

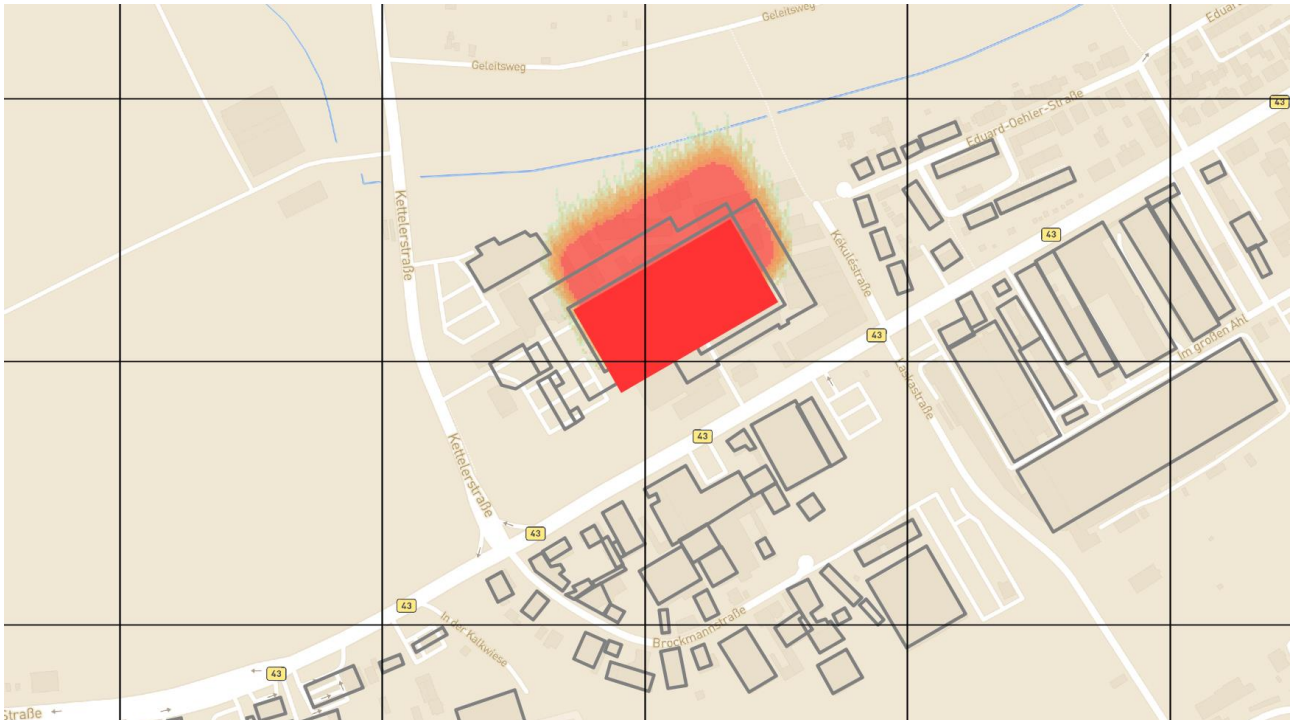
BEBAUUNGSPLAN NR. 656 „Datencenter Kettelerstrasse“

Klima

STAND 30.06.2025

Prüfung auf Erheblichkeit der Wärmeabgabe in Bezug auf das städtische Mikroklima, insbesondere auf die schützenswerten bodennahen Kaltluftströme

für die Errichtung eines Rechenzentrums in Offenbach am Main, Kettelerstraße/Mühlheimer Straße



Auftraggeber:	KUA dc solutions GmbH Grüneburgweg 115 D-60323 Frankfurt am Main	Tel.: 069 977769-43
Bearbeiter:	██████████	Tel.: ██████████ Email: ████████████████████
Aktenzeichen:	Kaltluft Offenbach.2024.01.01	
Ort, Datum:	Frankenberg, 26. April 2024	
Anzahl der Seiten:	46	
Anlagen:	-	

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
1 Aufgabenstellung	4
2 Beschreibung des Standortes	5
2.1 Lage	5
2.2 Landnutzung	7
2.3 Orographie	9
3 Kaltluftabflüsse und ihre Wirkung auf das städtische Mikroklima	11
3.1 Hintergrund	11
3.2 Wirkung von Kaltluft auf das städtische Mikroklima	11
3.2.1 Abkühlende Wirkung	11
3.2.2 Herbeiführung von Luftaustausch bei windschwachen Wetterlagen	12
3.2.3 Kombinierte Wirkung aus Abkühlung und Luftaustausch	12
3.3 Bewertungsmaßstab	12
4 Untersuchungsmethodik	14
4.1 Szenarien	14
4.2 Modellrechnungen	14
4.2.1 Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit dem prognostischen Windfeldmodell GRAMM	15
4.2.2 Modellierung der Gebäudeumströmung durch Kaltluft mit MISKAM	17
4.2.3 Modellierung des thermischen Auftriebs der emittierten Wärme mit PLURIS	17
4.2.4 Modellierung der Ausbreitung der freigesetzten Wärmewolke mit LASAT	17
4.3 Eingangsdaten	17
4.3.1 Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit GRAMM	17
4.3.2 Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung	18
4.3.3 Thermische Angaben zum Bauvorhaben	19
4.3.4 Geometrie der Emissionsorte	21
4.4 Beurteilungspunkte	21
5 Ergebnisse und Bewertung	23
5.1 Großräumige Kaltluftabflüsse im Modellgebiet	23
5.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet	26
5.3 Szenarienvergleich: Betrachtung der Kaltluftgeschwindigkeit	28
5.4 Szenarienvergleich: Betrachtung der Abkühlung durch Kaltluft	38
5.5 Kumulation mit anderen Projekten	42
6 Zusammenfassung	43
7 Schrifttum	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage von Offenbach am Main in Hessen	5
Abbildung 2: Naturräumliche Gliederung um den Standort	6
Abbildung 3: Lage des Standortes in Offenbach am Main	7
Abbildung 4: Rauigkeitslänge in Metern in der Umgebung des Standortes nach CORINE-Datenbank	8
Abbildung 5: Luftbild mit der Umgebung des Standortes	9
Abbildung 6: Orographie um den Standort	10
Abbildung 7: Schematischer Aufbau der Modellkette zur Bearbeitung der Aufgabenstellung	15
Abbildung 8: Orographie als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung	18
Abbildung 9: Untersuchungsgebiet zur Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung	19
Abbildung 10: Anordnung der wärmeemittierenden Kühlaggregate auf dem Gebäude, violett umrahmt	20
Abbildung 11: Lage der Beurteilungspunkte (Luftbild: Google Earth)	22
Abbildung 12: Ungestörte Kaltluftströmung im Modellgebiet ohne Berücksichtigung von Bebauung	24
Abbildung 13: Orographie zur Modellierung von Kaltluftabflüssen	25
Abbildung 14: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet bei Umströmung der bestehenden Baukörper	27
Abbildung 15: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)	28
Abbildung 16: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)	29
Abbildung 17: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)	30
Abbildung 18: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Kekulestraße im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)	31
Abbildung 19: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Kekulestraße nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)	32
Abbildung 20: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Kekulestraße mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)	33
Abbildung 21: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Mühlheimer Straße im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)	34
Abbildung 22: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Mühlheimer Straße nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)	35
Abbildung 23: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Mühlheimer Straße mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)	36
Abbildung 24: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Hanauer Straße im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)	37
Abbildung 25: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Hanauer Straße nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)	37
Abbildung 26: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Hanauer Straße mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)	38
Abbildung 27: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 5 m über Grund	39
Abbildung 28: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 30 m über Grund ...	40
Abbildung 29: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 40 m über Grund ...	41
Abbildung 30: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 60 m über Grund ...	42
Abbildung 31: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 30 m über Grund ...	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: UTM-Koordinaten des Standortes	7
Tabelle 2: Wärmeabgabe des Rechenzentrums nach Betriebsphasen	21

1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber ist an der Planung eines Rechenzentrums in Offenbach am Main, Bereich Mühlheimer Straße/Kettelerstraße beteiligt.

Im Rahmen der Planung und in Abstimmung mit dem Umweltamt der Stadt Offenbach am Main sind die Auswirkungen des Rechenzentrums infolge seiner Wärmeabgabe auf das städtische Mikroklima, insbesondere auf schützenswerte Kaltluftströme, zu untersuchen.

Aufgabenstellung und Veranlassung ist es zu begründen, dass die nach Fertigstellung und Inbetriebnahme des geplanten Rechenzentrums abgegebene Wärmemenge nicht als erheblich einzustufen ist. Ebenfalls soll geprüft werden, ob die Errichtung der Bauwerke, die zum Rechenzentrum gehören, die Kaltluftschneisen entlang des Kuhmühlgrabens und der Mühlheimer Straße nicht in ihrer Funktion beeinträchtigen.

Es soll eine Betrachtung im Einzelfall stattfinden, die die Besonderheiten des Vorhabens, wie bauliche Größe, Art und Weise der Wärmeabgabe und stadtklimatische Gegebenheiten im Umfeld einbezieht. Insbesondere die Tatsache, dass ein wesentlicher Teil der abgegebenen Wärmemenge in einer Höhe oberhalb von 25 m über Grund emittiert wird, sorgt dafür, dass die Abgabe oberhalb der typischen Kaltluftmächtigkeit für den Standort erfolgt. Dementsprechend ist mit einer zu vernachlässigenden Wirkung auf bodennahe Kaltluftströme zu rechnen, was nachfolgend begründet werden soll.

Insgesamt soll erklärt werden, dass die Auswirkungen der Wärmeabgabe des geplanten Vorhabens auf das Mikroklima, insbesondere auf die schützenswerten bodennahen Kaltluftströme, nicht erheblich sind.

2 Beschreibung des Standortes

2.1 Lage

Der untersuchte Standort befindet sich in Offenbach am Main. Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Standortes in Deutschland.

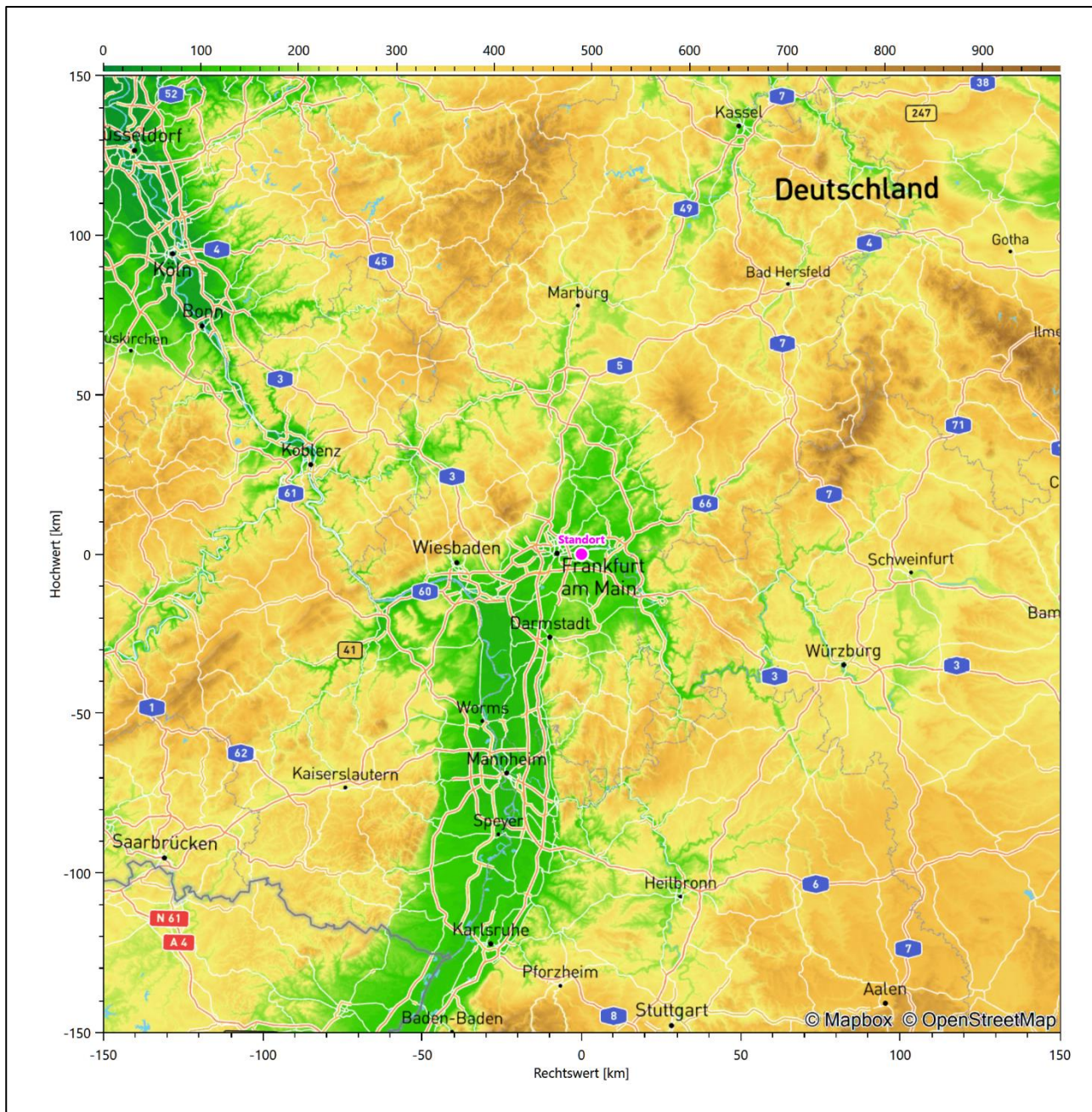


Abbildung 1: Lage von Offenbach am Main in Hessen

Der naturräumlichen Gliederung nach liegt der Standort im Rhein-Main-Gebiet, nördlich angrenzend liegen Taunus und Wetterau. Die folgende Darstellung zeigt die naturräumliche Einordnung.

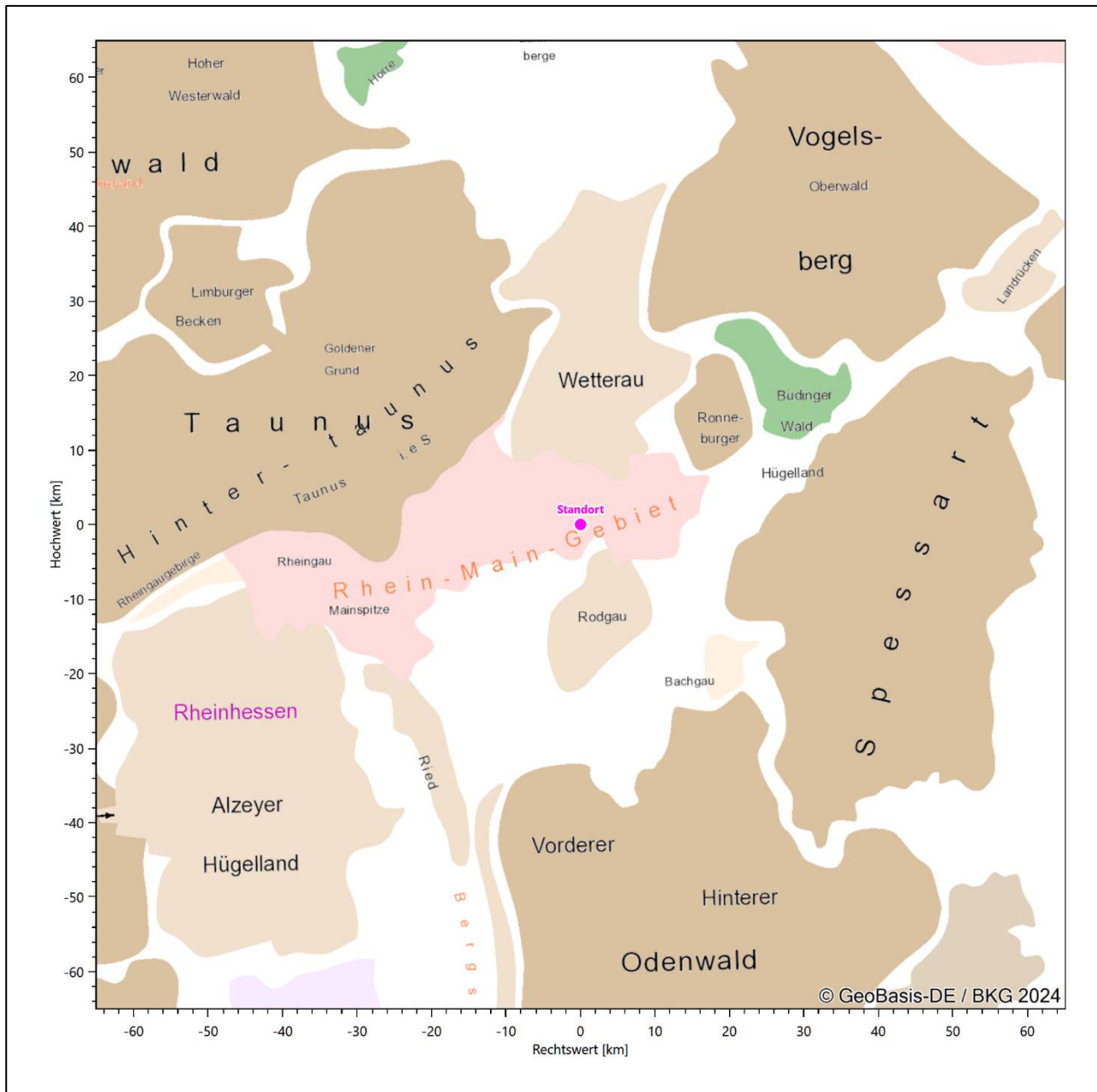
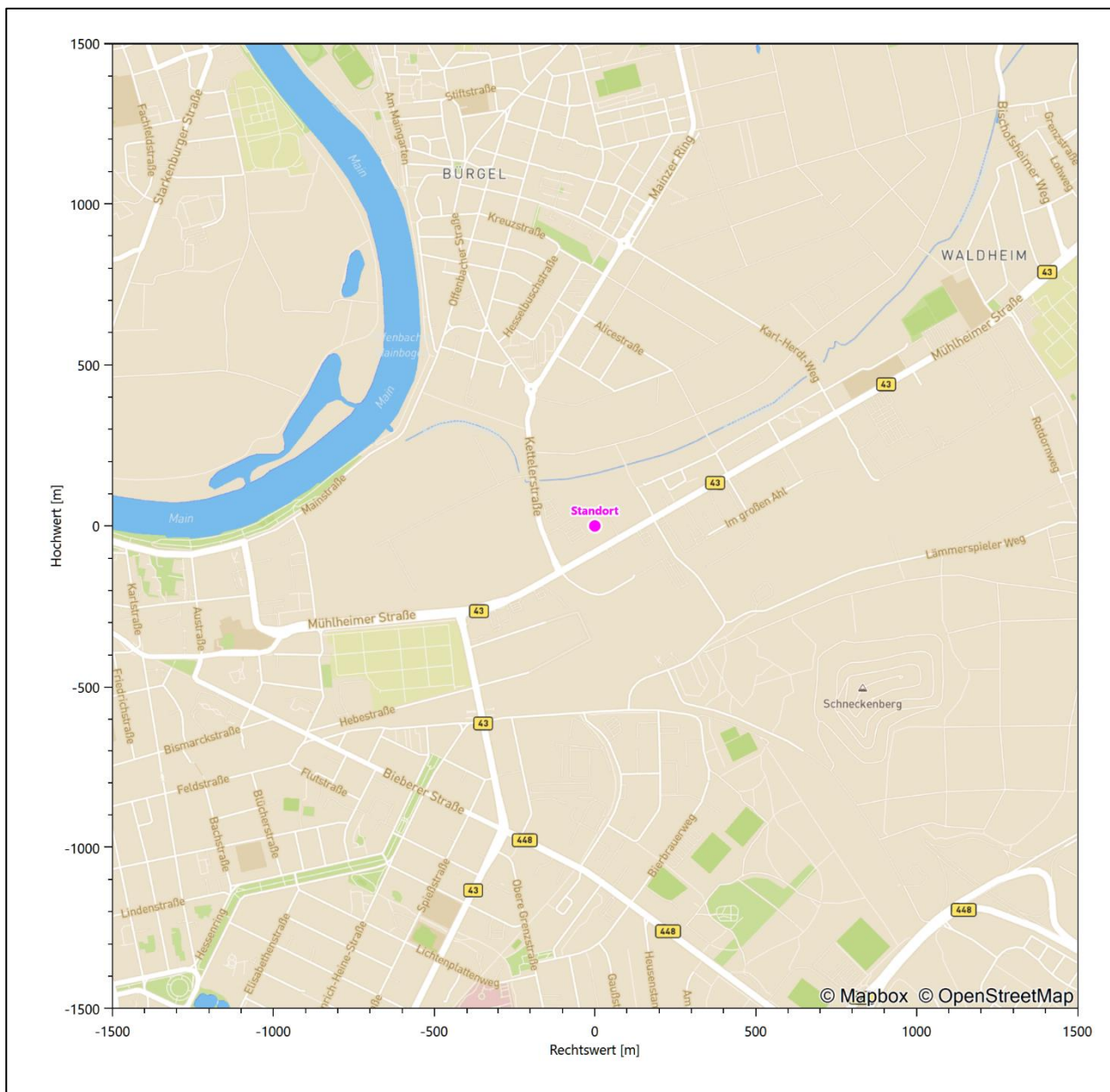


Abbildung 2: Naturräumliche Gliederung um den Standort

Die Lage des untersuchten Standortes im östlichen Teil von Offenbach am Main ist anhand des folgenden Auszuges aus der topographischen Karte ersichtlich.


Abbildung 3: Lage des Standortes in Offenbach am Main

In der folgenden Tabelle sind die Koordinaten des Standortes angegeben.

Tabelle 1: UTM-Koordinaten des Standortes

RW	32484934
HW	5550646

2.2 Landnutzung

Die Umgebung des Standortes ist durch eine wechselnde Landnutzung geprägt. Durchgängig bebaute Siedlungsgebiete wechseln sich mit lockeren Baumbewuchs, Wiesen und Verkehrswegen ab.

Eine Verteilung der Bodenrauigkeit um den Standort ist aus der folgenden Abbildung ersichtlich. Die Daten wurden dem CORINE-Kataster [1] entnommen.

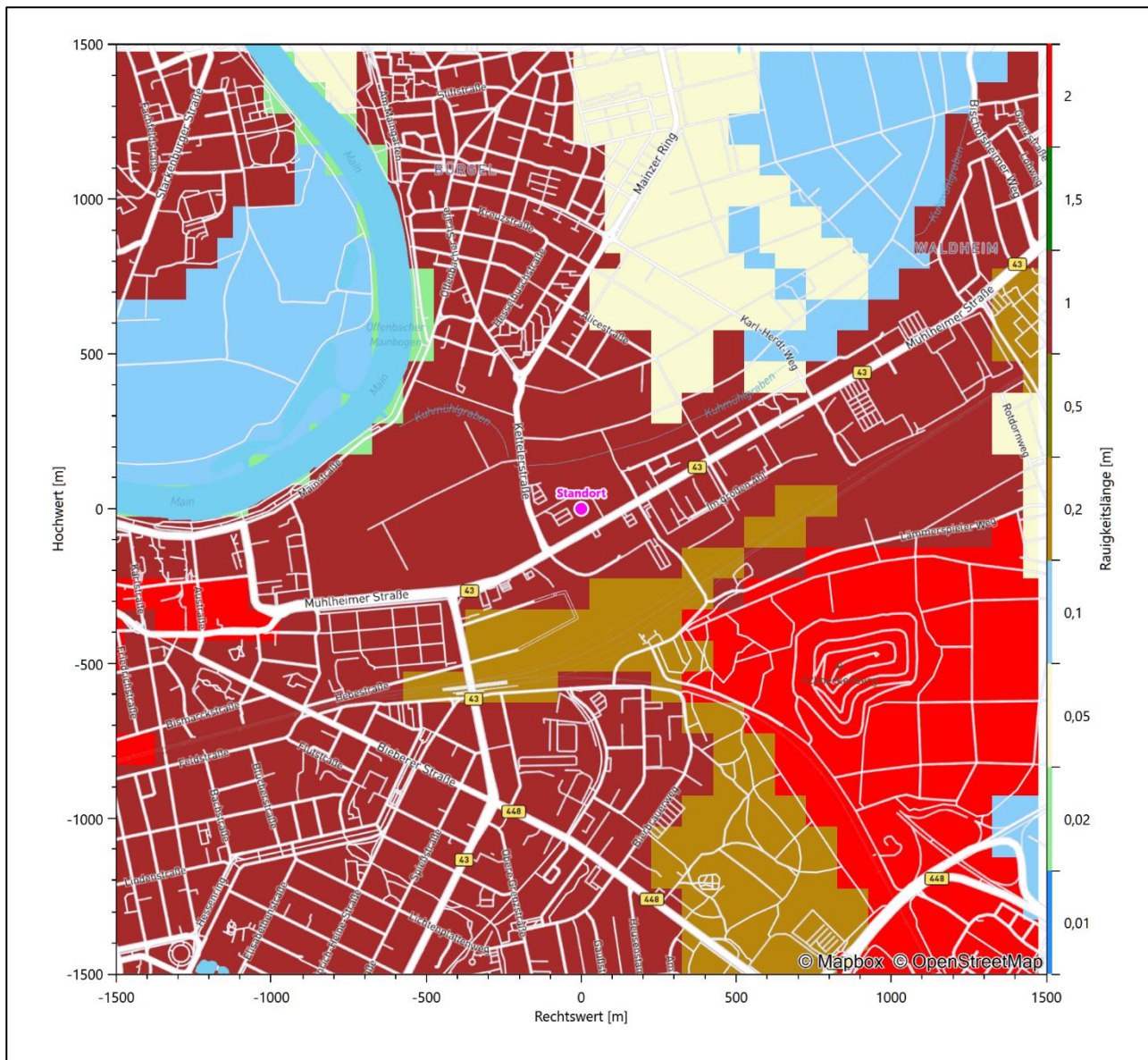


Abbildung 4: Rauigkeitslänge in Metern in der Umgebung des Standortes nach CORINE-Datenbank

Das folgende Luftbild verschafft einen detaillierten Überblick über die Nutzung um den Standort.



Abbildung 5: Luftbild mit der Umgebung des Standortes

2.3 Orographie

Der Standort liegt auf einer Höhe von etwa 100 m über NHN. Die unmittelbare Umgebung ist im breit ausladenden Tal des Main orographisch kaum gegliedert. In Richtung Südosten erfolgt ein allmählicher Anstieg auf die Höhe des Schneckenberges mit knapp 150 m über NHN.

Die nachfolgende Abbildung verschafft einen Überblick über das Relief.

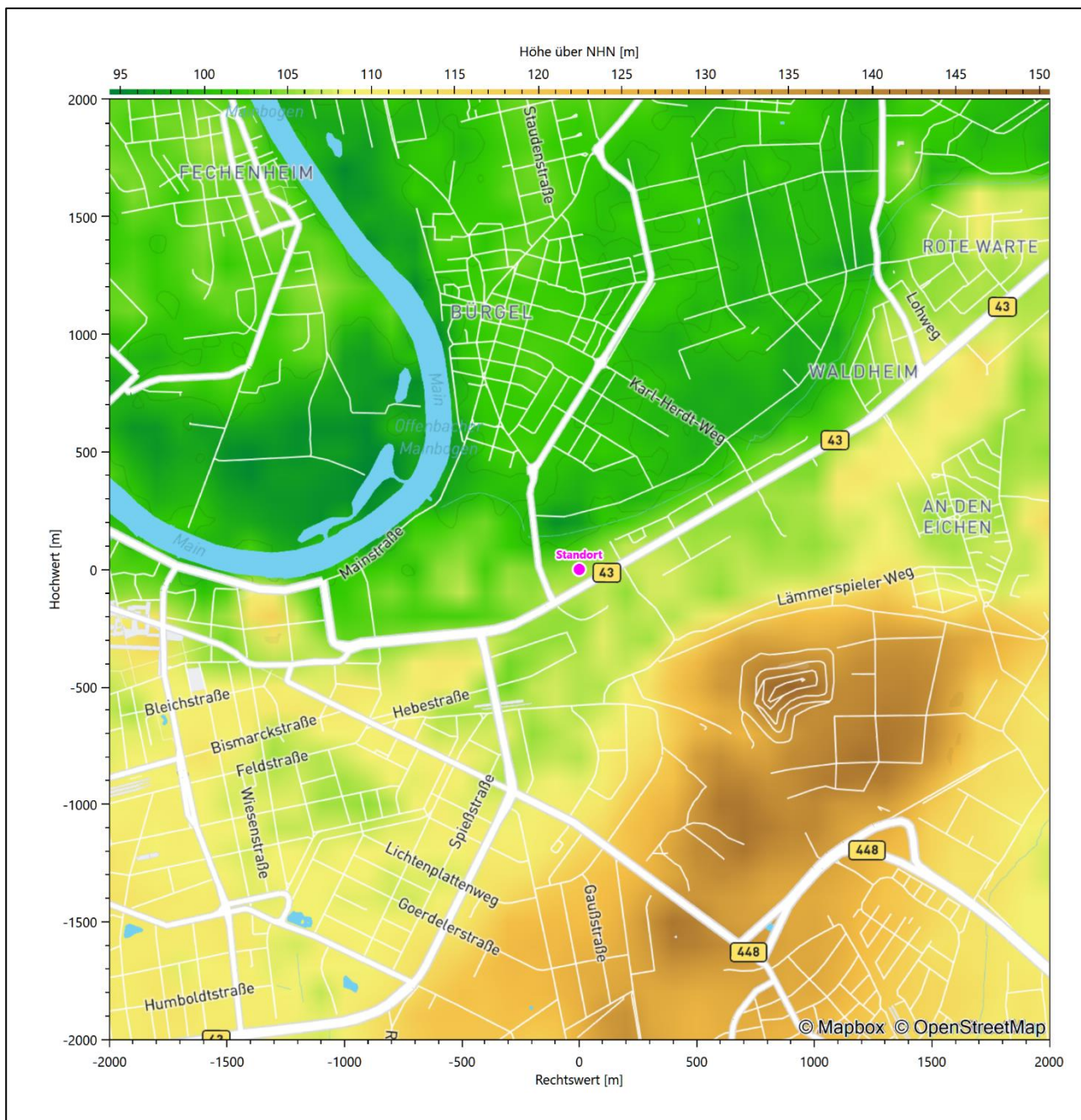


Abbildung 6: Orographie um den Standort

3 Kaltluftabflüsse und ihre Wirkung auf das städtische Mikroklima

3.1 Hintergrund

Das Phänomen der sogenannten lokalen Kaltluft nimmt in der Raum- und Stadtplanung eine große Bedeutung ein. Der Begriff „lokal“ impliziert dabei, dass es sich bei den Orten der Entstehung von Kaltluft, deren Ausbreitung und dem Ort der Einwirkung von Kaltluft um räumlich nahe gelegene Bereiche (innerhalb weniger Kilometer) handelt, die außerdem zu einem lokalklimatischen, zusammenhängenden Komplex gezählt werden können. Ein Beispiel dafür ist eine Großstadt, die von begrünten Hügeln umgeben wird. Großräumigere Effekte, bei denen thermische Windsysteme weit über diese Skala hinausgehen, beispielsweise auch Land-See-Windsysteme, werden nicht im Rahmen von lokaler Kaltluft betrachtet.

In VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 [2] wird der Ansatz, lokale Kaltluft als Planungsfaktor zu verstehen, auf eine physikalisch begründete Basis gestellt. Damit ergeben sich Möglichkeiten, lokale Kaltluft in die räumliche Gesamtplanung auf regionaler und kommunaler Ebene, d.h. in die Regionalpläne/Regionalen Raumordnungspläne sowie in die Flächennutzungs- und Bebauungspläne einzubeziehen.

Unter lokaler Kaltluft (im weiteren Verlauf dieses Dokuments Kaltluft genannt) versteht man nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 bodennahe Luft, die kälter als die ihrer Umgebung ist. Kaltluft wird entweder vor Ort auf Grund des Energieumsatzes an der Erdoberfläche gebildet oder durch kleinräumige Zirkulation herantransportiert. Kaltluftentstehung und -abfluss hängen von meteorologischen Verhältnissen, der Flächennutzung sowie von der Geländeform und -exposition ab.

3.2 Wirkung von Kaltluft auf das städtische Mikroklima

Kaltluft kann bei windschwachen, wolkenarmen Wetterlagen die nächtliche Lufttemperatur in Siedlungsgebieten herabsetzen. Lüfthygienisch unbelastete Kaltluft („Frischlufte“), die nach Überwindung der Randbebauung in Siedlungskörper eindringt, kann die dortige Luftqualität verbessern.

Diesen human-biometeorologisch positiven Effekte gilt es bei der Planung von Wohngebieten, aber auch von Industrie- und Gewerbegebieten, von Verkehrswegen, Kraftwerken usw. zu berücksichtigen und nutzbar zu machen. Ebenso besteht die Chance bzw. die Notwendigkeit, das Ausmaß der positiven Wirkungen der Kaltluft bei Sanierung und Umnutzung bereits bestehender Baugebiete und von Anlagen zu verstärken bzw. die Notwendigkeit, die Beeinträchtigung der positiven Wirkung der Kaltluft bei Erweiterung bestehender bzw. Planung neuer Baugebiete und Anlagen zu minimieren.

Aus physikalischer Sicht können der lokalen Kaltluft zwei unterscheidbare, positive Wirkungsweisen aus lufthygienischer Sicht zugeschrieben werden. Diese beiden Wirkungsweisen treten im Allgemeinen gemischt auf, können jedoch je nach Situation auch isoliert voneinander auftreten. Die folgenden Abschnitte geben detaillierte Hinweise dazu.

3.2.1 Abkühlende Wirkung

Die Wirkung bei dieser Betrachtungsweise liegt darin, dass Kaltluft von ihrem Entstehungsort außerhalb des Siedlungsgebietes in ein Siedlungsgebiet hinein verfrachtet wird und dort aufgrund der verminderten Lufttemperatur (deshalb spricht man von Kaltluft) eine Abkühlung hervorruft, die während sommerlicher Hitze in den Abendstunden und nachts als angenehm empfunden wird.

Maßgeblicher Parameter bei dieser Wirkung ist die Temperatur der herangeführten Kaltluft, genaugenommen die Temperaturdifferenz, um die sich die Kaltluft von der im Siedlungsgebiet vorherrschenden Temperatur unterscheidet.

Hierbei ist es wichtig zu verstehen, dass dieser Wirkungspfad primär unabhängig von der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft ist, da eine Abkühlung auch bei sehr langsam fließender Kaltluft stattfindet. Der Wirkungspfad ist nur sekundär an die Fließgeschwindigkeit gekoppelt, da durch eine höhere Fließgeschwindigkeit letztlich eine größere Menge an Kaltluft pro Zeiteinheit herangeführt wird.

Die Wirkung der Abkühlung durch Kaltluft ist häufig an Siedlungsrändern zu beobachten, nahe an den Entstehungsgebieten der Kaltluft.

3.2.2 Herbeiführung von Luftaustausch bei windschwachen Wetterlagen

Bei windschwachen Wetterlagen, meist noch in Kombination mit Inversionen, kommt es zu einem verminderten Luftaustausch in Siedlungsgebieten. Heiße, teilweise bereits mit Luftschadstoffen, Aerosolen und Gerüchen angereicherte Luft verbleibt dann im Siedlungsraum und belastet die sich dort aufhaltenden Menschen.

Kaltluftabflüsse zu solchen Terminen führen frische Luft heran, die die aufgeheizte und möglicherweise belastete Luft aus den Siedlungsräumen verdrängt. Primärer Effekt hierbei ist der Luftaustausch, wobei es nicht unbedingt erforderlich ist, dass die heranströmende Luft tatsächlich auch kälter ist als die Umgebung im Siedlungsgebiet. Allein durch die Strömung und Verdrängung wird ein positiver Effekt hervorgerufen. Dabei kommt hinzu, dass auch bewegte Luft mit gleicher Temperatur physiologisch das Gefühl einer Abkühlung hervorruft. Weiterhin wird durch bewegte Luftmassen auch ein Luftaustausch innerhalb von Gebäuden ermöglicht, wenn deren Fenster geöffnet sind. Der hier beschriebene Effekt wird häufig auch als das Durchlüftungspotenzial eines Siedlungsraumes bezeichnet.

Maßgeblicher Parameter bei dieser Wirkung ist die Geschwindigkeit und das Volumen der herangeführten Luftmassen, weniger deren Temperatur. Eine Kenngröße, die den Effekt gut beschreibt, ist die Kaltluftvolumenstromdichte.

3.2.3 Kombinierte Wirkung aus Abkühlung und Luftaustausch

Während die Abkühlung durch Kaltluft häufig an Siedlungsrändern zu beobachten ist, spielt der Luftaustausch infolge von strömenden Luftmassen in größeren Wirkräumen und in größerer Entfernung vom Entstehungsgebiet der Kaltluft eine Rolle. Dabei hat sich die Kaltluft in ihrer Temperatur schon der Umgebung angeglichen, jedoch ist sie aufgrund von strömungsdynamischen Effekten immer noch in Bewegung, beispielsweise, weil vom Entstehungsgebiet immer neue Kaltluft nachgeliefert wird.

In der Praxis treten beide Wirkungspfade häufig kombiniert auf. Dabei spielen sowohl die Abkühlung als auch der strömungsbedingte Luftaustausch eine Rolle. Für eine qualitative oder quantitative Bewertung ist es jedoch oft hilfreich, beide Effekte zu separieren und getrennt zu betrachten. Dazu werden im folgenden Abschnitt nähere Angaben gemacht.

3.3 Bewertungsmaßstab

VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 gibt verschiedene Grundlagen, um die fachgerechte Berücksichtigung des Themas Kaltluft in der Landschaftsrahmenplanung und Landschaftsplanung (regionale und kommunale Ebene) sowie

in Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) bzw. Umweltverträglichkeitsuntersuchungen (UVU) zu ermöglichen. Die dort aufgeführten methodischen und inhaltlichen Aussagen ermöglichen, formalrechtliche Qualität für die Zielsetzungen zum Thema lokale Kaltluft nach den Landesplanungsgesetzen der Länder, dem Baugesetzbuch (BauGB), den Naturschutzgesetzen des Bundes (BNatSchG) und der Länder, dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) sowie zahlreichen Fachgesetzen zu erreichen.

Die Notwendigkeit, das Phänomen Kaltluft in der Raumplanung zu berücksichtigen, ergibt sich u.a. daraus, dass die immissionsklimatische Qualität von Freiräumen, d.h. vor allem deren Nutzung, in deutlicher Wechselwirkung mit Kaltluftentstehung und Kaltluftabfluss steht. Auch reagieren bestimmte Freiraumnutzungen, wie Wein- und Obstbau, sensibel auf Kaltluft. Im Rahmen der Regional- und Bauleitplanung dürften allerdings eher positive Aspekte der Lufttemperaturminderung und der Wirkung auf die lufthygienische Belastung im Vordergrund stehen.

Zur Bewertung des Einflusses eines bestimmten Vorhabens auf die bioklimatische Wirkung von Kaltluft wird häufig ein Szenarienvergleich angestellt. Hierzu wird die Wirkung von Kaltluft im Ist-Zustand (Prognosenullfall) der Wirkung gegenübergestellt, die sich nach der Realisierung des Vorhabens einstellt. Die Wirkung wird möglichst anhand von numerischen Kennzahlen oder Indizes ausgedrückt, so dass ein unmittelbarer Vergleich möglich wird.

Beispiele für solche Kennzahlen sind die Temperaturdifferenz der Kaltluft, die Kaltluftmächtigkeit, die Kaltluftgeschwindigkeit oder das Produkt aus beiden, ausgedrückt als die Kaltluftvolumenstromdichte. Die Temperaturdifferenz dient dabei häufig als Kennzahl zur Bewertung der abkühlenden Wirkung von Kaltluft (Abschnitt 3.2.1), die Kaltluftgeschwindigkeit als Kennzahl zur Bewertung des Luftaustauschs bzw. des Durchlüftungspotenzials (Abschnitt 3.2.2).

Der hier vorliegende Untersuchungsgegenstand besteht im Hinblick auf bioklimatische Aspekte in der Prüfung, ob die Wärmeabgabe eines geplanten Rechenzentrums erhebliche Auswirkungen auf das durch bodennahe Kaltluft bestimmte bioklimatische Geschehen im Umfeld hat.

Mithin besteht das Vorhaben in der Veränderung der thermischen Energiebilanz nahe den Wirkungsgebieten (umliegende Siedlungsgebiete in Offenbach am Main). Da diese veränderte thermische Energiebilanz die Wirkung von Kaltluft möglicherweise beeinflusst, kann nicht von vornherein ausgeschlossen werden, dass es zu nachteiligen Veränderungen kommen kann (erhebliche Auswirkungen).

Um diese Veränderungen einschätzen zu können, muss die Ausbreitung der Kaltluft von den Entstehungsgebieten bis zu den Wirkungsgebieten unter Einfluss der betrachteten energetischen Besonderheiten und aller anderen topographischen Gegebenheiten physikalisch modelliert werden.

Als Ergebnis dieser Modellierung entsteht unter anderem eine orts aufgelöste, flächendeckende Angabe der Kaltlufttemperatur und der Kaltluftgeschwindigkeit. Die Wirkung des Vorhabens kann dann beurteilt werden, indem verglichen wird, wie sich der Effekt der Abkühlung und das Durchlüftungspotenzial vor und nach der Realisierung des Vorhabens im Vergleich darstellt.

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Szenarien

Wie im Abschnitt 3.3 beschrieben, erfolgt die Bewertung des Vorhabens dahingehend, dass ein Szenarienvergleich angestellt wird, bei dem die stadtklimatischen Wirkungen der Kaltluftabflüsse ohne und unter Einfluss der zu beurteilenden Wärmeabgabe gegenübergestellt werden. Die Gegenüberstellung erfolgt anhand der numerischen Bewertung von Kennzahlen (Kaltlufttemperatur und Kaltluftgeschwindigkeit), die den Effekt der Abkühlung und das Durchlüftungspotenzial beschreiben.

Die Modellierung der Kaltluftabflüsse wurde mit einer Reihe physikalisch-mathematischer Modelle durchgeführt, die im folgenden Abschnitt beschrieben sind. Neben der räumlich aufgelösten Ermittlung der Kaltluftgeschwindigkeit dient die Modellierung weiterhin der Erzeugung von Windfeldern, die eine Ausbreitungsrechnung für die emittierte Wärme (ähnlich Anhang 2 der TA Luft) unter Berücksichtigung von Kaltluftabflüssen erlauben.

4.2 Modellrechnungen

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurden verschiedene numerische Modelle eingesetzt. Dies waren im Einzelnen:

- Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit GRAMM
- Modellierung der Gebäudeumströmung durch Kaltluft mit MISKAM
- Modellierung des thermischen Auftriebs der emittierten Wärme mit PLURIS
- Modellierung der Ausbreitung der freigesetzten Wärmewolke mit LASAT

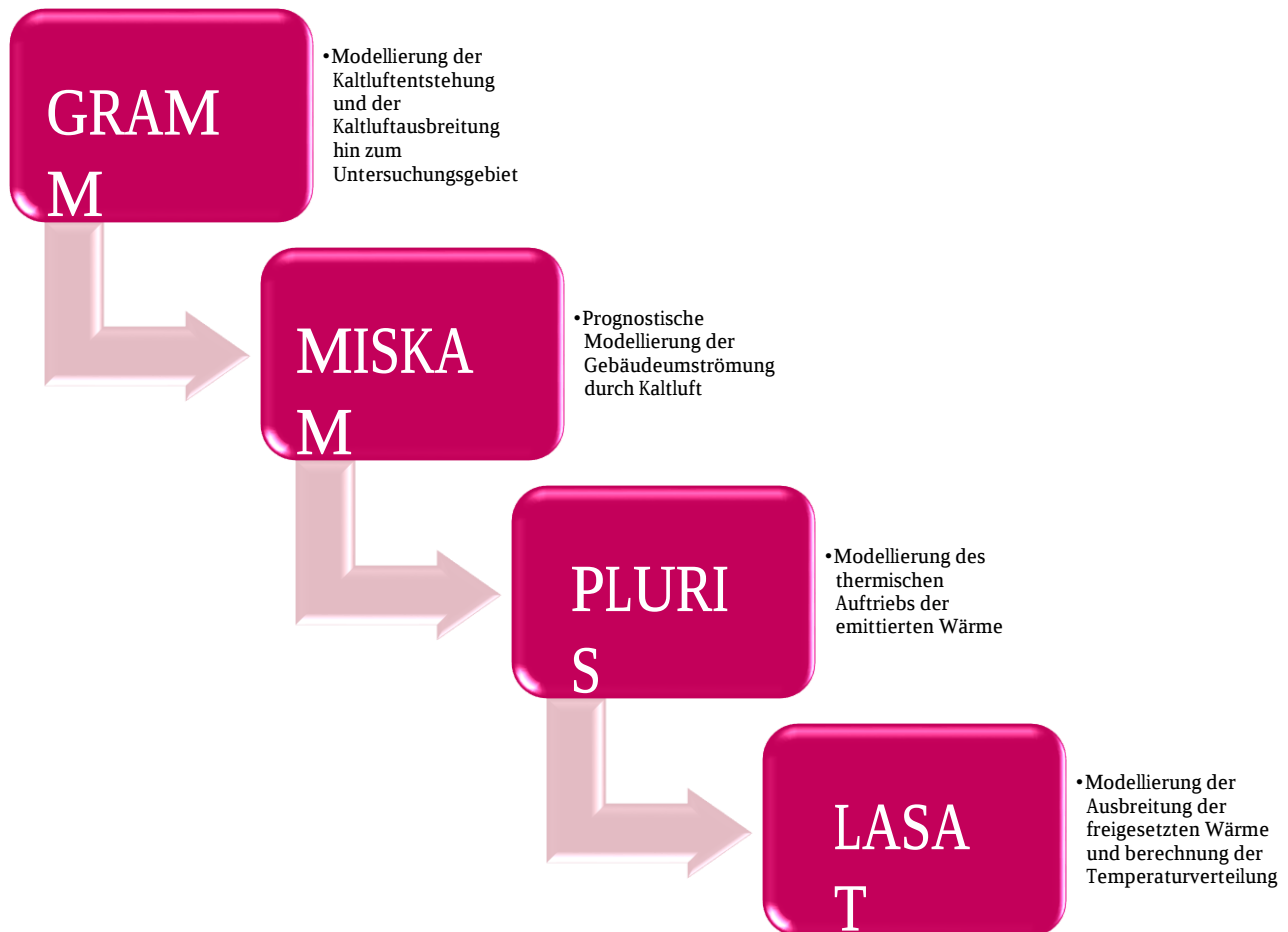


Abbildung 7: Schematischer Aufbau der Modellkette zur Bearbeitung der Aufgabenstellung

4.2.1 Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit dem prognostischen Windfeldmodell GRAMM

Im Gegensatz zu den diagnostischen Modellen werden in prognostischen Windfeldmodellen die strömungsdynamischen Grundgleichungen verwendet. Im Wesentlichen sind dies die Gleichungen für die

- Impulserhaltung (Bewegungsgleichung)
- Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung)
- Energieerhaltung (erster Hauptsatz der Thermodynamik)
- Erhaltungsgleichung für die Feuchte

Eine ausführliche Beschreibung der strömungsdynamischen Grundgleichungen findet sich z. B. in Pielke (2013) [3]. Der Gleichungssatz wird in den prognostischen Strömungsmodellen jedoch oft nicht vollständig

behandelt. Welche Prozesse in einem prognostischen Modell noch berücksichtigt werden, hängt im Wesentlichen von der Skala des betrachteten Problems, der geforderten Genauigkeit sowie der verfügbaren Rechnerleistung ab. Je nach Problemstellung ist es möglich, bestimmte Näherungen vorzunehmen und den Satz der zu lösenden Gleichungen damit zu reduzieren.

Die Lösungen des vollständigen Satzes der Grundgleichungen beinhalten sämtliche strömungsdynamischen Prozesse, die in der Atmosphäre auftreten können. Dazu gehören z.B. auch Schallwellen, die sich über Druckschwankungen aus der prognostischen Kontinuitätsgleichung ergeben.

Die sehr hohe Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen erfordert bei der numerischen Lösung der Grundgleichungen sehr kleine Zeitschritte und vervielfacht dadurch den Rechenaufwand. Da Schallwellen meteorologisch jedoch nicht relevant sind, versucht man sie als mögliche Lösungen der Differentialgleichungen auszuschließen. Dies geschieht durch eine Filterung, die z. B. dadurch erreicht werden kann, dass man lokale zeitliche Änderungen der Dichte gegenüber der Divergenz des Massenflusses vernachlässigt.

Die strömungsdynamischen Grundgleichungen können numerisch nicht an jedem Punkt und in beliebig kleinen Zeitschritten, sondern nur auf einem finiten Differenzengitter gelöst werden. Alle subskaligen Prozesse, d. h. Änderungen der Variablen in Bereichen, die kleiner als der Abstand des Rechengitters sind, werden hierdurch nicht erfasst. Deshalb versucht man, diese subskaligen Prozesse unter Verwendung geeigneter Verfahren zu parametrisieren. Hierzu spaltet man die Variablen in einen mittleren und einen fluktuierenden Anteil auf. So wird beispielsweise die Turbulenz als subskaliger Prozess in der Modellierung berücksichtigt, ohne dabei die Gitterabstände auf die Größenordnung der Turbulenzphänomene verringern zu müssen.

Für weitere Details zur prognostischen Windfeldmodellierung sei auf die Veröffentlichung von Pielke [3] verwiesen.

Die prognostische Windfeldberechnung zur Kaltluftmodellierung wird in Anlehnung an Verfahren und Parameter durchgeführt, die in VDI-Richtlinie 3783 Blatt 16 dargestellt sind. Der Anwendungsbereich dieser Richtlinie ist zwar die Modellierung von prognostischen Windfeldbibliotheken im steilen Gelände, jedoch können eine ganze Reihe von Vorgehensweisen auch angewendet werden, um Kaltluftabflüsse prognostisch zu modellieren.

VDI-Richtlinie 3783 Blatt 16 gibt nicht vor, welches prognostische, nicht-hydrostatische Modell zu verwenden ist. In der Fachwelt sind hierzulande verschiedene Modelle gebräuchlich:

- METRAS (Schlünzen)
- FITNAH (Groß)
- PROWIMO (Ingenieurbüro Lohmeyer)
- GRAMM (Amt der steiermärkischen Landesregierung)
- LM (Deutscher Wetterdienst)

Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Für den vorliegenden Fall wurde das Modell GRAMM [4] eingesetzt, das am Amt der steiermärkischen Landesregierung entwickelt wurde und nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 evaluiert ist. Einzelheiten dazu, wie die prognostische Modellierung von Kaltluftabflüssen mit GRAMM geschieht, sind in der Dokumentation des Softwarepakets [4] nachzulesen.

4.2.2 Modellierung der Gebäudeumströmung durch Kaltluft mit MISKAM

MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) [5] wurde zur Berechnung von Konzentrationsfeldern in der unmittelbaren Umgebung von Gebäuden entwickelt und ist in der Lage, die komplexe Struktur von Siedlungsgebieten zu berücksichtigen. Typische Anwendungen finden sich beispielsweise im Bereich der Verkehrs- und Stadtplanung. MISKAM ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur Prognose von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in bebautem Gelände. Die Strömung im Umfeld von Gebäuden kann mit hoher Auflösung modelliert werden. Unterschiedlichste Emissionsquellen (Punktquellen, Linienquellen) werden berücksichtigt.

Hier wurde MISKAM eingesetzt, um die zu erwartenden Strömungsfelder um die Gebäudekomplexe im Untersuchungsgebiet zu berechnen. Als Antriebsdaten wurden dabei die großräumigen Strömungsfelder verwendet, die zuvor mit dem Modell GRAMM als Kaltluftabflüsse modelliert wurden.

4.2.3 Modellierung des thermischen Auftriebs der emittierten Wärme mit PLURIS

Als Fahnenüberhöhungsmodell beschreibt PLURIS [6] die Auswirkung der dynamischen Eigenschaften der Abluft (Impuls-, Temperatur- und Feuchtedifferenz zur Umgebungsluft) auf den mittleren Verlauf der Fahnenachse. Nach der Freisetzung wird Umgebungsluft in die Fahne eingemischt, so daß sich die über den Fahnenquerschnitt gemittelten Parameter wie Impuls, Temperatur und Feuchte sowie der Fahnenradius ändern. Dies führt im Vergleich zu einer passiven Freisetzung zu einem anderen Verlauf der Fahnenachse und zu einer Vergrößerung des Fahnenradius.

Mit dem Fahnenüberhöhungsmodell PLURIS können die für die Festlegung von Überhöhung und zusätzlicher Aufweitung in einem Ausbreitungsmodell (hier LASAT als Partikelmodell nach VDI 3945 Blatt 3) notwendigen Parameter ermittelt werden. Es kann auch direkt für bestimmte Immissionsabschätzungen und – im Fall von Kühlturmschwaden – für Abschätzungen der Sichtbarkeit kondensierter Wasserdampfschwaden eingesetzt werden. Der sonst für die Abgasfahnenüberhöhung eine wichtige Rolle spielende Feuchtegehalt wurde hier nicht zum Ansatz gebracht, da die Wärmeemission in Zusammenhang mit dem hier betrachteten Bauvorhaben als „trockene Wärme“ emittiert wird.

4.2.4 Modellierung der Ausbreitung der freigesetzten Wärmewolke mit LASAT

Anhand der modellierten Windfelder (enthalten Kaltluftentstehung, Kaltluftabflüsse, Gebäudeumströmung, thermischen Auftrieb) ist es möglich, die Ausbreitung der emittierten Wärme in die Umgebung zu berechnen. Da die pro Luftvolumenelement enthaltene Wärmemenge unmittelbar zu einer Temperaturerhöhung führt, kann auf diese Weise ein Temperaturfeld berechnet werden. Dies lässt sich visualisieren, um für jeden Punkt im Umfeld des Bauvorhabens zu ermitteln, zu welchen Temperaturerhöhungen die geplante Wärmeabgabe führt. Die dazu notwendige Ausbreitungsrechnung wurde mit dem Modell LASAT [7] durchgeführt.

4.3 Eingangsdaten

4.3.1 Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit GRAMM

Als Modellgebiet zur Kaltluft-Modellierung wurde ein Bereich mit den Abmaßen 24 km x 24 km angesetzt. Für die horizontale Auflösung wurde mit 50 m gerechnet, vertikal wurden 64 Ebenen festgelegt, wobei in Bodennähe (bis 30 m über Grund) die Auflösung 1 m betrug und nach oben vergrößert wurde. Die Orographie

wurde orts aufgelöst als Digitales Höhenmodell berücksichtigt, die Topografie über orts aufgelöste CORINE-Landnutzungsklassen [1] mit zugehöriger Bodenrauigkeit nach TA Luft.

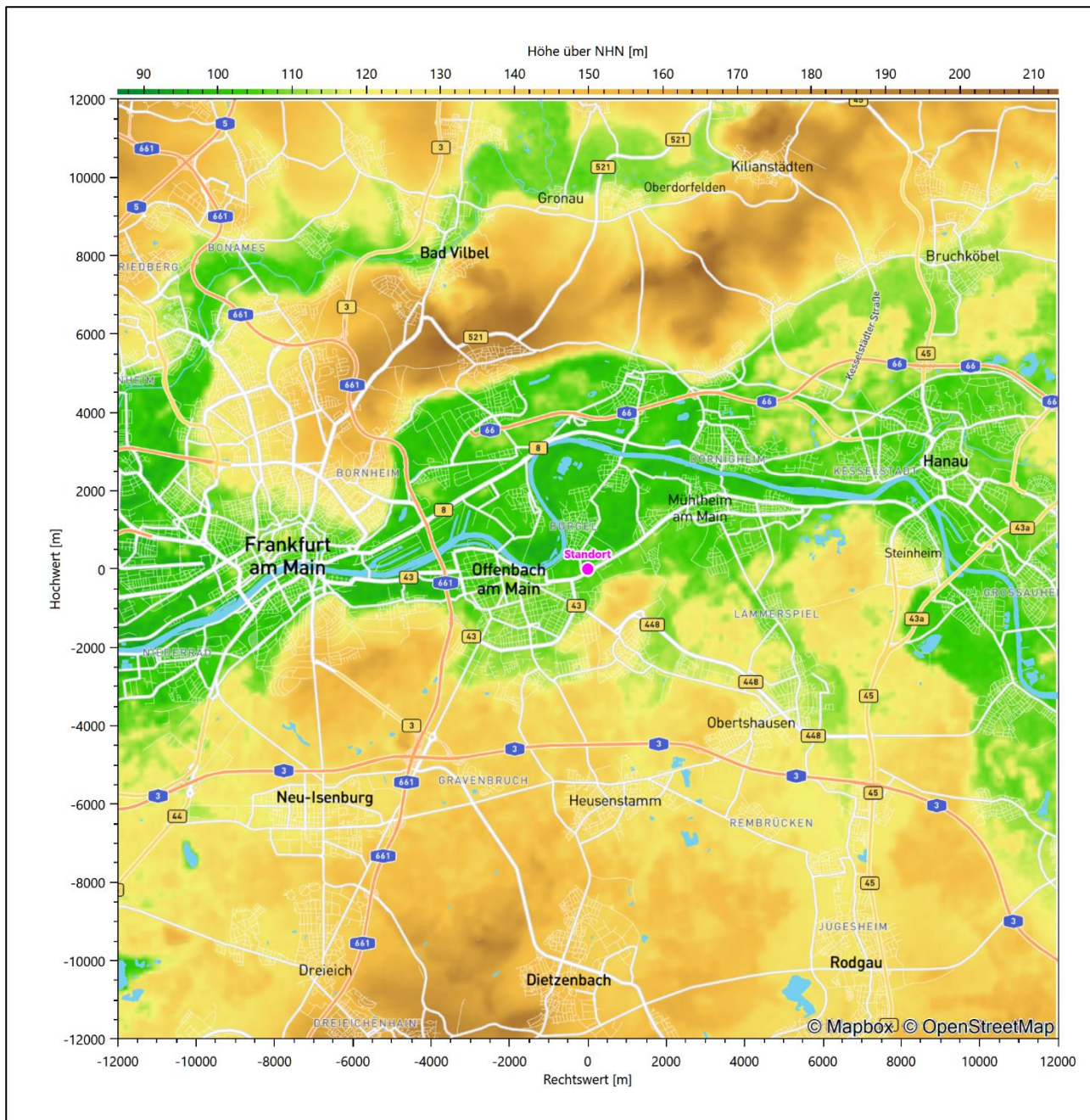


Abbildung 8: Orographie als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung

4.3.2 Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung

Im Gegensatz zum großen Modellgebiet zur Kaltluftberechnung wurde das Untersuchungsgebiet zur Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung kleiner ausgelegt. Es sollte das Bauvorhaben, umliegende Gebäude und die nahe gelegene Wohnbebauung als schützenswerte Siedlungsgebiete umfassen.

Als Untersuchungsgebiet wurde ein Bereich mit den Abmaßen 1000 m x 1000 m angesetzt. Für die horizontale Auflösung wurde mit 2 m gerechnet, vertikal wurden 65 Ebenen festgelegt, wobei in Bodennähe (bis 30 m über Grund) die Auflösung 1 m betrug und nach oben vergrößert wurde.

Die folgende Grafik zeigt das Untersuchungsgebiet.



Abbildung 9: Untersuchungsgebiet zur Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung

4.3.3 Thermische Angaben zum Bauvorhaben

Die folgenden Angaben zur geplanten Wärmeabgabe wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Das Rechenzentrum wird in der dritten Ausbaustufe mit einer IT-Nennleistung von 90 MW betrieben. Die Kühlaggregate sind insgesamt für eine Kühlleistung von 98,6 MW ausgelegt. Der letztere Wert wird vorsorglich als Wärmeemission angesetzt, wobei er im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht erreicht wird. Es kann davon ausgegangen werden, dass über die auf diese Weise geschaffene Sicherheitsreserve in Höhe von 8,6 MW der installierten Leistung alle weiteren Wärmeproduzenten wie Transformatoren, Büros und weitere Nebenanlagen ebenfalls berücksichtigt sind.

Auf dem Gebäude wird die wärmetragende Abluft auf dem Dach 68 Kühlaggregate in 25 m über Grund an die Atmosphäre abgegeben. Die folgende Abbildung zeigt die Anordnung der Aggregate auf dem Gebäude.

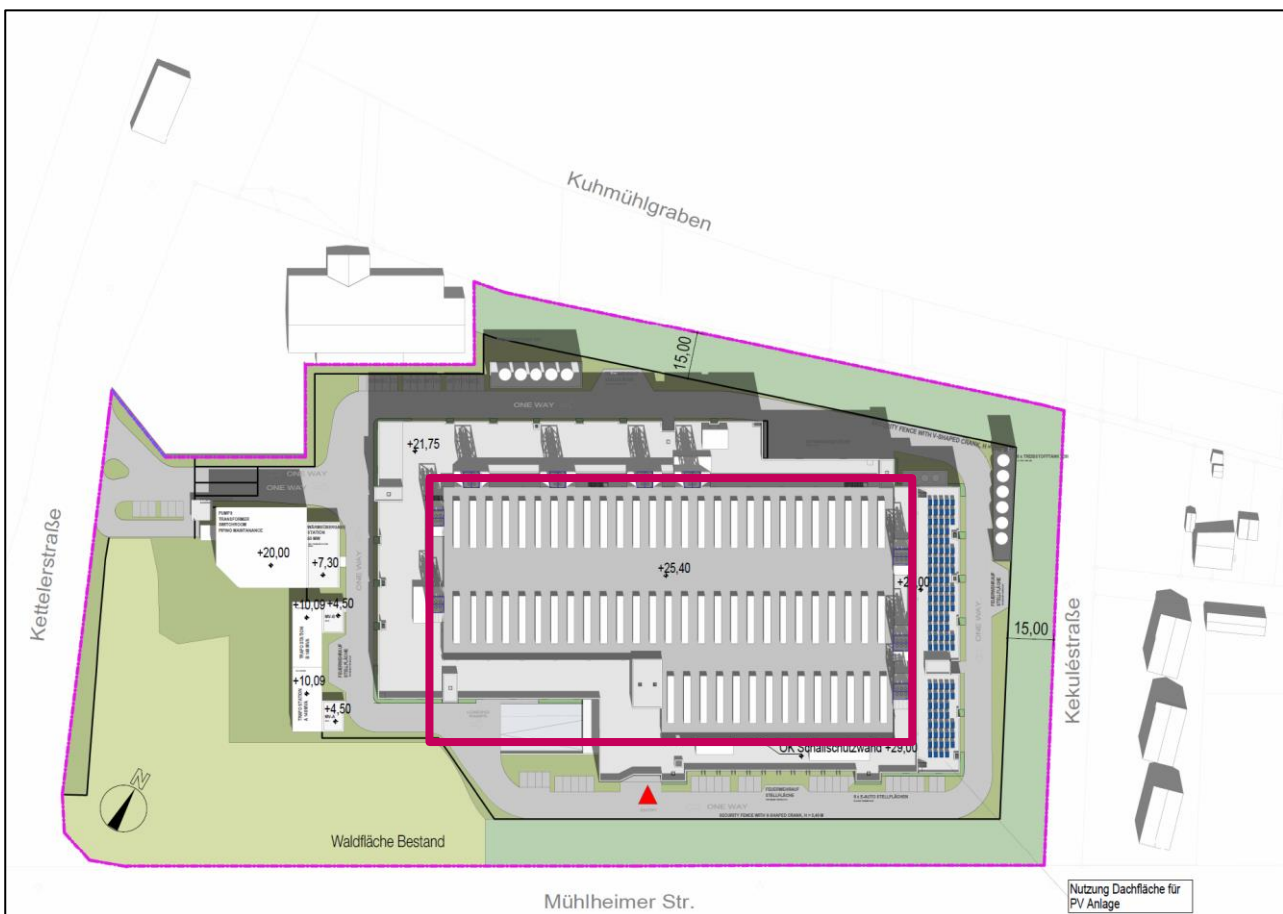


Abbildung 10: Anordnung der wärmeemittierenden Kühlaggregate auf dem Gebäude, violett umrahmt

Zur Betrachtung möglicherweise negativer Einflüsse auf die schützenswerten Kaltluftströme wird der ungünstigste regelmäßig eintretende Fall angenommen. Dies ist der Normalbetrieb mit seinen Emissionen aus den Kühlern auf dem Dachgeschoss. Unter der Maßgabe, dass der Probebetrieb der Notstromaggregate nicht nachts stattfindet, hat dieser keinen Einfluss auf nächtliche Kaltluftabflüsse und kann für die hier betrachteten Situationen vernachlässigt werden. Der Notstrombetrieb zur kompletten Versorgung des Rechenzentrums kann als seltenes Ereignis angesehen werden, das nicht regelmäßig eintritt und für die Charakterisierung des bestimmungsgemäßen Betriebs nicht heranzuziehen ist.

Die nachfolgende Übersicht listet die Wärmeemissionen in den Betriebsphasen auf und charakterisiert ihre Emissionsgeometrie.

Tabelle 2: Wärmeabgabe des Rechenzentrums nach Betriebsphasen

Betriebsphase	Bereich	Wärmeabgabe (MW)	Emissionsort	Zu berücksichtigen
Normalbetrieb	Kühler	98,6	Dachgeschoss	ja
Probetrieb	Abgase, Kühlung			nein
Notstrombetrieb	Abgase, Kühlung			nein

4.3.4 Geometrie der Emissionsorte

Die im Bereich des Dachgeschosses emittierenden Quellen werden als Flächenquelle in 25 m Höhe über Grund angesetzt, die horizontal der Grundfläche der Quellen - wie in Abbildung 10 gekennzeichnet - entspricht.

4.4 Beurteilungspunkte

Gemäß der Aufgabenstellung soll bewertet werden, inwieweit bodennahe Kaltluftabflüsse als wesentliches Merkmal des städtischen Bioklimas nachteilig beeinflusst werden. Daraus ergibt sich, dass die Orte zu betrachten sind, an denen die bodennahen Kaltluftabflüsse ihre Wirkung entfalten. Wenn sich dort keine nachteiligen (und damit erheblichen) Auswirkungen nachweisen lassen, ist die Aufgabenstellung erfüllt.

Aus Gründen der Plausibilität wird erwartet, dass sich die Auswirkungen am stärksten dort zeigen, wo die Entfernung zum Bauvorhaben am kleinsten ist. Geht aus diesen Betrachtungen auch noch hervor, dass in größerer Entfernung keine dem Ausmaß nach größeren Auswirkungen zu erwarten sind, ist generell die Auswirkung auf das Kaltluftgeschehen als nicht erheblich einzuschätzen.

Als Beurteilungspunkte mit den am stärksten zu erwartenden Auswirkungen werden die Wohnhäuser jenseits der Kekulestraße etwa 30 m östlich des Bauvorhabens, jenseits der Mühlheimer Straße etwa 30 m südlich des Bauvorhabens und an der Hanauer Straße etwa 270 m nördlich des Bauvorhabens. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Beurteilungspunkte im Luftbild.

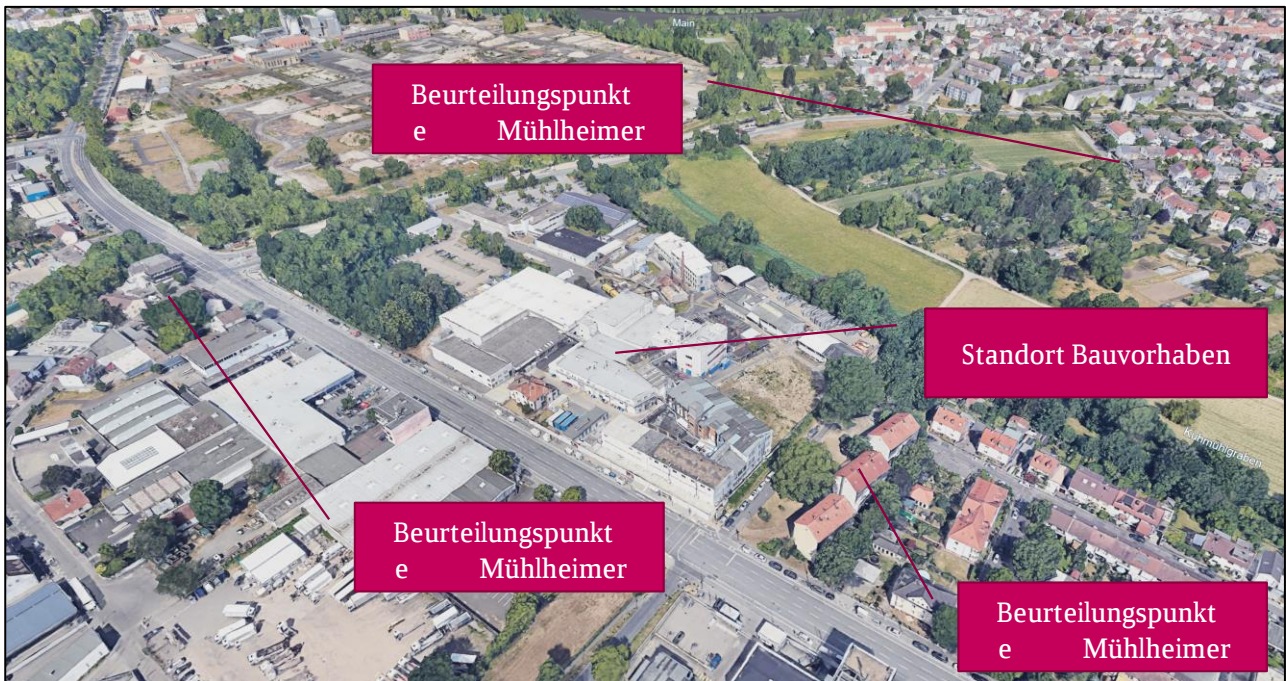


Abbildung 11: Lage der Beurteilungspunkte (Luftbild: Google Earth)

5 Ergebnisse und Bewertung

5.1 Großräumige Kaltluftabflüsse im Modellgebiet

Die nachfolgende Abbildung zeigt die modellierten Kaltluftabflüsse im Modellgebiet. Dabei wird eine strahlungsarme Nacht ohne übergeordneten Wind angenommen, um die Effekte der Kaltluftabflüsse möglichst ungestört untersuchen zu können. Es wurde festgestellt, dass sich nach etwa sechs Stunden ein stationärer Zustand einstellt, in dem sich die typischen Parameter wie Kaltluftmächtigkeit und Kaltluftgeschwindigkeit nicht mehr signifikant ändern. Praktisch bedeutet dies, dass sich ein Gleichgewicht zwischen Kaltluftentstehung, Kaltluftabfluss und Kaltluftaufzehrung eingestellt hat.

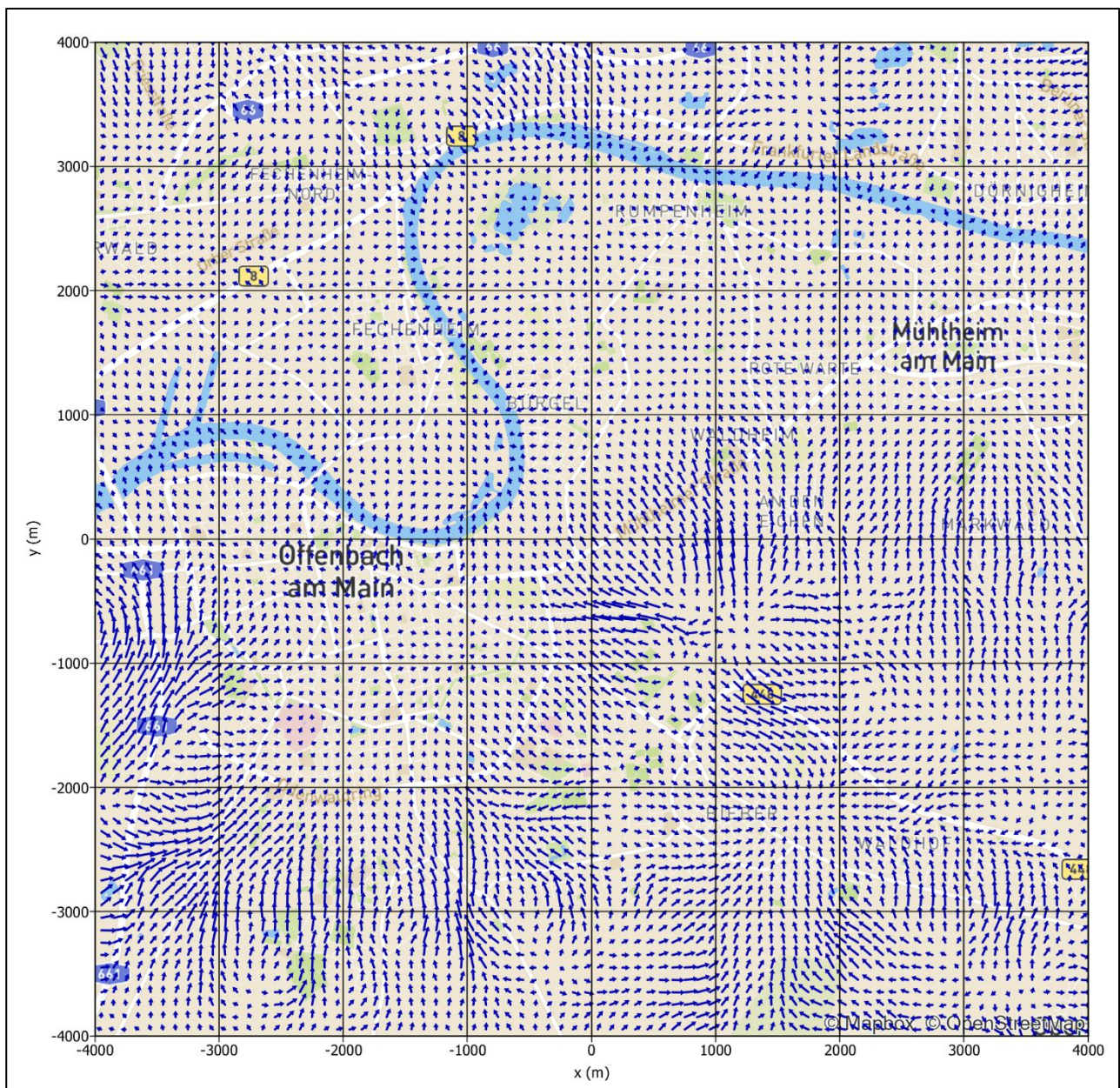


Abbildung 12: Ungestörte Kaltluftströmung im Modellgebiet ohne Berücksichtigung von Bebauung

Zum besseren Verständnis der Strömungsverhältnisse ist nachfolgend die Orographie im selben Maßstab dargestellt.

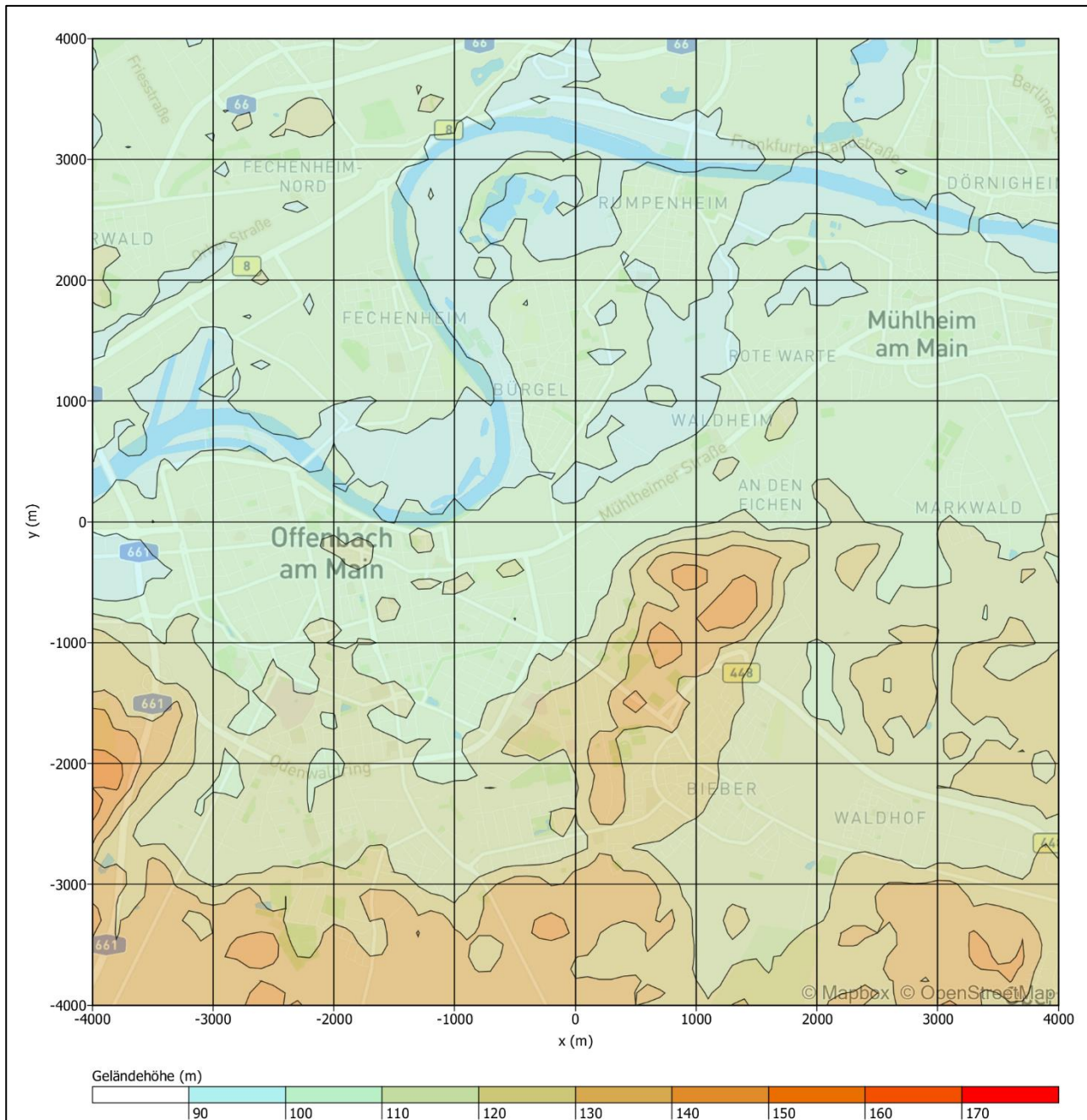


Abbildung 13: Orographie zur Modellierung von Kaltluftabflüssen

Die Visualisierung der Kaltluftströmung zeigt unterschiedliche Verhältnisse im nördlichen und südlichen Teil des Untersuchungsgebietes, etwa getrennt durch den Verlauf der Mülheimer Straße.

Um die südlich gelegenen Höhen bilden sich klar jeweils hangabwärts gerichtete Kaltluftströme aus. Dem großräumigen Relief folgend fließen diese etwa in nordwestlicher Richtung auch über das beplante Gelände für das Rechenzentrum (Koordinaten 0, 0). Insbesondere vom südöstlich gelegenen Schneckenberg, der begrünt und damit ein guter Kaltluftproduzent ist, strömt die Kaltluft hin zur Niederung des Mains über das beplante Gelände hinweg mit Geschwindigkeiten bis zu etwa 0,5 m/s.

Im nördlichen Teil, hauptsächlich im Gebiet der Mainniederung selbst, liegen keine gerichteten dominanten Kaltluftströme vor. Dort fließen über dem Main die Kaltluftströme von den umliegenden Hängen zusammen,

werden durch die Wärmespeicherung des Gewässers zum Teil aufgezehrt und kommen nahezu zum Stillstand (Fließgeschwindigkeiten um 0,05 m/s). Schließlich stellt sich eine schwache Strömung mainabwärts ein.

Die Entstehungsgebiete der Kaltluft (Hanglagen südlich des Standortes, insbesondere Schneckenberg) weisen Kaltluftmächtigkeiten von bis zu etwa 5 m auf. Da Kaltluft dort gerade erst entsteht und aufgrund der Hanglage schnell abfließt, kommt es nur in einzelnen Tallagen zu größeren Mächtigkeiten als etwa 10 m.

Wenn die abfließende Kaltluft in die Siedlungsgebiete um die Mühlheimer Straße eindringt, kommt es einerseits zu einem Rückstau aufgrund der im bebauten Bereich kleineren Fließgeschwindigkeit. Zudem fällt in den benannten Siedlungsbereichen die Hangneigung weg, so dass sich die Kaltluft aufgrund wegfallender Hangabtriebskraft weiter verlangsamt und zum Teil auftürmt. Im Bereich des beplanten Geländes liegt die Kaltluftmächtigkeit bei etwa 15 m.

Die vorangehend gezeigten Strömungsfelder wurden großräumig modelliert, um Antriebsfelder für die kleinräumige Untersuchung zu bekommen, die nachfolgend beschrieben ist und die Bebauung berücksichtigt.

5.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet

Ausgehend von den großräumig simulierten Kaltluftabflüssen im Modellgebiet (Auflösung 50 m zur Erfassung von Gelände und Landnutzung) wurde im Untersuchungsgebiet eine räumlich feiner aufgelöste Betrachtung durchgeführt (Auflösung 2 m zur zusätzlichen Erfassung von Bebauung und umströmten Hindernissen).

Die im vorigen Abschnitt großräumig visualisierten Daten sind im nachfolgend für das Untersuchungsgebiet im Ausgangszustand (derzeitige Bebauung) in feinerer Auflösung dargestellt. Es wird wiederum die stationäre Situation nach sechs Stunden Kaltluftabfluss in einer Höhe von 5 m über Grund betrachtet.

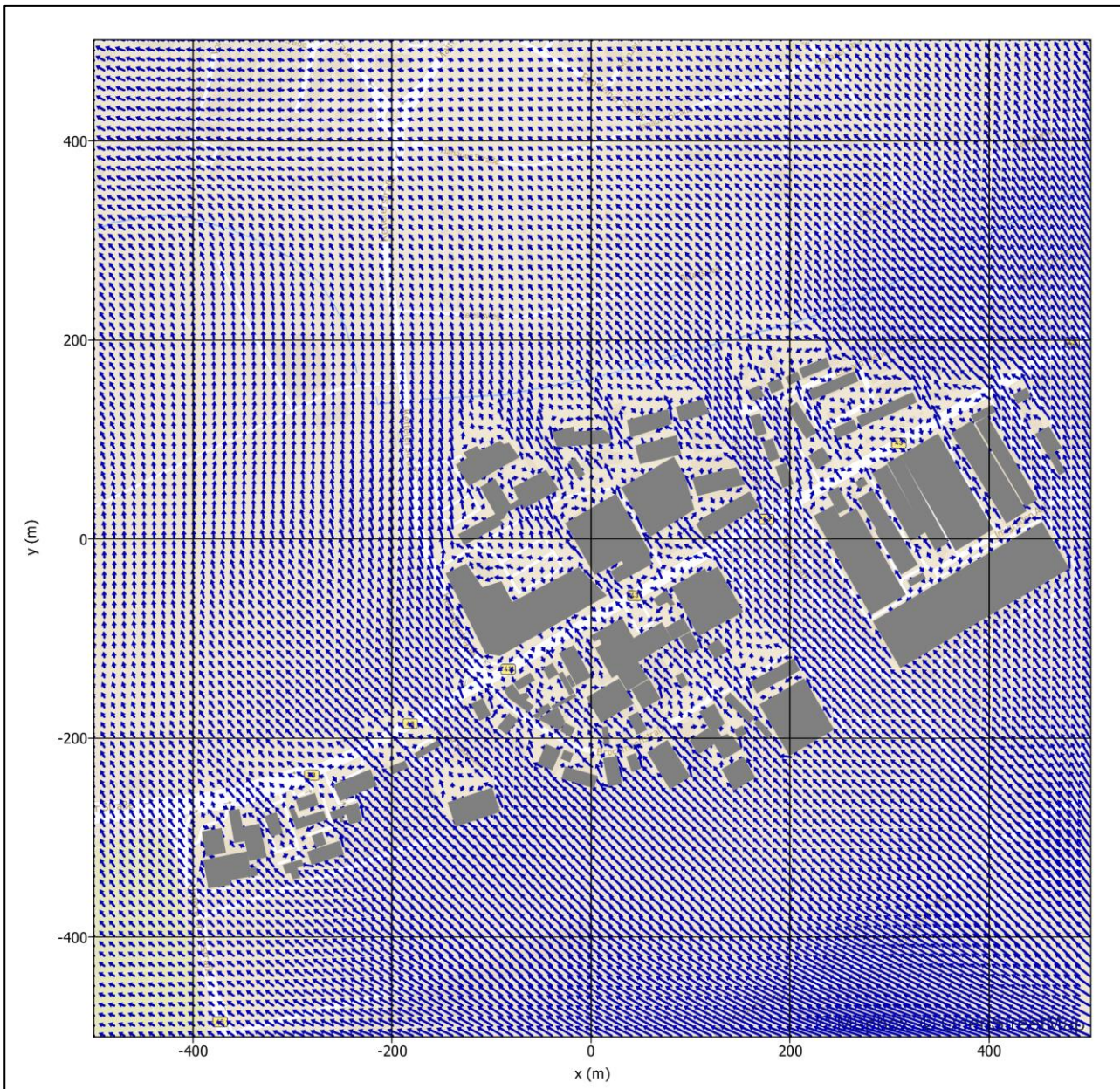


Abbildung 14: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet bei Umströmung der bestehenden Baukörper

Im gesamten Untersuchungsgebiet ist wieder eine vorherrschende Strömung vom Kaltluftentstehungsgebiet um den Schneckenberg nach Nordwesten hin zum Flusslauf des Maines zu beobachten, die nördlich des beplanten Geländes (Koordinaten 0/0) durch den Kuhmühlgraben als Kaltluftflussbahn leicht nach Westen hin kanalisiert wird. Die nahezu komplett mit Baukörpern und Bewuchs belegten Bereiche südlich der Mühlheimer Straße sorgen bereits bei Anströmung der Kaltluft auf das beplante Gelände für eine deutliche Wirbelbildung in der Mühlheimer Straße, die wie alle Straßenzüge als Kaltluftleitbahnen zwischen der teils dichten Bebauung dient.

Die Mächtigkeiten liegen in diesem Bereich zwischen 10 m und 15 m. Dieser Sachverhalt wird wichtig im Hinblick auf die Höhenverhältnisse bei der Wärmeabgabe. Schon jetzt lässt sich erkennen, dass die betrachtete Wärmeemission durch das Rechenzentrum deutlich oberhalb der Kaltluftschicht abgegeben wird (25 m über Grund). Wie sich später durch die Modellergebnisse belegen lässt, kommt es aufgrund dieser Tatsache

zu keiner Vermischung der bodennahen Kaltluftströme (unterhalb von 15 m) mit der in 25 m abgegebenen Wärme.

5.3 Szenarienvergleich: Betrachtung der Kaltluftgeschwindigkeit

Die Kaltluftgeschwindigkeit als wesentlicher Parameter für den Luftaustausch wurde in Abschnitt 3.2.2 als einer der Kernparameter herausgearbeitet, die für eine Beurteilung der Wirkung von Kaltluftströmen auf das städtische Bioklima wichtig ist. Die Bewertung wird dabei an einem Vergleich von Szenarien vorgenommen, wobei einmal vom gegenwärtigen Zustand des beplanten Geländes (Variante 1), mit Errichtung der Baukörper (Variante 2) und mit Berücksichtigung der zu bewertenden Wärmeabgabe (Variante 3) ausgegangen wird.

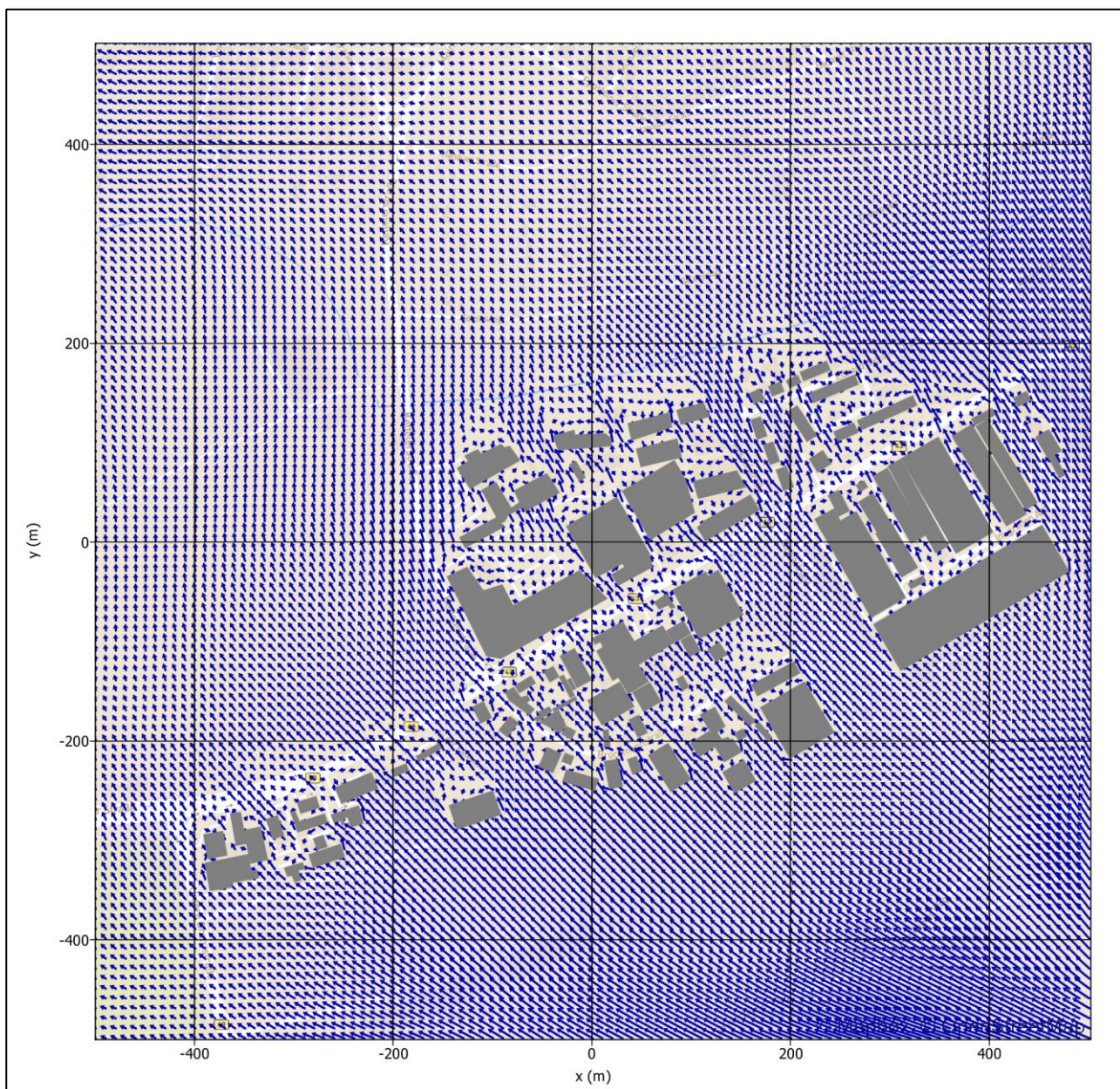


Abbildung 15: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)

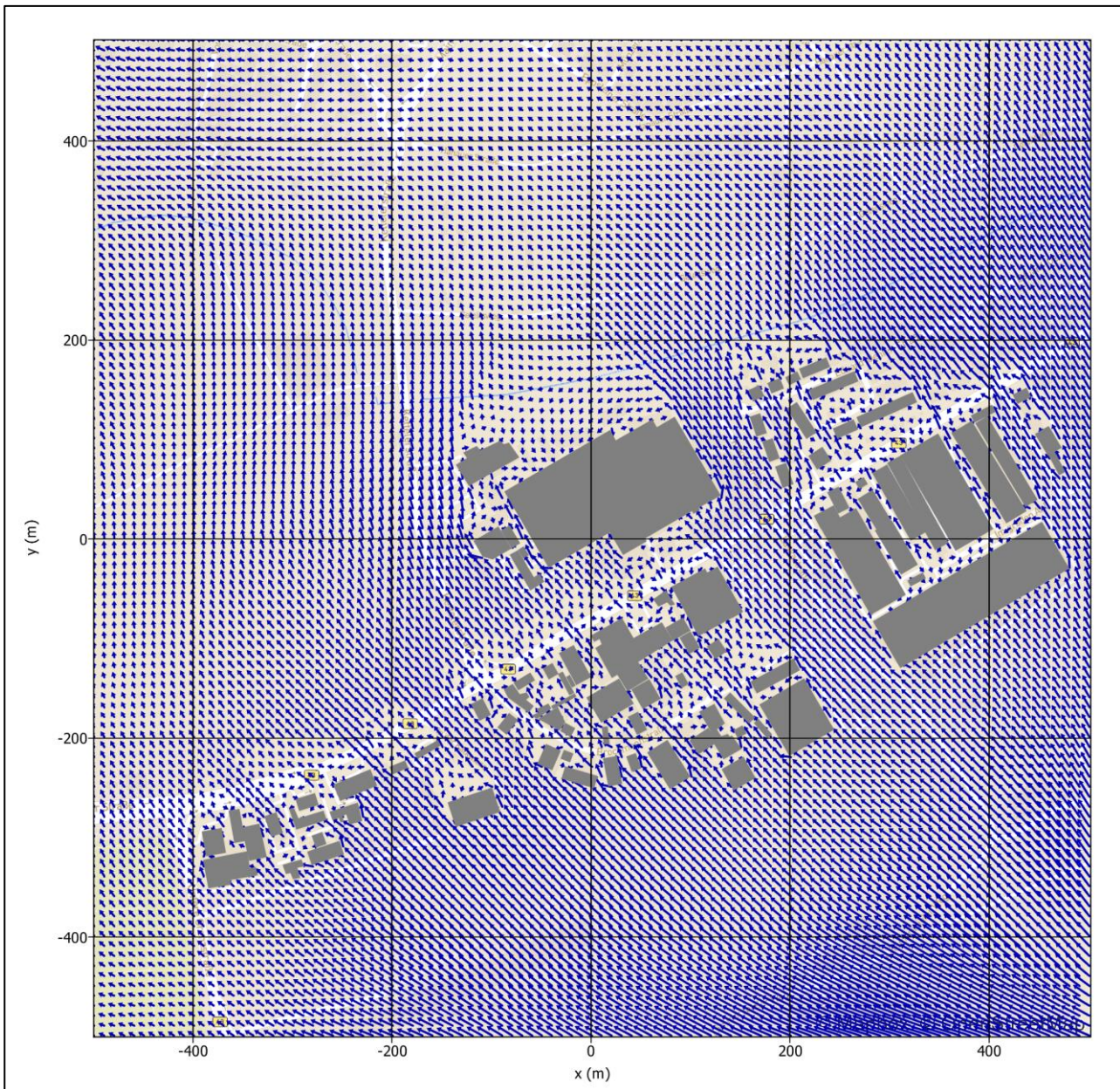


Abbildung 16: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)

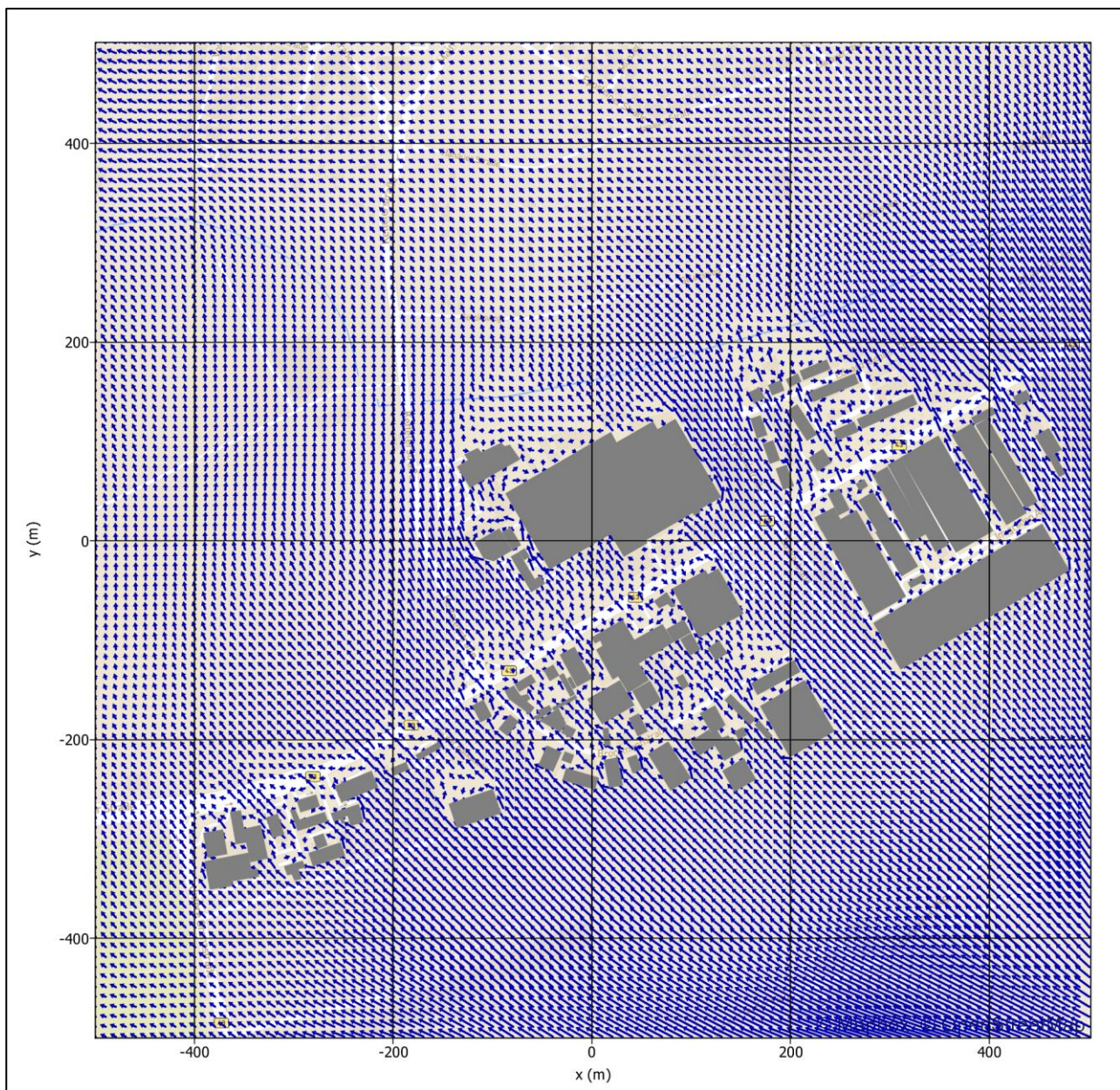


Abbildung 17: Kaltluftströmung im Untersuchungsgebiet mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)

Ein Vergleich der Abbildungen zu Variante 1, 2 und 3 liefert an den Beurteilungspunkten keine wahrnehmbaren Unterschiede in Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Lediglich um das Bauvorhaben selbst, insbesondere im Lee-Bereich, kommt es zu etwas größeren lateralen Windgeschwindigkeiten und zu einer Verringerung der Rezirkulation, da die mit dem Auftrieb nach oben abströmende Luft aus den bodennahen Schichten nachgeführt wird.

Dieser Sachverhalt ist plausibel, da in den Abbildungen das bodennahe Windfeld (etwa 5 m über Grund) dargestellt ist. In diesem Höhenbereich hat eine Wärmeabgabe oberhalb von 25 m Höhe im beantragten Ausmaß offenbar keine weiteren Auswirkungen an den Beurteilungspunkten.

Um Auswirkungen unmittelbar an den Beurteilungspunkten zu erkennen, werden diese nachfolgend in vergrößerten Ausschnitten und mit Angabe der lokalen Windgeschwindigkeit in m/s dargestellt.

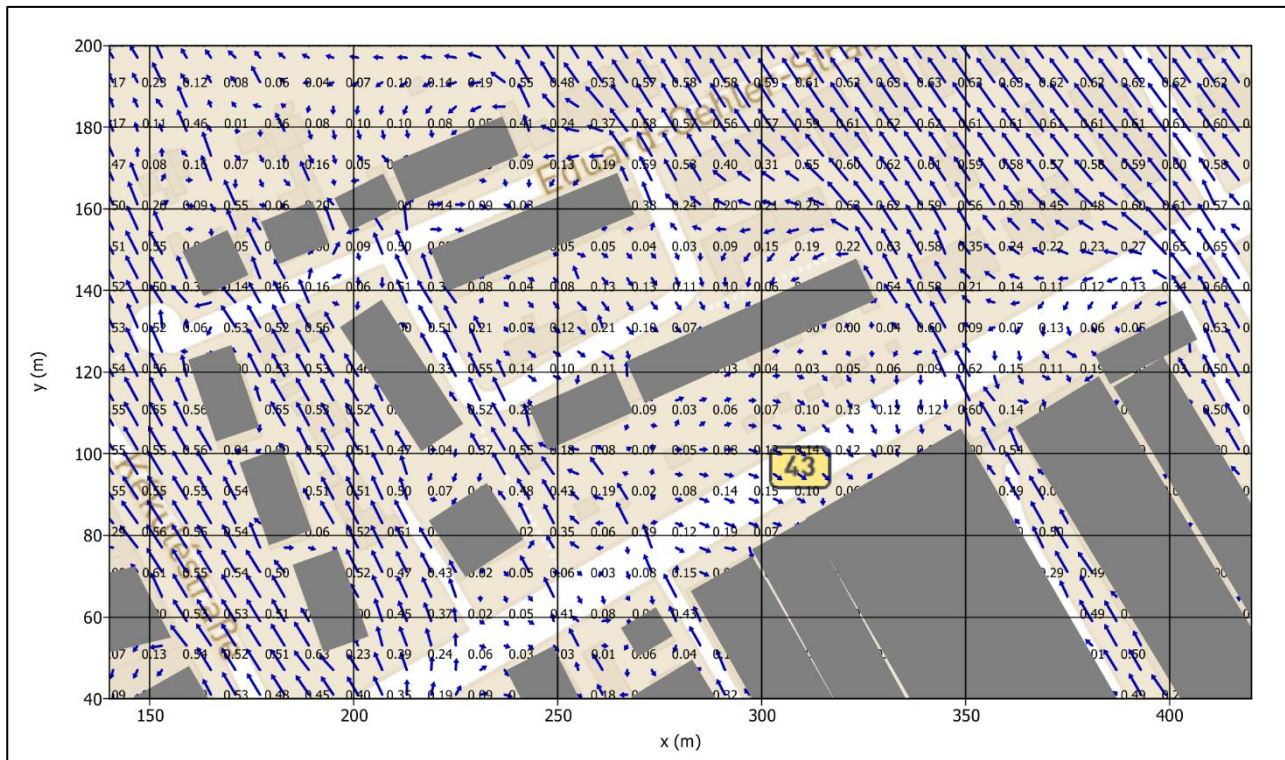


Abbildung 18: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Kekulestraße im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)

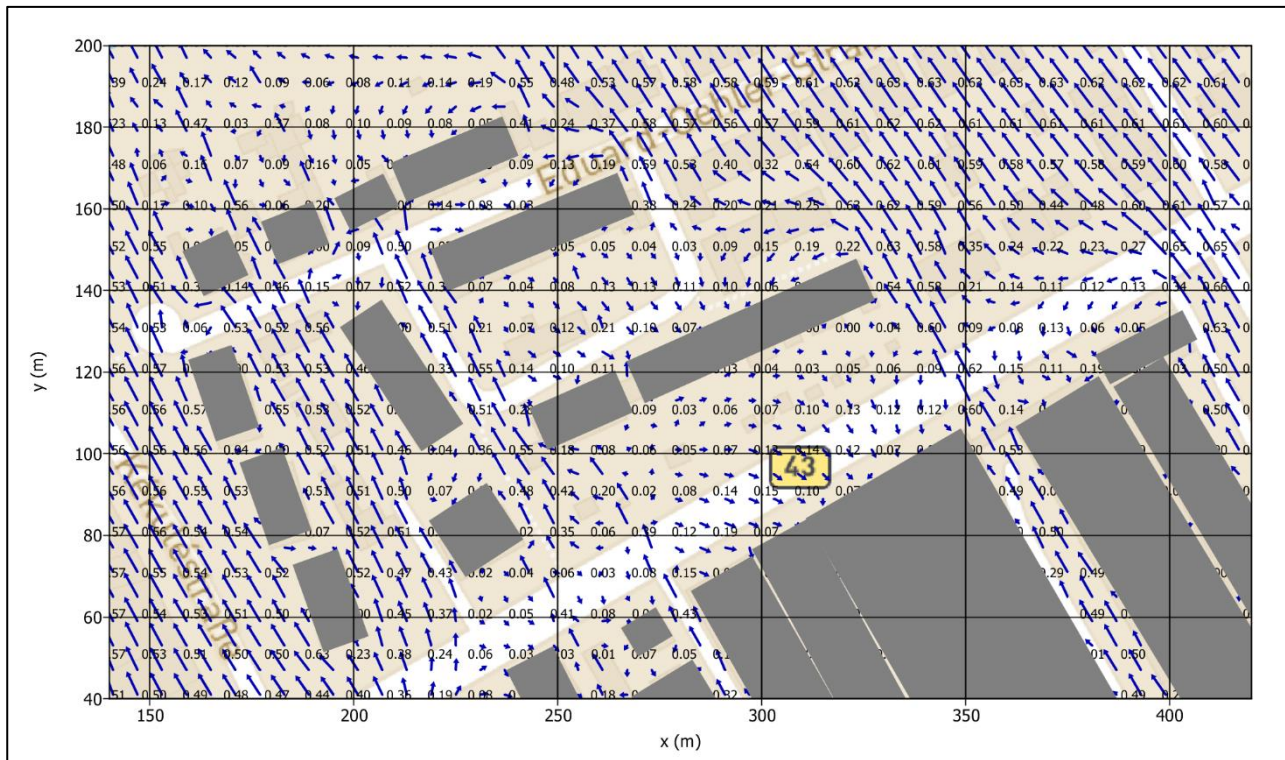


Abbildung 19: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Kekulestraße nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)

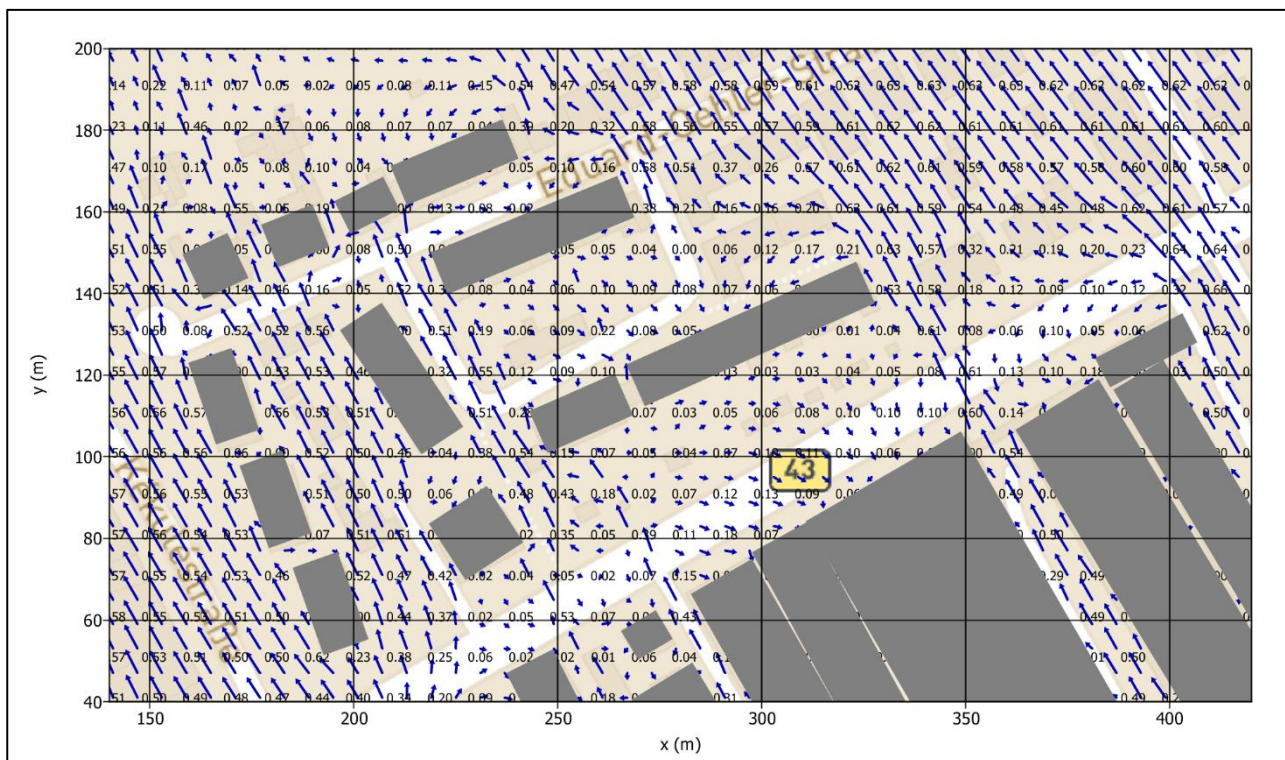


Abbildung 20: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Kekulestraße mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)

Für die zu beurteilende Wohnbebauung jenseits der Kekulestraße ändern sich die Strömungsverhältnisse und die Windgeschwindigkeiten lediglich im Bereich von 0,01 m/s, was in der Größenordnung der Modellungenauigkeit liegt und praktisch irrelevant ist.

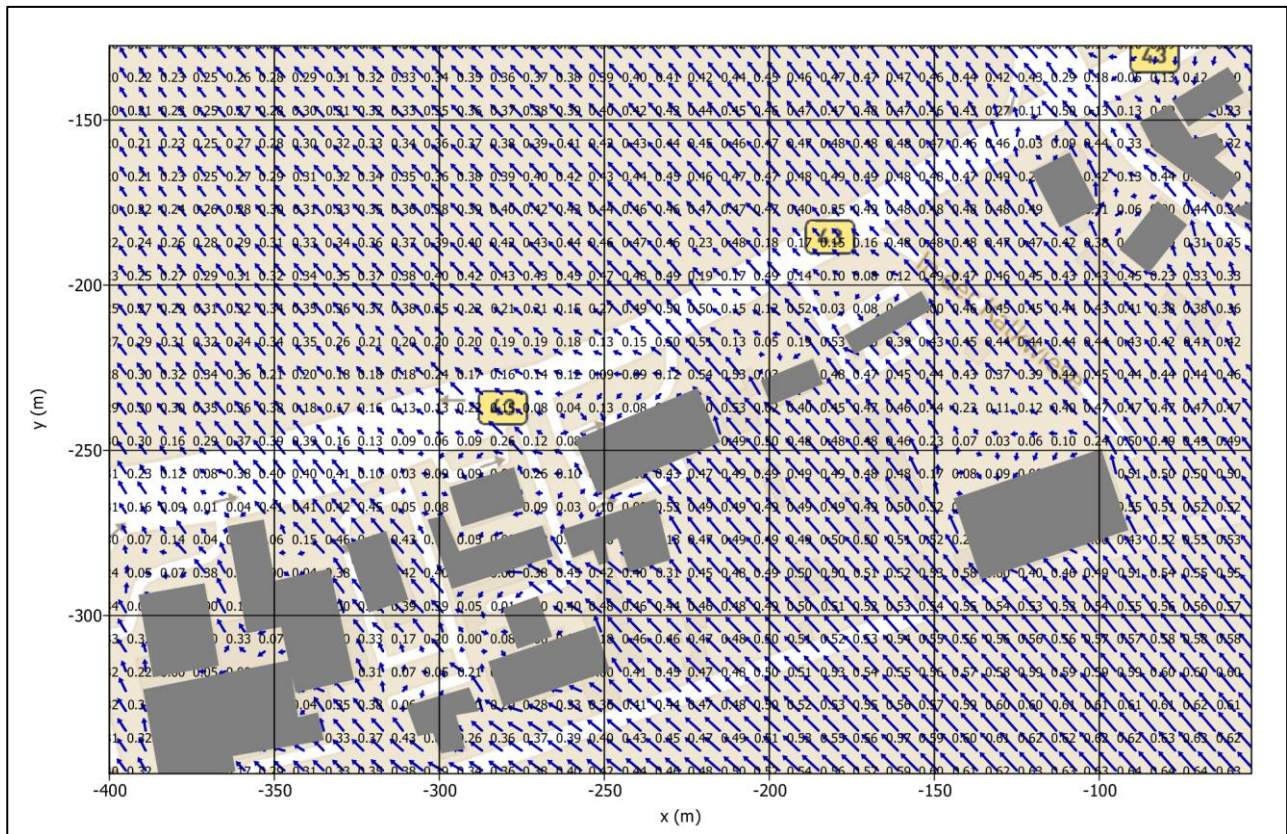


Abbildung 21: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Mühlheimer Straße im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)

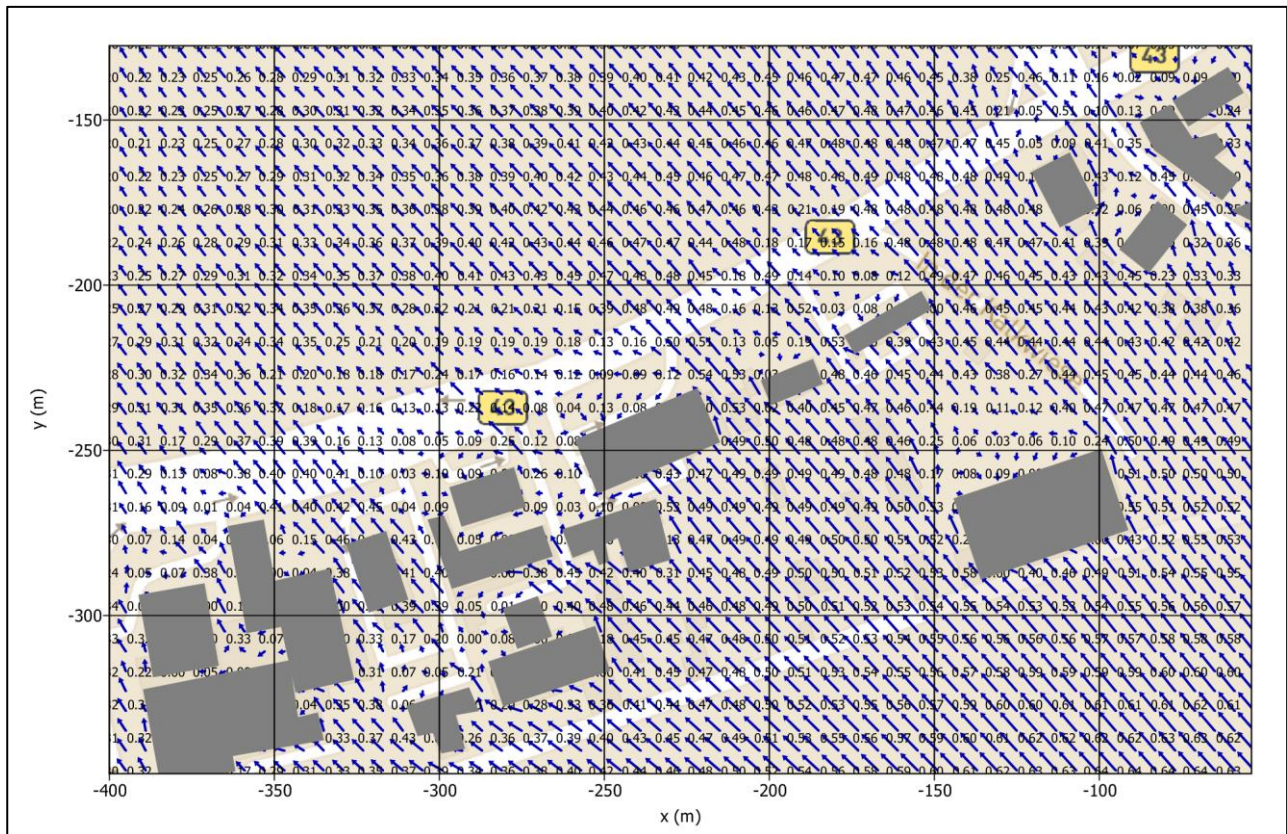


Abbildung 22: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Mühlheimer Straße nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)

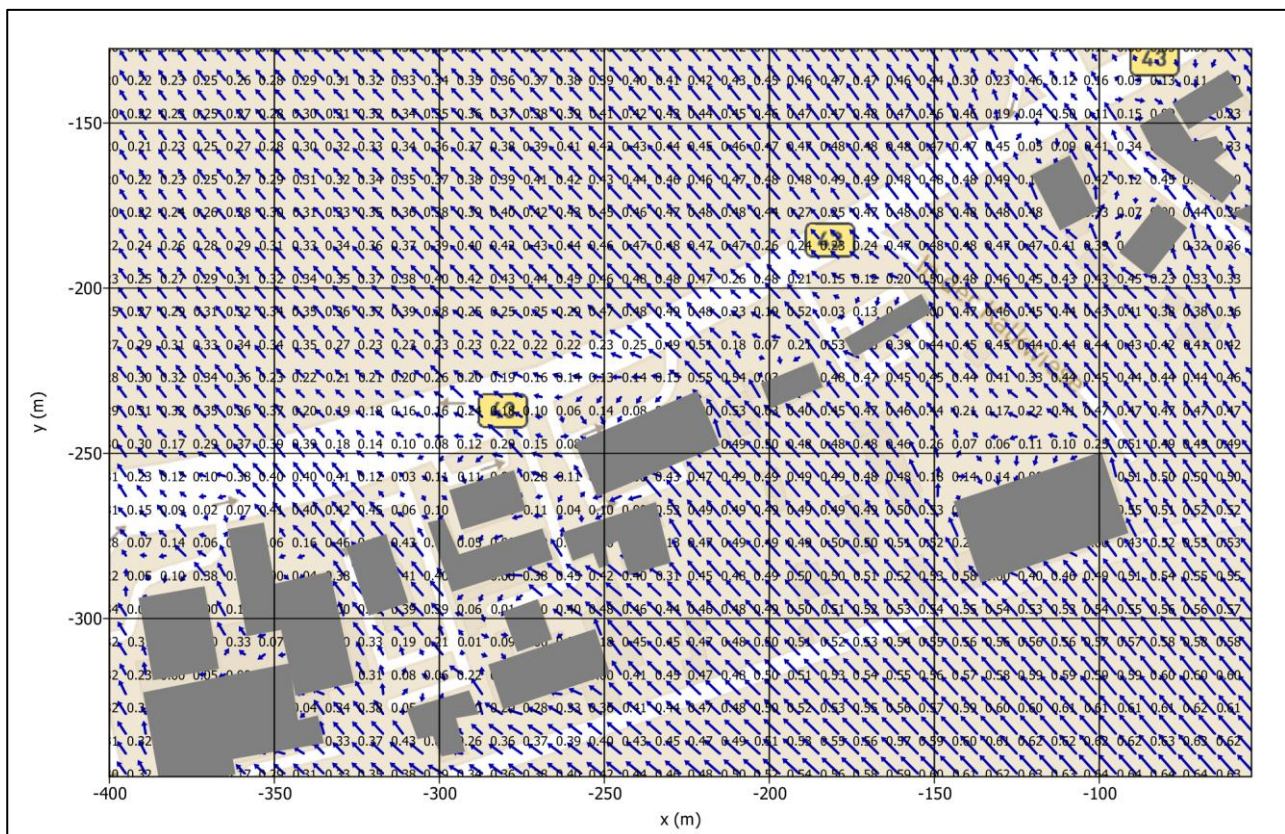


Abbildung 23: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Mühlheimer Straße mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)

Für die zu beurteilende Wohnbebauung jenseits der Mühlheimer Straße ändern sich die Strömungsverhältnisse und die Windgeschwindigkeiten lediglich im Bereich von 0,01 m/s, was in der Größenordnung der Modellungenauigkeit liegt und praktisch irrelevant ist.

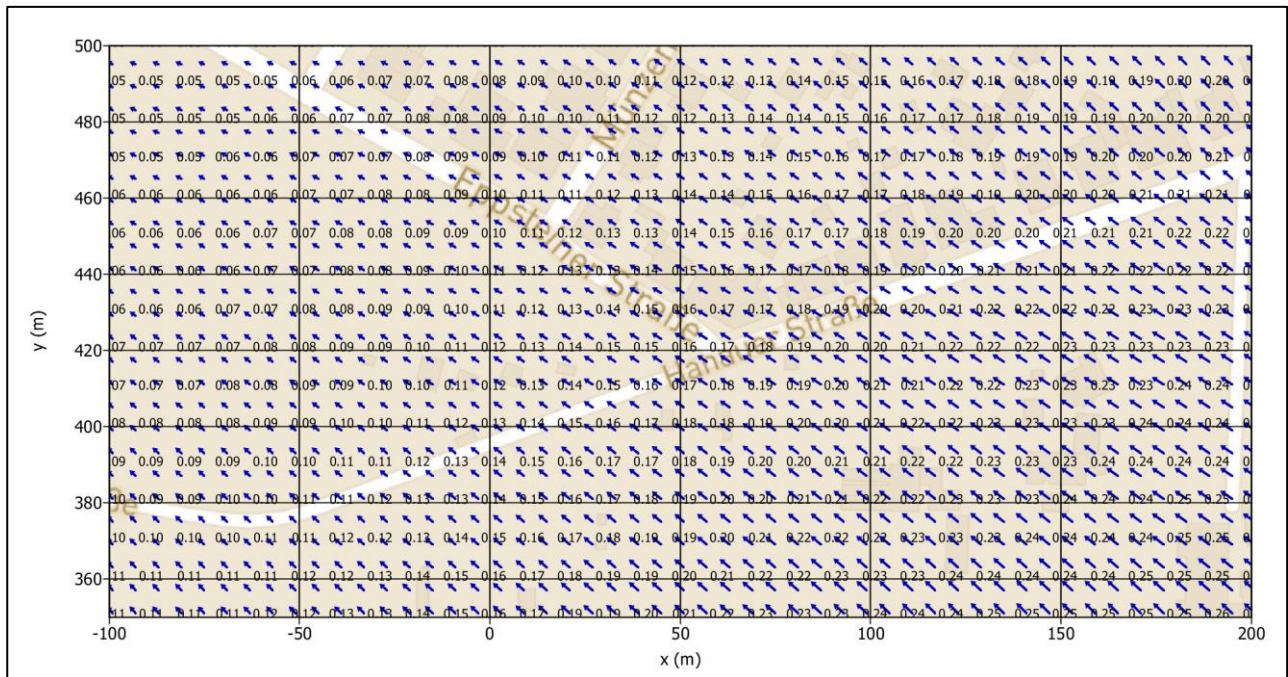


Abbildung 24: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Hanauer Straße im gegenwärtigen Zustand (Variante 1)

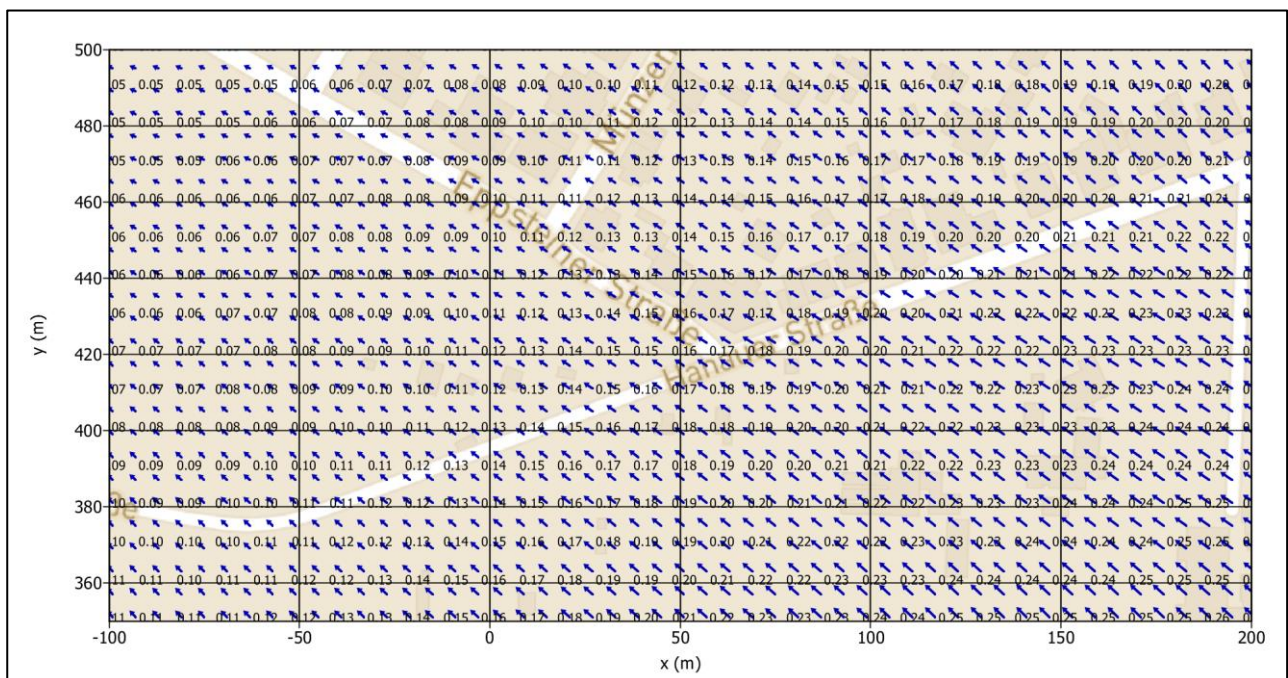


Abbildung 25: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Hanauer Straße nach Errichtung der Baukörper (Variante 2)

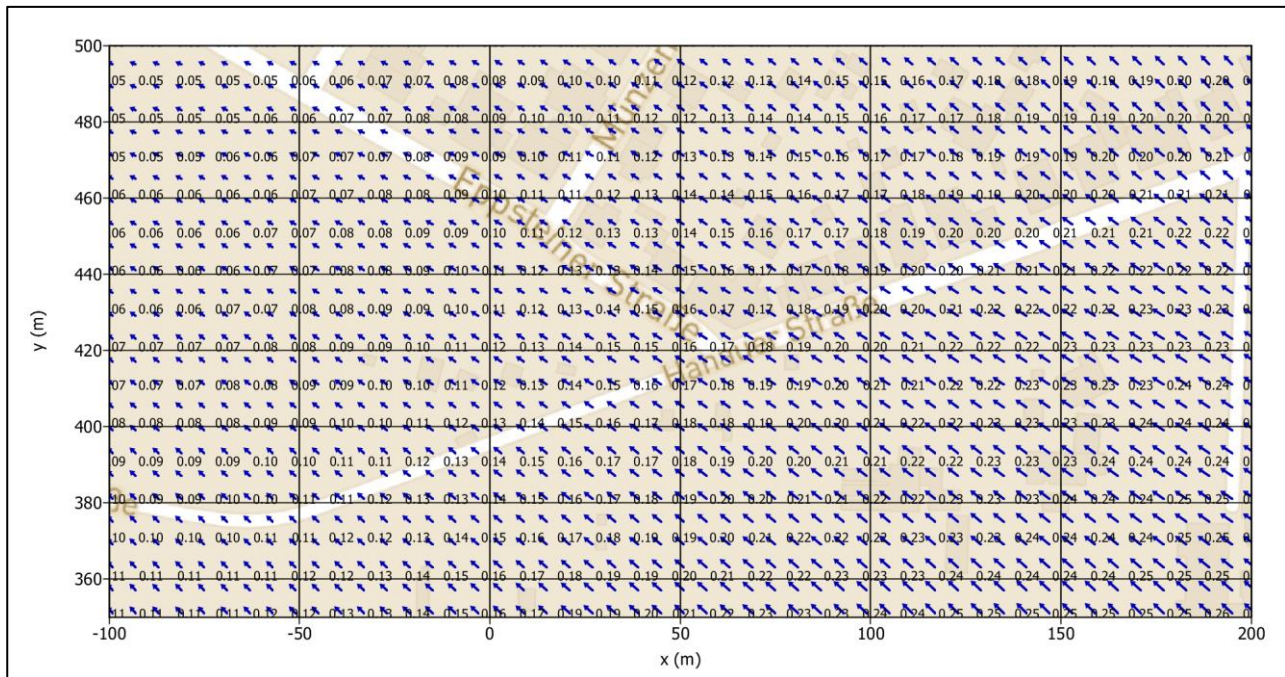


Abbildung 26: Kaltluftströmung am Beurteilungspunkt Hanauer Straße mit geplanter Wärmeemission (Variante 3)

Für die zu beurteilende Wohnbebauung an der Hanauer Straße ändern sich die Strömungsverhältnisse und die Windgeschwindigkeiten nicht nachweisbar.

Auch aus diesem Vergleich geht hervor, dass die Errichtung der Baukörper und die mit dem beabsichtigtem Betrieb des Rechenzentrums verbundene Abgabe von Wärme keine Auswirkungen auf die Windgeschwindigkeit am Beurteilungspunkt hat. Ihre Auswirkung in Bezug auf den Wirkungspfad des Luftaustauschs ist also vernachlässigbar und keinesfalls erheblich.

5.4 Szenarienvergleich: Betrachtung der Abkühlung durch Kaltluft

Die abkühlende Wirkung von Kaltluft wurde in Abschnitt 3.2.1 als weiterer Kernparameter herausgearbeitet, der für eine Beurteilung der Wirkung von Kaltluftströmen auf das städtische Bioklima wichtig ist. Die Bewertung wird dabei anhand der Betrachtung vorgenommen, um welchen Betrag die Umgebungstemperatur im Beurteilungsgebiet bei der Emission der beabsichtigten Wärmeabgabe gemäß der Konfiguration von Gebäuden und Kühlaggregaten ansteigen wird.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die zu erwartende Erwärmung der Umgebungstemperatur für verschiedene vertikale Modellebenen, der Quelle der Wärme auf dem Rechenzentrum ist rot dargestellt. Die Erwärmung wird in Prozent bezogen auf 1 K dargestellt, Werte oberhalb von 10 K werden nicht aufgelöst, sie treten nur in der aufsteigenden Abluftssäule auf.

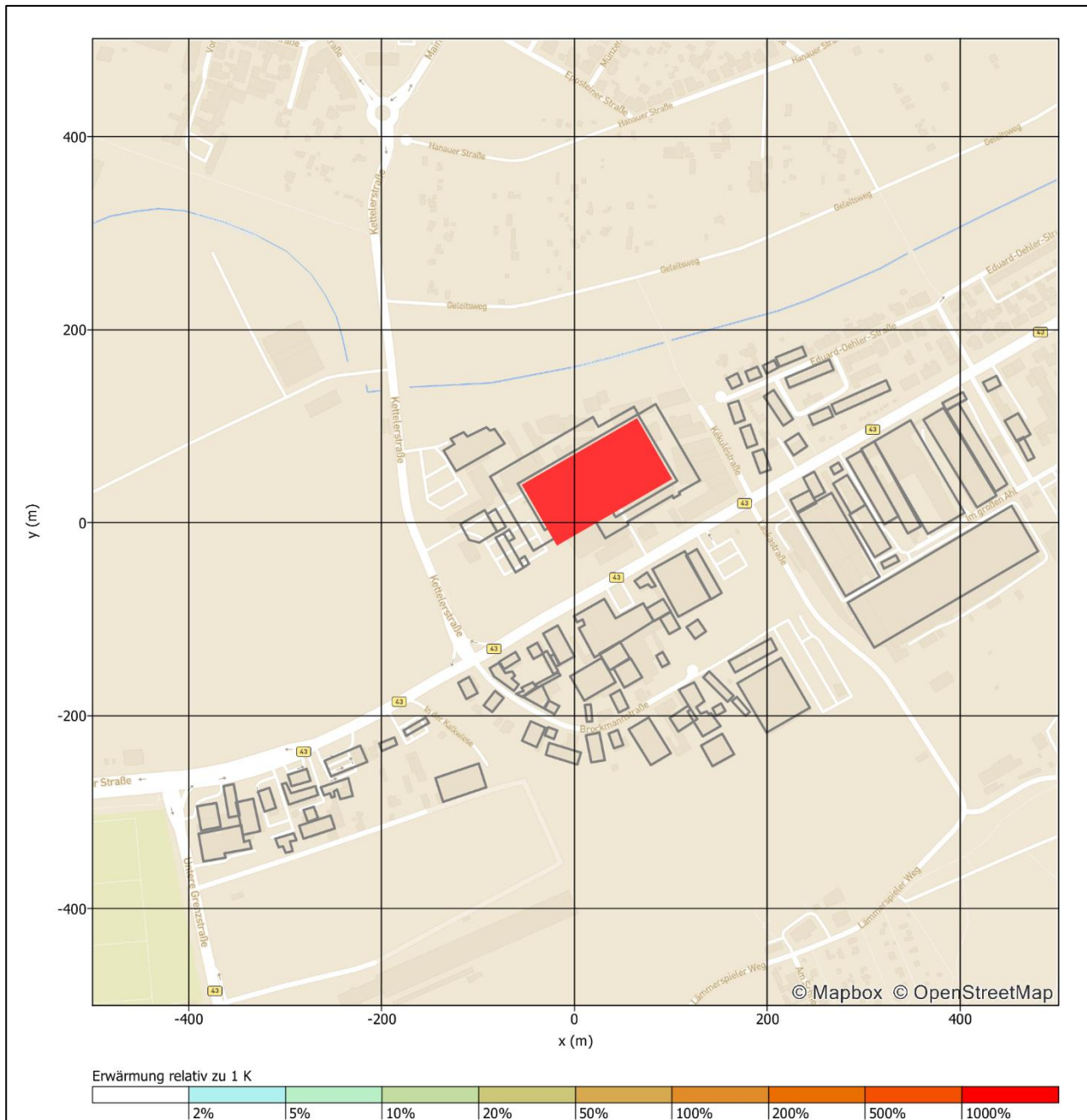


Abbildung 27: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 5 m über Grund

Für eine Höhe von 5 m über Grund erreicht kein nachweisbarer Beitrag der emittierten Wärme je wieder einen Punkt im Beurteilungsgebiet. Der thermische Auftrieb ist so groß, dass die emittierte Wärme ähnlich einer Abluftfahne über einem Kühlturm nach oben steigt. Erst nach Angleichen der Temperatur in der Abluftsäule in größeren Höhen und bei Vermischen mit der Umgebungsluft verschwindet der Auftrieb – dann allerdings ist auch keine transportierte Wärmemenge mehr vorhanden, die ähnlich wie Luftbeimengungen (die während ihrer Transmission nicht verschwinden) in bodennahe Bereiche zurückkehren könnten.

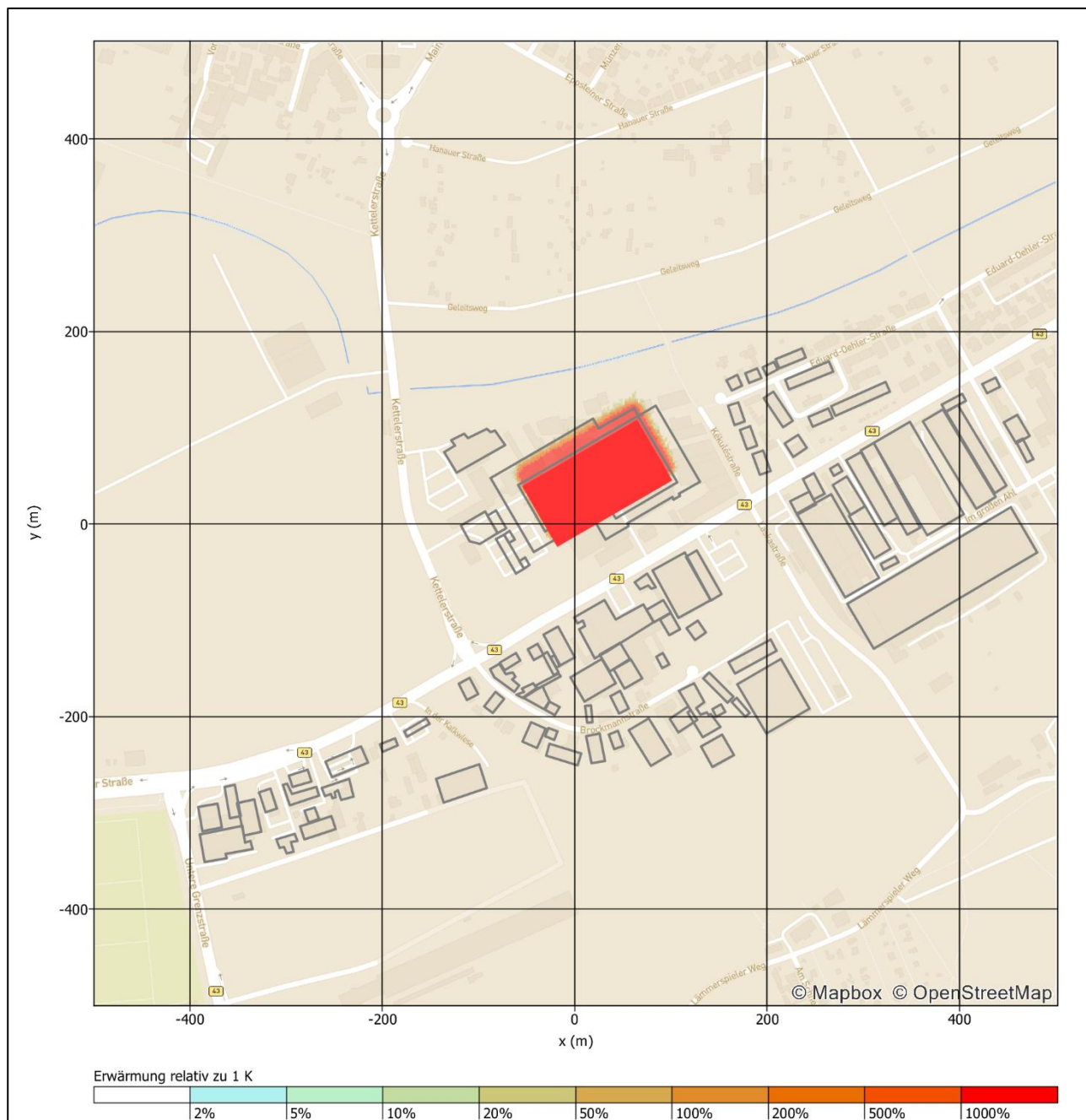


Abbildung 28: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 30 m über Grund

In einer Höhe von 30 m über Grund, 5 m über der Wärmequelle, ist die aufsteigende Abluftsäule nur ganz schwach verbreitert und in der nördlich gerichteten Strömung (resultierend aus der bodennahen Kaltluftströmung, die in 30 m Höhe nur noch sehr schwach ist) leicht nach Norden hin verlagert.

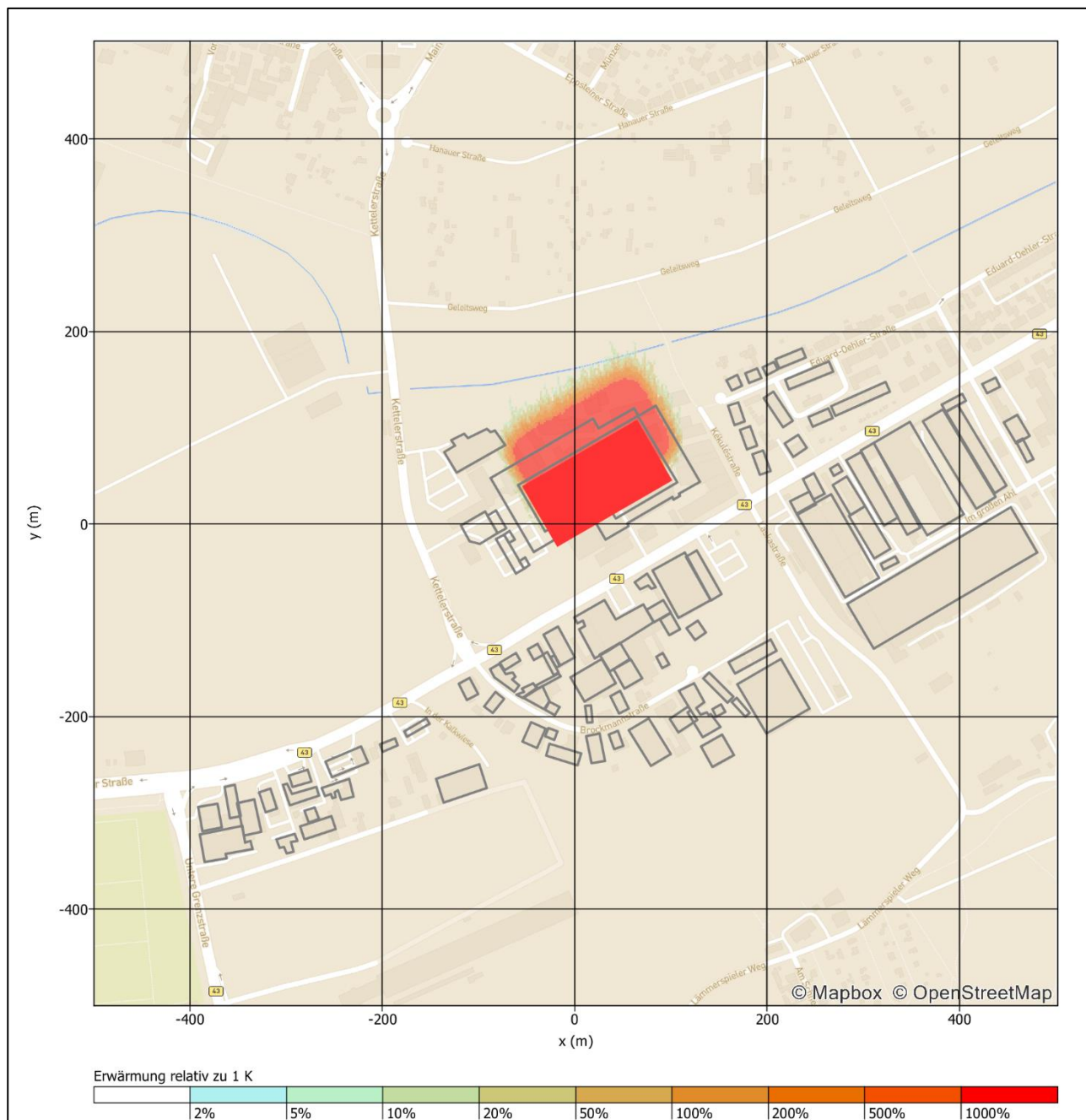


Abbildung 29: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 40 m über Grund

In einer Höhe von 40 m über Grund verbreitert sich die Abluftsäule weiter und verlagert sich auch weiter nach Norden. Dieser Effekt setzt sich auch in 60 m Höhe weiter fort (nachfolgende Abbildung). In den Randbereichen gleicht sich die Temperatur der Abluftsäule der Umgebungstemperatur an, im Kern ist sie immer noch 10 K über der Umgebungstemperatur.

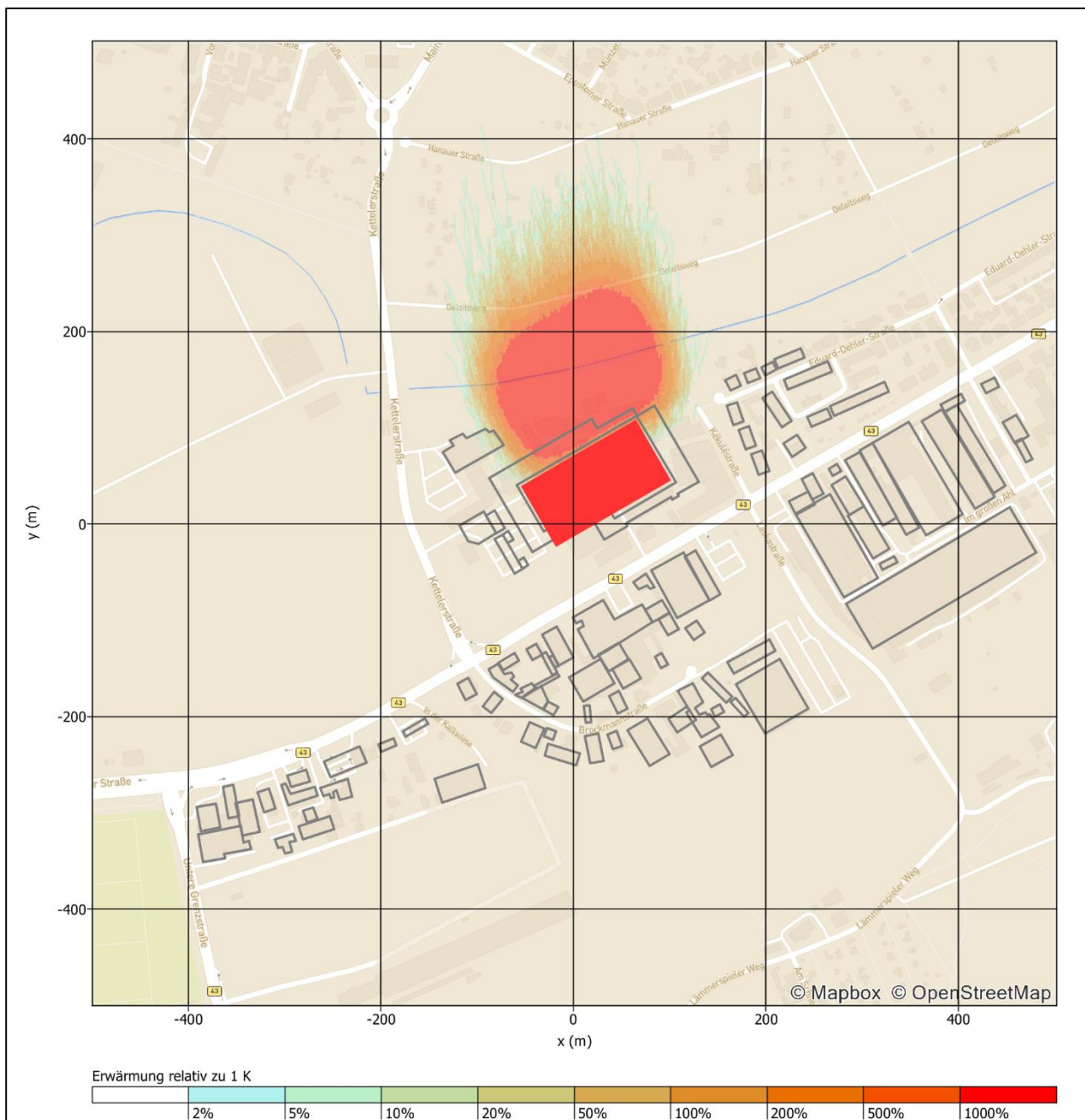


Abbildung 30: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 60 m über Grund

Ein nachweisbarer Einfluss der Wärmeabgabe auf die im Beurteilungsgebiet befindliche Wohnbebauung bis in eine Höhe von 60 m, kann also ausgeschlossen werden. Wenn überhaupt, sind Temperaturänderungen von weniger als 0,02 K zu erwarten, was unterhalb jeglicher Nachweisgrenzen liegt.

5.5 Kumulation mit anderen Projekten

Im Untersuchungsgebiet gibt es nach Kenntnis des Gutachters keine vollendeten oder bereits geplante Projekte, im Rahmen derer große Wärmemengen an die Umgebung abgegeben werden.

6 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, inwieweit die nach Fertigstellung und Inbetriebnahme des geplanten Rechenzentrums in Offenbach am Main, Mühlheimer Straße Höhe Kettelerstraße, abgegebene Wärmemenge als nicht erheblich irrelevant bezüglich der Erhaltung des städtischen Bioklimas ist.

Die Prüfung wurde anhand der zwei grundlegenden Wirkungspfade von Kaltluft auf das städtische Bioklima durchgeführt:

- Abkühlende Wirkung durch die verminderte Lufttemperatur der Kaltluft
- Herbeiführung von Luftaustausch bei windschwachen Wetterlagen

Geprüft wurden die Auswirkungen auf Beurteilungspunkte (nächstgelegene Wohnbebauung um das geplante Gelände), stellvertretend für weiter entfernt liegende schutzwürdige Bebauung.

Für diese Beurteilungspunkte wurde festgestellt, dass die abkühlende Wirkung durch die verminderte Lufttemperatur der Kaltluft durch das Bauvorhaben und seine Wärmeabgabe nicht beeinflusst wird. Dies ist in der folgenden Abbildung verdeutlicht.

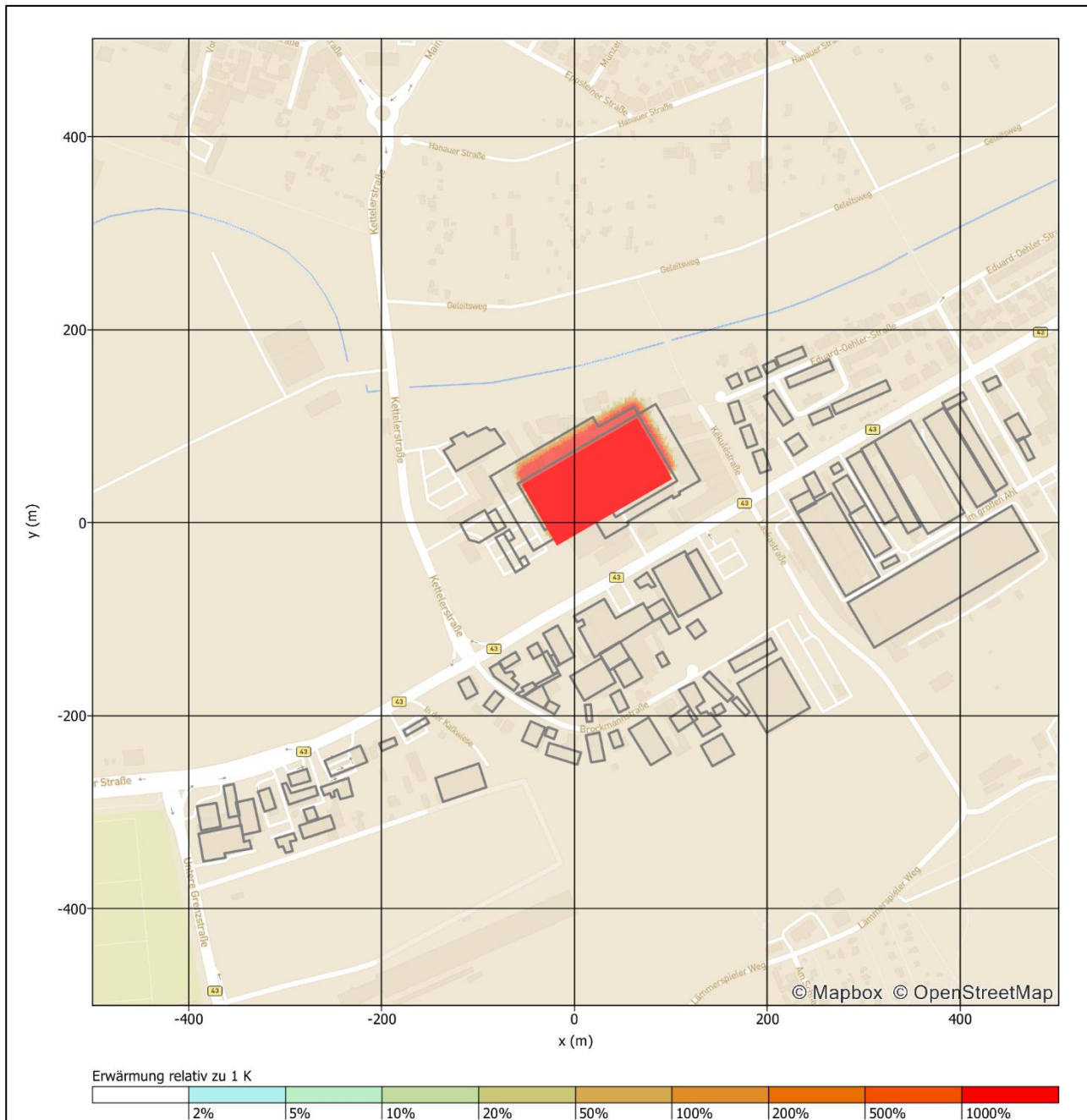


Abbildung 31: Erwärmung im Beurteilungsgebiet in Prozent von 1 K für eine Höhe von 30 m über Grund

Für eine Höhe von 30 m über Grund erreicht kein nachweisbarer Beitrag der emittierten Wärme je wieder einen Punkt im Beurteilungsgebiet. Der thermische Auftrieb ist so groß, dass die emittierte Wärme ähnlich einer Abluftfahne über einem Kühlturm nach oben steigt.

Ebenso wurde für diese Beurteilungspunkte festgestellt, dass die Herbeiführung von Luftaustausch bei wind-schwachen Wetterlagen durch das Bauvorhaben und seine Wärmeabgabe nicht beeinflusst wird.

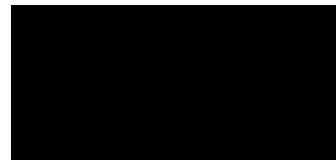
Somit kann festgestellt werden, dass für die Beurteilungspunkte keine nachteiligen Auswirkungen auf schützenswerte bodennahe Kaltluftströme zu besorgen sind. Da die Wirkung der Wärmeabgabe mit zunehmender Entfernung schnell abnimmt, trifft diese Aussage auch für alle weiter entfernt gelegenen schützenswerten Siedlungsgebiete in Offenbach am Main und der Umgegend zu.

Es ist also davon auszugehen, dass die nach Fertigstellung und Inbetriebnahme des geplanten Rechenzentrums abgegebene Wärmemenge als irrelevant ist.

Insbesondere die Quellgeometrie, also die Abgabe des Großteils der Wärmemenge oberhalb der Kaltluftschicht, führt im Rahmen der angestellten Modellrechnungen zu den getroffenen Aussagen und Schlussfolgerungen.

Mithin besteht nicht die Notwendigkeit, eine Genehmigung des Vorhabens aufgrund der geplanten Wärmeabgabe und von schädlichen Auswirkungen auf das städtische Bioklima zu versagen.

Frankenberg, am 26. April 2024




- fachlich Verantwortlicher -

7 Schrifttum

- [1] Statistisches Bundesamt , *Daten zur Bodenbedeckung der Bundesrepublik Deutschland*, Wiesbaden.
- [2] VDI 3787 Blatt 5, *Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, April 2024 (E).
- [3] R. A. Pielke, *Mesoscale Meteorological Modeling*, Third Edition, Amsterdam: Elsevier Inc., 2013.
- [4] D. Öttl, „Documentation of the prognostic mesoscale model GRAMM (Graz Mesoscale Model) Vs. 17.1,“ Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, 2017.
- [5] J. Eichhorn, *MISKAM Handbuch zu Version 6*, Wackernheim: giese-eichhorn umweltmeteorologische software, 2011.
- [6] U. Janicke und L. Janicke, „A three-dimensional plume rise model for dry and wet plumes (mit den Spezifikationen aus Berichte zur Umweltphysik Nr. 10 (2019)),“ *Atmospheric Environment* 35, pp. 877-890, 2001.
- [7] Lasat 3.4, „Ing.-Büro Janicke,“ 1998-2022. [Online]. Available: <http://www.janicke.de/de/lasat.html>.
- [8] VDI 3783 Blatt 16, *Umweltmeteorologie - Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle Verfahren zur Anwendung in Genehmigungsverfahren nach TA Luft*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2015.
- [9] VDI 3783 Blatt 10, *Umweltmeteorologie - Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle - Gebäude und Hindernisumströmung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, März 2010.
- [10] R. Petrich, „Verfahrensweise zur Berücksichtigung von Kaltluftabflüssen bei Immissionsprognosen im Rahmen der TA Luft,“ 31. Mai 2012. [Online]. Available: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15091>. [Zugriff am 12 August 2016].
- [11] VDI 3783 Blatt 8, *Umweltmeteorologie - Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017.
- [12] TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, „Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz,“ vom 21. September 2021.