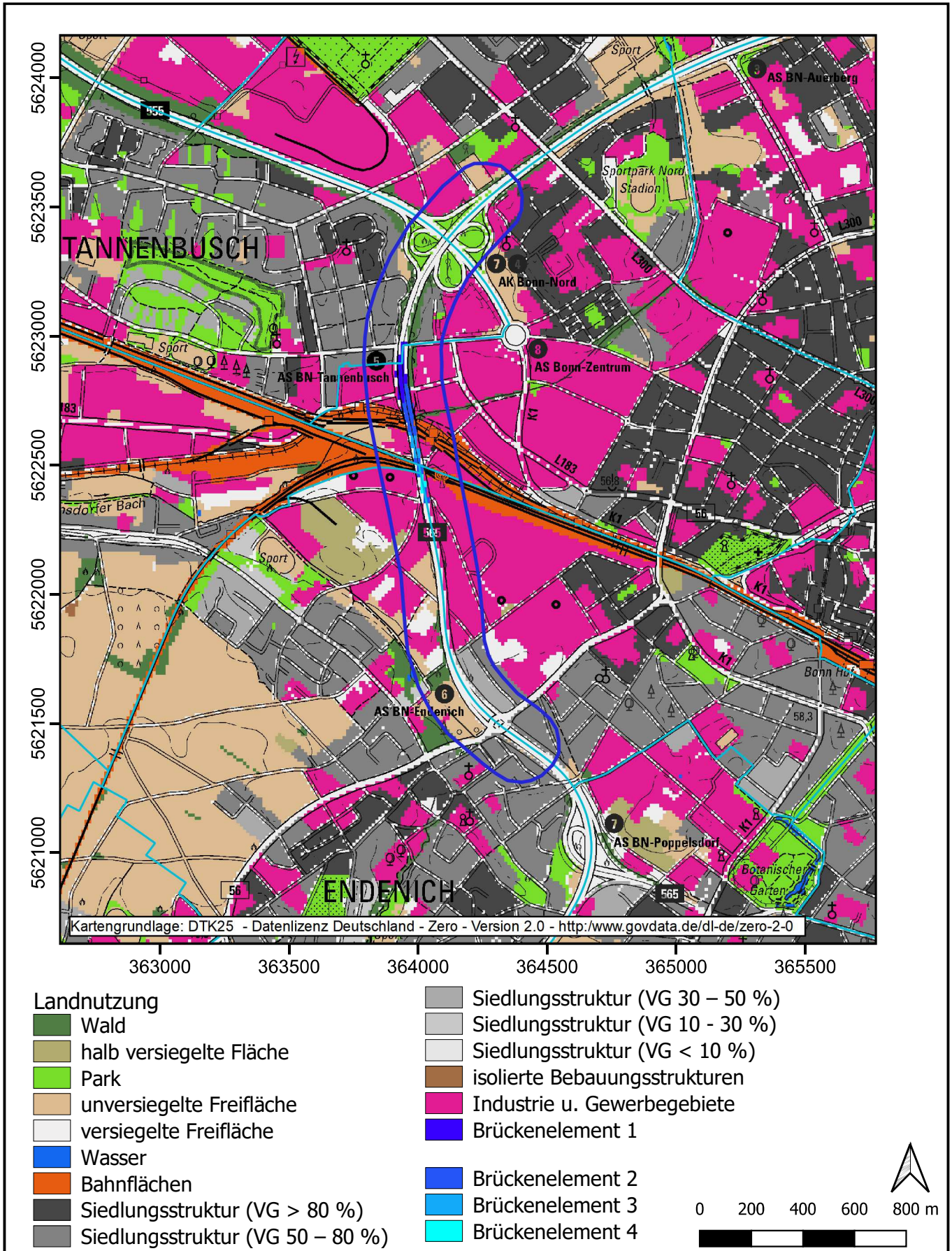
Anlage 5: Geländehöhen im Untersuchungsraum

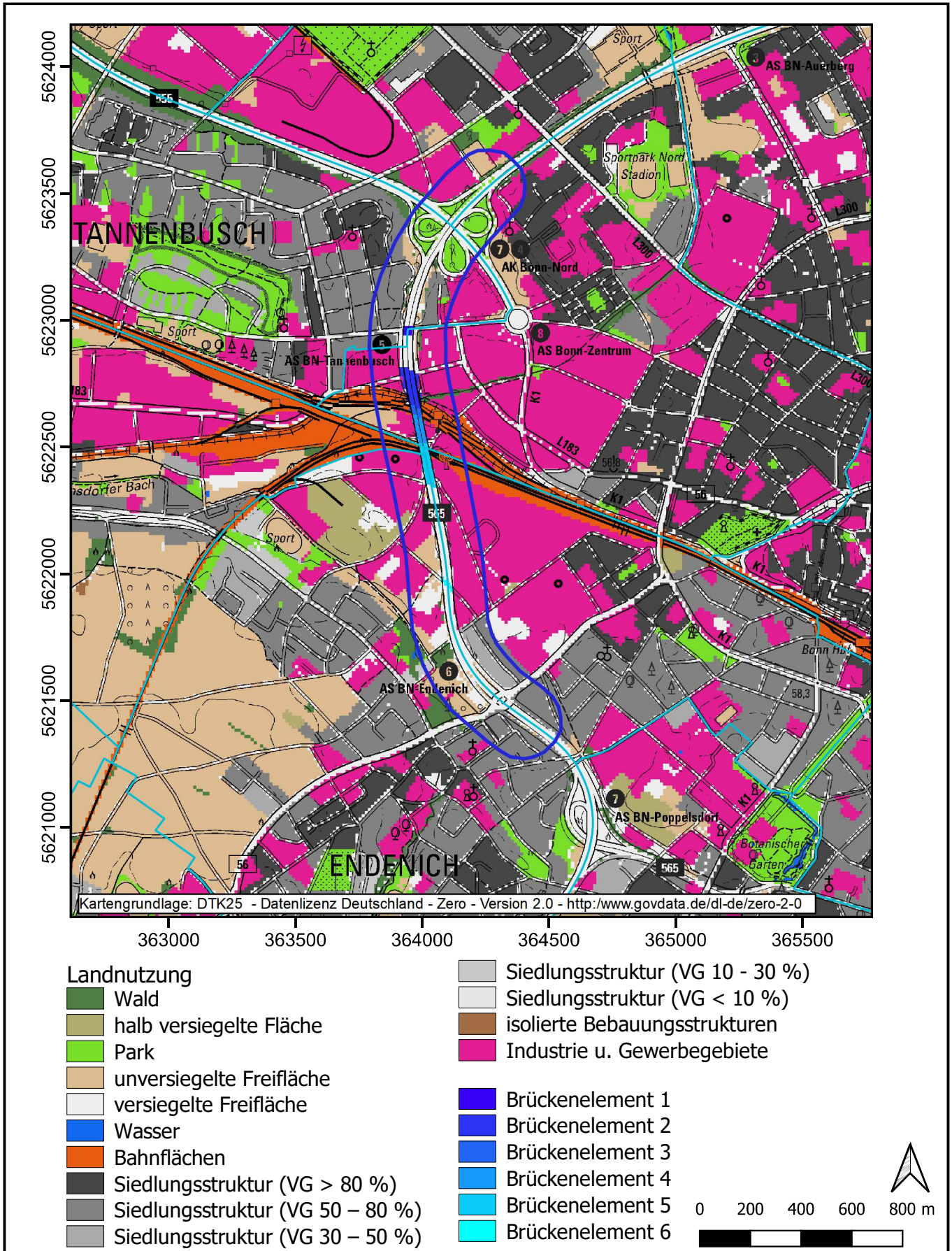




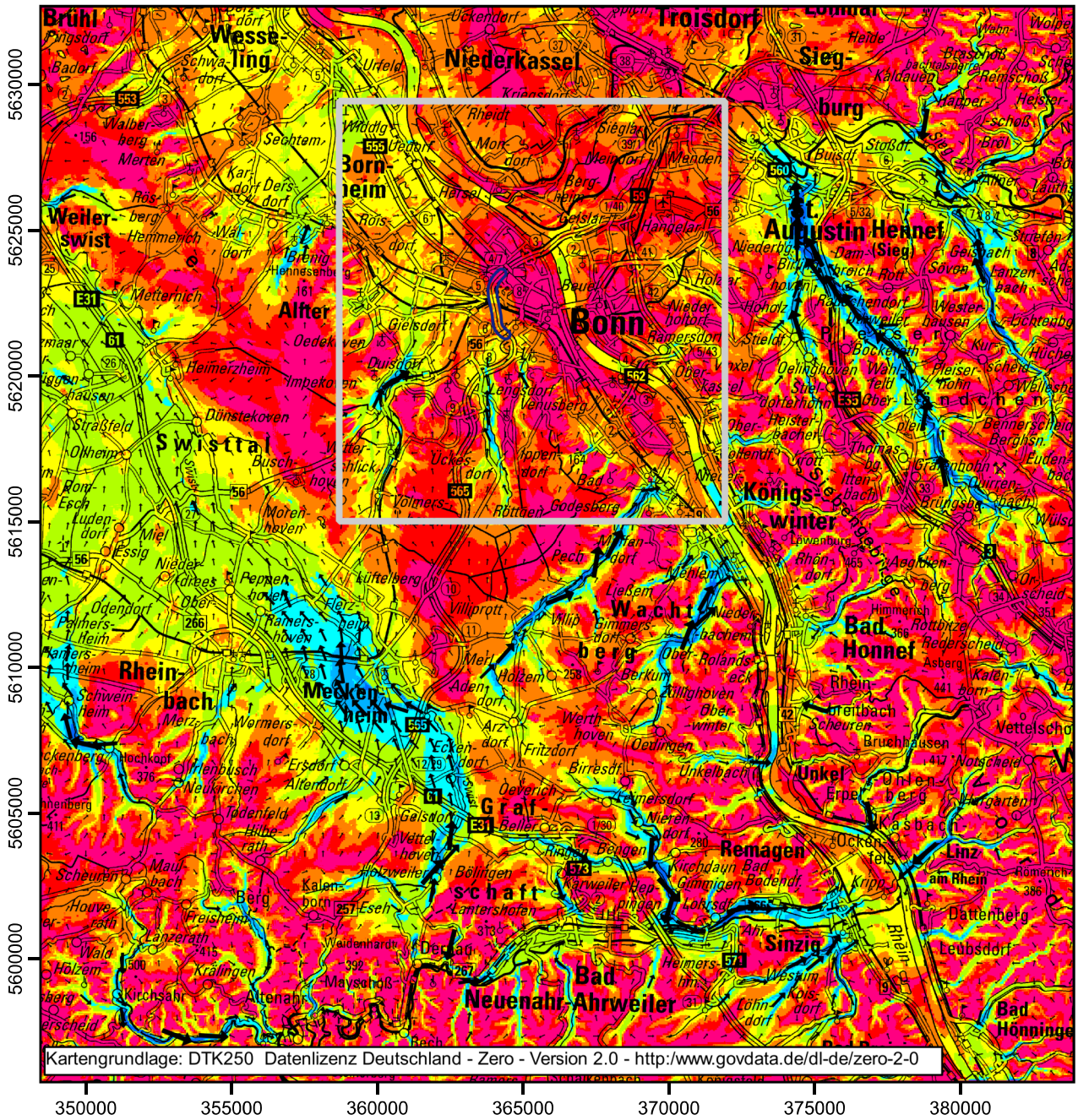








Anlage 11: Kaltluftvolumenstrom im Istfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang (gesamtes Untersuchungsgebiet)



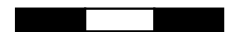
Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$]



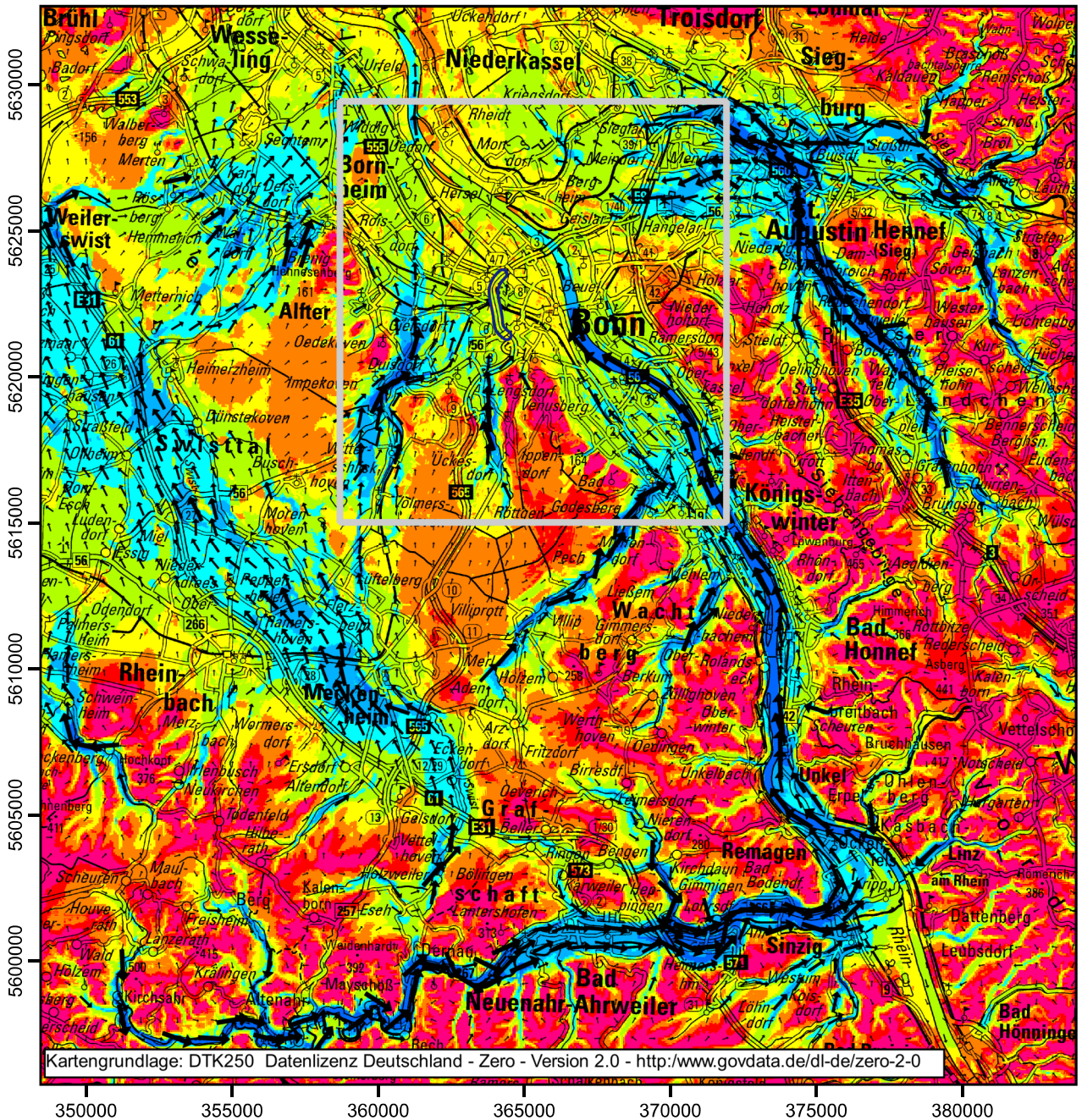
Nestinggebiet
 Ausbauabschnitt



0 2 4 6 km



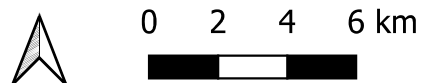
Anlage 12: Kaltluftvolumenstrom im Istfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang (gesamtes Untersuchungsgebiet)



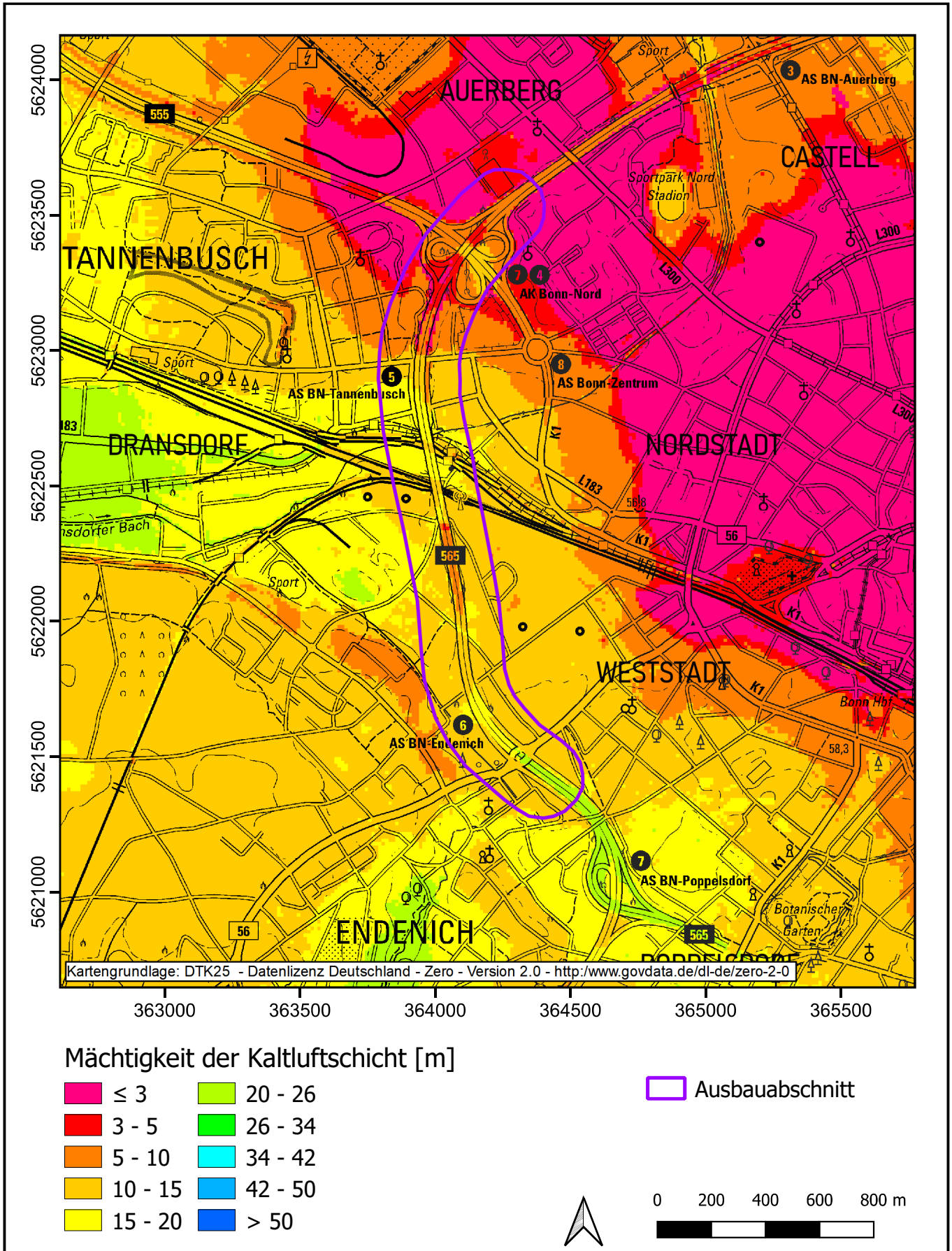
Kaltluftvolumenstrom [$\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$]



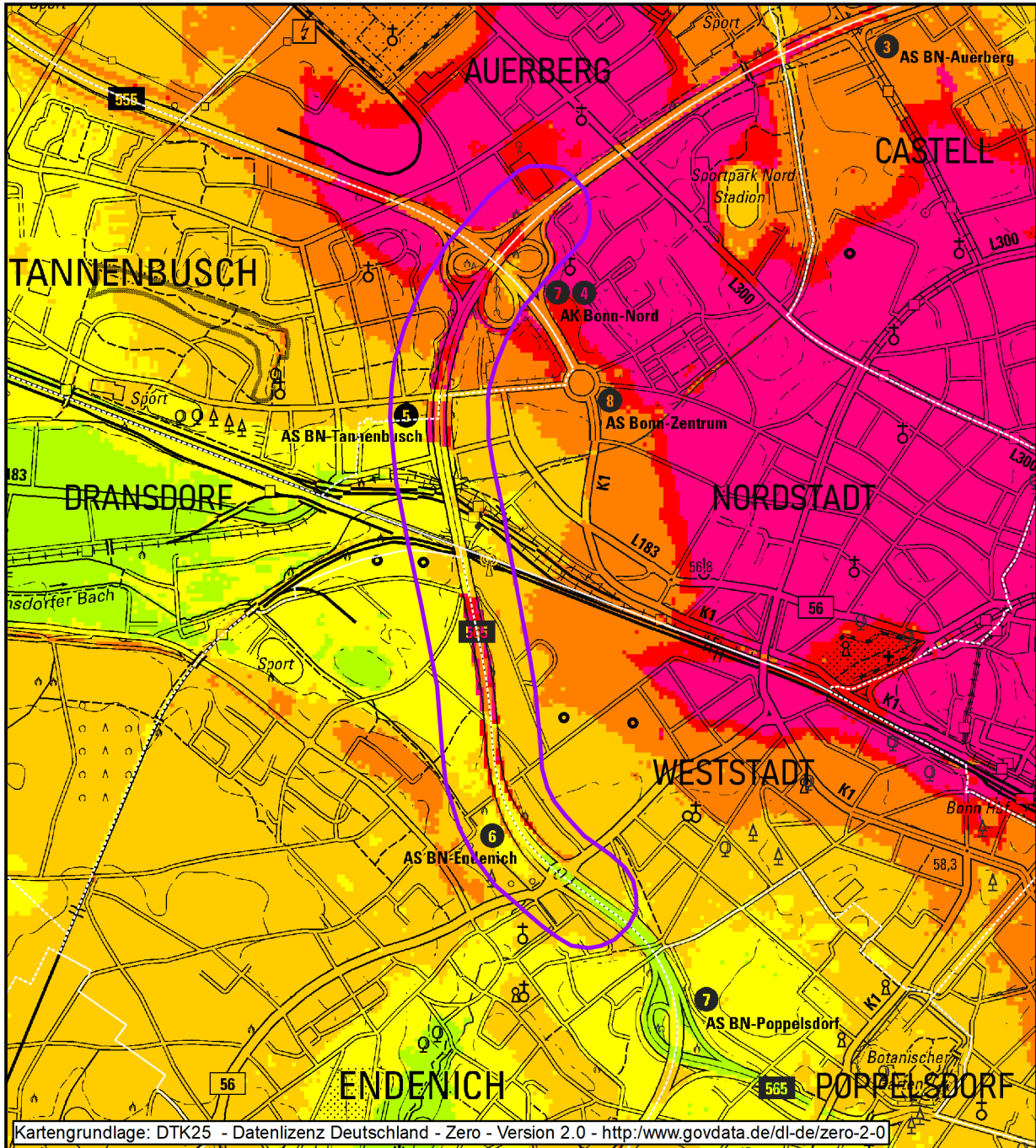
Nestinggebiet
 Ausbauabschnitt



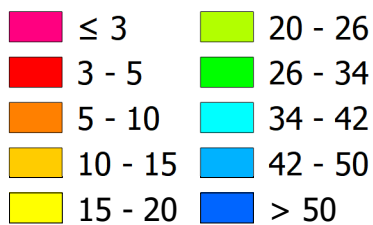
Anlage 13: Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Istfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



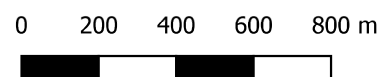
Anlage 14: Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Planfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



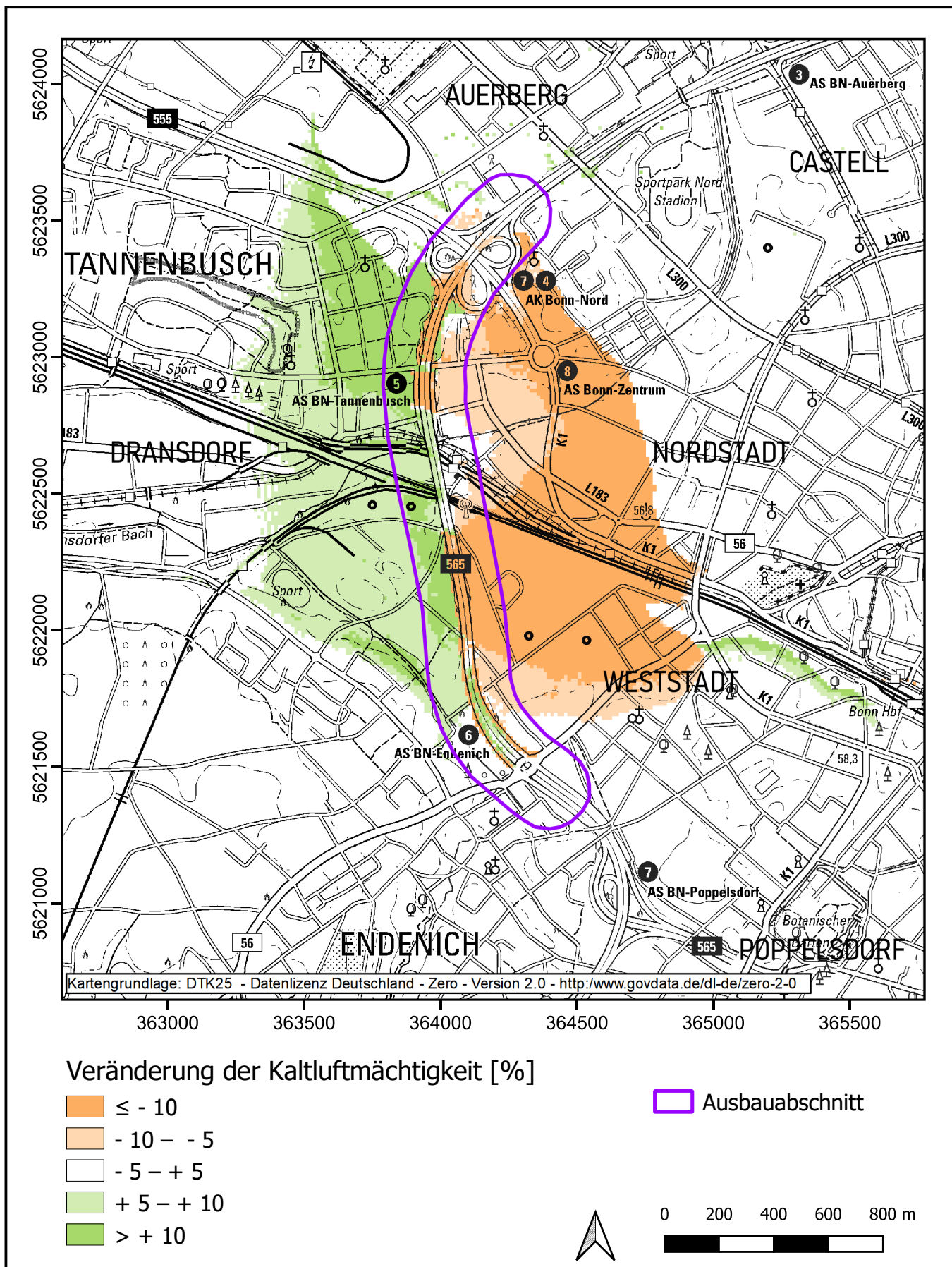
Mächtigkeit der Kaltluftschicht [m]



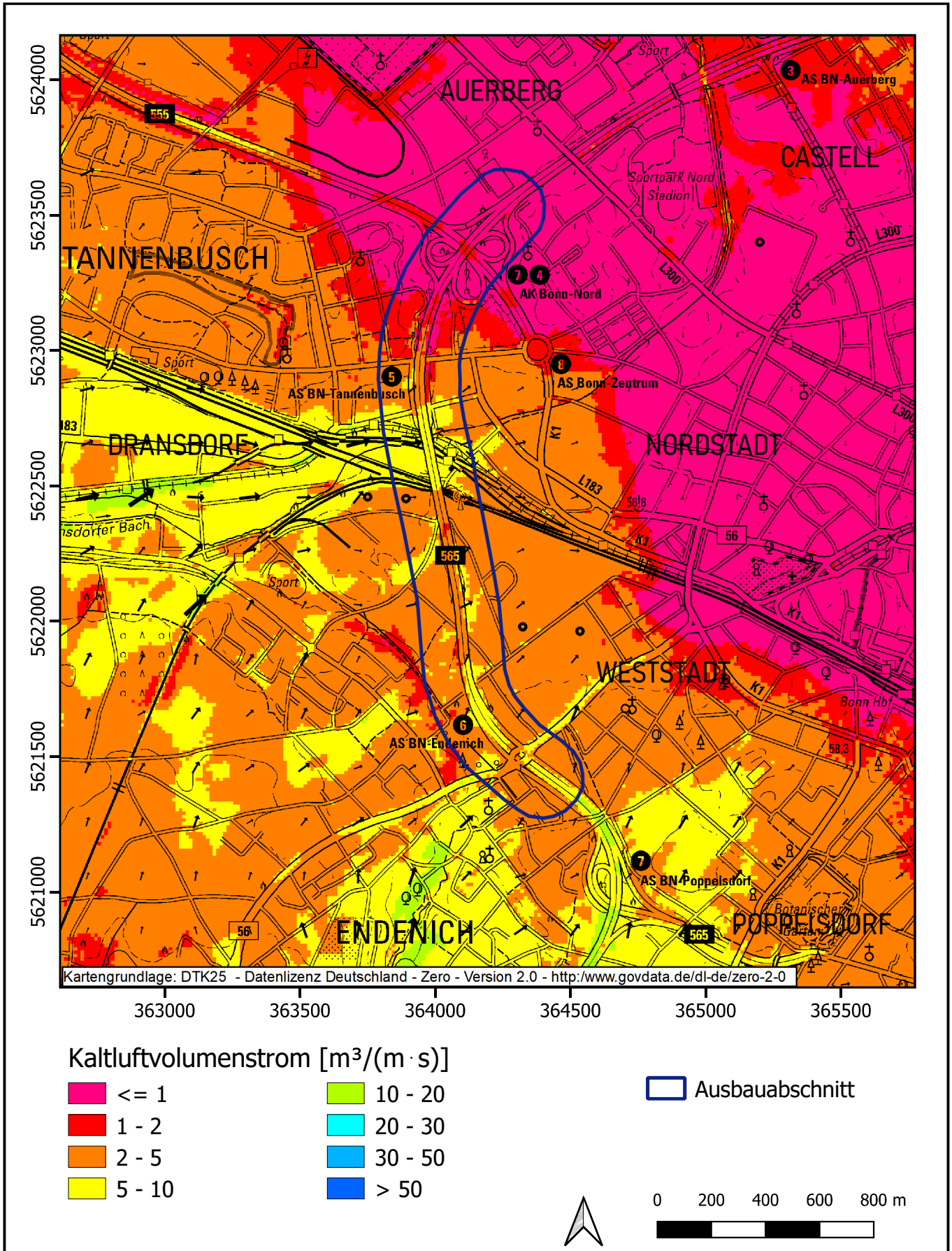
Ausbauabschnitt



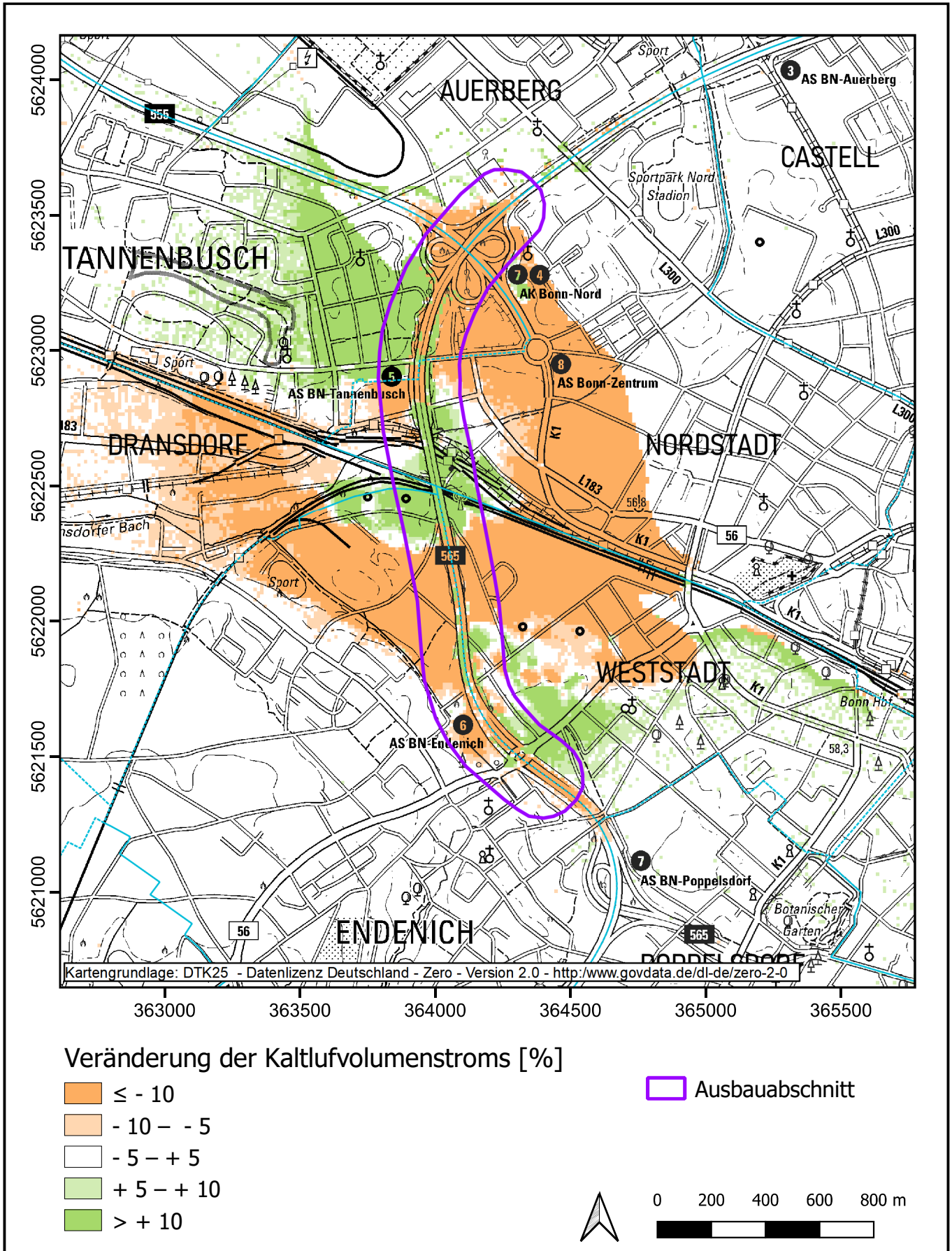
Anlage 15: Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



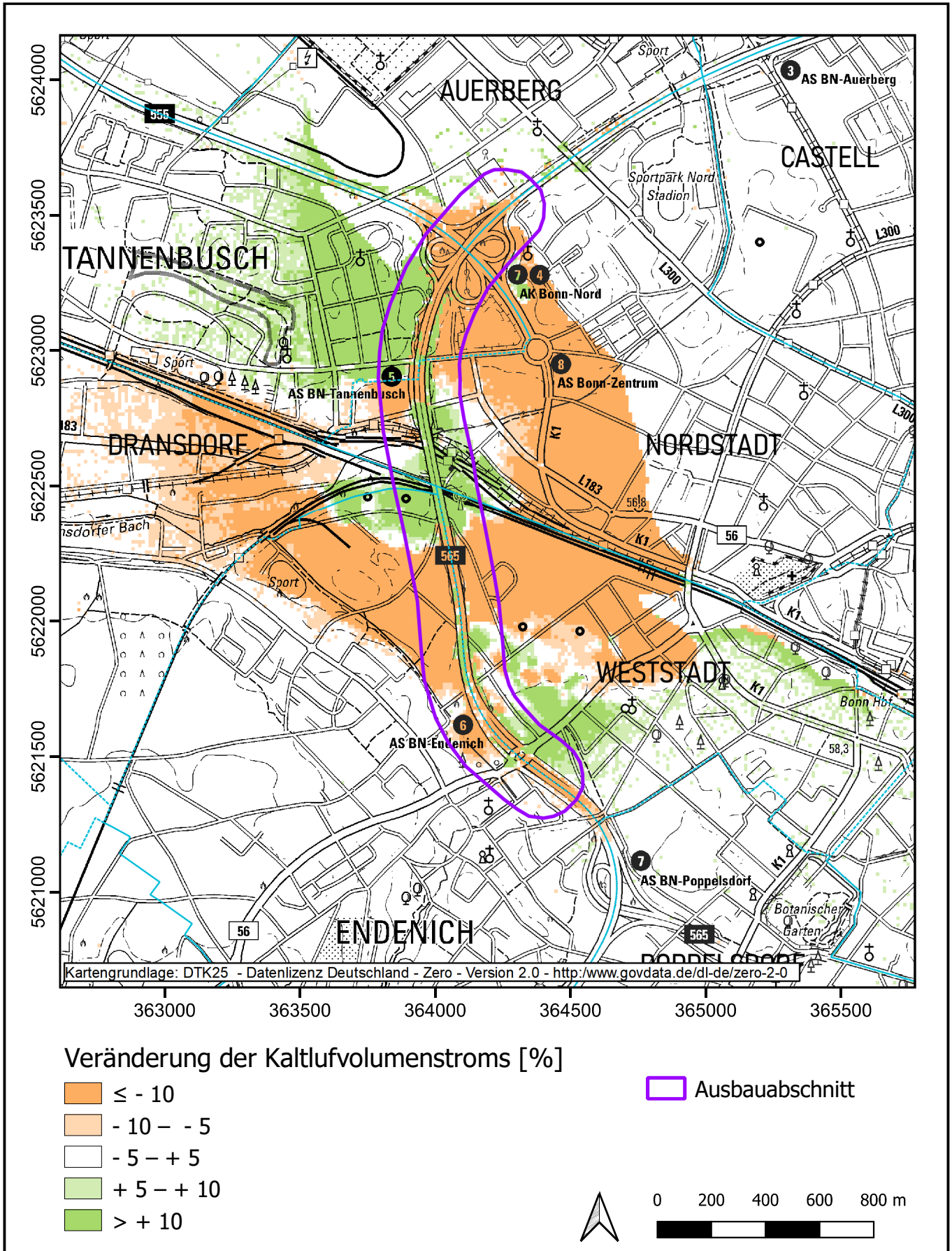
Anlage 16: Kaltluftvolumenstrom im Istfall zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



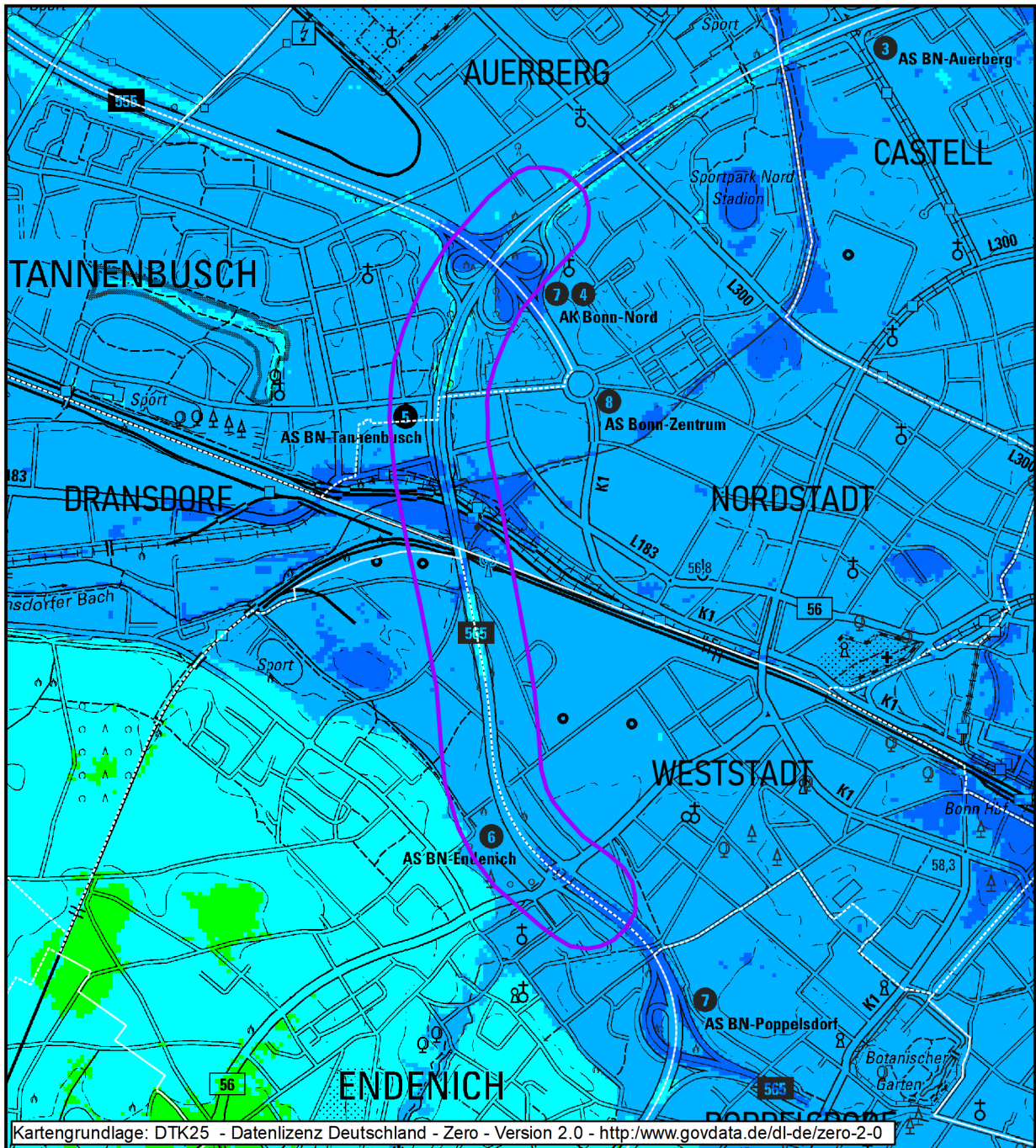
Anlage 18: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



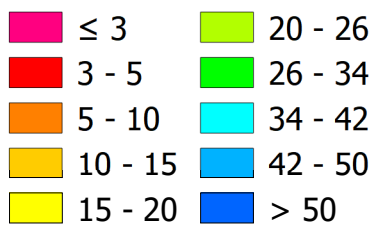
Anlage 18: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms zwei Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens




Anlage 19: Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Istfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



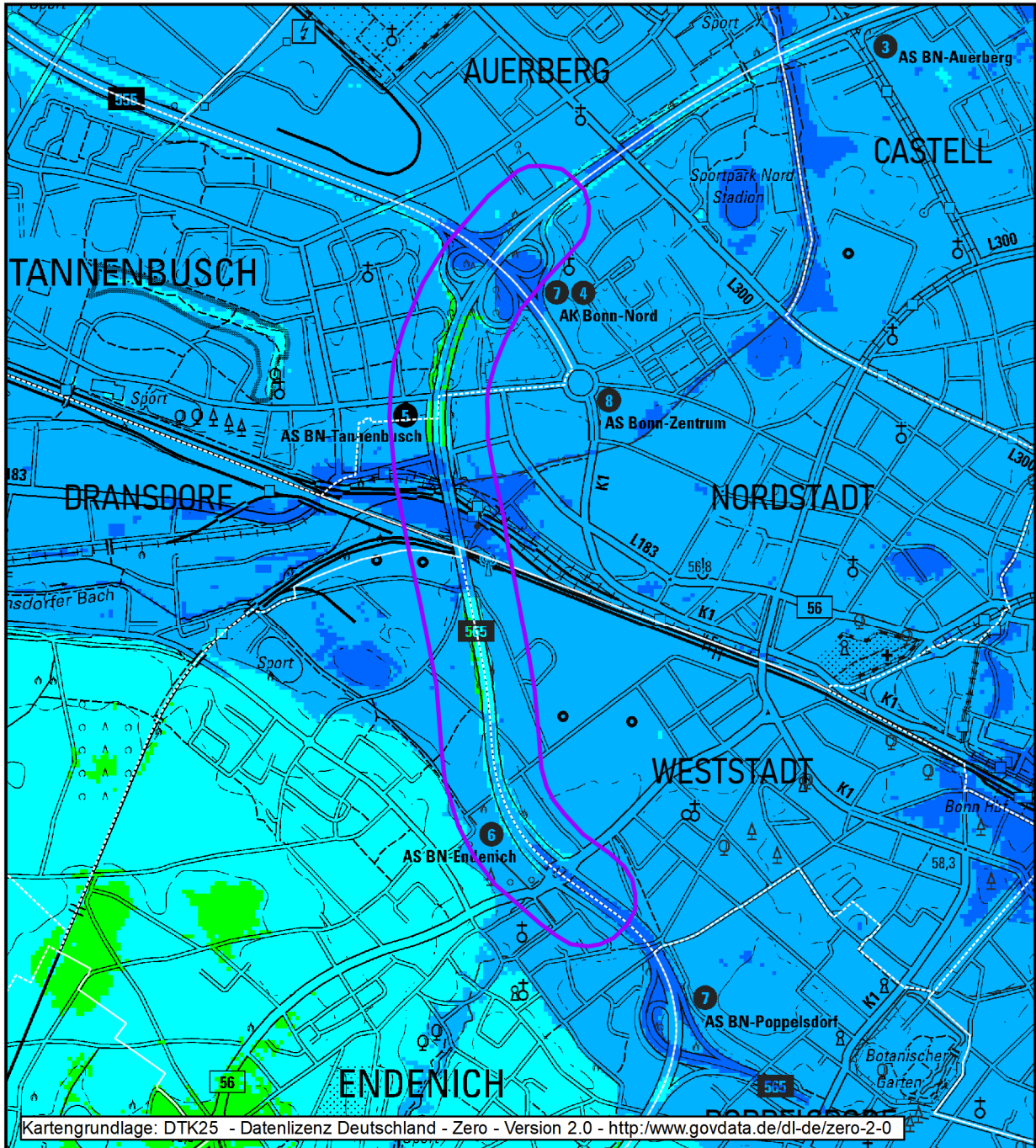
Mächtigkeit der Kaltluftschicht [m]



 Ausbauabschnitt




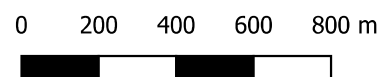
Anlage 20: Mächtigkeit der Kaltluftschicht im Planfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



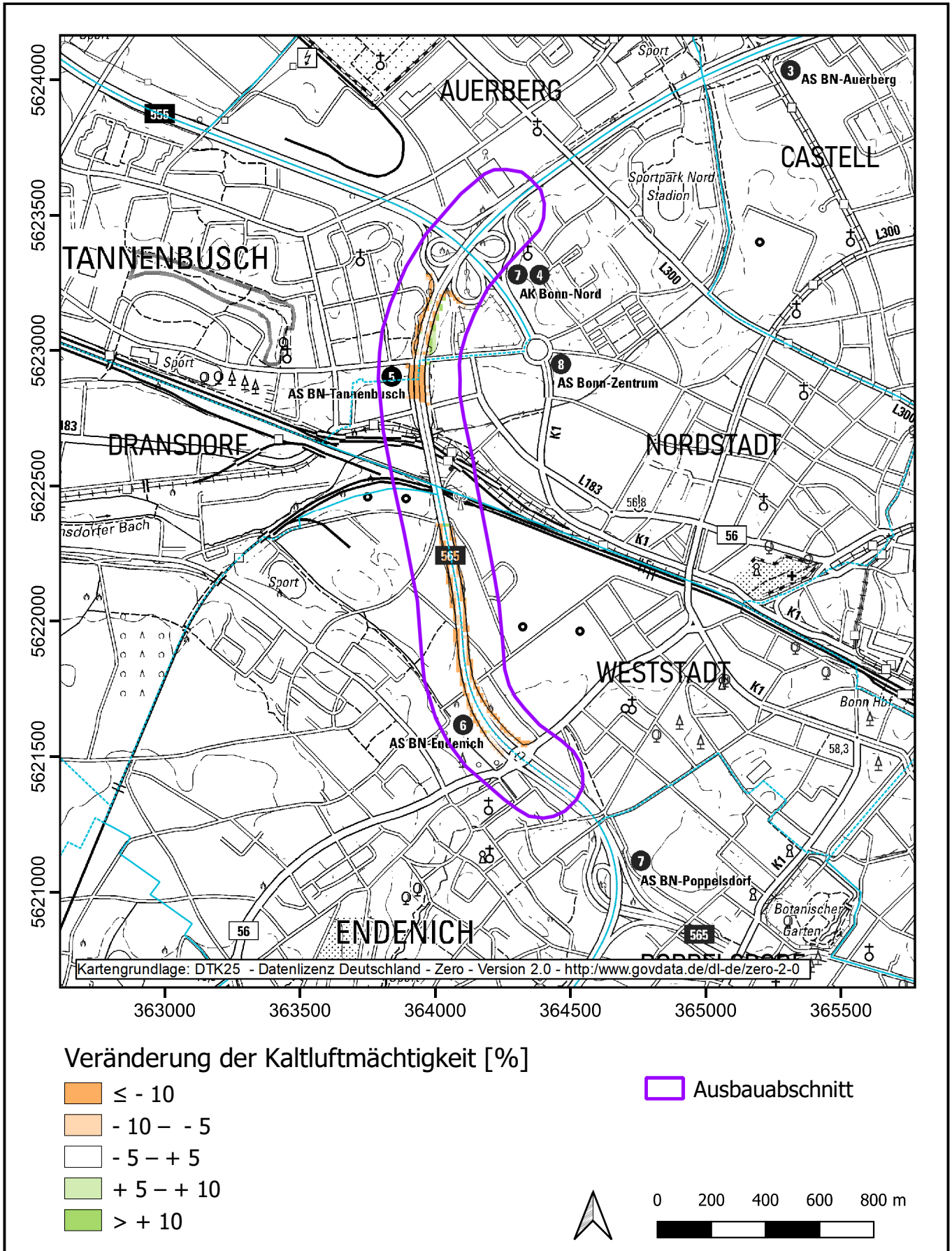
Mächtigkeit der Kaltluftschicht [m]



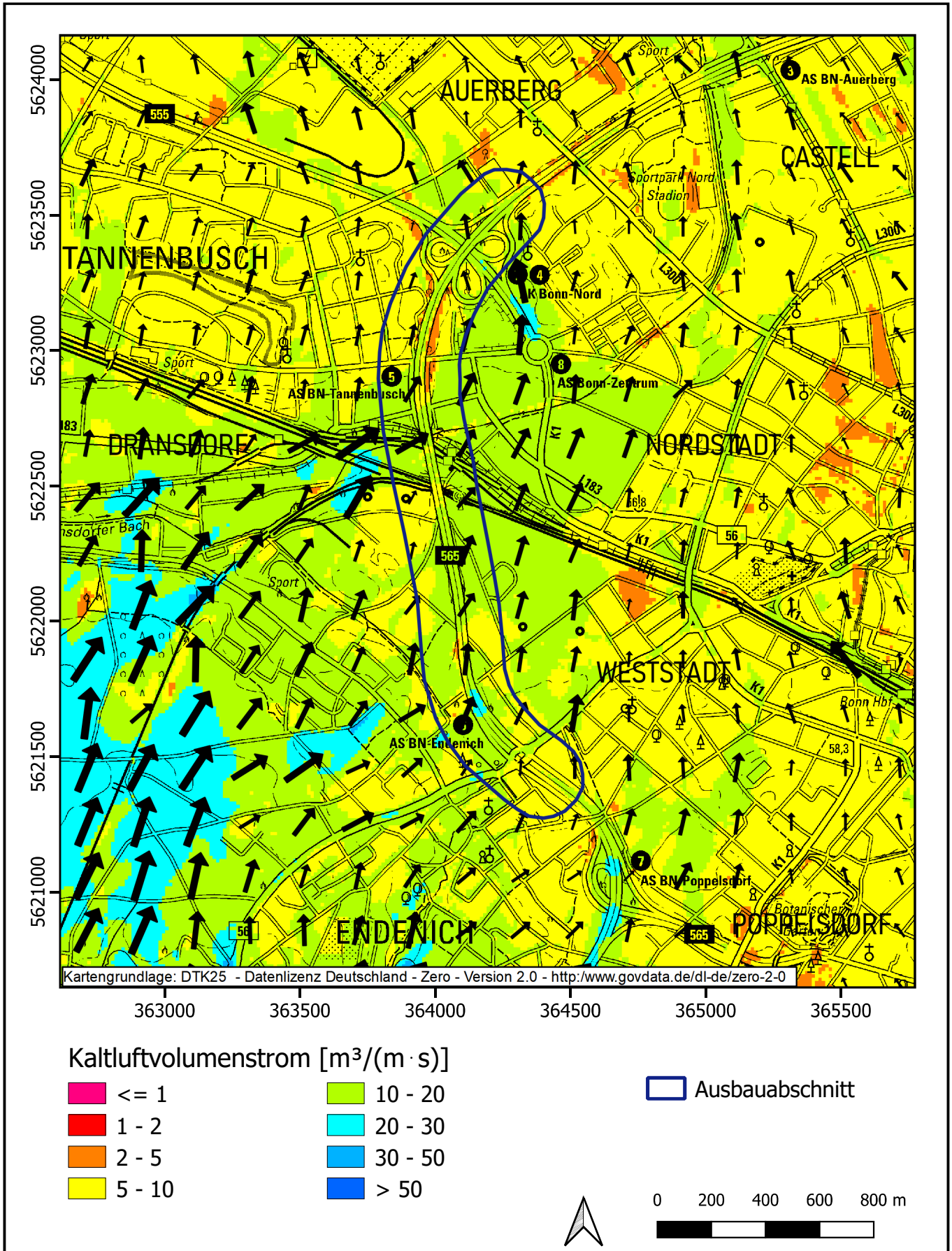
 Ausbauabschnitt



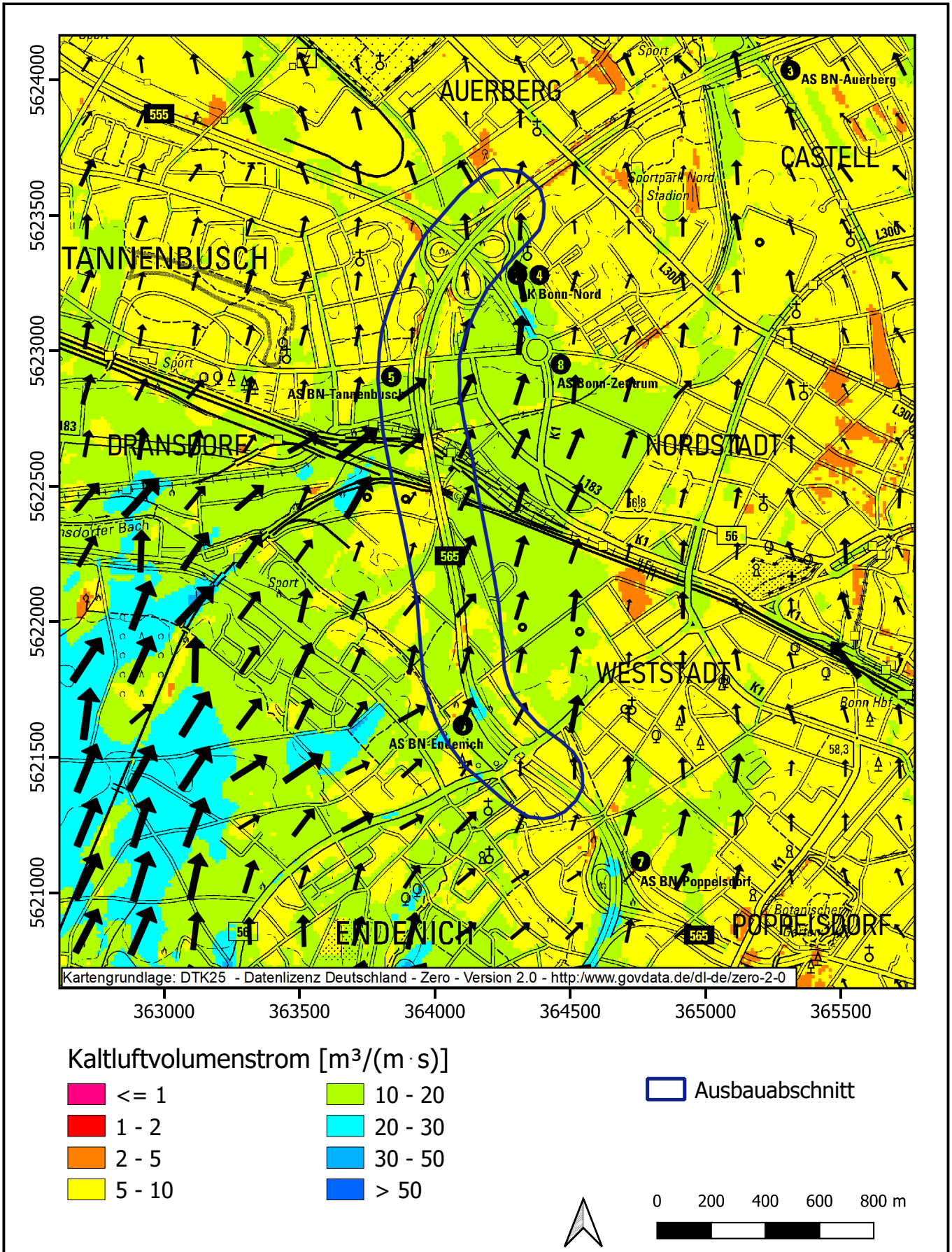
Anlage 21: Prozentuale Änderung der Kaltluftmächtigkeit sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens



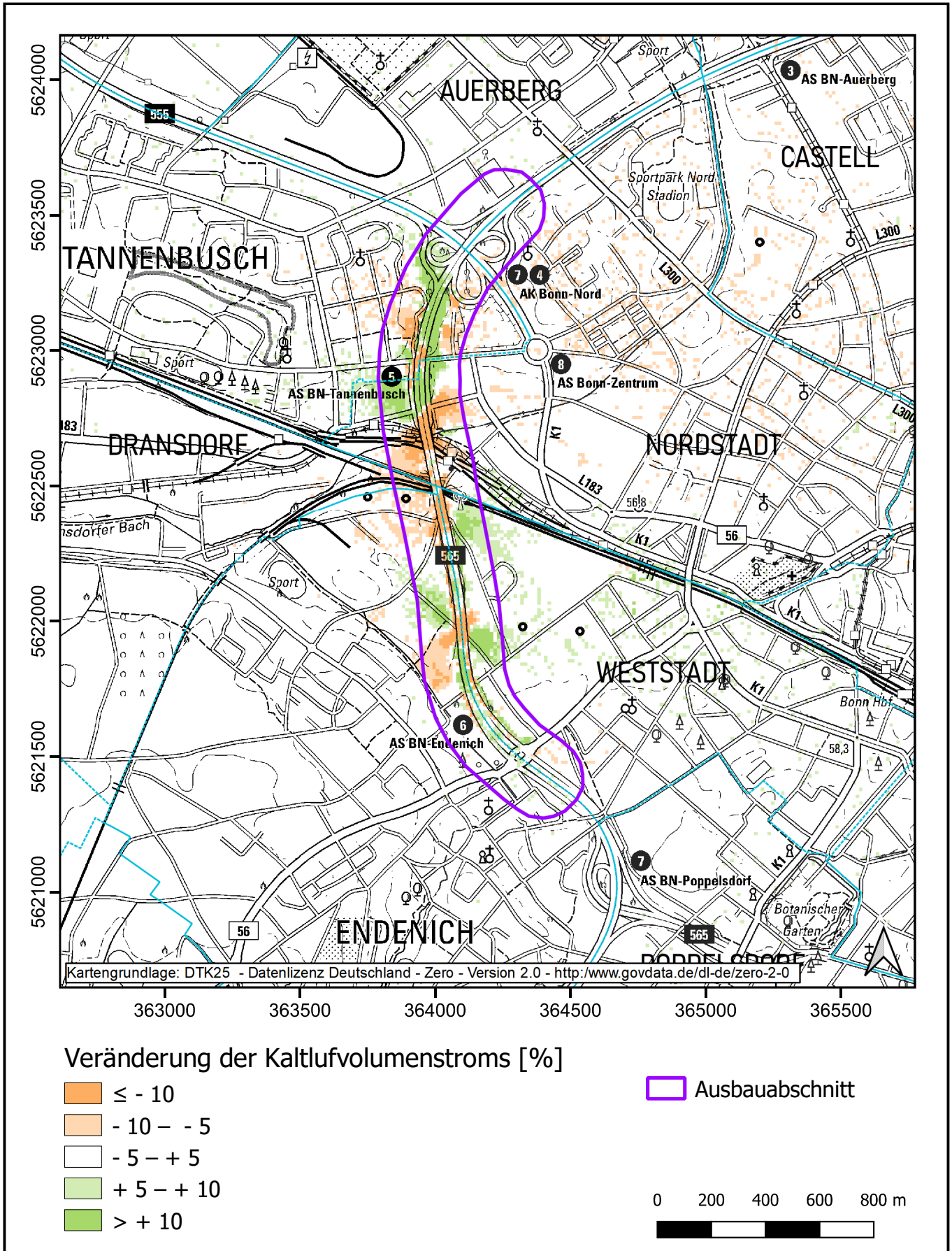
Anlage 22: Kaltluftvolumenstrom im Istfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

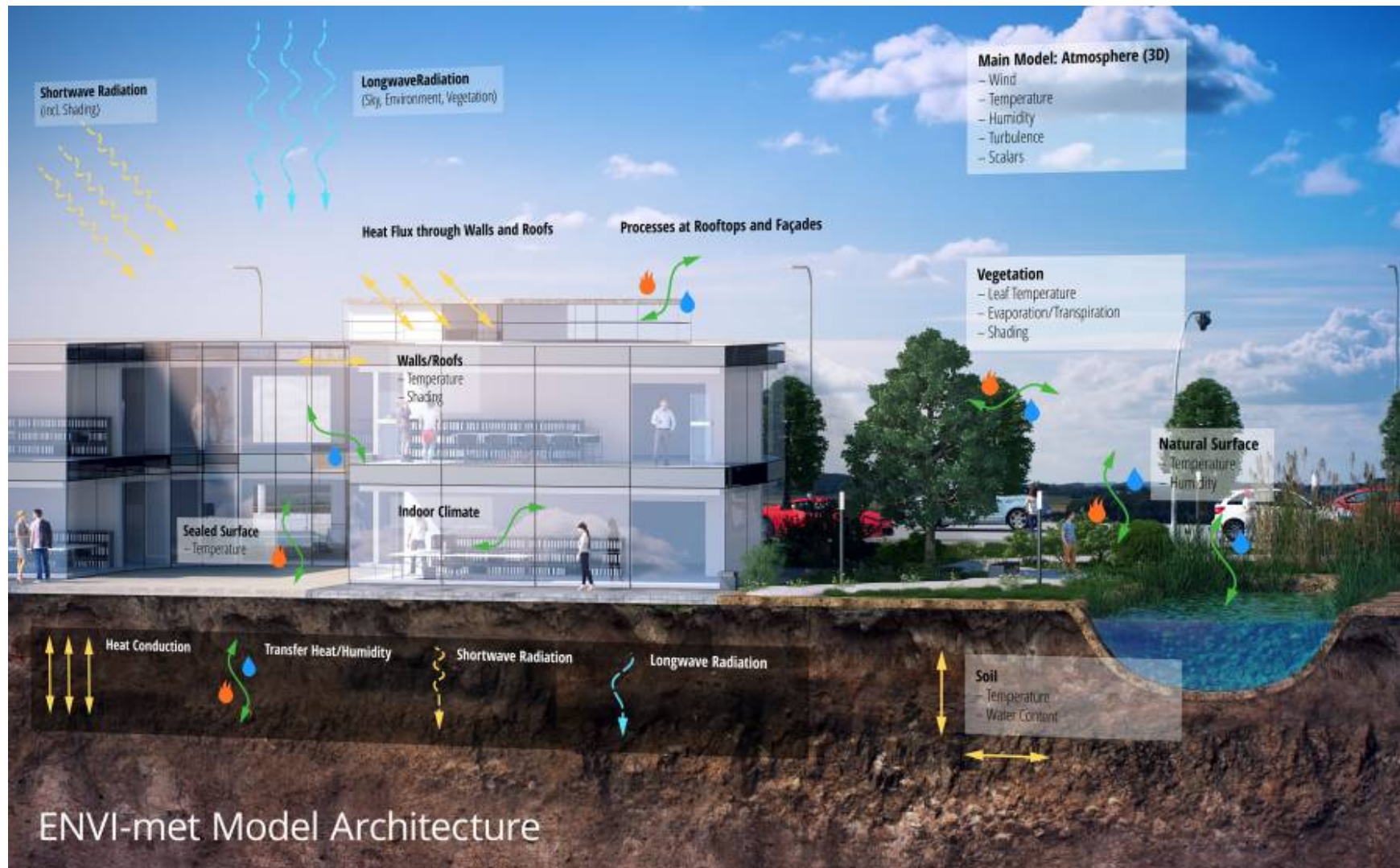


Anlage 23: Kaltluftvolumenstrom im Planfall sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

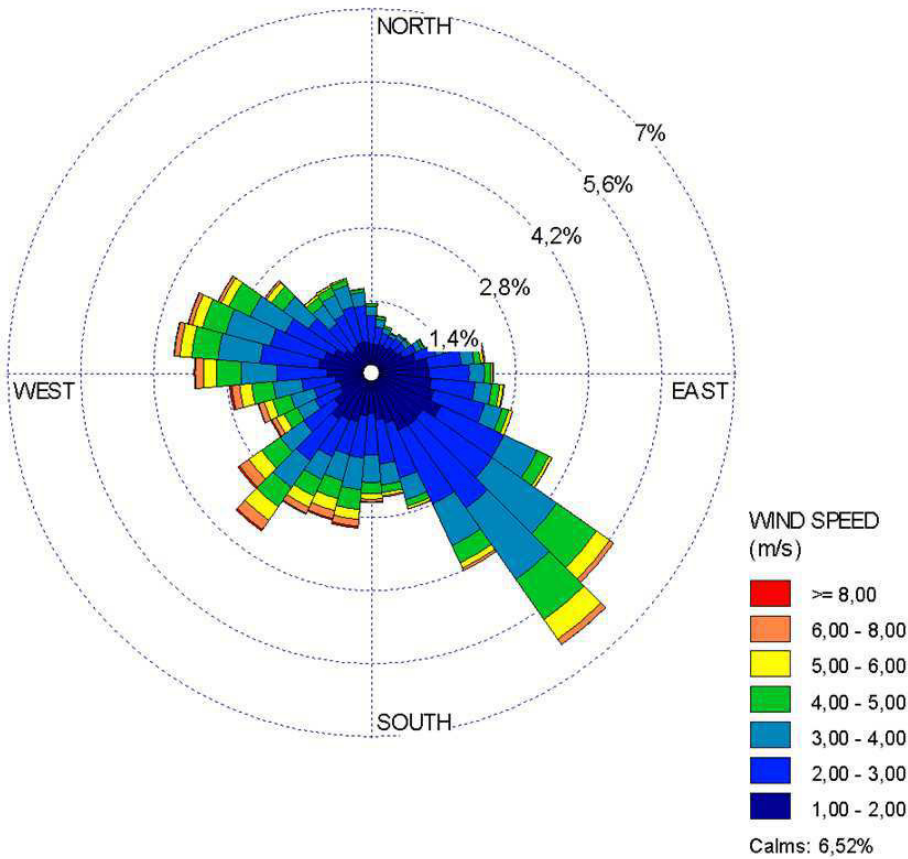


Anlage 24: Prozentuale Änderung des Kaltluftvolumenstroms sechs Stunden nach Sonnenuntergang im Umfeld des Planvorhabens

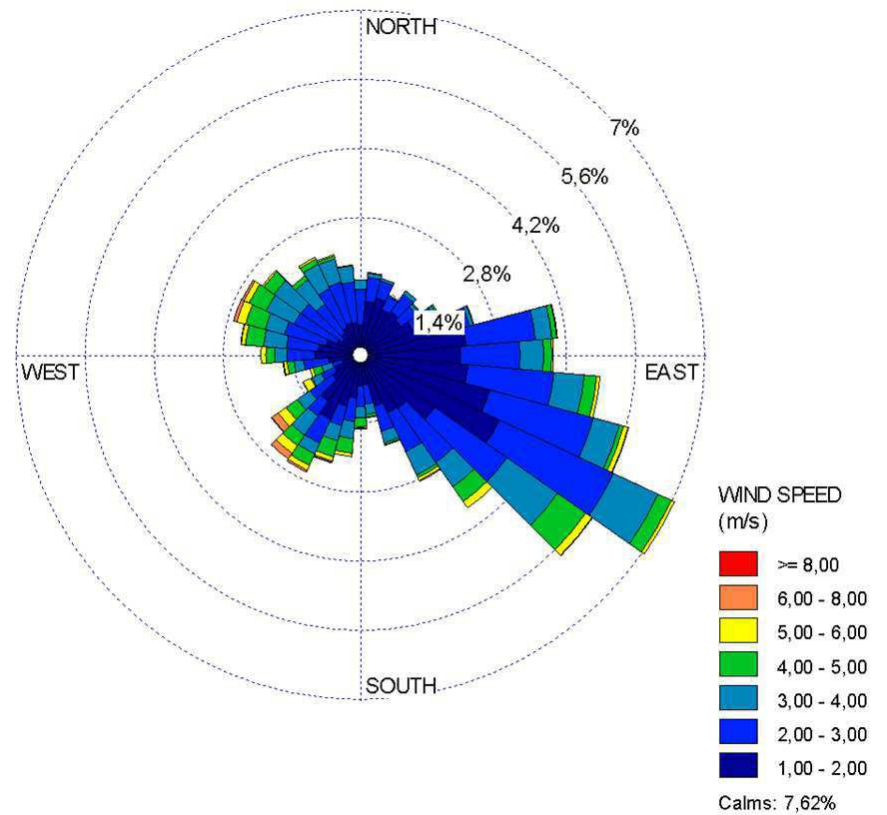


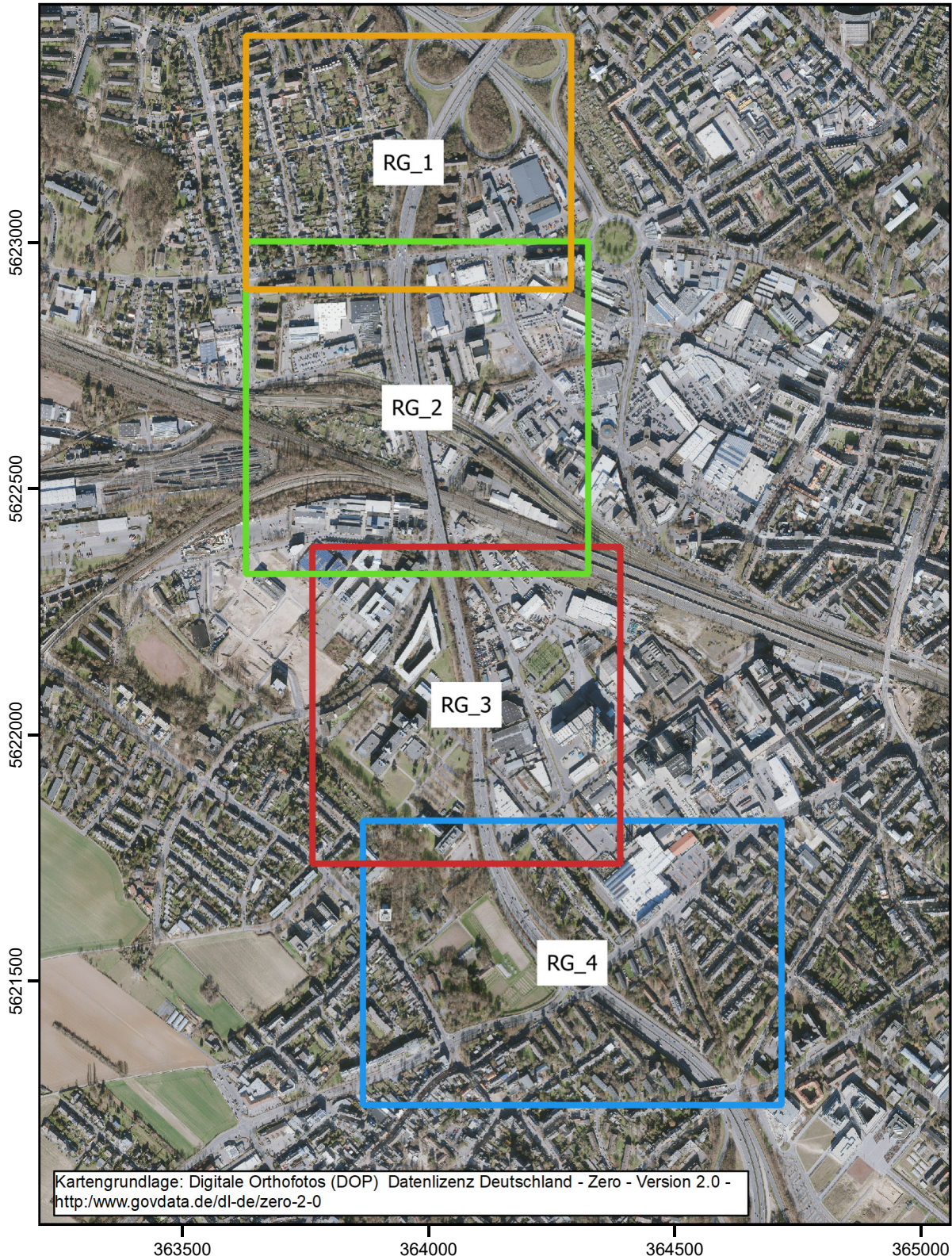


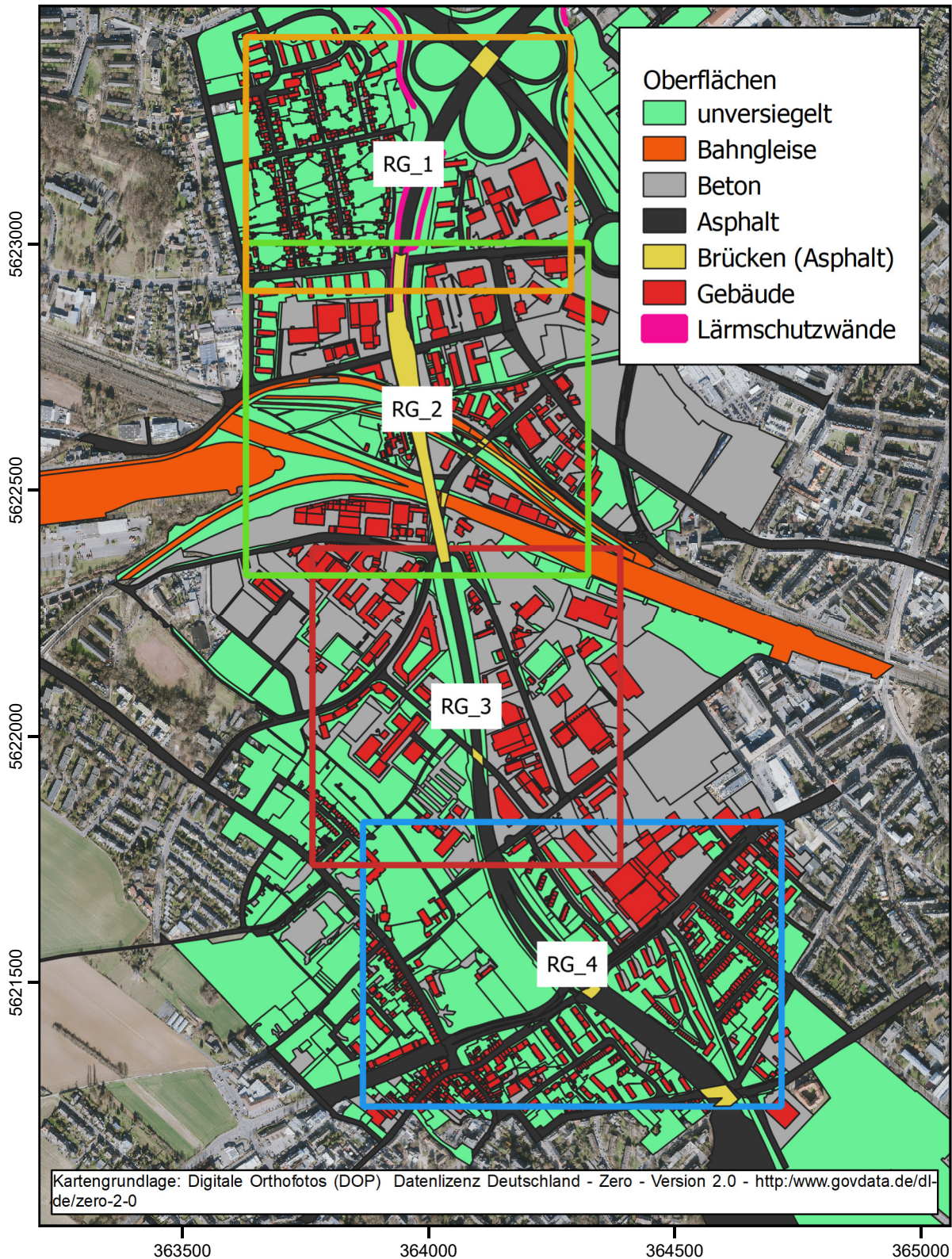
- alle Situationen -

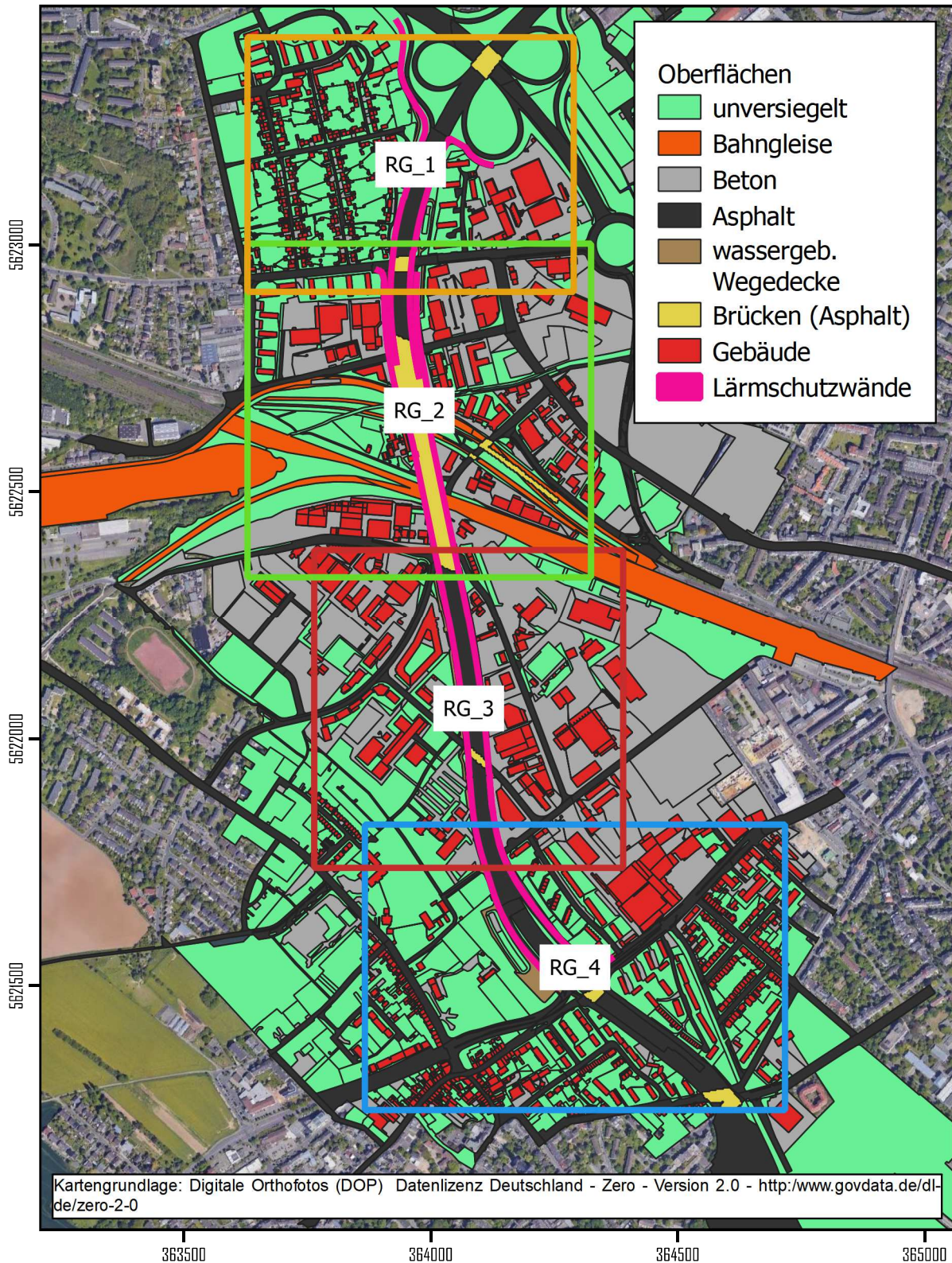


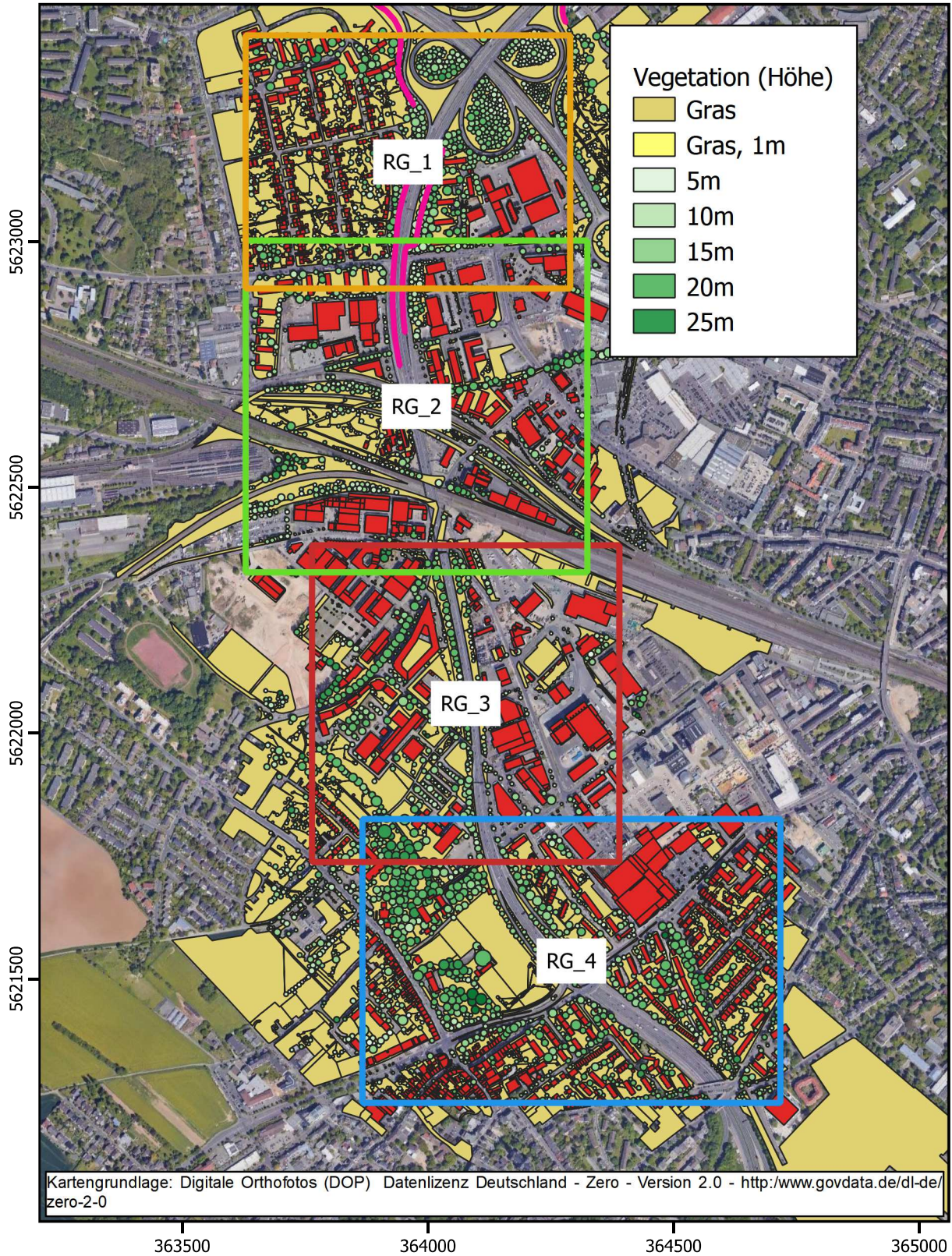
- Tage mit Tmx > 30°C -





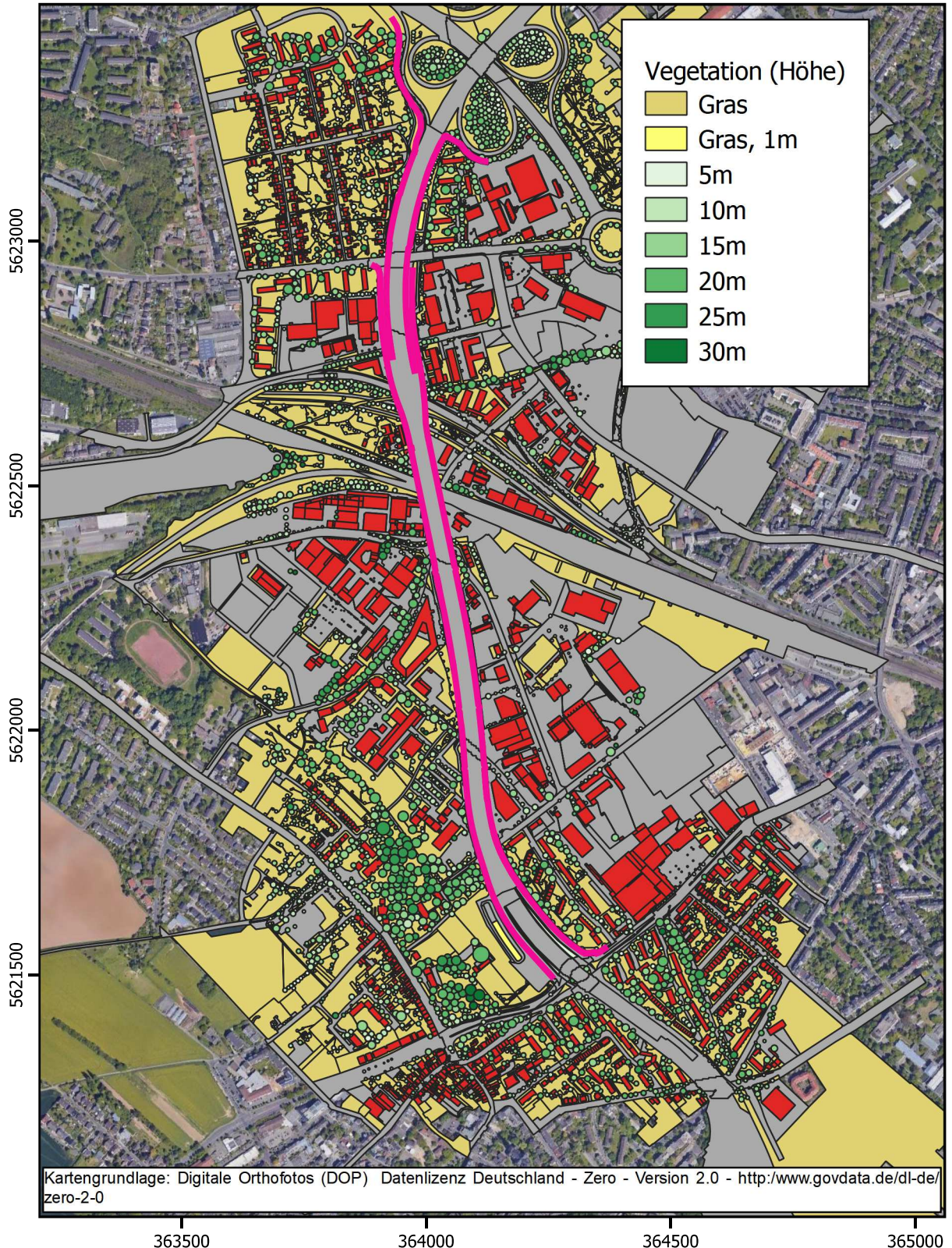






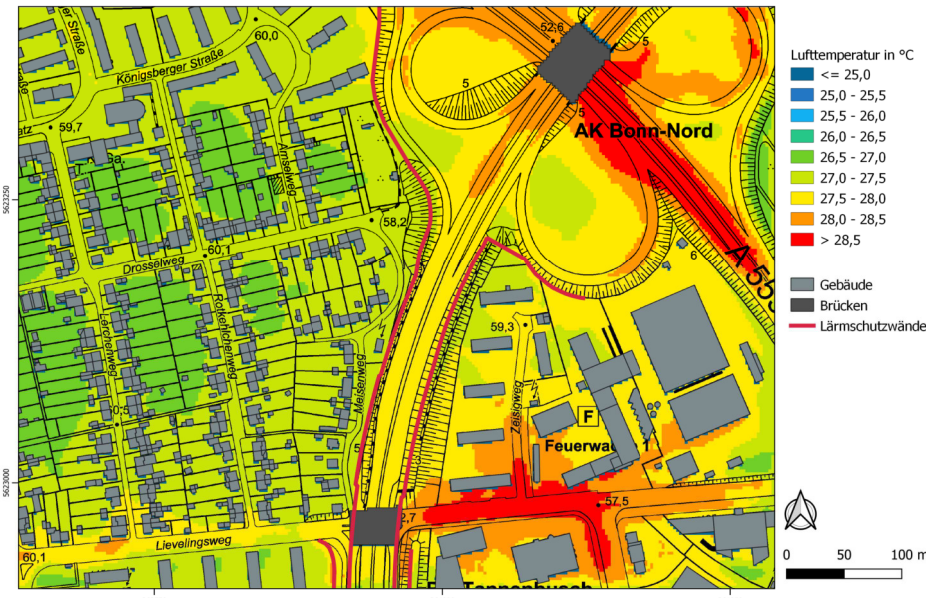
0 200 400 600 800 m



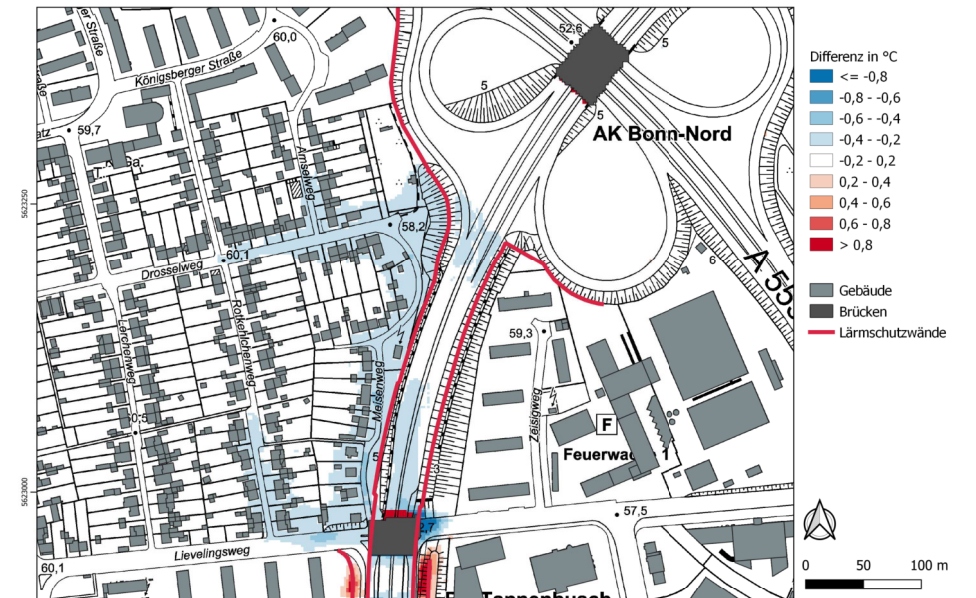




Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



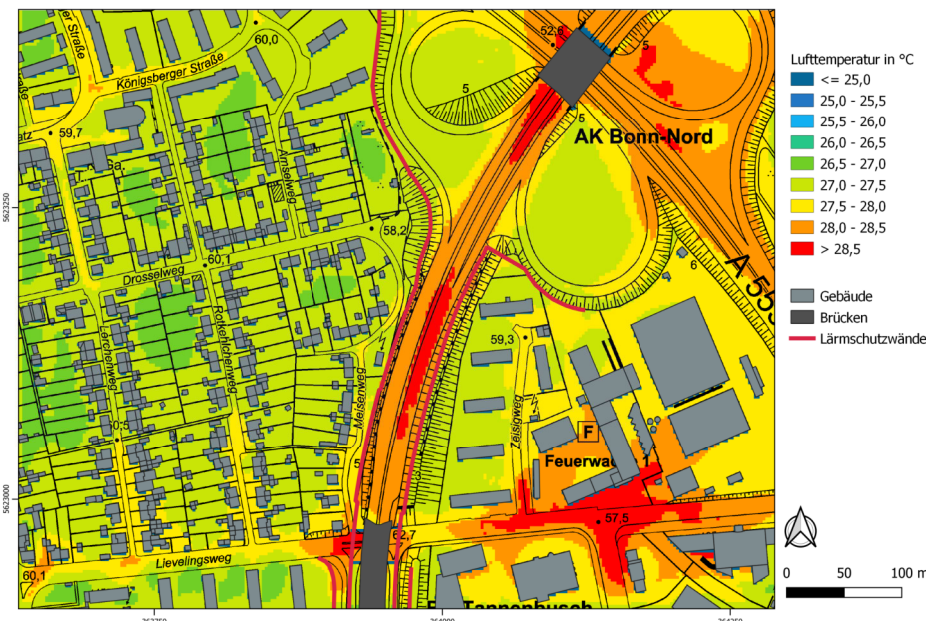
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



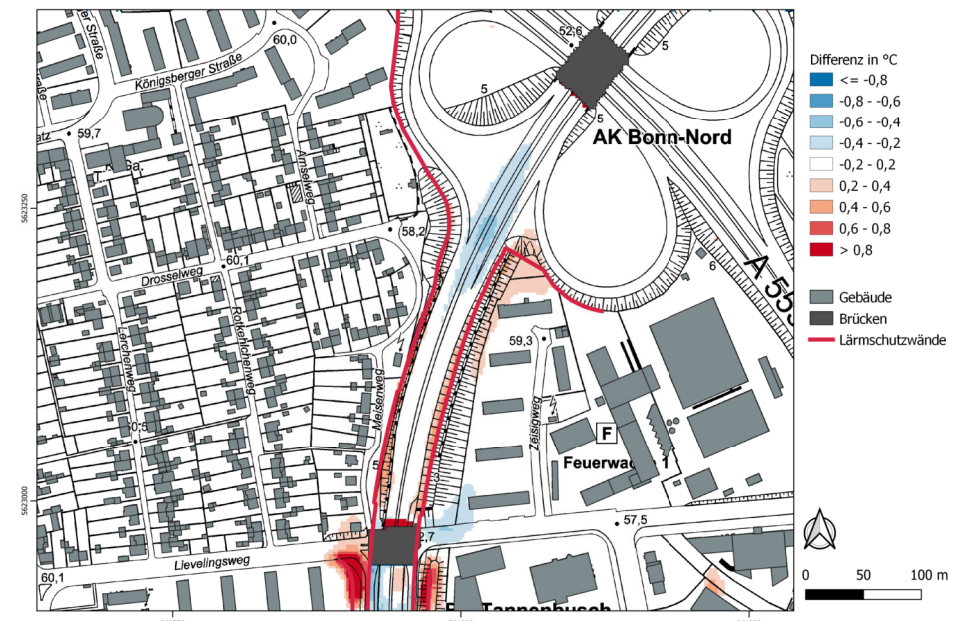
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



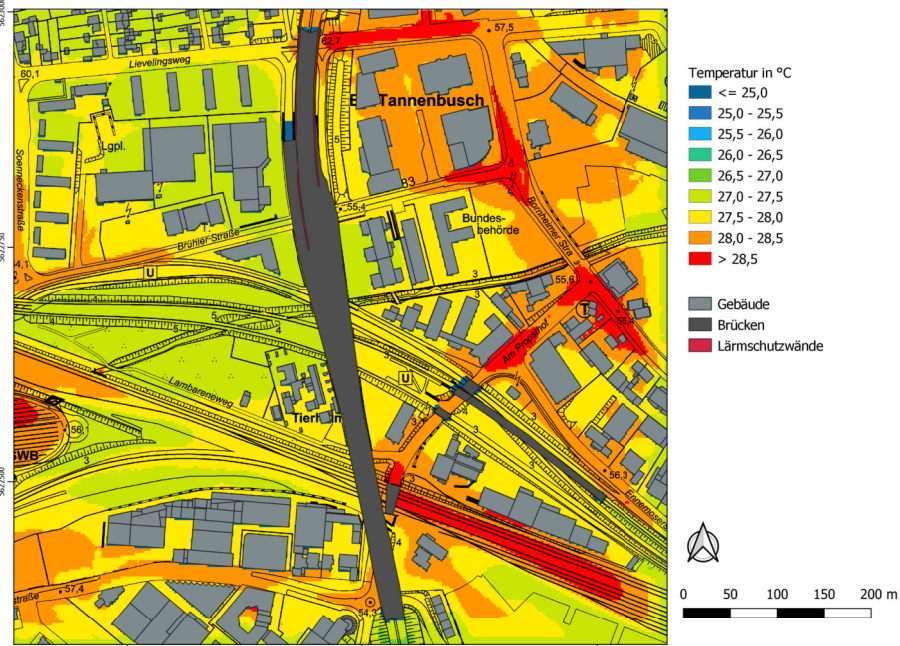
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



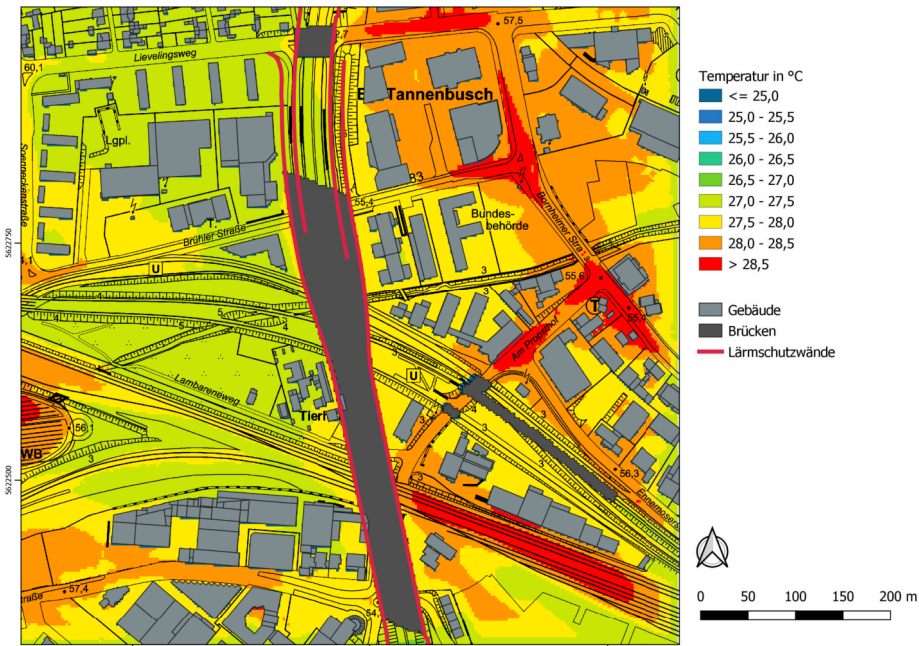
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



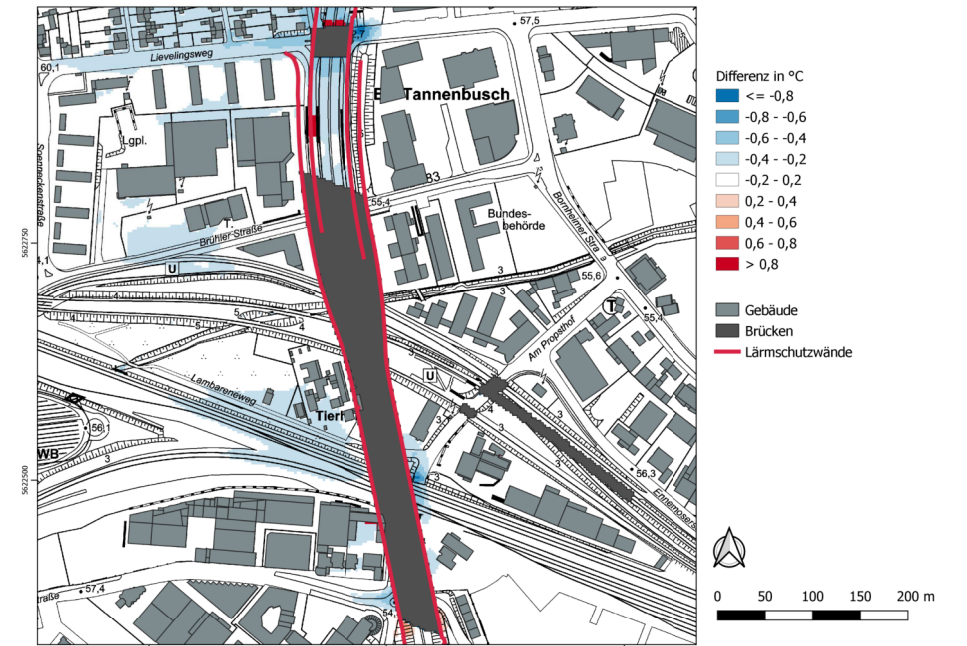
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



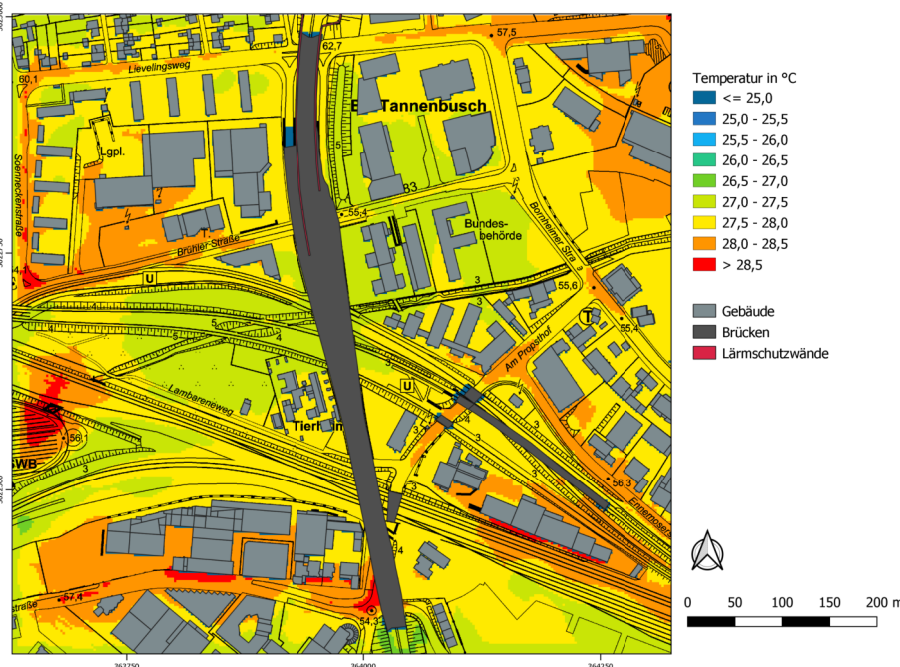
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



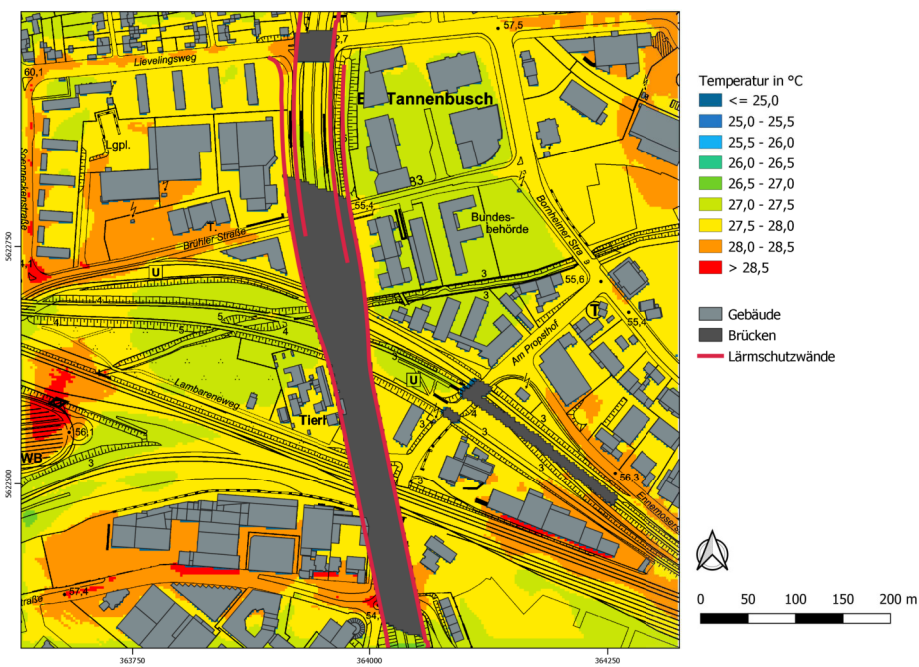
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



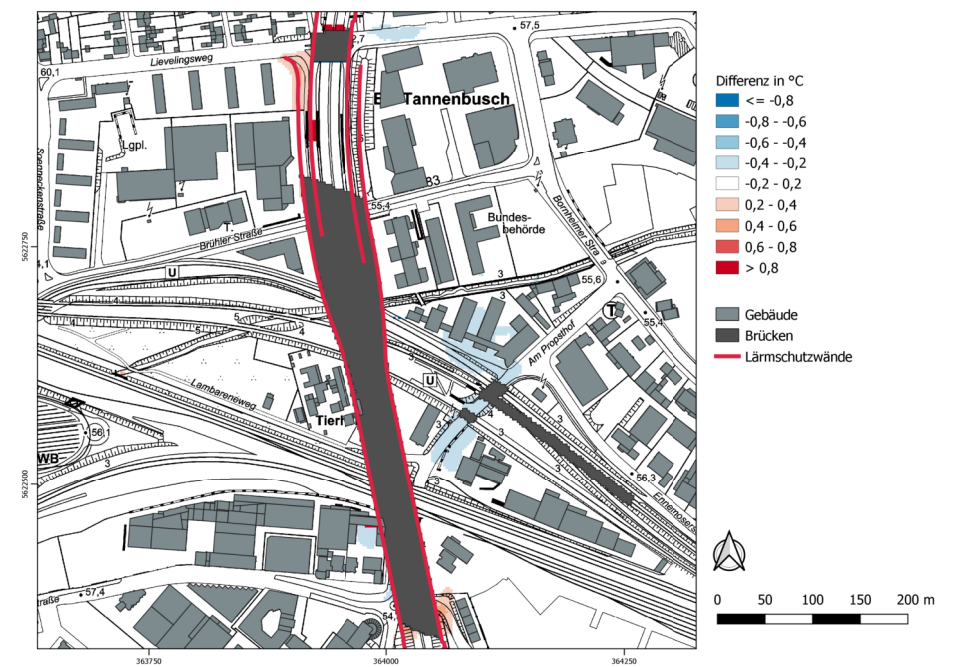
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



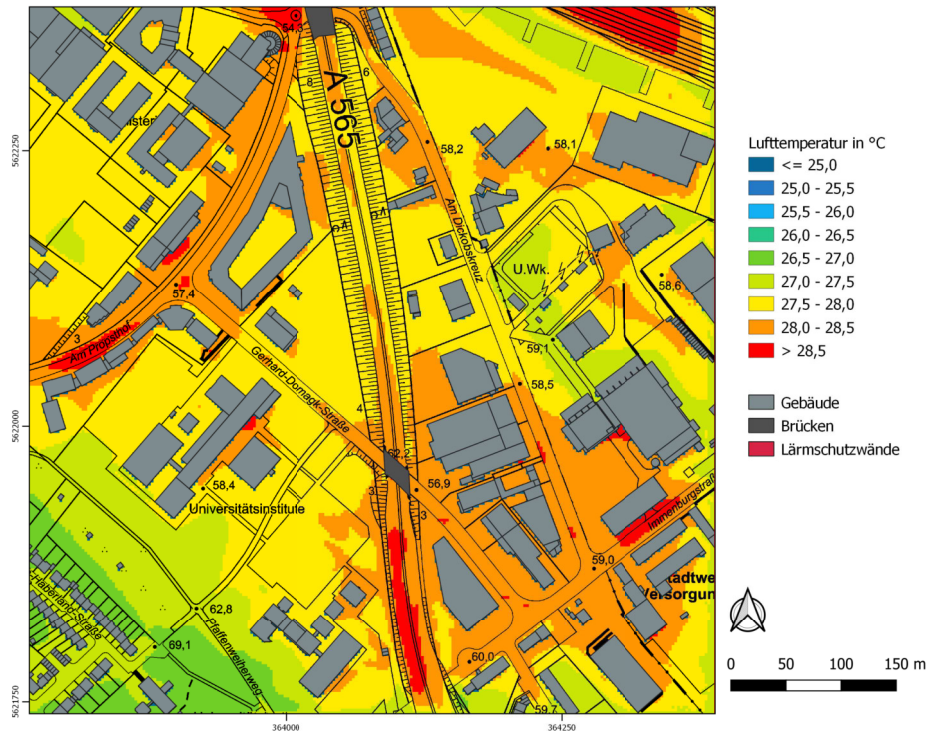
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



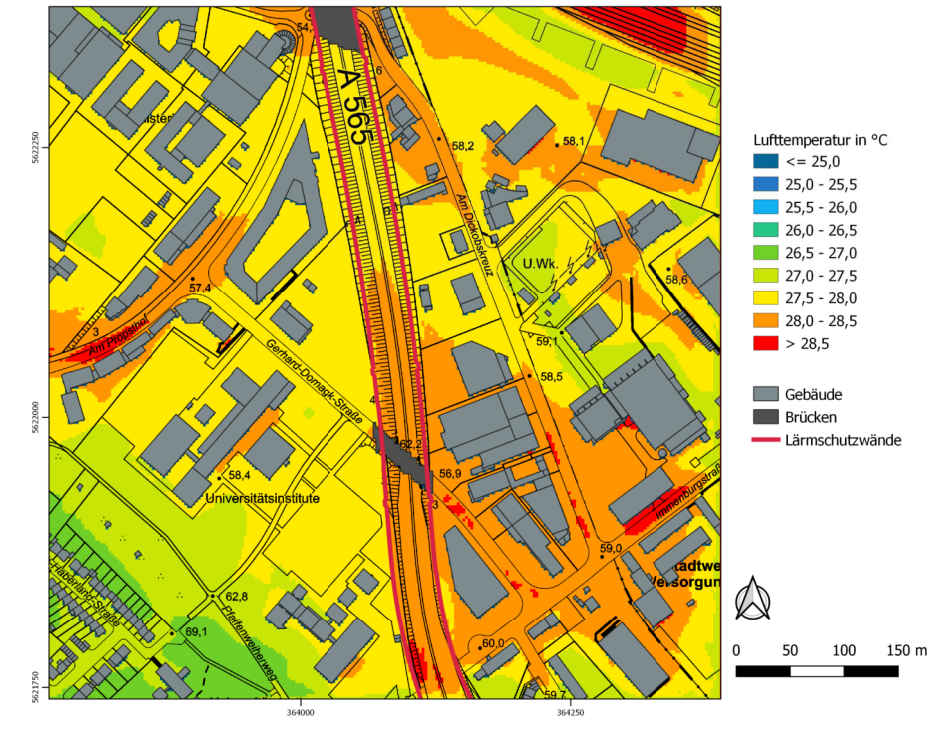
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



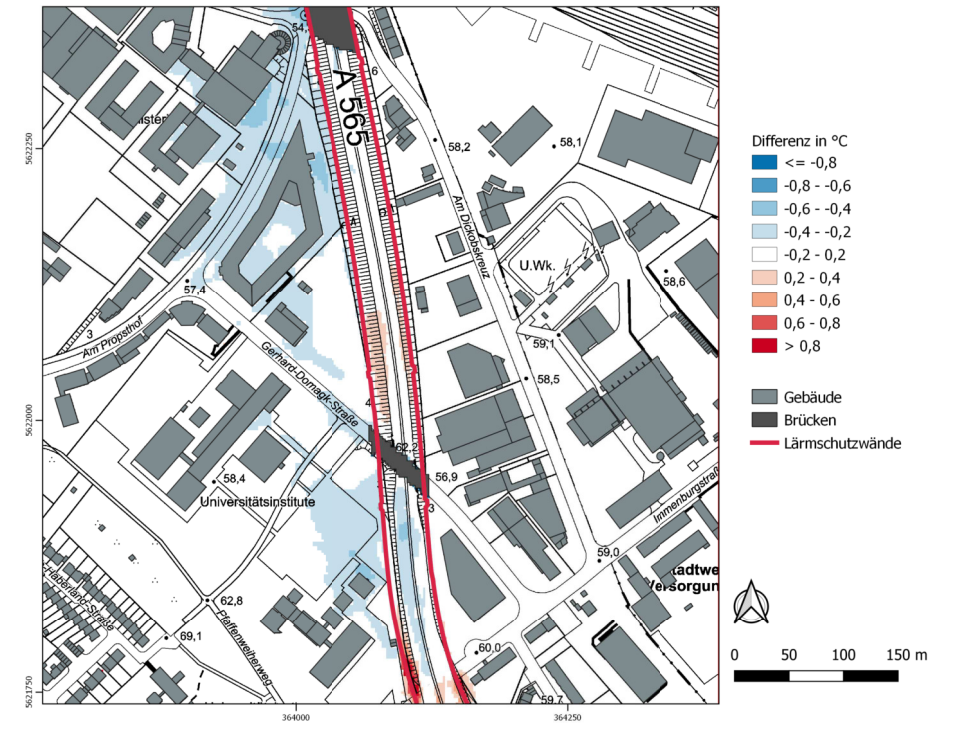
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



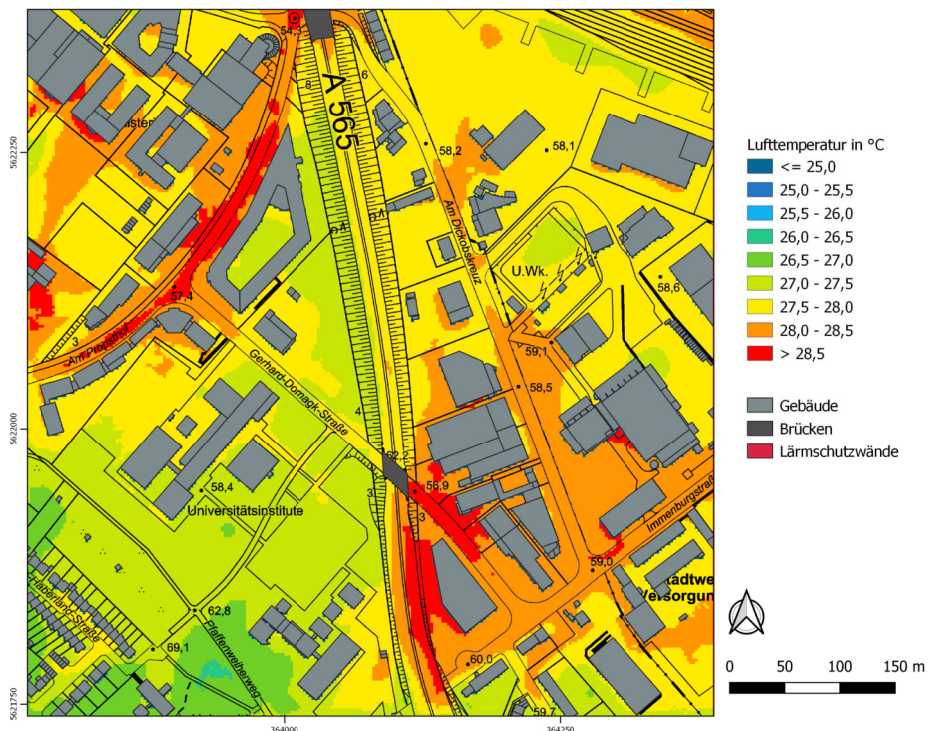
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



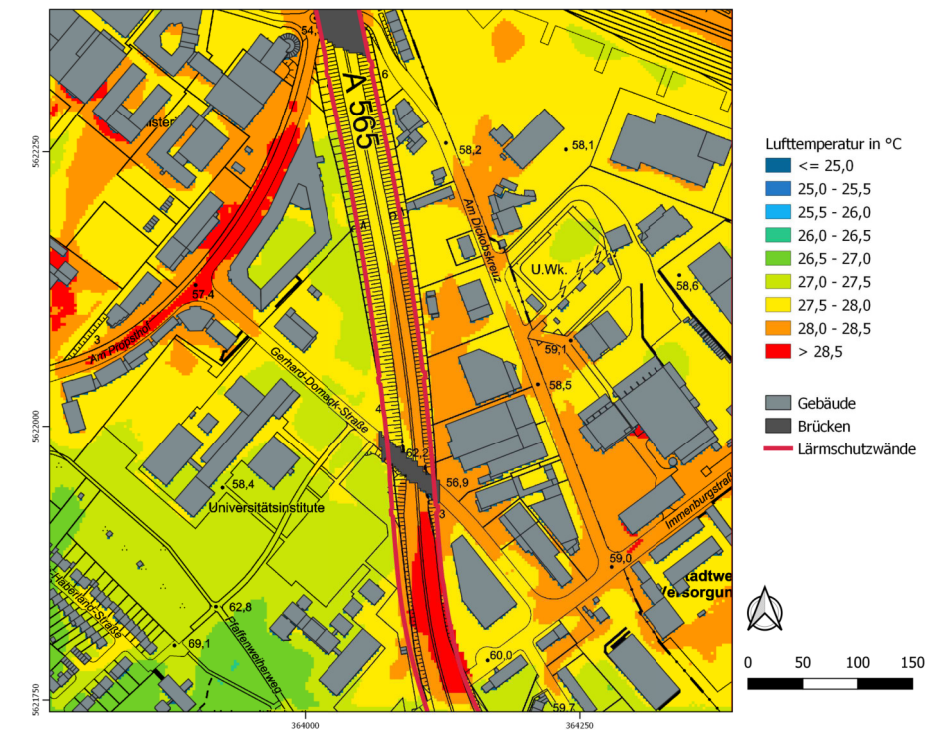
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



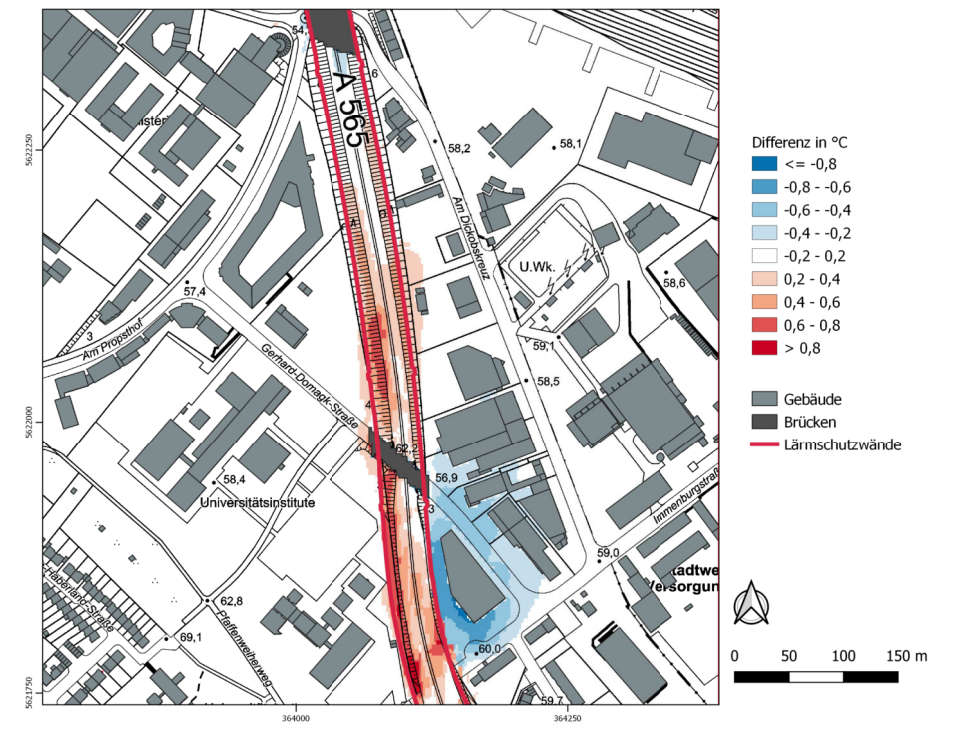
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



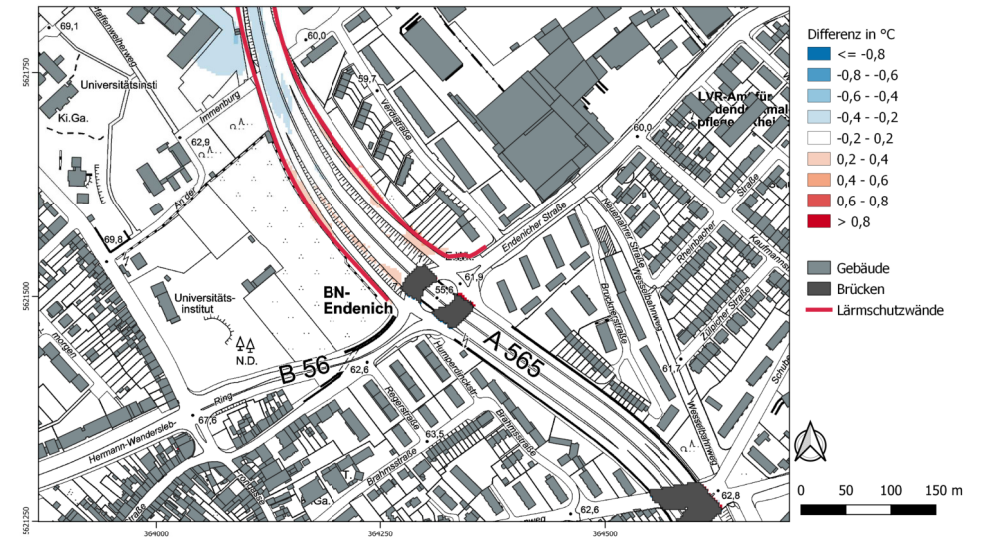
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



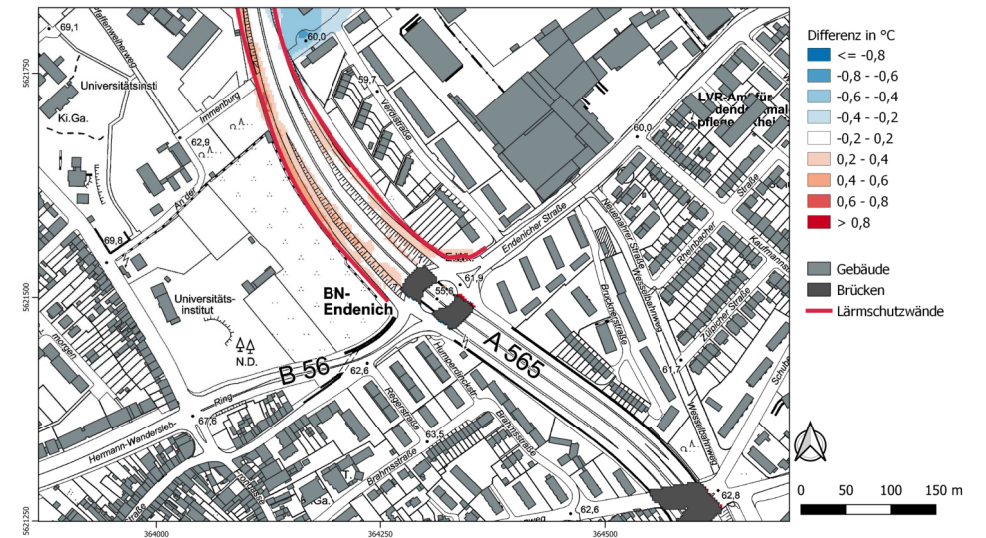
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



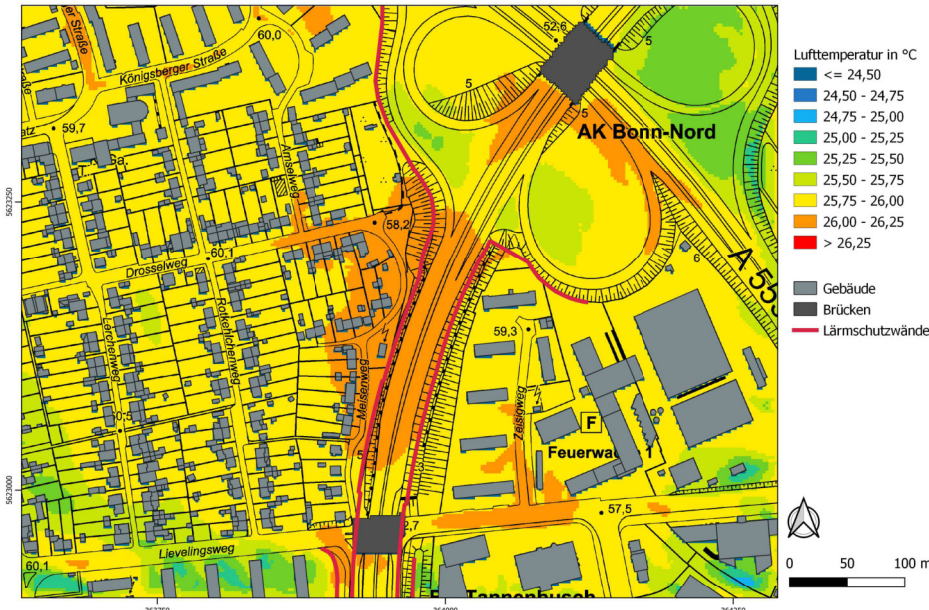
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



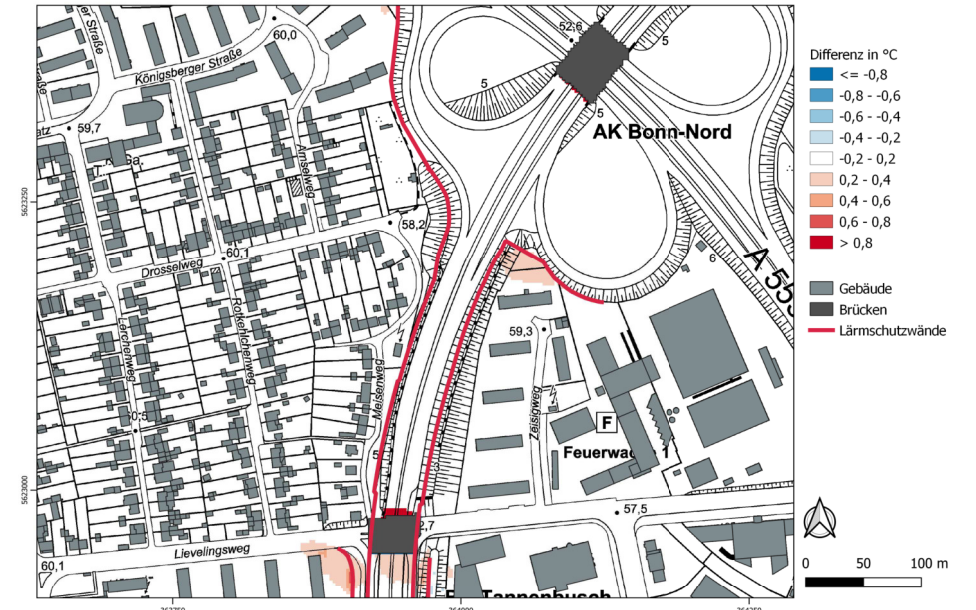
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



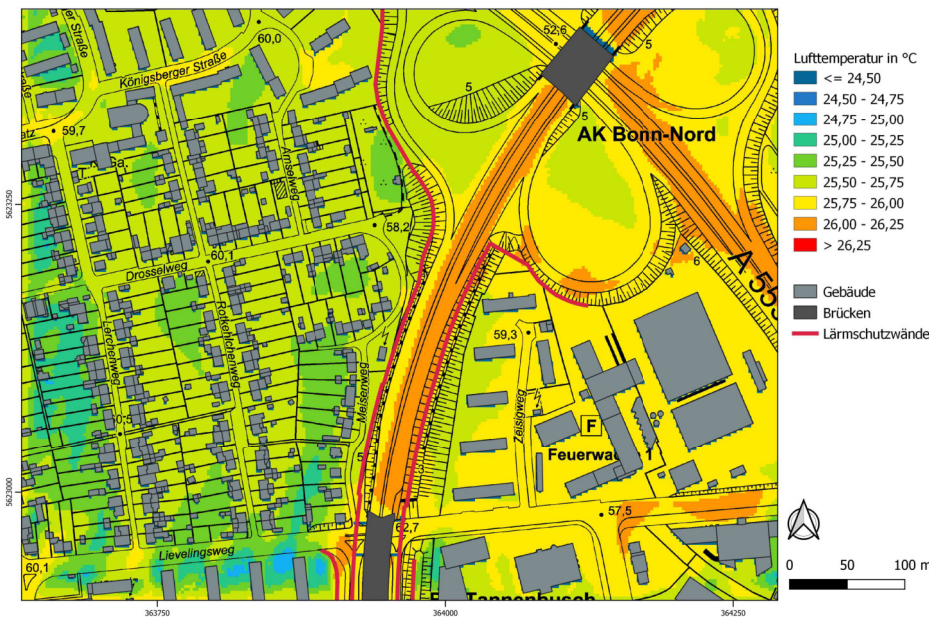
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



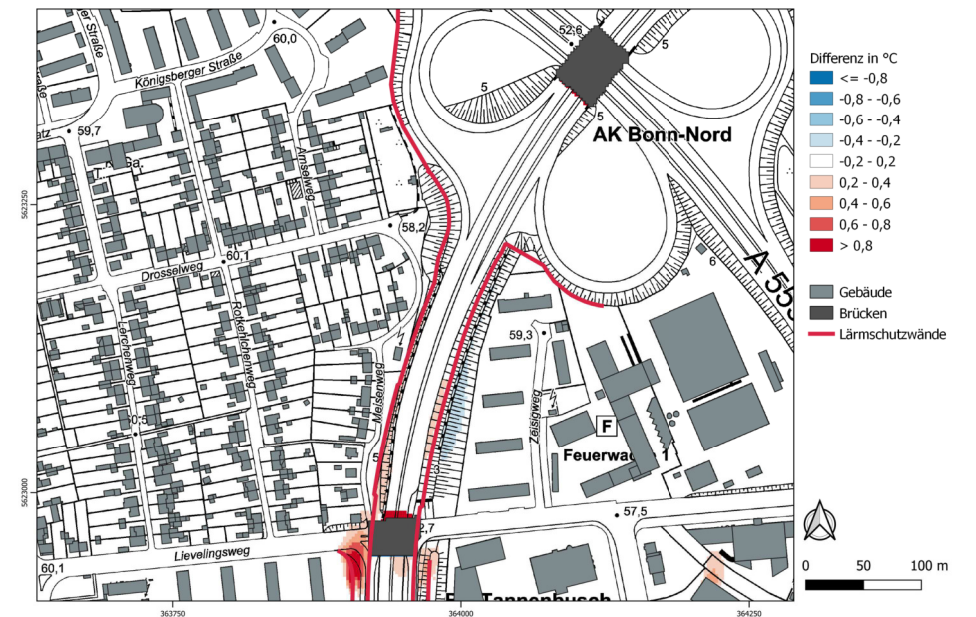
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



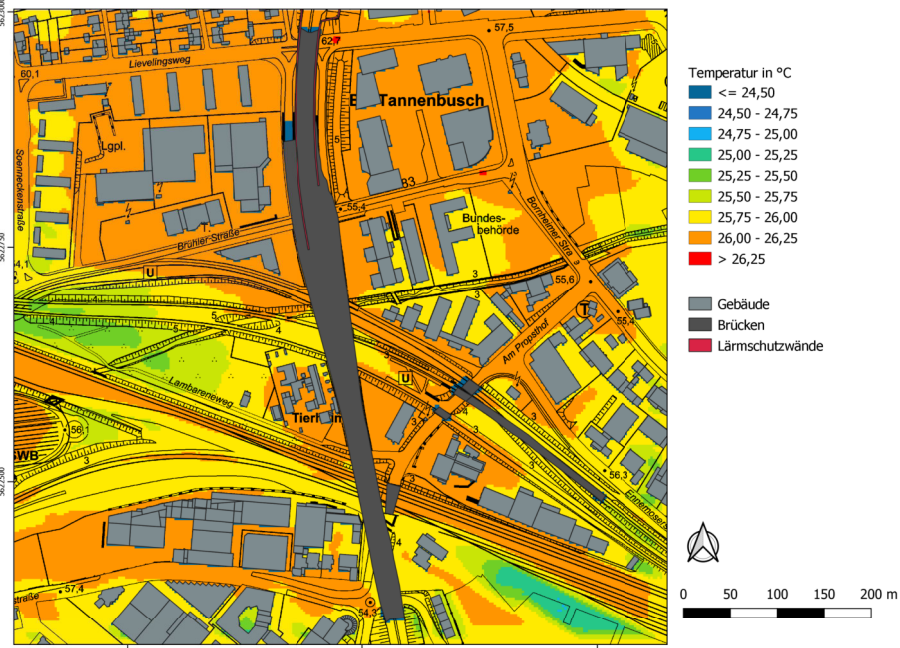
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



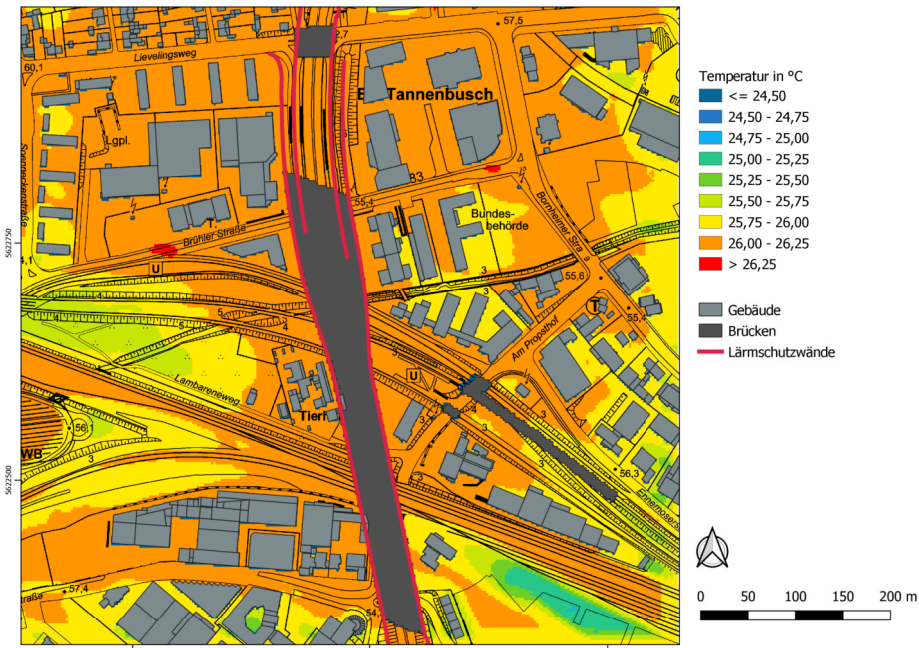
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



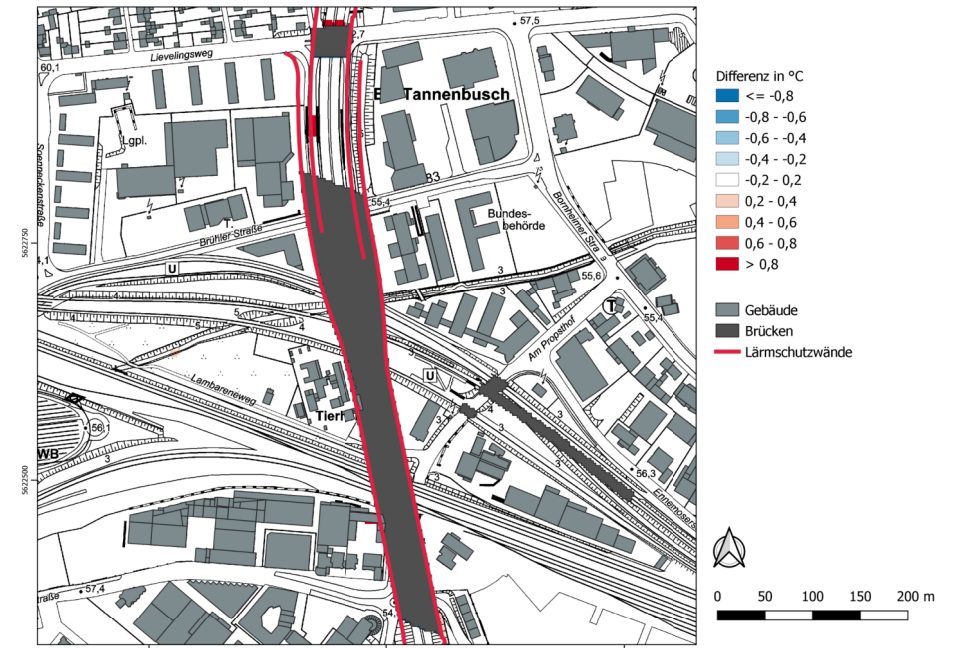
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



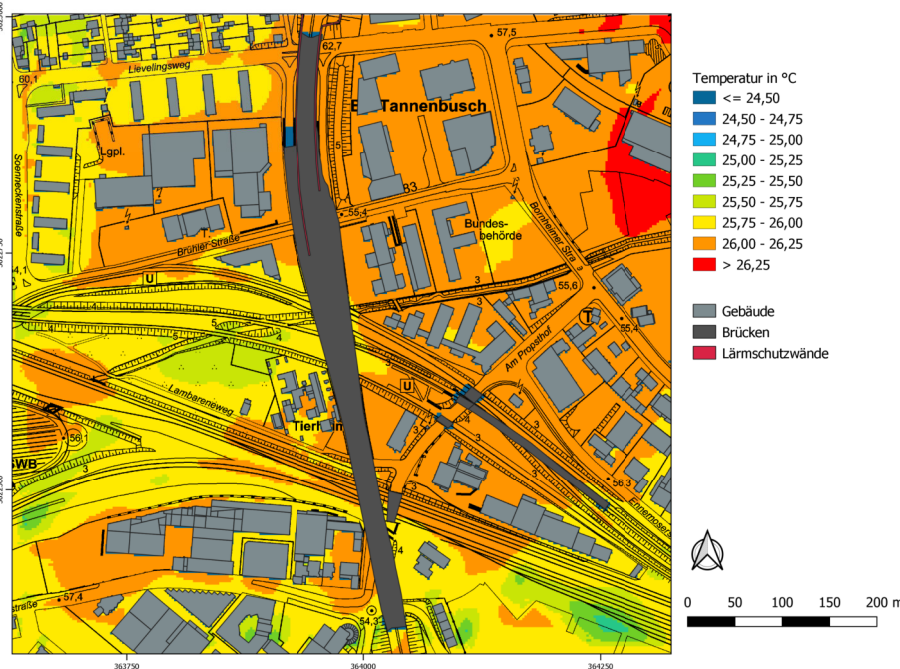
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



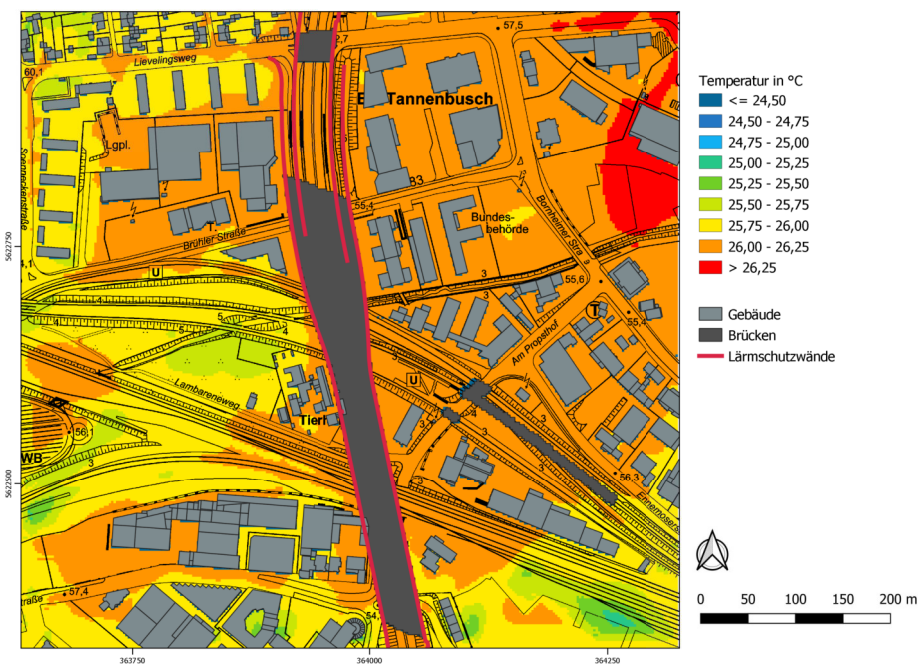
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



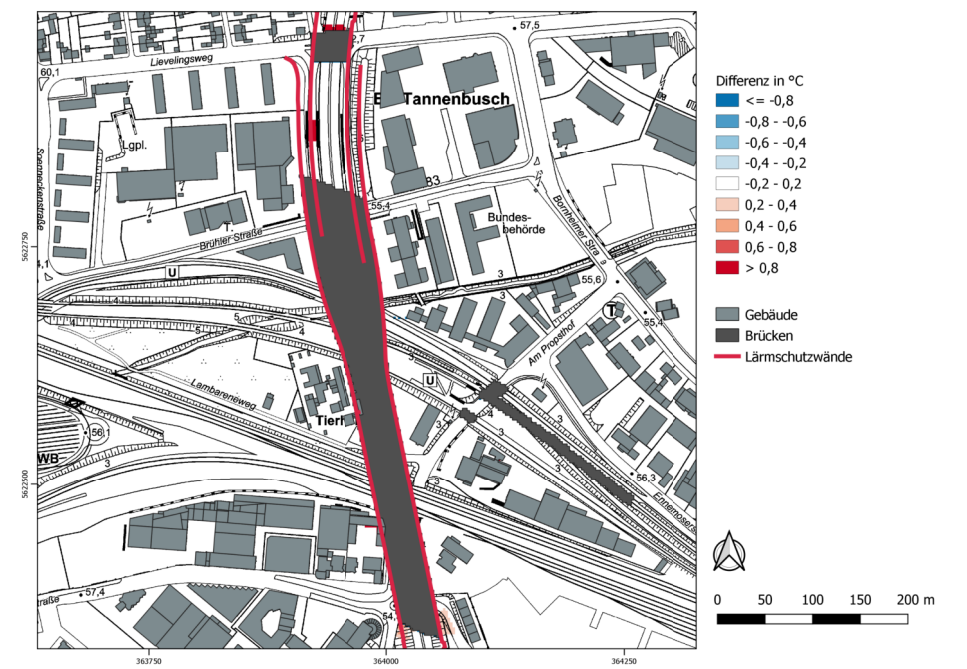
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



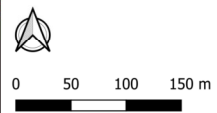
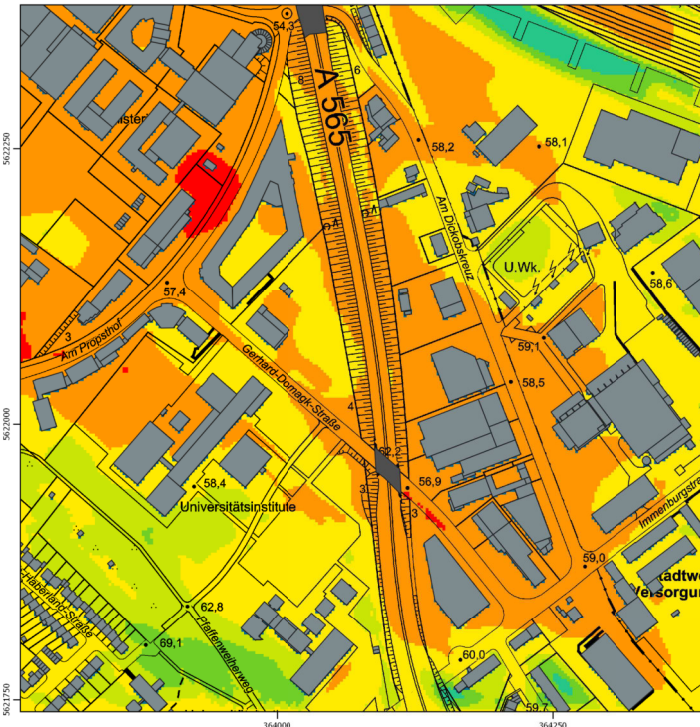
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



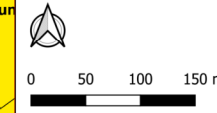
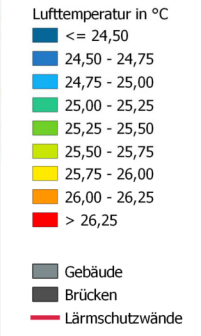
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



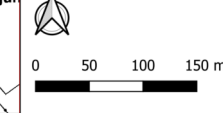
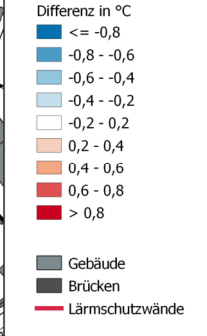
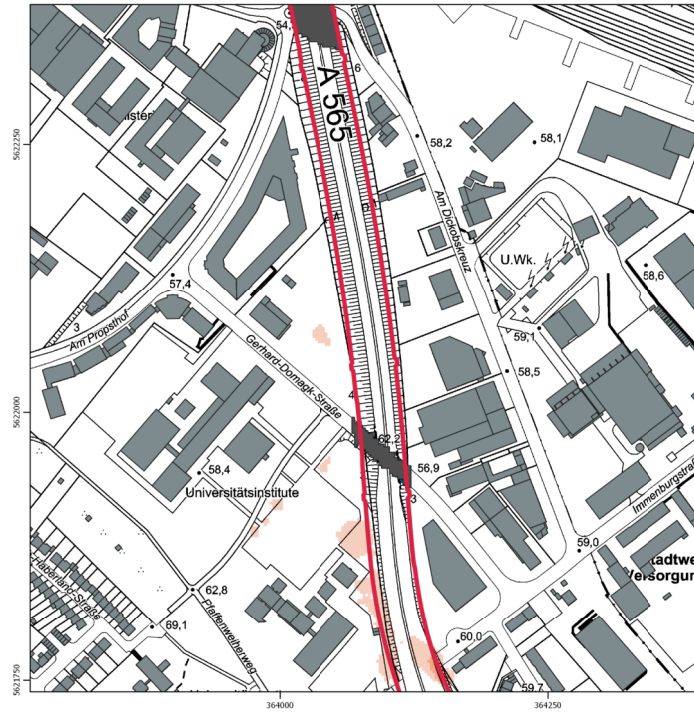
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



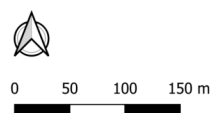
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



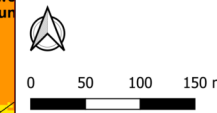
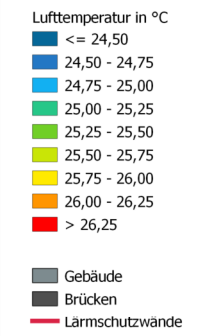
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



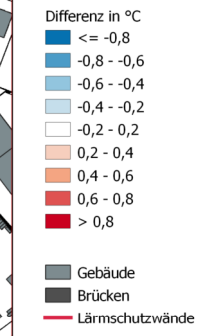
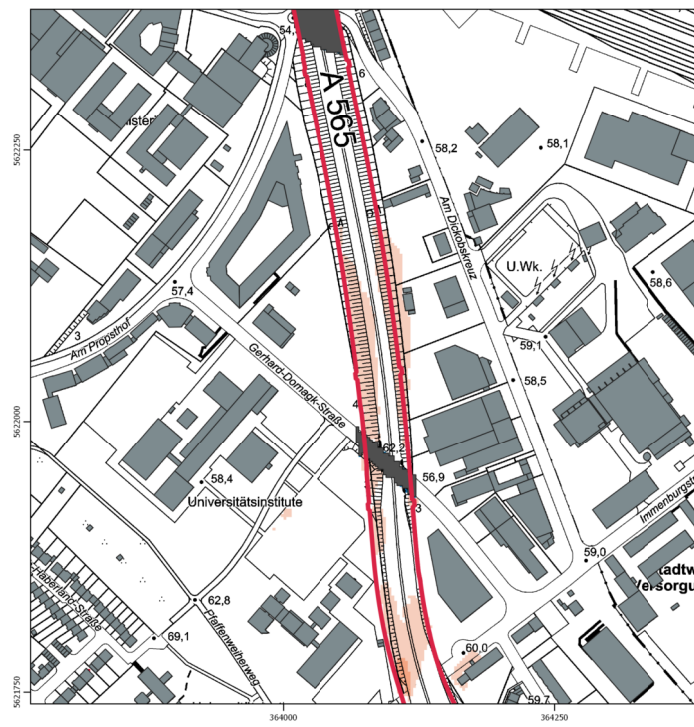
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



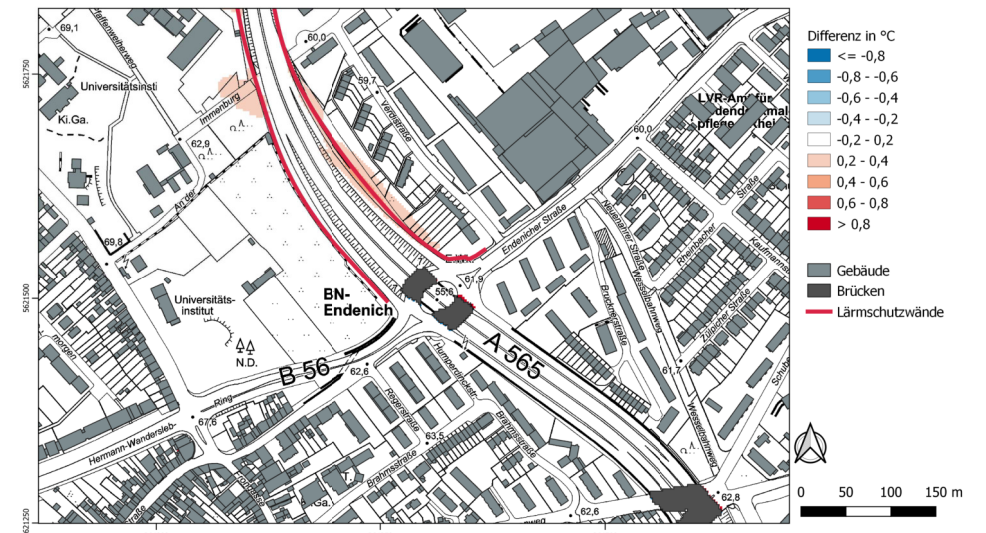
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



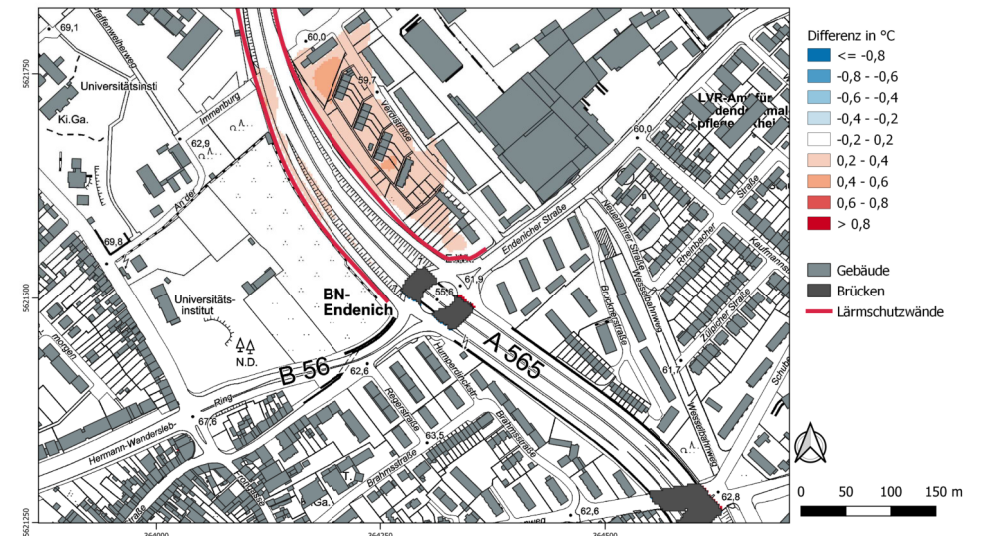
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



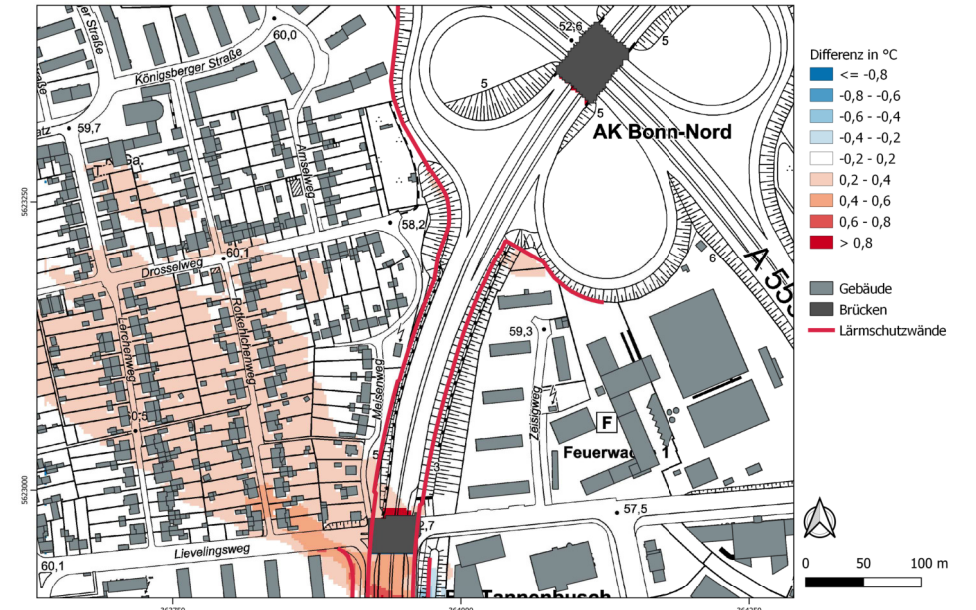
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



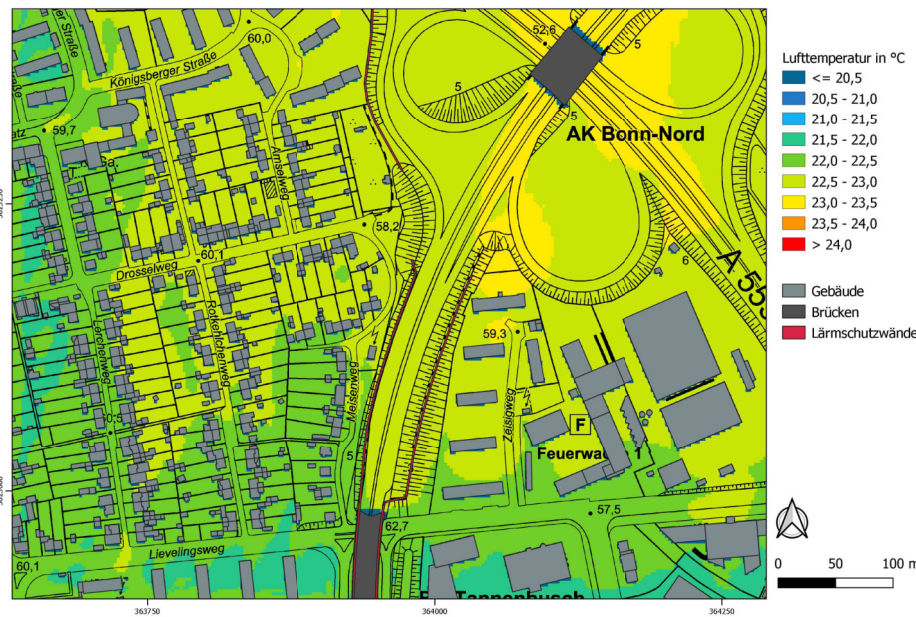
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



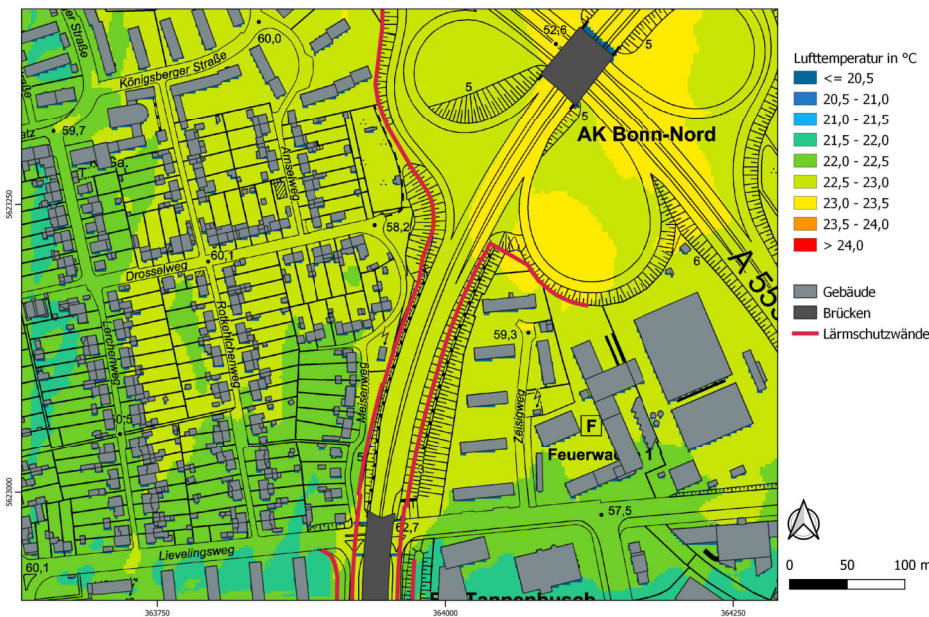
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



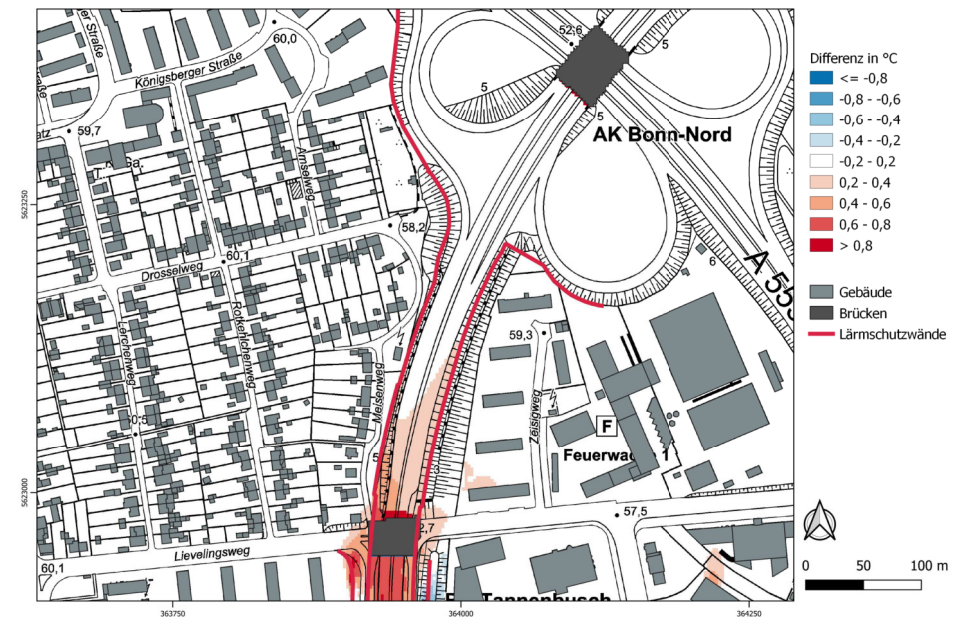
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



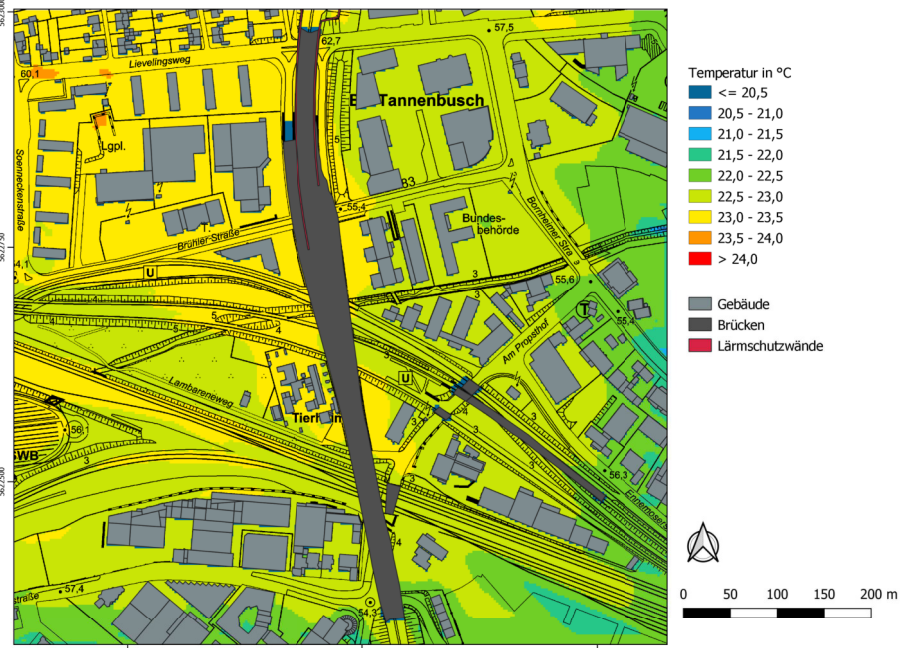
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



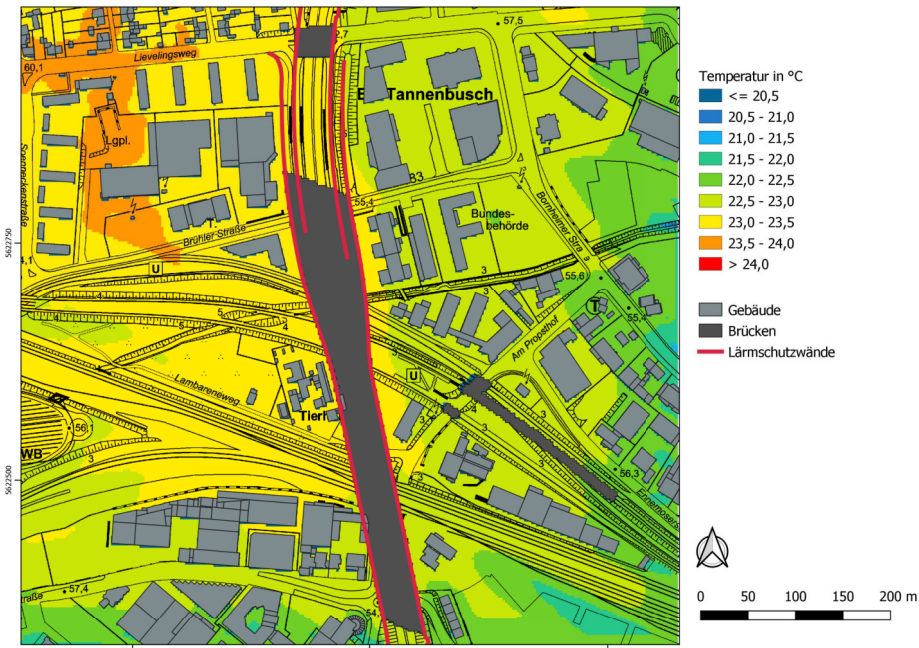
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



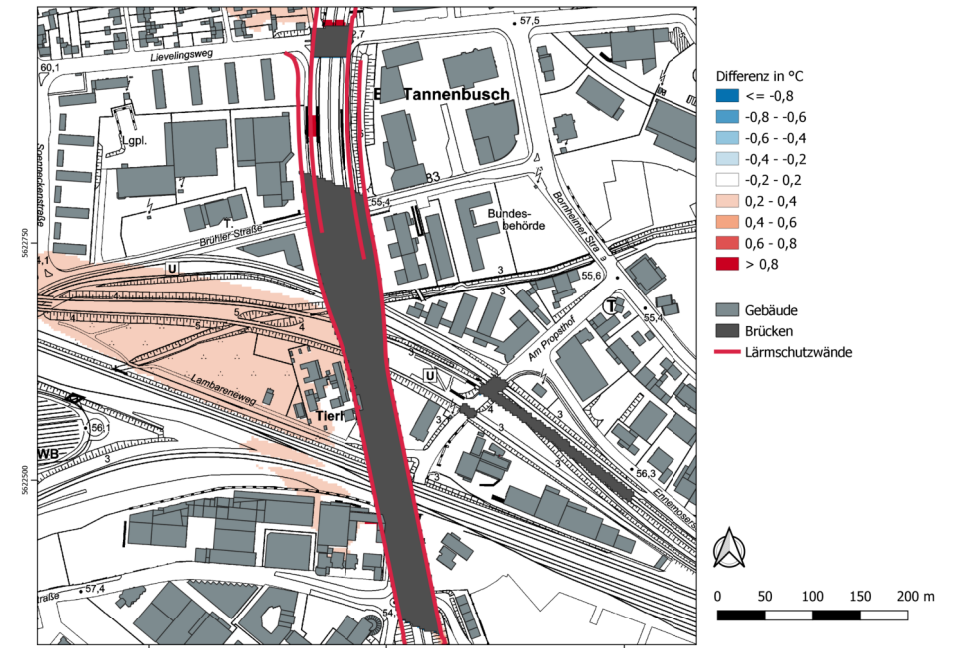
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



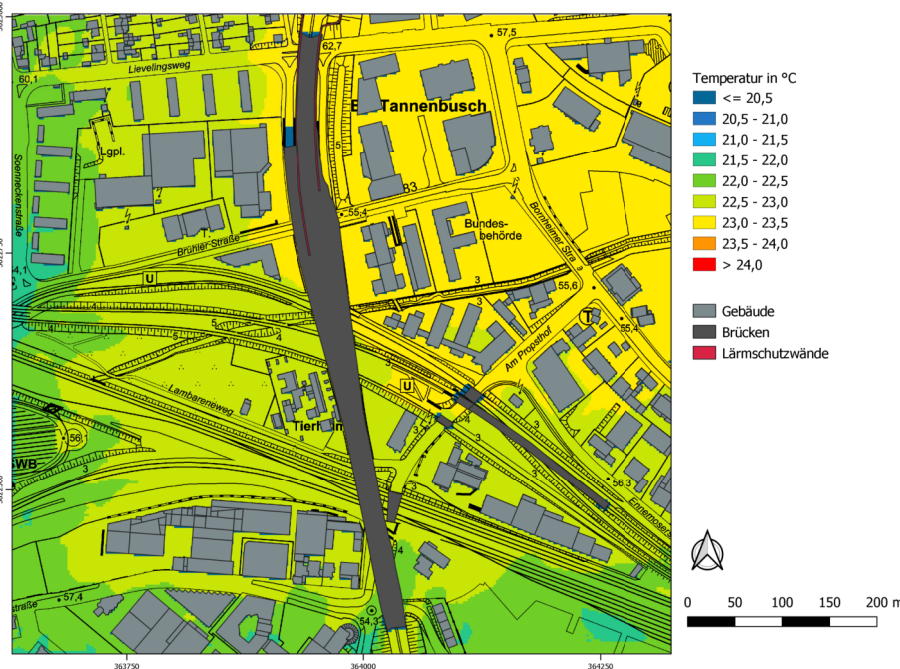
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



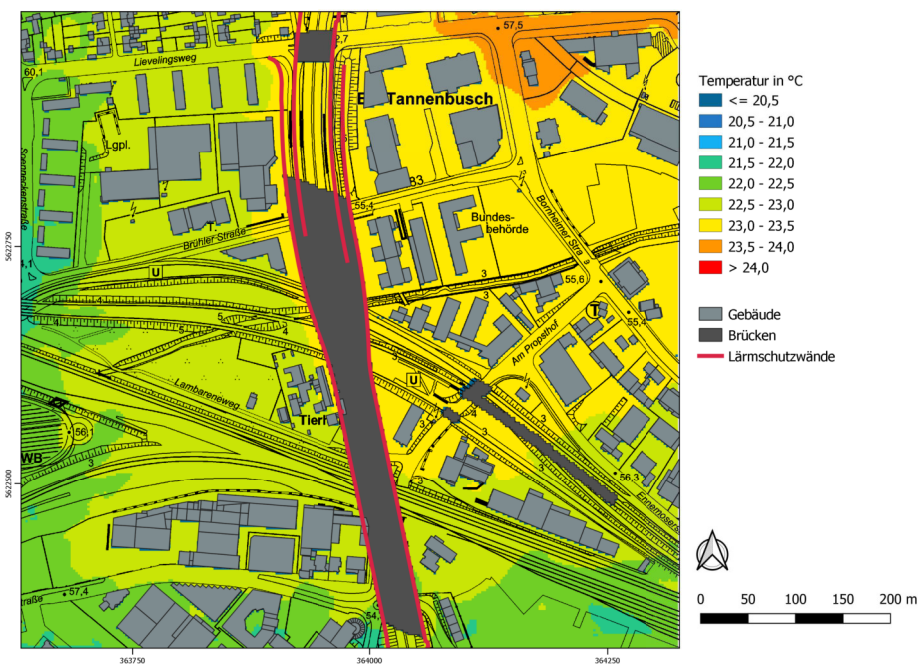
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



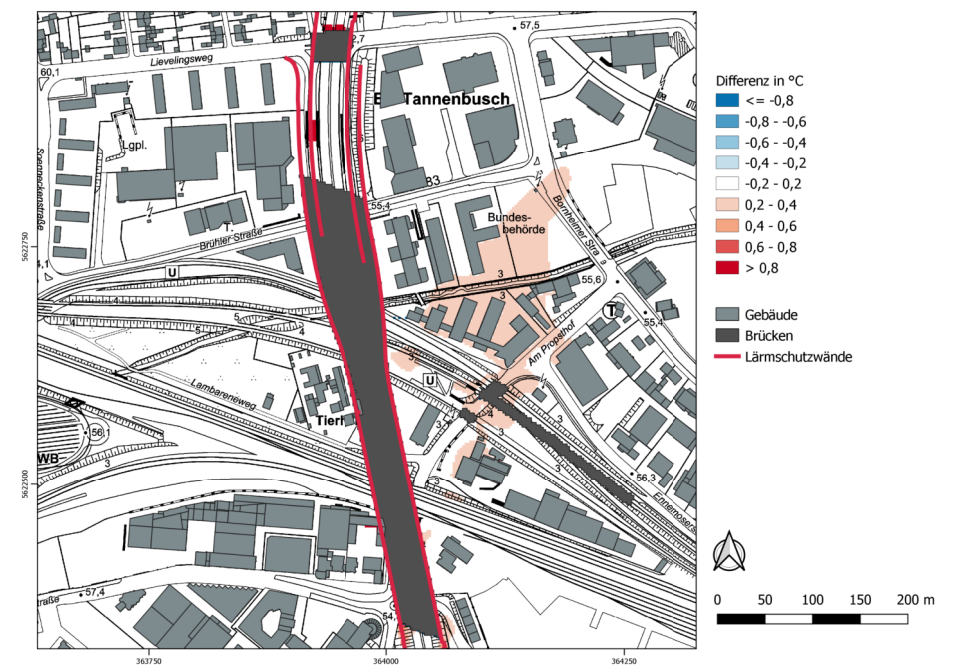
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



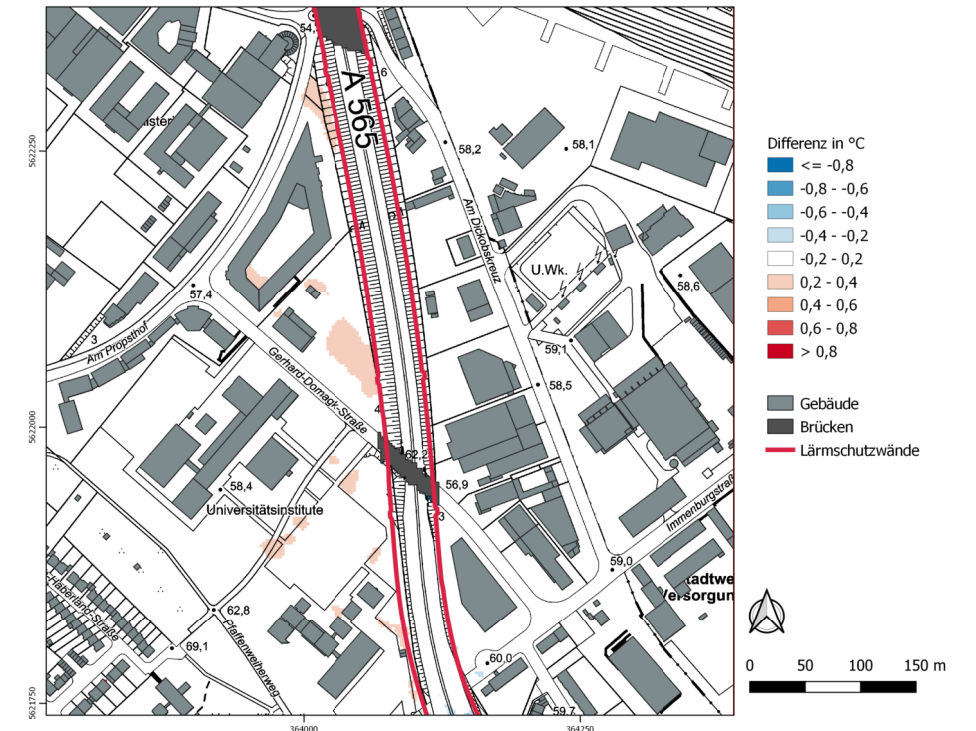
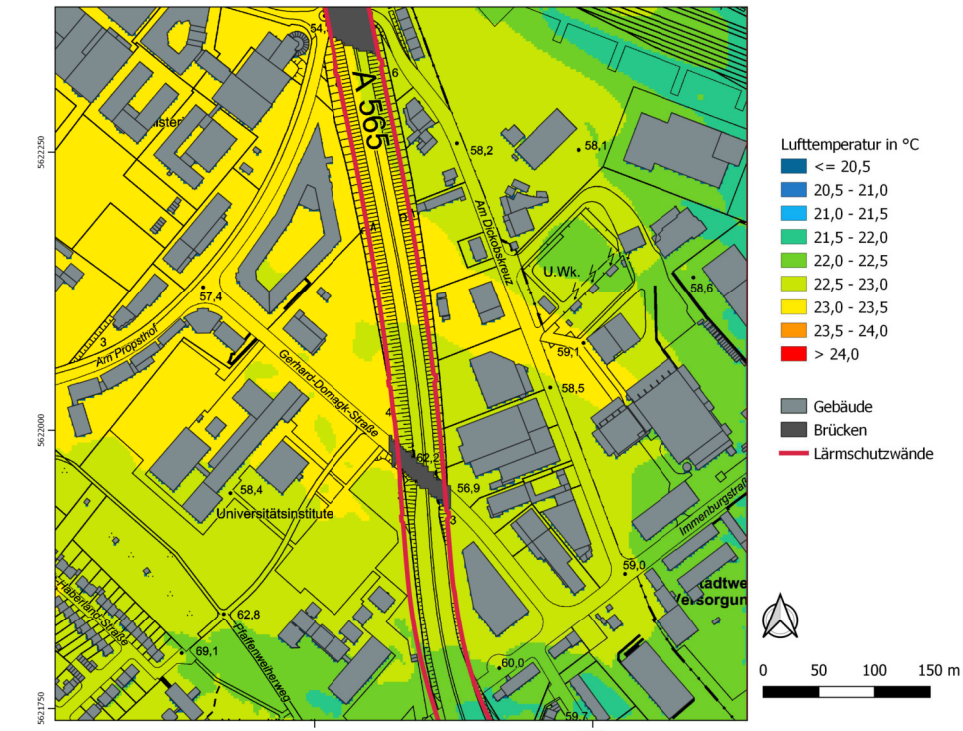
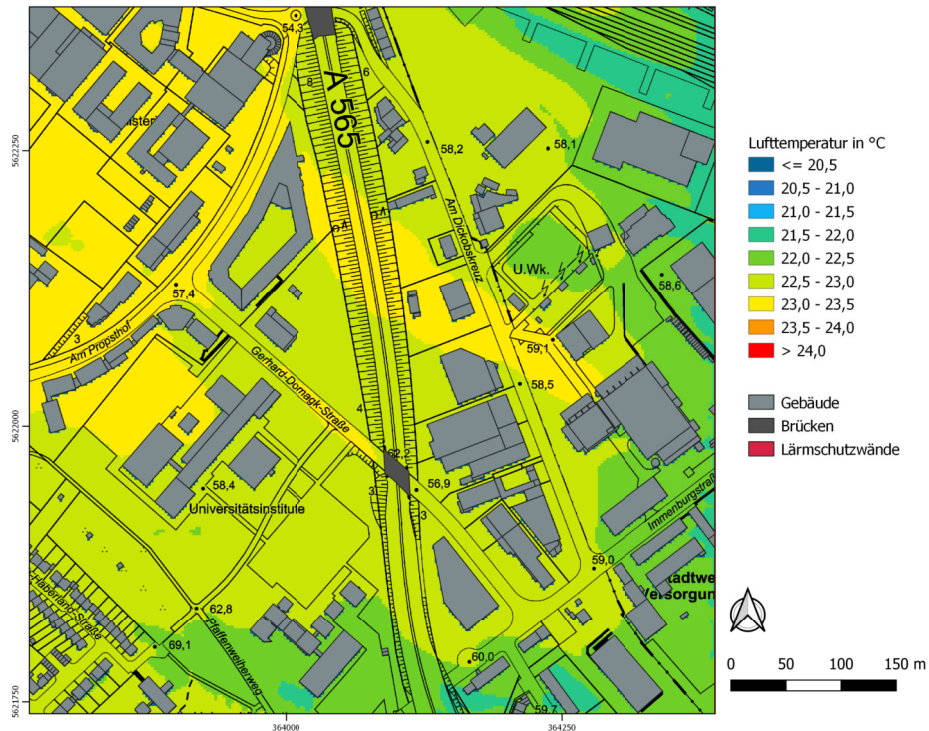
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



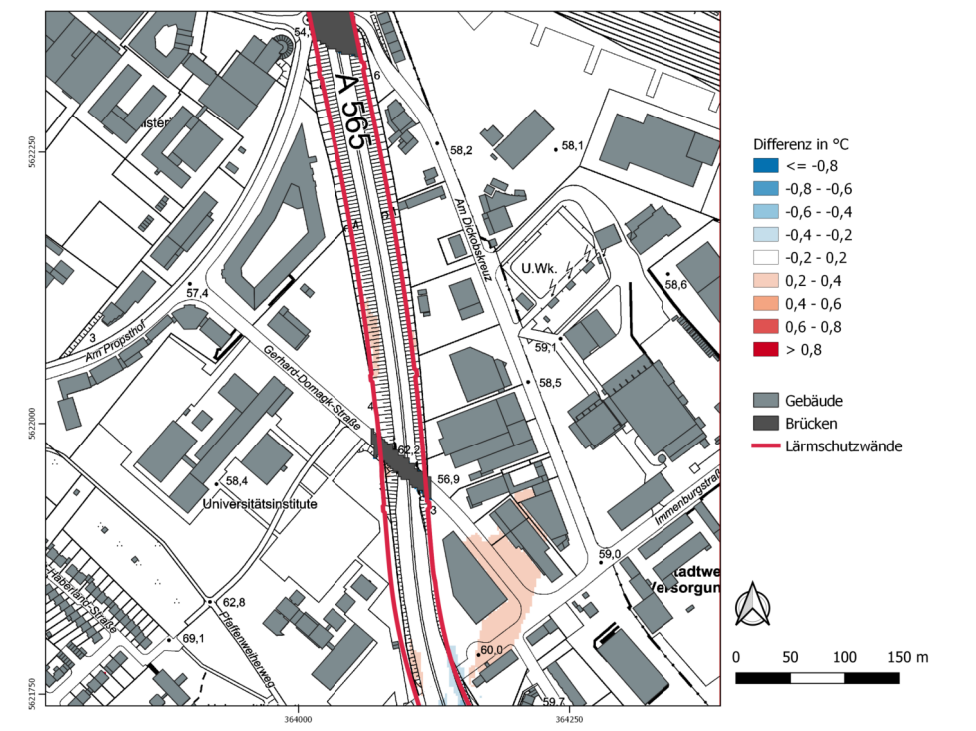
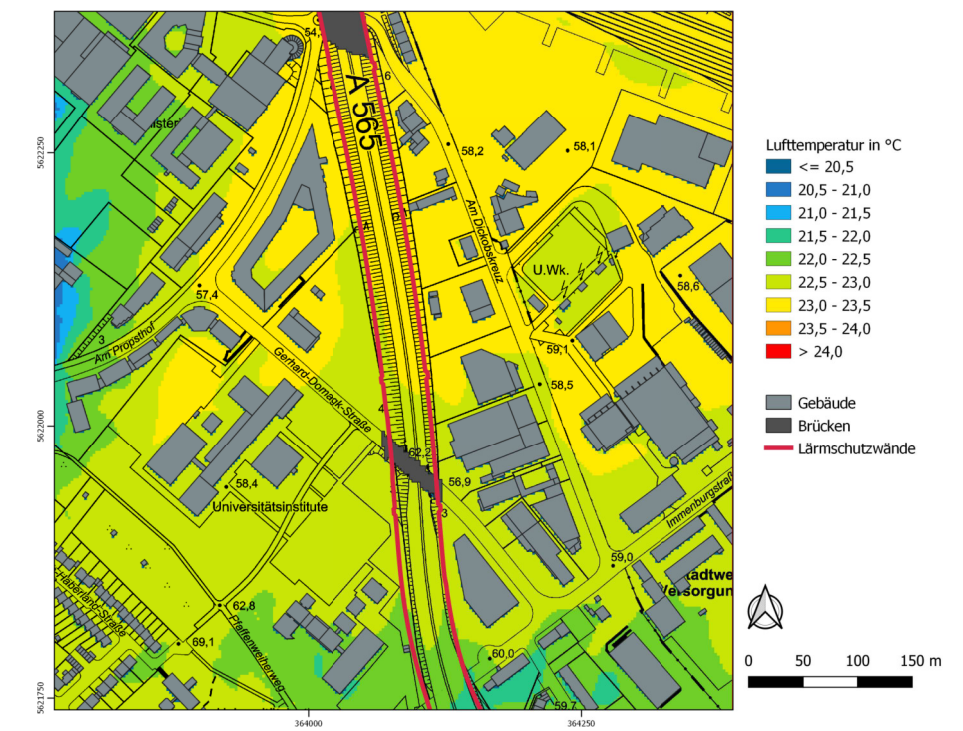
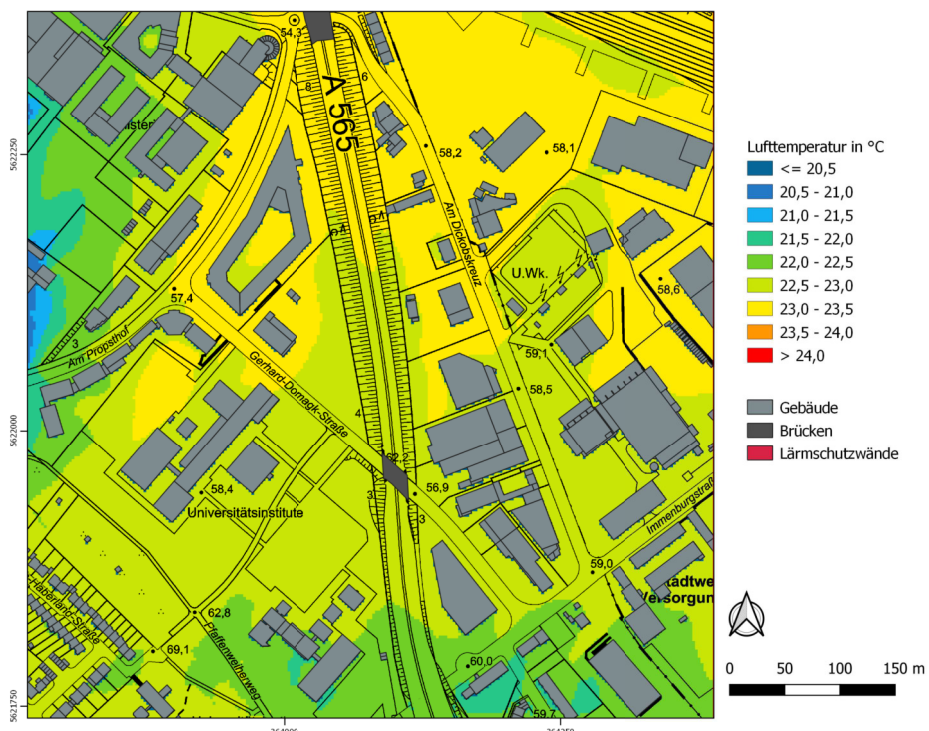
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung

Planfall mit 120° Anströmungsrichtung

Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung

Planfall mit 210° Anströmungsrichtung

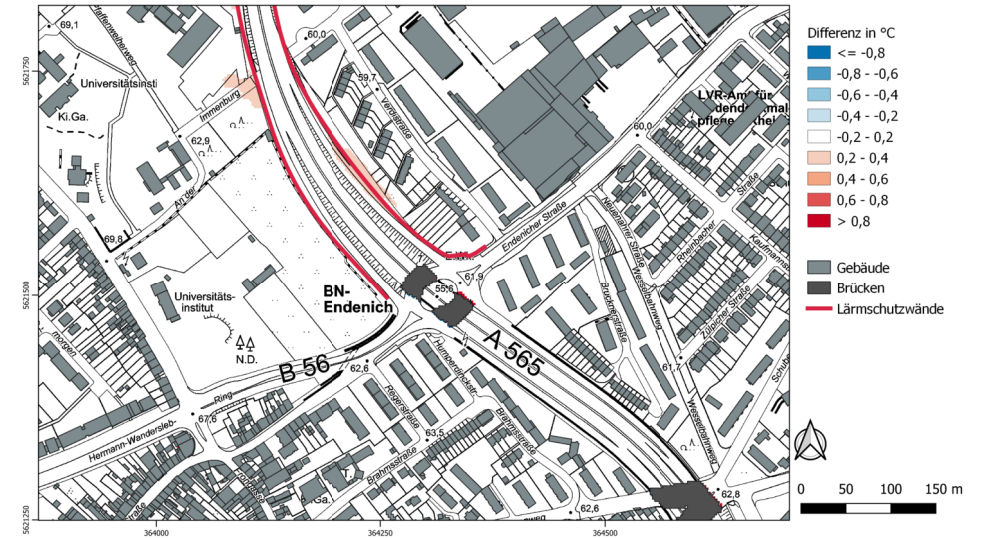
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



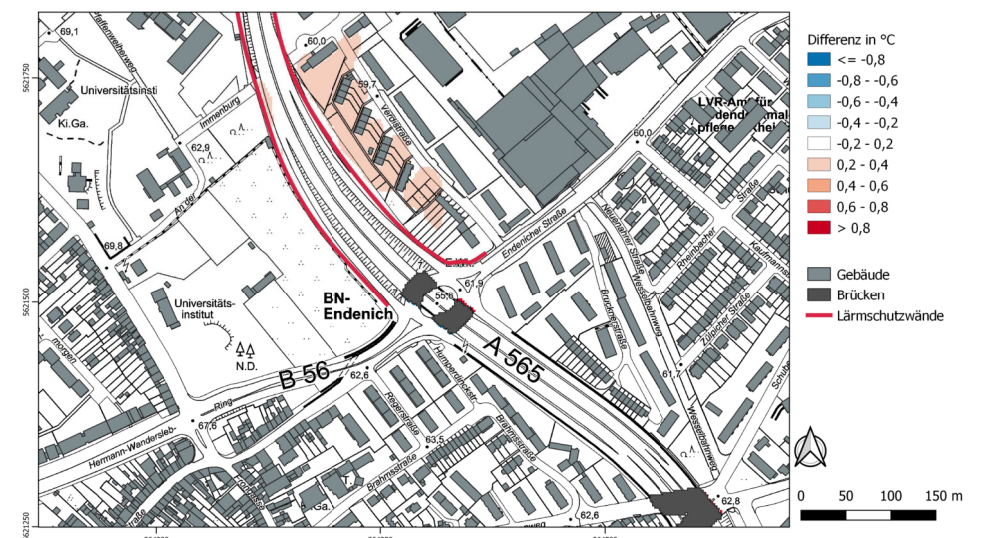
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



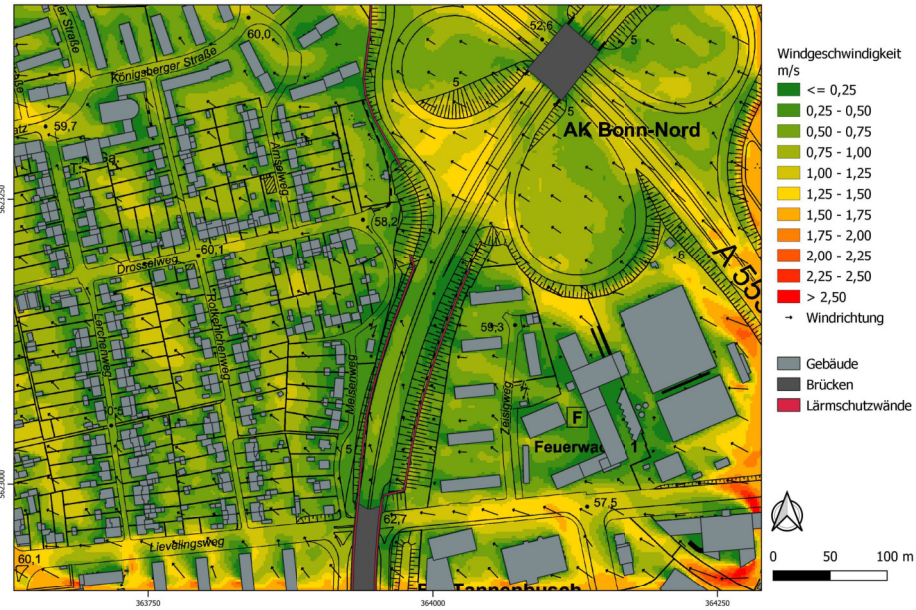
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



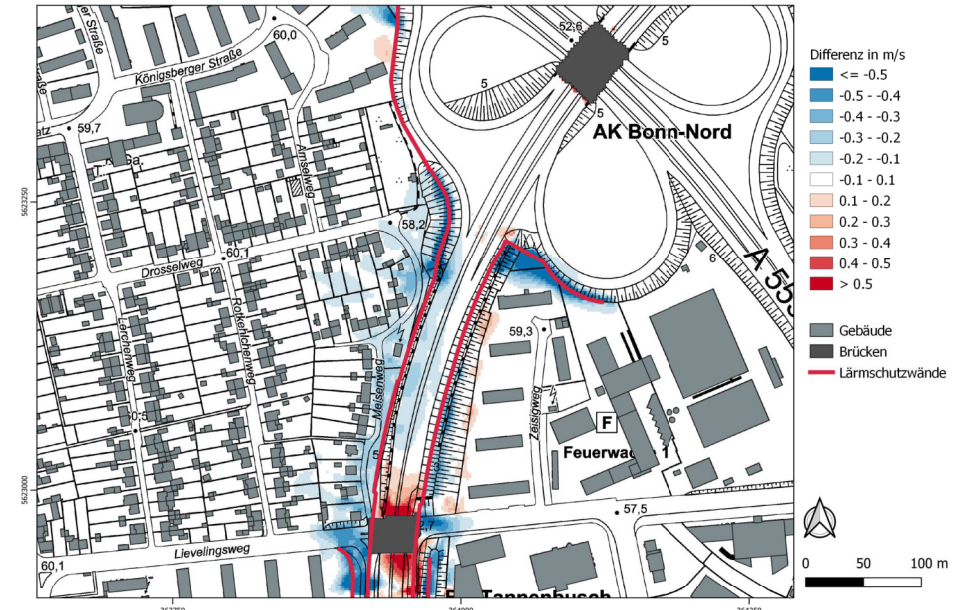
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



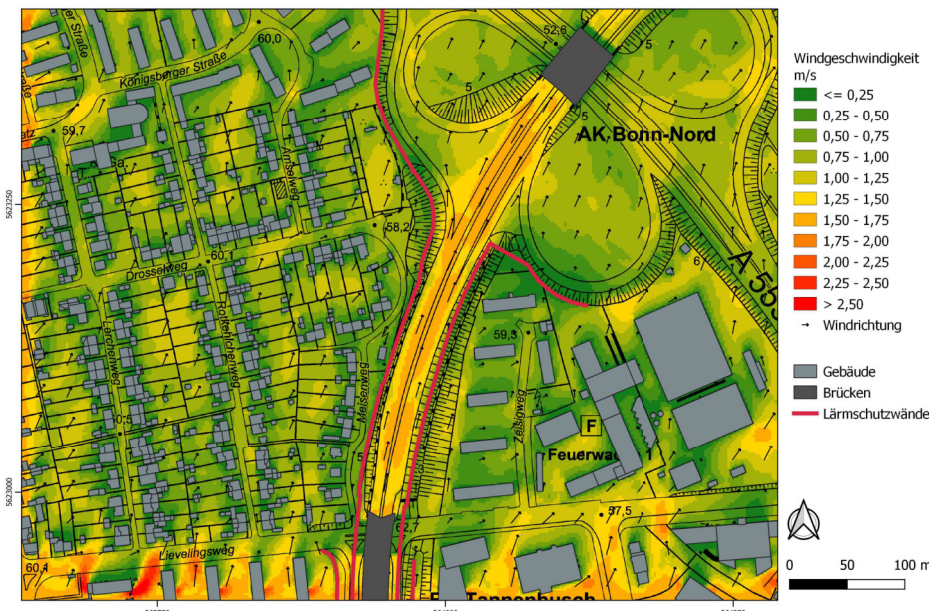
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



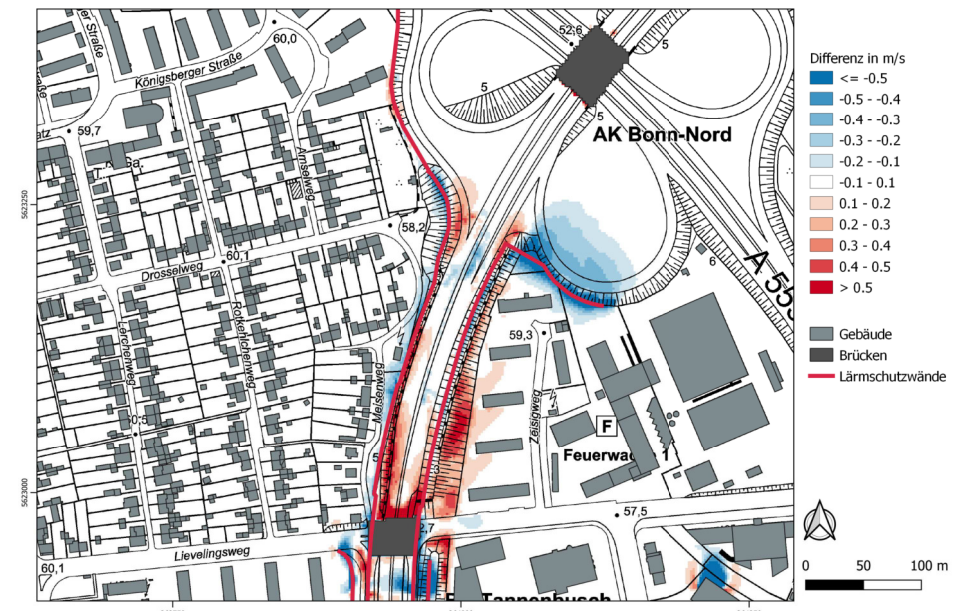
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



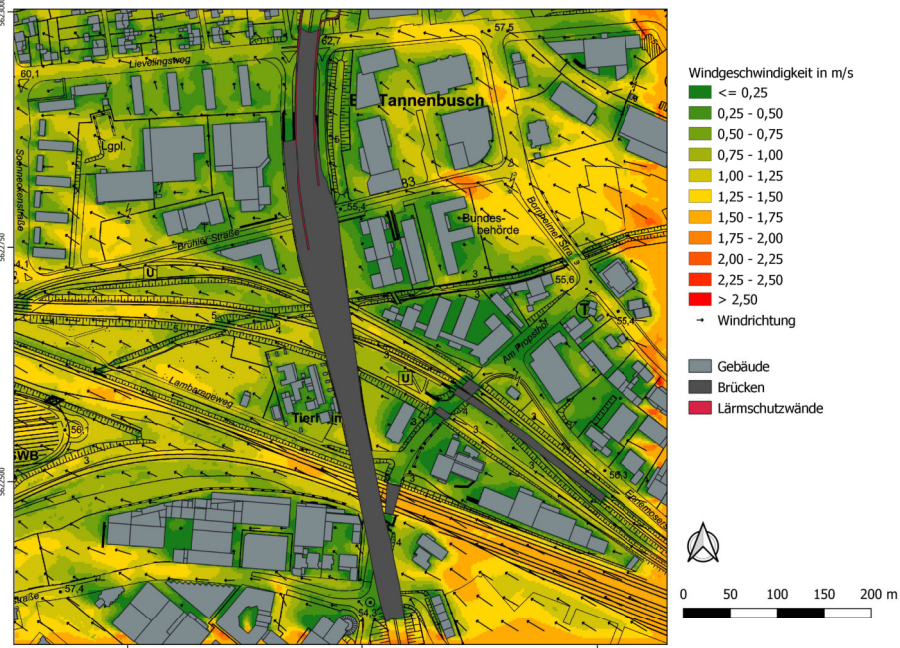
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



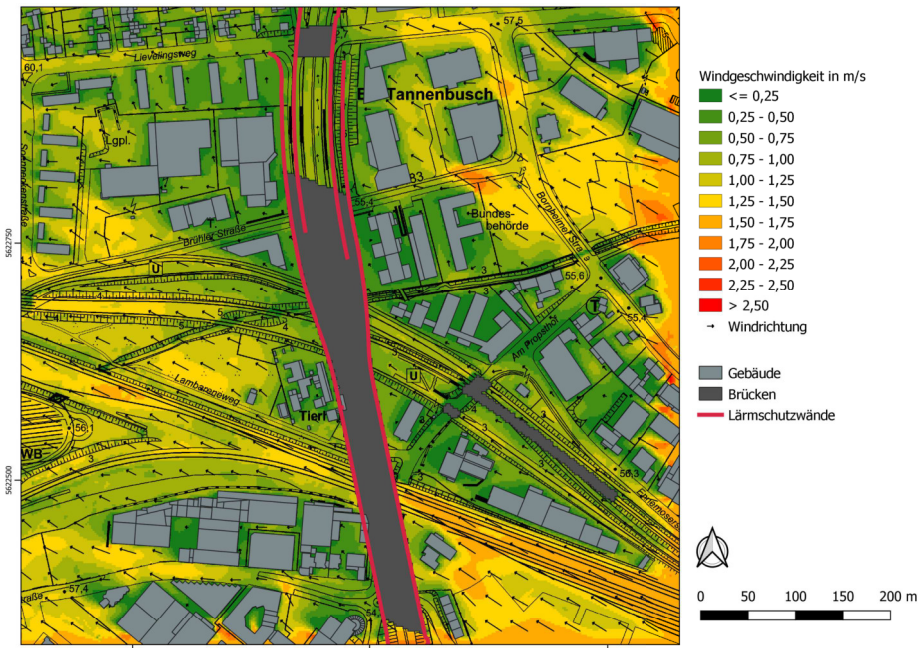
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



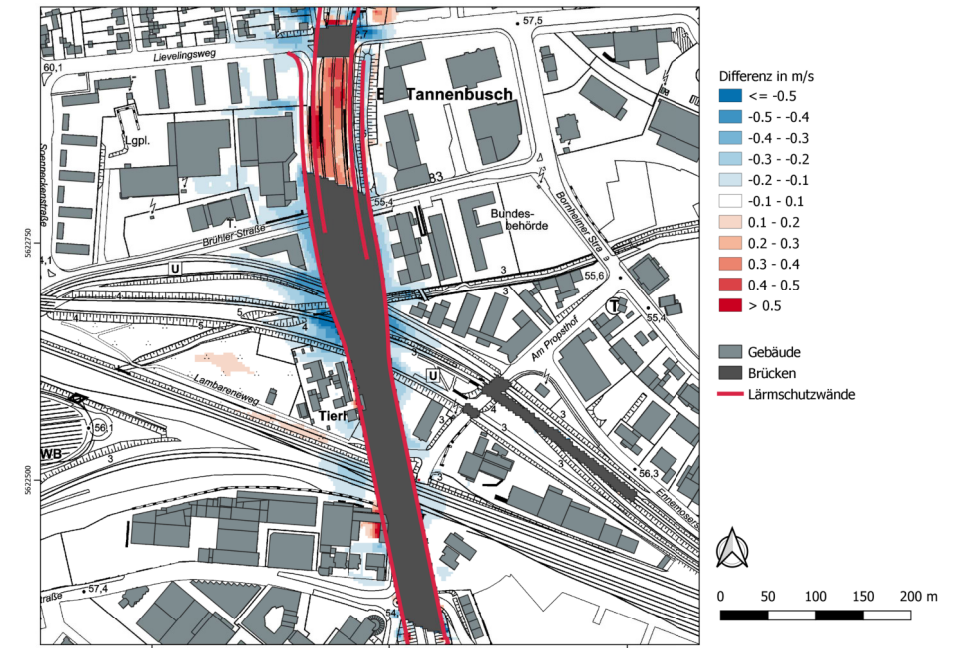
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



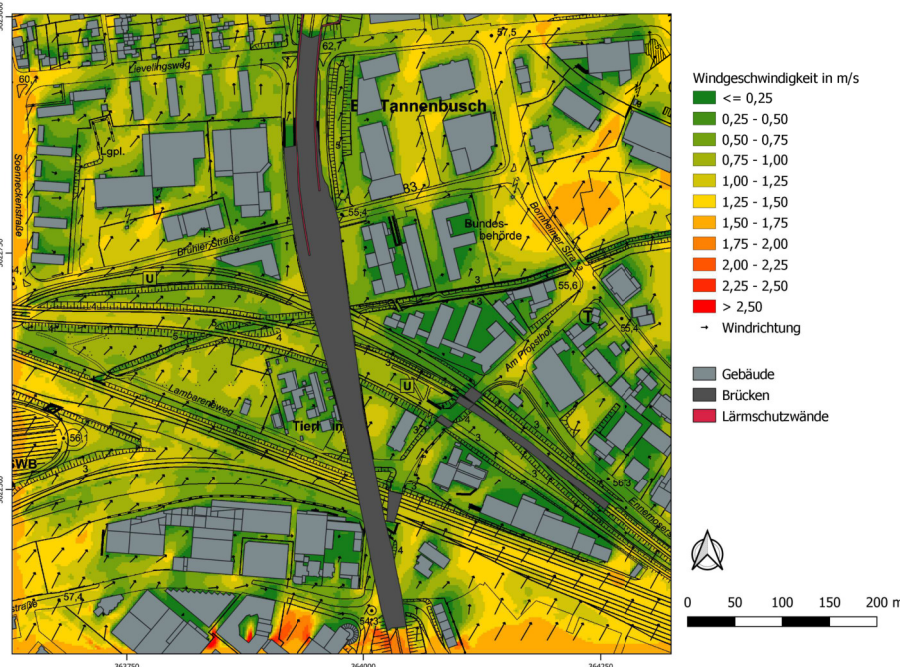
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



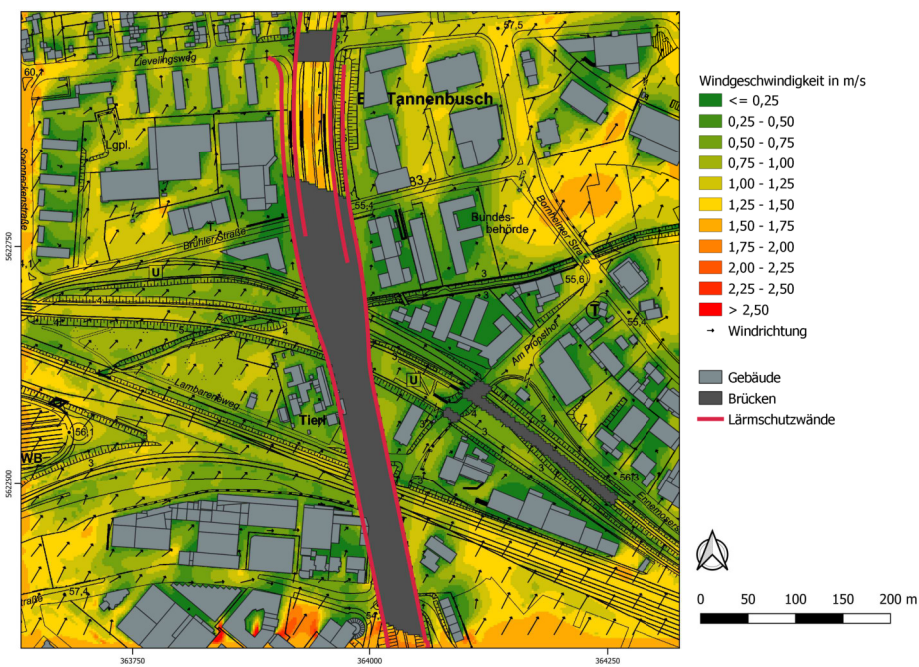
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



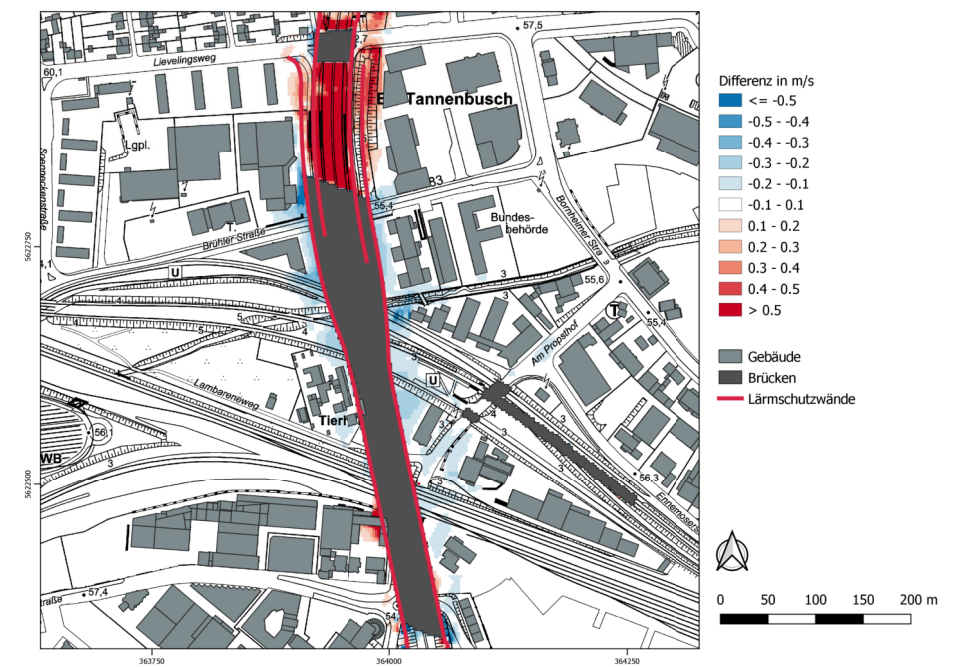
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



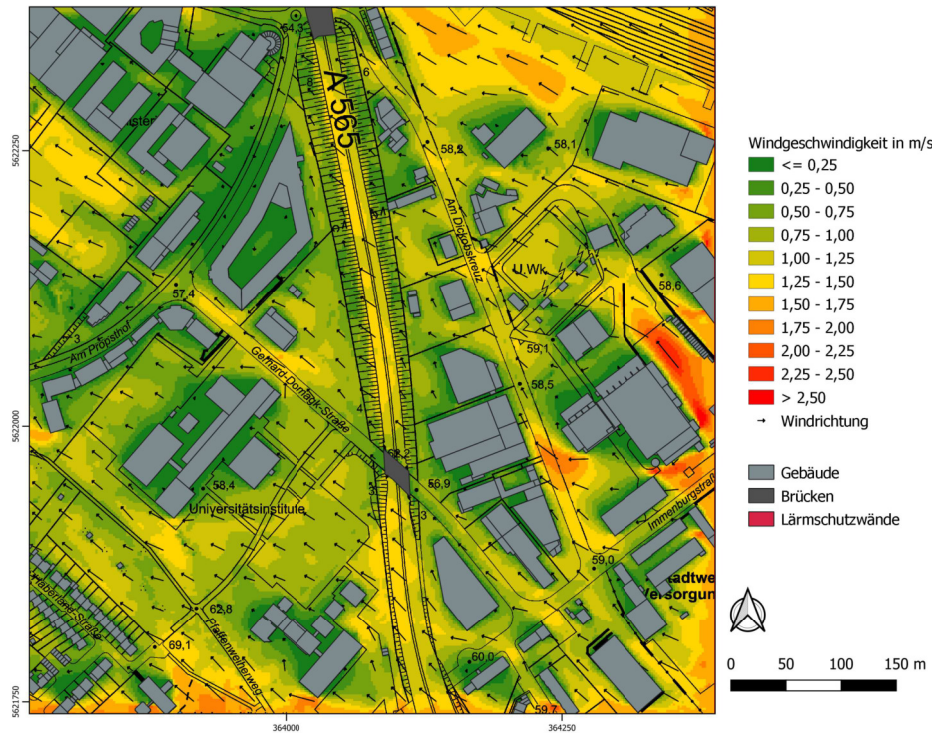
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



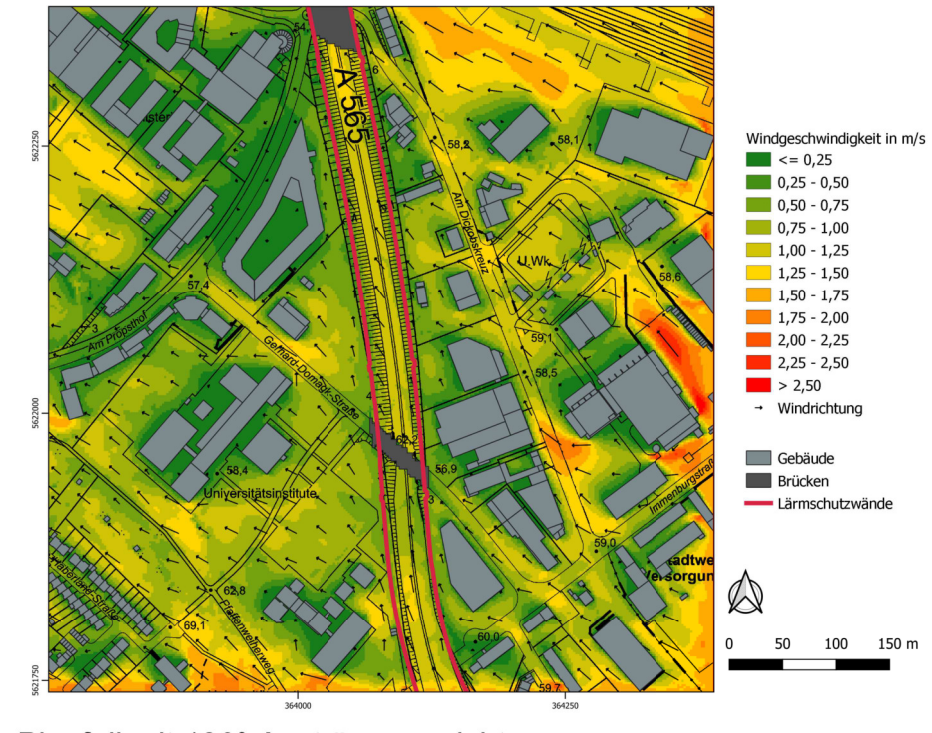
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



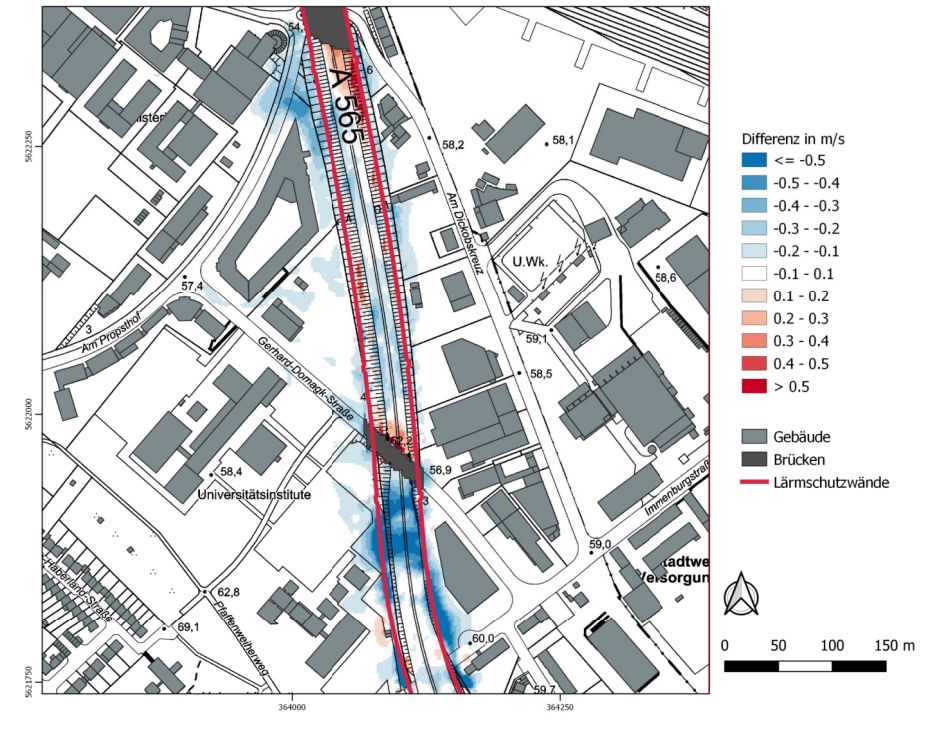
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



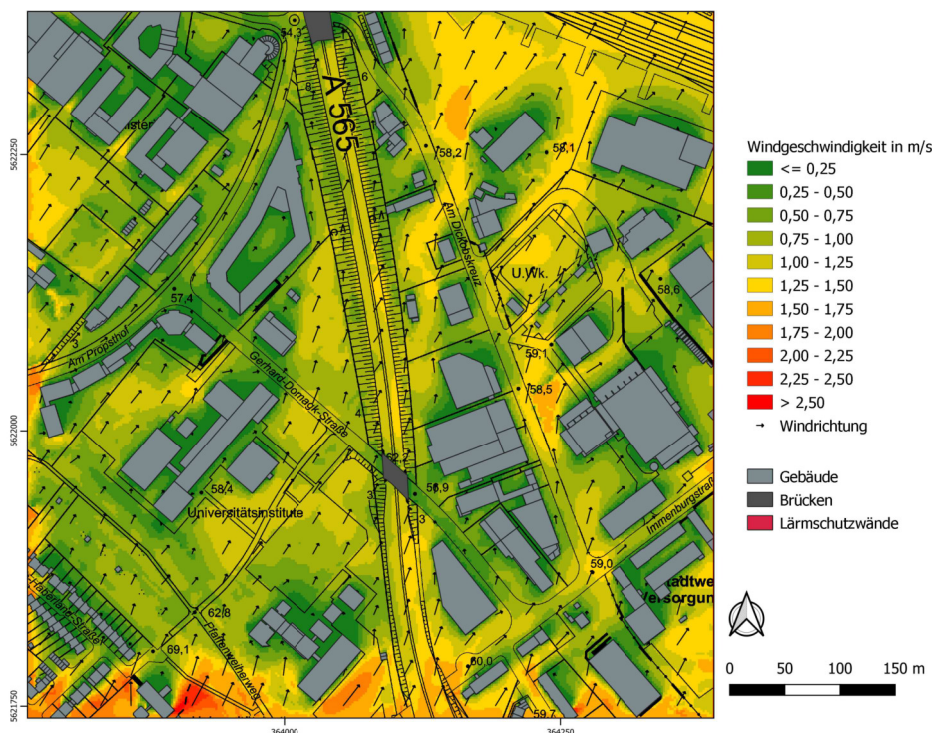
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



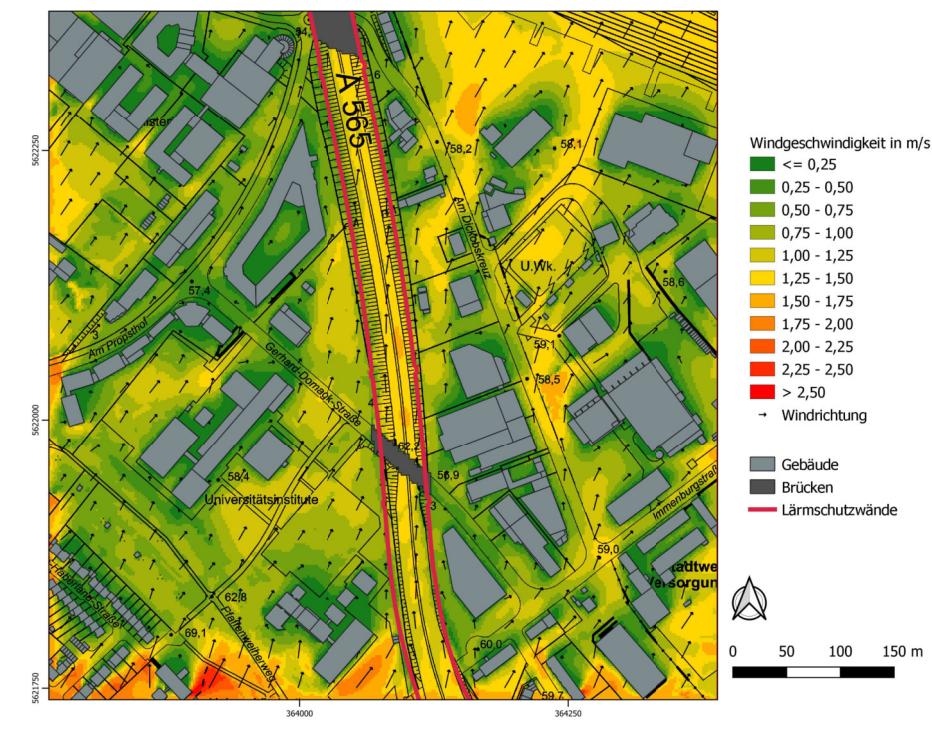
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



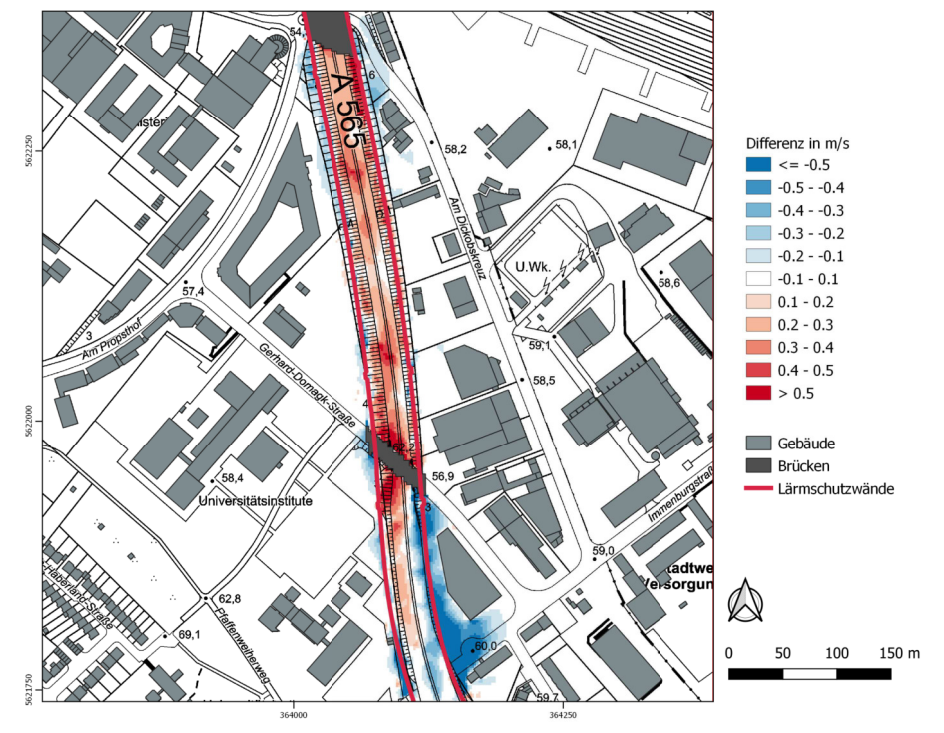
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



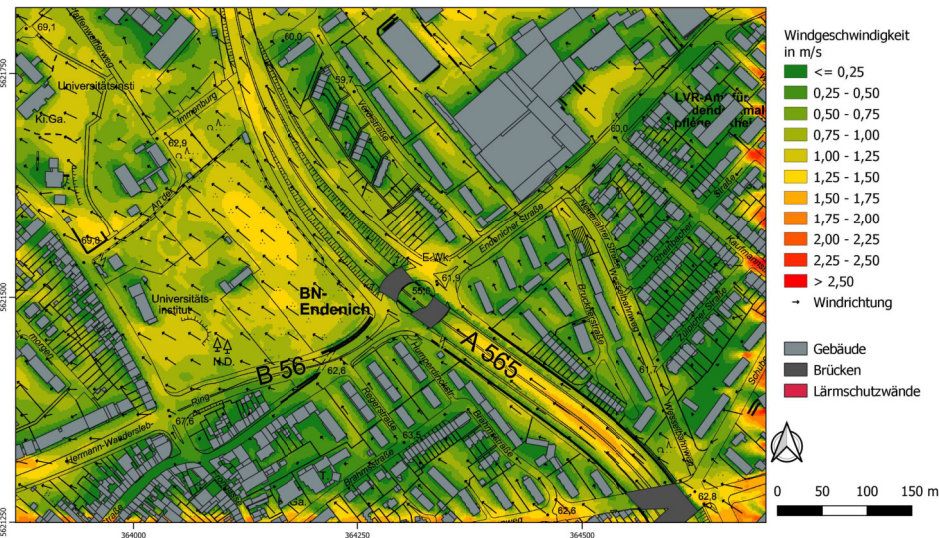
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



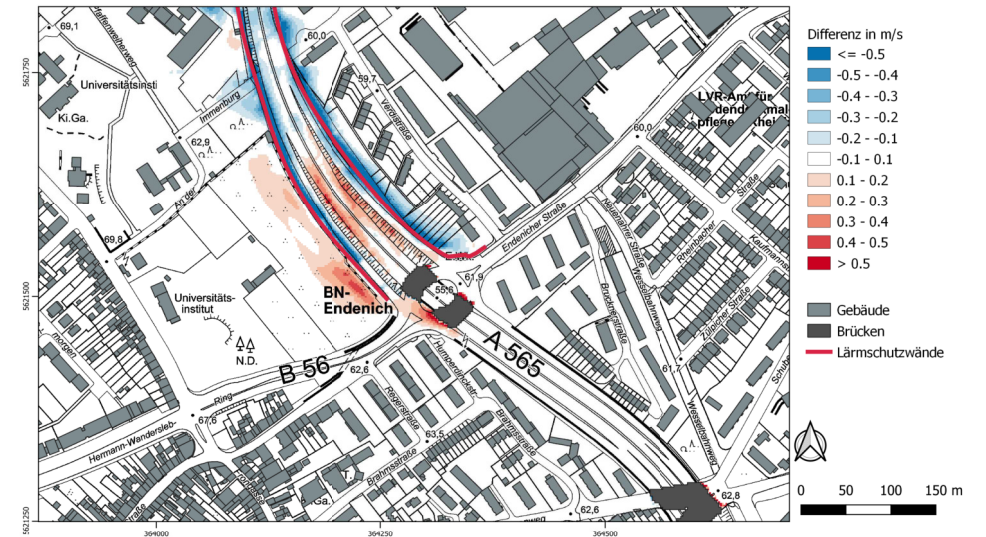
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



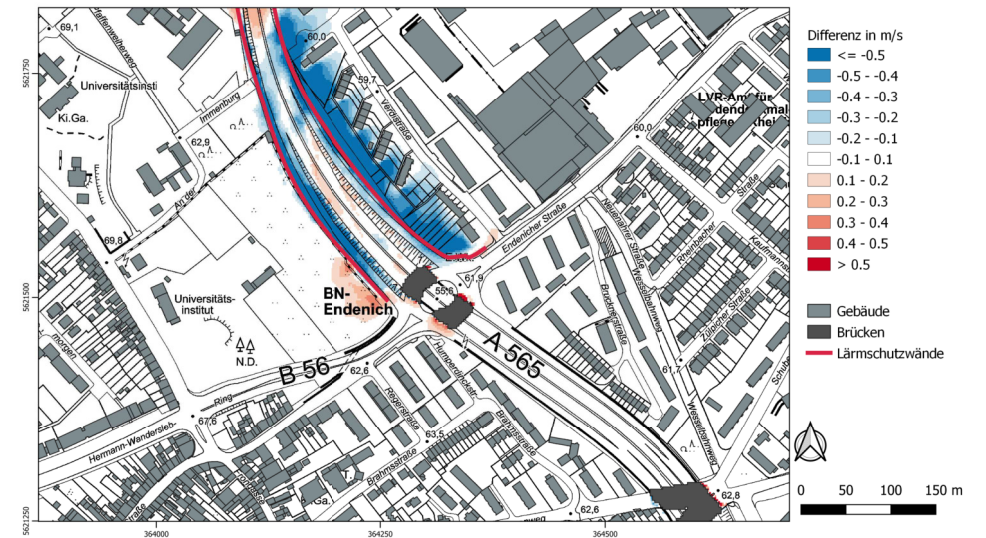
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



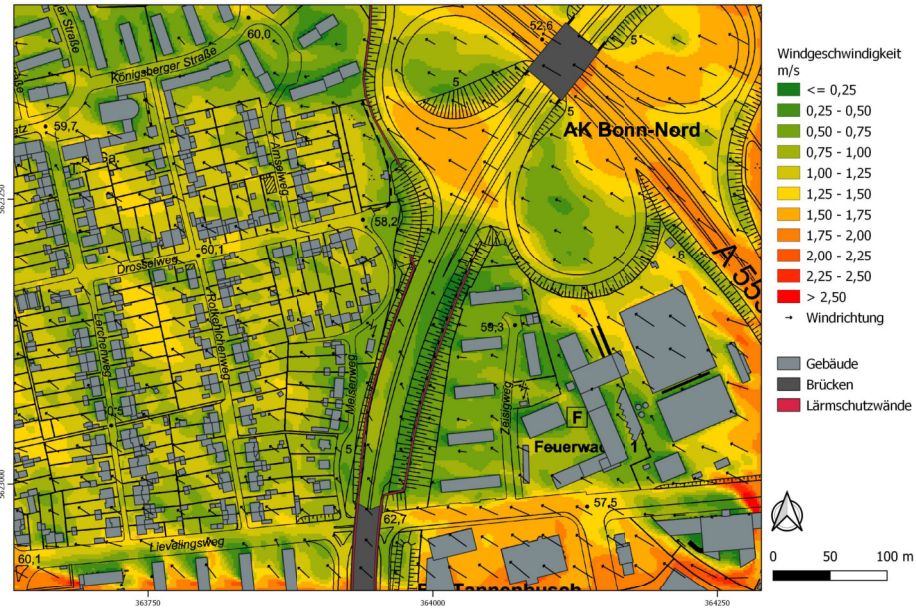
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



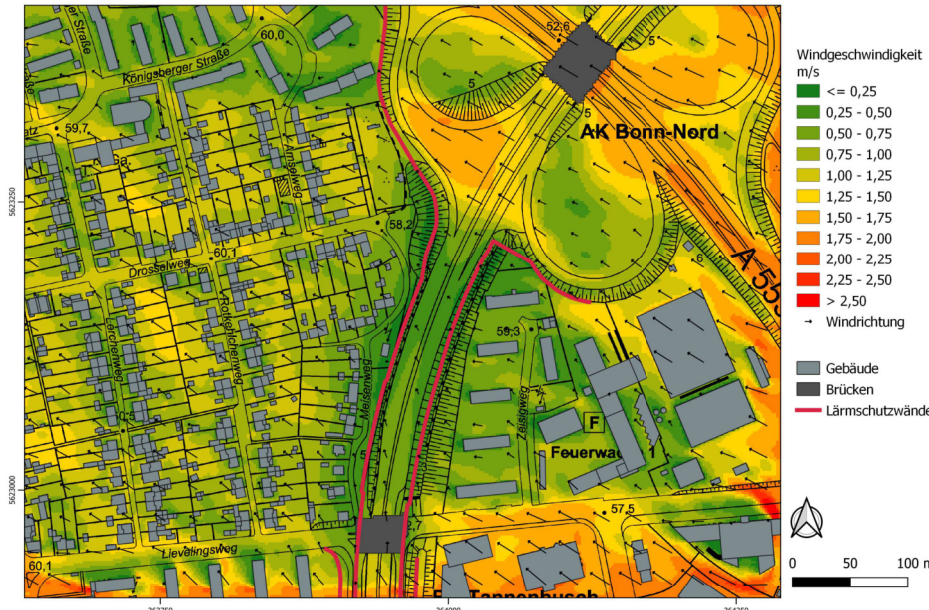
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



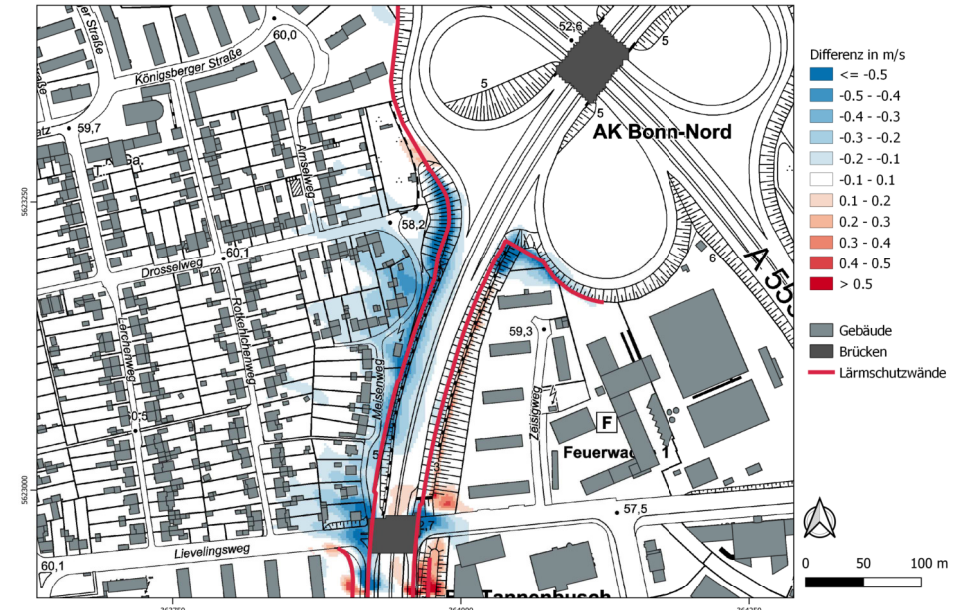
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



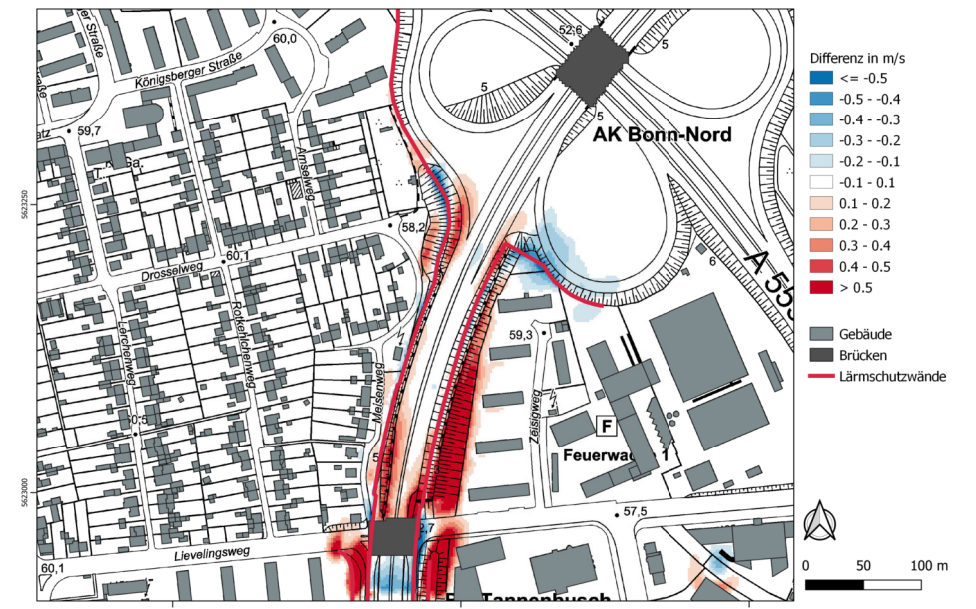
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



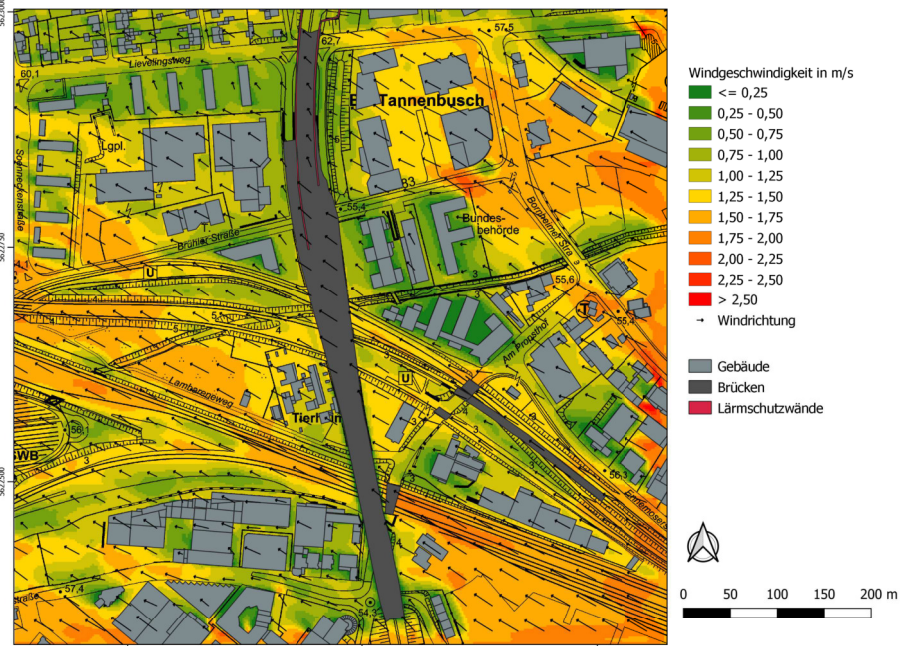
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



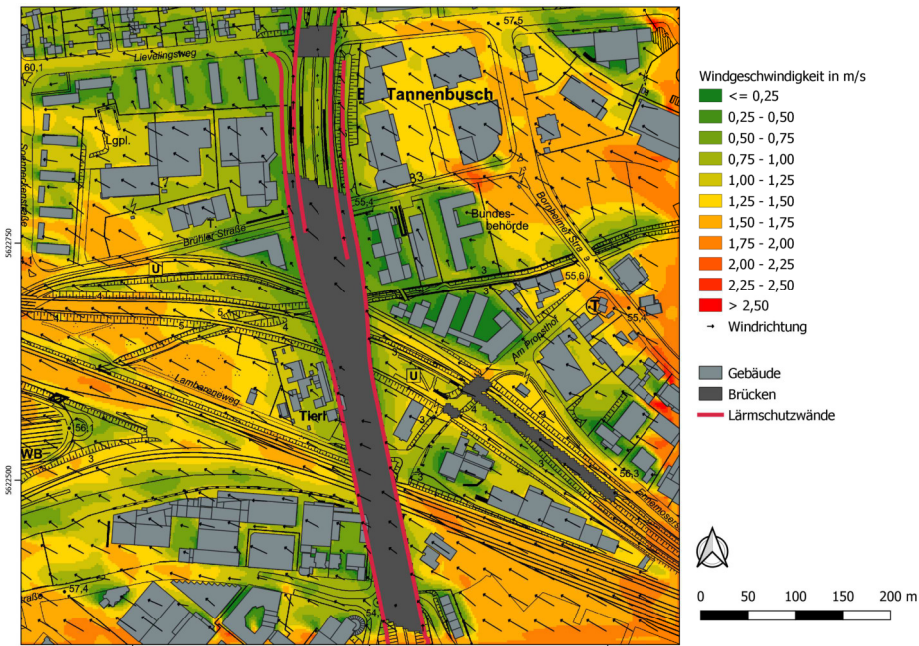
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



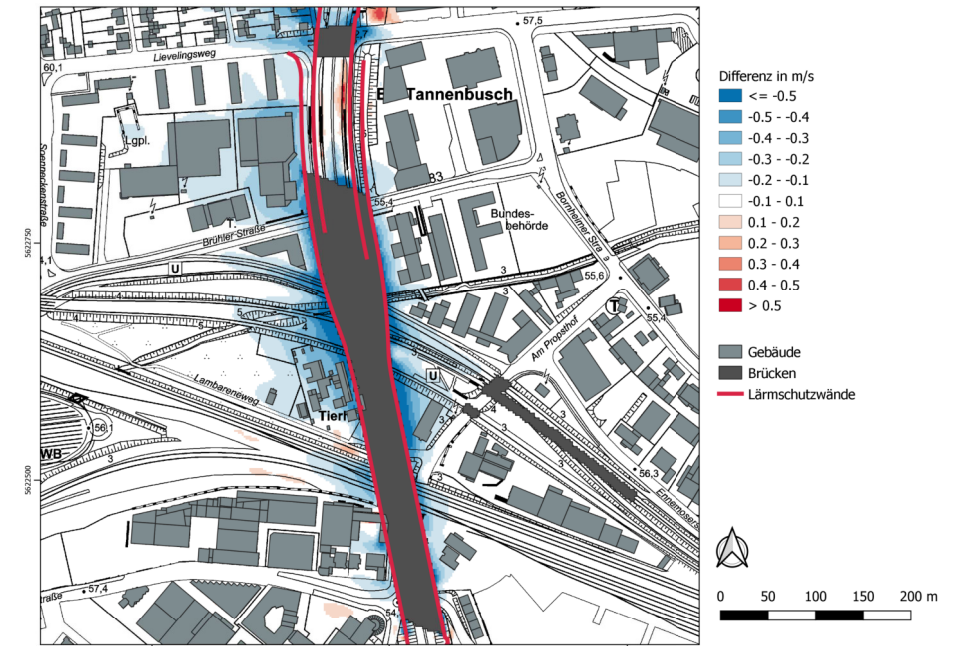
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



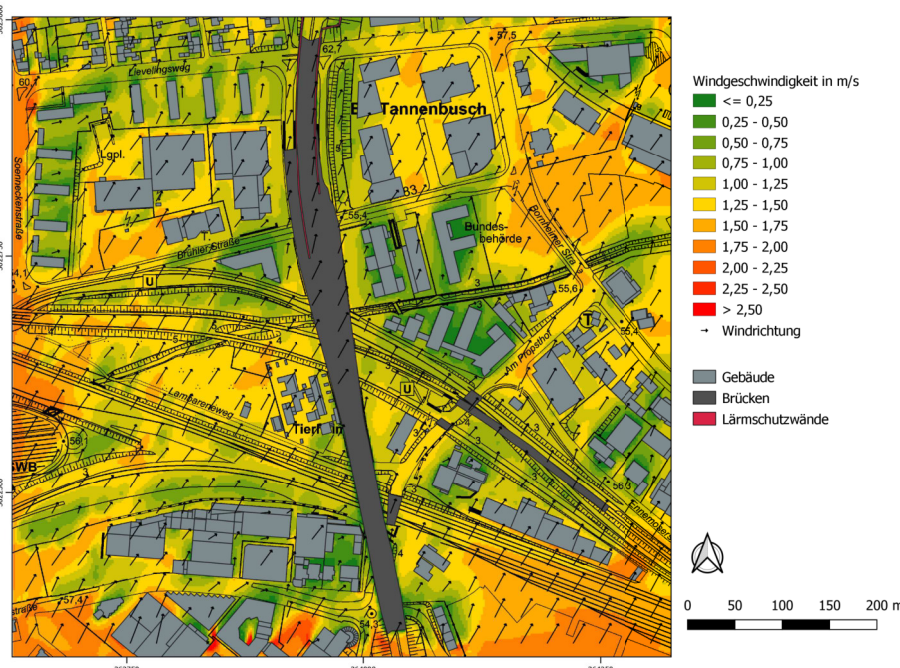
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



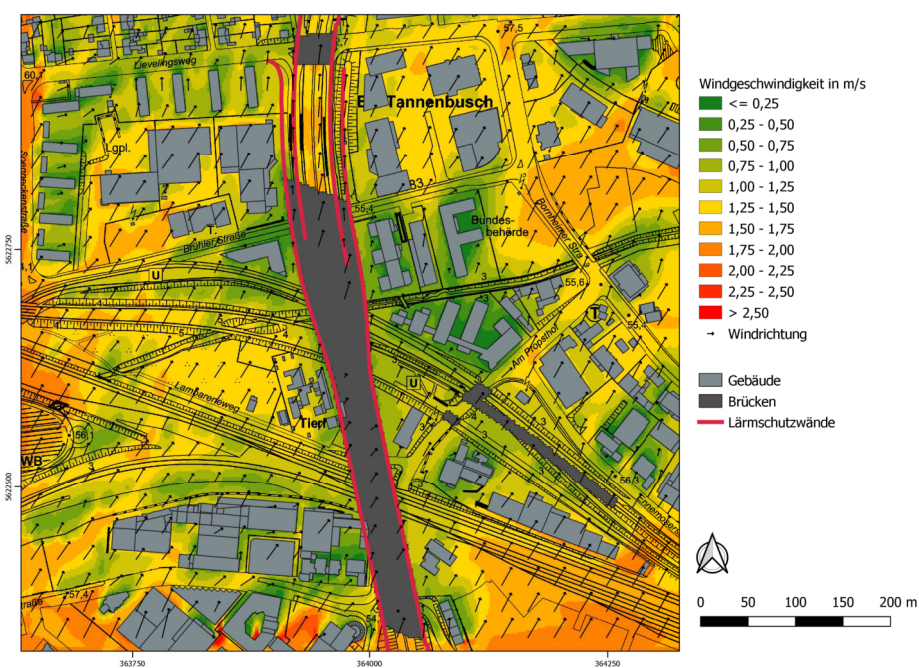
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



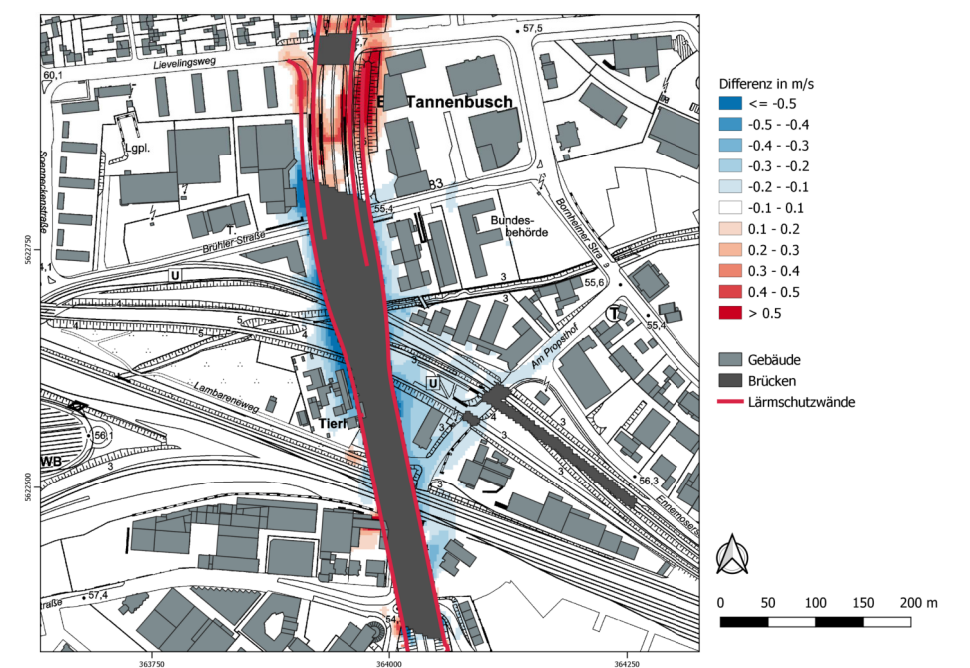
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



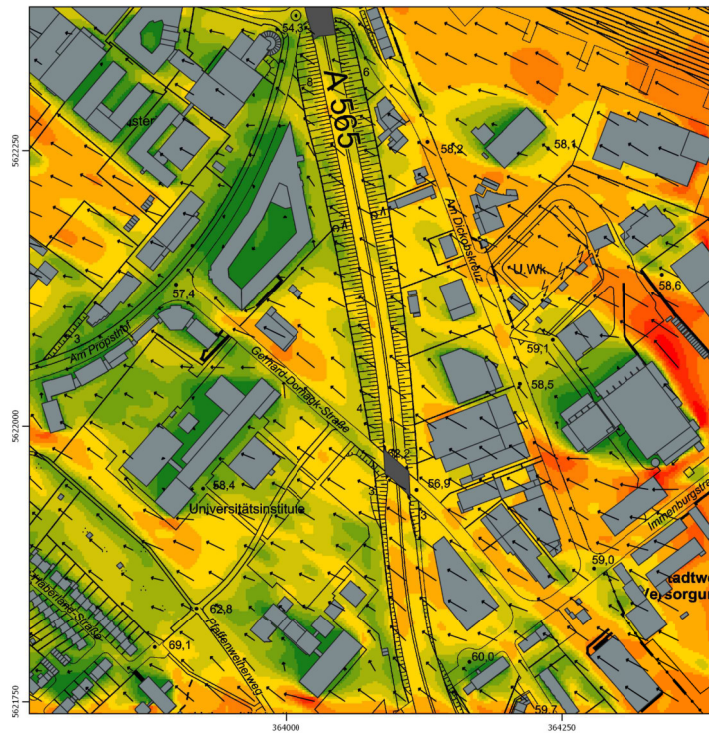
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



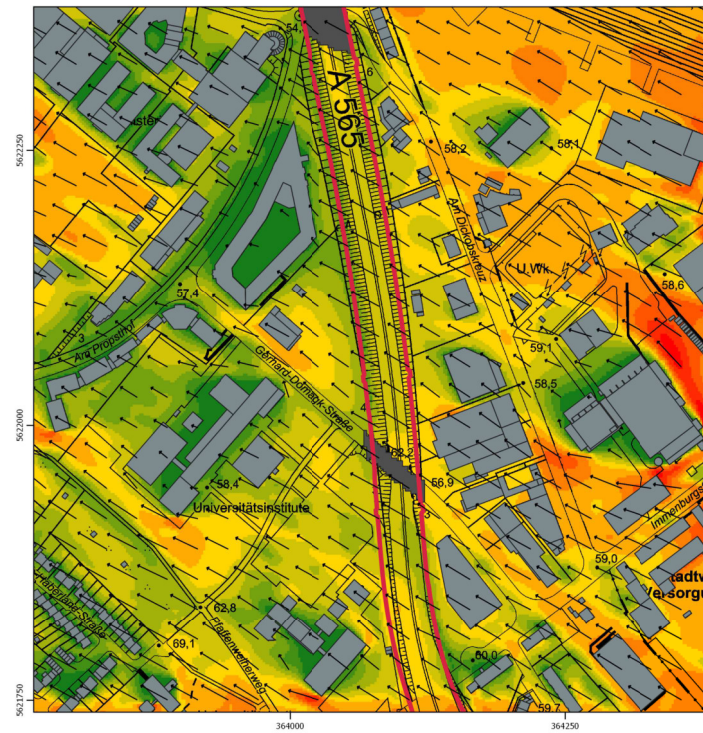
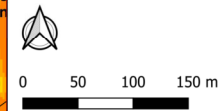
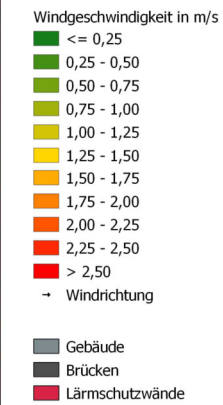
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



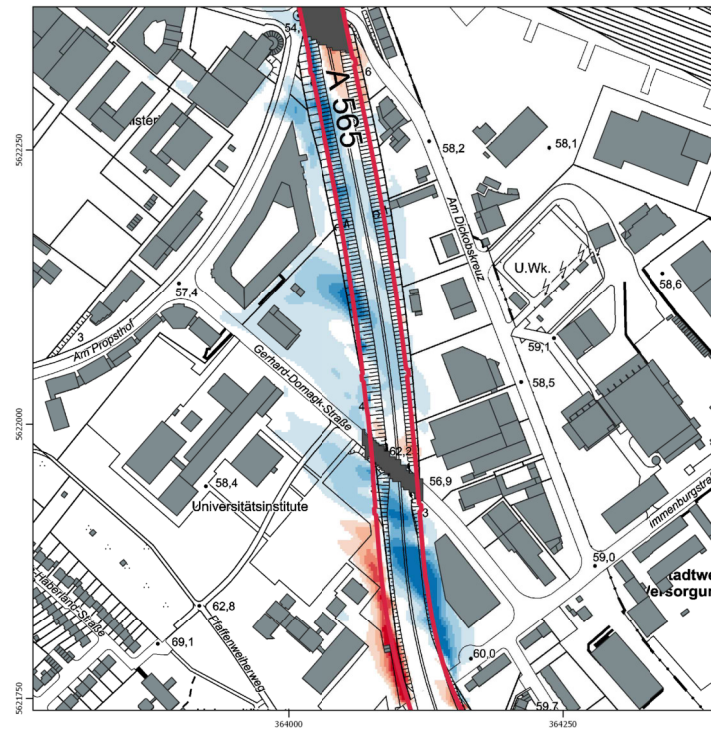
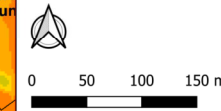
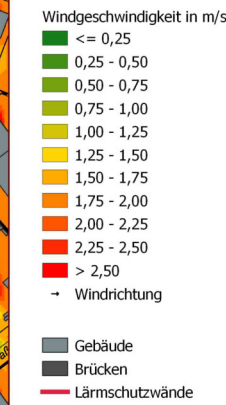
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



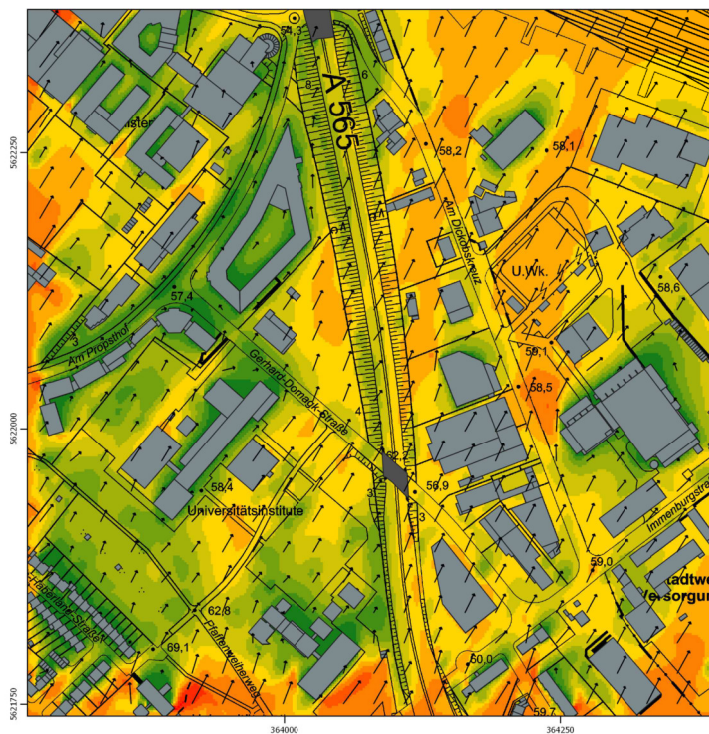
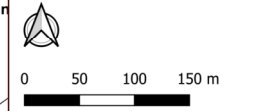
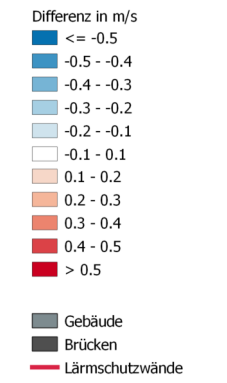
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



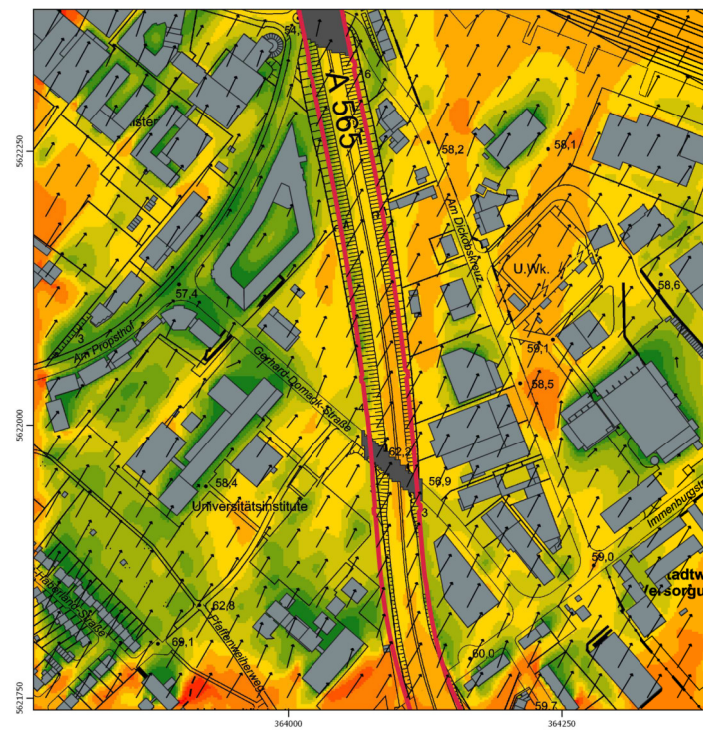
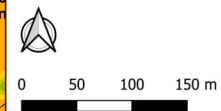
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



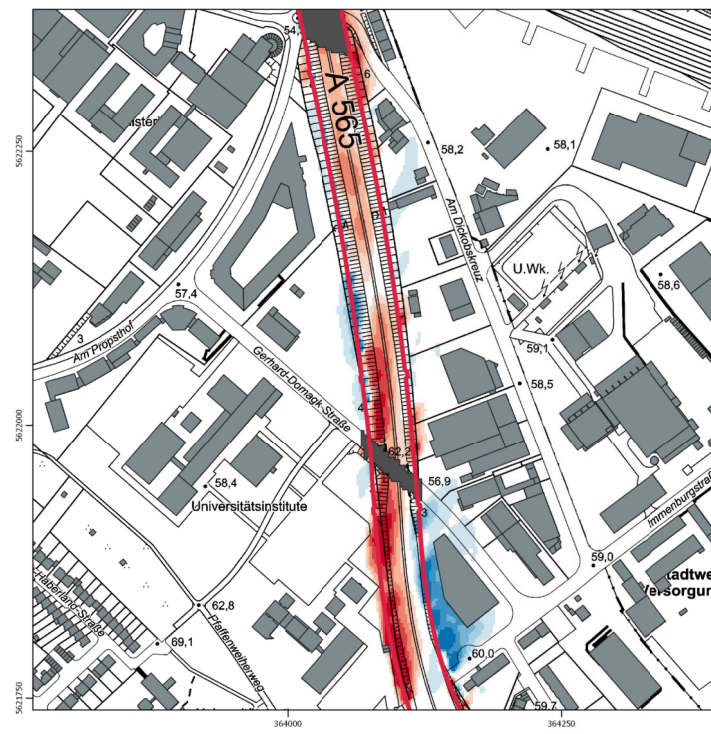
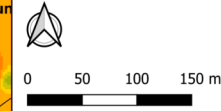
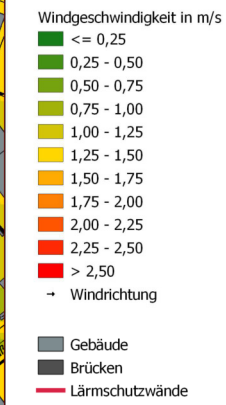
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



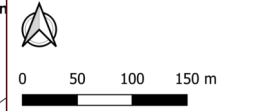
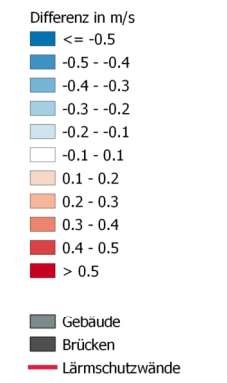
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung

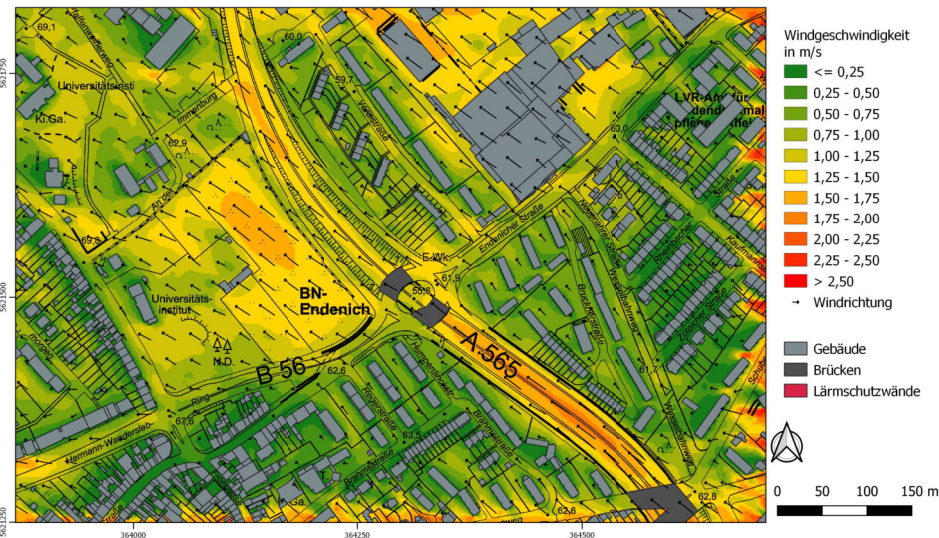


Planfall mit 210° Anströmungsrichtung

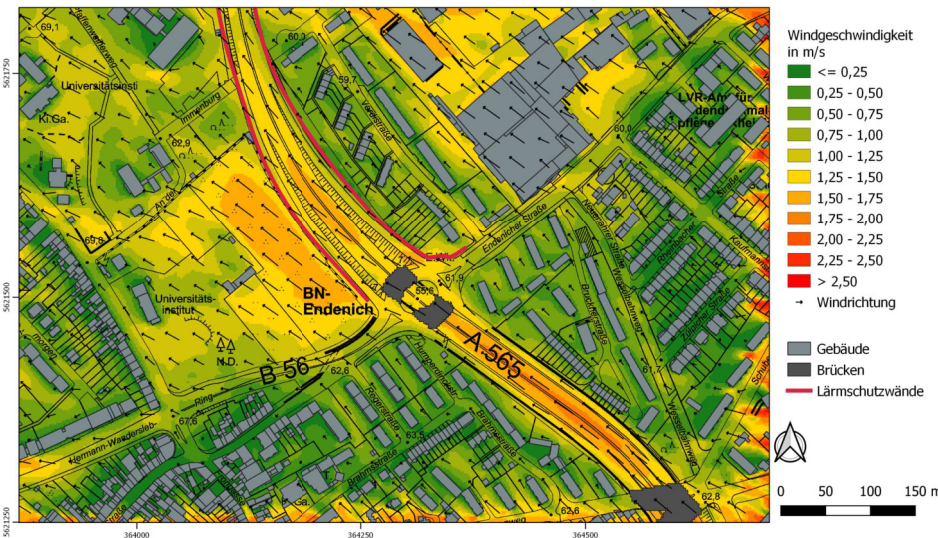


Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung

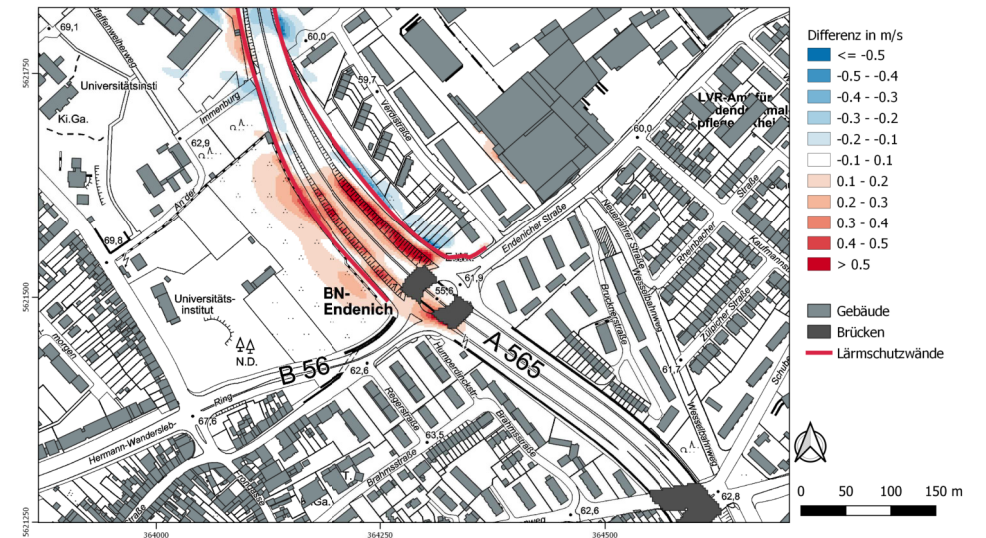




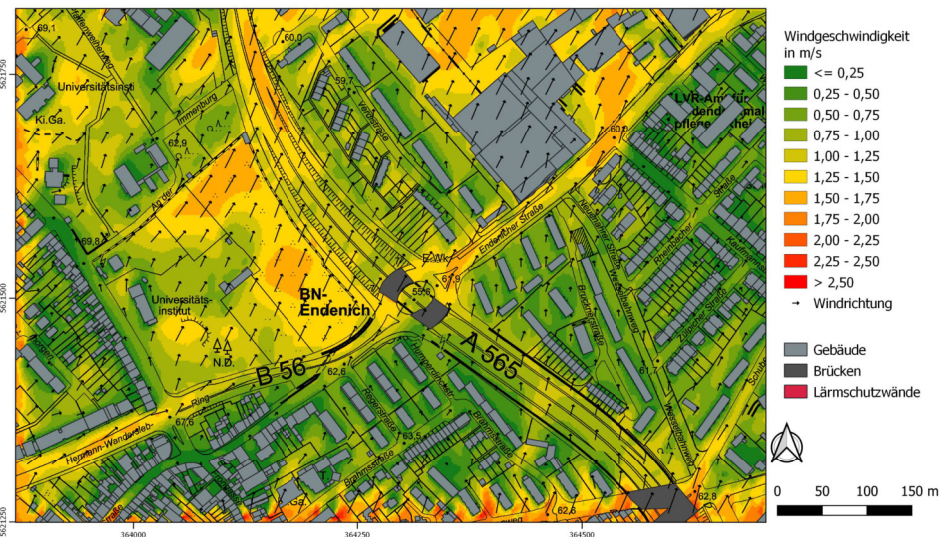
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



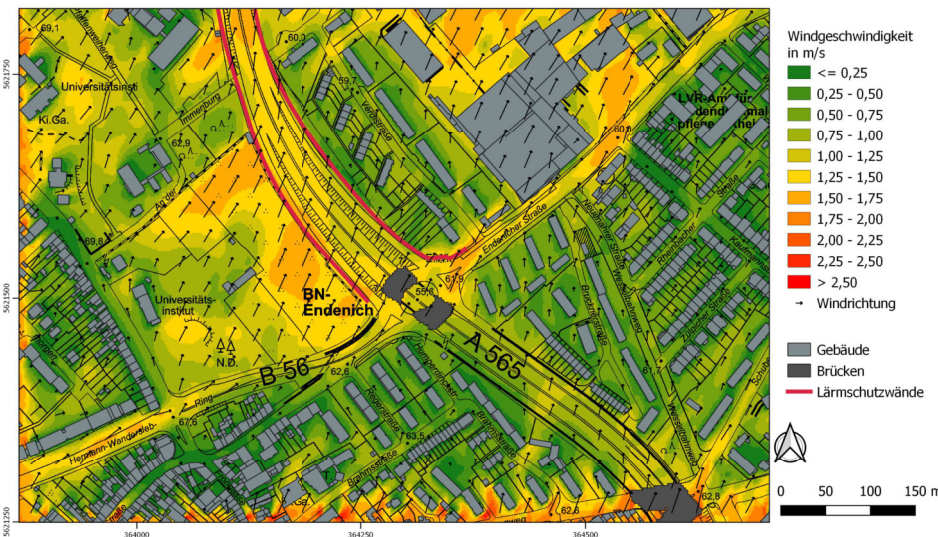
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



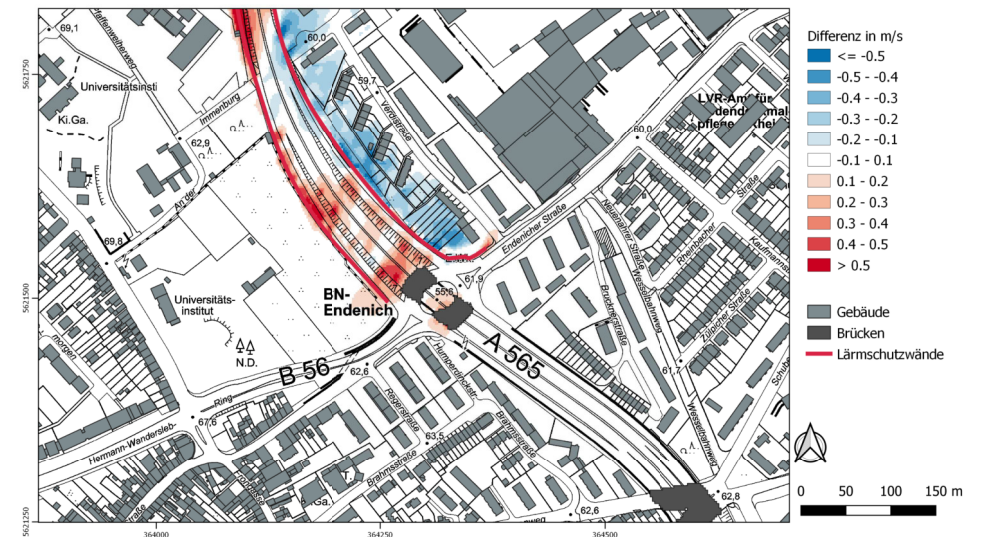
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



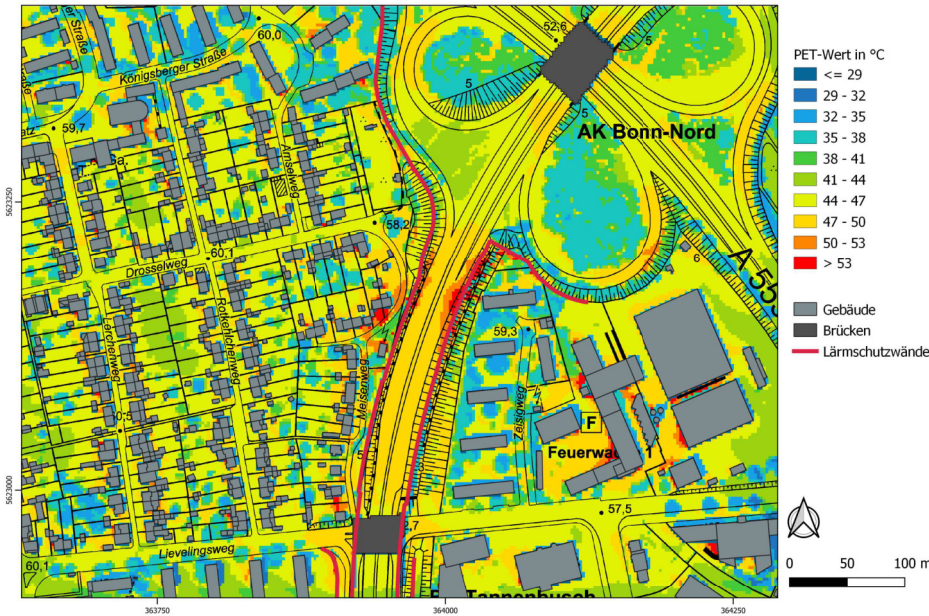
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



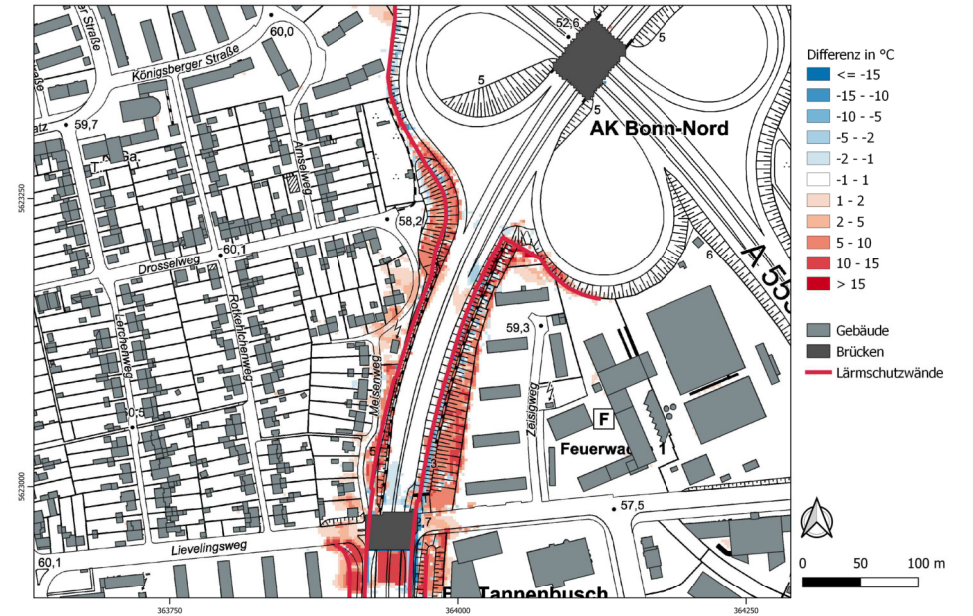
Differenz der Windgeschwindigkeit mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



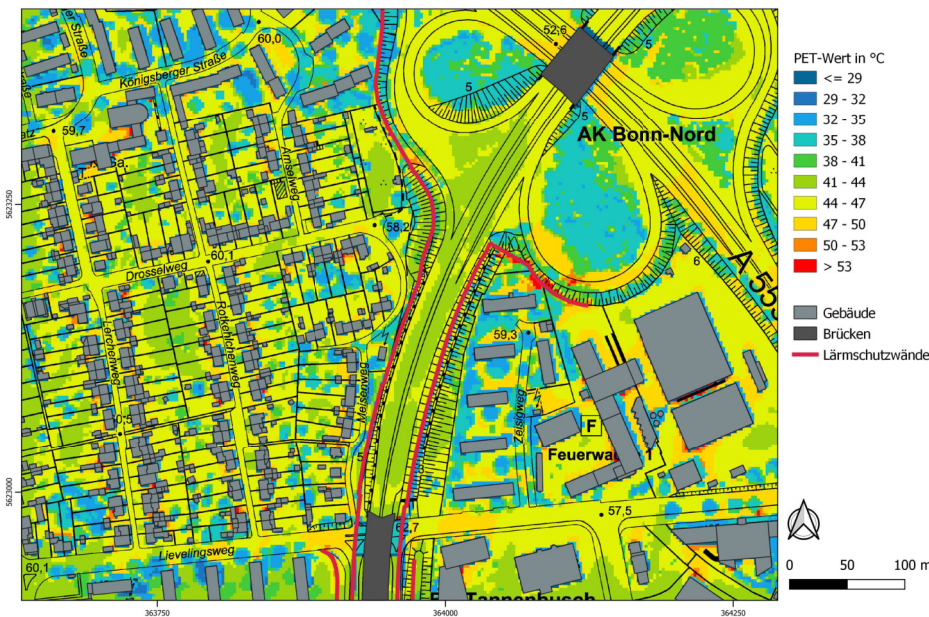
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



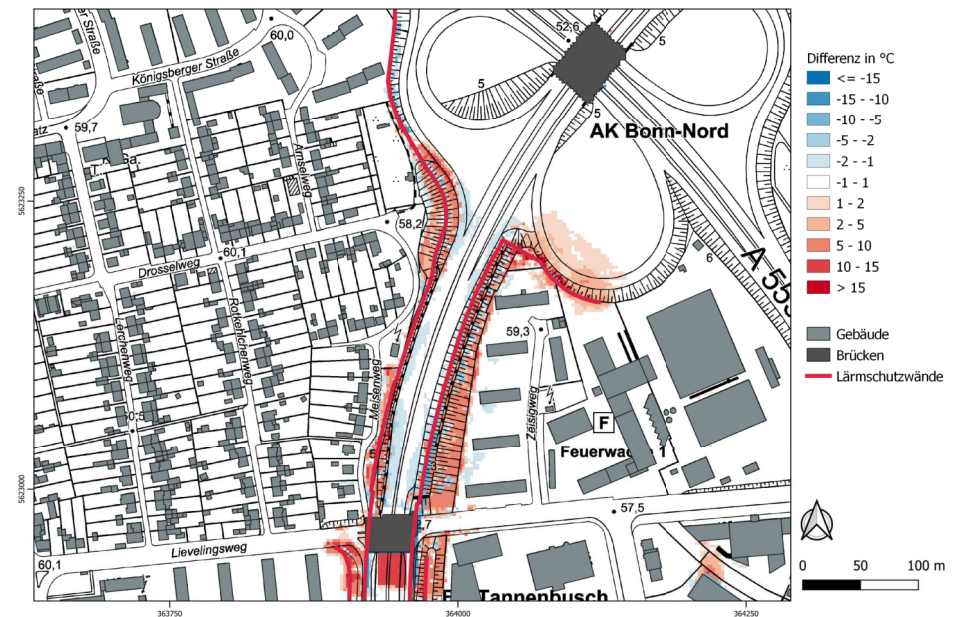
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



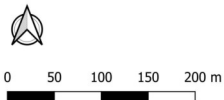
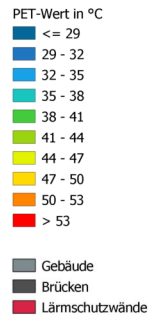
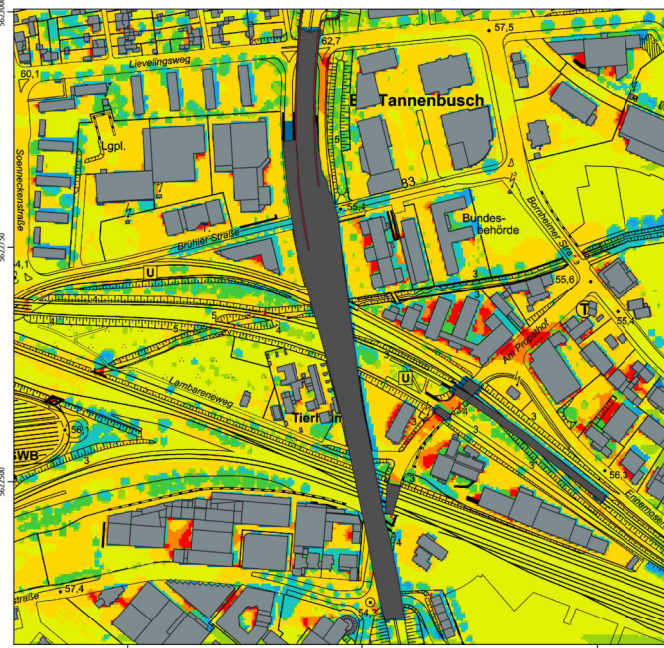
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



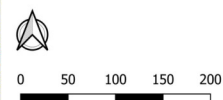
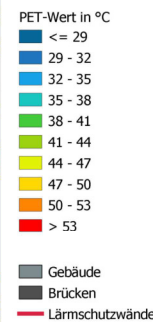
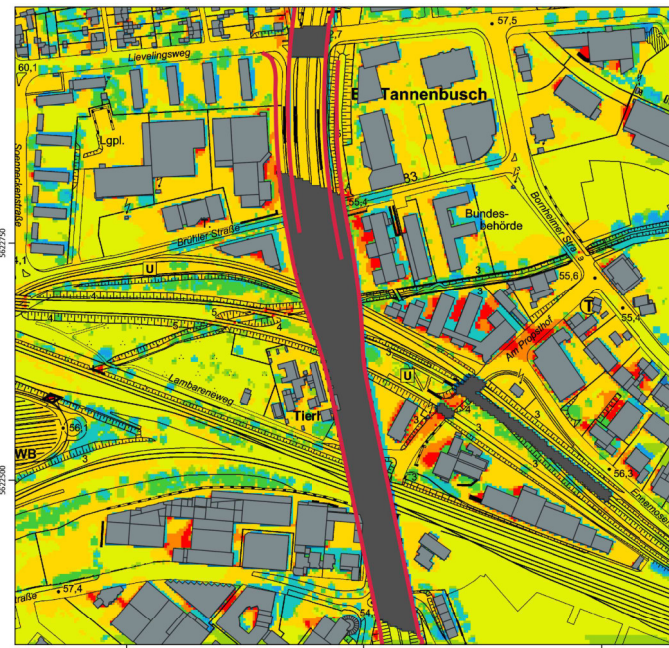
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



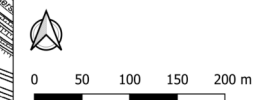
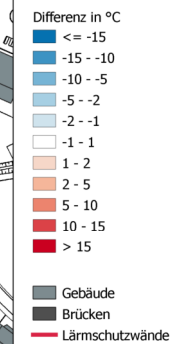
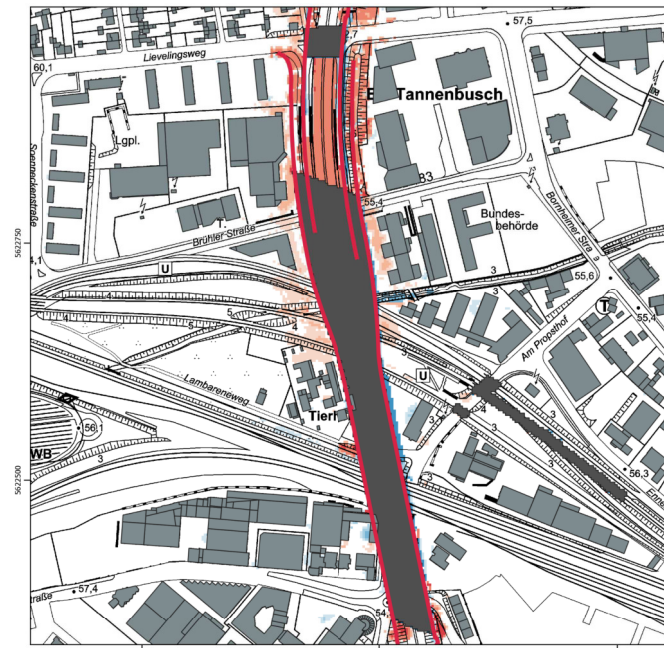
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



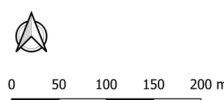
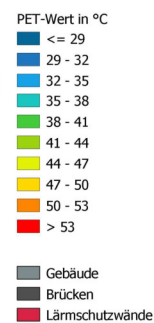
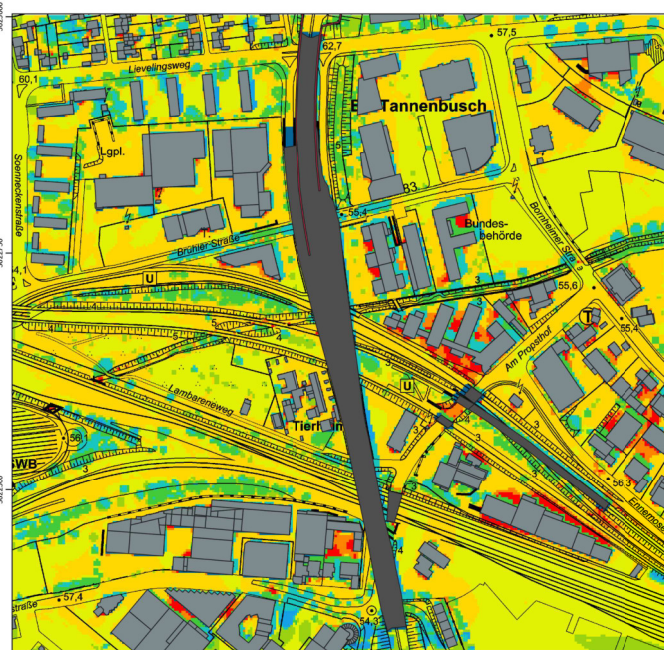
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



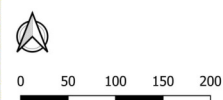
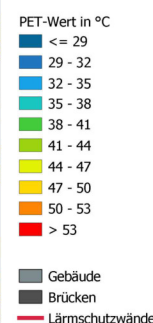
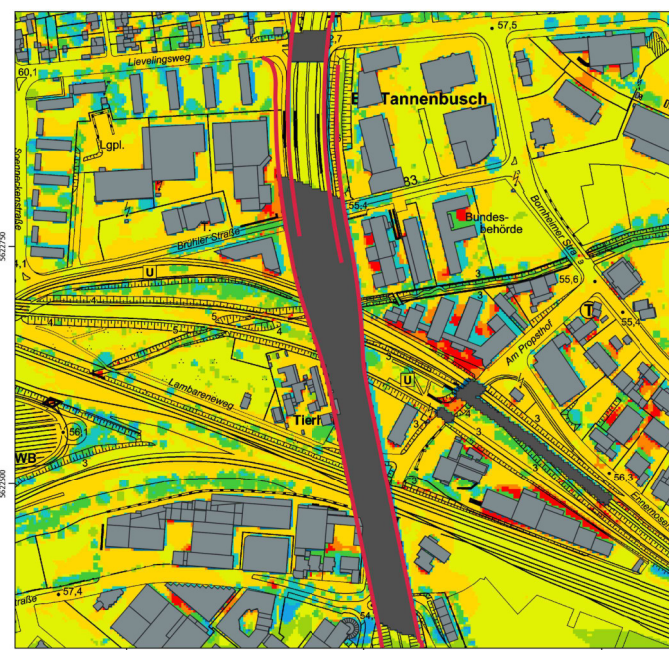
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



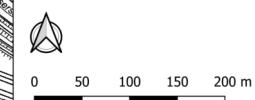
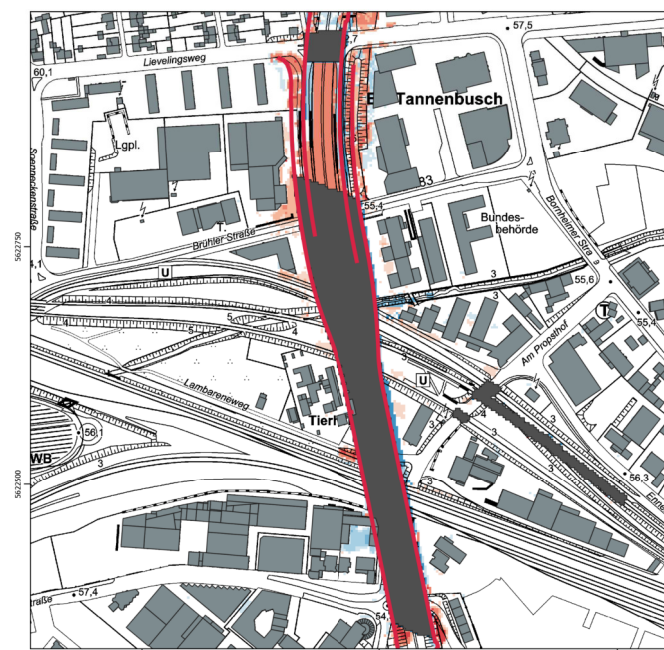
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



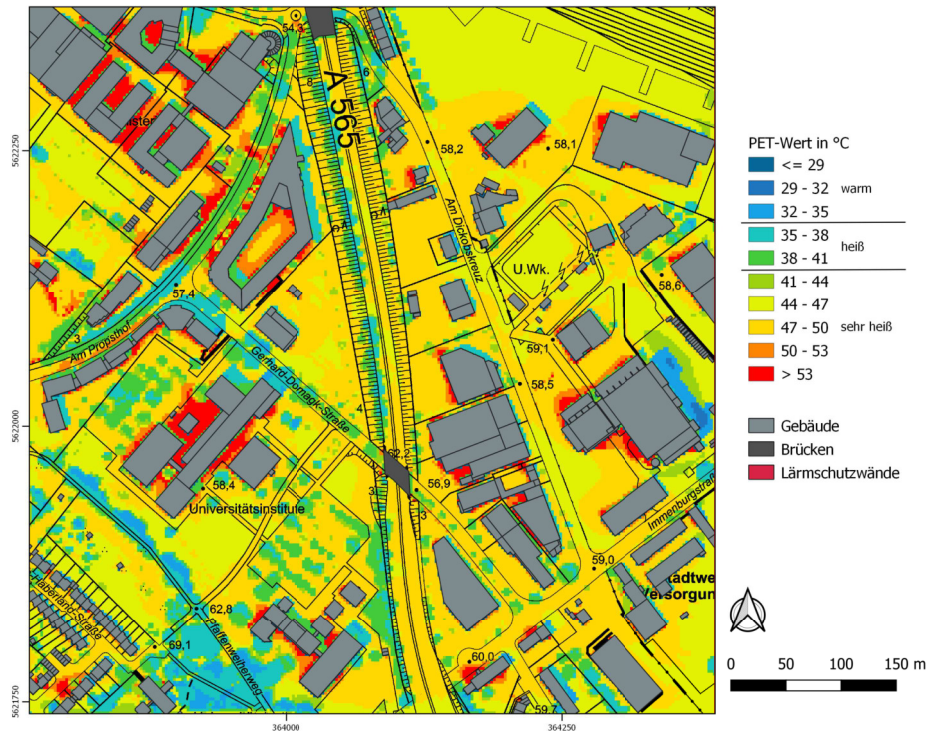
Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



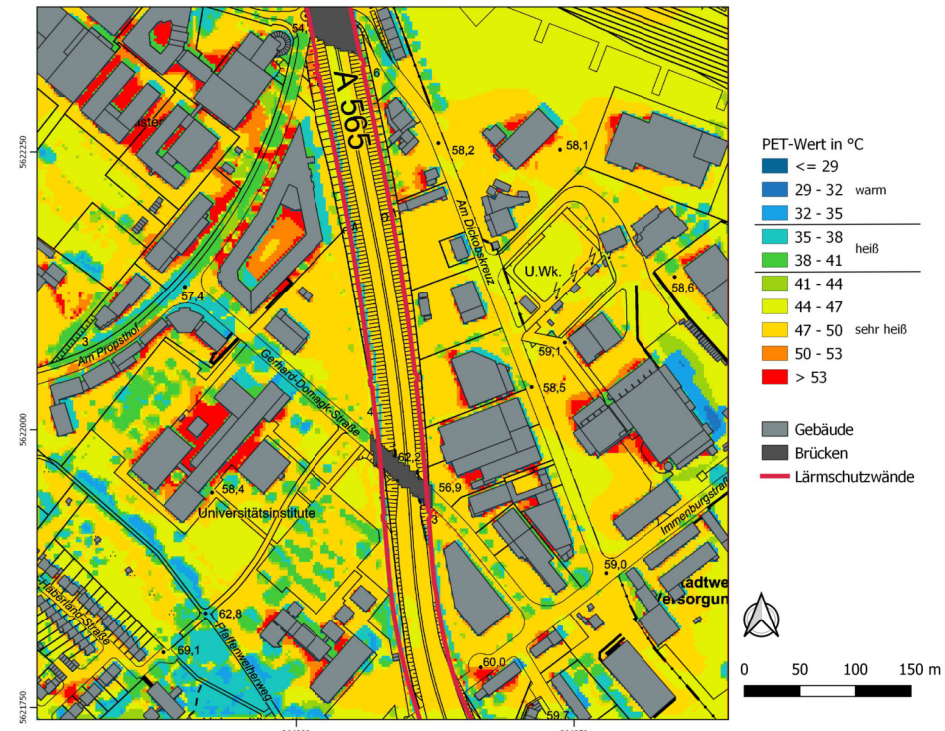
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



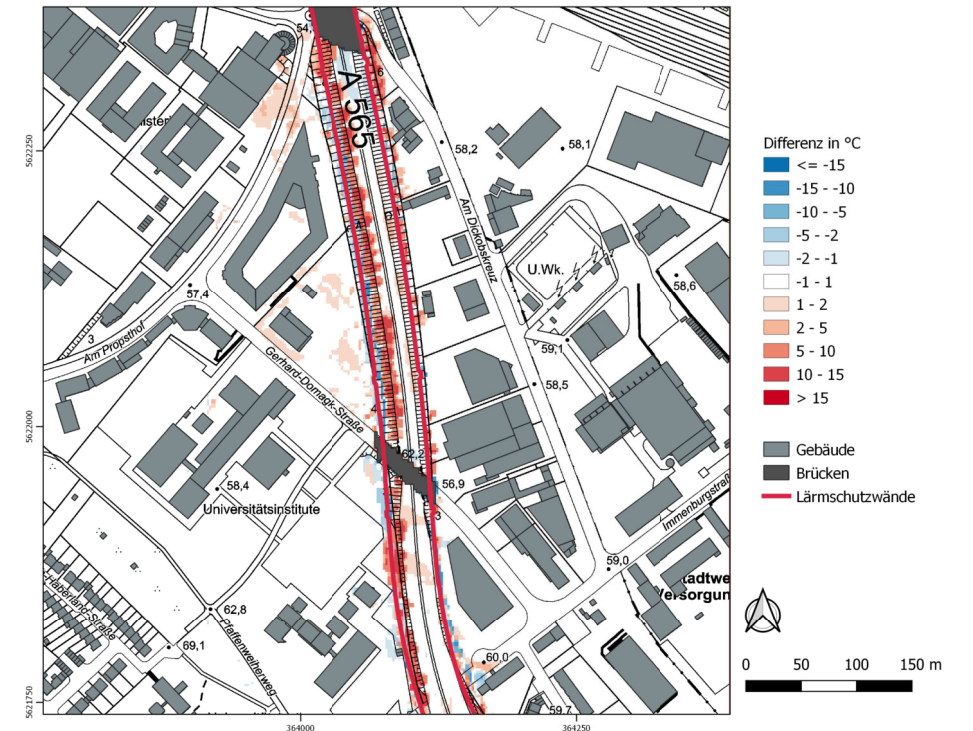
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



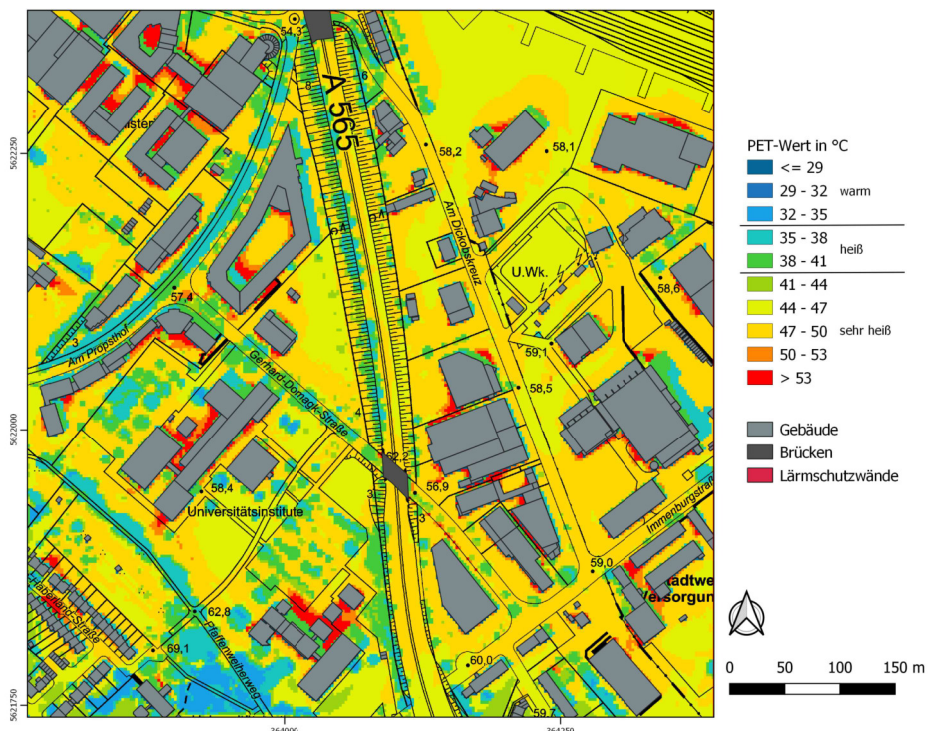
Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



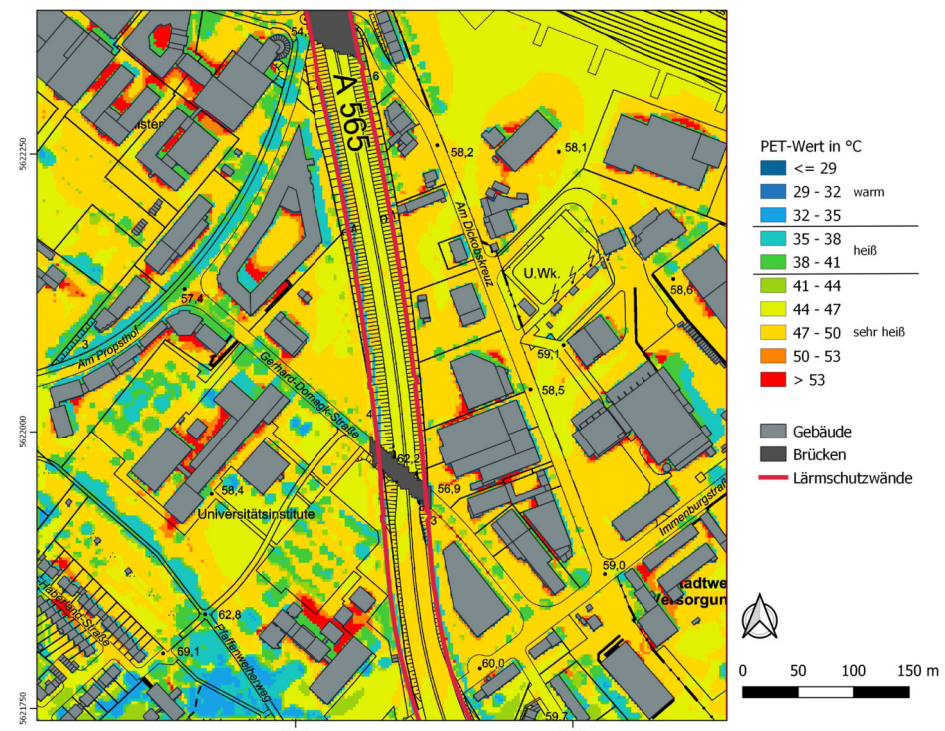
Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



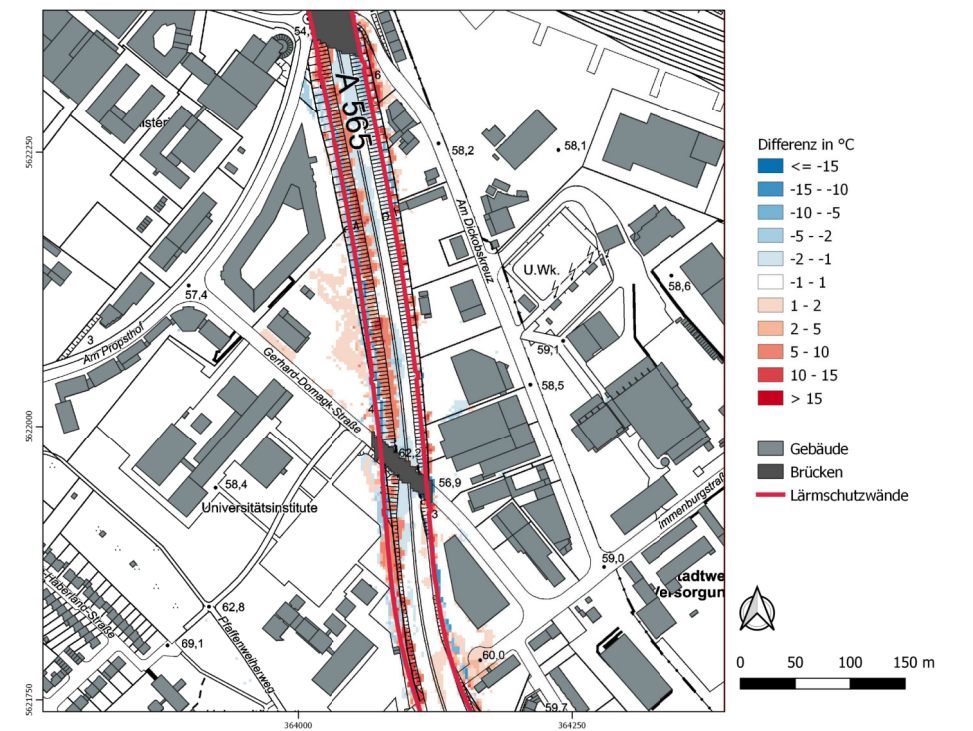
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



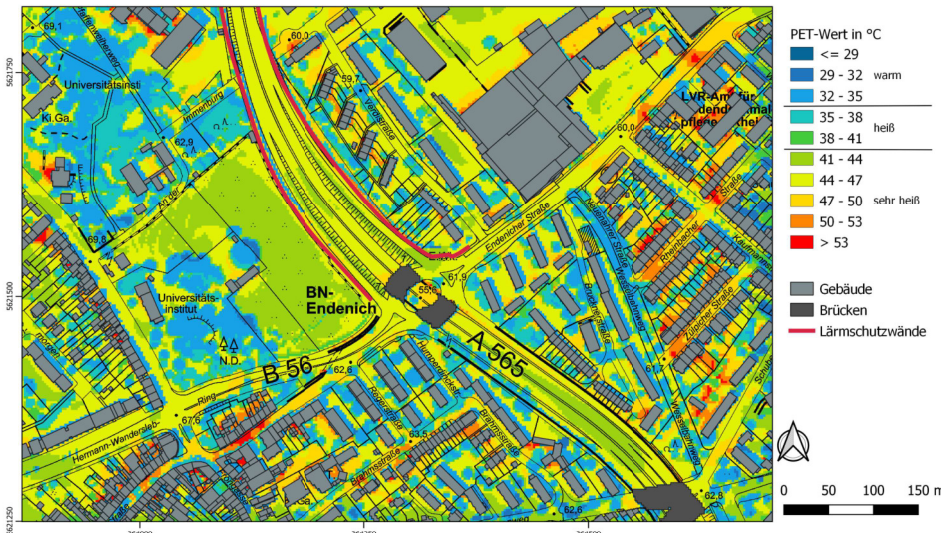
Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



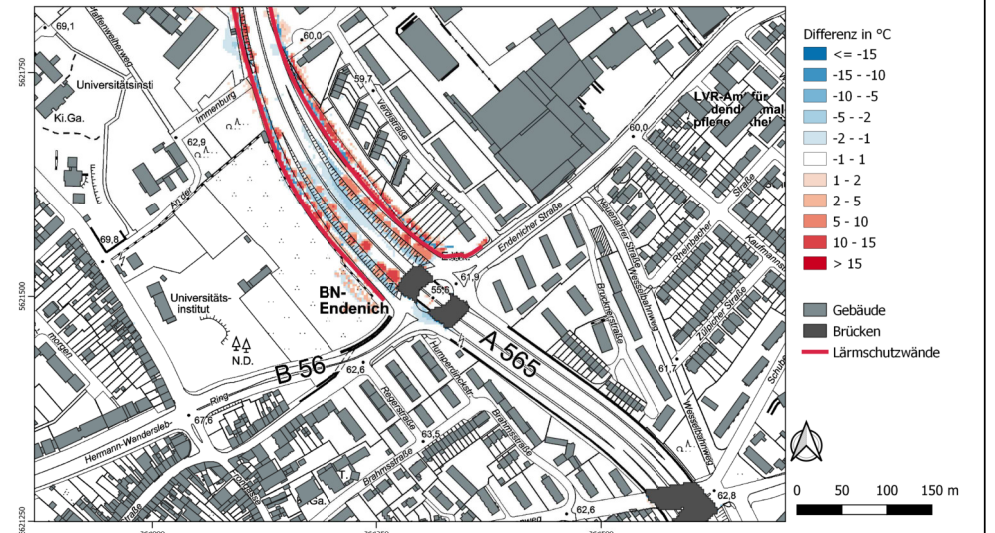
Differenz mit 210° Anströmungsrichtung



Istfall mit 120° Anströmungsrichtung



Planfall mit 120° Anströmungsrichtung



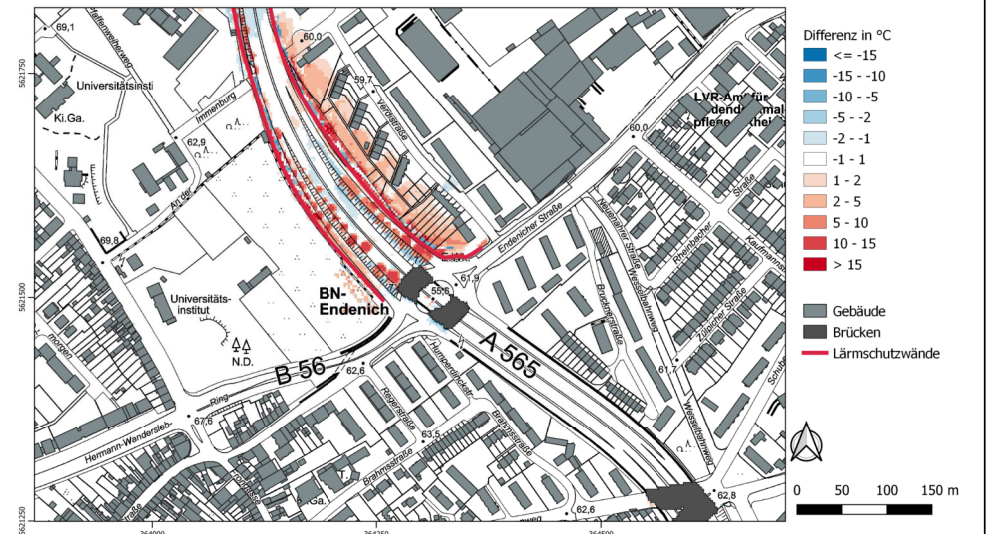
Differenz mit 120° Anströmungsrichtung



Istfall mit 210° Anströmungsrichtung



Planfall mit 210° Anströmungsrichtung



Differenz mit 210° Anströmungsrichtung