

Lohmeyer GmbH, Wasserstraße 223, 44799 Bochum

Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung
Landeshauptstadt Erfurt
Abteilung Stadtplanung
Warsbergstraße 3
99092 Erfurt

Wasserstraße 223, 44799 Bochum
Telefon: +49 (0) 234 / 516685 - 0
Telefax: +49 (0) 234 / 516685 - 29
E-Mail: info.bo@lohmeyer.de
URL: www.lohmeyer.de

Leitung: Dr. rer. nat. Rowell Hagemann

Zertifiziert nach ISO9001:2015

Ihre Zeichen

Ihre Nachricht vom
07.02.2022

Unser Zeichen
30025-20-02-GL

Bochum, den
10.02.2022

ALT683/KRV706 „ICE-City Ost“ in Erfurt

Kurzstellungnahme zum Klima- und Luftschadstoffgutachten (Stand: Oktober 2020)

Sehr geehrte Frau Kurth,

das Umwelt- und Naturschutzamt hat in seiner Stellungnahme vom 02.12.2021 angemerkt, dass im Klima- und Luftschadstoffgutachten nicht auf den Tower West eingegangen wird.

In unserem Klima- und Luftschadstoffgutachten (Stand: Oktober 2020; Projekt 30025-20-02) wurde der Tower West mit dem damaligen Planungsstand im Rahmenplan ICE-City Ost berücksichtigt. Der in den Gutachten beschriebene Planfall enthält diesen Rahmenplan.

Da sich aus klimatischer und lufthygienischer Sicht an dem Tower West keine signifikanten Veränderungen ergeben, wurde dieser nicht explizit gutachterlich erwähnt.

Im Folgenden werden die verschiedenen Themenbereiche um den Tower West ergänzt.

Luftaustausch:

Der Luftaustausch wird durch den Tower West in den Straßenzügen der Trommsdorffstraße, Schmidtstedter Straße und Teilen der Kurt-Schumacher-Straße gemindert. Aufgrund der Verengung der Leitbahn zwischen dem Tower West und der nördlich angrenzenden Bebauung kommt es entlang der Kurt-Schumacher-Straße zu Kanalisierungseffekten, sodass sich dort die Windgeschwindigkeiten erhöhen.

Kaltluft und Bioklima:

Die nächtlichen Kaltluftströme entlang des Gera-Flutgrabens und der Bahngleise werden durch den Tower West nicht gestört.

Die gefühlte Temperatur (GT) nachts und tagsüber wird im Bereich zwischen dem Tower West und dem Hotel erhöht. Das liegt daran, dass dieser Bereich unter der untersuchten Wetterlage mit Anströmrichtung aus Nordost im Windschatten des Tower West liegt. Die Luftmassen, die sich dort tagsüber bei fehlender Verschattung aufheizen, können dadurch schlechter abtransportiert werden.

Lufthygiene:

Aufgrund der erhöhten Lage des Towers West im Vergleich zur Stauffenbergallee werden die Luftschadstoffe NO₂, PM 10 und PM2.5 im Umfeld des Towers West auch im Planfall deutlich unterschreiten. Im Vergleich zum Istzustand erhöhen sich die Luftschadstoffe im nördlichen Umfeld des Towers West um maximal 1 µg. Im südlichen Bereich verringert sich die Luftschadstoffkonzentration geringfügig.

Mit freundlichen Grüßen

i.V. 

M.Sc. Geoinfo. S.Deimel



Lohmeyer

**BEBAUUNGSPLAN KRV706
„ICE-CITY OST, TEIL A“ IN ERFURT**

- KLIMAGUTACHTEN -

Auftraggeber:

Deutsche Bahn AG
Kundenteam Vertrieb Region Südost (CS.R O1-SO)
Brandenburger Straße 3
04103 Leipzig

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH
Niederlassung Dorsten

M.Sc. Geoinformatik Sandra Deimel

M.Sc. Geogr. Jessica Lehmkühler

Dipl.-Met. Georg Ludes

Oktober 2020
Projekt 30025-20-02
Berichtsumfang 40 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
2	AUFGABENSTELLUNG	6
3	GRUNDLAGEN	8
	3.1 Übergeordnetes regionales Klima.....	8
	3.2 Lokales Klima im Untersuchungsraum	10
4	THEMENKOMPLEX WINDFELD	12
	4.1 Grundlagen	12
	4.1.1 Beaufort-Skala.....	12
	4.1.2 Wetterdaten.....	13
	4.2 Durchführung der Windfeldberechnungen	15
	4.3 Ergebnisse der Windfeldberechnungen	16
5	THEMENKOMPLEX KALTLUFT	18
	5.1 Grundlagen	18
	5.2 Rechenmodell.....	19
	5.3 Eingangsdaten.....	20
	5.3.1 Digitales Geländemodell (DGM)	20
	5.3.2 Landnutzungsdaten	21
	5.4 Ergebnis	23
	5.4.1 Bodennahe Fließgeschwindigkeiten	23
	5.4.2 Volumenstromdichte der Kaltluft.....	24
6	THEMENKOMPLEX BIOKLIMA	26
	6.1 Bewertung des thermischen Komforts	26
	6.2 Mikroklima-Modell ENVI-met	28
	6.2.1 Modellbeschreibung	28
	6.2.2 Aufbau der Rechengitter.....	29
	6.2.3 Eingangsdaten	31
	6.2.4 Initialisierungsparameter	33
	6.3 Ergebnisse.....	35
	6.3.1 Wärmster Tageszeitraum (12 bis 17 Uhr).....	35
	6.3.2 Nachtzeitraum (22 bis 6 Uhr).....	37
7	LITERATUR	40

Hinweise:

Der vorliegende Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch den Namen und die Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

1 ZUSAMMENFASSUNG

Für den Bereich Krämpfervorstadt, Zum Güterbahnhof/ östlich der Raiffeisenstraße/ südlich der Rathenaustraße soll der Bebauungsplan KRV706 "ICE-City Ost, Teil A" aufgestellt werden.

Nordöstlich des Plangebietes besteht ein Rahmenplan zur Entwicklung des Stadtteils der Erfurter Oststadt, der 2016 als „Integriertes städtebauliches Rahmenkonzept Äußere Oststadt“ vom Stadtrat beschlossen wurde.

Diese geplanten städtebaulichen Entwicklungen führen zu einer deutlichen Reduktion von Frei- und Grünflächen in diesem Stadtgebiet.

Im Rahmen der Abwägung des Bebauungsplanes sollen daher durch ein lokalklimatisches Fachgutachten die klimatologischen Auswirkungen der geplanten Bauvorhaben auf die Durchlüftungssituation und das Bioklimas quantifiziert und bewertet werden.

Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden in Abstimmung mit dem Umwelt- und Naturschutzamt der Stadt Erfurt Simulationsrechnungen mit den Rechenmodellen MISKAM (bodennahes Windfeld, Belüftung), KLAM_21 (Kaltluftabfluss) und ENVI-met (Wärmebelastung, Bioklima) durchgeführt. Hierbei wurden neben dem Analysefall, die Zukunftsszenarien „Planfall“ und „Planfall-Rahmenplan“ untersucht.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Luftaustausch

Beim **Analysefall** herrschen im Bereich des Bebauungsplans KRV706 "ICE-City Ost, Teil A" sehr günstige Austauschbedingungen. Aufgrund der erhöhten Lage und der geringen Rauigkeit fungiert die Bahntrasse als wirksame Luftleitbahn, über die bei Hitzewetterlagen kühlerer Luft aus dem östlichen Umland von Erfurt in Richtung der Erfurter Innenstadt transportiert wird.

Insgesamt gute Belüftungsverhältnisse werden auch für die östlich an die Krämpfervorstadt angrenzenden Freiflächen und die Straßenzüge der Weimarerischen Straße und der Stauffenbergallee ausgewiesen, so dass in diesen Straßenzügen eine wirksame Verdünnung der hier freigesetzten Verkehrsabgase gewährleistet ist.

In innerstädtischen Stadtvierteln mit Blockrandbebauung und in den dicht bebauten Straßenzügen, die quer zur Hauptwindrichtung Südwest verlaufen, wird der Luftaustausch stark eingeschränkt. Hierdurch kann es in engen Straßen, wie beispielsweise der Trommsdorffstraße, zu erhöhten lufthygienischen Belastungen kommen.

Beim **Planfall** wird durch die geplante Bebauung im Bebauungsplangebiet der gegenwärtige Lüftungskorridor gestört und zweigeteilt. In der nördlich der geplanten Bebauung

verbleibenden Luftleitbahn ergeben sich gegenüber dem Analysefall Minderungen der mittleren Windgeschwindigkeiten. Aufgrund des geradlinigen und weitestgehend geschlossenen südseitigen Abschlusses der geplanten Bebauung verschlechtern sich die Belüftungsverhältnisse im Bereich der südlich über die Bahngleise verlaufenden Luftleitbahn dagegen kaum. Geringe mittlere Windgeschwindigkeiten ergeben sich im Bebauungsplangebiet in den Innenhöfen geschlossener Gebäudekomplexe.

Außerhalb des Plangebietes sind planungsbedingte Verminderungen des Luftaustausches in den Straßenzügen der Trommsdorffstraße, Schmidtstedter Straße und der Kurt-Schumacher-Straße sowie der Stauffenbergallee nördlich der Bahnunterführung zu erwarten. Hier wird daher die Verdünnung verkehrsbedingter Schadstoffemissionen nach Planungsumsetzung erschwert.

Bei zusätzlicher Betrachtung des **Rahmenplans** ergeben sich gegenüber dem Planfall erwartungsgemäß zusätzliche Auswirkungen auf die Belüftungsverhältnisse. Diese konzentrieren sich im Wesentlichen auf den Geltungsbereich des Rahmenplans und das hieran angrenzende Umfeld.

Im Bereich des Rahmenplans werden sich aufgrund des Strömungswiderstandes der geplanten Gebäude die bodennahen Windgeschwindigkeiten gegenüber dem Analysefall größtenteils vermindern. Im Gebäudebestand beschränken sich negative Auswirkungen auf die Randbebauung im östlichen Bereich der Ruhrstraße und der Raiffeisenstraße.

Relativ günstige Belüftungsverhältnisse werden für die größere, zentral im inneren Bereich des Rahmenplans angeordnete Freifläche ausgewiesen.

Kaltluft

Die Ergebnisauswertungen des **Analysefalls** zeigen, dass sich bei Strahlungswetterlagen im Geratal eine intensive Kaltluftströmung ausbildet, die im Laufe der Nacht auf die Randbebauung der Stadt trifft und hier durch die Bebauung abgebremst wird. Als Kaltluftleitbahn fungiert der Gera-Flutgraben. Hierüber erfolgt ein wirksamer Kaltlufttransport in Richtung Plangebiet.

Östlich des Plangebietes bildet sich eine weitere nächtliche Kaltluftströmung aus, die sich im östlichen Bereich der Gleise des Güterrangierbahnhofes verzweigt. Zwei Kaltluftsysteme transportieren von hier Frischluft in Richtung Norden (entlang der Gleisanlagen) und Nordwesten (über eine Freifläche). Eine kleinere Strömung zweigt in Richtung Westen ab und transportiert Frischluft in Richtung der Erfurter Innenstadt.

Im Bereich der Stauffenbergallee trifft diese östliche Kaltluftströmung auf die Kaltluftströmung aus dem Geratal. Anschließend wird die vereinigte Kaltluft dem Gera-Flutgraben und der

Stauffenbergallee folgend in Richtung Norden umgelenkt. Ein weiteres Vordringen der bodennahen Kaltluft in Richtung der Innenstadt erfolgt lediglich über die Trommsdorffstraße und den Juri-Gagarin-Ring. Positive bioklimatische Wirkungen beschränken sich daher weitestgehend auf diese Straßen.

Beim **Planfall** mindert die geplante Bebauung die Kaltluftleitbahn über den Bahngleisen, sodass sich im Bereich des Plangebietes der Volumenstrom verringert. Die Kaltluftdynamik im Bereich der Stauffenbergallee, des Juri-Gagarin-Rings und der Thälmannstraße wird hierdurch aber nicht nachhaltig beeinträchtigt. Relevante bioklimatische Beeinträchtigungen während des Nachtzeitraums sind daher nicht zu erwarten.

Beim **Planfall-Rahmenplan** entsprechen die Auswirkungen auf die Kaltluftdynamik weitestgehend denen des Planfalls. Signifikante Unterschiede der Planvarianten beschränken sich auf den Bereich des erweiterten Plangebiets. Aufgrund der mit der Planerweiterung einhergehenden zusätzlichen Bebauung und Versiegelung von Freiflächen nordöstlich des Bebauungsplangebiets kann dort die aus Osten kommende Kaltluft nicht mehr Richtung Nordwesten abfließen. Hierdurch fließt ein größerer Teil des Volumenstroms entlang der Gleisanlagen in Richtung Erfurter Innenstadt. Der Volumenstrom über dem Gera-Flutgraben und die Stauffenbergallee wird somit gegenüber dem Planfall geringfügig verstärkt.

Gegenüber dem Analysefall wird sich daher nach der baulichen Umsetzung des Planfall-Rahmenplans keine signifikante Beeinträchtigung der nächtlichen Frischluftzufuhr im Bereich der Erfurter Innenstadt ergeben.

Bioklima

Die Auswertungen der bioklimatischen Simulationsrechnungen für den **Analysefall** zeigen, dass die Hitzebelastung im Untersuchungsgebietes tagsüber stark variiert. Besonders von Hitzestress betroffen sind Bereiche, die über mehrere Stunden hinweg unverschattet sind. Zusätzliche thermische Belastungen resultieren aus geringen Windgeschwindigkeiten, wie sie zum Beispiel in den Innenhöfen der Blockrandbebauungen zu finden sind. Hier können lokal extreme Hitzebelastungen mit Werten der Gefühlten Temperatur (GT) von mehr als 38°C auftreten.

Deutlich geringere Wärmebelastungen treten aufgrund von Verschattungen im Bereich von Baumgruppen – beispielsweise entlang des Gera-Flutgrabens - auf. Auch auf den Nordseiten von Gebäuden wird die Wärmebelastung durch den Schattenwurf der Baukörper deutlich vermindert. Frei anströmbare Bereiche, wie die Bahntrasse und die Brachfläche westlich des Untersuchungsgebiets profitieren von guten Durchlüftungsverhältnissen, die den Überwärmungseffekt trotz fehlender Verschattung mindern können.

Nachts weisen größere Freiflächen aufgrund der guten Belüftung und der effektiven Wärmeabstrahlung das günstigste Bioklima auf. In den dichten Blockbebauungen nördlich der Bahntrasse treten hingegen relativ hohe Werte der GT von 21 bis 23 °C auf. Dies ist auf den geringen Luftaustausch und die Wärmestrahlung der Gebäudefassaden zurückzuführen.

Für den Planfall sind tagsüber ähnliche Wärmebelastungen zu erwarten wie in benachbarten dicht bebauten Bereichen. Starke Hitzebelastungen treten im Bereich unverschatteter Freiflächen und in den Innenhöfen auf. Ein Ergebnisvergleich mit dem Analysefall belegt, dass sich nach der Realisierung der Bebauung außerhalb des Plangebietes eine Zunahme der Wärmebelastung ausgeschlossen werden kann.

Nachts sind die thermischen Verhältnisse im Plangebiet mit der Situation in der städtischen Bebauung südlich der Bahntrasse vergleichbar. Die stärkste Wärmebelastung mit Werten der GT von teilweise mehr als 22°C treten in den Innenhöfen der geplanten Baublöcke auf.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit dem Analysefall zeigt, dass sich Veränderungen der Wärmebelastung, die durch die Planung verursacht werden, weitestgehend auf das Plangebiet beschränken. Hier führen die Wärmestrahlung der neuen Gebäude sowie eine verminderte Windgeschwindigkeit erwartungsgemäß in weiten Teilen des Plangebietes zu einer Zunahme der gefühlten Temperatur von bis zu 1,5 °C.

Für den **Planfall-Rahmenplan** treten tagsüber im Geltungsbereich des Rahmenplans aufgrund der lockeren Bebauung etwas geringere Hitzebelastungen auf wie in den benachbarten Wohnsiedlungen. Offene Baustrukturen und breite Durchgänge ermöglichen eine bessere Durchlüftung in Innenhöfen und entlang von Straßenzügen, was sich positiv auf das thermische Empfinden auswirkt. Größere dichte Baumgruppen, die im geplanten Stadtpark Ost zu finden sind, mindern tagsüber die Wärmebelastung effektiver als Baumreihen mit kleinen Baumkronen. Lokal engbegrenzt treten extreme Wärmebelastungen im Lee der nach Nordosten geschlossenen Bebauung auf.

Nachts herrscht im Geltungsbereich des Rahmenplans eine schwache nächtliche Wärmebelastung vor. Dies gilt insbesondere für den südlichen Bereich der Bebauung, der von der effektiven nächtlichen Abkühlung der breiten Bahntrasse profitiert. Die bioklimatische Situation ist im Vergleich zu den westlich angrenzenden Wohnvierteln somit insgesamt als günstig zu bezeichnen.

Ein Ergebnisvergleich mit dem Analysefall belegt, dass nachts und tagsüber in der Nachbarschaft des Plangebietes keine signifikante Zunahme der Wärmebelastung zu erwarten ist.

Fazit

Die Ergebnisanalyse der mikroklimatischen Simulationsrechnungen zeigt, dass sich negative Veränderungen im Hinblick auf die Durchlüftung, die Wärmebelastung und die nächtliche Kaltluftdynamik auf die Bereiche des Bebauungsplans und des Rahmenplans beschränken. Eine signifikante Verschlechterung der gegenwärtigen bioklimatischen und lufthygienischen Situation im Bereich der an die Plangebiete angrenzenden Stadtviertel ist daher nicht zu erwarten.

Die geplante Bebauung kann daher unseres Erachtens in der vorgesehenen Form realisiert werden. Unter Berücksichtigung der mit dem Klimawandel einhergehenden zukünftig steigenden Wärmebelastung sollten bei der weiteren Planung und der sich hieran anschließenden baulichen Umsetzung, die im Kapitel 7 dieses Berichts formulierten Planungsempfehlungen möglichst umfänglich beachtet und umgesetzt werden.

2 AUFGABENSTELLUNG

Für den Bereich Krämpfervorstadt, Zum Güterbahnhof/ östlich der Raiffeisenstraße/ südlich der Rathenaustraße soll der Bebauungsplan KRV706 "ICE-City Ost, Teil A" aufgestellt werden. In diesem Zusammenhang ist im Rahmen der Abwägung des Bebauungsplanes die Erarbeitung eines lokalklimatischen Fachgutachtens erforderlich. Innerhalb des Gutachtens sind unter Berücksichtigung der geltenden Rechtslage die klimatologischen Auswirkungen des geplanten Bauvorhabens auf die Durchlüftungssituation des Untersuchungsgebietes und das Bioklima zu quantifizieren und zu bewerten.

Betrachtet wurden folgende Fälle:

- Analysefall 2018,
- Planfall 2020 sowie
- Planfall-Rahmenplan 2020.

Die Stadt Erfurt liegt in einer nach Norden geöffneten Talmulde. Aufgrund dieser besonderen topografischen Lage kommt es zu Reduzierungen der bodennahen Windgeschwindigkeiten und erhöhten Inversionshäufigkeiten und somit ungünstigen Austauschbedingungen. Die stark versiegelten und dicht bebauten Bereiche der Erfurter Kern- und Innenstadt neigen außerdem zu einer ausgeprägten Überwärmung.

Für den Bereich Krämpfervorstadt, Zum Güterbahnhof/ östlich der Raiffeisenstraße / südlich der Rathenaustraße soll gemäß § 2 Abs. 1 Satz 1 BauGB der Bebauungsplan KRV706 "ICE-City Ost, Teil A" und aufgestellt werden.

Das zu begutachtende Plangebiet liegt in einem stadtklimatisch relevanten, hauptwindorientierten Durchlüftungsraum und grenzt an die Innenstadtgebiete (Altstadt und Gründerzeitring) an, die während sonnenreicher Strahlungswetterlagen aufgrund der begrenzten Kaltluftbildung, Belüftung und Kalt- und Frischluftzufuhr Wärme bzw. Hitzeinseln ausbilden. Zukünftig wird aufgrund des Klimawandels die innerstädtische Wärmebelastung deutlich zunehmen.

Nordöstlich des Plangebietes besteht ein Rahmenplan zur Entwicklung des Stadtteils der Erfurter Oststadt, der 2016 als „Integriertes städtebauliches Rahmenkonzept Äußere Oststadt“ vom Stadtrat beschlossen wurde. Im nördlichen Teil wird dieser Rahmenplan derzeit mit einer verbindlichen Bauleitplanung BPL KRV684 „Alter Posthof“ bereits umgesetzt. Diese geplante Entwicklung führt zu einer deutlichen Reduktion von Frei- und Grünflächen in diesem Stadtgebiet.

Die Lage und die geplante Bebauung im Bebauungsplangebiet und im Bereich des Rahmenplans sind auf der **Abb. 2.1** dargestellt.

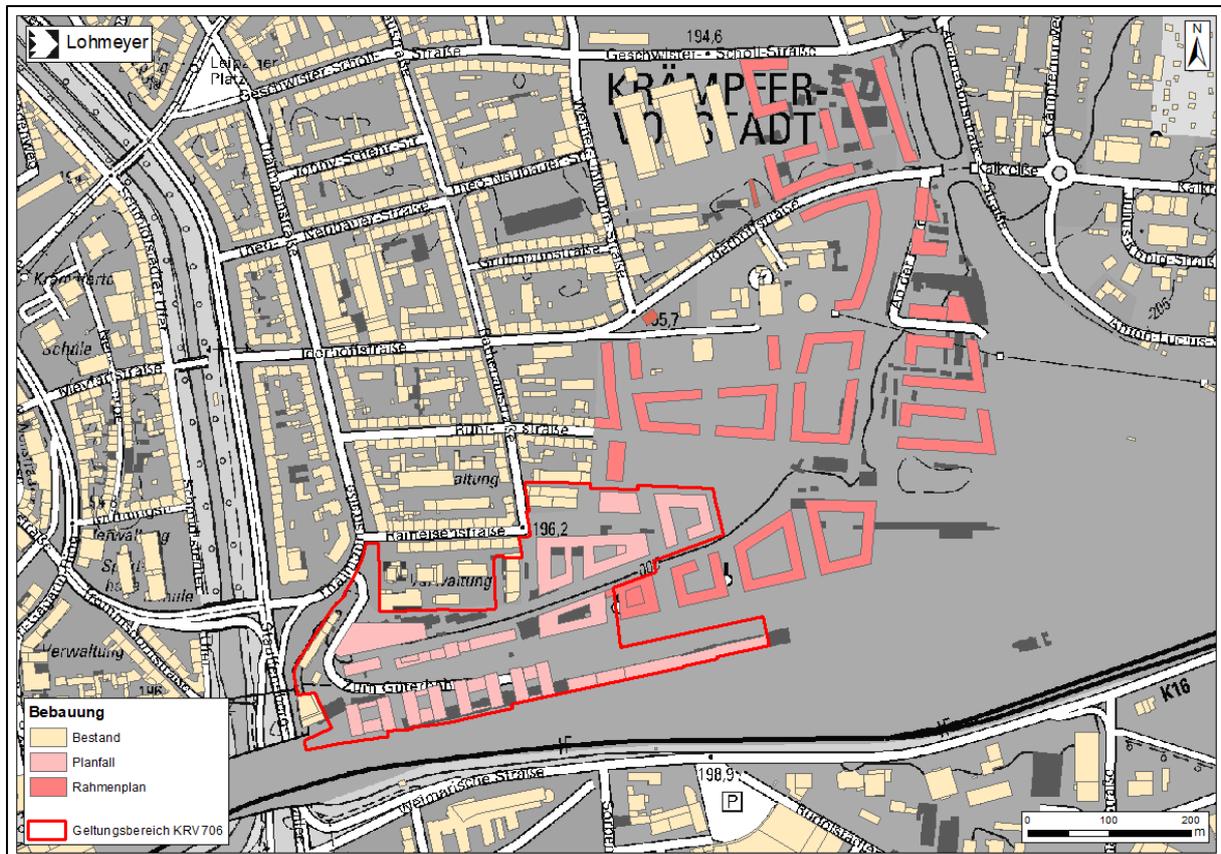


Abb. 2.1: Übersichtsplan mit der geplanten Bebauung

Aufgrund der besonderen Lage und klimatischen Funktion des Bebauungsplangebietes und des Rahmenplans sind folgende Fragestellungen zu beantworten:

- 1) Welche Auswirkungen hat die geplante Bebauung/Flächennutzung auf das Bioklima im Plangebiet und den angrenzenden Stadtquartieren?
- 2) Welche Auswirkungen hat die vorgesehene Bebauung/Flächennutzung auf die innerstädtische Durchlüftungssituation bzw. auf das bodennahe Windfeld?
- 3) Welche städtebaulichen/sonstigen Maßnahmen werden empfohlen, um die ggf. ermittelten Beeinträchtigungen der bio- und stadtklimatischen Funktionalität bzw. der Durchlüftung zu mindern?

Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden in Abstimmung mit dem Umwelt- und Naturschutzamt der Stadt Erfurt Simulationsrechnungen mit den Rechenmodellen MISKAM (bodennahes Windfeld, Belüftung), KLAM_21 (Kaltluftabfluss) und ENVI-met (Wärmebelastung, Bioklima) und durchgeführt.

3 GRUNDLAGEN

3.1 Übergeordnetes regionales Klima

Die lokalen klimatischen Eigenheiten des Standortklimas lassen sich auf der Grundlage der Klimaanalyse „Klimagerechtes Flächenmanagement der Landeshauptstadt Erfurt“ (Katzschner, 2018) charakterisieren. Hier wird darauf hingewiesen, dass aufgrund der Muldenlage der horizontale Luftaustausch stark eingeschränkt ist. In Kombination mit der hohen durchschnittlichen Sonnenscheindauer von über 1.600 Stunden führt dies in den baulich stark verdichteten Innenstadtbereichen zur Ausbildung einer Wärmeinsel, die für die Stadt durchschnittlich 2°C höhere Lufttemperaturwerte ausweist als bei der nahe gelegenen DWD-Wetterstation Flughafen Erfurt-Weimar. Zusätzlich entstehen durch anthropogene Einflüsse spezielle Stadtklimate, die sich vor allem nachts anhand des Wärmeinseleffektes, und im Winter auch bei länger andauernden Inversionswetterlagen durch hohe Schadstoffkonzentrationen von den klimatischen und lufthygienischen Bedingungen des Umlandes abheben.

Da in der näheren Umgebung des Plangebietes keine langjährige Wetterstation vorhanden ist, die die dortigen klimatischen Verhältnisse repräsentieren könnte, wurden dafür die landesweiten Raster-Datensätze aus dem Klimadaten-Center (CDC) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen. Diese Daten wurden unter Berücksichtigung der langjährigen Klimatologie aus Messungen der DWD-Stationen und qualitativ gleichgestellten Partnernetzstationen in Deutschland abgeleitet.

Aus diesen Daten, die sich auf die zeitliche Periode 1981 bis 2010 beziehen, haben wir die Jahresmittelwerte der relevanten meteorologischen Größen Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Niederschlag für das Plangebiet ausgewertet.

Die durchschnittliche Lufttemperatur im Untersuchungsraum beträgt hier 9.2°C. Die mittlere Anzahl von Hitzetagen ($T_{\max} \geq 30.0^{\circ}\text{C}$) und Sommertagen ($T_{\max} \geq 25.0^{\circ}\text{C}$) beträgt 7 bzw. 38 Tage.

Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme im selben Bezugszeitraum wird mit 539 mm angegeben. Dieser Wert liegt deutlich unter dem bundesweiten Durchschnitt von ca. 819 mm für den zeitlichen Bezugsraum 1981 bis 2010 [DWD].

Im Bereich der Erfurter Innenstadt treten aufgrund der hohen Rauigkeit und der topographischen Muldenlage häufig geringe Windgeschwindigkeiten auf. Dies spiegelt sich auch in den niedrigen Jahresmittelwerten der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe wider, die gegenüber den höher gelegenen Freiflächen westlich, südlich und nordöstlich des Stadtgebietes abhängig von der Bebauungsdichte um ca. 20 bis 40 % reduziert sind.

3.2 Lokales Klima im Untersuchungsraum

Klimafunktionskarten stellen die räumliche kleinklimatische Gliederung in so genannte Klimatope sowie Luftleitbahnen und Bereiche mit Kaltluftbildung und Kaltluftabflüssen dar (vgl. **Abb. 3.2**). Die Ausbildung von Klimatopen ergibt sich aus den unterschiedlichen klimatisch-energetischen Eigenschaften von Freiflächen, Waldgebieten, Wasserflächen und Bebauungsstrukturen.

Im Umfeld des Plangebietes überwiegen Klimatope (Vorstadt, Stadt, Innenstadt, innerstädtische Grünflächen) mit ungünstigen bioklimatischen Eigenschaften.

Das Gebiet des Bebauungsplans ist aufgrund seiner lockeren Bebauung und Industriebrache dem Vorstadtklima zuzuordnen. Dieses Klimatop ist zwischen dem Freilandklima und dem Stadtklima einzuordnen. Die Flächennutzung ist vor allem von lockerer Bebauung mit hohem Grünflächenanteil (Gärten) geprägt. Durch die meist gute Frischluftzufuhr aus umliegenden Freiflächen liegt hier ein günstiges Bioklima mit zumeist geringer lufthygienischer Belastung vor.

Die nördlich und westlich des Plangebietes anschließenden Flächen sind dem Stadtklima zuzuordnen. Aufgrund des hohen Versiegelungsgrades und der dichten Bebauungsstrukturen herrschen hier ungünstigere bioklimatische Bedingungen und erhöhte Wärmebelastungen. Besonders hohe Wärmebelastungen treten aufgrund des hohen Versiegelungsgrades und der dichten mehrgeschossigen Bebauung in der westlichen Hälfte der City auf. Der geringe Grünflächenanteil, die geringe Frischluftzufuhr und die starke Wärmespeicherung der Baumassen führt hier während sommerlicher Strahlungswetterlagen gegenüber dem Umland von Erfurt zu einer Überwärmung, die aufgrund der verzögerten Abkühlung der Luft nachts besonders ausgeprägt ist und als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird. Bei Hitzewetterlagen treten starke Einschränkungen des thermischen Komforts auf. Durch die hohen Nachttemperaturen und die geringe Durchlüftung wird die Erholungsfunktion des nächtlichen Schlafs für die hier ansässige Wohnbevölkerung deutlich gemindert. Diese körperlichen Belastungen durch Hitzestress werden zukünftig aufgrund des Klimawandels zusätzlich verschärft.

Die Gleisanlagen südlich des Plangebietes entsprechen aufgrund seiner Eigenschaften dem Klimatop Freilandklima. Durch die geringe Rauigkeit und großer Breite können sie als Luftleitbahnen dienen, mit denen Frischluft aus dem Umland in Richtung der Innenstadt transportiert wird. Hierdurch können sie zur Abmilderung von Wärmeinseln beitragen.

Nordöstlich des Plangebietes befinden sich Acker- und Brachflächen, die ebenfalls zum Klimatop Freiland gehören. Sie können bei östlichen Winden einen positiven thermischen Ausgleich für die westlich angrenzenden Stadtbezirke bewirken (VDI, 2014). Nachts findet hier eine effektive Kaltluftproduktion statt, so dass diese Flächen deutlich kühler sind als innerstädtische Bereiche. Positive Auswirkungen beschränken sich allerdings bei Fehlen von Belüftungskorridoren (Grünzügen) meist auf die direkt angrenzenden Stadtviertel.

Der Gera-Flutgraben westlich des Bebauungsplanes wird dem Gewässerklima zugeordnet, welches mit guten Ventilationsbedingungen und gedämpften Schwankungen der Lufttemperatur einhergeht. Zudem wird hier die Luftleitbahn-Funktion durch die breit ausgebaute Schillerstraße und Stauffenbergallee verstärkt.

Die Klimafunktionskarte zeigt, dass entlang des östlichen und des westlichen Stadtrandes Luftleitbahnen in Nord-Süd Richtung verlaufen. Diese sind teilweise in ihrer lufthygienischen Wirkung durch die Flächennutzung eingeschränkt (Katzschner, 2018). Kaltluftabflüsse entstehen an den westlichen und südlichen Hanglagen. In Richtung Erfurter Innenstadt werden sie durch die dichte Bebauung abgebremst. Im Plangebiet und der Umgebung werden Durchlüftungsbahnen entlang der Gleisanlage und des Gera-Flutgrabens ausgewiesen.

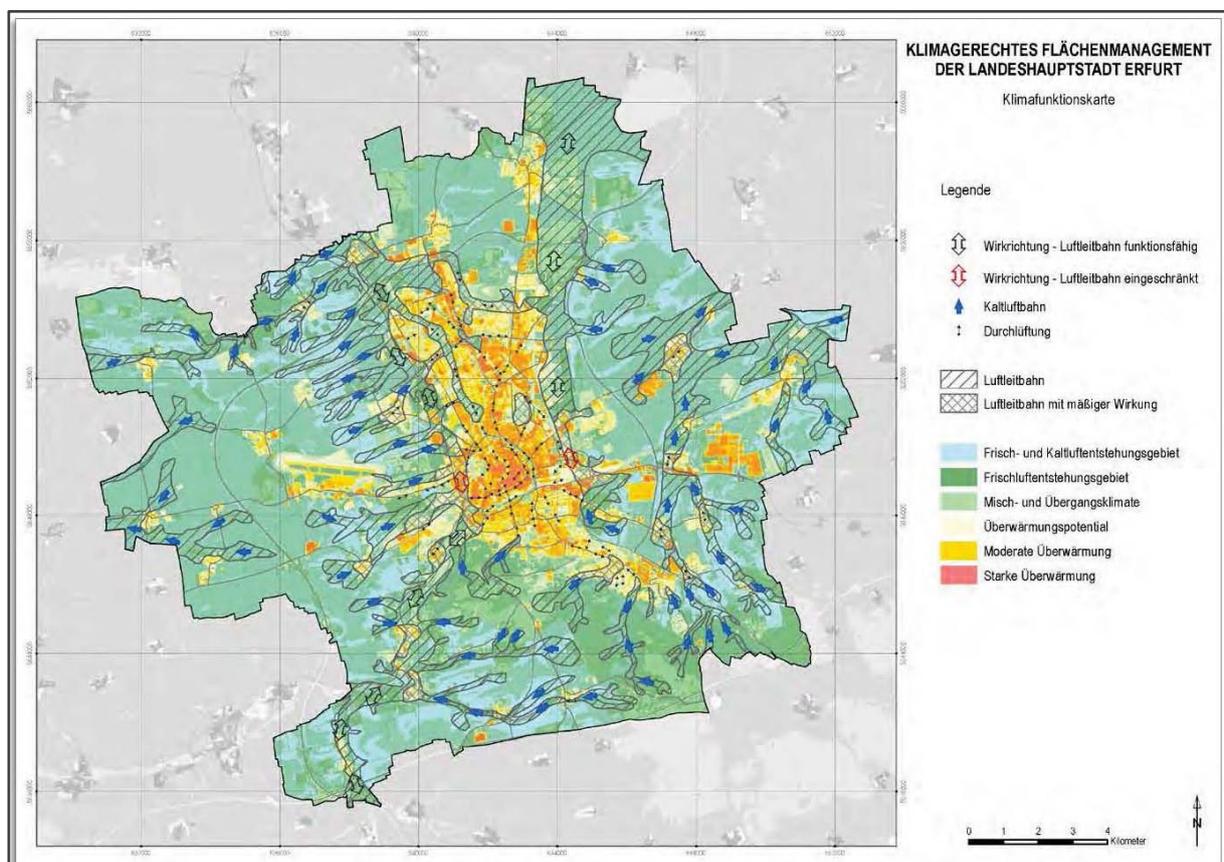


Abb. 3.1: Klimafunktionskarte der Landeshauptstadt Erfurt (Katzschner, 2018).

4 THEMENKOMPLEX WINDFELD

4.1 Grundlagen

4.1.1 Beaufort-Skala

Die Windgeschwindigkeit wird häufig auf der Grundlage der Beaufortskala angegeben. Die Beaufort-Skala teilt die Windgeschwindigkeit nach den unterschiedlichen Auswirkungen des Windes in Klassen ein (vgl. **Tab. 4.1**). Anwendung findet die Beaufort-Skala beispielsweise bei der Regelung von Sturmschäden durch Versicherungen. Nach deren Kriterien besteht prinzipiell ein Anspruch auf Entschädigung erst ab Windstärke Beaufort 8 („Stürmischer Wind“).

Tab. 4.1: Beaufort-Skala und Windgeschwindigkeit nach

Beaufort-Grad	Bezeichnung	Auswirkungen des Windes	Geschwindigkeit	
			m/s	in km/h
0	Windstille	Rauch steigt gerade empor.	0,0 - 0,3	0 - 1
1	Leiser Zug	Windrichtung angezeigt nur durch Zug des Rauches, aber nicht durch Windfahne.	0,3 - 1,6	1 - 6
2	Leichter Wind	Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich.	1,6 - 3,4	6 - 12
3	Schwacher Wind	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt einen Wimpel.	3,4 - 5,5	12 - 20
4	Mäßiger Wind	Wind hebt Staub, lockeren Schnee und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste.	5,5 - 8,0	20 - 29
5	Frischer Wind	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumköpfe bilden sich auf Seen.	8,0 - 10,8	29 - 39
6	Starker Wind	Starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegraphenleitungen, Regenschirme schwierig zu benutzen.	10,8 - 13,9	39 - 50
7	Steifer Wind	Ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind.	13,9 - 17,2	50 - 62
8	Stürmischer Wind	Bricht Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien.	17,2 - 20,8	62 - 75
9	Sturm	Kleinere Schäden an Häusern (Rauchhauben und Dachziegel werden abgeworfen).	20,8 - 24,5	75 - 88
10	Schwerer Sturm	Entwurzelte Bäume, bedeutende Schäden an Häusern.	24,5 - 28,5	88 - 103
11	Orkanartiger Sturm	Verbreitete Sturmschäden (sehr selten im Binnenland).	28,5 - 32,6	103 - 117
12	Orkan	Schwerste Verwüstungen.	> 32,6	> 117

4.1.2 Wetterdaten

Die Auswahl der auszuwertenden Windrichtungen erfolgte auf der Grundlage der Windrichtungsverteilung der Wetterstation Flughafen Erfurt/Weimar, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betrieben wird.

Da sich die Wetterstation nicht im Untersuchungsgebiet befindet, müssen zur Ermittlung der lokalen Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet die Winddaten der DWD-Station auf die Erfurter Innenstadt übertragen werden (VDI, 2019). Hierzu wurden in Abstimmung mit dem Umweltamt der Stadt Erfurt die Windgeschwindigkeiten der DWD-Station um 30% reduziert.

Die **Abb. 4.1** verdeutlicht, dass im Untersuchungsgebiet bevorzugt Winde aus südwestlichen und nordöstlichen Richtungen auftreten. Hohe Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeiten treten häufig bei Tiefdruckwetterlagen und südwestlichen bis westlichen Windrichtungen auf. Schwache Nordostwinde sind hingegen oft mit sonnigen Hochdruckwetterlagen verbunden, die im Sommer aufgrund der starken Einstrahlung zu hohen Lufttemperaturen in der Erfurter Innenstadt führen können.

Im Rahmen der Windfeldanalyse wurden daher die Windrichtungen 50° (Nordost) und 230° (Südwest) detailliert untersucht.

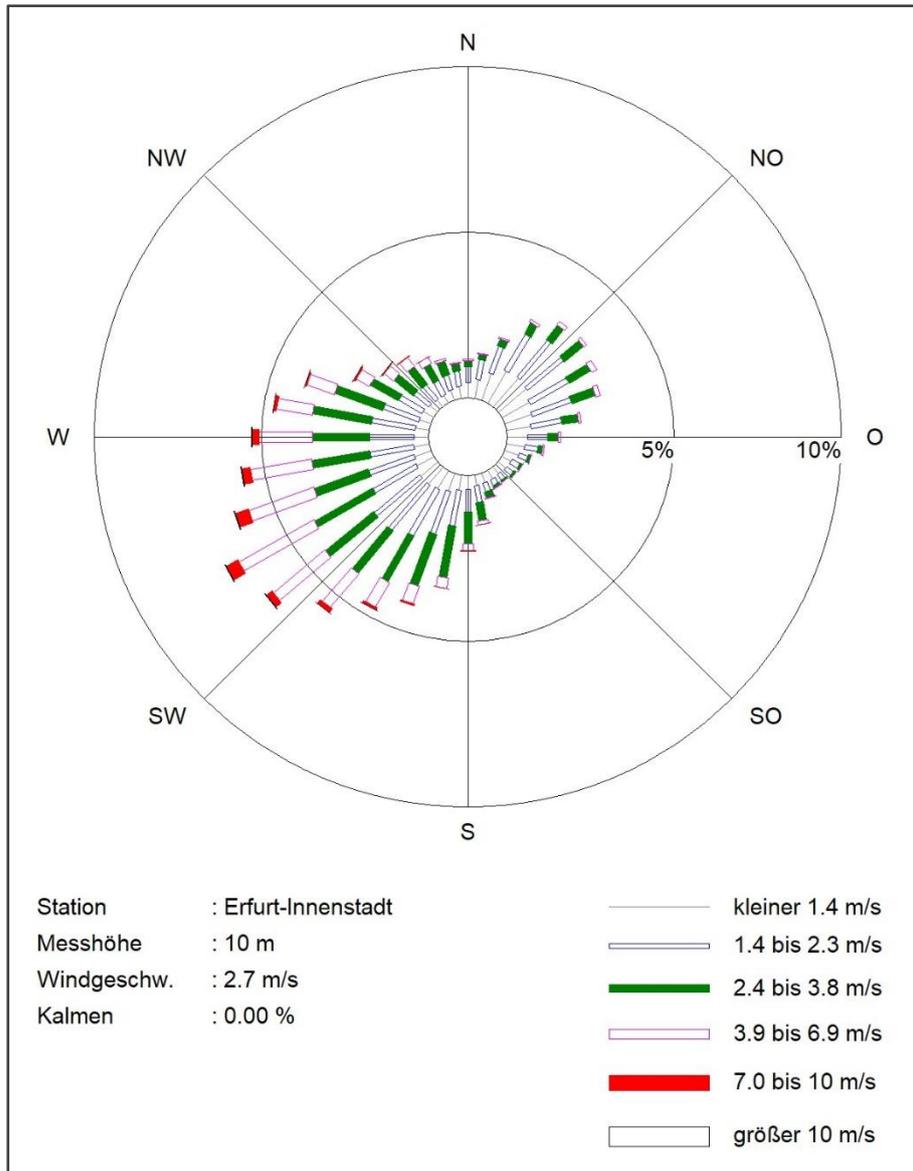


Abb. 4.1: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung

Abgeleitet aus Daten der Wetterstation Erfurt Flughafen 2009 bis 2018
Quelle: DWD, eigene Darstellung

4.2 Durchführung der Windfeldberechnungen

Die Untersuchungen zum Luftaustausch basieren auf dreidimensionalen numerischen Windfeldsimulationen mit dem mikroskaligen Strömungsmodell *MISKAM* (Eichhorn, 1989). *MISKAM* wurde durch umfangreiche Vergleichsrechnungen mit Windkanaluntersuchungen gemäß den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9 „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung“ (vgl. VDI, 2017) validiert.

Die Modellrechnungen erfordern die Definition eines Rechengebietes und eine Aufteilung dieses Gebietes in viele quaderförmige Rechenzellen. Zellen, in denen Bebauung vorliegt, werden als undurchlässig gekennzeichnet.

Die Kenndaten des Rechengitters sind in der **Tab. 4.2** zusammengefasst.

Tab. 4.2 Kenndaten der bei der Simulation verwendeten Rechengitter

Anzahl und Abstand der Gitterpunkte			Gitterpunktanzahl
x-Richtung	y-Richtung	z-Richtung	
1.75m	1.75m	0.6m*	
829	657	39	21 241 470

* Variabel, mit der Höhe zunehmend

Die Lage und die Geometrie der Bestandsbebauung wurde aus einem digitalen 3-dimensionalen Stadtmodell der Stadt Erfurt entnommen. Die topographischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet wurden aus einem digitalen Geländemodell abgeleitet und bei den Modellrechnungen berücksichtigt.

Bei den Windfeldsimulationen werden lokale Veränderungen des bodennahen Windfeldes durch Gebäude und bestehende sowie geplante Topographie detailliert im Modell abgebildet. Der windhemmende Einfluss von Bäumen und Sträuchern, Masten, Schildern, parkenden Autos u.a. wurde nicht detailliert bei den Berechnungen abgebildet, so dass im Umfeld solcher Strömungshindernisse die bodennahen Windgeschwindigkeiten in den Modellrechnungen tendenziell überschätzt werden.

4.3 Ergebnisse der Windfeldberechnungen

Die Bewertung der allgemeinen Durchlüftung erfolgte durch eine grafische Analyse des Jahresmittelwertes der bodennahen Windgeschwindigkeit (siehe Anhang A1). Die Auswertungen erfolgten für ein Höhenniveau von 1.5 m über Grund.

Die **Abb. A1.1** bis **A1.3** stellen das Jahresmittel des bodennahen Windfeldes für den Analysefall, den Planfall und den Planfall-Rahmenplan dar. In den Grafiken sind Bereiche mit hohen Windgeschwindigkeiten durch blaue Farbtöne gekennzeichnet, während besonders windschwache Zonen in orange-roten Farben dargestellt werden.

In den Abbildungen **A1.4** und **A1.5** sind die Veränderungen der Jahresmittelwerte der bodennahen Windgeschwindigkeiten dargestellt, die sich nach Umsetzung des Planfalles (siehe **A1.4**) bzw. des Planfall-Rahmenplans (siehe **A1.5**) gegenüber dem Analysefall ergeben. In den Abbildungen sind die Bereiche, in denen sich bei den Planfällen Reduzierungen der mittleren Windgeschwindigkeiten ergeben, durch rote Farbtöne gekennzeichnet und die Bereiche mit planungsbedingten Windgeschwindigkeitszunahmen durch blaue Farben hervorgehoben.

Aus den Ergebnisgrafiken lassen sich folgende Aussagen ableiten.

Analysefall (vgl. Abb. A1.1)

Aufgrund der erhöhten Lage, der geringen Rauigkeit und der geradlinigen Ost-West-Ausrichtung treten über den Bahnflächen und den hieran nördlich angrenzenden Stellplatzflächen der Deutschen Bahn erwartungsgemäß hohe bodennahe Windgeschwindigkeiten aus. Sie fungieren somit als wirksame Luftleitbahn.

Insgesamt gute Belüftungsverhältnisse werden auch für die östlich an die Krämpfervorstadt angrenzenden Freiflächen und die Straßenzüge der Weimarischen Straße und der Stauffenbergallee ausgewiesen. Die gute Belüftung dieser Straßenzüge gewährleistet eine wirksame Verdünnung der hier freigesetzten Verkehrsabgase.

In innerstädtischen Stadtvierteln mit Blockrandbebauung und in dicht bebauten Straßen, die quer zur Hauptwindrichtung Südwest verlaufen, wird der Luftaustausch aufgrund der windabschirmenden Wirkung der Bebauung stark eingeschränkt. Hierdurch kann es in engen Straßen, wie beispielsweise der Trommsdorffstraße, zu erhöhten lufthygienischen Belastungen kommen.

Planfall (vgl. Abbildungen A1.2 und A1.4)

Beim Planfall wird durch die geplante Bebauung im Bebauungsplangebiet der gegenwärtige Lüftungskorridor gestört und zweigeteilt.

In der nördlich der geplanten Bebauung verbleibenden Luftleitbahn ergeben sich gegenüber dem Analysefall Minderungen der mittleren Windgeschwindigkeiten. Aufgrund des geradlinigen und weitestgehend geschlossenen südseitigen Abschlusses der geplanten Bebauung verschlechtern sich die Belüftungsverhältnisse im Bereich der südlich über die Bahngleise verlaufenden Luftleitbahn dagegen kaum.

Geringe mittlere Windgeschwindigkeiten ergeben sich im Bebauungsplangebiet in den Innenhöfen geschlossener Gebäudekomplexe.

Außerhalb des Plangebietes sind planungsbedingte Verminderungen des Luftaustausches in den Straßenzügen der Trommsdorffstraße, Schmidtstedter Straße und der Kurt-Schumacher-Straße sowie der Stauffenbergallee nördlich der Bahnunterführung zu erwarten. Hier wird daher die Verdünnung verkehrsbedingter Schadstoffemissionen nach Planungsumsetzung erschwert.

Planfall-Rahmenplan (vgl. Abb. A1.3 und A1.5)

Bei zusätzlicher Betrachtung des Rahmenplans ergeben sich gegenüber dem Planfall erwartungsgemäß zusätzliche Auswirkungen auf die Belüftungsverhältnisse. Diese konzentrieren sich im Wesentlichen auf den Geltungsbereich des Rahmenplans und das hieran angrenzende Umfeld.

Im Bereich des Rahmenplans werden sich aufgrund des Strömungswiderstandes der geplanten Gebäude die bodennahen Windgeschwindigkeiten gegenüber dem Analysefall größtenteils vermindern. Im Gebäudebestand beschränken sich negative Auswirkungen auf die Randbebauung im östlichen Bereich der Ruhrstraße und der Raiffeisenstraße.

Relativ günstige Belüftungsverhältnisse werden für die größere, zentral im inneren Bereich des Rahmenplans angeordnete Freifläche ausgewiesen.

5 THEMENKOMPLEX KALTLUFT

5.1 Grundlagen

Kaltluft wird insbesondere in klaren windschwachen Strahlungsnächten produziert. Ursache für die Abkühlung ist die effektive langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche, d.h. die Differenz zwischen der Wärmestrahlung der aktiven Oberfläche (Boden, Vegetation) und der langwelligen Gegenstrahlung der Atmosphäre. Letztere ist insbesondere bei klarem Himmel zu gering, um die Ausstrahlung zu kompensieren, so dass letztlich ein Wärmeverlust an der aktiven Oberfläche entsteht. Der Wärmeaustausch zwischen der sich abkühlenden Oberfläche und der Atmosphäre führt dazu, dass die abgestrahlte Wärme der bodennahen Luftschicht entzogen und somit Kaltluft produziert wird.

Voraussetzungen für die Ausbildung einer ausgeprägten bodennahen Kaltluftschicht sind:

- eine negative Strahlungsbilanz
- eine geringe Wärmezufuhr aus dem Boden
- ein schwacher Impulsaustausch mit den darüber liegenden Luftmassen (schwacher Wind bei Hochdruckwetterlagen).

In ebenem Gelände bleibt die bodennahe gebildete Kaltluft an Ort und Stelle liegen. In geneigtem Gelände hingegen setzt sie sich infolge der horizontalen Dichteunterschiede hangabwärts in Bewegung (Hangabwind). Für das Abfließen von Kaltluft ist eine Hangneigung von mindestens 1° bis 2° erforderlich. Die vertikale Mächtigkeit und die Geschwindigkeit von Hangabwinden ist von der Länge des Hanges, der Hangneigung, der Bodenreibung (Bewuchs, Bebauung) und dem Dichteunterschied abhängig.

In Tälern fließen die Hangabwinde zusammen und es kann ein mehr oder weniger mächtiger Talabwind entstehen, der als Bergwind bezeichnet wird. Typische Geschwindigkeiten von Hangwinden liegen im Bereich von 0.5 m/s bis 2.0 m/s . Bergwinde können mit ca. 1 m/s bis zu 10 m/s erheblich höhere Geschwindigkeiten erreichen. Die vertikale Mächtigkeit der abfließenden Kaltluft und die Geschwindigkeit des Abflusses hängen im Wesentlichen von der Fläche des Einzugsgebietes, der Kaltluftproduktionsrate, dem Talgefälle und den Rauigkeiten im Talbereich ab. Die Fließrichtung wird durch die Geländeform bestimmt. Als Leitlinien des Kaltluftabflusses treten talwärts führende Einsenkungen des Geländes wie z.B. Seitentäler, Schluchten und Rinnen in Erscheinung.

Die Kaltluftentstehung und der Kaltluftabfluss hängen somit von den folgenden Faktoren ab:

- den meteorologischen Verhältnissen
- der Flächennutzung
- der Geländeform und der Exposition.

In topographisch gegliedertem Gelände kommt thermisch induzierten Windsystemen unter bioklimatischen und lufthygienischen Gesichtspunkten eine besondere Bedeutung zu. So ermöglichen Bergwinde während austauscharmer Wetterlagen einen nächtlichen Luftaustausch der belasteten städtischen Luftmassen mit unbelasteter Frischluft. Zudem sorgen nächtliche Kaltluftabflüsse im Sommer für eine Minderung der innerstädtischen Überwärmung.

Ungünstige lufthygienische Auswirkungen durch Kaltluftabflüsse können auftreten, wenn bodennahe Emittenten von Luftschadstoffen oder Gerüchen in deren Einflussbereich liegen, da die im Kaltluftabflussbereich freigesetzten Schadstoffe und Gerüche mittransportiert werden ohne dass hierbei eine wirksame Verdünnung stattfindet. Hierdurch kann auch in größeren Entfernungen vom Freisetzungsort „flussabwärts“ gelegene Wohnbebauung in starkem Maße von den entsprechenden Immissionen beaufschlagt werden.

5.2 Rechenmodell

Die Berechnungen wurden mit der aktuellen Version des Kaltluftabflussmodells KLAM_21 durchgeführt. KLAM_21 ist ein zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell, welches vom Deutschen Wetterdienst entwickelt wurde (Sievers, 2005). Das Modell ermöglicht die Ermittlung von Kaltluftabflüssen und Kaltluftansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände und hat sich in zahlreichen Gutachten zur Standort-, Stadt- und Regionalplanung bewährt.

Die Kaltluftmodellierung mit KLAM_21 beruht auf Angaben zu Geländehöhe und zur Flächennutzung innerhalb des in äquidistante Gitterzellen aufgeteilten Untersuchungsgebietes. Modellintern werden hieraus die Rauigkeitslänge der Oberfläche sowie die Ausstrahlung der einzelnen Gitterzellen abgeleitet. Für Siedlungsbereiche oder bewaldete Flächen werden zusätzliche Kenngrößen wie z.B. die mittlere Gebäudehöhe oder der Blattflächenindex berücksichtigt.

Das Modell simuliert die Kaltluftentwicklung und ermöglicht Aussagen zur Kaltluflhöhe, der Strömungsgeschwindigkeit und zur Volumenstromdichte.

Angaben zur Größe und Lage des Untersuchungsgebietes können der **Tab. 5.1** und der **Abb. 5.1** entnommen werden.

Tab. 5.1: Größe des KLAM_21-Rechengebietes

Gitterauflösung [m]	Ausdehnung in X-Richtung [m]	Ausdehnung in Y-Richtung [m]	Anzahl Rechenzellen
5	7.000	7.000	1.960.000

5.3 Eingangsdaten

5.3.1 Digitales Geländemodell (DGM)

Das Relief des Untersuchungsgebietes wurde aus einem digitalen Geländemodell mit einer Auflösung von 3 Metern abgeleitet. Für den Planfall und den Planfall-Rahmenplan wurden keine Änderungen am DGM vorgenommen. Die Stadt Erfurt ist in einem Talkessel gelegen, der nach Norden hin geöffnet ist und im Süden durch den Steigerwald/Willroder Forst begrenzt wird. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Gelände im Rechengebiet.

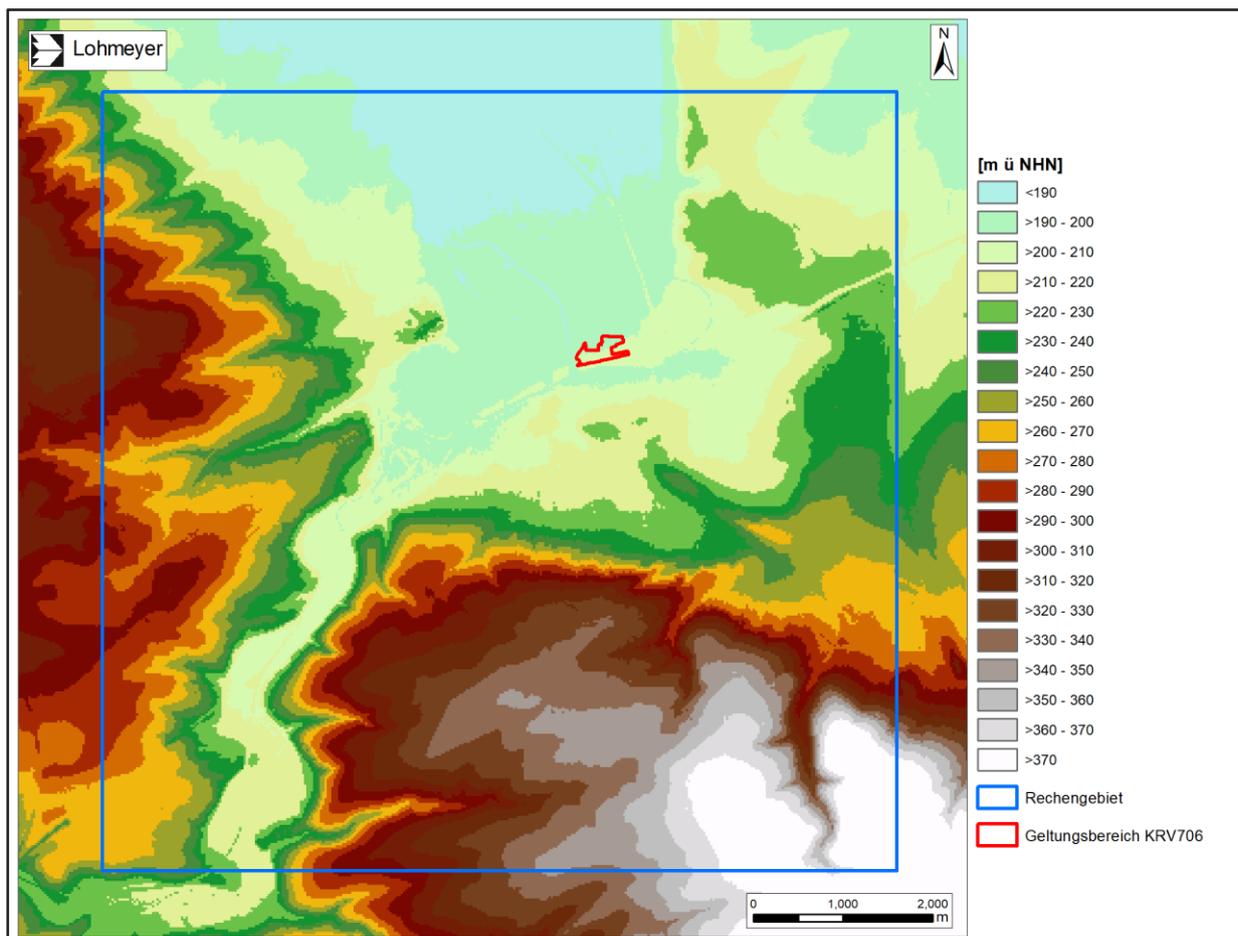


Abb. 5.1: Topographie im Untersuchungsgebiet mit Abgrenzung des KLAM-Rechengebiets

5.3.2 Landnutzungsdaten

Informationen über die Landnutzung werden benötigt, um parametrisierte Kaltluftproduktionsraten und Rauigkeitslängen abzuleiten. Hierzu wurden Daten des CORINE-Datensatzes, der die Bodenbedeckung europaweit einheitlich klassifiziert, verwendet.

Für das Rechenmodell KLAM_21 müssen die Informationen zur Landnutzung in Klassen umgewandelt werden, die vom Programm interpretiert werden können. Die Umwandlung der im CORINE-Datensatz hinterlegten Klassifikationen erfolgte mit zusätzlicher Überprüfung durch Luftbildvergleich.

Im Bereich des Untersuchungsgebietes wurden für den Planfall und den Planfall-Rahmenplan die hierfür vorgesehenen Planungsgrundlagen berücksichtigt (vgl. **Abb. 5.2** bis **5.4**).

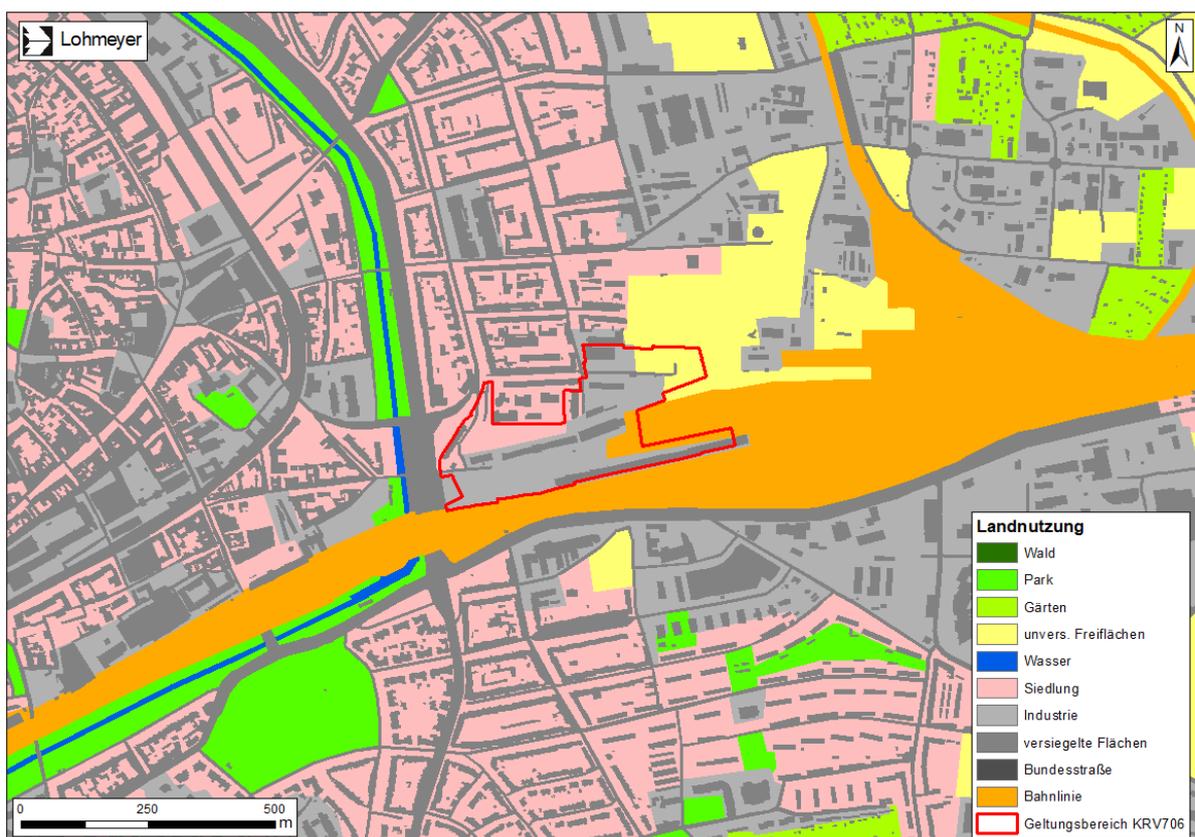


Abb. 5.2: KLAM- Landnutzungsklassen für den Analysefall

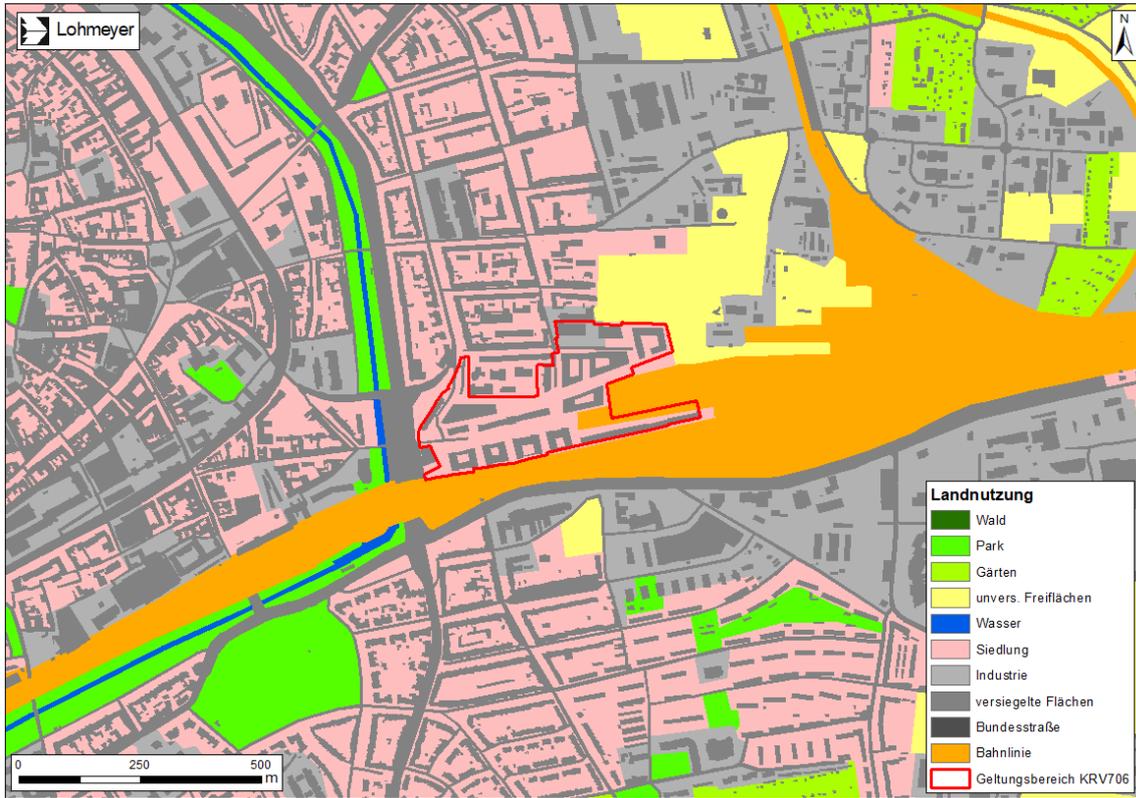


Abb. 5.3: KLAM- Landnutzungsklassen für den Planfall

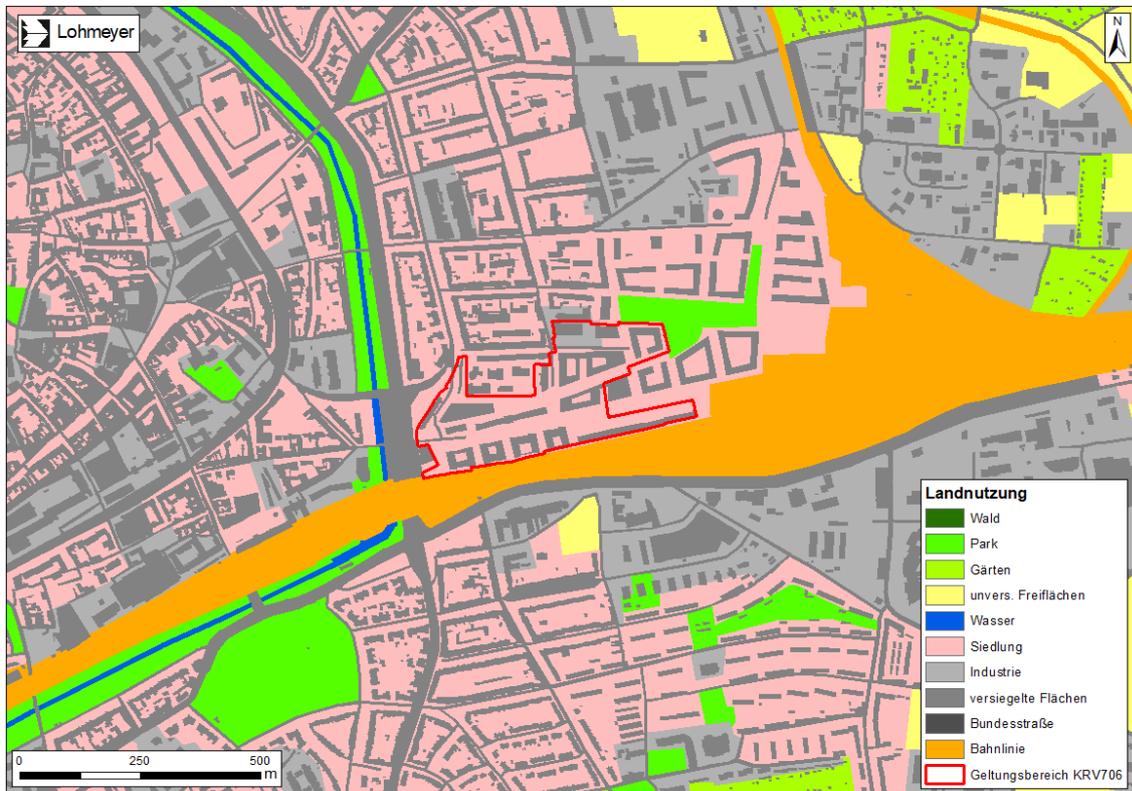


Abb. 5.4: KLAM- Landnutzungsklassen für den Planfall-Rahmenplan

5.4 Ergebnisse

Auf der Grundlage der dargelegten Eingangsdaten wurde das Kaltluftgeschehen für eine windstille Strahlungsnacht mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21 für den Analysefall, den Planfall und den Planfall-Rahmenplan simuliert.

Die Simulationsergebnisse wurden für den das Kaltluftgeschehen gut repräsentierenden Zeitpunkt 2:00 Uhr nachts ausgewertet und dargestellt. Betrachtet wurden die Parameter Kaltfluthöhe, Strömungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstromdichte. Die Kaltluftvolumenstromdichte ist eine geeignete Kenngröße, um die Intensität von Kaltluftabflüssen bzw. Flurwinden einzuordnen und miteinander zu vergleichen. Sie beschreibt die Kaltluftmenge, die in einer Sekunde durch einen ein Meter breiten Streifen, fließt, der sich von der Erdoberfläche bis zur Obergrenze des Kaltluftstroms erstreckt. Die Einheit der Kaltluftvolumenstromdichte wird in $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ bzw. m^2/s angegeben.

Die Abbildung **A2.1** im Anhang stellt die Kaltfluthöhe für den Analysefall dar. Sie belegt, dass die größten Kaltfluthöhen über dem Geratal auftreten. Um 2:00 Uhr werden hier Kaltfluthöhen von mehr als 60 Meter ausgewiesen. Im Laufe der Nacht trifft die Kaltluftströmung des Geratals auf die Randbebauung der Stadt und wird aufgrund der dichten Bebauung abgebremst. Als Kaltluftleitbahn fungiert der Gera-Flutgraben. Hierüber erfolgt ein wirksamer Kaltlufttransport in Richtung Plangebiet. Im Plangebiet selbst ist die Kaltluftschicht über 35 Meter mächtig.

5.4.1 Bodennahe Fließgeschwindigkeiten

Analysefall

Die **Abb. A2.3** verdeutlicht, dass sich östlich des Plangebietes eine nächtliche Kaltluftströmung ausbildet, die sich im östlichen Bereich der Gleise des Güterrangierbahnhofes verzweigt. Zwei Kaltluftsysteme transportieren von hier Frischluft in Richtung Norden (entlang der Gleisanlagen) und Nordwesten (über eine Freifläche). Eine kleinere Strömung zweigt in Richtung Westen ab und transportiert Frischluft in Richtung der Erfurter Innenstadt. Im Bereich der Stauffenbergallee trifft diese östliche Kaltluftströmung auf die Kaltluftströmung aus dem Geratal. Anschließend wird die vereinigte Kaltluft dem Gera-Flutgraben und der Stauffenbergallee folgend in Richtung Norden umgelenkt.

Die **Abb. A2.3** belegt, dass ein weiteres Vordringen der bodennahen Kaltluft in Richtung der Innenstadt erfolgt lediglich über die Trommsdorffstraße und den Juri-Gagarin-Ring. Positive bioklimatische Wirkungen beschränken sich daher weitestgehend auf diese Straßen.

Planfall

Beim Planfall (siehe **Abb. A2.4**) lassen sich signifikanten Veränderungen der nächtlichen Kaltluftdynamik im Bereich der südlich an die geplante Bebauung angrenzenden Gleisanlagen nachweisen. Hier findet eine geringfügige Minderung der bodennahen Fließgeschwindigkeiten statt. Da das Kaltluftsystem aus dem Geratal eine deutlich größere Intensität aufweist, werden nach dem Zusammenschluss im Bereich der Stauffenbergallee, der Trommsdorffstraße und des Juri-Gagarin-Rings keine signifikanten Minderungen der bodennahen Fließgeschwindigkeiten prognostiziert.

Planfall-Rahmenplan

Beim Planfall-Rahmenplan (siehe **Abb. A2.5**) ergeben sich gegenüber dem Analysefall und dem Planfall Veränderungen der Kaltluftdynamik. Die vom Bereich des Rangierbahnhofs ausgehende in Richtung Nordwesten strömende Kaltluft wird durch die geplante Bebauung im Geltungsbereich geblockt und schwächt sich daher gegenüber dem Analyse- und dem Planfall ab. Durch diesen Strömungswiderstand erfolgt eine Umlenkung und somit Verstärkung der Kaltluftströmungen nach Norden und nach Westen. Die über die Gleisanlagen verlaufende östliche Kaltluftströmung wird somit verstärkt. Im Bereich der oben genannten Straßen wirkt sich dieser positive Effekt allenfalls in stark abgeschwächter Form aus,

5.4.2 Volumenstromdichte der Kaltluft

Analysefall

Die **Abb. A2.6** im Anhang stellt die Kaltluftvolumenstromdichte im gesamten Untersuchungsgebiet dar. Die Abbildung veranschaulicht die Kaltluftsysteme im Großraum Erfurt. Ein intensiver Kaltluftvolumenstrom bildet sich aufgrund der Tallage und des großen Kaltlufteinzuggebietes über dem Geratal aus. Hierüber wird Kaltluft in Richtung Norden transportiert.

Kaltluft aus südöstlicher Richtung wird von der Dittelstedter Flur bzw. aus dem Willroder Forst in das Plangebiet geführt. Vom Bereich des Rangierbahnhofs fließt ein größerer Teil dieser Kaltluft östlich am Stadtgebiet vorbei in Richtung Norden. Ein kleinerer Teil der Kaltluft dringt über die Gleisanlagen in Richtung der Erfurter Innenstadt vor und trifft dort auf das aus dem Geratal stammende Kaltluftsystem.

Die **Abb. A2.7** verdeutlicht, dass sich der Geratal-Volumenstrom und der aus Osten über die Gleisanlagen verlaufende Volumenstrom östlich des Hauptbahnhofes vereinen. Über dem Gera-Flutgraben steigt dadurch die Volumenstromdichte auf über $30 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$ an und wird dem Verlauf des Flutgrabens und der Randbebauung an der Stauffenberg folgend nach Norden umgelenkt.

Kleinere Teile dieser Kaltluft verzweigen über die Trommsdorffstraße in Richtung Juri-Gagarin-Ring bzw. über die Thälmannstraße Richtung Norden.

Planfall

Beim Planfall mindert die geplante Bebauung die Kaltluftleitbahn über den Bahngleisen, sodass sich im Bereich des Plangebietes der Volumenstrom verringert. Die Kaltluftdynamik im Bereich der Stauffenbergallee, des Juri-Gagarin-Rings und der Thälmannstraße wird hierdurch aber nicht nachhaltig beeinträchtigt (vgl. **Abb. 2.8** mit **Abb. 2.7**).

Die Ergebnisse der Kaltluftsimulation zeigen, dass durch die Planung des Planfalls verursachte Veränderungen die Kaltluftleitwirkung in die Erfurter Innenstadt leicht beeinträchtigen können. Relevante bioklimatische Beeinträchtigungen durch den Bebauungsplan sind hingegen nicht zu erwarten.

Planfall-Rahmenplan

Beim Planfall-Rahmenplan entsprechen die Auswirkungen auf die Kaltluftdynamik weitestgehend denen des Planfalls. Signifikante Unterschiede der Planvarianten beschränken sich auf den Bereich des erweiterten Plangebiets. Aufgrund der mit der Planerweiterung einhergehenden zusätzlichen Bebauung und Versiegelung von Freiflächen nordöstlich des Bebauungsplangebiets kann dort die aus Osten kommende Kaltluft nicht mehr Richtung Nordwesten abfließen. Hierdurch fließt ein größerer Teil des Volumenstroms entlang der Gleisanlagen in Richtung Erfurter Innenstadt. Der Volumenstrom über dem Gera-Flutgraben und die Stauffenbergallee wird somit gegenüber dem Planfall geringfügig verstärkt (vgl. **Abb. 2.9** mit **Abb. 2.8**).

Gegenüber dem Analysefall wird sich daher nach der baulichen Umsetzung des Planfall-Rahmenplans keine signifikante Beeinträchtigung der nächtlichen Frischluftzufuhr im Bereich der Erfurter Innenstadt ergeben.

6 THEMENKOMPLEX BIOKLIMA

6.1 Bewertung des thermischen Komforts

Früher wurde zur Beurteilung des thermischen Komforts häufig die Schwüle als Kenngröße herangezogen. Dies hat jedoch den Nachteil, dass thermophysiologisch wichtige Parameter nicht berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde wird nach heutigem Stand der Technik auf thermische Indizes zurückgegriffen, die auf dem Wärmehaushalt des Menschen beruhen.

In der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (2008)¹ werden standardisierte Bewertungsverfahren der Human-Biometeorologie für die auf Menschen bezogene Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene (Bioklima) bei der räumlichen Gesamtplanung bereitgestellt.

Der Thermische Wirkungskomplex umfasst die meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlung, die sich thermophysiologisch auf den Menschen im Freien und in geschlossenen Räumen auswirken. Die wahrgenommene Umgebungstemperatur kann aufgrund dieser meteorologischen Parameter oftmals von der tatsächlichen Lufttemperatur abweichen. Zum Beispiel wird die Umgebungstemperatur bei starkem Wind oftmals kälter empfunden als gemessen. Die gesundheitliche Bedeutung hängt mit der engen Vernetzung von Thermoregulation und Kreislaufregulation zusammen. Bei hoher Wärmebelastung versucht der Körper durch Erhöhung der Hauttemperatur und Schwitzen die Wärmeabgabe zu erhöhen. Daneben spielen der Aktivitätsgrad und der Isolationswert der getragenen Bekleidung eine entscheidende Rolle.

Zur Bewertung des thermischen Komforts wird die sogenannte *gefühlte Temperatur GT* herangezogen, welche aus den genannten meteorologischen Elementen des Thermischen Wirkungskomplex abgeleitet wird². Die gefühlte Temperatur vergleicht die tatsächlich gemessene Temperatur mit jener, die in einer Standardumgebung herrschen sollte, um ein identisches Temperaturempfinden zu haben. Die Standardumgebung entspricht einem beschatteten Raum in dem nur ein leichter Luftzug von 0.2 m/s herrscht. Die gefühlte Temperatur basiert auf der Lösung der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers für stationäre Bedingungen. Bei der Bestimmung der Energiebilanz wird ein „Norm-Mensch“ (Größe 1.75 m, Gewicht 75 kg, Körperoberfläche 1.78 m²) zugrunde gelegt, der seine Kleidung an die thermischen Randbedingungen anpasst. Zusätzlich wird eine leichte körperliche Aktivität (langsames Gehen mit 4 km/h) angenommen.

¹ Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Düsseldorf, 2008.

²https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/G/Gefuehlte_Temperatur_pdf.pdf;jsessionid=30B1B8A6A94E79FF5398FDD86C5EC0AC.live11042?__blob=publicationFile&v=4

Eine optimale Behaglichkeit des thermischen Befindens kann in Abhängigkeit der ausgeübten Aktivität sowie der Bekleidung zwischen 0 bis 20°C erreicht werden. Bei höheren Temperaturen tritt eine Wärmebelastung, bei tieferen Temperaturen Kältestress auf. Bei anderen Aktivitäten oder auch Bekleidungsverhältnissen verschieben sich die für Behaglichkeit erforderlichen Temperaturen zu höheren (geringere Aktivität oder dünnere Bekleidung) oder niedrigeren (gesteigerte Aktivität oder dickere Bekleidung) Werten.

Die durch die gefühlte Temperatur definierten Klassen des thermischen Komforts sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 6.1: Gefühlte Temperatur *GT* und thermische Beanspruchung³

<i>GT</i>	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe
-39°C	sehr kalt	extreme Kältebelastung
-26°C	kalt	starke Kältebelastung
-13°C	kühl	mäßige Kältebelastung
0°C	leicht kühl	schwache Kältebelastung
20°C	behaglich	keine thermische Belastung
26°C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
32°C	warm	mäßige Wärmebelastung
38°C	heiß	starke Wärmebelastung
	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

Die für die gefühlte Temperatur benötigten meteorologischen Eingangsgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchte, mittlere Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit werden mit Hilfe des Mikroklimamodells ENVI-met bestimmt.

³ VDI 3787 Blatt 2.

6.2 Mikroklima-Modell ENVI-met

Die räumlich detaillierte Klimauntersuchung erfolgt mit dem mikroskaligen numerischen Klimamodell ENVI-met 4.4.5⁴. Es werden drei Szenarien untersucht.

- Analysefall: Bestandsbebauung, aktueller Baumbestand und aktuelle Oberflächenbeschaffenheiten
- Planfall: bebauung, Baumbestand und Oberflächenbeschaffenheiten nach Realisierung des B-Plans Planvorhabens
- Planfall-Rahmenplan: bebauung, Baumbestand und Oberflächenbeschaffenheiten nach Realisierung des Rahmenplans

6.2.1 Modellbeschreibung

Das für die Simulationsberechnungen eingesetzte Rechenmodell ENVI-met ist ein prognostisches dreidimensionales Modell, welches eine sehr hohe räumliche und zeitliche Auflösung aufweist. Mit typischen räumlichen Auflösungen zwischen 0.5 m und 10 m sowie Zeitschrittlängen von weniger als 10 Sekunden simuliert ENVI-met die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Böden, Vegetation und Gebäuden.

Die wichtigsten Rechenergebnisse von ENVI-met sind:

- Windgeschwindigkeit und -richtung
- Luft- und Bodentemperatur
- Luft- und Bodenfeuchte
- Turbulenz
- Strahlungsflüsse

Zur Berechnung dieser Variablen nutzt ENVI-met verschiedene Untermodelle, die miteinander gekoppelt sind (vgl. **Abb. 6.1**).

Von besonderer Bedeutung sind hierbei das integrierte Strahlungsmodell (radiation model) zur Bestimmung der langwelligigen (longwave) und der kurzwelligigen (shortwave) Strahlungsbilanz,

⁴ <http://www.envi-met.com>

das Bodenmodell (soil model) zur Berücksichtigung der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur und weitere Untermodelle, die die energetischen Wechselwirkungen (Verdunstung, Konvektion) zwischen der Atmosphäre und den natürlichen (Vegetation) und künstlichen Oberflächen (versiegelte Flächen (sealed surfaces) , Hausdächer (roofs) und Hauswände (walls)) berücksichtigen.

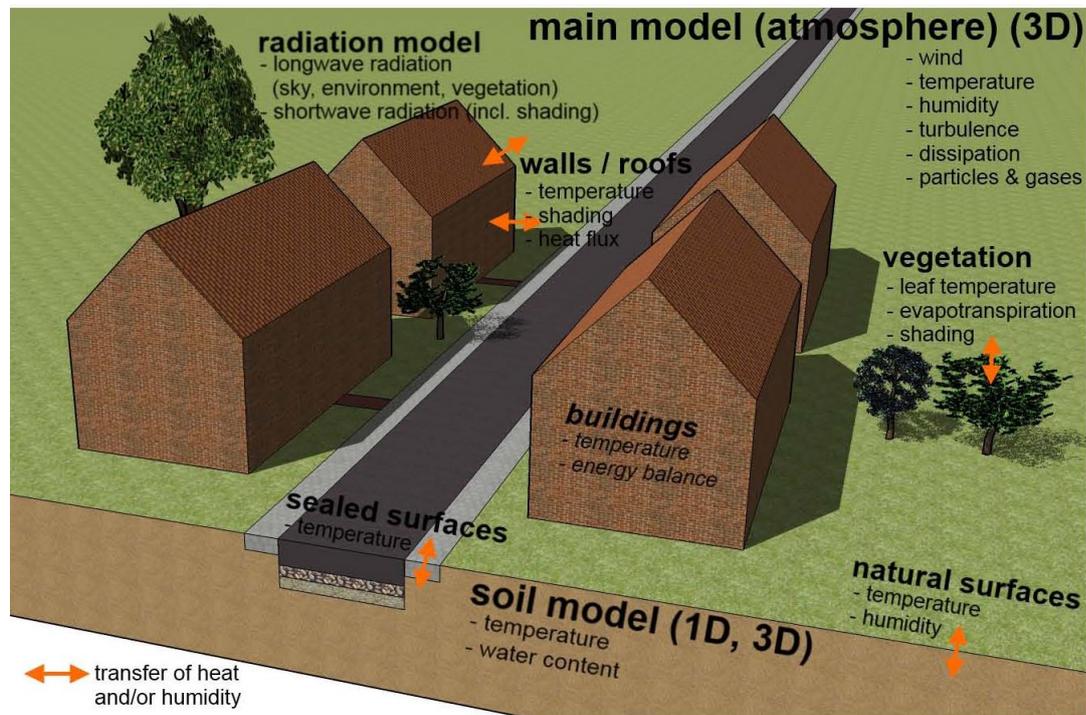


Abb. 6.1: Schema der in ENVI-met nachgebildeten Prozesse

6.2.2 Aufbau der Rechengitter

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

Aus der Vielzahl der Gleichungssysteme, die ENVI-met während einer Klimasimulation löst, resultieren lange Rechenzeiten. Die Abgrenzung des für die vorliegende Untersuchung verwendeten Rechengebietes ist in **Abb.°6.2** dargestellt. Für die Simulationsrechnungen wurde eine horizontale Gitterauflösung von 5 m festgelegt. Für die Auflösung der Rechenzellen in z-Richtung wurde ein variabler, mit der Höhe zunehmender Ansatz gewählt.

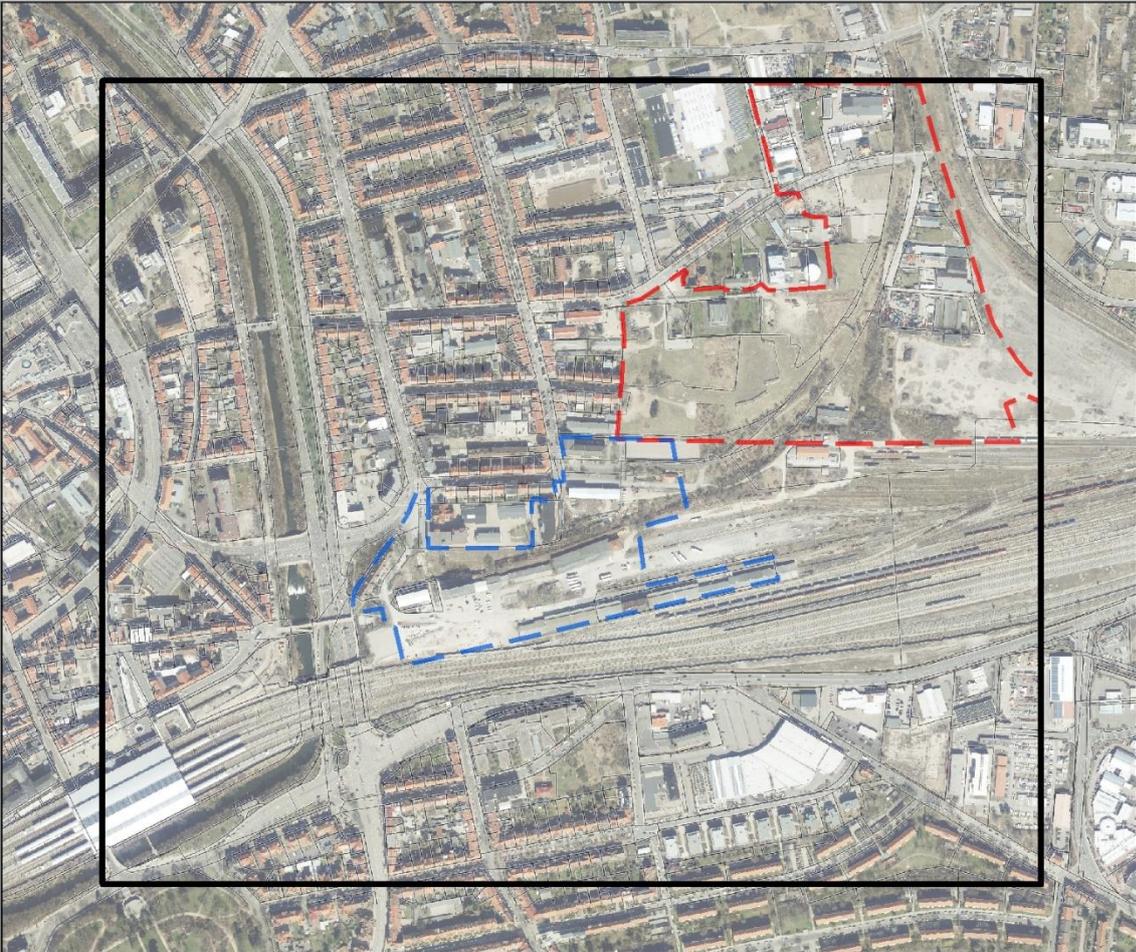


Abb. 6.2 30025-20-02

-  Rechengebiet ENVIMET
-  B-Plan
-  Rahmenplan

Abgrenzung des ENVI-met-Rechengebiets mit
Abgrenzung des Bebauungsplangebiets und des
Rahmenplangebiets



0 150 300
m

Abb. 6.2: Abgrenzung des ENVI-met Rechengebiets

6.2.3 Eingangsdaten

6.2.3.1 Gebäude

Die dichte Bebauung und der hohe Versiegelungsgrad prägen in starkem Maße das Klima in Innenstädten und führen zur besonderen Ausprägung des Stadtklimas. Tagsüber erfolgt in den Baumassen eine effektive Speicherung der Strahlungsenergie. In der Nacht wird diese gespeicherte Wärme wieder an die Umgebungsluft abgegeben, so dass die nächtliche Abkühlung der Luft gegenüber dem Freiland erheblich langsamer erfolgt. Daher ist es nachts innerhalb dicht bebauter Gebiete in der Regel deutlich wärmer als im städtischen Umland. Diese Überwärmung innerstädtischer Bereiche lässt sich deutlich durch Messfahrten oder Luftbild-Infrarotaufnahmen in Form der „städtischen Wärmeinsel“ nachweisen.

Tagsüber lassen sich teilweise gegenläufige Effekte feststellen. So kann sich in dicht bebauten Stadtvierteln durch den Schattenwurf der Gebäude die Luft tagsüber weniger stark erwärmen wie auf unverschatteten Freiflächen.

Neben den Auswirkungen auf den Wärmehaushalt beeinflusst die Bebauungsstrukturen einer Stadt auch in erheblichem Maße den Luftaustausch. Durch die erhöhte Rauigkeit der Oberfläche kommt es zu einer Abnahme der Windgeschwindigkeit und somit zu einer verringerten Frischluftzufuhr.

Die Ableitung der Gebäudegrundrisse und –höhen im Untersuchungsraum erfolgte auf der Grundlage eines digitalen Stadtmodells sowie eines aktuellen Luftbilds. Die Form der geplanten Bebauung wurde aus Zeichnungen abgeleitet, die uns der Auftraggeber zur Verfügung stellte.

Bei den Simulationsrechnungen werden den Gebäuden neben der Gebäudehöhe thermische und strahlungstechnische Eigenschaften zugewiesen. Hierbei wurden die in ENVI-met hinterlegten Standard-Gebäudeeigenschaften verwendet, die gemäß den Modellentwicklern die durchschnittlichen Verhältnisse in einer mitteleuropäischen Stadt abbilden.

6.2.3.2 Vegetation

Im Programmsystem ENVI-met kann der Einfluss von Bäumen auf das innerstädtische Mikroklima detailliert abgebildet werden. Bei den Berechnungen werden die folgenden Prozesse berücksichtigt:

- Verschattung des Bodens durch Baumkronen
- Absorption von Strahlung zur Verdunstung von Wasser
- Einfluss der Vegetation auf das lokale Windfeld

Die Bäume werden modellseitig u.a. durch ihre Position, ihre Höhe, die Wuchsform und die Belaubungsdichte definiert. Baumformen und Belaubungsdichten werden durch die Blattflächendichte (leaf area density = LAD) in zehn äquidistanten Höhenschichten des Baumes im Rechenmodell beschrieben. Der LAD-Index gibt hierbei die Blattfläche in m^2 pro m^3 an.

Die Erfassung der bestehenden Baumstandorte und Baumhöhen erfolgte auf der Grundlage von Luftbildern und Laserscandaten. Die geplanten Neupflanzungen wurden dem städtebaulichen Konzept entnommen.

Die **Abb. A3.1** bis **A3.3** im Anhang zeigen den aktuellen Vegetationsbestand im Analysefall und den Vegetationsbestand im Planfall sowie im Planfall-Rahmenplan.

6.2.3.3 Oberflächenbeschaffenheit

Ein weiterer wichtiger Baustein, der zur Ausprägung von kleinräumigen Klimatopen führt, ist die vorherrschende Oberflächenart. So wird durch die erhöhte Oberflächenversiegelung und den hiermit verbundenen geringen Grünanteil in städtischen Strukturen die Verdunstung reduziert, was zu einer Erhöhung der Temperatur in innerstädtischen Bereichen führt.

Über versiegelten Flächen erfolgt zudem eine stärkere Wärmespeicherung der einfallenden Strahlung. Diese Wärme wird nachts wieder an die Umgebungsluft abgegeben und sorgt für eine gegenüber dem Umland deutlich reduzierte nächtliche Abkühlung.

Die in den Simulationsrechnungen verwendeten Oberflächenarten wurden auf der Grundlage von Luftbildern und Plänen abgeleitet. Die **Abb. A3.4** bis **A3.6** im Anhang zeigen die Oberflächentypen im Untersuchungsgebiet für den Analysefall, den Planfall und den Planfall-Rahmenplan.

6.2.4 Initialisierungsparameter

In der für die Simulationen verwendeten Modellversion 4.4.5 werden die tageszeitlichen Schwankungen der meteorologischen Parameter über feste Startparameter und den tageszeitlich wechselnden Strahlungseinfall gesteuert. Die Startparameter werden in einer Konfigurationsdatei vorgegeben. Die wichtigsten Startparameter sind:

- Geographische Position
- Datum und Uhrzeit
- Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund an einer Referenzstation
- Windrichtung
- Rauigkeitslänge an der Referenzstation
- Initialisierungstemperatur der Atmosphäre
- Spezifische Feuchte in 2.500 m
- Relative Feuchte in 2 m über Grund
- Bodentemperatur und -feuchte in drei Schichten
- Wolkenbedeckung

Durch die gezielte Wahl der Startparameter wurde ein heißer, trockener Tag ohne Bewölkung mit geringer Windgeschwindigkeit und hieraus resultierendem hohem Wärmestress-Potenzial abgebildet. Mit den gewählten Initialisierungs-Parametern werden am Tag Temperatur-Höchstwerte von über 30°C („Hitzetag“) erreicht. In den warmen Nächten sinkt die Temperatur nicht unter 20°C, so dass die Voraussetzungen für eine „Tropennacht“ erfüllt werden.

Die Temperaturverteilung im Modell ist auch von Advektionsprozessen und somit durch die jeweilige Anströmrichtung geprägt. Es wurde eine Anströmung aus Nordosten (50°) gewählt, die gerade an warmen Tagen häufig auftritt.

Die nachfolgende Tabelle dokumentiert die wichtigsten Initialisierungsparameter für die Simulationsrechnungen.

Tab 6.2: Initialisierungsparameter für die Modellberechnungen

Geographische Position	50.975°N, 11.047°E
Startzeit der Simulation	17.07., 22:00 Uhr
Dauer der Simulation	32 Stunden
Potenzielle Temperatur der Atmosphäre	290K (ca. 23°C)
Spezifische Feuchte in einer Höhe von 2.500m	5g Wasser / kg Luft
Relative Feuchte in 2m über Grund	50 %
Rauhigkeitslänge z0	0,1m
Windgeschwindigkeit in 10m ü. Grund	2,0m
Windrichtung	Nordosten
Bodentemperatur Oberste Schicht (0 bis 20cm) Mittlere Schicht (20 bis 50cm) Untere Schicht (unter 50cm)	293K 293K 293K
Bodenfeuchte Oberste Schicht (0 bis 20cm) Mittlere Schicht (20 bis 50cm) Untere Schicht (unter 50cm)	50 % 60 % 60 %

6.3 Ergebnisse

Für die Untersuchungen zum Hitzestress wurde die gemittelte gefühlte Temperatur für den wärmsten Tageszeitraum (12 bis 17 Uhr) sowie für den Nachtzeitraum (22 bis 6 Uhr) analysiert.

6.3.1 Wärmster Tageszeitraum (12 bis 17 Uhr)

Die Modellparameter wurden so gewählt, dass ein sehr heißer Tag simuliert werden konnte. Dies spiegelt sich auch in der GT wider, die im Großteil des Untersuchungsgebietes einer starken (gelb bis rot gefärbt) und in manchen Bereichen (violett eingefärbt) sogar einer extremen Wärmebelastung entspricht (vgl. **Tab. 6.1**).

Die **Abb. A3.7** im Anhang zeigt die berechneten Werte der gefühlten Temperatur für den wärmsten Tageszeitraum im **Analysefall**. Die Abbildung verdeutlicht, dass die gefühlte Temperatur (GT) in Abhängigkeit der Verschattungssituation, der Durchlüftung und der Oberflächenbeschaffenheit innerhalb des Untersuchungsgebietes stark variiert.

Besonders von Hitzestress betroffen sind Bereiche, die über mehrere Stunden hinweg unverschattet sind. Zusätzliche thermische Belastungen resultieren aus geringen Windgeschwindigkeiten, wie sie zum Beispiel in den Innenhöfen der Blockrandbebauungen zu finden sind. Hier werden teilweise Werte der GT von mehr als 38°C erreicht.

Positive Auswirkungen auf die GT haben zum Beispiel Baumgruppen. Durch die verschattende Wirkung der Kronen kommt es hier zu einer geringeren Wärmebelastung. Erkennen lässt sich dies zum Beispiel entlang des Flutgrabens. Auch auf den Nordseiten von Gebäuden liegt die GT durch den Schattenwurf der Baukörper deutlich niedriger. Dies gilt auch für Bereiche unter Brücken. Mit knapp unter 33°C werden die niedrigsten Temperaturen für den Bereich der Bahnunterführung der Stauffenbergallee prognostiziert. Frei anströmbare Bereiche, wie die Bahntrasse und die Brachfläche westlich des Untersuchungsgebiets profitieren von guten Durchlüftungsverhältnissen, die den Überwärmungseffekt trotz fehlender Verschattung mindern können.

Die **Abb. A3.8** stellt die Verteilung der GT für den **Planfall** nach Realisierung des Bebauungsplans dar. Im Plangebiet zeigt sich eine ähnliche Verteilung der GT wie in benachbarten dicht bebauten Bereichen. Während auf der Nordseite der Plangebäude GT-Werte unter 34 °C liegen, werden für einige unverschattete Flächen und Innenhöfe starke Hitzebelastungen mit GT-Werten bis zu 38 °C berechnet. Dies betrifft insbesondere die Süd- und die Westseiten der Plangebäude.

Um den Einfluss der Planung auf die Umgebung besser analysieren zu können, wurde eine Differenzdarstellung zwischen dem Analysefall und dem Planfall erstellt (**Abb. A3.9**).

Die Abbildung verdeutlicht, dass sich Veränderungen der empfundenen Temperatur vollständig auf das Plangebiet beschränken. Eine Zunahme der Hitzebelastung konzentriert sich in erster Linie auf die Süd- und Westseite der geplanten Gebäude. Des Weiteren wird die Durchlüftungssituation durch schmalere Durchgänge zwischen Gebäuden verschlechtert, so dass hier Zunahmen der GT von 1 bis 2°C zu erwarten sind.

Die **Abb. A3.10** stellt die Verteilung der GT für den **Planfall-Rahmenplan** nach zusätzlicher Realisierung des Rahmenplans dar. Die Hitzebelastung ist im Geltungsbereich des Rahmenplans aufgrund der lockeren Bebauung etwas günstiger als in den benachbarten Wohnsiedlungen. Offene Baustrukturen und breite Durchgänge ermöglichen eine bessere Durchlüftung in Innenhöfen und entlang von Straßenzügen, was sich positiv auf das thermische Empfinden auswirkt. Größere dichte Baumgruppen, die im geplanten Stadtpark Ost zu finden sind, wirken sich positiver auf die GT aus als Baumreihen mit kleinen Baumkronen. Extreme Wärmebelastungen mit GT über 38°C treten vor allem im Lee der nach Nordosten geschlossenen Bebauung auf.

In der **Abb. A3.11** ist die Veränderung der GT durch die geplante Bebauung im Rahmenplan abgebildet. Wie auch im Planfall begrenzen sich planungsbedingte Auswirkungen des Rahmenplans weitestgehend auf das Plangebiet selbst. Die planungsbedingten Zunahmen der GT werden größtenteils durch Veränderungen des bodennahen Windfelds verursacht. Zunahmen der GT um 2°C werden in unverschatteten Innenhöfen erwartet. In besonders schlecht, durchlüfteten Bereichen kann die Temperatur um 4°C ansteigen. Relevante Abnahmen der GT werden tagsüber an einigen Nordseiten von geplanten Gebäuden durch den Schattenwurf prognostiziert.

Eine signifikante Zunahme der Hitzebelastung im wärmsten Tageszeitraum kann somit in der Nachbarschaft des Plangebietes ausgeschlossen werden.

6.3.2 Nachtzeitraum (22 bis 6 Uhr)

Zur Beurteilung der Wärmebelastung in der Nacht wurde der Zeitraum zwischen 22 Uhr und 6 Uhr herangezogen. In dieser Zeit liegt keine kurzweilige Sonneneinstrahlung vor. Die thermische Belastung wird also ausschließlich durch die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit und die langwellige Ausstrahlung von Boden und Bauwerken beeinflusst.

Tagsüber führt die räumlich stark variierende Intensität der Sonnenstrahlung zu einer sehr heterogenen Verteilung der Hitzebelastung. Dies zeigt sich durch stark differierende Werte der GT auf engem Raum (beispielsweise beim Übergang aus einem schattigen Park auf eine benachbarte voll besonnte Straße). Nachts hingegen kommt es im Untersuchungsraum zu einer deutlich homogeneren Verteilung der Wärmebelastung.

Für das Untersuchungsgebiet ist diese Verteilung in **Abb. A3.12** für den **Analysefall** dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Bandbreite der GT in der Nacht deutlich geringer ist als am Tag. Die geringsten Werte (19.6 °C) werden auf gut durchlüfteten Freiflächen, wie z. B. im Bereich der Brachfläche und der Bahntrasse erreicht. Hier führt das Fehlen von Strömungshindernissen zu einer verhältnismäßig guten Belüftung, was wiederum die GT verringert.

Im Umfeld von Gebäuden hat die Durchlüftungssituation ebenfalls großen Einfluss auf die nächtliche GT. In dichten Blockbebauungen nördlich der Bahntrasse steigen die Werte auf 21 bis 23 °C an, da hier sehr geringe Windgeschwindigkeiten mit der Wärmestrahlung der Gebäudefassaden zusammentreffen. Südlich der Bahntrasse liegt die gefühlte Temperatur im Bereich der lockeren Bebauung unter 21.5°C.

Der **Abb. A3.13** ist zu entnehmen, dass für den **Planfall** die thermischen Verhältnisse im Plangebiet in den Nachtstunden mit der Situation im Bereich südlich der Bahntrasse vergleichbar sind. Für das direkte Umfeld der geplanten Gebäude werden Werte von zwischen 20.5 und 21.5°C prognostiziert. In Innenhöfe der Plangebäude kann die GT auf über 22°C ansteigen.

Die **Abb. A3.14** dokumentiert die Veränderungen der gefühlten Temperatur, die durch die Planung verursacht werden. Die Abbildung verdeutlicht, dass relevante Temperaturzunahmen auf das Plangebiet beschränkt bleiben. Hier führen die Wärmestrahlung der neuen Gebäude sowie eine verminderte Windgeschwindigkeit erwartungsgemäß in weiten Teilen des Plangebietes zu einer Zunahme der gefühlten Temperatur von bis zu 1,5 °C.

Die gefühlte Temperatur nach Realisierung der Rahmenplanung ist in der **Abb. A3.15** dargestellt. Grundsätzlich ist im Plangebiet eine schwache nächtliche Wärmebelastung vorzufinden. Die nächtliche Abkühlung der breiten Bahntrasse wirkt sich positiv auf die angrenzende Bebauung der Rahmenplanung aus. Hier liegt die gefühlte Temperatur bei 20 - 21°C. In den weiter innen liegenden Plangebäude steigt die GT aufgrund schlechterer Durchlüftungsverhältnissen und der Wärmeabstrahlung von Fassaden um 0.5 bis 1°C an.

Die **Abb. A3.16** zeigt, dass planungsbedingte Veränderungen der GT nur im direkten Umfeld der Planung zu erwarten und sich insbesondere der windabgewandten Gebäudeseite und schmalen Durchgängen lokalisieren lassen. Die höchsten Zunahmen liegen bei 1,5°C.

Eine signifikante Zunahme der nächtlichen Hitzebelastung, die durch die geplante Bebauung verursacht wird, kann somit ausgeschlossen werden.

7 PLANUNGSHINWEISE

Unter Berücksichtigung der zukünftig zunehmenden Wärmebelastung sollten bei den textlichen Festsetzungen des Bebauungsplans folgende Hinweise geprüft und weitestgehend berücksichtigt werden:

- Durch eine Begrünung der Dachflächen und der Fassaden wird die Aufheizung der Oberflächen und somit die Lufterwärmung und die Wärmespeicherung in den Bauteilen gemindert. Dies wirkt sich ganztägig positiv auf die Wärmebelastung im Außenbereich aus und verbessert den thermischen Komfort im Inneren der Gebäude. Eine Dachbegrünung leistet auch einen Beitrag zum Hochwasserschutz, da hierdurch Niederschlagswasser gespeichert wird.
- Oberflächen von Verkehrsflächen sollten möglichst teildurchlässig gestaltet werden, um eine Versickerung von Niederschlagswasser zu ermöglichen.
- Um Raumerwärmungen in den geplanten Gebäuden zu vermeiden, sind wirksame Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz vorzusehen. Hierzu sollte der Fensterflächenanteil auf ein sinnvolles Maß beschränkt werden. Zusätzlich sind Glasflächen an den West-, Ost-, und Südfassaden mit beweglichen Sonnenschutzanlagen auszustatten.
- Für Außenwände und Bodenbeläge im Außenbereich sind möglichst helle Farben zu favorisieren, um eine starke Überhitzung der Oberflächen und eine starke Wärmespeicherung in den Baustoffen zu vermeiden.
- Aufgrund der positiven thermischen Wirkungen von Bäumen (Verschattung, Verdunstung) sind Baumpflanzungen im Plangebiet vorzusehen. Um Beeinträchtigungen der Frischluftzufuhr aufgrund des Strömungswiderstands der Baumkronen zu vermeiden, sollten im Bereich der Erschließungsstraße Baumarten mit höheren und aufgelockerten Baumkronen bevorzugt werden. Zusätzlich sind Arten zu favorisieren, die an die zunehmende Wärmebelastung angepasst sind.
- Parkähnliche Strukturen oder Plätze können im Plangebiet als lokale „Klimaoasen“ wirken. Dieser Effekt kann durch Wasserflächen oder Brunnen zur Abkühlung verstärkt werden.
- Mit Hilfe von baulichen Durchlässen kann die Belüftung der Innenhöfe verbessert werden. In Kombination mit Maßnahmen zur gezielten Verschattung stark besonnener Bereiche (Bäume, Sonnensegel) kann die Aufheizung der Innenhöfe gemindert werden.

8 LITERATUR

- Bachhiesl, M., Narodoslawsky, M., Sturm, P.-J. (2002): Berechnung des Depositionsflusses als Grundlage für ökotoxikologische Beurteilungen. UVP-report 1+2/2002.
- Eichhorn, J. (1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells, Dissertationsarbeit zur Erlangung des Grades „Doktor der Naturwissenschaften“ am Fachbereich Physik der Johannes Gutenberg - Universität Mainz, Mainz 1989.
- DWD (2020): Internetseite zur Bioklima-Thematik: http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/bioklima/bioklima_node.html. Offenbach, 2020.
- Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21: Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. Berichte des Deutschen Wetterdienstes; 227, Offenbach am Main, 2005.
- Steinrücke, M., Snowdon, A. (2010): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Langfassung. Ein Projekt des Ministeriums für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Essen, 2010.
- VDI 3783 Blatt 9 (2017): Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisströmung. Richtlinie VDI 3783 Blatt 9. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, Düsseldorf, Mai 2017
- VDI 3787 Blatt 2 (2008): Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil 1: Klima., Düsseldorf, November 2008
- VDI 3787 Blatt 4 (2019): Umweltmeteorologie - Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung (Entwurf), Düsseldorf, September 2019

**BEBAUUNGSPLAN KRV706 „ICE-CITY OST, TEIL A“ IN ERFURT
ANHANG ZUM KLIMAGUTACHTEN**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ANHANG

Abb. A1.1:	Windfeld im Jahresmittel im Analysefall	4
Abb. A1.2:	Windfeld im Jahresmittel im Planfall	4
Abb. A1.3:	Windfeld im Jahresmittel im Planfall-Rahmenplan	5
Abb. A1.4:	Differenz Windfeld im Jahresmittel (Planfall – Analysefall).....	5
Abb. A1.5:	Differenz Windfeld im Jahresmittel (Planfall-Rahmenplan – Analysefall).....	6
Abb. A2.1:	Kaltlufthöhe im gesamten Rechengebiet im Analysefall um 2 Uhr morgens....	8
Abb. A2.2:	Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund um 2 Uhr im Analysefall	9
Abb. A2.3:	Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund um 2 Uhr im Planfall.....	9
Abb. A2.4:	Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund um 2 Uhr im Planfall- Rahmenplan	10
Abb. A2.5:	Volumenstromdichte im gesamten Rechengebiet im Analysefall um 2 Uhr	11
Abb. A2.6:	Volumenstromdichte um 2 Uhr morgens im Analysefall.....	12
Abb. A2.7:	Volumenstromdichte um 2 Uhr morgens im Planfall	12
Abb. A2.8:	Volumenstromdichte um 2 Uhr morgens im Planfall-Rahmenplan	13
Abb. A3.1:	Eingangsdaten Vegetation für den Analysefall.....	15
Abb. A3.2:	Eingangsdaten Vegetation für den Planfall	16
Abb. A3.3:	Eingangsdaten Vegetation für den Planfall-Rahmenplan	17
Abb. A3.4:	Eingangsdaten Oberflächenbeschaffenheit für den Analysefall	18
Abb. A3.5:	Eingangsdaten Oberflächenbeschaffenheit für den Planfall	19
Abb. A3.6:	Eingangsdaten Oberflächenbeschaffenheit für den Planfall-Rahmenplan.....	20
Abb. A3.7:	Gefühlte Temperatur im Tageszeitraum für den Analysefall.....	21
Abb. A3.8:	Gefühlte Temperatur im Tageszeitraum für den Planfall	22
Abb. A3.9:	Differenz der Gefühlten Temperatur im Tageszeitraum (Planfall – Analysefall)	23
Abb. A3.10:	Gefühlte Temperatur im Tageszeitraum für den Planfall-Rahmenplan.....	24
Abb. A3.11:	Differenz der Gefühlten Temperatur im Tageszeitraum (Planfall-Rahmenplan – Analysefall)	25
Abb. A3.12:	Gefühlte Temperatur im Nachtzeitraum für den Analysefall	26
Abb. A3.13:	Gefühlte Temperatur im Nachtzeitraum für den Planfall.....	27
Abb. A3.14:	Differenz der Gefühlten Temperatur im Nachtzeitraum (Planfall– Analysefall)	28
Abb. A3.15:	Gefühlte Temperatur im Nachtzeitraum für den Planfall-Rahmenplan	29
Abb. A3.16:	Differenz der Gefühlten Temperatur im Nachtzeitraum (Planfall-Rahmenplan – Analysefall)	30

**A N H A N G A 1:
WINDFELDBERECHNUNGEN**

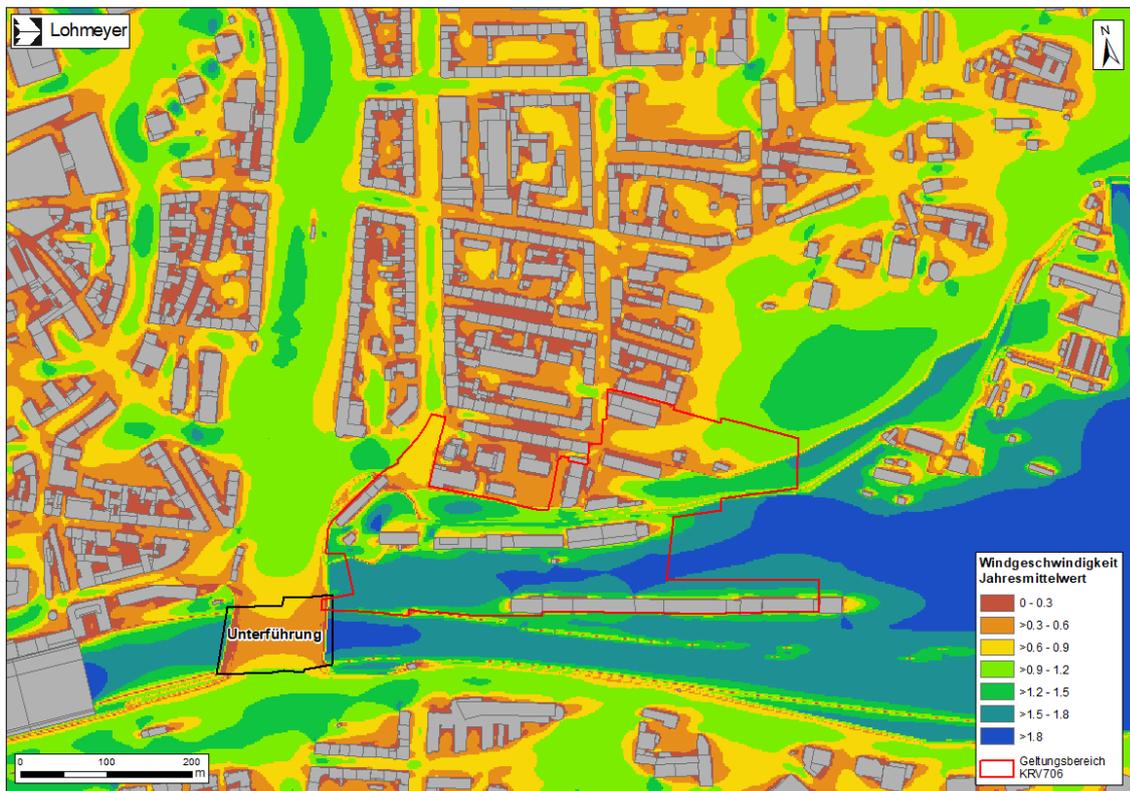


Abb. A1.1: Windfeld im Jahresmittel im Analysefall

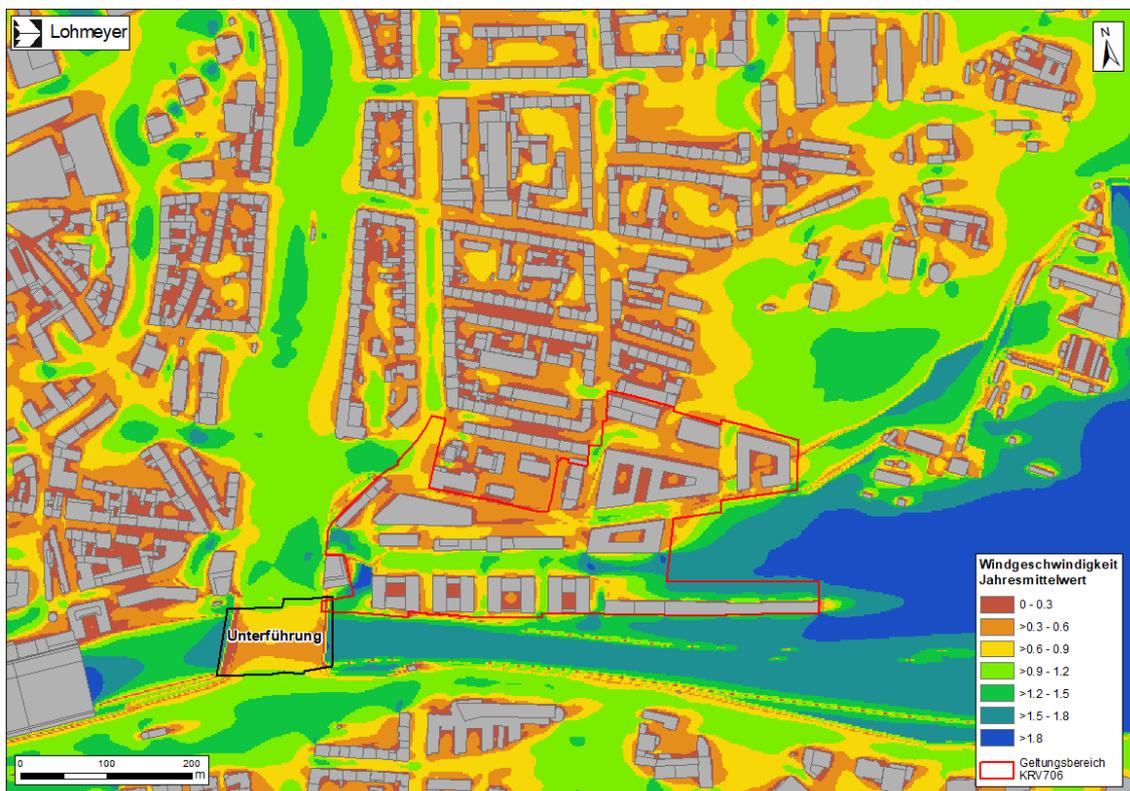


Abb. A1.2: Windfeld im Jahresmittel im Planfall



Abb. A1.3: Windfeld im Jahresmittel im Planfall-Rahmenplan

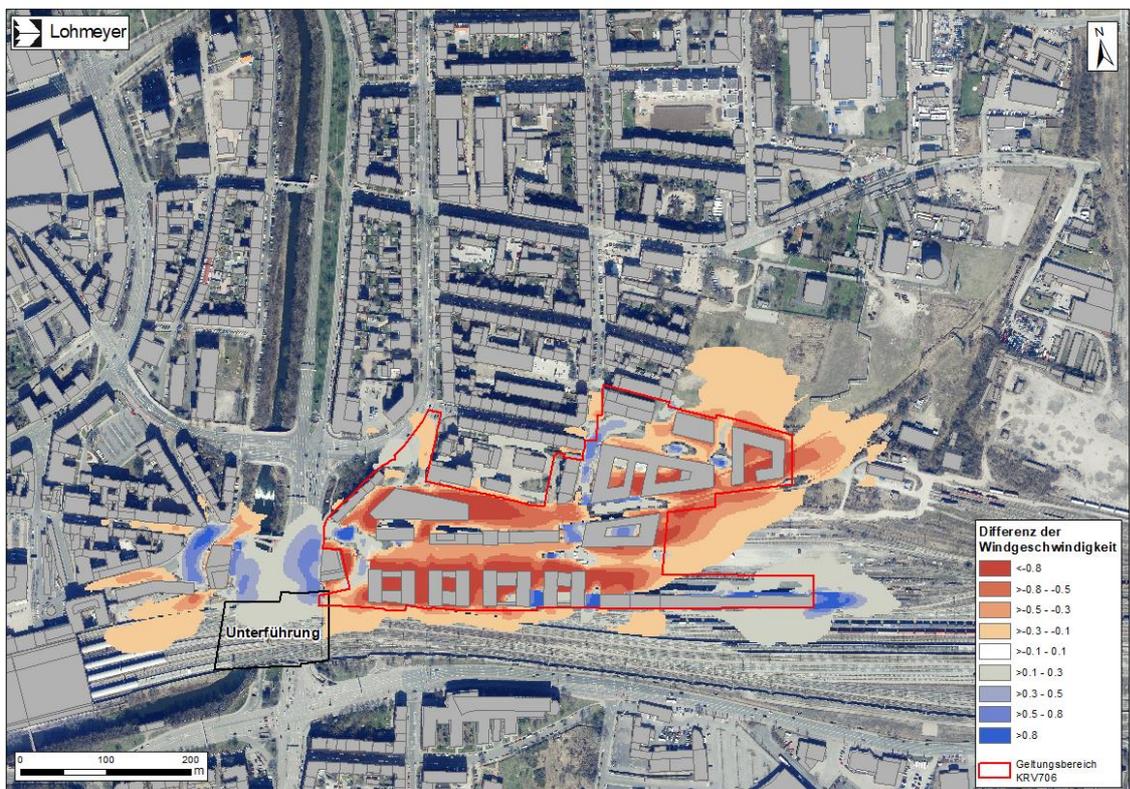


Abb. A1.4: Differenz Windfeld im Jahresmittel (Planfall – Analysefall)

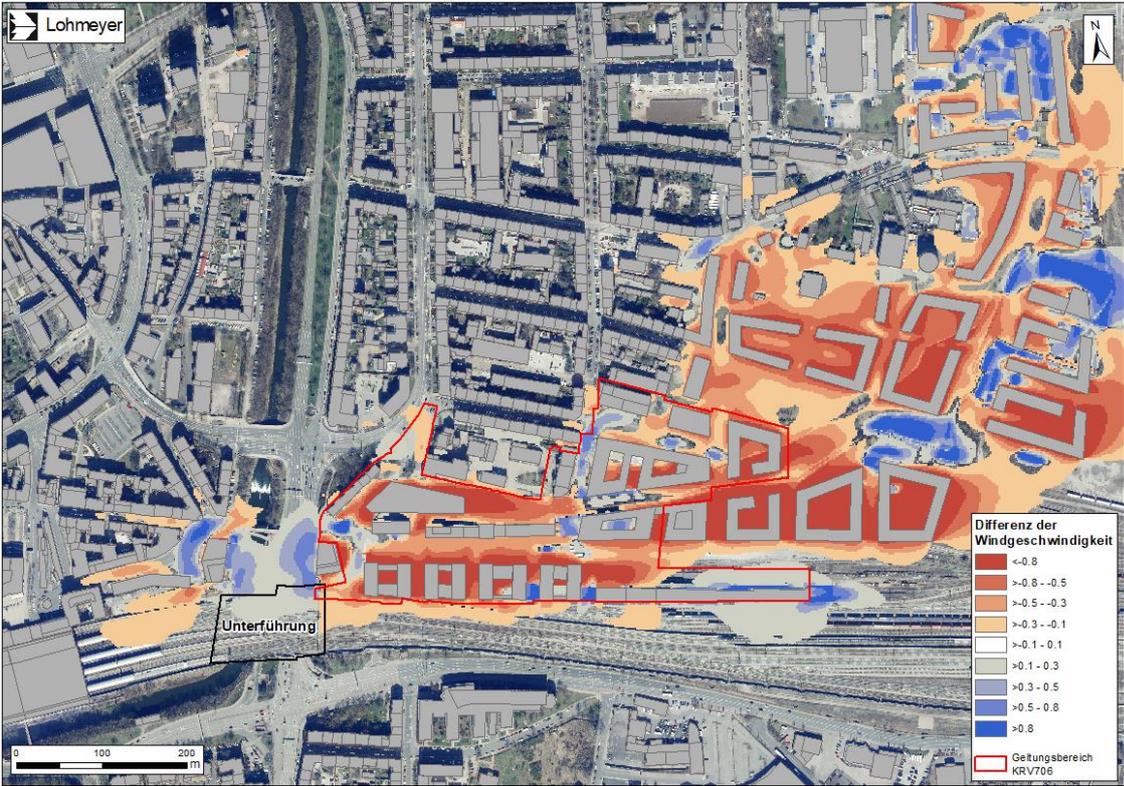


Abb. A1.5: Differenz Windfeld im Jahresmittel (Planfall-Rahmenplan – Analysefall)

**A N H A N G A2:
KALTLUFTUNTERSUCHUNG**

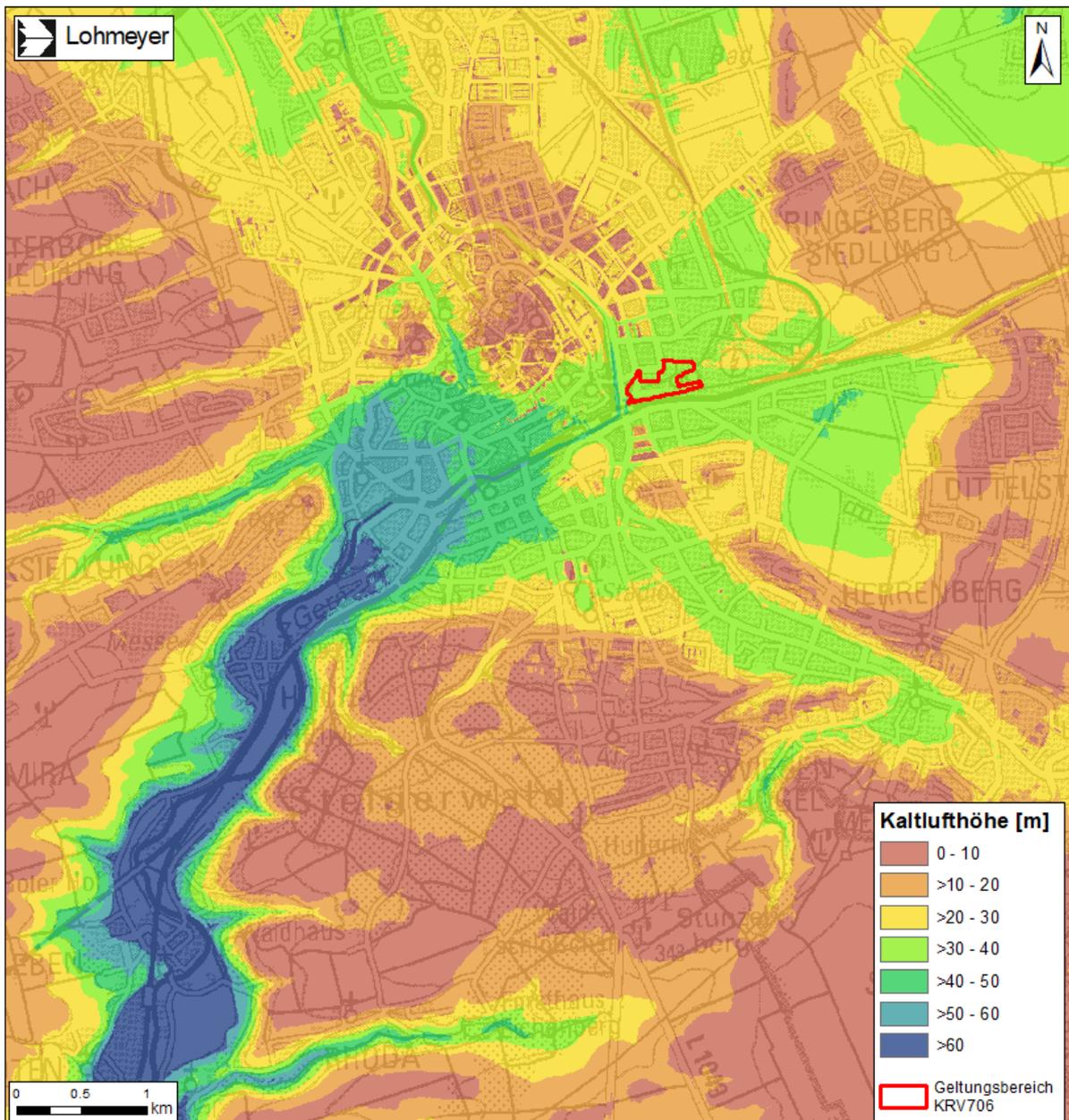


Abb. A2.1: Kaltfluthöhe im gesamten Rechengebiet im Analysefall um 2 Uhr morgens

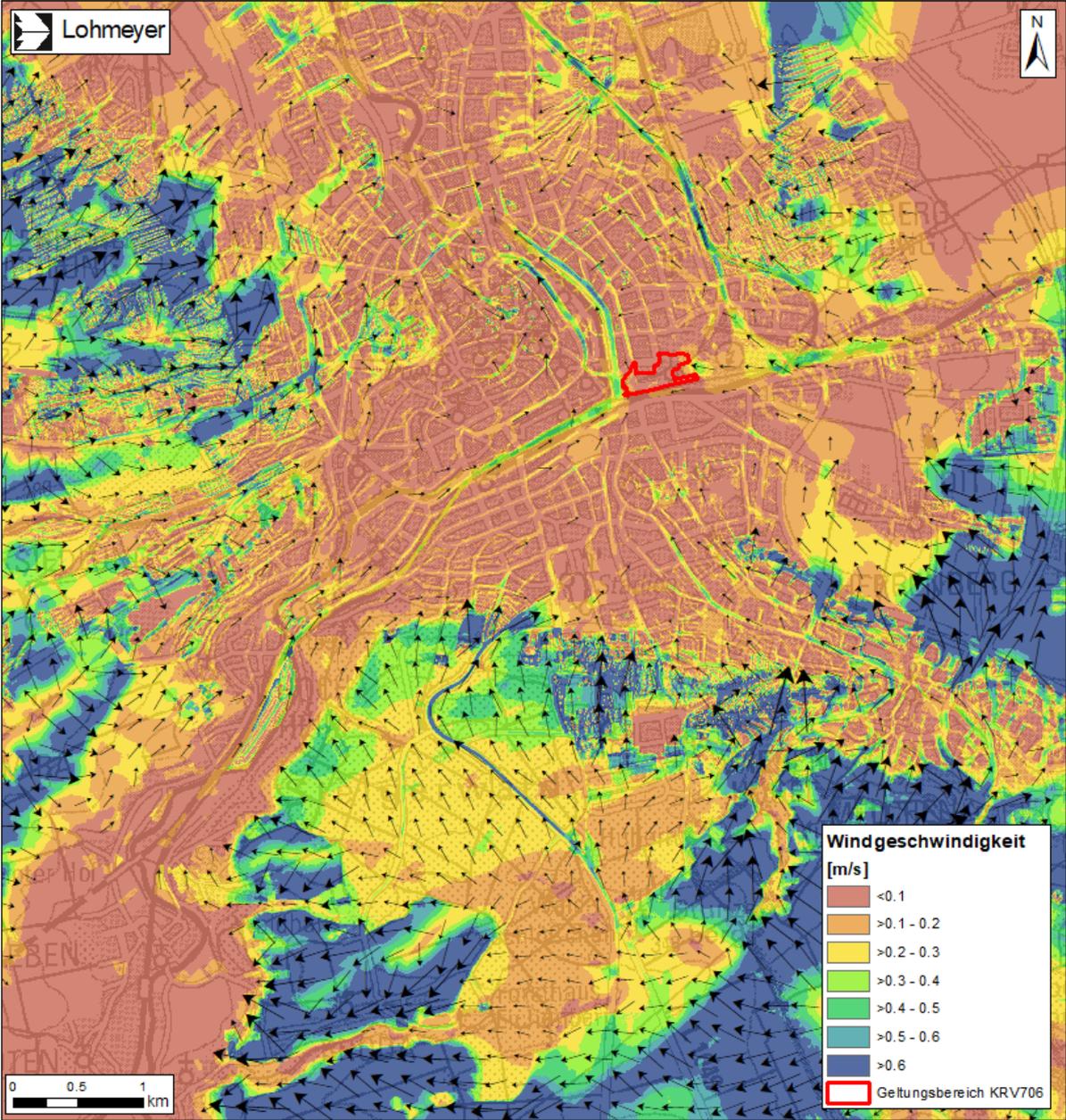


Abb. A2.2: Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund im gesamten Rechengebiet im Analysefall um 2 Uhr morgens



Abb. A2.3: Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund um 2 Uhr im Analysefall

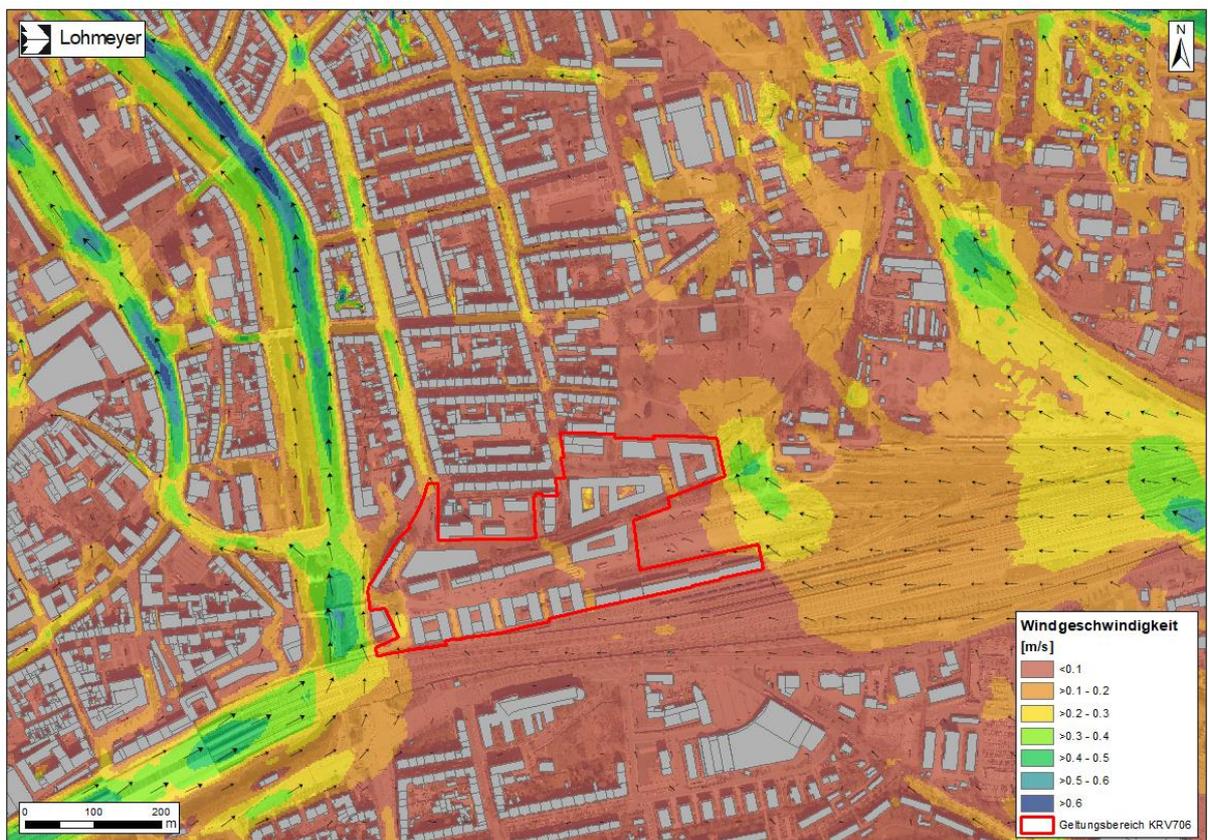


Abb. A2.4: Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund um 2 Uhr im Planfall

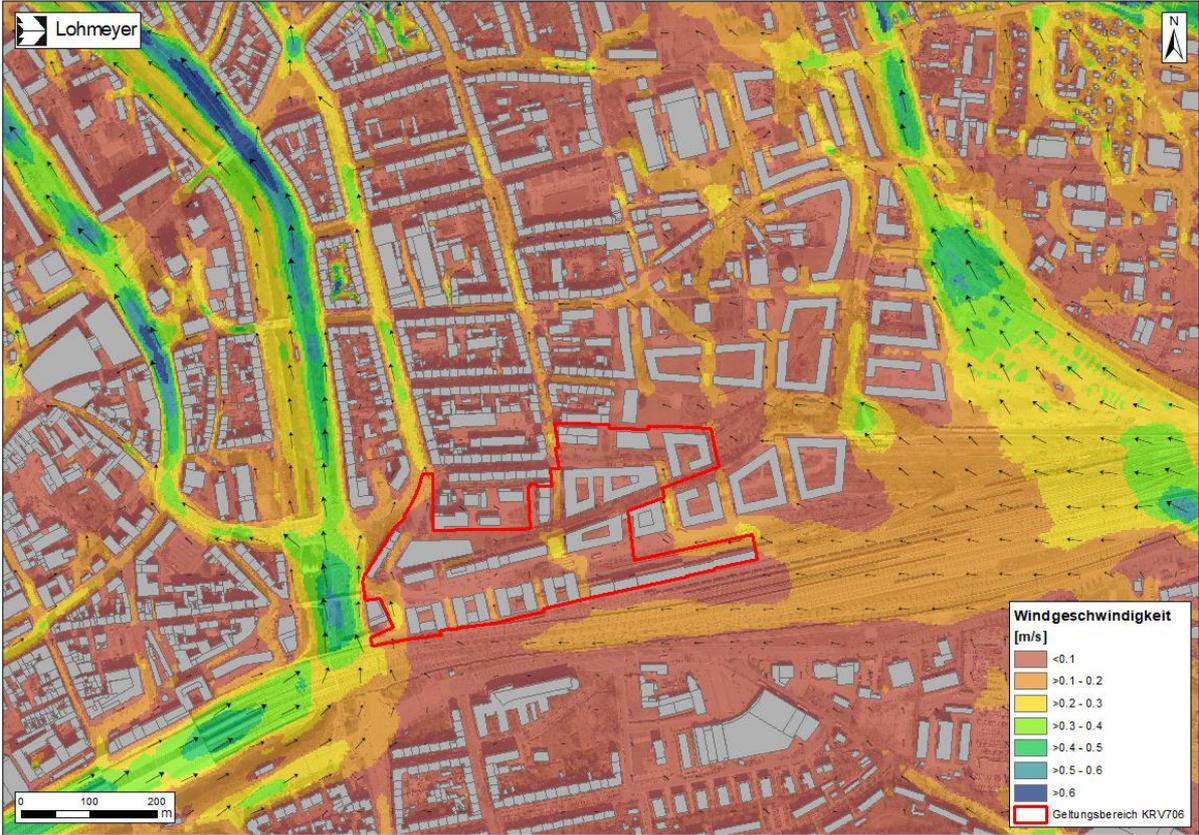


Abb. A2.5: Strömungsgeschwindigkeit in 2m über Grund um 2 Uhr im Planfall-Rahmenplan

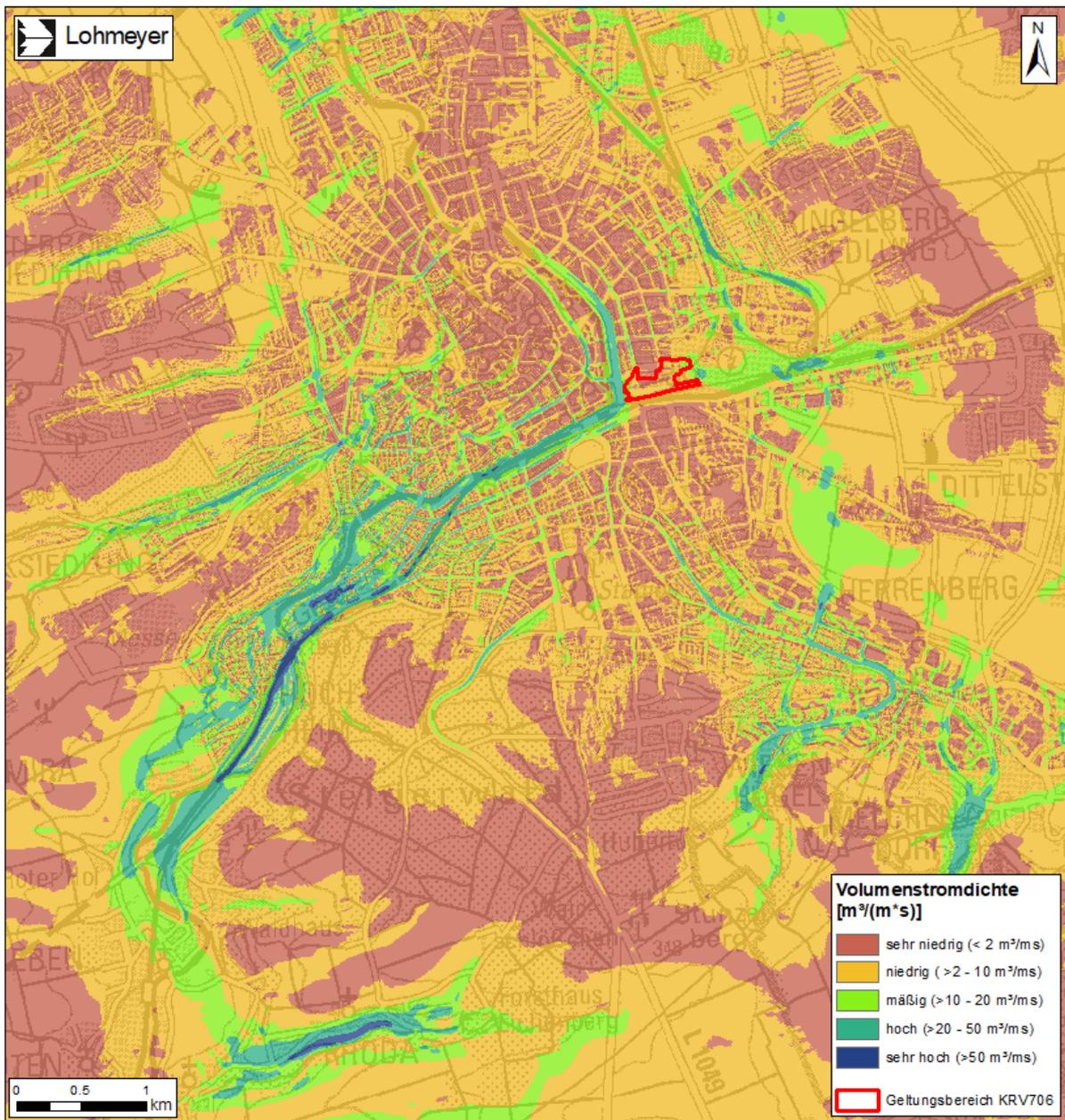


Abb. A2.6: Volumenstromdichte im gesamten Rechengebiet im Analysefall um 2 Uhr

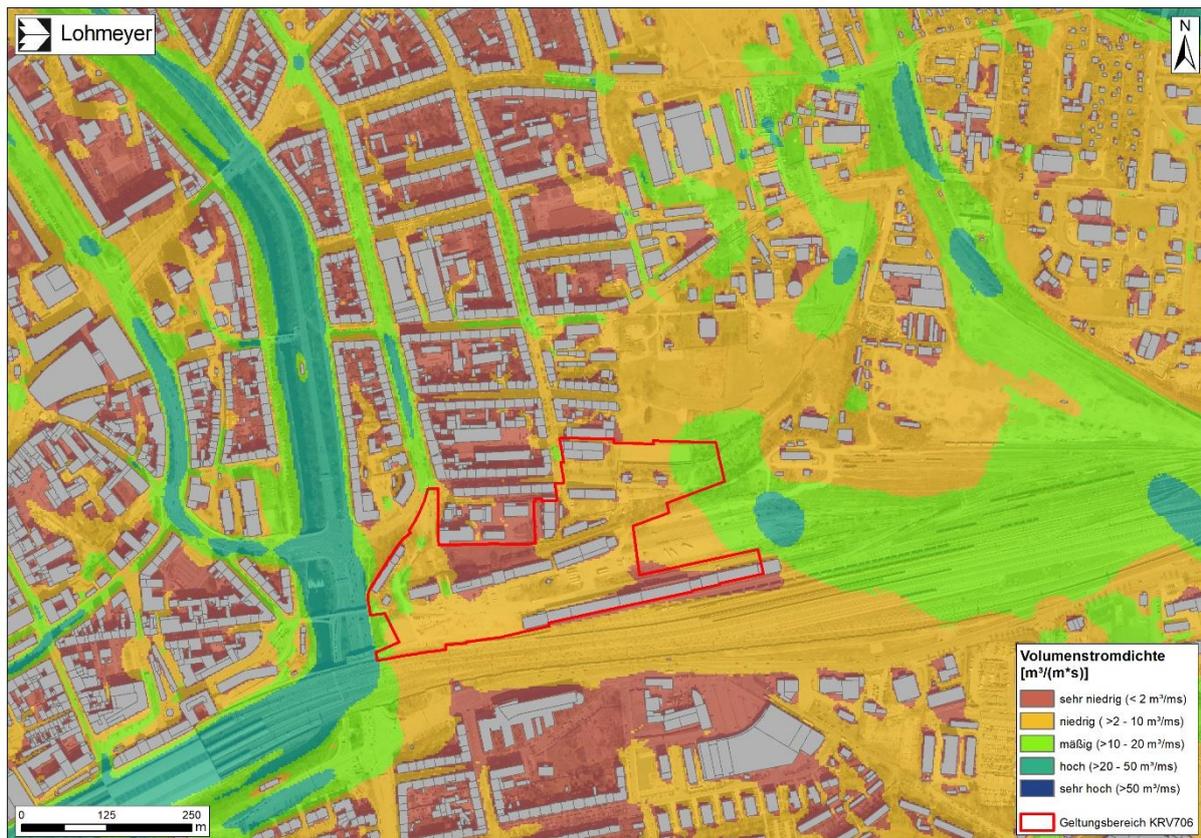


Abb. A2.7: Volumenstromdichte um 2 Uhr morgens im Analysefall

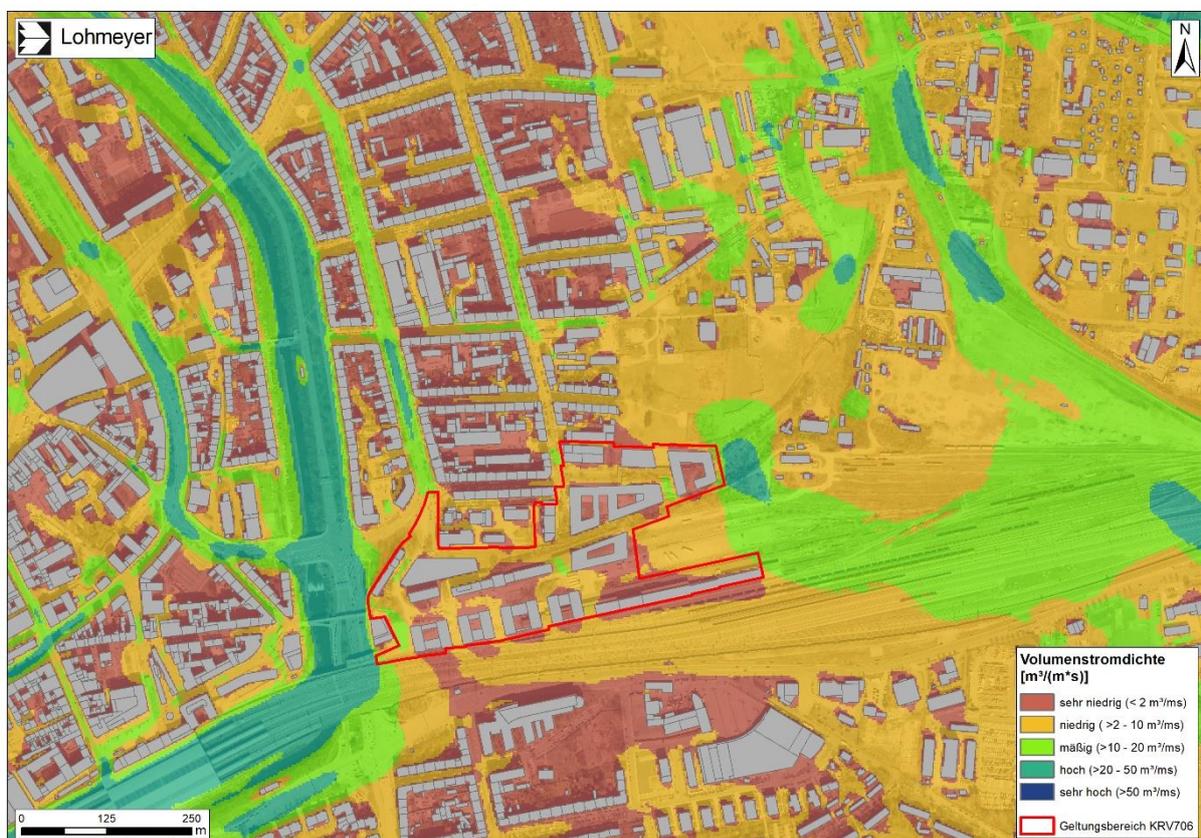


Abb. A2.8: Volumenstromdichte um 2 Uhr morgens im Planfall



Abb. A2.9: Volumenstromdichte um 2 Uhr morgens im Planfall-Rahmenfall

A N H A N G A3:
BIOKLIMA

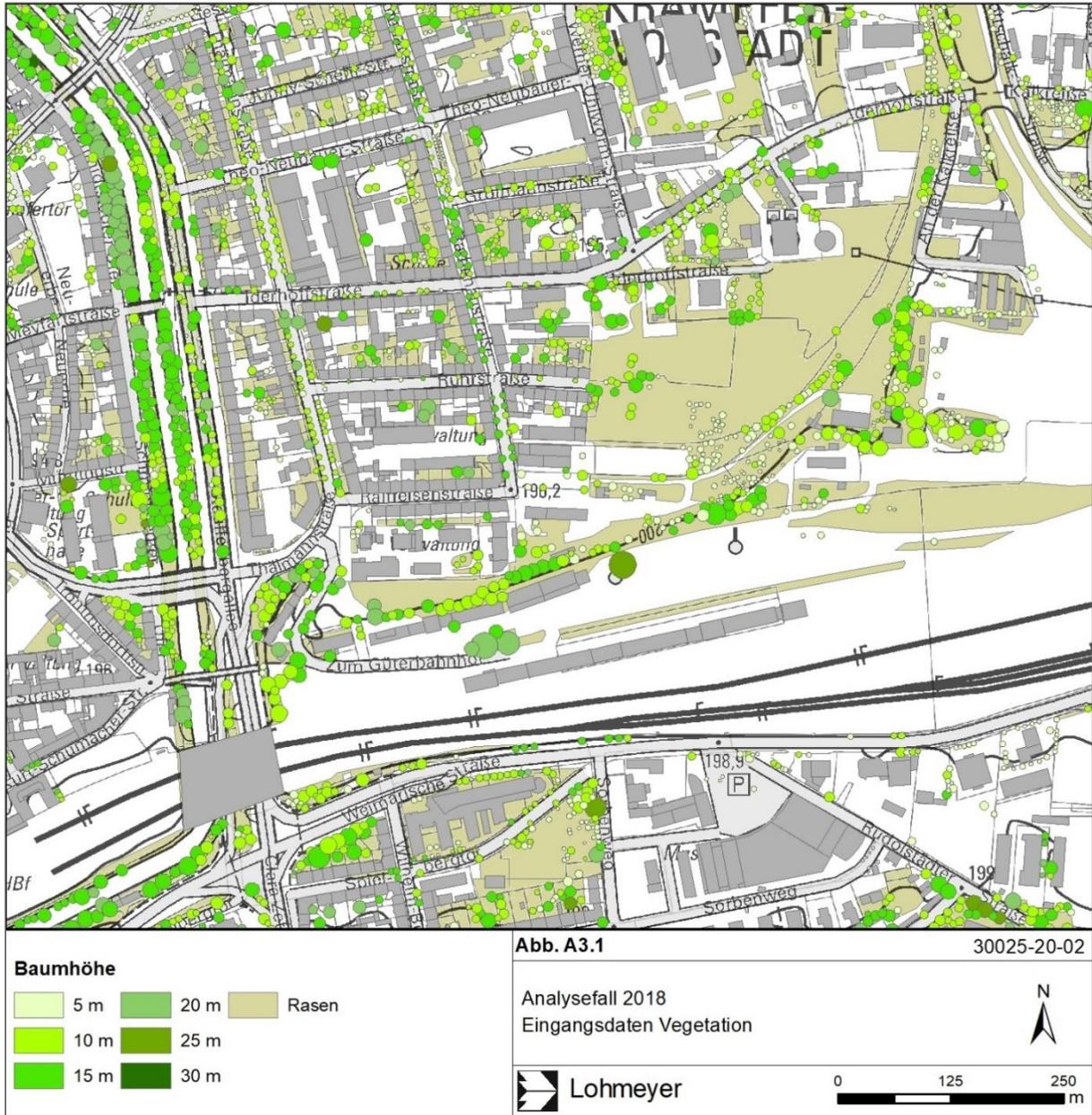


Abb. A3.1: Eingangsdaten Vegetation für den Analysefall

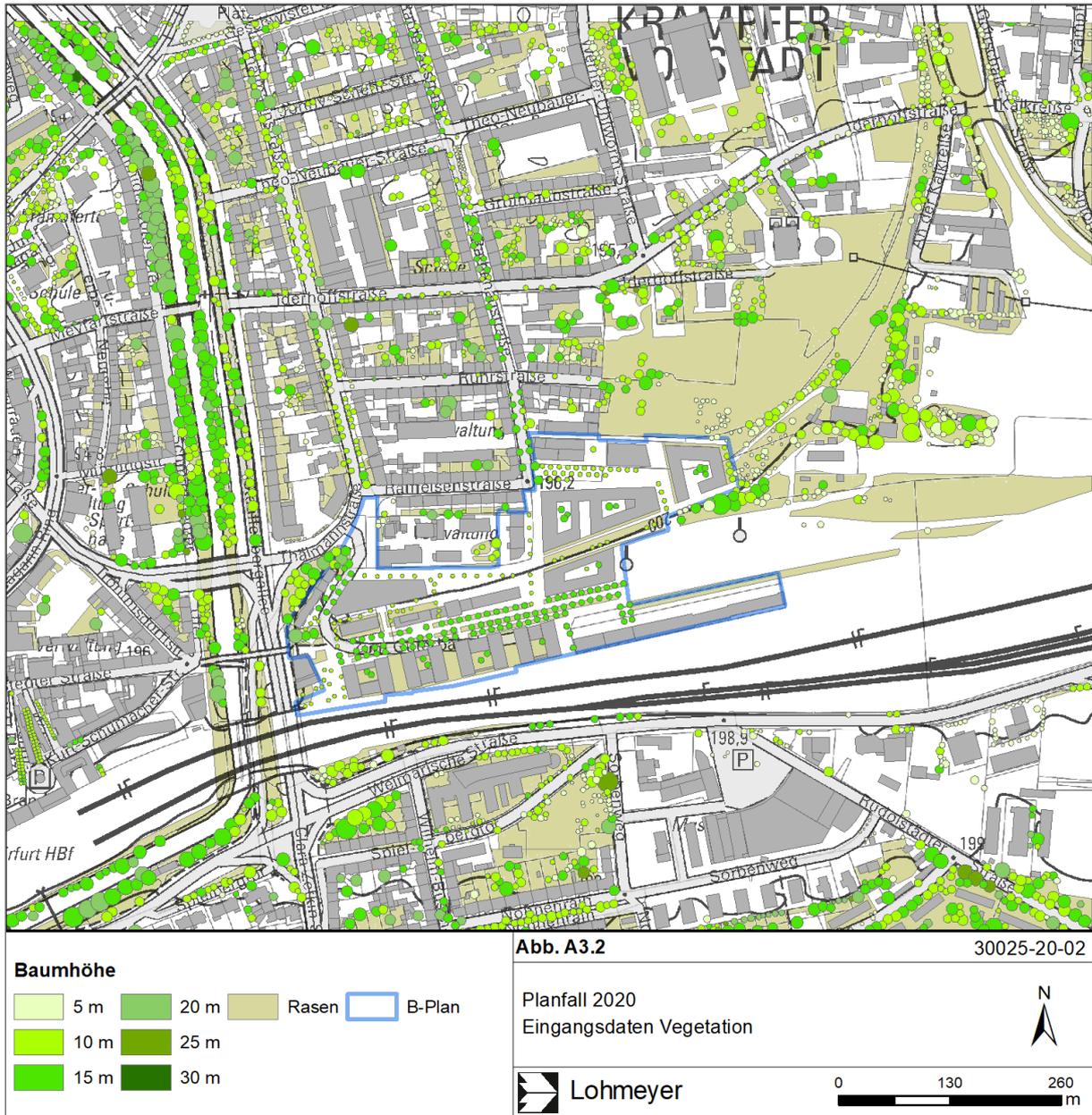


Abb. A3.2: Eingangsdaten Vegetation für den Planfall

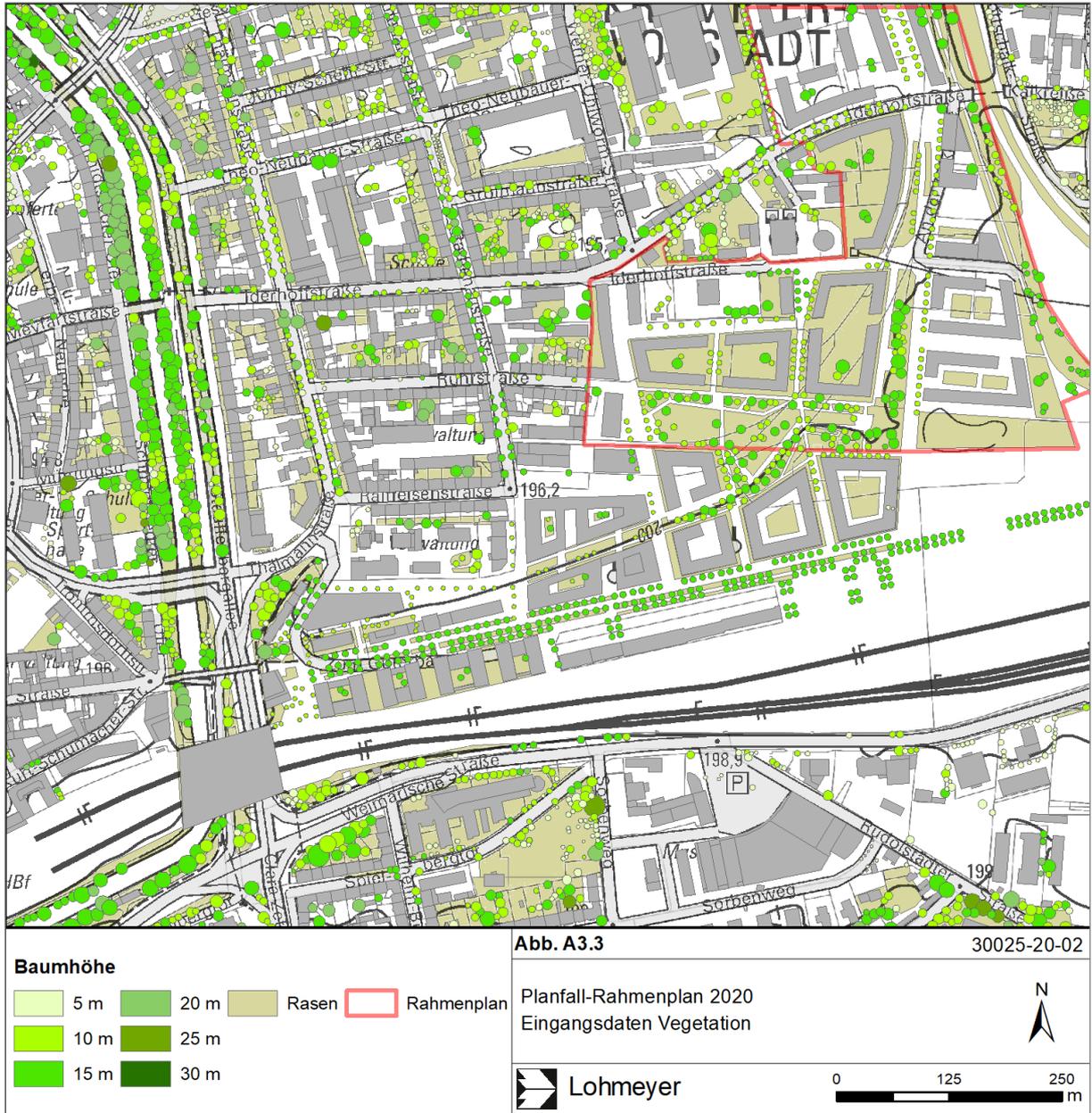


Abb. A3.3 Eingangsdaten Vegetation für den Planfall-Rahmenplan

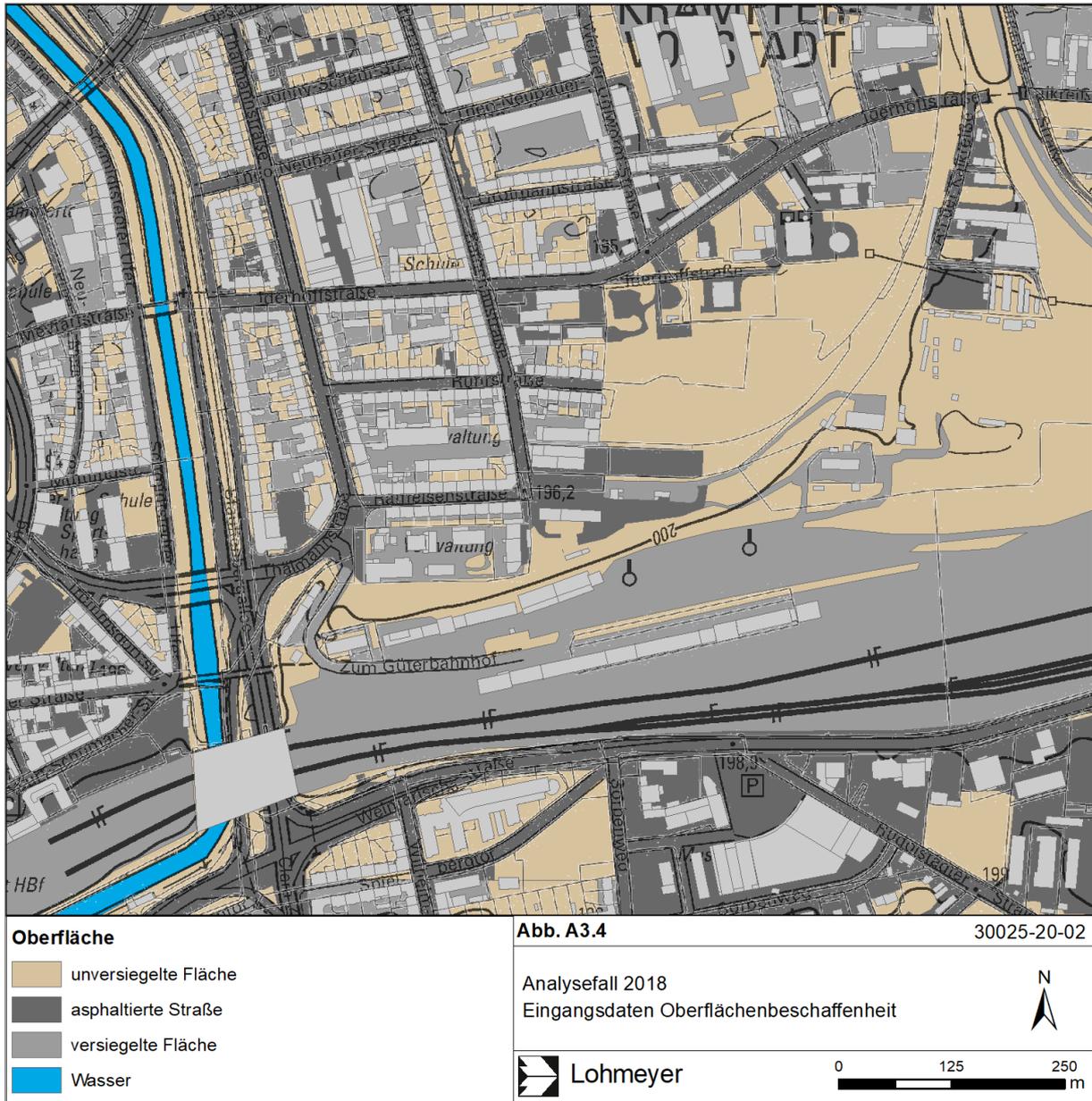


Abb. A3.4: Eingangsdaten Oberflächenbeschaffenheit für den Analysefall



Abb. A3.5: Eingangsdaten Oberflächenbeschaffenheit für den Planfall

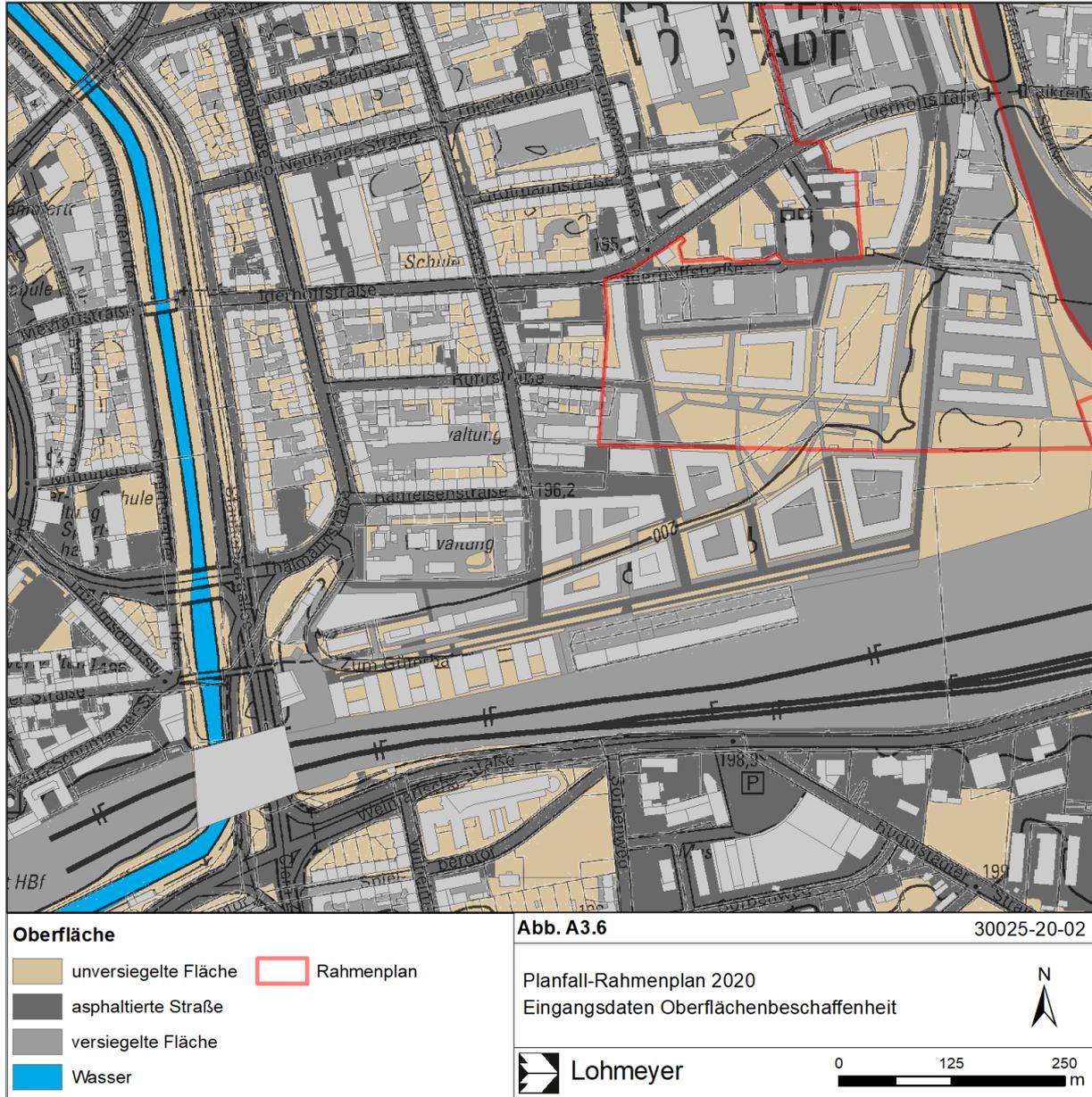


Abb. A3.6: Eingangsdaten Oberflächenbeschaffenheit für den Planfall-Rahmenplan

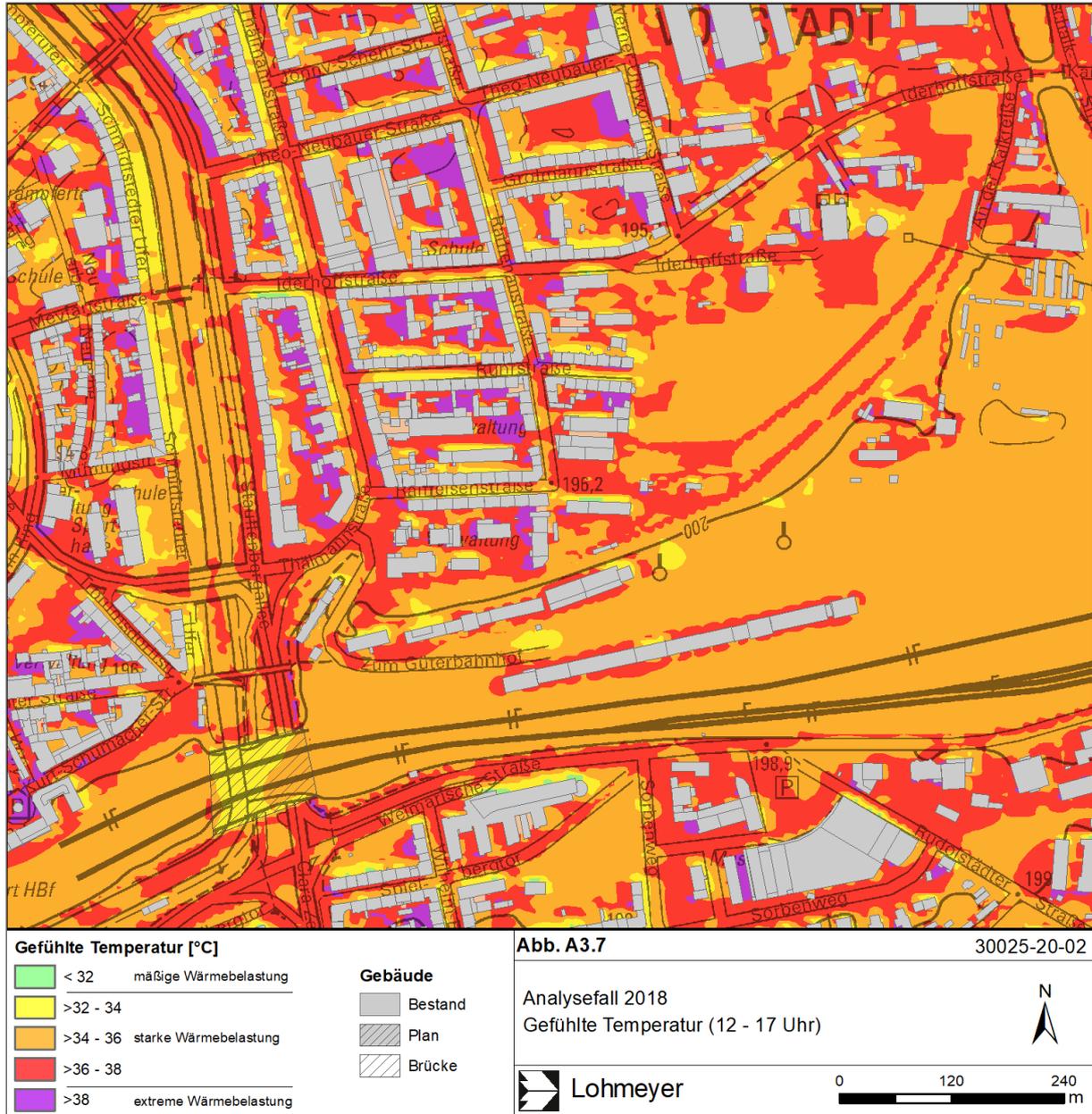


Abb. A3.7: Gefühlte Temperatur im Tageszeitraum für den Analysefall

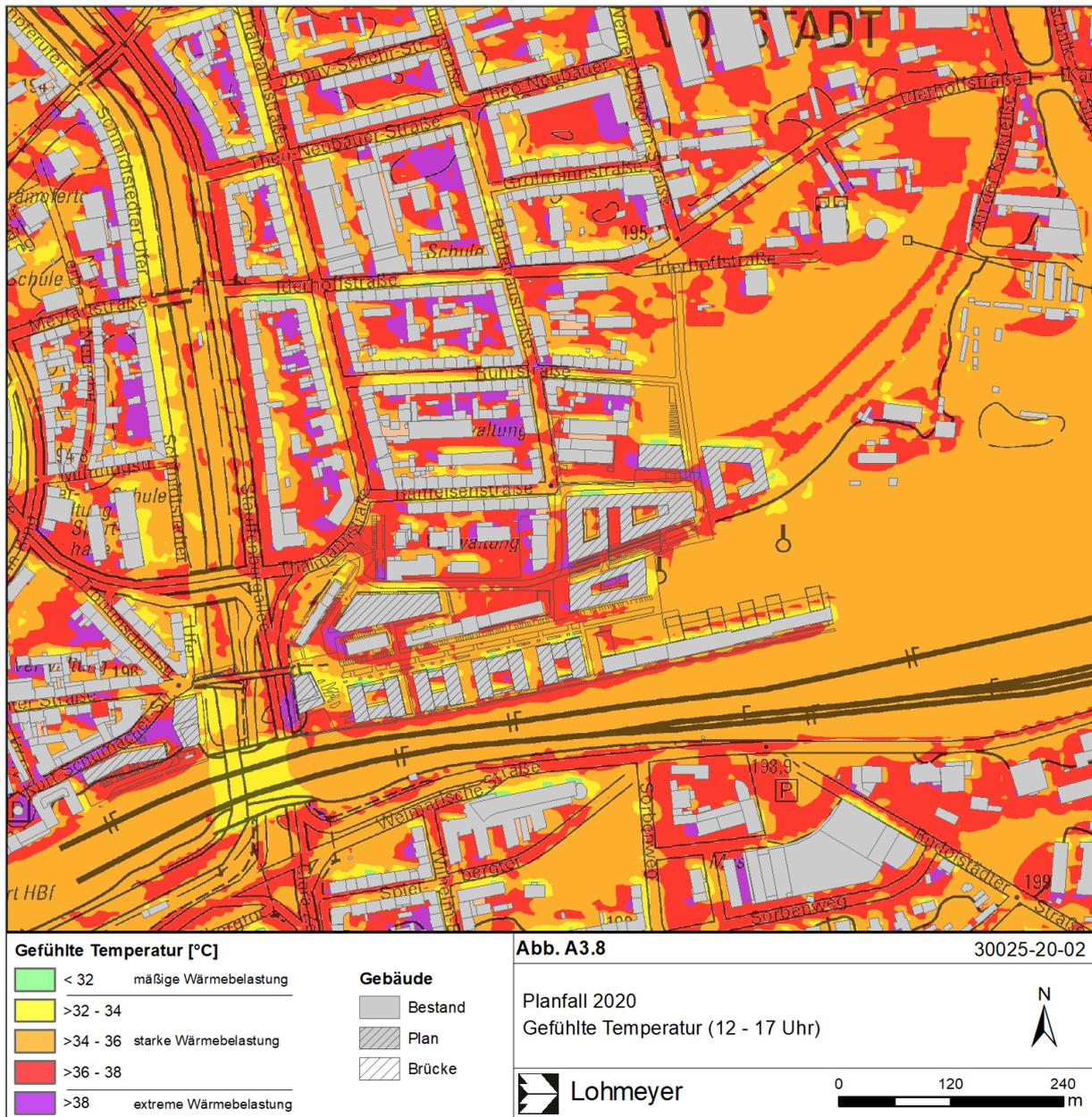


Abb. A3.8: Gefühlte Temperatur im Tageszeitraum für den Planfall

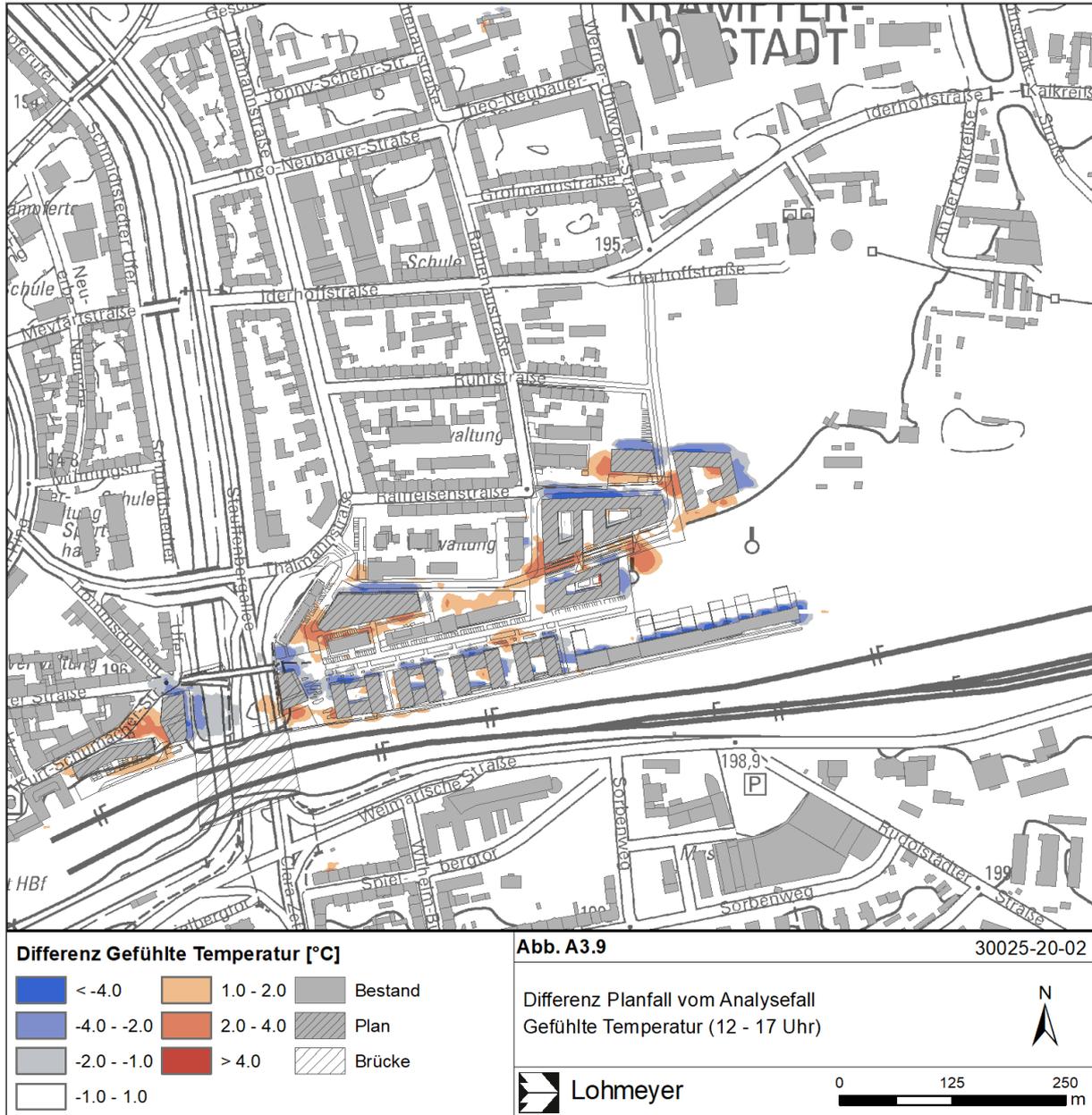


Abb. A3.9: Differenz der Gefühlten Temperatur im Tageszeitraum (Planfall – Analysefall)

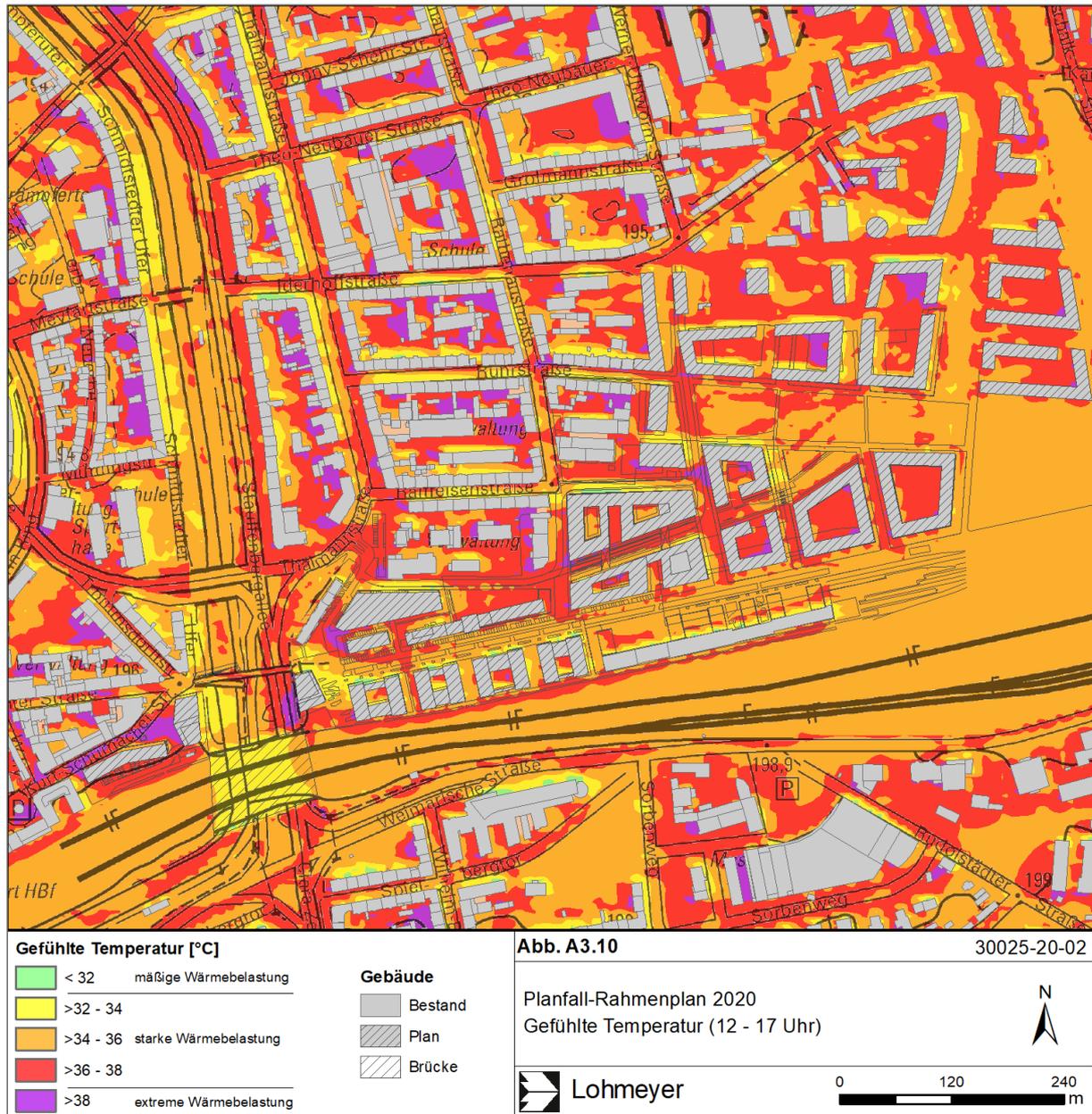


Abb. A3.10: Gefühlte Temperatur im Tageszeitraum für den Planfall-Rahmenplan



Abb. A3.11: Differenz der Gefühlten Temperatur im Tageszeitraum (Planfall Rahmenplan – Analysefall)

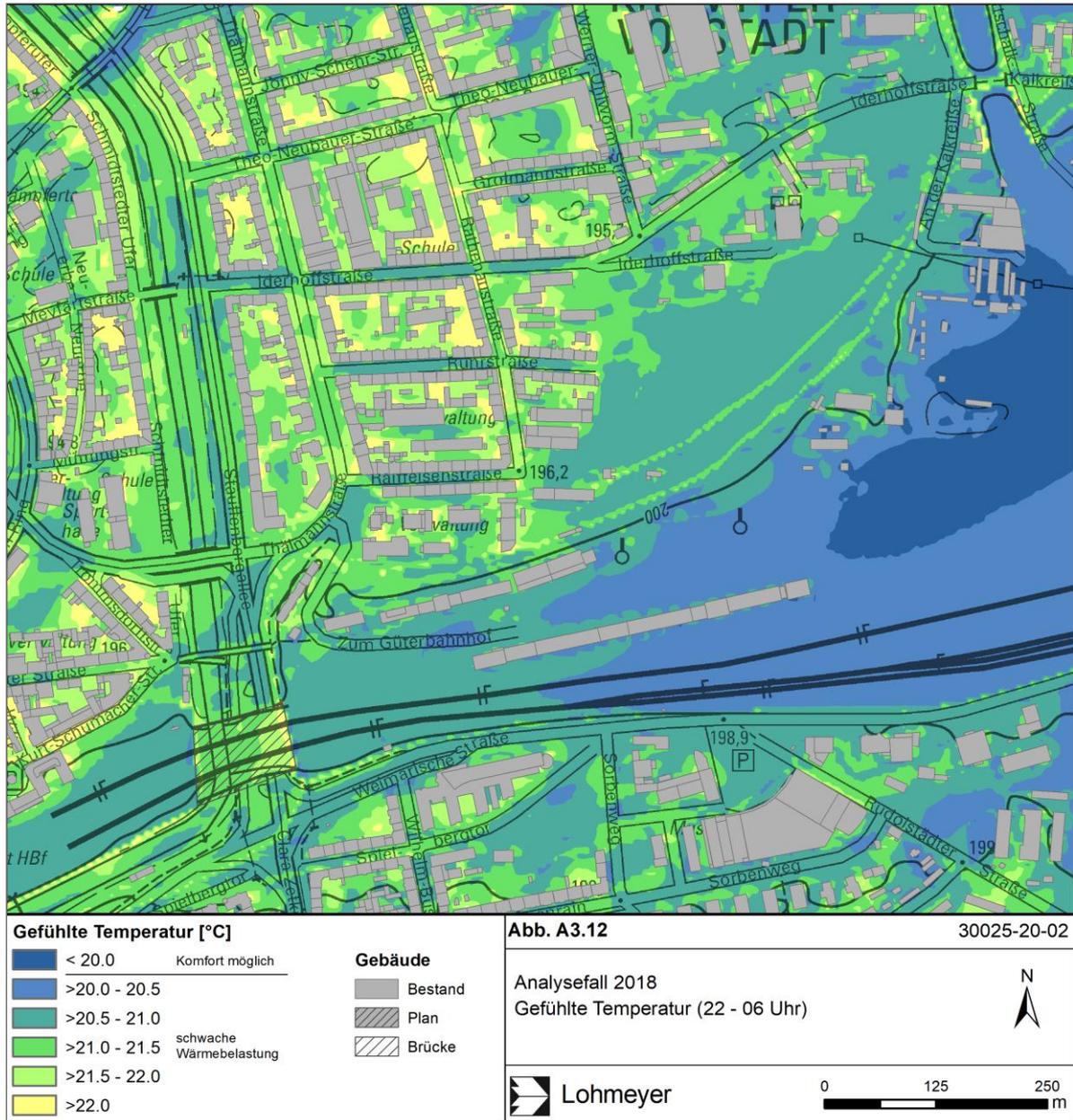


Abb. A3.12: Gefühlte Temperatur im Nachzeitraum für den Analysefall

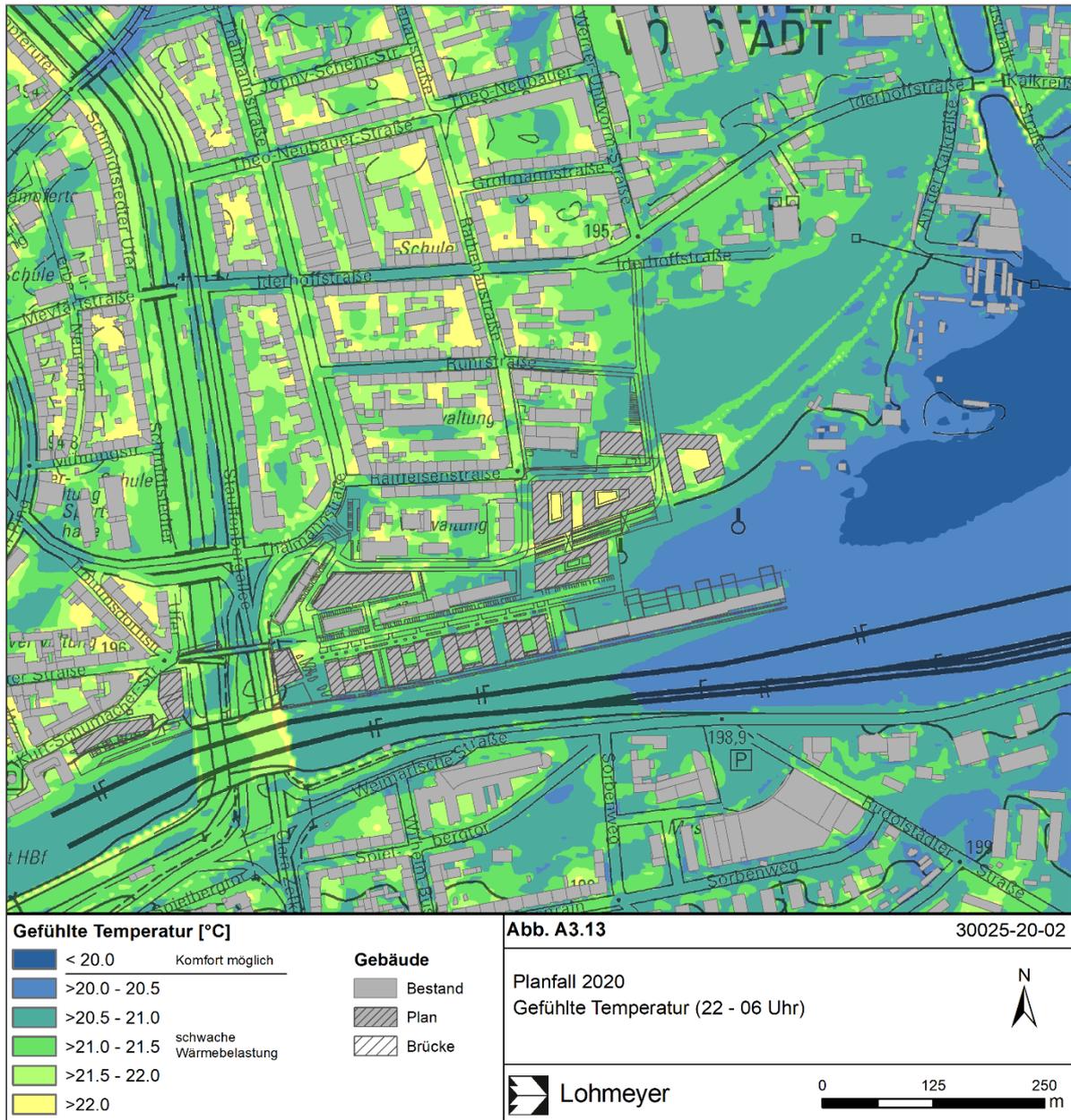


Abb. A3.13: Gefühlte Temperatur im Nachzeitraum für den Planfall

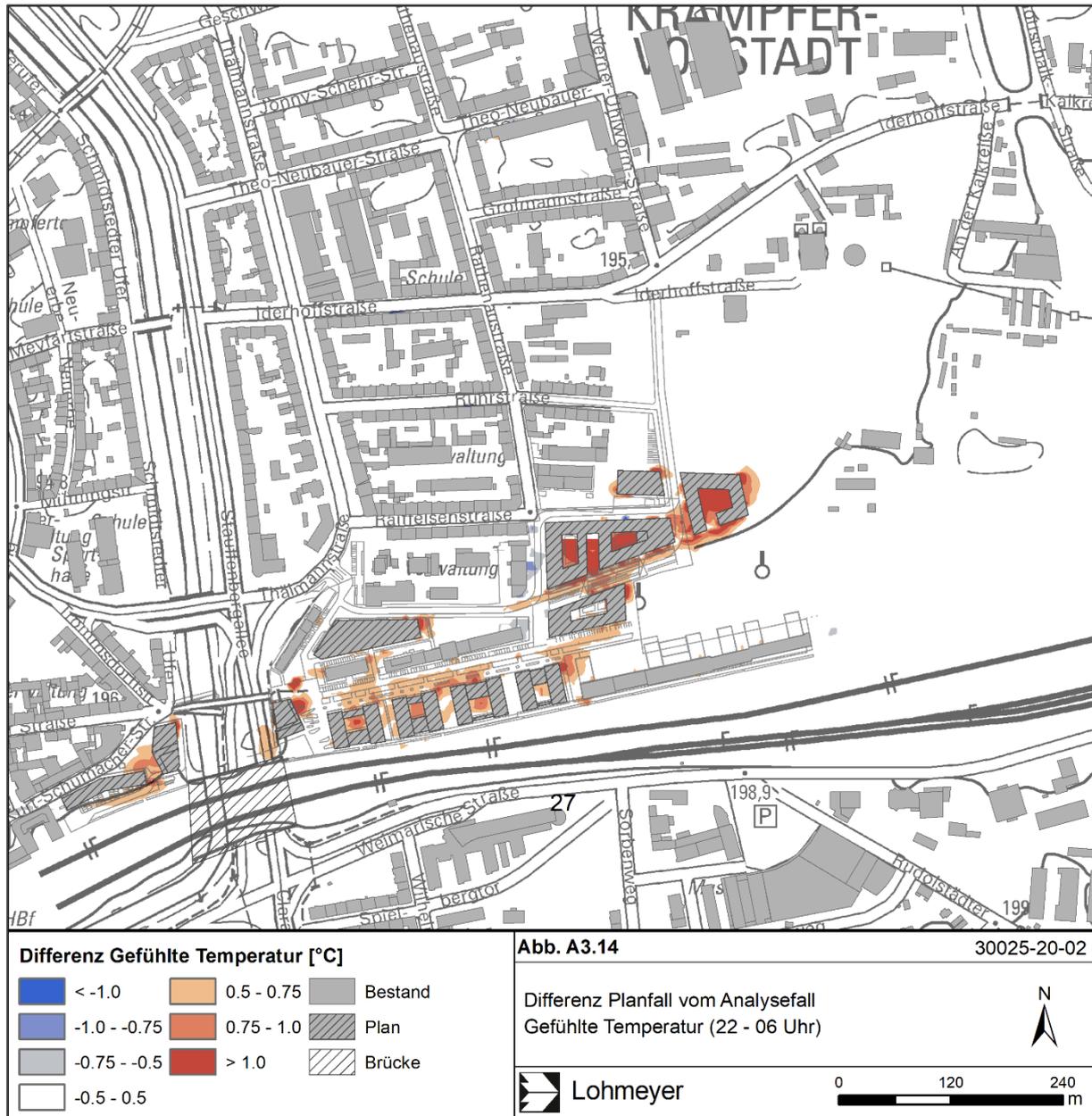


Abb. A3.14: Differenz der Gefühlten Temperatur im Nachtzeitraum (Planfall– Analysefall)

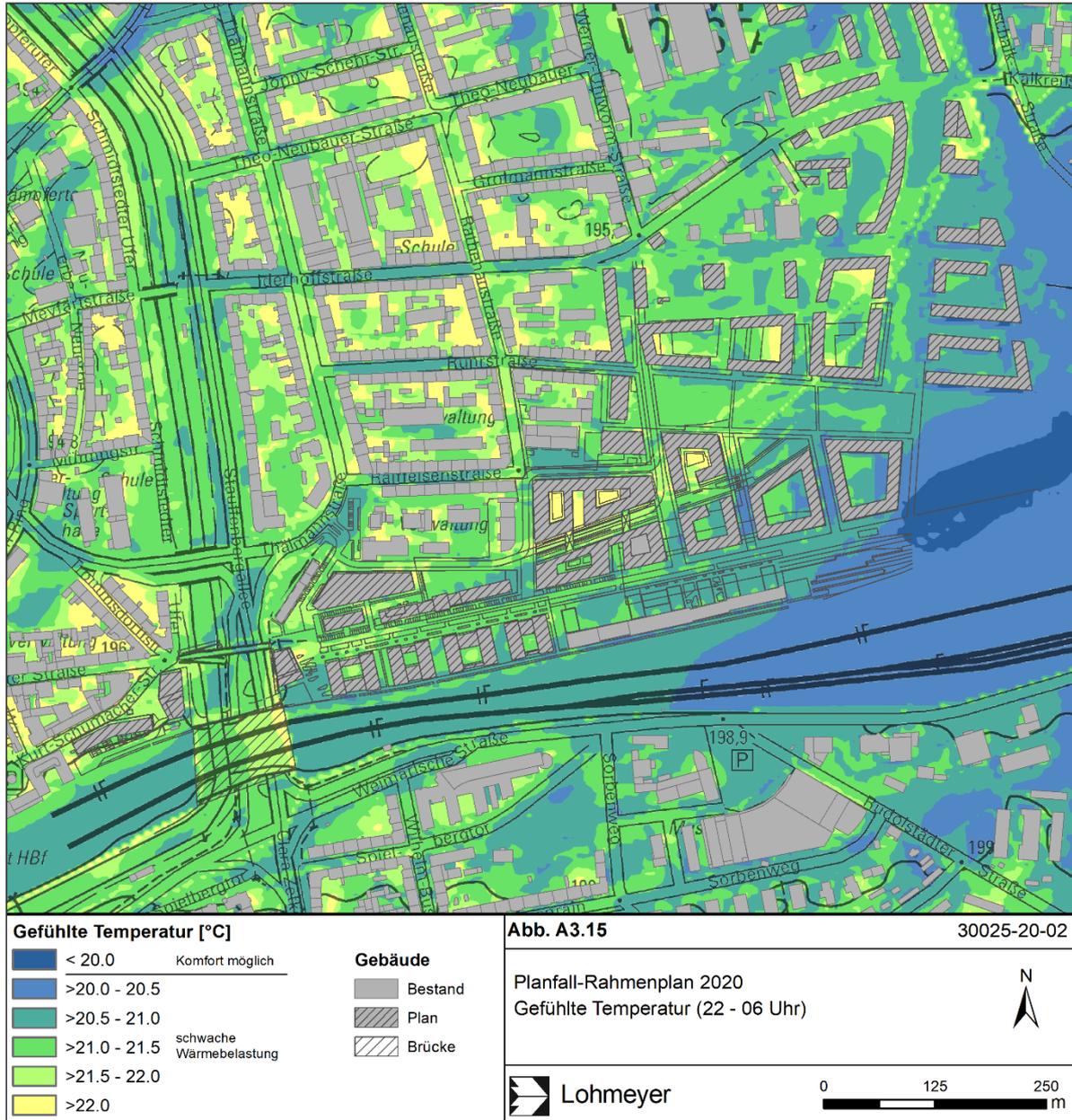


Abb. A3.15: Gefühlte Temperatur im Nachzeitraum für den Planfall-Rahmenplan

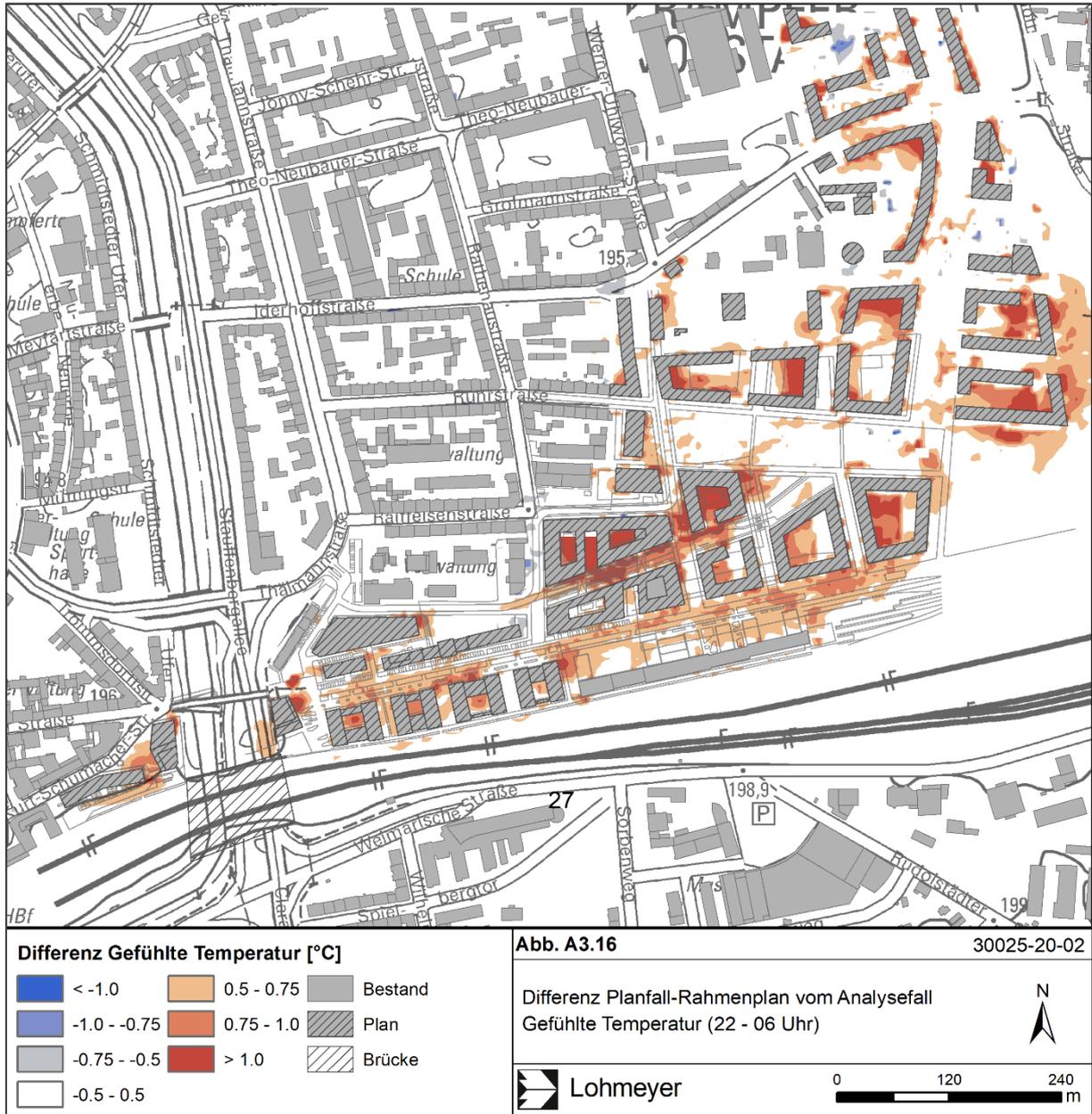


Abb. A3.16: Differenz der Gefühlten Temperatur im Nachtzeitraum (Planfall-Rahmenplan–Analysefall)