

Mikroskalige Klimauntersuchung zum Bebauungsplan 687, Mauritzstraße / Haberlandstraße in Krefeld-Uerdingen

Bericht CB 5008-3 vom 22.02.2022

Auftraggeber: Wilma Wohnen Rheinland Projekte GmbH
Pempelfurtstraße 1
40880 Ratingen

Bericht-Nr.: CB 5008-3

Datum: 22.02.2022

Ansprechpartner/in: Herr Siebers

Dieser Bericht besteht aus insgesamt 52 Seiten,
davon 36 Seiten Text und 16 Seiten Anlagen.

Vorabzug-Nr. 4 vom 21.07.2022

VMPA anerkannte
Schallschutzprüfstelle
nach DIN 4109

Leitung:

Dipl.-Phys. Axel Hübel

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

Dipl.-Ing. Mark Bless

Anschriften:

Peutz Consult GmbH

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

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

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

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

Geschäftsführer:

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

Bankverbindungen:

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

Niederlassungen:

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

peutz.de

Inhaltsverzeichnis

1 Situation und Aufgabenstellung.....4

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

3 Örtliche Gegebenheiten.....8

4 Grundlagen.....9

 4.1 Stadtklima.....9

 4.1.1 Lufttemperatur.....9

 4.1.2 Windfeld.....10

 4.1.3 Thermischer Komfort.....10

 4.2 Klimaanalyse der Stadt Krefeld.....11

 4.3 Auswirkungen des Klimawandels.....12

5 Berechnungsmodell.....16

 5.1 Modellbeschreibung.....16

 5.2 Aufbau der Rechengitter.....17

 5.3 Eingangsdaten.....17

 5.3.1 Gebäude.....17

 5.3.2 Vegetation.....18

 5.3.3 Oberflächen.....19

 5.3.4 Initialisierungsparameter.....20

6 Ergebnisse.....23

 6.1 Lufttemperaturen.....23

 6.1.1 14 Uhr.....23

 6.1.2 4 Uhr.....25

 6.2 Durchlüftung.....26

 6.3 Relative Luftfeuchtigkeit.....27

 6.4 Bioklima (PET).....28

7 Planungsempfehlungen.....30

8 Zusammenfassung.....33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET..... 11
Tabelle 5.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen.....22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1: Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Krefeld-Uerdingen..... 14

1 Situation und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber plant mit Aufstellung des Bebauungsplanes Nr. 678 „Mauritzstraße“ in Krefeld die Schaffung von Planrecht für neue Wohnbebauung. Die Neubebauung stellt eine Nachverdichtung dar, da im Geltungsbereich des Bebauungsplanes Teilflächen bereits im Bestand bebaut sind [1].

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

Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgt anhand der simulierten Temperaturverhältnisse sowie der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes zu zwei verschiedenen Uhrzeiten. Zusätzlich werden die Windverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m und 10,5 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

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

2 Bearbeitungsgrundlagen, zitierte Normen und Richtlinien

Titel / Beschreibung / Bemerkung		Kat.	Datum
[1]	Bebauungsplan Nr. 687 „Mauritzstraße“ (Entwurf)	Stadt Krefeld	P 2021
[2]	Städtebauliches Konzept (Vorabzug)	Zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P Januar 2022
[3]	Landschaftspflegerischer Begleitplan (Vorabzug)	Normann Landschaftsarchitekten PartGmbH; zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P Juli 2021
[4]	Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld unter besonderer Berücksichtigung von vier Plangebieten	Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie – Universität Essen	Lit Juli 2003
[5]	Abschlussbericht Gefährdungsabschätzung, Altablagerung Nr. 148; B-Plan 687 – Mauritzstraße / Haberlandstraße Krefeld-Uerdingen	SIMULTEC AG Zürich; zur Verfügung gestellt durch den Auftraggeber	P November 2006
[6]	Klimaatlas NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: https://www.klimaatlas.nrw.de/karte-klimaatlas	Abruf am: 09.02.2022
[7]	Zeitreihe der Windrichtung und -geschwindigkeit der DWD-Station Düsseldorf-Flughafen im Zeitraum 2011-2020	Climate Data Center des Deutschen Wetterdienstes (DWD): https://opendata.dwd.de/	P 2021
[8]	LOD2-Modell des Untersuchungsgebietes im CityGML-Format	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P 2021
[9]	Normalisiertes digitales Oberflächenmodell (NDOM) des Untersuchungsgebietes	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P 2021
[10]	Digitale Orthophotos (DOP)	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P 2021
[11]	Amtliche Basiskarte (ABK) des Untersuchungsgebietes	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P 2021
[12]	INSPIRE-WFS NW Bodenbedeckungsvektor ALKIS	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P 2021
[13]	BK 50; Bodenkarte von NRW 1:50.000	Geoportal NRW: https://www.geoportal.nrw/	P 2021
[14]	Rechenmodell ENVI-met, Version 4.4.6 - Summer Release 2021	ENVI_MET GmbH https://www.envi-met.com/	Lit 2021

V Verordnung
VV Verwaltungsvorschrift
RdErl. Runderlass

RIL Richtlinie
Lit Buch, Aufsatz, Berichtigung
P Planunterlagen / Betriebsangaben

3 Örtliche Gegebenheiten

Das Bebauungsplangebiet Nr. 687 „Mauritzstraße / Haberlandstraße“ befindet sich südlich der Nordtangente Europaring (L 473) in Krefeld. Das Plangebiet wird im Osten von der Parkstraße und im Westen durch den Bruchweg begrenzt. Die Südgrenze bildet die Haberlandstraße. Westlich des Plangebietes verläuft in ca. 400 m Entfernung die A57 in Nord-Süd Richtung. Ferner befindet sich hier die Anschlussstelle Krefeld-Gartenstadt.

Östlich des Plangebietes befindet sich gewerbliche Nutzung innerhalb des Geltungsbereichs des Bebauungsplans Nr. 351. Weitere Gewerbegebiete befinden sich nördlich / nordöstlich innerhalb der Geltungsbereiche der Bebauungspläne Nr. 225 und Nr. 589. Direkt nördlich ist mit Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 847 weitere Gewerbenutzung geplant. Weiter östlich des Plangebietes befinden sich östlich und südlich der Friedensstraße zwei Industriegebiete. Für diese gilt der Bebauungsplan Nr. 767 und der Fluchtlinienplan Nr. 312.

Innerhalb des Bebauungsplangebietes ist auf den derzeitigen Freiflächen die Errichtung von überwiegend zweigeschossiger Wohnbebauung vorgesehen. Zusätzlich soll die bis zu zwölf Geschosse hohe, bestehende Wohnbebauung sowie die Einfamilienhausbebauung planrechtlich abgesichert werden. Geplant ist das gesamte Plangebiet als allgemeines Wohngebiet einzustufen. Entlang der nördlichen Plangebietsgrenze ist aus schallschutztechnischen Gründen gegenüber der L473 Charlottering die Errichtung einer ca. 330 m langen und 4 m hohen Lärmschutzwand vorgesehen.

Die dem Istfall zugrunde liegenden aktuellen Vegetationsbestände und Oberflächenbeschaffenheiten können Anlage 6 und Anlage 8 entnommen werden

Anlage 2 zeigt die auf Grundlage des städtebaulichen Konzeptes [1] abgeleitete vorgesehene Bebauung im Planfall. Die dargestellten Gebäude und inneren Erschließungsflächen dienen als Grundlage für die Simulationsrechnungen. Des Weiteres fließen in die Berechnungen zum Planfall die im Grünkonzept [3] enthaltenden Grünflächen und Bäume ein. Eine detaillierte Darstellung der Vegetationsbestände und Oberflächenbeschaffenheiten im Planfall zeigen Anlage 7 und Anlage 9.

4 Grundlagen

4.1 Stadtklima

Durch die Umgestaltung der natürlichen Oberflächen und ihrer Eigenschaften wird lokal das Klima verändert. In urbanen Gebieten mit ihren zahlreichen künstlichen Materialien und Formen resultiert daraus das Stadtklima [24].

4.1.1 Lufttemperatur

Durch die Überwärmung von Stadtgebieten, die im Allgemeinen als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird, sind im Vergleich zur ländlichen Umgebung bodennah höhere Lufttemperaturen zu verzeichnen. Im Jahresmittel beträgt der Temperaturunterschied zwischen 1 und 2 K, in den Sommermonaten kann die Differenz mehr als 10 K betragen [22]. Das Maximum der städtischen Wärmeinsel bildet sich vor allem in den späten Abendstunden sowie in der Nacht aus. Tagsüber werden deutlich geringere Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland beobachtet [24].

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

Die raum-zeitliche Ausprägung der städtischen Überwärmung hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab. Dazu zählen neben geographischen Gegebenheiten wie Lage, Topographie und Relief auch meteorologischen Rahmenbedingungen wie Witterung und Wetterlagen. Darüber hinaus ist die Lufttemperatur in Städten stark an die Bebauungsdichte, die Flächennutzungsanteile (Versiegelung, Grün- und Wasserflächen), die thermischen Eigenschaften der Oberflächen und den Grad der anthropogenen Wärmefreisetzung gebunden [20].

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

4.1.2 Windfeld

Städte, insbesondere Großstädte, stellen durch einen Komplex aus Grünflächen, Straßenzügen, Parkplätzen und verschiedensten Bauweisen eine äußerst strukturierte Oberfläche dar. Dementsprechend zeichnet sich ein Stadtkörper vor allem durch eine erhöhte aerodynamische Rauigkeit gegenüber dem nicht bebauten, unbewaldeten Umland aus [22].

Wesentliche Effekte einer erhöhten Oberflächenrauigkeit sind die Beeinflussung der Strömungsrichtung, die Verminderung der bodennahen Windgeschwindigkeit durch Reibung an der Oberfläche, häufigere Windstillen sowie Auswirkungen auf das vertikale Windgeschwindigkeitsprofil. Dabei hängt der Reibungseinfluss maßgeblich von der Oberflächenbeschaffenheit ab. Durch Wechselwirkungen zwischen der Bebauung und der Windströmung prägen sich in Abhängigkeit der Anordnung der Gebäude charakteristische Windfelder aus. Mit einer zunehmend dichteren Bebauung wird die Strömung oberhalb sowie im Bereich innerhalb der Bebauung zunehmend gestört. Jedoch sinkt in der Regel mit zunehmender Höhe der Widerstand, sodass in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung und dem Grad der Bodenrauigkeit mit zunehmender Höhe höhere Windgeschwindigkeiten auftreten [20]. Auch Kanalisierungseffekte in Straßenschluchten können innerhalb eines Stadtgebietes zu höheren Windgeschwindigkeiten führen. Weiterhin können sich beim Durchströmen der Stadtstrukturen mechanisch und thermisch bedingte Wirbel ausbilden [23].

4.1.3 Thermischer Komfort

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

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

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

Tabelle 4.1: Bewertung des thermischen Komforts mit PET

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

4.2 Klimaanalyse der Stadt Krefeld

Zur stadtklimatologischen Einordnung des Plangebietes wird ein Auszug aus der Klimaanalyse der Stadt Krefeld aus dem Jahr 2003 herangezogen [4]. Die Abgrenzung von Flächen klimatischer Charakteristika in der Klimafunktionskarte (Anlage 4) sowie entsprechender Planungsempfehlungen in der Planungshinweiskarte (Anlage 3) erfolgte auf der Grundlage von mobilen und stationären Untersuchungen, die im Rahmen einer gesamtstädtischen Stadtklimaanalyse durchgeführt wurden.

In der Planungshinweiskarte (Anlage 3) für die Stadt Krefeld ist das Plangebiet als Übergangsraum gekennzeichnet. Diese Übergangsbereiche lassen sich aufgrund der Baukörperanordnung und Vegetationsstruktur weder eindeutig den Ungunsträumen mit überwiegend negativen noch den Ausgleichsräumen mit überwiegend positiven stadtklimatischen Eigenschaften zuordnen. Jedoch sollten bereits negative klimatische Verhältnisse durch entsprechende Planung minimiert und positive klimatische Verhältnisse erhalten bzw. gefördert werden. Zum Erhalt eines ausgeglichenen Stadtklimas mit geringer sommerlicher Wärmebelastung sollte in Übergangsbereichen eine weitere Verdichtung durch zusätzliche Bebauung und eine Zunahme der Versiegelung vermieden werden. Des Weiteren wird empfohlen, dass Grünflächen zu einem zusammenhängendem Netz erweitert werden sollten.

Die synthetische Klimafunktionskarte (Anlage 4) gibt unter Berücksichtigung der Topographie und der Flächennutzung die klimatischen (und auch lufthygienischen) Verhältnisse an austauscharmen Strahlungstagen im Krefelder Stadtgebiet in Form von Klimatopen wieder. Gemäß der Karte ist das Plangebiet aufgrund der überwiegenden Einzel- und Reihenhausbebauung mit hohem Gartenanteil einem Gartenstadt- / Dorf-Klimatop zuzuordnen und gilt somit als Übergangsbereich zwischen geschlossener Bebauung und städtisch beeinflusstem Freiraum. Infolge der spezifischen Bebauungs- und Vegetationsstrukturen sind die Belüftungsverhältnisse stellenweise ungünstig, wodurch die human-biometeorologische sommerliche Wärmebelastung gegenüber dem Umland ggfs. höher ausfallen kann. Eine Überwärmung gegenüber dem Umland tritt nur gelegentlich oder abgeschwächt auf.

Des Weiteren geht aus der Klimafunktionskarte hervor, dass die nördlich, westlich und südwestlich an das Plangebiet angrenzenden Freiflächen als Kaltluftsammlgebiete sowie als weniger windanfällige Flächen ausgewiesen sind. Demzufolge kann sich in den dortigen Geländesenken die lokal produzierte Kaltluft akkumulieren und größere Mächtigkeiten ausbilden, sodass positive thermische Effekte zu erwarten sind. Die westlich des Plangebiets vermutete Ventilationsbahn ermöglicht somit eine Be- und Entlüftung während austauscharmen Wetterlagen [4].

4.3 Auswirkungen des Klimawandels

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

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

Der Klimaatlas NRW [6] liefert für drei verschiedenen RCP-Klimaszenarien Informationen zur Entwicklung zukünftiger Klimavariablen und -kenntage aus regionalen Klimamodellen. Die RCP-Szenarien kamen im fünften Sachstandsbericht des Weltklimarates zum Einsatz und stehen für repräsentative Konzentrationspfade (englisch: Representative Concentration Pa-

thways). Diese berücksichtigen bestimmte Szenarien von anthropogenen Treibhausgasemissionen, die den Energie- und Strahlungshaushalt der Erde und damit auch das Klima beeinflussen.

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

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

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

- die mittlere Lufttemperatur im Sommer bis Ende des Jahrhunderts um 1,1 °C steigt,
- sich die Anzahl der Heißen Tage und der Tropennächte bis Ende des Jahrhunderts knapp verdoppelt

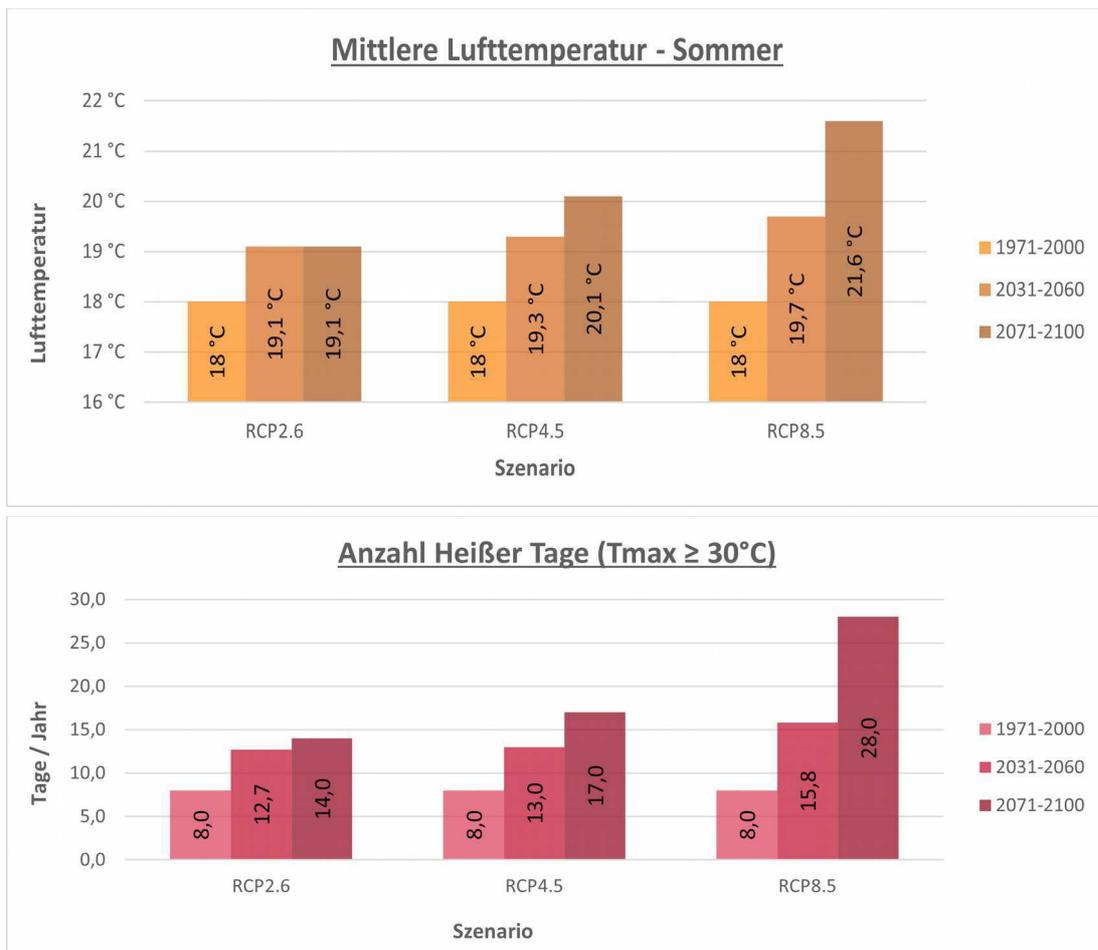
Für das mittlere Szenario RCP4.5 wird prognostiziert, dass gegenüber dem Referenzzeitraum 1970 - 2000:

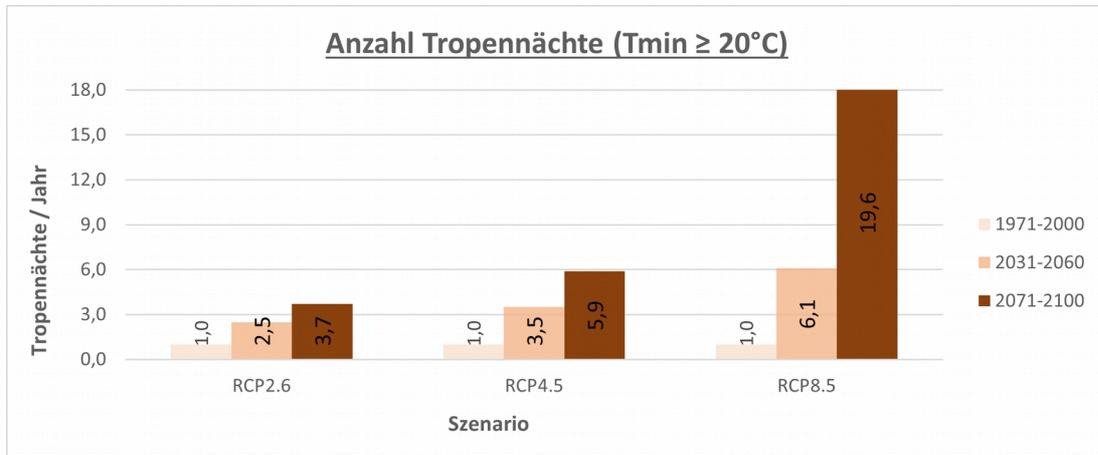
- die mittlere Lufttemperatur im Sommer von 18,0 °C auf 20,1 °C in der „fernen“ Zukunft ansteigt,
- die Anzahl der Heißen Tage bis zum Jahr 2100 von 8 auf 17 ansteigt und im Schnitt 5,9 Tropennächte pro Jahr auftreten.

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

- sich die sommerlichen Temperaturen im Mittel um 2,1 °C (2031-2060) bzw. um 3,6 °C (2071-2100) erhöhen,
- sich bis zum Ende des Jahrhunderts die Anzahl der Heißen Tage fast verdreifachen und im Mittel 19,6 Tropennächte pro Jahr beobachtet werden können.

Abbildung 4.1: Prognose der Entwicklung der sommerlichen Wärmebelastung in Krefeld-Uerdingen





5 Berechnungsmodell

Die infolge des Planvorhabens zu erwartenden Klimaänderungen im lokalen Umfeld des Bauvorhabens werden mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ENVI-met in der Version 4.4.6 (Summer Release 2021) [14] für die nachfolgend aufgeführten Varianten mit den bei sommerlichen Wetterlagen auftretenden Hauptwindrichtungen Südost und Nordost durchgeführt:

- Istfall: Bestandsbebauung, aktueller Vegetationsbestand und aktuelle Oberflächenbeschaffenheit
- Planfall: Zukünftige Bebauungssituation nach Realisierung der Planung abgeleitet aus dem städtebaulichen Konzept [1] und dem landschaftspflegerischen Begleitplan [3]

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

5.1 Modellbeschreibung

ENVI-met in der Version 4.4.6 ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches Modell zur Simulation der Wechselwirkungen zwischen Oberflächen, Pflanzen und der Luft. Es wurde für die Mikroskala mit typischen horizontalen Gitterauflösungen zwischen 0,5 und 5 m und typischen Simulationszeiten zwischen 24 und 48 Stunden mit Zeitschritten zwischen 1 und 5 Sekunden entwickelt. Diese sowohl räumlich als auch zeitlich sehr detaillierte Auflösung erlaubt die Analyse kleinräumiger Wechselwirkungen zwischen Gebäuden, Oberflächen, Pflanzen und der Atmosphäre.

Zur Berechnung nutzt ENVI-met verschiedene Untermodelle, die miteinander gekoppelt sind. Einen Überblick über die miteinander gekoppelten Modelle gibt die Anlage 5.

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

5.2 Aufbau der Rechengitter

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

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

Für die vorliegende Untersuchung wurde eine horizontale Gitterauflösung von 2,5 m realisiert. Mikroskalige Effekte durch Kleinstrukturen wie Bäume und Einzelgebäude werden bei dieser Gitterauflösung noch hinreichend genau abgebildet. Die Ausdehnung des Rechengebietes beträgt 703,5 m in x- und 761,2 m in y-Richtung.

Für die Auflösung der Rechenzellen in der Vertikalen wurde ein variabler Ansatz mit in der Höhe zunehmenden vertikalen Ausdehnungen der Gitterboxen gewählt. So wurde für die unteren sechs Schichten eine feine Vertikalauflösung von 1,0 m festgelegt. Ab der Modellhöhe von 6 m erhöht sich die vertikale Zellausdehnung um jeweils 12 %. Bei einer Anzahl von 30 Gitterzellen in z-Richtung ergibt sich hieraus eine maximale Modellhöhe von 77,05 m.

5.3 Eingangsdaten

5.3.1 Gebäude

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

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

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

Lage und Höhe der Bestandsbebauung außerhalb des Plangebietes im Untersuchungsgebiet wurden aus dem vom Land NRW zu Verfügung gestellten LOD2-Gebäudemodell [8] abgeleitet. Anlage 1 zeigt hierzu den berücksichtigten Gebäudebestand im Istfall, Anlage 2 enthält den Gebäudebestand sowie die Plangebäude im Planfall, welche auf Grundlage des städtebaulichen Konzeptes [1] abgeleitet wurden. Für die im Grünkonzept [2] gekennzeichneten Plangebäude mit extensiver Dachbegrünung wurde eine extensive Dachbegrünung mit einer Substratdicke von 12 cm und einem aufliegenden Bewuchs von 10 cm in den Berechnungen berücksichtigt.

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

5.3.2 Vegetation

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

Neben der Wuchsform (Breite und Höhe des Baumes) muss für jeden im Modell platzierten Baum die Belaubungsdichte vorgegeben werden. Dieser Parameter wurde für die Bestandsbäume anhand der im Internet veröffentlichten Straßenbaumliste der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz [15] abgeschätzt. Die hier für jede Straßenbaumart hinterlegte Information zur Lichtdurchlässigkeit wurde in die in ENVI-met vorgegebenen Belaubungsklassenübersetzt. Hierbei entspricht eine geringe Lichtdurchlässigkeit einem sehr dichten Belaubungsgrad, eine mittlere Lichtdurchlässigkeit einem dichten Belaubungsgrad und eine starke Lichtdurchlässigkeit einem lichten Belaubungsgrad.

Die Erfassung der Bäume im öffentlichen Straßenraum erfolgte mithilfe des im Internet veröffentlichten Baumkatasters der Stadt Krefeld [16]. Zur Ableitung der nicht im Baumkataster verzeichneten Bäume im privaten und öffentlichen Raum wurde das hochaufgelöste digitale Oberflächenmodell (NDOM) des Landes NRW [9] 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.

Die Lage von neu zu pflanzenden Bäumen konnte dem landschaftspflegerischen Begleitplan [3] entnommen werden. Da zum derzeitigen Planungszeitpunkt weder Art noch Wuchshöhe

jedes einzelnen Baumes feststehen, wurde in Abstimmung mit dem Landschaftsplaner für alle neu zu pflanzenden Bäume eine Wuchshöhe von 10 m und ein dichter Belaubungsgrad vorgegeben.

Entlang der Lärmschutzwand sind zudem Gehölzpflanzungen und Strauchhecken vorgesehen. Für diese Bereiche wurde in den Berechnungen eine Wuchshöhe von 5 m und ebenfalls ein dichter Belaubungsgrad angesetzt. Desweiteren sieht das Begrünungskonzept an verschiedenen Stellen innerhalb des Plangebietes Intensivpflanzungen aus Bodendeckern und Sträuchern vor. Diese Bereiche wurden in den ENVI-met Berechnungen mit einem Grasbewuchs mit einer Wuchshöhe von 1 m berücksichtigt.

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

In Anlage 6 und Anlage 7 sind die in die Berechnungen eingehenden Vegetationsbestände für beide Planungssituationen dargestellt.

5.3.3 Oberflächen

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

Anders als bei den versiegelten Flächen werden bei unversiegelten Grünflächen zusätzlich die Bodeneigenschaften des Untergrundes berücksichtigt, da sich je nach Bodenart und damit einhergehender Korngrößenzusammensetzung unterschiedliche Versickerungsraten und Wasserspeichereigenschaften ergeben. Die benötigten Informationen zu den Bodenprofilen wurden auf Grundlage des Informationssystems „Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen im Maßstab 1:50.000 (BK50)“ [13] und des uns zur Verfügung gestellten Bodengutachtens [5] abgeleitet. Durch das Plangebiet verläuft ein alter Rheinarm, der anthropogen aufgefüllt wurde [5]. Für diese Auffüllungsbereiche wurde ein unter klimatischen Gesichtspunkten ungünstiger Sandboden vorgegeben.

Die versiegelten Flächen im Bestand außerhalb des Plangebietes wurden anhand aktueller Luftbilder [10] und ALKIS - Bodenbedeckungsdaten [12] erfasst. Für Straßen wurde hierbei Asphalt, für weitere versiegelte Flächen wie z. B. Parkplätze Beton als Versiegelungsmaterial vorgegeben

Die Ableitung der Oberflächenarten auf dem Plangebiet im Planfall erfolgte auf Grundlage des städtebaulichen Konzeptes [2] sowie des landschaftspflegerischen Begleitplans [3].

Grundsätzlich wird in beiden Planungssituationen den unversiegelten Vegetationsflächen unterhalb der angesetzten Rasenfläche die zugrunde liegende Bodeneigenschaft zugewiesen.

Anlage 8 und Anlage 9 zeigen die ins Modell einfließenden Oberflächenbeschaffenheiten für den Ist- und Planfall.

5.3.4 Initialisierungsparameter

Innerhalb von ENVI-met können die tageszeitlichen Schwankungen der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und relative Feuchte entweder über feste Startparameter oder durch ein sogenanntes „Simple-Forcing“ vorgegeben werden. Beim Simple-Forcing werden die Bedingungen am Einströmrand für jede Stunde des Tages explizit vorgegeben.

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

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

In den letzten Jahren wurden in den Sommermonaten bedingt durch den fortschreitenden Klimawandel sowohl tags als auch nachts zum Teil bereits deutlich höhere Maximaltemperaturen als die hier angesetzten 30°C am Tag und 20°C in der Nacht erreicht. Zukünftig ist mit einer weiteren Verschärfung dieses Trends zu rechnen. Im vorliegenden Fall wird aber bewusst auf die Berechnung eines extremen Hitzeereignisses verzichtet, da in einer extrem

heißen Umgebung mit ausgetrockneten Böden und Vegetation nur noch geringfügige Unterschiede zwischen Freiflächen und versiegelten Flächen auftreten. Die Auswirkungen des Planvorhabens können unter Zugrundelegung eines Extremszenarios somit kaum noch dargestellt werden.

Für die Anströmung wurde eine konstante Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe vorgegeben. Dies entspricht einer typischen sommerlichen Schwachwindsituation. Zur Ableitung der zu untersuchenden Windrichtungen wurden Wetterdaten von der vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Messstation Düsseldorf-Flughafen für den Zeitraum 2011 - 2020 herangezogen. Die Station liegt etwa 12,5 km südöstlich des Untersuchungsgebietes und gibt die Windrichtungsverteilung im Krefelder Stadtgebiet gemäß dem für das gesamte Krefelder Stadtgebiet durchgeführten Luftschadstoffscreenings [17] hinreichend genau wieder .

Anlage 10 zeigt die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Station Düsseldorf Flughafen in allen Situationen des Auswertzeitraumes (links) sowie für heiße Tage mit einer Maximaltemperatur > 30 °C (rechts).

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

Die Windrichtungsverteilung an Hitzetagen unterscheidet sich deutlich von der Windrichtungsverteilung des gesamten Auswertzeitraums. So weht der Wind an Hitzetagen fast ausschließlich aus dem östlichen Halbraum mit einem deutlichen südöstlichen Windrichtungsmaximum. Südwestliche Anströmungen treten – anders als im gesamten Untersuchungszeitraum – nur sehr selten auf. Da im Lee der südöstlichen Hauptwindrichtung keine sensiblen Nutzungen vorzufinden sind, wird in den Simulationen zusätzlich eine nordöstliche Anströmung untersucht, um die Effekte des Planvorhabens auf die südlich des Vorhabens gelegenen Wohngebiete zu analysieren. Bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse ist zu beachten, dass südöstliche Anströmungen an heißen Tage deutlich häufiger auftreten als nordöstliche Strömungen.

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

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

Als Eingangsparameter zur Berechnung des thermischen Komforts mittels des PET-Wertes werden die Standardeinstellung gemäß der Norm DIN EN ISO 7730 verwendet [25]. Dabei wird von einer 35-jährigen männlichen Person mit einem Körpergewicht von 75 kg und einer

Größe von 1,75 m ausgegangen, die eine leichte körperliche Aktivität (langsames Gehen mit 4 km/h) ausübt. Hieraus ergibt sich eine metabolische Rate von 84,5 W. Weiterhin wird ein Bekleidungsindex von 0,9 einbezogen, was einem leichten Anzug entspricht.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Auswirkungen thermischer Belastungen kaum generalisierbar sind. Insbesondere alte und kranke Menschen können von thermischen Belastungen deutlich stärker betroffen sein als die hier zu Grunde gelegte Norm-Person.

Die nachfolgende Tabelle 5.1 dokumentiert die wichtigsten Initialisierungsparameter der Simulationsrechnungen:

Tabelle 5.1: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen

Initialisierungsparameter	Startwert
Geographische Position	51,37°N, 6,63°E
Startzeit der Simulation	20.06., 05:00 Uhr
Dauer der Simulation	35 Stunden
Lufttemperatur in 2 m über Grund	Simple Forcing (Spanne zwischen 20,0 °C und 30,0 °C)
Relative Feuchte in 2 m über Grund	Simple Forcing (Spanne zwischen 30 % und 75 %)
Rauigkeitslänge z0	0,1 m
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	1,5 m/s
Windrichtungen	30° (Nordost) und 150° (Südost)
Bodentemperatur	
Oberste Schicht (0-20 cm)	20,5 °C
mittlere Schicht (20 – 50 cm)	21,5 °C
tiefe Schicht (50 – 200 cm)	20,3 °C
Gesteinsschicht (> 200 cm)	20,3 °C
Bodenfeuchte	
Oberste Schicht (0-20 cm)	75,0 %
mittlere Schicht (20 – 50 cm)	80,0 %
tiefe Schicht (50 – 200 cm)	70,0 %
Gesteinsschicht (> 200 cm)	70,0 %

6 Ergebnisse

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

Für die Untersuchung zur Durchlüftung wurden die Windfelder um 14 Uhr analysiert und in zwei verschiedenen Höhengniveaus (bodennah, 1,5 m ü. Grund und in 10,5 m ü. Grund) ausgewertet und dargestellt. Die Windfelder zu anderen Tageszeiten unterscheiden sich nur unwesentlich von der 14 Uhr Situation und werden daher nicht analysiert. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde ebenfalls um 14 Uhr ausgewertet.

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

Tagsüber wird die thermische Belastung neben der Lufttemperatur zusätzlich durch 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 4 Uhr-Situation wurde nur die Lufttemperaturverteilung analysiert und dargestellt.

Die Anlage 11 bis Anlage 16 sind so aufgebaut, dass jeweils die obere Abbildungsreihe den Istfall und den Planfall sowie die planungsbedingten Differenzen bei nordöstlicher Anströmungsrichtung zeigt, die untere Reihe stellt die Ergebnisse bei südöstlicher Anströmung dar.

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

6.1 Lufttemperaturen

6.1.1 14 Uhr

Anlage 11 zeigt die simulierten Lufttemperaturen in 1,5 m Höhe für den Ist- und Planfall sowie die sich heraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen für beide untersuchten Anströmungsrichtungen um 14 Uhr.

Sowohl in den Berechnungsergebnissen zum Ist- als auch zum Planfall werden an den Einströmrandern im Süden und Osten des Untersuchungsgebietes relativ hohe Temperaturen ausgewiesen. Diese hohen Temperaturen resultieren allerdings aus modelltechnischen Randeffekten im Einströmbereich und sollten daher nicht weiter interpretiert werden. Verlässliche Ergebnisse sind etwa ab Entfernungen von 100 bis 200 m zum Einströmrand zu erwarten.

Im Istfall werden bei nordöstlicher Anströmung innerhalb des Plangebietes Temperaturen zwischen 28,0 und 29,25 °C ausgewiesen. Die kühleren Bereiche liegen hierbei in den Siedlungsbereichen der Bestandsbebauung. Dieser - zunächst überraschende - Effekt ist auf die Verschattung der bodennahen Schicht durch Gebäude und Bäume zurückzuführen, während die Freiflächen innerhalb des Plangebietes die volle Sonneneinstrahlung erfahren und sich somit stärker aufheizen. Bei südöstlicher Anströmungsrichtung ist unter den vorgegebenen Randbedingungen ein ähnliches Temperaturniveau wie bei Nordostwind zu erwarten. Hier werden ebenfalls innerhalb der Bestandsbebauung sowie entlang der südlichen Plangebietsgrenze die niedrigsten Lufttemperaturen am Nachmittag prognostiziert.

Durch die Realisierung des Planvorhabens ändern sich verschiedene Einflussgrößen, die Auswirkungen auf die nachmittäglichen Temperaturverhältnisse haben. Dies umfasst zum einen eine erhöhte Bebauungsdichte und zusätzliche Baumstandorte als auch eine Änderung der Verteilung von versiegelten und unversiegelten Oberflächen.

Dies hat zur Folge, dass bei beiden untersuchten Windrichtungen gegenüber der Istsituation eine zum Teil deutliche Abkühlung von bis zu 1 °C aus den Berechnungsergebnissen hervorgeht. Diese Abkühlung beschränkt sich hierbei nicht nur auf die Flächen innerhalb der Plangebietsgrenzen, sondern betrifft auch die angrenzenden Bereiche außerhalb des Plangebietes. Somit resultiert für die südlich an das Plangebiet angrenzende Wohnbebauung in den Nachmittagsstunden bei nordöstlicher Windrichtung ebenfalls eine negative Temperaturdifferenz gegenüber dem Istfall von bis zu -0,6 °C. Ebenfalls zeigen die Ergebnisse bei südöstlicher Anströmungsrichtung eine Abkühlungstendenz zwischen -0,2 und -0,6 °C auf, die mehr als 300 m über die Plangebietsgrenzen hinausreicht.

Die Abkühlungstendenzen in der bodennahen Schicht sind auf mehrere Effekte zurückzuführen. So verringert sich sowohl durch die neuen Gebäude als auch durch die zusätzlichen Baumpflanzungen die einfallende direkte Sonneneinstrahlung in dem im Istfall weitestgehend unverschatteten Plangebiet. Dies hat zur Folge, dass sich die Oberflächen weniger stark aufheizen und somit auch weniger Wärme an die bodennahen Luftschichten abgeben. Des Weiteren wirkt sich der erhöhte Vegetationsanteil in Form von zusätzlichen Baumstandorten sowie extensiver Dachbegrünung auf den Plangebäuden positiv auf die Verdunstungsleistung der Vegetation aus, was wiederum zu einer Reduktion der nachmittäglichen Lufttemperaturen führt.

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

Maßgebliche, planungsbedingte Erwärmungstendenzen können zum Zeitpunkt der wärmsten Tageszeit somit nicht festgestellt werden.

6.1.2 4 Uhr

Anlage 12 zeigt die simulierten Lufttemperaturen für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Temperaturdifferenzen für beide untersuchten Anströmungsrichtungen um 4 Uhr in der kältesten Nachtstunde.

Die Klimasimulationen prognostizieren für das Plangebiet im Istfall Lufttemperaturen zwischen 23,0 und 23,7 °C.

Die Differenzdarstellungen zeigen, dass sowohl bei südöstlicher als auch bei nordöstlicher Anströmung in den Nachtstunden von einer Erwärmung gegenüber der Bestandssituation auszugehen ist. Diese ist darauf zurückzuführen, dass sich die geplanten Gebäude und die neuen versiegelten Flächen aufgrund der hohen Wärmespeicherkapazität der Baumaterialien im Tagesverlauf aufgeheizt haben und die gespeicherte Wärme nun im Lauf der Nacht an die Umgebungsluft abgeben, während die unversiegelte Freifläche im Bestand deutlich effektiver auskühlen konnte.

Bei der an heißen Sommertagen dominierenden südöstlichen Windrichtung beträgt die Erwärmung innerhalb der geplanten Bebauung im westlichen Plangebiet zwischen 0,1 und 0,4 °C. Erwärmungen außerhalb der Plangebietsgrenzen von > 0,1°C sind noch bis in eine Entfernung von ca. 300 m zum Plangebiet im Modell nachzuweisen. Da in den von Erwärmungen betroffenen Bereichen lediglich Ackerflächen und keine sensiblen Wohnnutzungen vorzufinden sind, ist die Erwärmung hier als eher unkritisch einzustufen..

Ähnliche Erwärmungstendenzen ergeben sich bei der deutlich seltener auftretenden nordöstlichen Windrichtung. Innerhalb der Plangebietsgrenzen ist von Temperaturerhöhung von maximal 0,3°C auszugehen. Von sehr geringen Temperaturerhöhungen sind innerhalb der Plangebietsgrenzen zum Teil die Bestandsgebäude entlang der Erlenstraße und der Mauritzstraße betroffen. Auch bei nordöstlichen Anströmungen sind Erwärmungen > 0,1°C außerhalb der Plangebietsgrenzen noch bis in eine Entfernung von ca. 300 m zum Plangebiet im Modell nachzuweisen. Die nächtliche Erwärmung strahlt somit in das Wohngebiet zwischen Mauritzstraße, Bruchweg und Haberlandstraße aus.

Mit zunehmender Entfernung zum Plangebiet verringern sich die Auswirkungen des Vorhabens. Eine weitreichende klimatische Verschlechterung auf die umliegende Bebauung kann

somit ausgeschlossen werden. Darüber hinaus kann in diesem Zusammenhang aufgeführt werden, dass aufgrund der geringfügigen Temperaturdifferenzen im Vergleich zum Istfall keine Funktionsbeeinträchtigung der nächtlichen Kaltluftentstehung (vgl. Kapitel 4.2) auf den umliegenden Freiflächen ausgeht.

6.2 Durchlüftung

Anlage 13 und Anlage 14 zeigen die simulierten Windfelder für den Ist- und Planfall sowie die aus der Planung resultierenden Windgeschwindigkeitsdifferenzen für beide untersuchten Windrichtungen in zwei Bezugsniveaus (1,5 m und 10,5 m) um 14 Uhr.

Die Windfelder für den Istfall im Bodenniveau (Anlage 11) zeigen, dass die Plangebietsfläche aufgrund der geringen Bebauungs- und Bewuchsdichte mit Ausnahme der Bestandsbebauung in der Osthälfte (Erlenweinstraße) sehr gut durchlüftet ist. Bezogen auf eine Anströmgeschwindigkeit von 1,5 m/s in 10 m Höhe ergeben sich Windgeschwindigkeiten von bis zu 1,25 m/s im bodennahen Niveau. Die Strömung verläuft hierbei relativ ungestört entsprechend der übergeordneten Anströmungsrichtung. In Kombination mit den umgebenden Freiflächen im Norden und Westen des Plangebietes mit ebenfalls geringen Rauigkeiten und Strömungswiderständen erfolgt somit insbesondere bei der nordöstlichen Windrichtung ein effektiver Transport einströmender Luftmassen in Richtung des Übergangsbereiches vom Umland zu den zunehmend dichter bebauteren Gebieten in Krefeld-Uerdingen.

Durch die Realisierung des Planvorhabens ist aufgrund der Hinderniswirkung der geplanten Gebäude erwartungsgemäß mit einer deutlichen Verminderung der bodennahen Windgeschwindigkeiten zu rechnen. In den Bereichen der geplanten Lärmschutzvorrichtung entlang des Charlotterings und der vorgesehenen Bebauung im restlichen Plangebiet reduzieren sich die Werte um bis zu 1 m/s. Besonders hohe Geschwindigkeitsdifferenzen sind auf den windzu- und windabgewandten Seiten von Gebäuden, die quer zur Windrichtung ausgerichtet sind, zu erwarten.

Weitestgehend gleichbleibende Durchlüftungsbedingungen werden im Bereich der Freifläche im Zentrum des Plangebietes ausgewiesen.

Weiterhin verdeutlichen die Differenzdarstellungen, dass sich die Bereiche mit Windgeschwindigkeitsabnahmen aufgrund der vergleichsweise niedrigen Höhe der Plangebäude fast ausschließlich auf das Plangebiet beschränken. Eine Verschlechterung der Durchlüftungssituation in den angrenzenden bestehenden Siedlungsgebieten kann somit ausgeschlossen werden.

Ähnliche Auswirkungen ergeben sich für die Auswertehöhe in 10,5 m Höhe über Grund (vgl. Anlage 14). Während im Istfall nahezu das gesamte Plangebiet bei beiden untersuchten

Windrichtungen insgesamt gut durchlüftet wird, ist in Folge der Realisierung des Planvorhabens eine planungsbedingte Geschwindigkeitsverminderung aus den Differenzdarstellungen zu entnehmen. Durch die geringen Gebäudehöhen der Plangebäude kann jedoch davon ausgegangen werden, dass in 10,5 Höhe über Grund die Geschwindigkeitsminderung deutlich weniger stark ausgeprägt ist als im Bodenniveau. Negative Effekte über die Plangebietsgrenzen hinaus können auf Grundlage der Simulationsergebnisse in dieser Auswertehöhe ebenfalls nicht festgestellt werden.

6.3 Relative Luftfeuchtigkeit

Anlage 15 beinhaltet die simulierten Werte für die relative Luftfeuchtigkeit für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für die beiden Anströmungsrichtungen um 14 Uhr.

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

Im Istfall nimmt die relative Luftfeuchtigkeit sowohl bei nordöstlicher als auch bei südöstlicher Anströmungsrichtung innerhalb der Plangebietsgrenzen Werte zwischen 40 und 43 % an. In beiden Fällen ergibt die Simulation an den Einströmrändern besonders geringe Prozentwerte, diese sollten nicht interpretiert werden.

Nach Realisierung des Planvorhabens ist trotz Verringerung von grasbewachsenen Freiflächen zu erwarten, dass sich die relative Luftfeuchtigkeit in einigen Bereichen innerhalb des Plangebietes um bis zu 3 % erhöht. Bei nordöstlicher Anströmungsrichtung ist insbesondere im Bereich der vorgesehenen Wohnbebauung im nördlichen, südlichen und westlichen Plangebiet mit einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit zu rechnen, bei südöstlicher Windrichtung betrifft dies vor allem den westlichen Teil des Plangebietes. Stellenweise reichen diese Effekte auch rund 150 m über das Plangebiet hinaus.

Als Ursache der leicht höheren Luftfeuchtigkeitswerte gegenüber dem Istfall können die zusätzlichen Baumstandorte, die durch zusätzliche Verdunstung für eine höhere Luftfeuchte sorgen, sowie das in Folge von Verschattungseffekten nachmittags insgesamt niedrigere Temperaturniveau genannt werden.

6.4 Bioklima (PET)

Anlage 16 zeigt die simulierten PET-Werte für den Ist- und Planfall sowie die sich hieraus ergebenden planungsbedingten Differenzen für beide untersuchten Anströmungsrichtungen um 14 Uhr.

Die Graphiken zeigen, dass infolge der gewählten Initialisierungsparameter (Sommertag mit einer maximalen Temperatur von 30 °C) sowohl im Ist- als auch im Planfall im gesamten Untersuchungsgebiet mit Wärmebelastungen (vgl. Tabelle 4.1) gerechnet werden muss. In von 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.

Im Istfall werden die höchsten PET-Werte insbesondere auf den sonnenzugewandten Seiten der Bestandsgebäude in der Osthälfte (Erlenweinstraße) erreicht. Dies ist auf die schlechte Belüftung sowie auf die unverminderte solare Einstrahlung in Kombination mit der reflektierten Strahlung von den aufgeheizten Gebäuden zurückzuführen. Geringere thermische Belastungen herrschen in den von den Bestandsgebäuden verschatteten Bereichen westlich der von Nord nach Süd verlaufenden Mauritzstraße. Dort können PET-Werte von unter 35 °C erreicht werden. Positiv auf die thermische Belastung in Form von niedrigeren PET-Werten wirkt sich auch der Baumbestand im Bereich der Spielfläche im zentralen Plangebiet aus. Auf den zukünftig bebauten Freiflächen im restlichen Plangebiet ergeben die Berechnungsergebnisse aufgrund der starken Sonneneinstrahlung PET-Werte zwischen 47 und 49 °C.

Beim Vergleich zwischen Ist- und Planfall wird bei beiden untersuchten Varianten zunächst deutlich, dass sich die Änderungen des thermischen Belastungsempfindens auf das Plangebiet beschränken und somit die bioklimatische Belastungssituation im Umfeld des Vorhabens nicht verändert wird.

Innerhalb des Plangebietes ist damit zu rechnen, dass sich die PET-Werte im Planfall im Umfeld von geplanten Gebäuden um 1 bis 5 °C verschlechtern werden. Hervorgerufen wird dies insbesondere aus der verminderter Durchlüftung in Kombination mit der erhöhten reflektierter Strahlung an Gebäuden und zusätzlicher Oberflächenversiegelung gegenüber der Istsituation. Positive Effekte zeigen sich hingegen im Bereich der Baumneupflanzungen. Hier werden in den von der Baumkrone verschatteten Bereichen punktuell auch niedrigere PET-Werte ausgewiesen. Hiervon ist besonders der sensible Bereich der geplanten Kita im südwestlichen Plangebiet betroffen. Zusätzlich kann dort, bedingt durch die Gebäudehöhe der Kita, auf der sonnenabgewandten Seite eine Verringerung des bioklimatischen Index um bis zu -5 °C verzeichnet werden.

Die thermische Belastungssituation zeigt bei beiden Anströmungsrichtungen ähnliche Grundmuster.

Zur Gewährleistung einer gesunden und zufriedenstellenden Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen sollte der Ausbildung von extremen bioklimatischen Belastungszonen, die sich insbesondere im nahen Umfeld der geplanten Bebauung ausbilden, nach Möglichkeit mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden.

7 Planungsempfehlungen

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass sich Veränderungen des lokalen Klimas weitestgehend auf das Plangebiet und dessen nahes Umfeld beschränken. Dies trifft insbesondere auf die Durchlüftung, die bioklimatische Belastung sowie die Feuchteverhältnisse zu. In Bezug auf das Temperaturniveau hingegen ist mit Auswirkung auch über die Plangebietsgrenzen hinaus zu rechnen. Während in den Nachmittagsstunden zur Zeit der größten Hitzebelastung eher mit einer Abkühlung im Plangebiet und dessen Umgebung gerechnet werden kann, ergibt sich in den Nachstunden durch die Wärmeabgabe der Gebäude und sonstiger versiegelter Flächen ein gegenläufiges Bild. Nach Möglichkeit sollte die nächtliche Wärmeabgabe durch geeignete Maßnahmen weiter reduziert werden.

Als ungünstig stellen sich zudem die Bereiche innerhalb der Plangebietsgrenzen mit sehr hohen bioklimatischen Belastungen heraus, welche vor allem aus den eingeschränkten Belüftungsverhältnissen, der ungeminderten solaren Einstrahlung und der Reflexion auf der sonnenzugewandten Seite der Plangebäude resultieren. Da dies zum Teil auf die Flächen im Umfeld der vorgesehenen Wohnbebauung zutrifft, sollten die Maßnahmen auf die Reduktion der thermischen Belastung abzielen, um die Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen aus bioklimatischer Sicht zu verbessern. Folgende Maßnahmen können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des bioklimatischen Belastungsniveaus in den hitzebelasteten Nachmittagsstunden sowie zur Reduktion des nächtlichen Wärmeeintrags beitragen.

Erhöhung des Baumanteils

Da Bäume sowohl durch Verschattung als auch über Abkühlungsprozesse durch Evapotranspiration zur Verminderung der bodennahen Lufttemperatur beitragen, wird empfohlen weitere Baumstandorte in Erwägung zu ziehen. Dabei sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass das ohnehin durch die geplante Bebauung beeinträchtigte Windfeld nicht zusätzlich gestört wird. Daher sollten die Bäume eine ausgeprägte Krone aufweisen und im Stammbereich möglichst wenig Strömungswiderstand durch Äste und Blätter liefern. Da auf den sonnenzugewandten Seiten von Gebäuden die thermische Belastung besonders hoch ist, sollten zusätzliche Baumstandorte insbesondere dort realisiert werden. In dieser Hinsicht zu empfehlen sind weitere Baumstandorte entlang der erweiterten Mauritzstraße oder nördlich der Erlenweinstraße. In Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels bieten sich hierfür insbesondere stadtklimafeste, also hitze- und trockenheitsresistente Arten an, die zudem eine geringe oder mittlere Lichtdurchlässigkeit aufweisen. Als zusätzliche Alternative im Bereich der Spielflächen können auch Sonnensegel oder bewachsene Pergolen eingesetzt werden.

Nach Auskunft des Auftraggebers sind keine zusätzlichen Standorte für Straßenbäume und auch keine Baumstandorte, die über die dezidierten Festsetzung zu Baumstandorten in den Grünflächen und privaten Gärten hinausgehen, möglich.

Fassadenbegrünung und intensive Dachbegrünung

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine zusätzliche Gebäudebegrünung in Form von Fassadenbegrünung vorzunehmen, besonders in den Bereichen mit hoher thermischer Belastung auf den sonnenzugewandten Seiten der Plangebäude. Diese Begrünungsart liefert zwar keine zusätzlichen Verschattungsflächen, kann aber die Reflexion von den Gebäuden in Richtung Boden reduzieren und die Verdunstung erhöhen, wodurch sich ebenfalls das Bioklima verbessert. Ein weiterer Vorteil dieser Begrünungsart liegt darin, dass die Gebäude tagsüber weniger Wärme aufnehmen, wodurch sich die nächtliche Wärmerückstrahlung ebenfalls reduziert. Zudem greift diese Begrünungsart nur geringfügig in das Windfeld ein. Durch die aktive Bewässerung der Fassadenbegrünung kann auch während anhaltenden Trockenphasen durch Verdunstung Kühle entstehen.

Neben der bereits zum Teil extensiv genutzten Dachflächen würde sich eine intensive Dachbegrünung zusätzlich positiv auf das Mikroklima auswirken, da mehrschichtige und mächtigere Substrate die Regenwasserrückhaltung verbessern und gleichzeitig in Trockenphasen für eine längere Wasserversorgung der Pflanzen sorgen können.

Schaffung von Regenrückhalteflächen

Während langer Hitzeperioden trocknen die Böden aus. Die trockenen Böden verhalten sich dann ähnlich wie Stein und Beton und können keinen Beitrag mehr zur Kühlung leisten. Auf ausreichend mit Wasser versorgten Grünflächen und Böden wird dagegen ein Teil der Energie durch Verdunstung (Transpiration von Pflanzen und Evaporation von Böden) in latente Wärme umgewandelt. Flächen mit hoher Evaporation heizen sich deshalb deutlich weniger auf und können angrenzende städtische Flächen kühlen.

Zum Erhalt der Kühlleistung der Fläche sollte eine wassersensible Oberflächengestaltung umgesetzt werden. Ziel sollte es sein, das anfallende Niederschlagswasser komplett versickern zu lassen bzw. zwischenzuspeichern. Die Versickerung kann in Form von Flächenversickerung, Mulden- bzw. Beckenversickerung, Rigolenversickerung oder Mulden-Rigolen-Versickerung erfolgen. Dieses Reservoir stellt einen längerfristigen Wasserspeicher für die Vegetation dar, sodass während warmer Trockenphasen die Verdunstungsleistung der Vegetation und der Böden aufrechterhalten werden kann. Falls es möglich sein sollte, das Niederschlagswasser, z.B. in Zisternen zwischenzuspeichern, kann dieses Wasser in Hitzeperioden dazu genutzt werden, die Vegetationsflächen zu bewässern, wodurch die Verdunstungskühlleistung gesteigert werden kann.

In Abstimmung mit der Unteren Wasserbehörde wurde folgendes Niederschlagswasserbeseitigungskonzept für das Neubaugebiet unter Berücksichtigung der teilweise vorhandenen Bodenbelastungen vereinbart:

- Extensiv begrünte Dächer der Wohngebäude in der nördlichen Baugebietshälfte und extensiv begrünte Dächer aller Garagen
- Versickerung des Niederschlagswassers aller Dachflächen zwischen Mauritzstraße und Bruchweg sowie nördlich der Erlenweinstraße (Bereiche mit geringer Bodenbelastung)
- keine Versickerung des Niederschlagswassers von befahrenen öffentlichen und privaten Verkehrsflächen u.a. aufgrund WSZ3A, sondern Einleitung ins vorhandene Trennsystem
- keine Versickerung des Niederschlagswassers in Bereichen mit stärkeren Bodenbelastungen, sondern Einleitung ins vorhandene Trennsystem

Darüber hinaus gehende Regenrückhalteflächen können nicht realisiert werden.

Geeignete Baumaterialien verwenden

Städtische Baumaterial erwärmen sich tagsüber deutlich stärker als natürliche Oberflächen und geben nachts die aufgenommene Wärmeenergie wieder an die Umgebungsluft ab. Das Gegenteil ist bei natürlichen Baumaterialien, wie beispielsweise Holz der Fall. Um die nächtliche Wärmebelastung zu verringern, ist daher der gezielte Einsatz von Baumaterialien nach ihren thermischen Eigenschaften sinnvoll. Abhängig von der Oberfläche des Materials wird ein Teil der eingestrahnten Sonnenenergie sofort wieder reflektiert und steht damit nicht zur Erwärmung zur Verfügung. Helle Baumaterialien erhöhen diesen Effekt, reflektieren also mehr kurzweilige Strahlung. Dadurch heizen sich hell gestrichene Häuser oder Straßen mit hellem Asphaltbelag weniger stark auf und geben im Lauf der Nacht entsprechend weniger Wärme an die Umgebungsluft ab.

8 Zusammenfassung

Der Auftraggeber plant mit Aufstellung des Bebauungsplanes Nr. 678 „Mauritzstraße“ in Krefeld die Schaffung von Planrecht für neue Wohnbebauung. Die Neubebauung stellt eine Nachverdichtung dar, da im Geltungsbereich des Bebauungsplanes Teilflächen bereits im Bestand bebaut sind [1].

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

Die Beurteilung der klimatischen Veränderungen erfolgt anhand der simulierten Temperaturverhältnisse sowie der bioklimatischen Kenngröße des PET-Wertes zu zwei verschiedenen Uhrzeiten. Zusätzlich werden die Windverhältnisse in einer Höhe von 1,5 m und 10,5 m über Grund ausgewertet und dargestellt.

Die Berechnungsergebnisse zeigen auf, dass sich Veränderungen des lokalen Klimas weitestgehend auf das Plangebiet und dessen nahes Umfeld beschränken. Dies trifft insbesondere auf die Durchlüftung, die bioklimatische Belastung sowie die Feuchteverhältnisse zu. In Bezug auf das Temperaturniveau hingegen ist mit Auswirkung auch über die Plangebietsgrenzen hinaus zu rechnen. Während in den Nachmittagsstunden zur Zeit der größten Hitzebelastung eher mit einer Abkühlung im Plangebiet und dessen Umgebung gerechnet werden kann, ergibt sich in den Nachtstunden durch die Wärmeabgabe der Gebäude und sonstiger versiegelter Flächen ein gegenläufiges Bild. Nach Möglichkeit sollte die nächtliche Wärmeabgabe durch geeignete Maßnahmen weiter reduziert werden. Das Windfeld wird durch die vorgesehene Bebauung innerhalb des Plangebietes zwar beeinträchtigt, trotz alledem werden für die Nachmittagsstunden im Umfeld der Planung Abkühlungstendenzen der Lufttemperatur prognostiziert.

Als ungünstig stellen sich jedoch zudem die Bereiche innerhalb der Plangebietsgrenzen mit sehr hohen bioklimatischen Belastungen heraus, welche vor allem aus den eingeschränkten Belüftungsverhältnissen, der ungeminderten solaren Einstrahlung und der Reflexion auf der sonnenzugewandten Seite der Plangebäude resultieren. Da dies zum Teil auf die Flächen im Umfeld der vorgesehenen Wohnbebauung zutrifft, sollten die Maßnahmen auf die Reduktion der thermischen Belastung abzielen, um die Aufenthaltsqualität in den Außenbereichen aus bioklimatischer Sicht zu verbessern.

Folgende Maßnahmen können einzeln oder in Kombination umgesetzt zur Reduktion des bioklimatischen Belastungsniveaus in den hitzebelasteten Nachmittagsstunden sowie zur Reduktion des nächtlichen Wärmeeintrags beitragen.

- weitere Gebäudebegrünung in Form von intensiver Dachbegrünung und Fassadenbegrünung zur Reduktion der nachmittäglichen Wärmeaufnahme und Erhöhung der Verdunstungsabkühlung
- Verwendung geeigneter Baumaterialien, um die Wärmeaufnahme in den Tagstunden und die Wärmeabgabe in den Nachtstunden zu reduzieren

Bei der Realisierung von Baumstandorten und Regenrückhalteflächen ist gemäß Auskunft des Auftraggebers bereits das maximal mögliche Maß erreicht. Zusätzliche Baumpflanzungen oder Retentionsflächen sind daher nicht realisierbar.

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

Peutz Consult GmbH

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

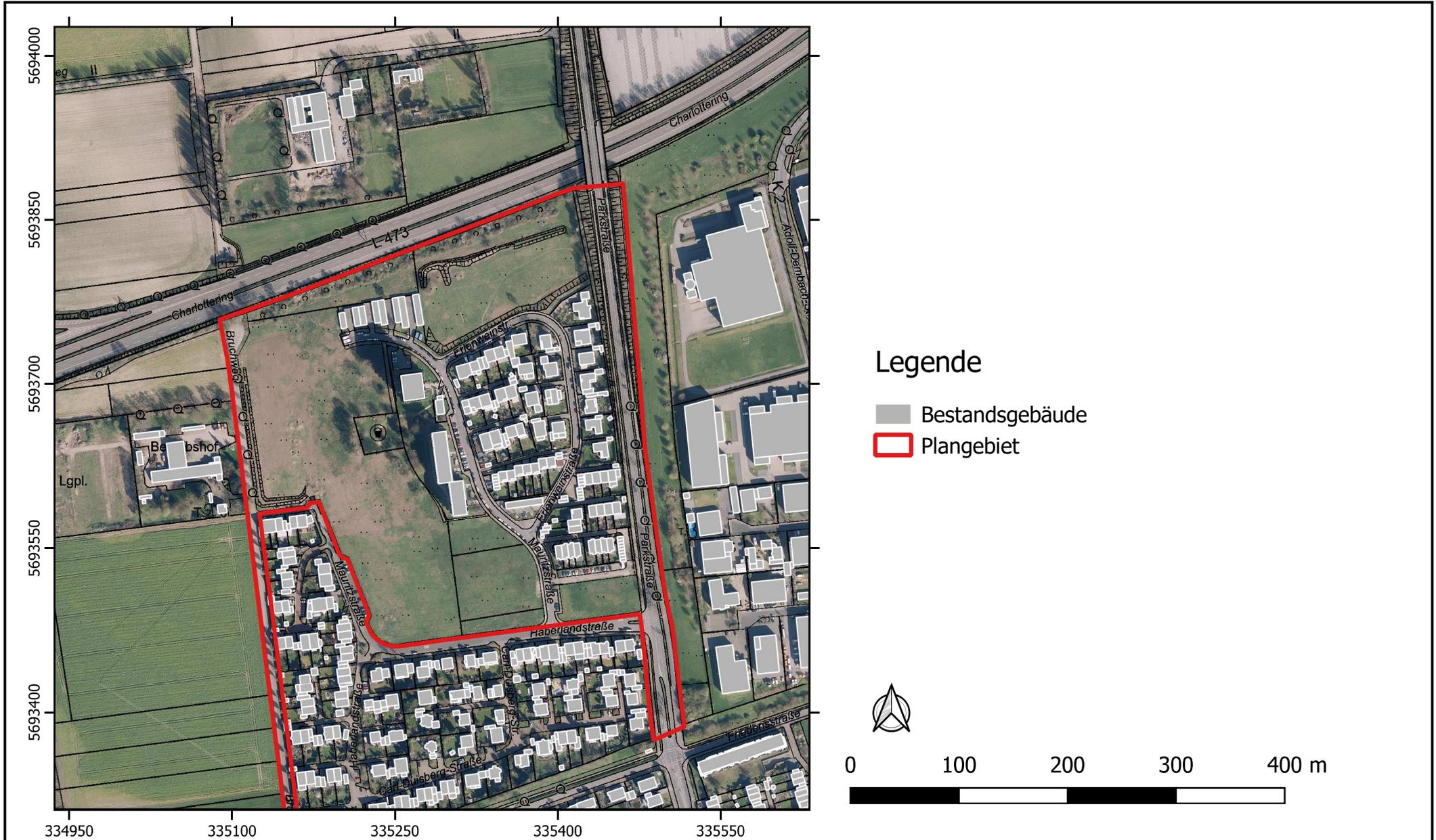
i.A. M.Sc. Marisa Fritsch
(Projektbearbeitung)

Anlagenverzeichnis

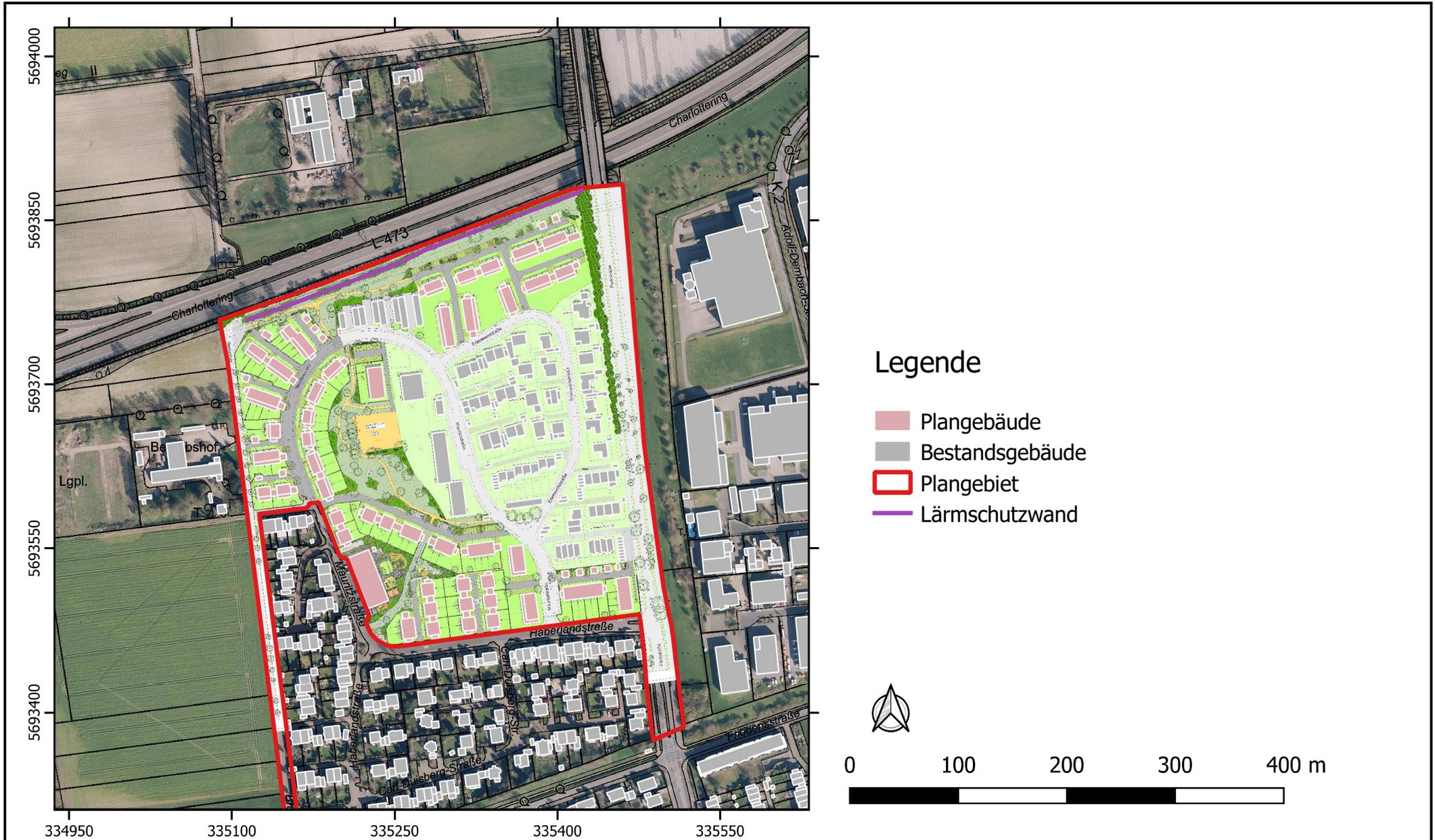
- Anlage 1 Übersichtslageplan und Gebäude im Istfall
- Anlage 2 Übersichtslageplan und Gebäude im Planfall
- Anlage 3 Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld - Planungshinweiskarte
- Anlage 4 Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld - Klimafunktionskarte
- Anlage 5 ENVI-met Modell-Architektur
- Anlage 6 Vegetation im Istfall
- Anlage 7 Vegetation im Planfall
- Anlage 8 Oberflächenbeschaffenheit im Istfall
- Anlage 9 Oberflächenbeschaffenheit im Planfall
- Anlage 10 Windrichtungs- und geschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Düsseldorf-Flughafen im Zeitraum 2011-2020 (links: alle Situationen / rechts: Tmax > 30 °C)
- Anlage 11 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr
- Anlage 12 Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über Grund um 04 Uhr
- Anlage 13 Windfeld in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr
- Anlage 14 Windfeld in 10,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr
- Anlage 15 Relative Luftfeuchtigkeit in 1,5 m Höhe über Grund um 14 Uhr

Anlage 16 PET-Wert in 1,5 m Höher über Grund um 14 Uhr

Anlage 1: Übersichtslageplan und Gebäude im Istfall

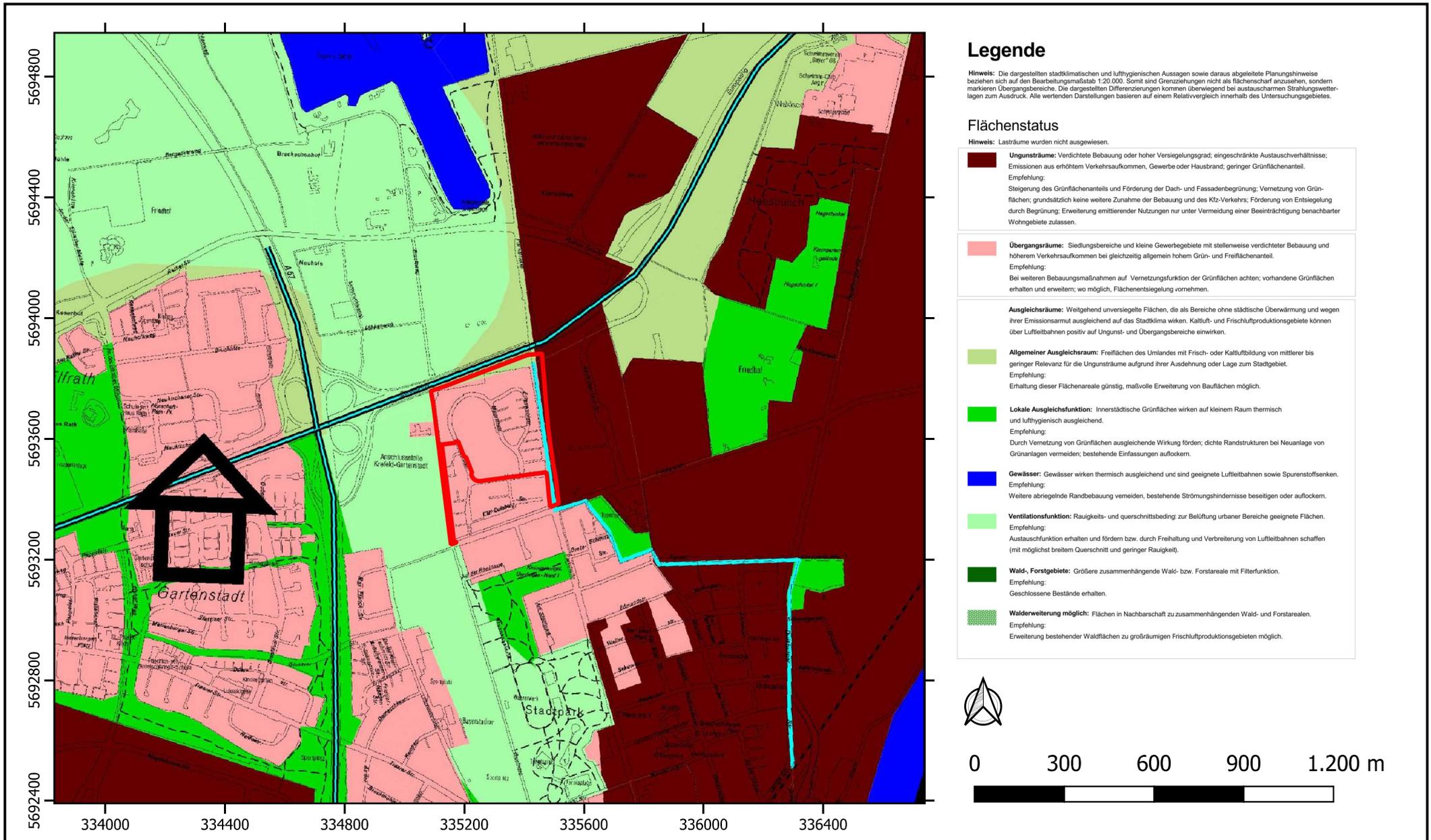


Anlage 2: Übersichtslageplan und Gebäude im Planfall



Anlage 3: Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld - Planungshinweiskarte

Quelle: <https://www.krefeld.de/de/umwelt/gesamtstaedische-klimaanalyse/> (Stand 2003)



Legende

Hinweis: Die dargestellten stadtklimatischen und lufthygienischen Aussagen sowie daraus abgeleitete Planungshinweise beziehen sich auf den Bearbeitungsmaßstab 1:20.000. Somit sind Grenzbeziehungen nicht als flächenscharf anzusehen, sondern markieren Übergangsbereiche. Die dargestellten Differenzierungen kommen überwiegend bei austauschbaren Strahlungswetterlagen zum Ausdruck. Alle wertenden Darstellungen basieren auf einem Relativvergleich innerhalb des Untersuchungsgebietes.

Flächenstatus

Hinweis: Lasträume wurden nicht ausgewiesen.

- Ungunsträume:** Verdichtete Bebauung oder hoher Versiegelungsgrad; eingeschränkte Austauschverhältnisse; Emissionen aus erhöhtem Verkehrsaufkommen, Gewerbe oder Hausbrand; geringer Grünflächenanteil.
 Empfehlung:
 Steigerung des Grünflächenanteils und Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung; Vernetzung von Grünflächen; grundsätzlich keine weitere Zunahme der Bebauung und des Kfz-Verkehrs; Förderung von Entseelung durch Begrünung; Erweiterung emittierender Nutzungen nur unter Vermeidung einer Beeinträchtigung benachbarter Wohngebiete zulassen.
- Übergangsräume:** Siedlungsbereiche und kleine Gewerbegebiete mit stellenweise verdichteter Bebauung und höherem Verkehrsaufkommen bei gleichzeitig allgemein hohem Grün- und Freiflächenanteil.
 Empfehlung:
 Bei weiteren Bebauungsmaßnahmen auf Vernetzungsfunktion der Grünflächen achten; vorhandene Grünflächen erhalten und erweitern; wo möglich, Flächenentsiegelung vornehmen.
- Allgemeiner Ausgleichsraum:** Freiflächen des Umlandes mit Frisch- oder Kaltluftbildung von mittlerer bis geringer Relevanz für die Ungunsträume aufgrund ihrer Ausdehnung oder Lage zum Stadtgebiet.
 Empfehlung:
 Erhaltung dieser Flächenareale günstig; maßvolle Erweiterung von Bauflächen möglich.
- Lokale Ausgleichsfunktion:** Innerstädtische Grünflächen wirken auf kleinem Raum thermisch und lufthygienisch ausgleichend.
 Empfehlung:
 Durch Vernetzung von Grünflächen ausgleichende Wirkung fördern; dichte Randstrukturen bei Neuanlage von Grünanlagen vermeiden; bestehende Einfassungen auflockern.
- Gewässer:** Gewässer wirken thermisch ausgleichend und sind geeignete Luftleitbahnen sowie Spurenstoffsenken.
 Empfehlung:
 Weitere abriegelnde Randbebauung vermeiden, bestehende Strömungshindernisse beseitigen oder auflockern.
- Ventilationsfunktion:** Rauigkeits- und querschnittsbeding; zur Belüftung urbaner Bereiche geeignete Flächen.
 Empfehlung:
 Austauschfunktion erhalten und fördern bzw. durch Freihaltung und Verbreiterung von Luftleitbahnen schaffen (mit möglichst breitem Querschnitt und geringer Rauigkeit).
- Wald-, Forstgebiete:** Größere zusammenhängende Wald- bzw. Forstareale mit Filterfunktion.
 Empfehlung:
 Geschlossene Bestände erhalten.
- Waldenerweiterung möglich:** Flächen in Nachbarschaft zu zusammenhängenden Wald- und Forstarealen.
 Empfehlung:
 Erweiterung bestehender Waldflächen zu großräumigen Frischluftproduktionsgebieten möglich.

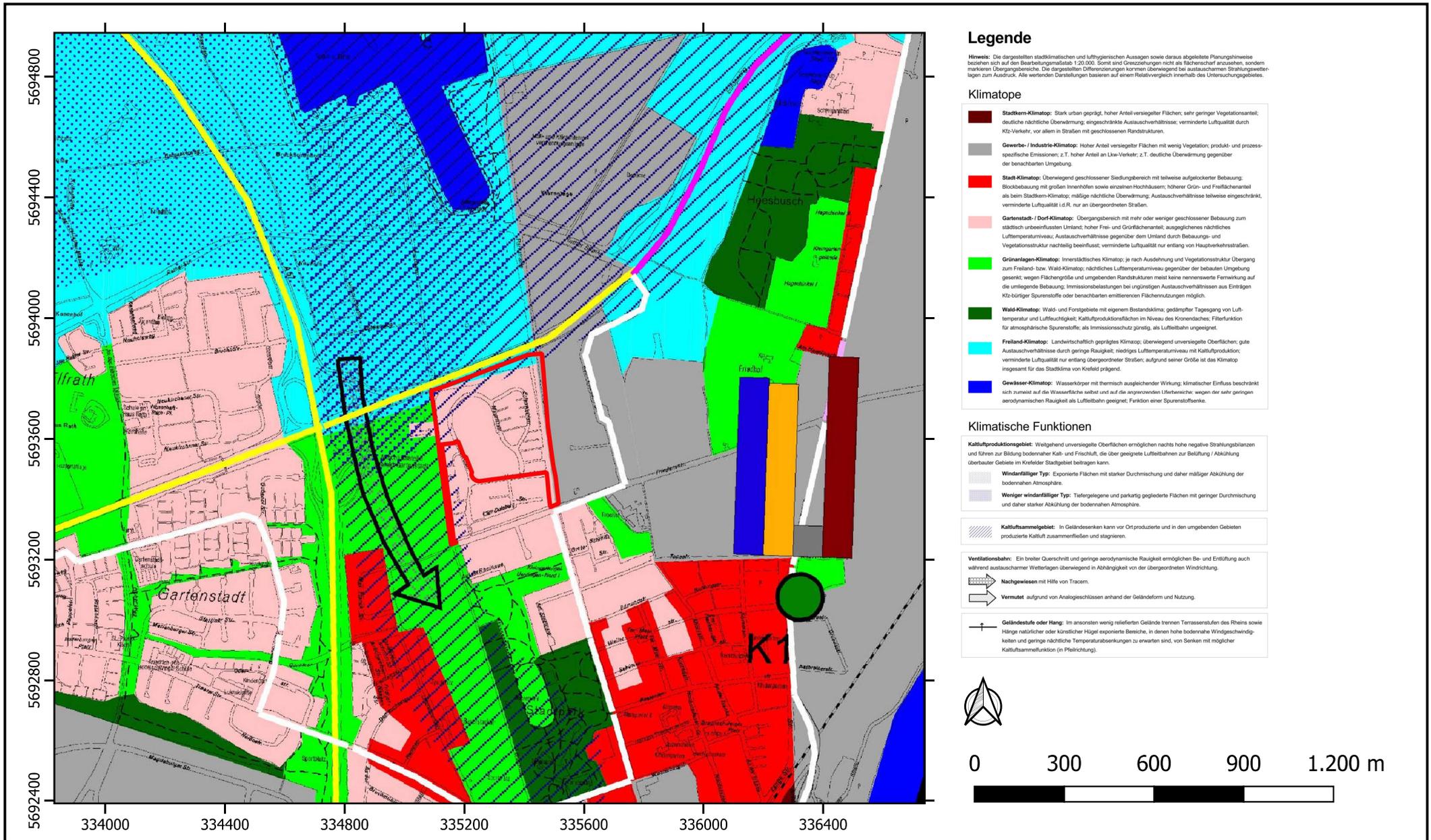


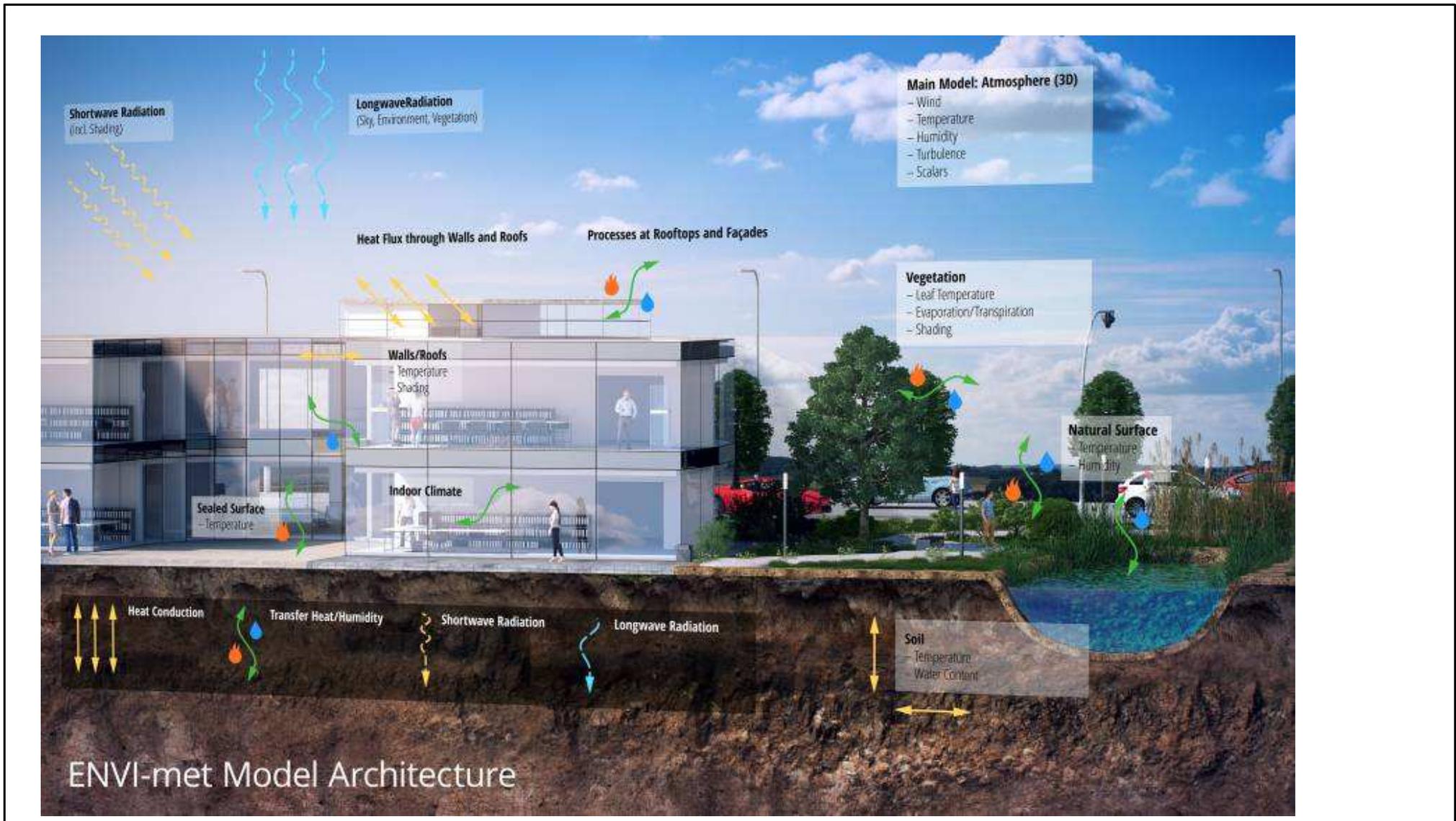
0 300 600 900 1.200 m



Anlage 4: Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld - Klimafunktionskarte

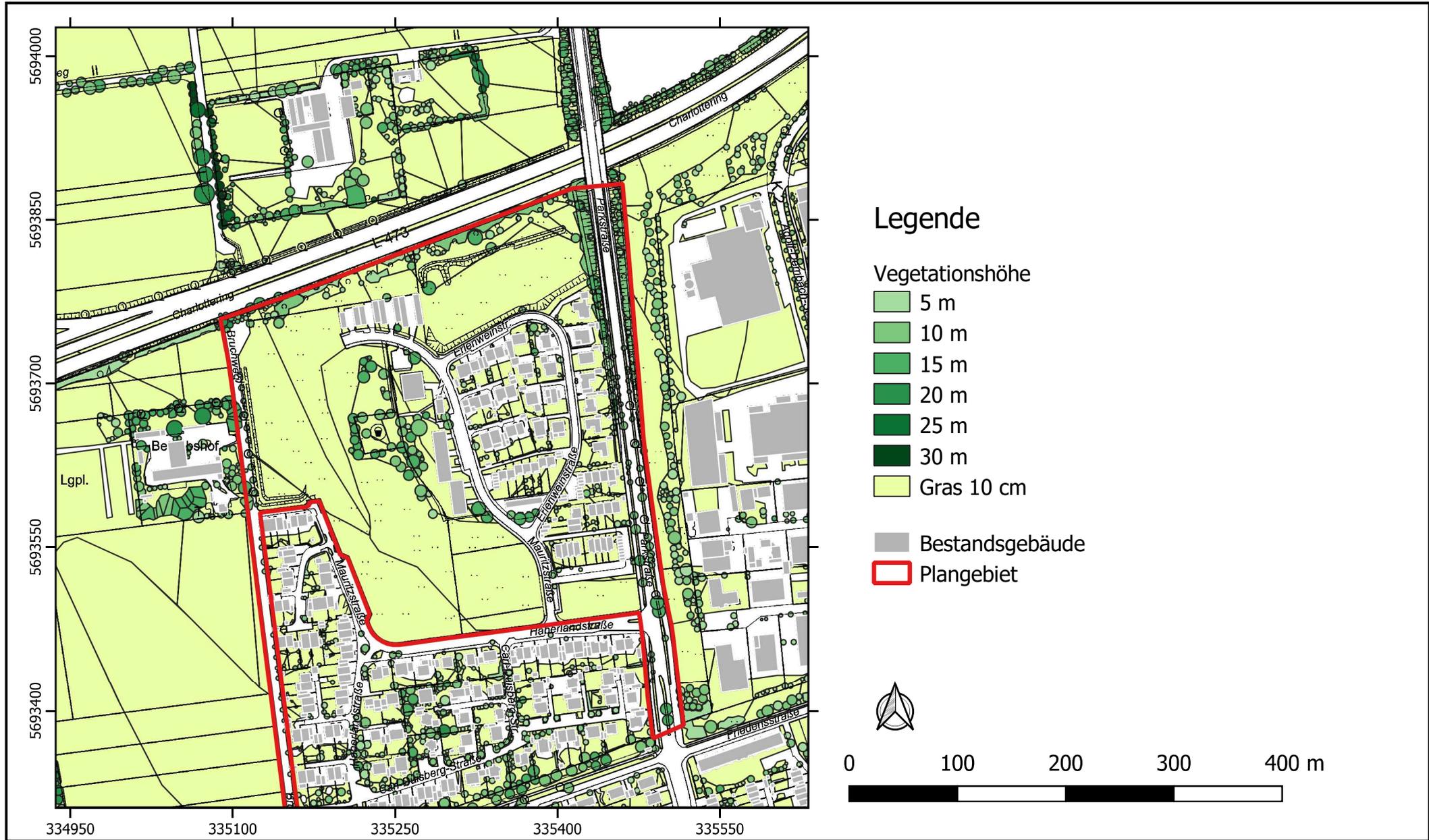
Quelle: <https://www.krefeld.de/de/umwelt/gesamtstaedische-klimaanalyse/> (Stand 2003)



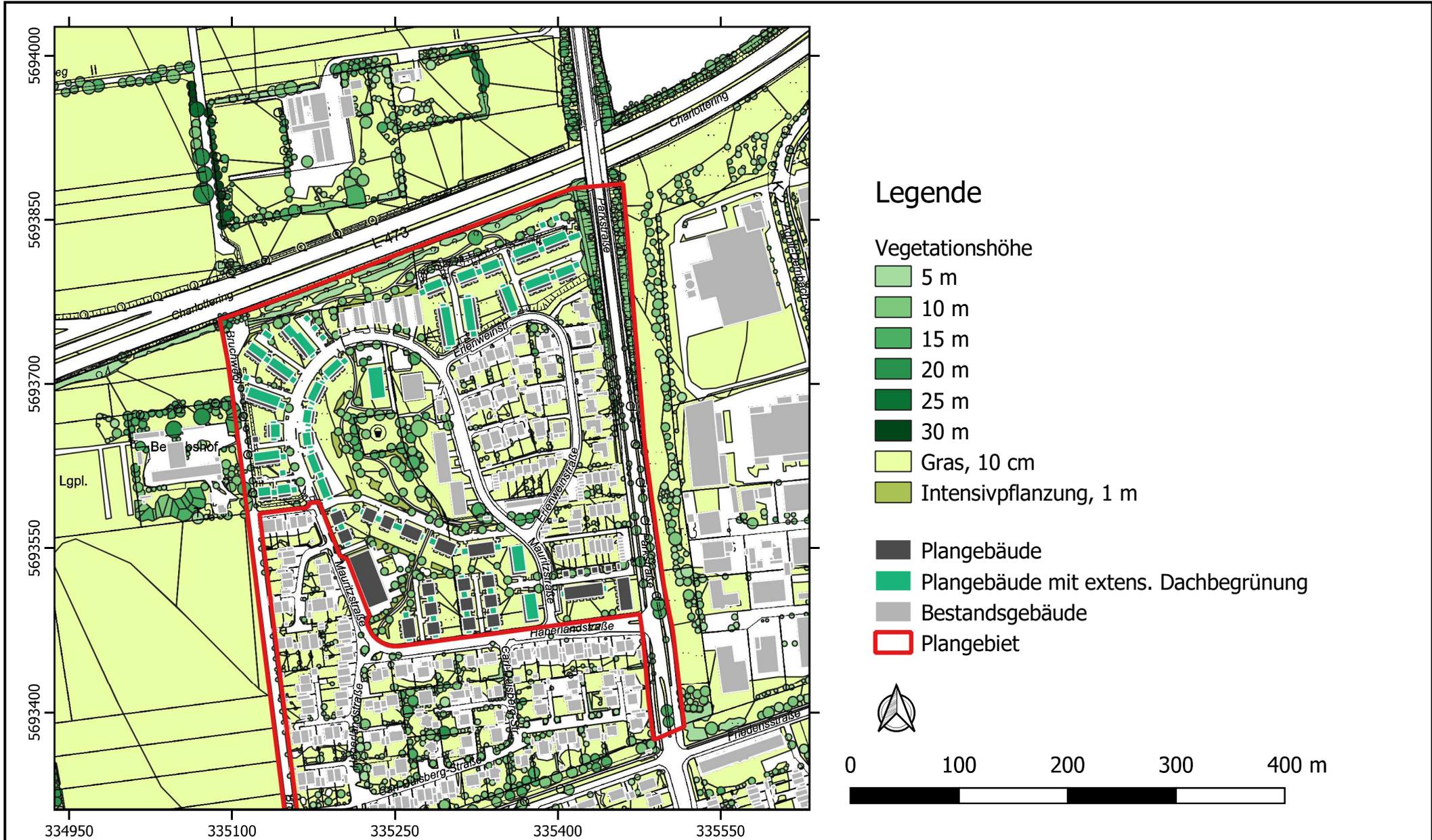


ENVI-met Model Architecture

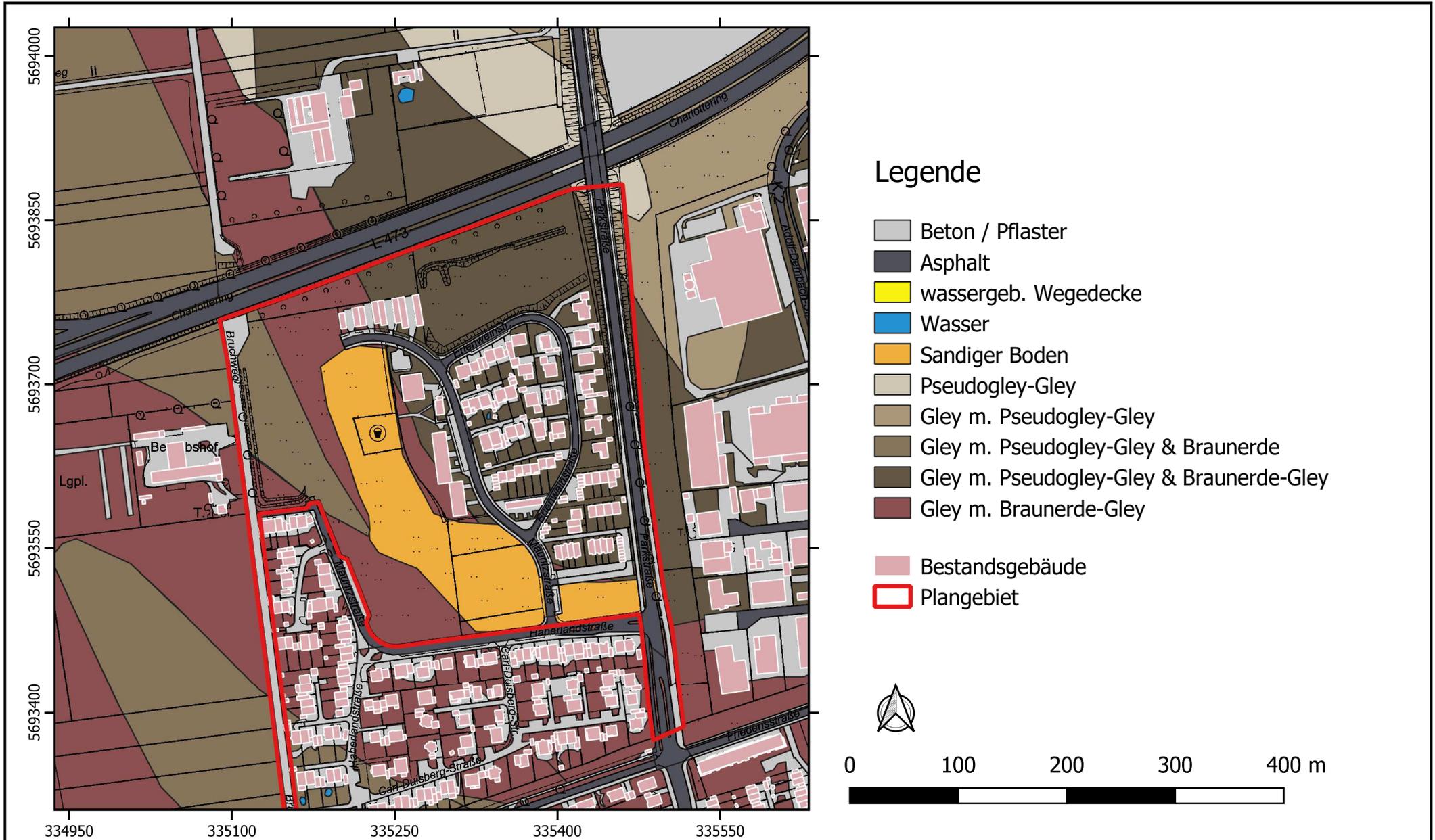
Anlage 6: Vegetation im Istfall



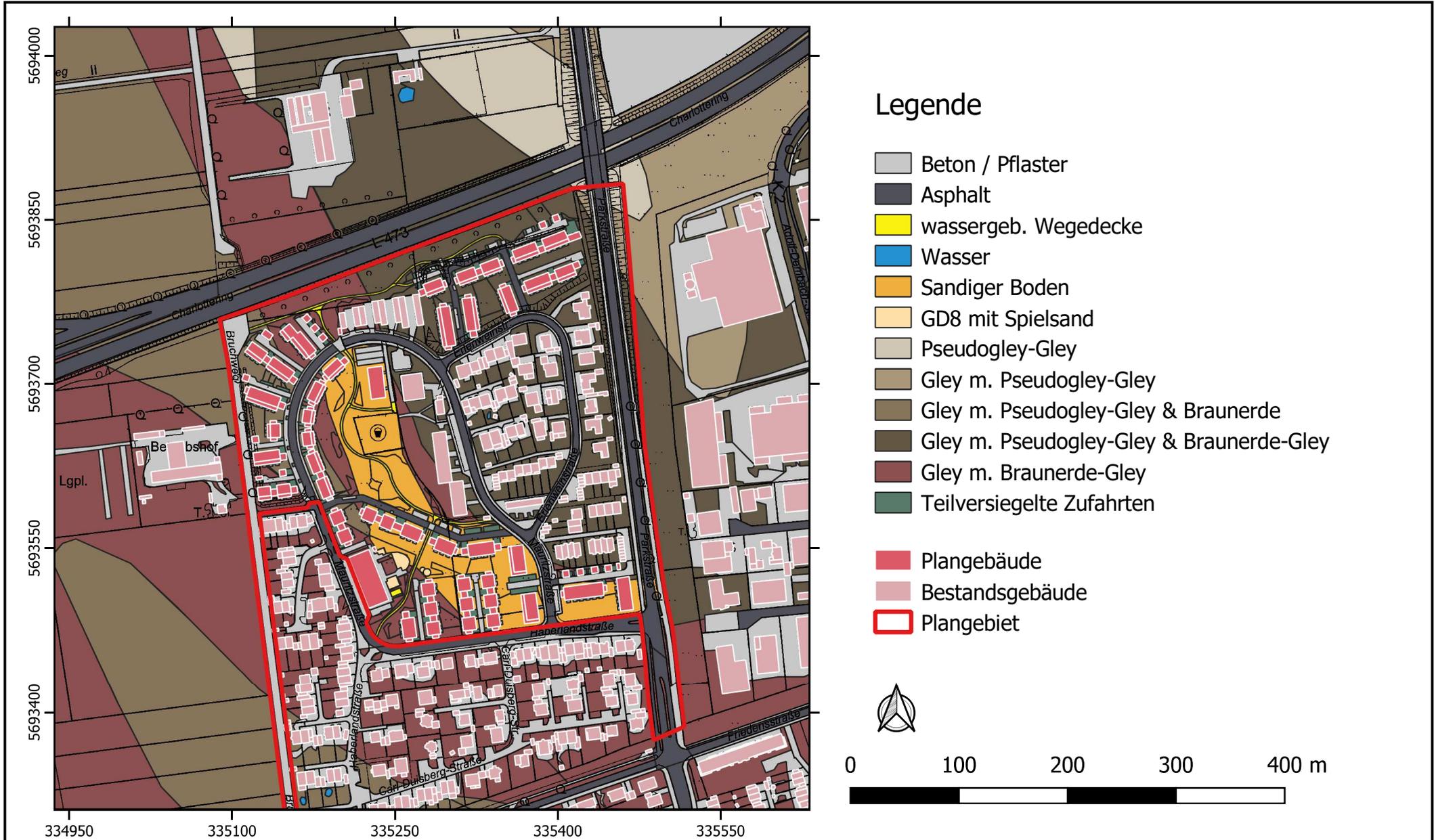
Anlage 7: Vegetation im Planfall



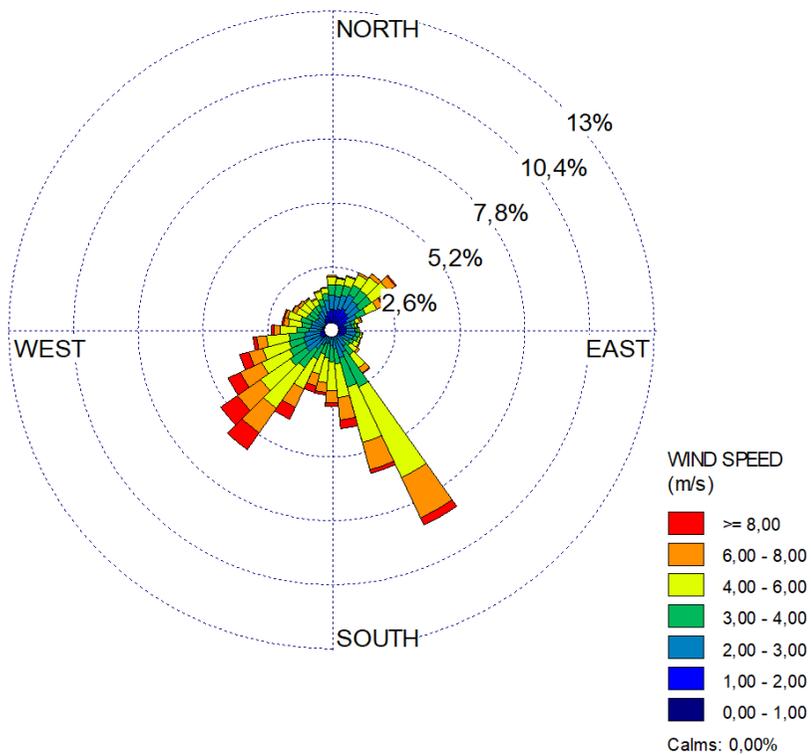
Anlage 8: Oberflächenbeschaffenheit im Istfall



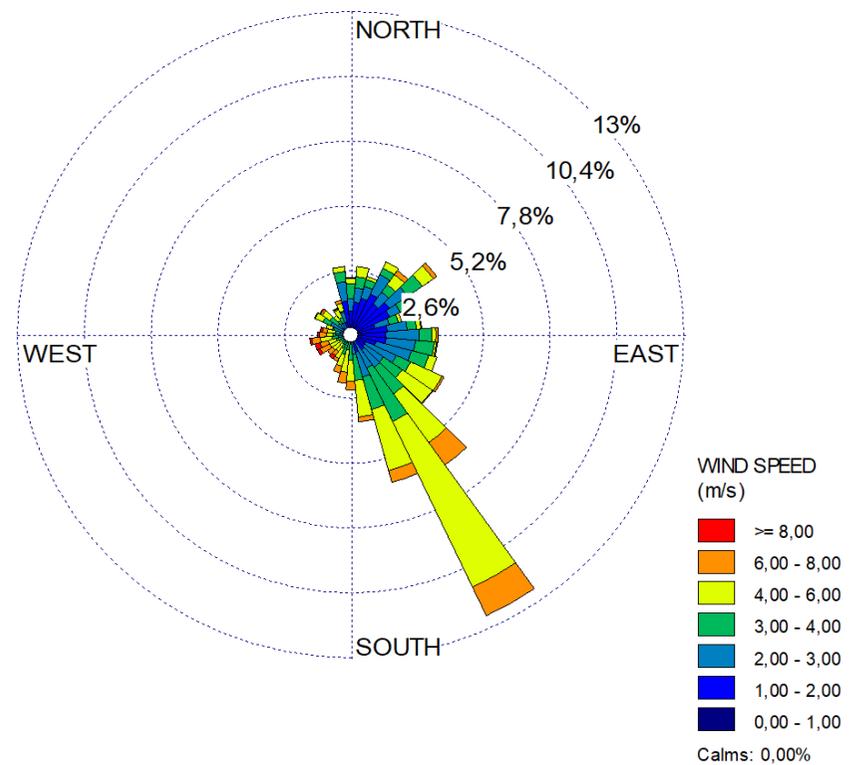
Anlage 9: Oberflächenbeschaffenheit im Planfall

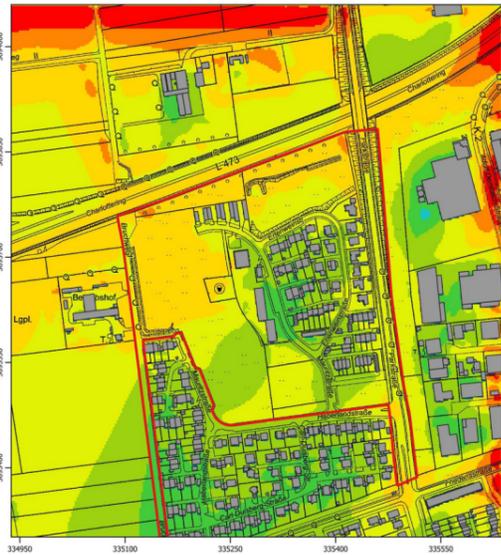


- alle Situationen -



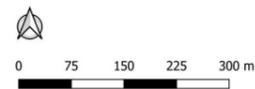
- Tage mit Tmax > 30°C -





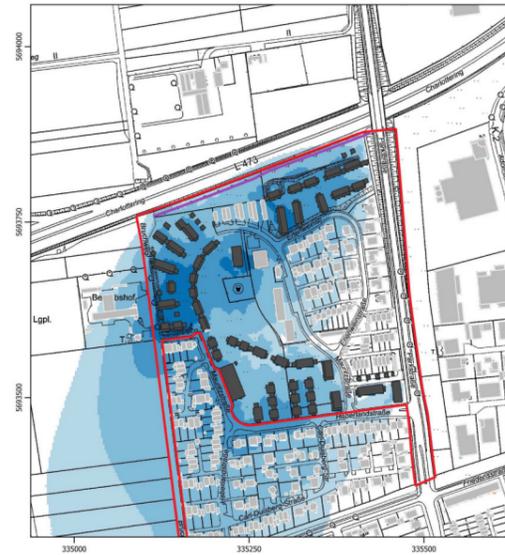
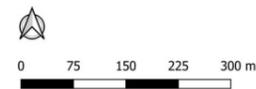
Lufttemperatur [°C]
 < 27,75
 27,75 - 28,00
 28,00 - 28,25
 28,25 - 28,50
 28,50 - 28,75
 28,75 - 29,00
 29,00 - 29,25
 > 29,25

Bestandsgebäude
 Plangebiet



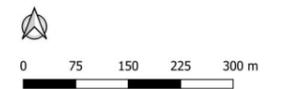
Lufttemperatur [°C]
 < 27,75
 27,75 - 28,00
 28,00 - 28,25
 28,25 - 28,50
 28,50 - 28,75
 28,75 - 29,00
 29,00 - 29,25
 > 29,25

Plangebäude
 Bestandsgebäude
 Plangebiet
 Lärmschutzwand



Differenz Lufttemperatur [°C]
 <= -1,0
 -1,0 - -0,8
 -0,8 - -0,6
 -0,6 - -0,4
 -0,4 - -0,2
 -0,2 - -0,1
 -0,1 - 0,1
 > 0,1

Plangebäude
 Bestandsgebäude
 Plangebiet
 Lärmschutzwand



Istfall mit 30° Anströmungsrichtung

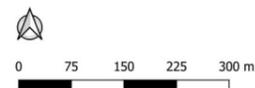
Planfall mit 30° Anströmungsrichtung

Differenz mit 30° Anströmungsrichtung



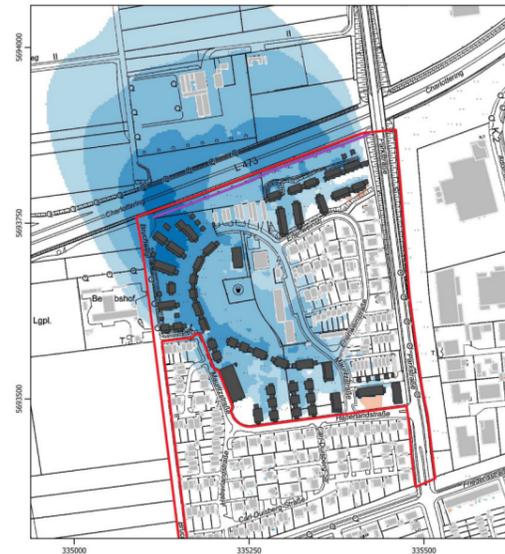
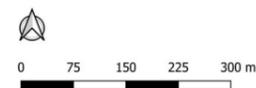
Lufttemperatur [°C]
 < 27,75
 27,75 - 28,00
 28,00 - 28,25
 28,25 - 28,50
 28,50 - 28,75
 28,75 - 29,00
 29,00 - 29,25
 > 29,25

Bestandsgebäude
 Plangebiet



Lufttemperatur [°C]
 < 27,75
 27,75 - 28,00
 28,00 - 28,25
 28,25 - 28,50
 28,50 - 28,75
 28,75 - 29,00
 29,00 - 29,25
 > 29,25

Plangebäude
 Bestandsgebäude
 Plangebiet
 Lärmschutzwand



Differenz Lufttemperatur [°C]
 <= -1,0
 -1,0 - -0,8
 -0,8 - -0,6
 -0,6 - -0,4
 -0,4 - -0,2
 -0,2 - -0,1
 -0,1 - 0,1
 0,1 - 0,2
 > 0,2

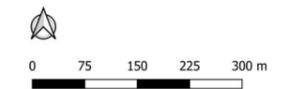
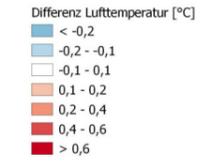
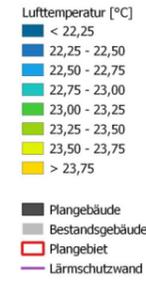
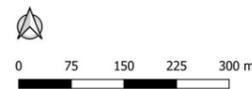
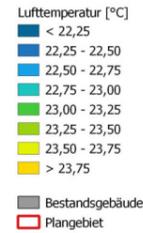
Plangebäude
 Bestandsgebäude
 Plangebiet
 Lärmschutzwand



Istfall mit 150° Anströmungsrichtung

Planfall mit 150° Anströmungsrichtung

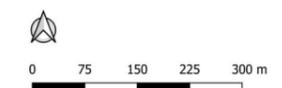
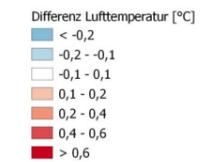
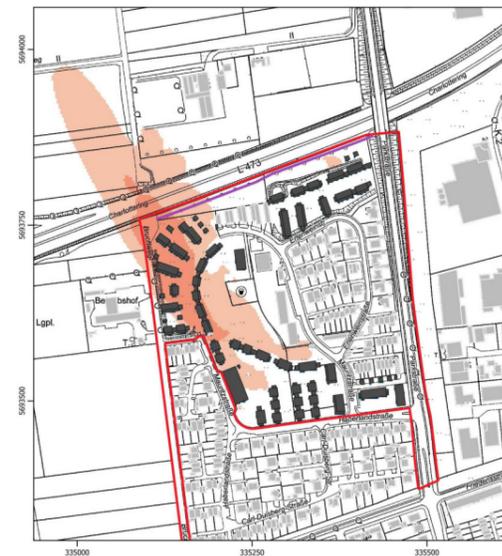
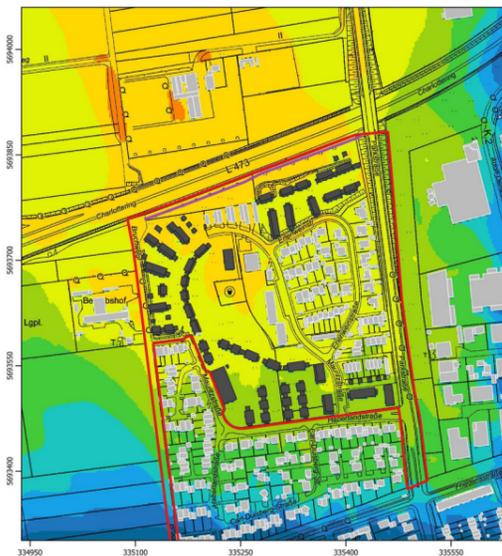
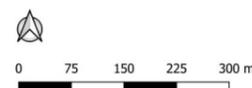
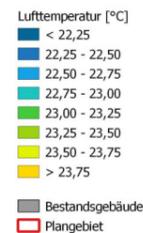
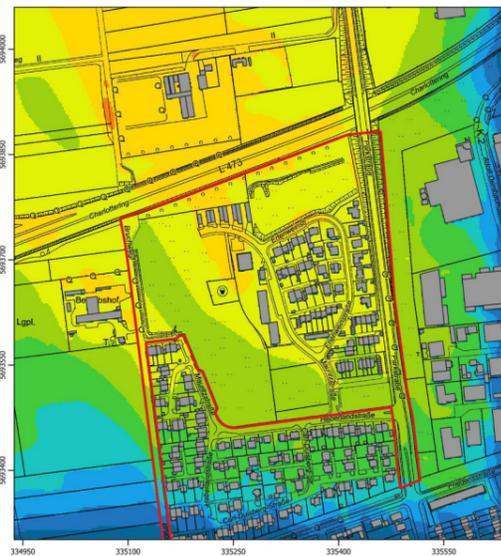
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



Istfall mit 30° Anströmungsrichtung

Planfall mit 30° Anströmungsrichtung

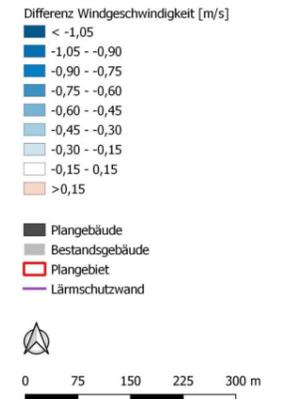
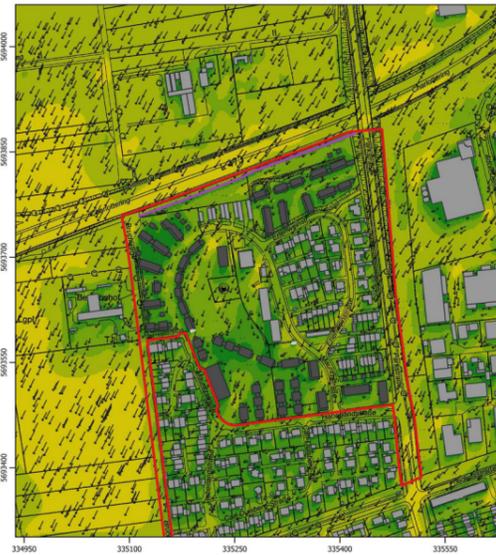
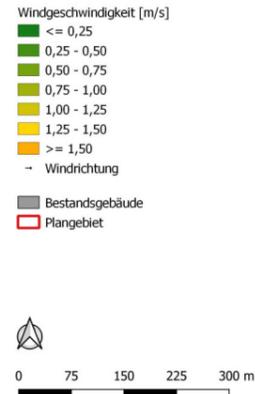
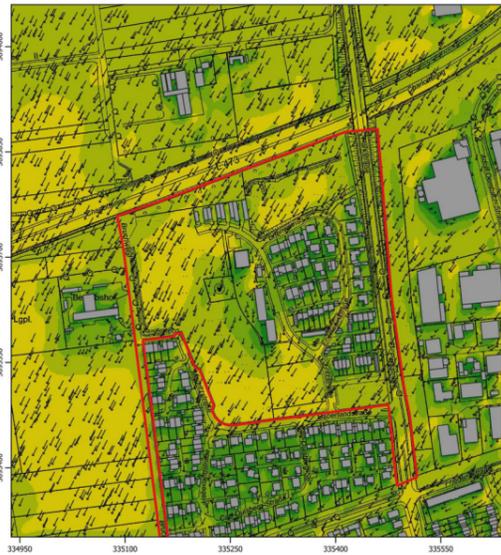
Differenz mit 30° Anströmungsrichtung



Istfall mit 150° Anströmungsrichtung

Planfall mit 150° Anströmungsrichtung

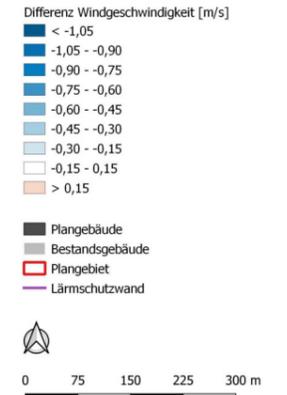
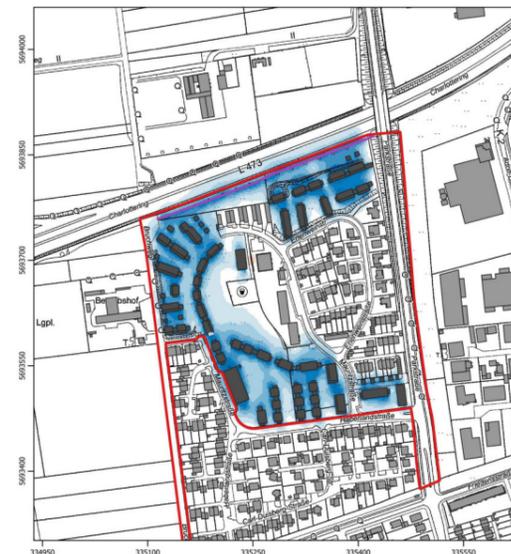
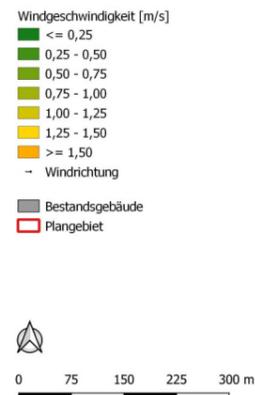
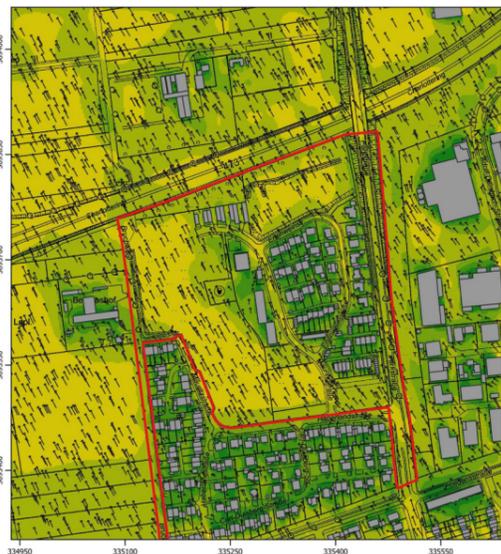
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



Istfall mit 30° Anströmungsrichtung

Planfall mit 30° Anströmungsrichtung

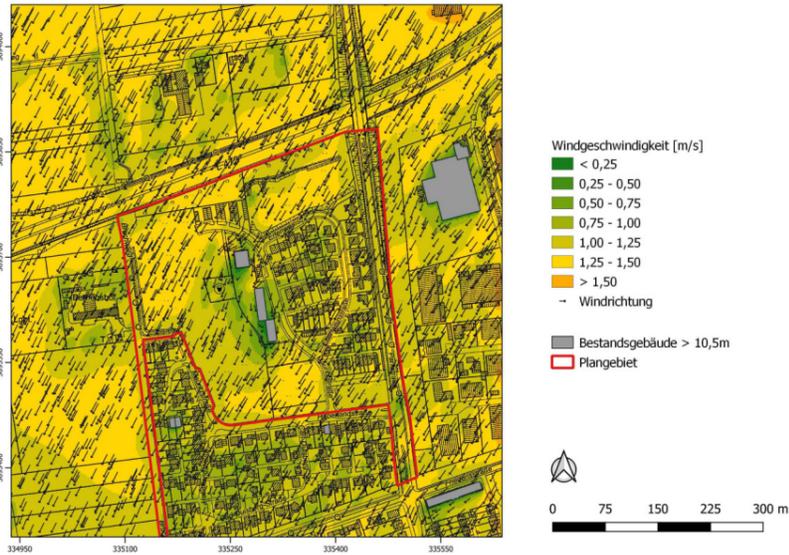
Differenz mit 30° Anströmungsrichtung



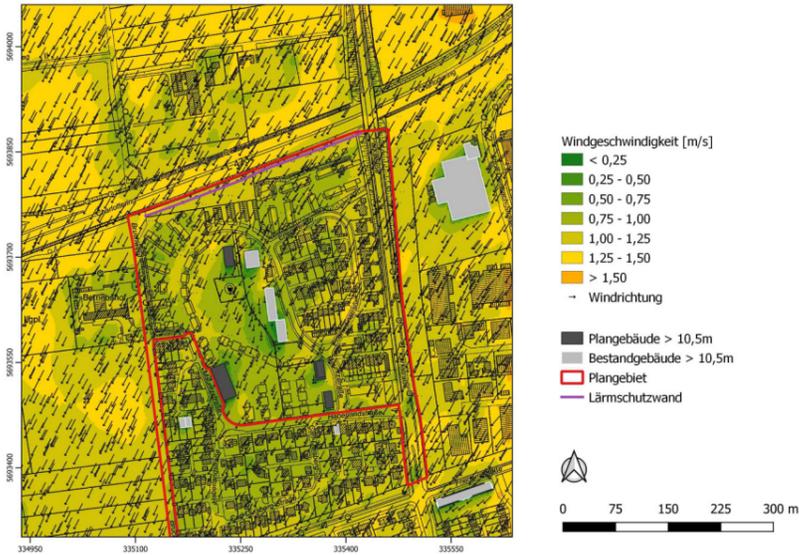
Istfall mit 150° Anströmungsrichtung

Planfall mit 150° Anströmungsrichtung

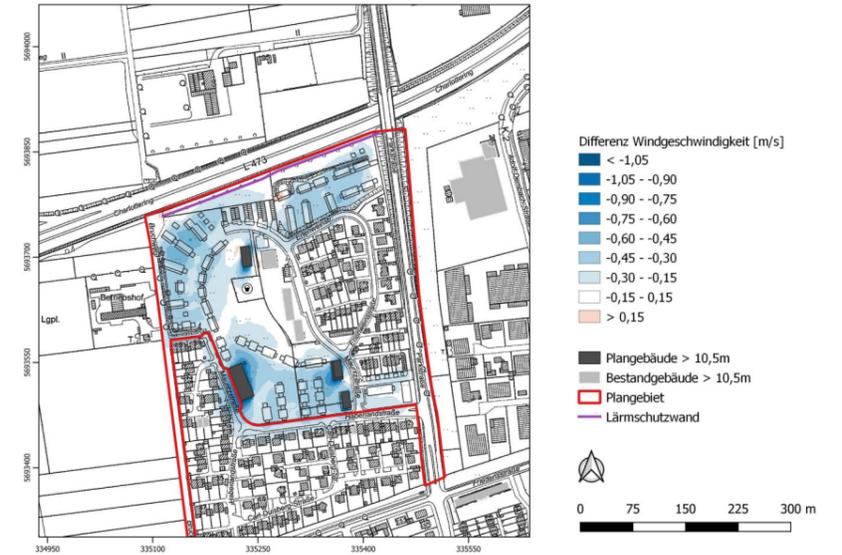
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



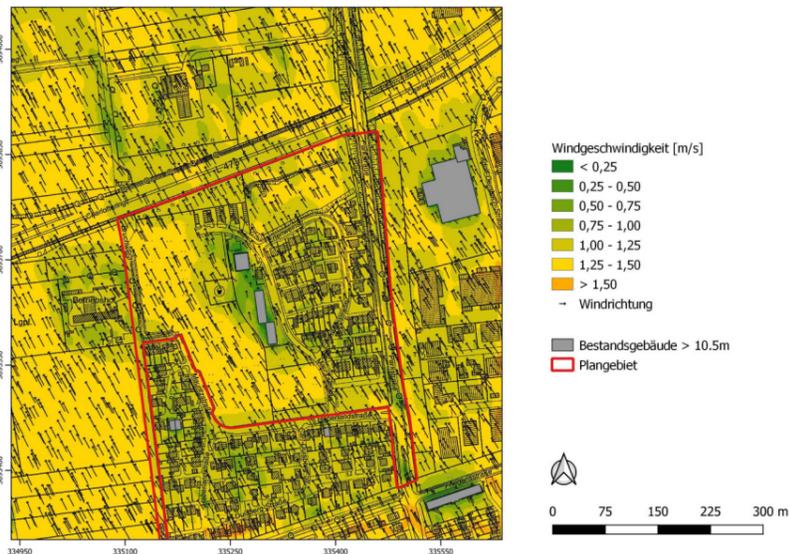
Istfall mit 30° Anströmungsrichtung



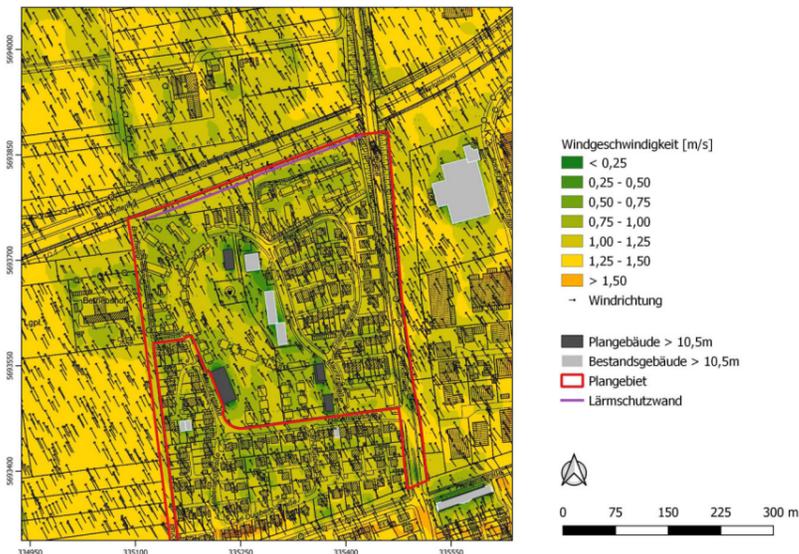
Planfall mit 30° Anströmungsrichtung



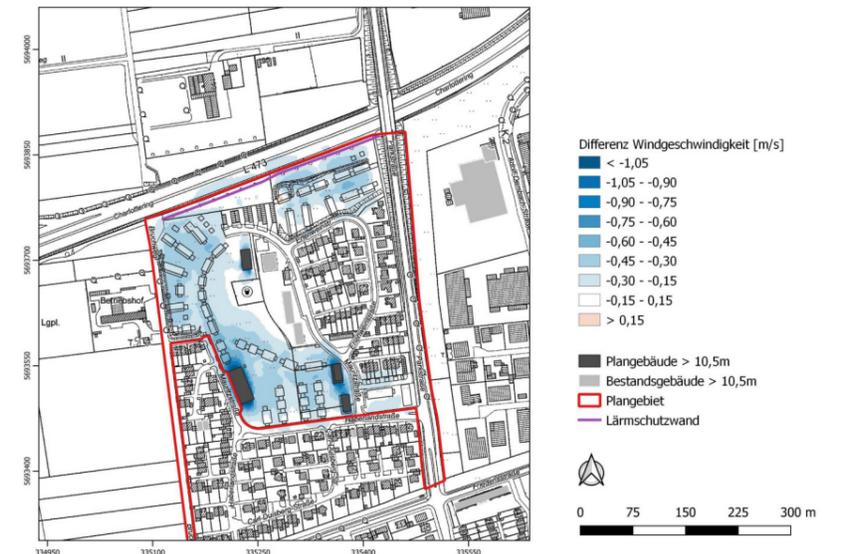
Differenz mit 30° Anströmungsrichtung



Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



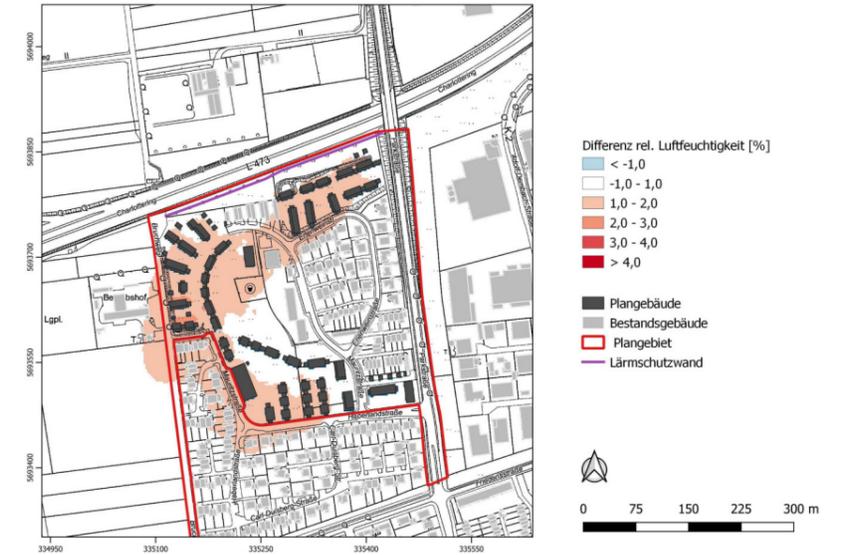
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



Istfall mit 30° Anströmungsrichtung



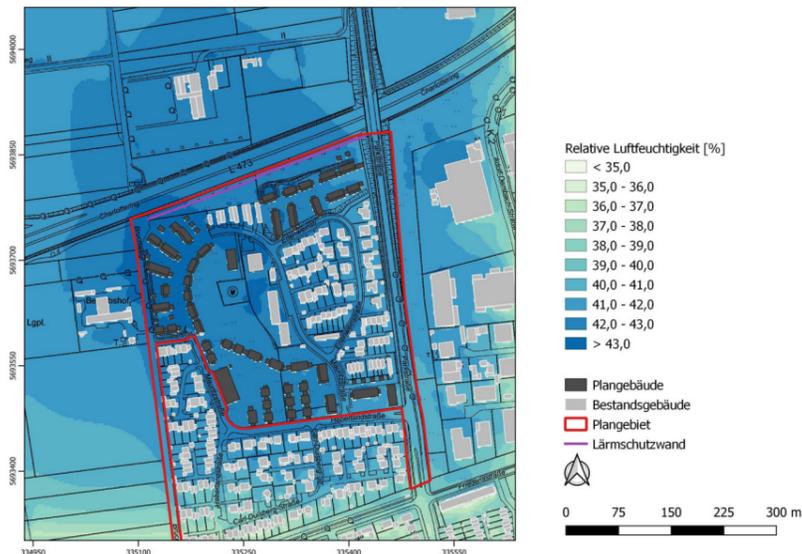
Planfall mit 30° Anströmungsrichtung



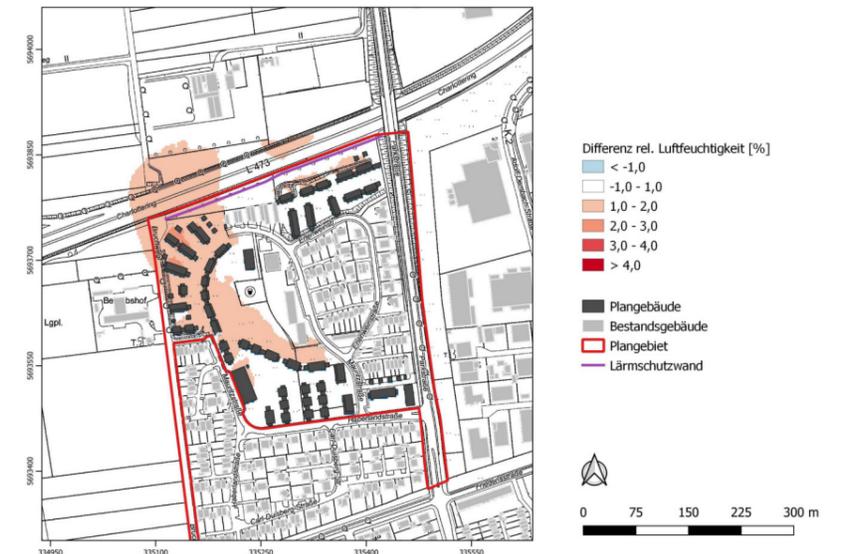
Differenz mit 30° Anströmungsrichtung



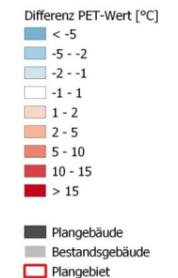
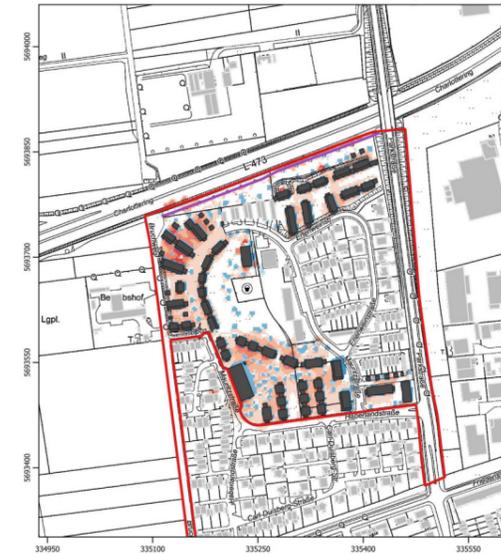
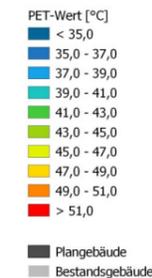
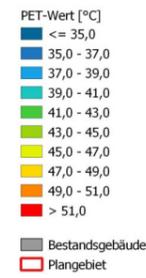
Istfall mit 150° Anströmungsrichtung



Planfall mit 150° Anströmungsrichtung



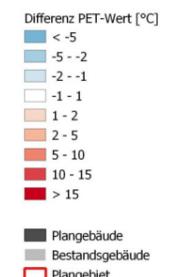
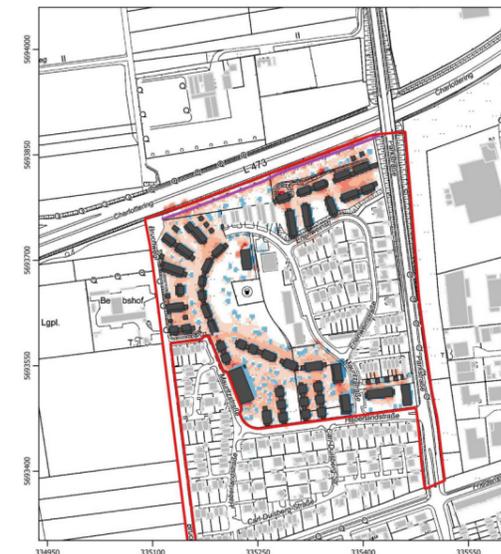
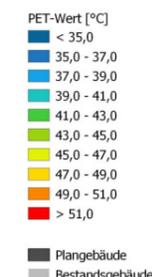
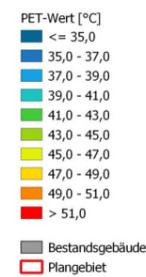
Differenz mit 150° Anströmungsrichtung



Istfall mit 30° Anströmungsrichtung

Planfall mit 30° Anströmungsrichtung

Differenz mit 30° Anströmungsrichtung



Istfall mit 150° Anströmungsrichtung

Planfall mit 150° Anströmungsrichtung

Differenz mit 150° Anströmungsrichtung