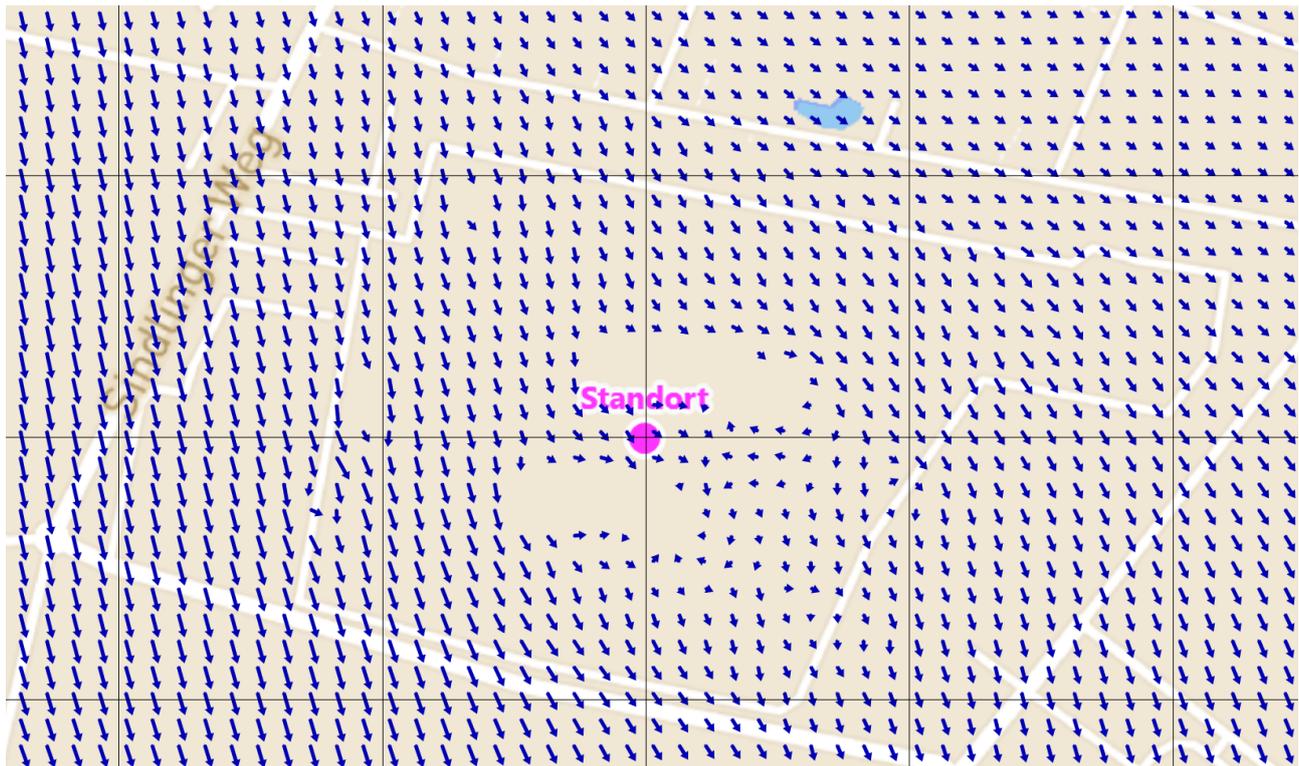


Prüfung auf Erheblichkeit der Beeinflussung des städtischen Mikroklimas unter Berücksichtigung schützenswerter bodennaher Kaltluftströme

bei der Errichtung eines Rechenzentrums in Liederbach am Taunus, Sindlinger Weg 3



Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren

Auftraggeber:	KUA dc solutions GmbH Grüneburgweg 115 D-60323 Frankfurt am Main	Tel.: 069 977769-51
Bearbeiter:	Dr. Ralf Petrich	Tel.: 037206 892940 Email: Ralf.Petrich@ifu-analytik.de
Aktenzeichen:	Stadtklima Liederbach.2023.01.01	
Ort, Datum:	Frankenberg, 20. September 2023	
Anzahl der Seiten:	49	
Anlagen:	-	

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Aufgabenstellung.....	5
2 Beschreibung des Standortes	6
2.1 Lage	6
2.2 Landnutzung.....	8
2.3 Orographie	10
3 Kaltluftabflüsse und ihre Wirkung auf das städtische Mikroklima.....	12
3.1 Hintergrund.....	12
3.2 Wirkung von Kaltluft auf das städtische Mikroklima	12
3.2.1 Abkühlende Wirkung.....	13
3.2.2 Herbeiführung von Luftaustausch bei windschwachen Wetterlagen	13
3.2.3 Kombinierte Wirkung aus Abkühlung und Luftaustausch	13
3.3 Bewertungsmaßstab	14
4 Untersuchungsmethodik	16
4.1 Szenarien.....	16
4.2 Modellrechnungen.....	16
4.2.1 Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit dem prognostischen Windfeldmodell GRAMM.....	17
4.2.2 Modellierung der Gebäudeumströmung durch Kaltluft mit MISKAM	19
4.2.3 Modellierung des thermischen Auftriebs der emittierten Wärme mit PLURIS.....	19
4.2.4 Modellierung der Ausbreitung der freigesetzten Wärmewolke mit LASAT	19
4.3 Eingangsdaten	19
4.3.1 Modellierung der Kaltluftentstehung und der Kaltluftausbreitung mit GRAMM	19
4.3.2 Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung	27
4.3.3 Thermische Angaben zum Bauvorhaben.....	28
4.3.4 Geometrie der Emissionsorte.....	30
4.4 Beurteilungspunkte	30
5 Ergebnisse und Bewertung.....	32
5.1 Großräumige Kaltluftabflüsse im Modellgebiet.....	32
5.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet	35
5.3 Szenarienvergleich: Betrachtung der Kaltluftgeschwindigkeit	36
5.4 Betrachtung der Abkühlung durch Kaltluft	41
5.5 Kumulation mit anderen Projekten.....	47
6 Zusammenfassung.....	48
7 Schrifttum	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage von Liederbach am Taunus in Hessen (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	6
Abbildung 2: Naturräumliche Gliederung um den Standort (Quelle: GeoBasis-DE/BKG).....	7
Abbildung 3: Lage des Standortes in Liederbach (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	8
Abbildung 4: Rauigkeitslänge in Metern in der Umgebung des Standortes nach CORINE-Datenbank (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	9
Abbildung 5: Luftbild mit der Umgebung des Standortes (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	10
Abbildung 6: Orographie um den Standort (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	11
Abbildung 7: Schematischer Aufbau der Modellkette zur Bearbeitung der Aufgabenstellung	17
Abbildung 8: Landnutzung nach CORINE als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Umweltbundesamt, Autoren).....	20
Abbildung 9: Farblegende für die Landnutzung nach CORINE	21
Abbildung 10: Orographie als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	22
Abbildung 11: Albedowert des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	23
Abbildung 12: Emissionsvermögen des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	24
Abbildung 13: Wärmeleitfähigkeit des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	25
Abbildung 14: Feuchtegehalt des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	26
Abbildung 15: Rauigkeit des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	27
Abbildung 16: Untersuchungsgebiet zur Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	28
Abbildung 17: Anordnung der wärmeemittierenden Lüftungsgeräte auf den Gebäuden, violett umrahmt (Quelle: Auftraggeber)	29
Abbildung 18: Lage der Beurteilungspunkte (Quelle: Google Earth, Autoren)	31
Abbildung 19: Kaltluftmächtigkeit (m) im Modellgebiet (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	33
Abbildung 20: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Modellgebiet (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	34
Abbildung 21: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Untersuchungsgebiet ohne Berücksichtigung von Umströmung der Baukörper (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	36
Abbildung 22: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Untersuchungsgebiet mit bisherigen Baukörpern (Variante 1) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	37
Abbildung 23: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Untersuchungsgebiet mit geplanten Baukörpern (Variante 2) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	38
Abbildung 24: Windgeschwindigkeit (m/s) bei Anströmung aus Südwesten im Untersuchungsgebiet mit bisherigen Baukörpern (Variante 1) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)	40
Abbildung 25: Windgeschwindigkeit (m/s) bei Anströmung aus Südwesten im Untersuchungsgebiet mit geplanten Baukörpern (Variante 2) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	41
Abbildung 26: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 5 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	43
Abbildung 27: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 15 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	44
Abbildung 28: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 25 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	45
Abbildung 29: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 50 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren).....	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: UTM-Koordinaten des Standortes	8
Tabelle 2: Wärmeabgabe des Rechenzentrums nach Betriebsphasen	30

1 Aufgabenstellung

Der Auftraggeber ist an der Planung des Rechenzentrums STACK FRA01 am Sindlinger Weg in Liederbach am Taunus beteiligt.

In der Planungsphase des Vorhabens wurde im Rahmen der Beteiligung der Behörden und sonstiger Träger öffentlicher Belange gemäß § 4 Abs. 1 BauGB unter anderem auch die Frage aufgeworfen, ob die Errichtung der baulichen Hülle der Gebäude künftig als Sperre für Frischluftzufuhr aus südwestlichen Richtungen wirken könnte. Darüber hinaus wurde die Vermutung angestellt, dass die emittierte Abwärme des geplanten Rechenzentrums nachteilige Auswirkungen auf die Umgebung haben könnte.

Aufgabenstellung und Veranlassung für das vorliegende Gutachten ist der Nachweis, dass die nach Fertigstellung und Inbetriebnahme des geplanten Rechenzentrums sowohl die Frischluftzufuhr über bodennahe Kaltluftströmungen nicht erheblich eingeschränkt wird und dass die emittierte Wärme des Rechenzentrums keine nachteiligen Auswirkungen auf die Umgebung hat.

Es soll eine detaillierte Untersuchung 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 der wesentliche Teil der abgegebenen Wärmemenge in einer Höhe oberhalb von 20 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 aufgezeigt werden soll.

Insgesamt soll begründet 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 Liederbach am Taunus bei Frankfurt am Main. Die folgende Abbildung zeigt die Lage des Standortes.

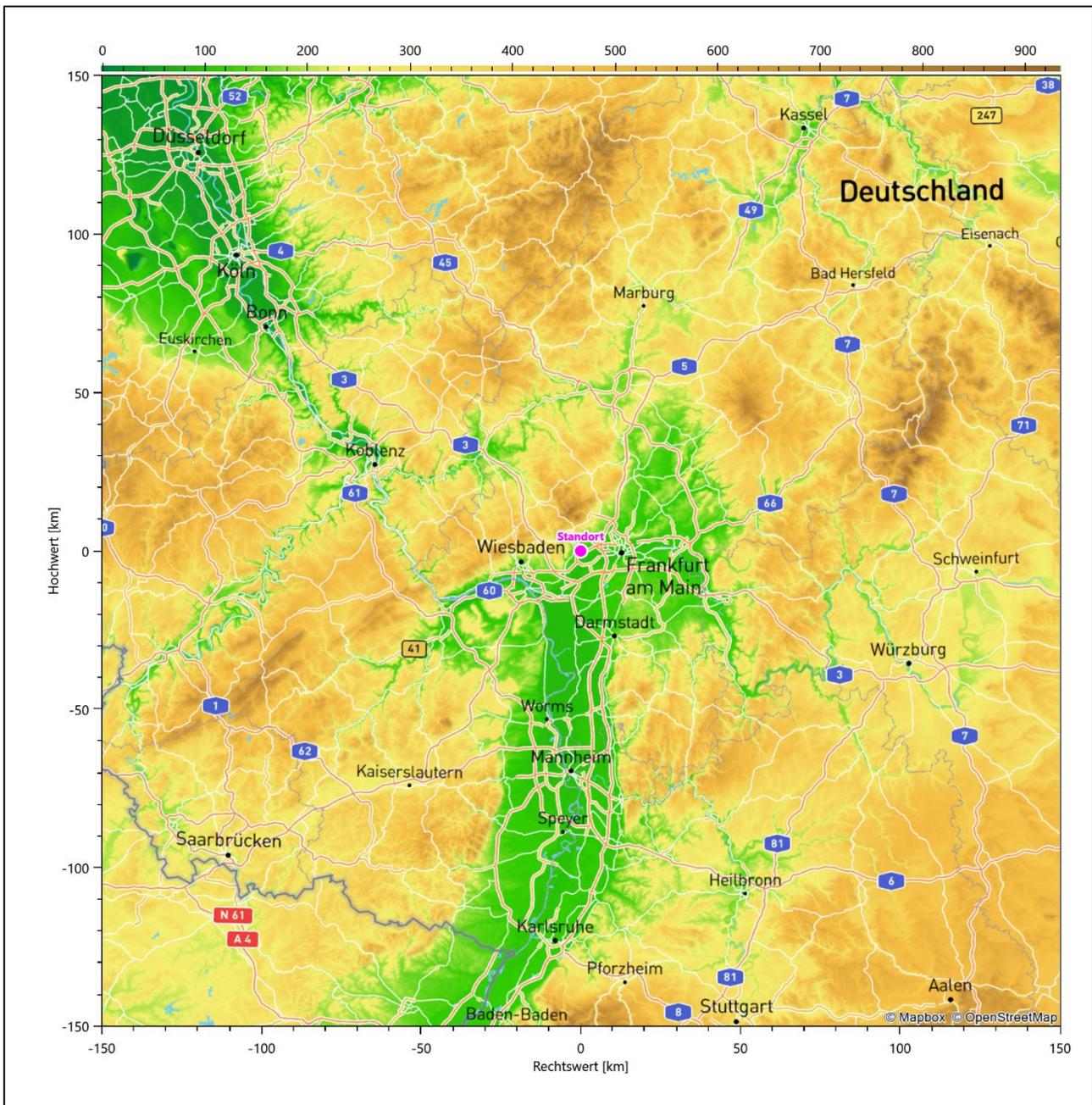


Abbildung 1: Lage von Liederbach am Taunus in Hessen (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

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

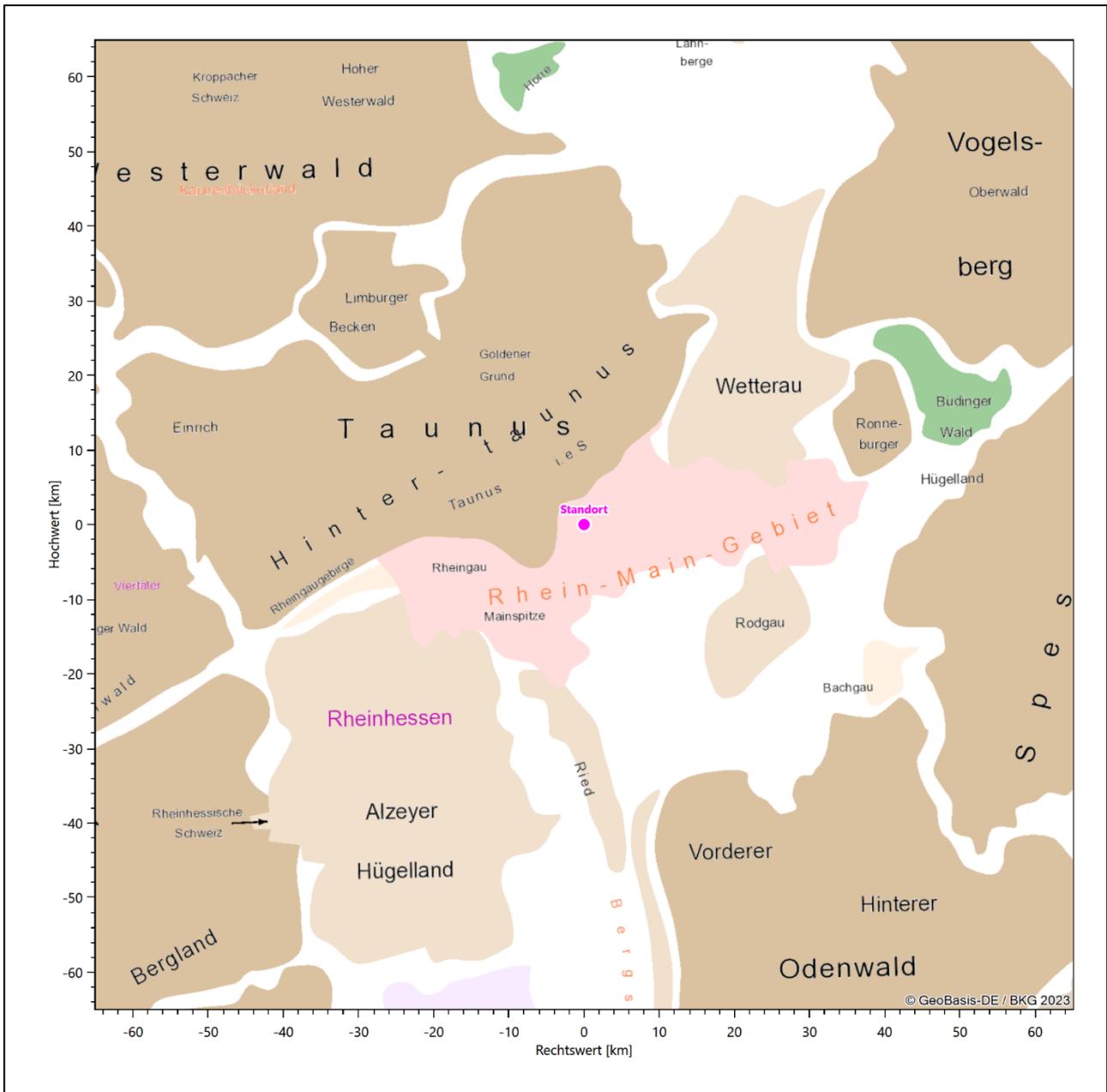


Abbildung 2: Naturräumliche Gliederung um den Standort (Quelle: GeoBasis-DE/BKG)

Die Lage des untersuchten Standortes am südlichen Rand von Liederbach am Taunus ist anhand des folgenden Auszuges aus der topographischen Karte ersichtlich.

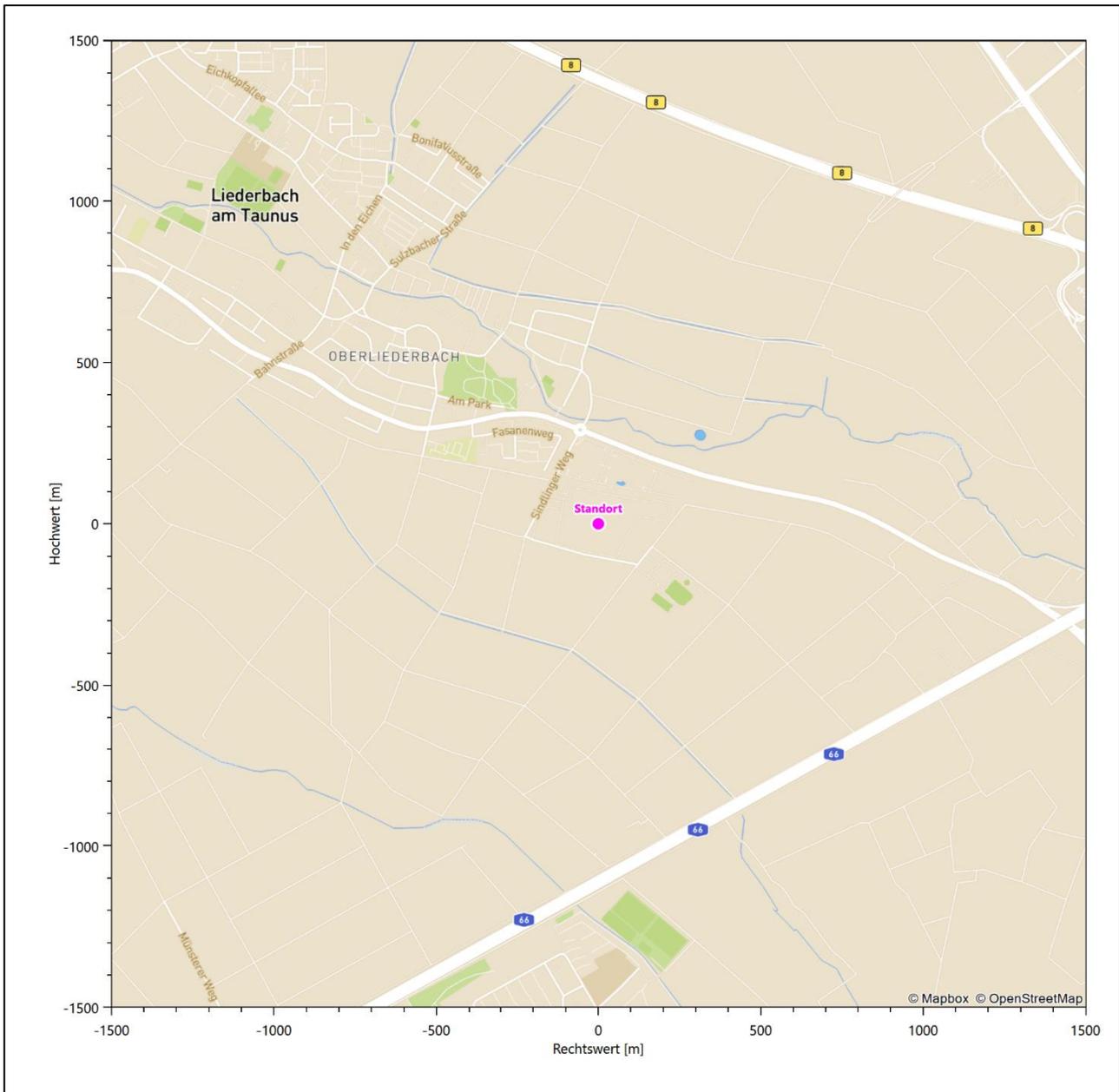


Abbildung 3: Lage des Standortes in Liederbach (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

In der folgenden Tabelle sind die Koordinaten des Standortes angegeben.

Tabelle 1: UTM-Koordinaten des Standortes

RW	32464450
HW	5551450

2.2 Landnutzung

Die Umgebung des Standortes ist durch eine wechselnde Landnutzung geprägt. Durchgängig bebaute Siedlungsgebiete wechseln sich mit Waldgebieten, landwirtschaftlichen Flächen und Verkehrswegen ab.

Der Standort selbst liegt auf einem Gelände, das bislang von einem Hersteller von Cola-Limonade genutzt wurde und dessen Gebäude im Rahmen der Errichtung des Rechenzentrums abgerissen werden sollen.

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

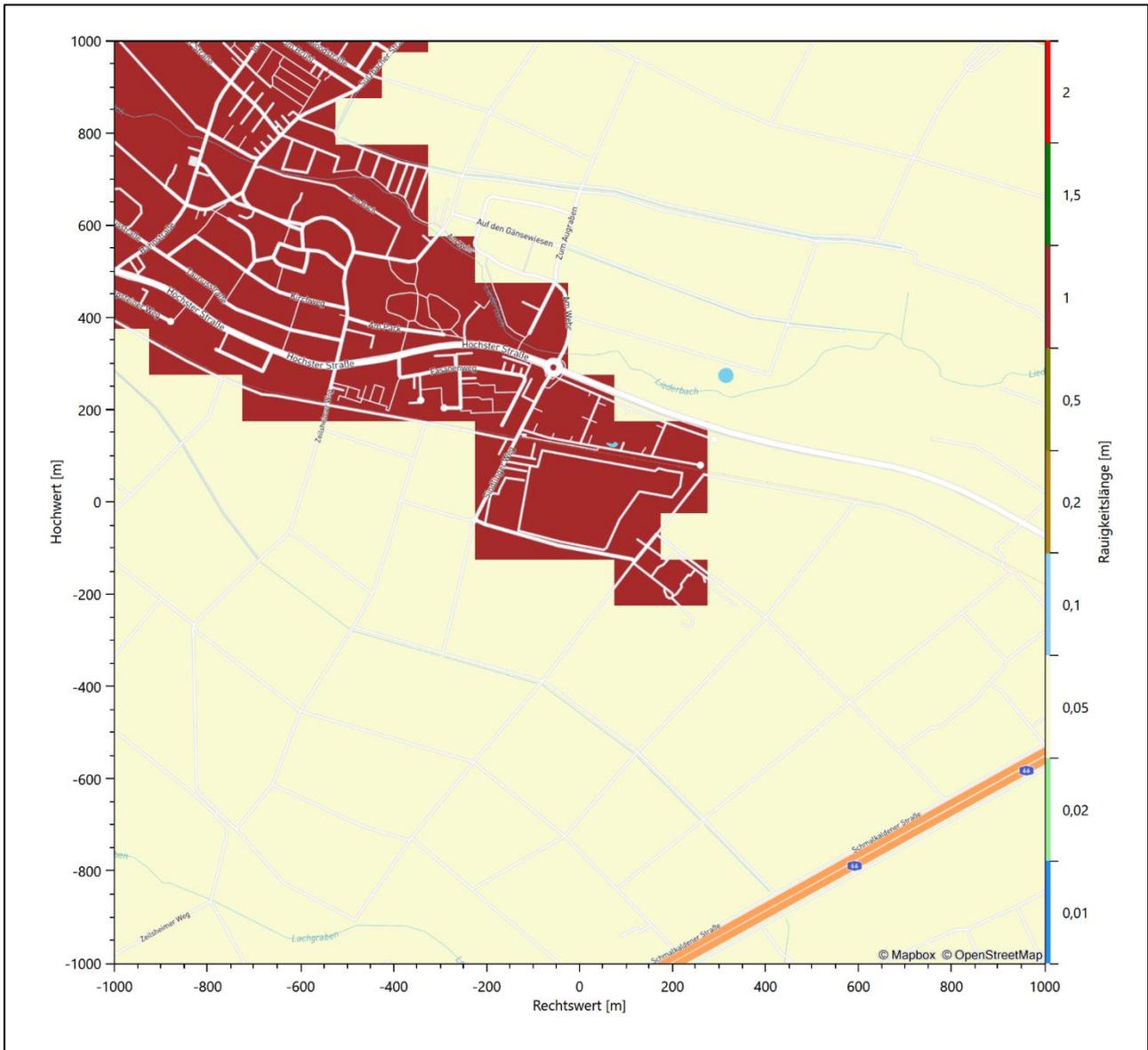


Abbildung 4: Rauigkeitslänge in Metern in der Umgebung des Standortes nach CORINE-Datenbank (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

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

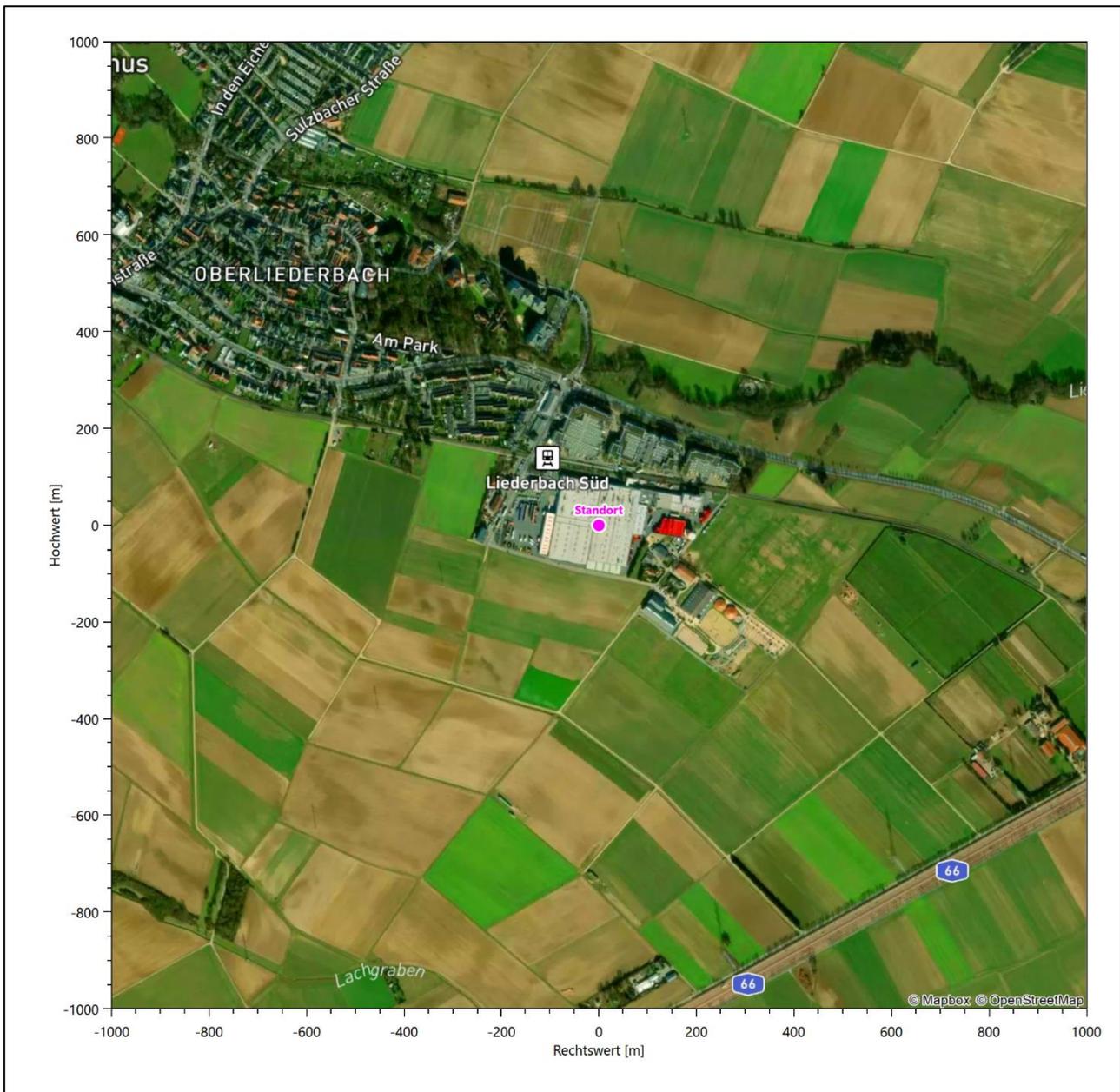


Abbildung 5: Luftbild mit der Umgebung des Standortes (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

2.3 Orographie

Der Standort liegt auf einer Höhe von etwa 120 m über NHN. Die unmittelbare Umgebung ist im breit ausladenden Tal des Main orographisch kaum gegliedert. In Richtung Nordwesten hingegen erfolgt ein allmählicher Anstieg auf die östlich gelegenen Höhen des Taunus mit bis zu 800 m über NHN.

Die nachfolgende Abbildung verschafft einen Überblick über das Relief.

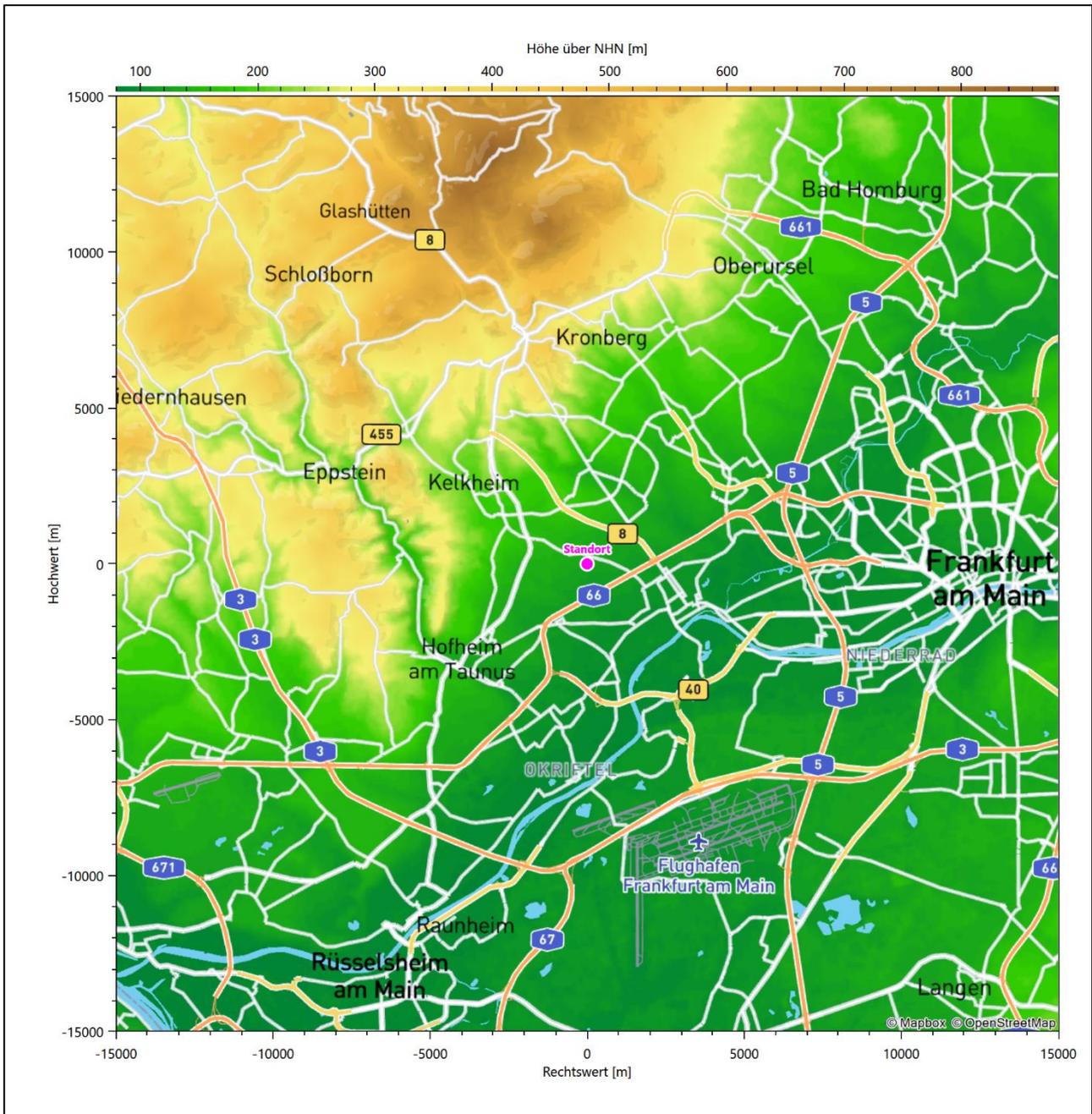


Abbildung 6: Orographie um den Standort (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

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 oder regionale Strömungen im Voralpenland, werden nicht im Rahmen von lokaler Kaltluft betrachtet.

Obwohl bisher eine Wirkungsquantifizierung dieses Effektes nicht gegeben ist, wird der Einfluss lokaler Kaltluft auf den thermischen und lufthygienischen Wirkungskomplex im Bereich des Bioklimas auch ohne tatsächlichen Nachweis im einzelnen Planungsfall unterstellt.

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. Lufthygienisch 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 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 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 Errichtung der baulichen Hülle der Gebäude und die Wärmeabgabe des geplanten Rechenzentrums erhebliche Auswirkungen auf das durch bodennahe Kaltluft bestimmte bioklimatische Geschehen im Umfeld hat.

Mithin besteht das Vorhaben in der Veränderung der Strömungshindernisse und der thermischen Energiebilanz nahe den Wirkungsgebieten (Siedlungsgebiete im südöstlichen Teil von Liederbach am Taunus).

Um diese Veränderungen einschätzen zu können, muss die Ausbreitung der Kaltluft von den Entstehungsgebieten im Taunus 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

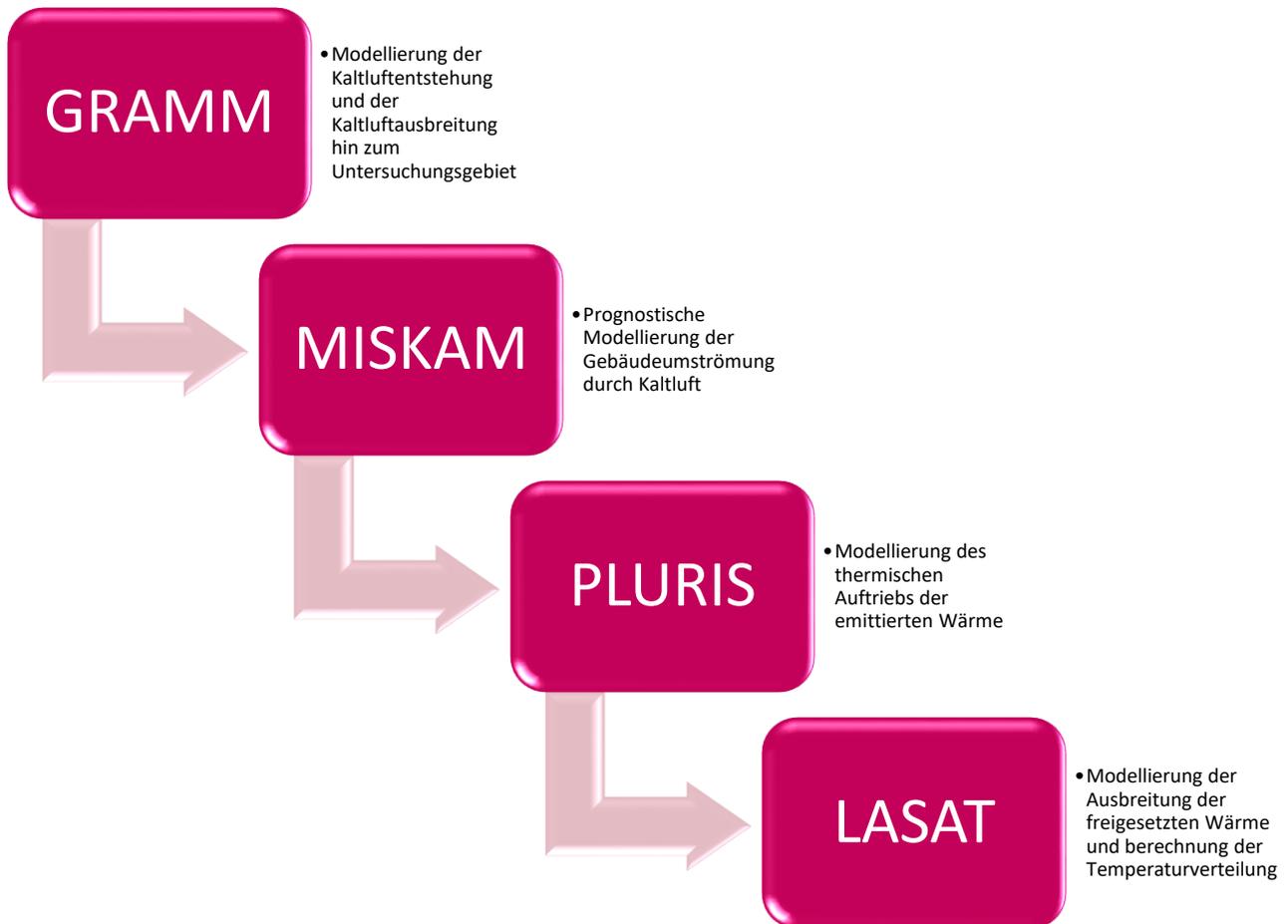


Abbildung 7: Schematischer Aufbau der Modellkette zur Bearbeitung der Aufgabenstellung

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 30 km x 30 km angesetzt. Für die horizontale Auflösung wurde mit 50 m gerechnet, vertikal wurden 36 Ebenen festgelegt, wobei in Bodennähe die Auflösung 3 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.

Die folgenden Grafiken zeigen die orts aufgelöst einbezogene Landnutzung und Orographie. Der CORINE-Datensatz zur Landnutzung hat eine räumliche Auflösung von 100 m. Hier wurde bei einer Auflösung im 50 m-Raster jeweils der nächstgelegene Punkt des Datensatzes im 100 m-Raster verwendet.

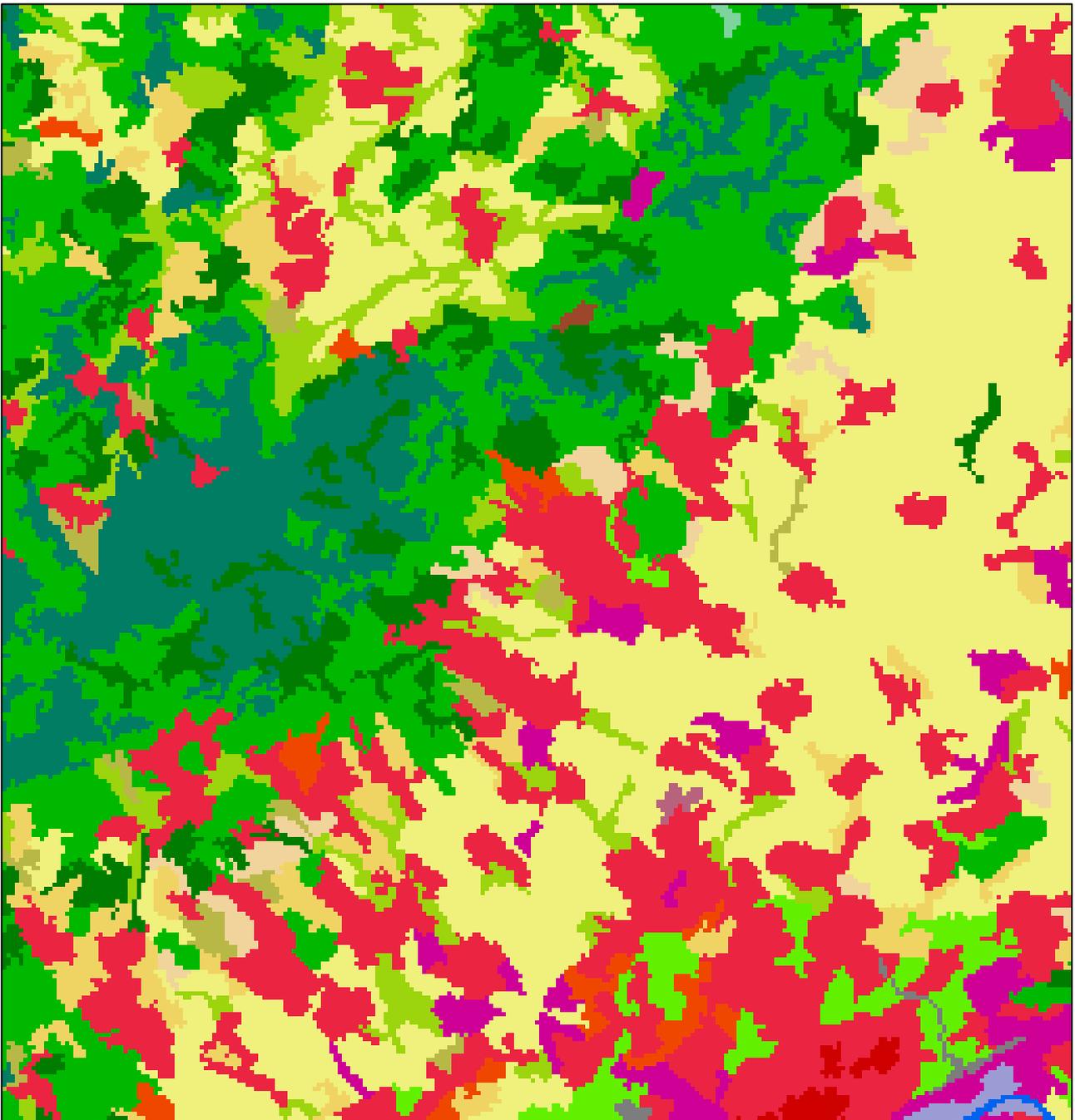


Abbildung 8: Landnutzung nach CORINE als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Umweltbundesamt, Autoren)

BEBAUTE FLÄCHEN

STÄDTISCH GEPRÄGTE FLÄCHEN

- 111 Durchgängig städtische Prägung
- 112 Nicht durchgängig städtische Prägung

INDUSTRIE-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN

- 121 Industrie- und Gewerbeflächen
- 122 Straßen, Eisenbahn
- 123 Hafengebiete
- 124 Flughäfen

ABBAUFLÄCHEN, DEPONIEREN und BAUSTELLEN

- 131 Abbauflächen
- 132 Deponien und Abraumhalden
- 133 Baustellen

GRÜNFLÄCHEN

- 141 Städtische Grünflächen
- 142 Sport- und Freizeitanlagen

LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN

ACKERFLÄCHEN

- 211 Nicht bewässertes Ackerland

DAUERKULTUREN

- 221 Weinbauflächen
- 222 Obst- und Beerenobstbestände

GRÜNLAND

- 231 Wiesen und Weiden

HETEROGENE LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN

- 242 Komplexe Parzellenstrukturen
- 243 Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung

WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN

WÄLDER

- 311 Laubwälder
- 312 Nadelwälder
- 313 Mischwälder

STRAUCH- UND KRAUTVEGETATION

- 321 Natürliches Grünland
- 322 Heiden und Moorheiden
- 324 Wald-Strauch-Übergangsstadien

OFFENE FLÄCHEN OHNE / MIT GERINGER VEGETATION

- 331 Strände, Dünen und Sandflächen
- 332 Felsflächen ohne Vegetation
- 333 Flächen mit spärlicher Vegetation
- 334 Brandflächen
- 335 Gletscher und Dauerschneegebiete

FEUCHTFLÄCHEN

FEUCHTFLÄCHEN IM LANDESINNERN

- 411 Sümpfe
- 412 Torfmoore

FEUCHTFLÄCHEN AN DER KÜSTE

- 421 Salzwiesen
- 423 In der Gezeitenzone liegende Flächen

WASSERFLÄCHEN

WASSERFLÄCHEN IM LANDESINNERN

- 511 Gewässerläufe
- 512 Wasserflächen

MEERESGEWÄSSER

- 521 Lagunen
- 522 Mündungsgebiete
- 523 Meere und Ozeane
- Flächen außerhalb des Bearbeitungsgebietes

Abbildung 9: Farblegende für die Landnutzung nach CORINE

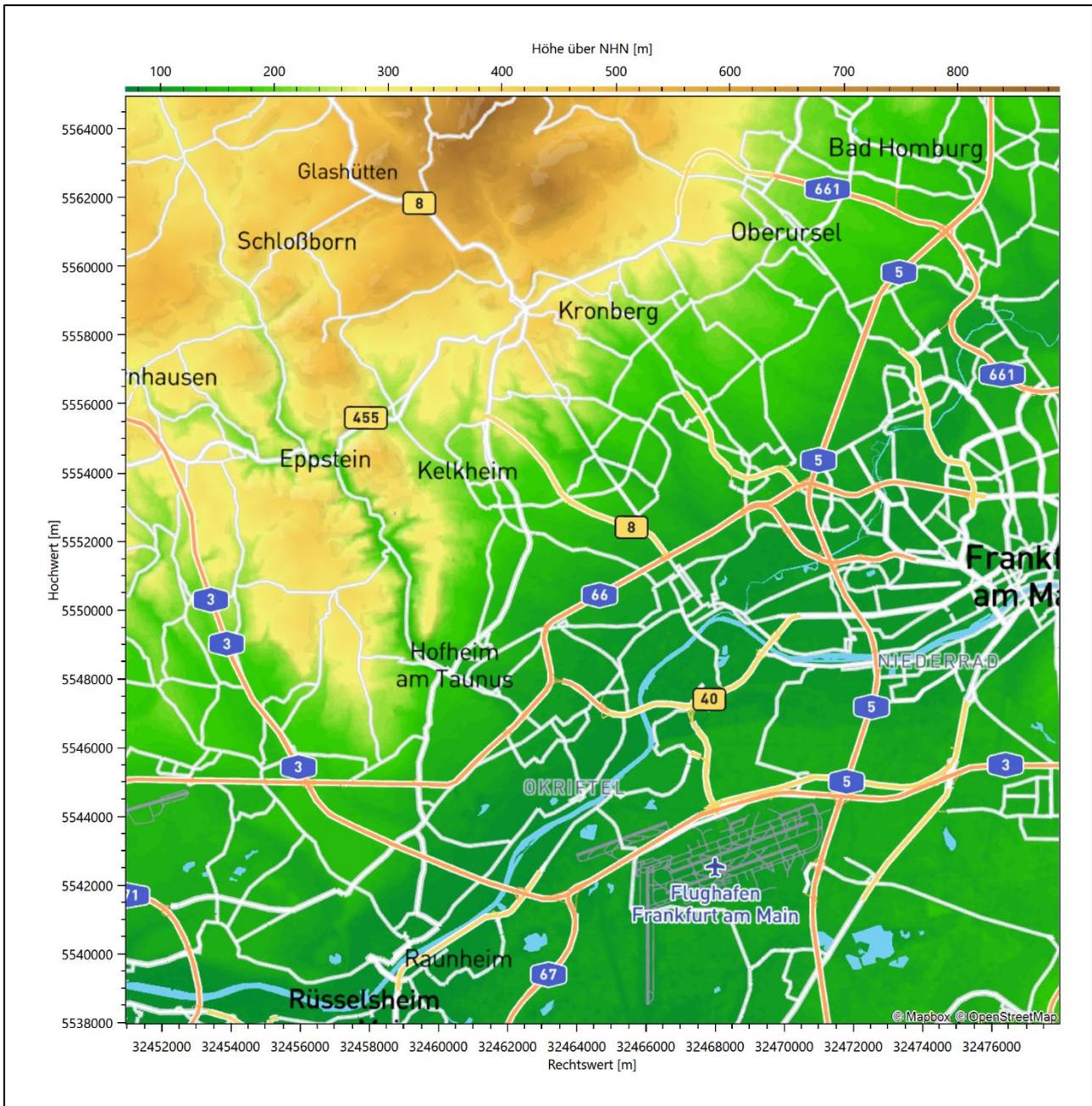


Abbildung 10: Orographie als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreet-Map, Autoren)

Für die Kaltluftmodellierung sind vor allem für die Kaltluftentstehung weitere energetische Parameter der Luft-Boden Grenzfläche wichtig. Die folgenden Abbildungen zeigen die zugrunde gelegten räumlichen Verteilungen von Albedowert, Emissionsvermögen, Wärmeleitfähigkeit, Feuchtegehalt und Rauigkeit des Bodens im Modellgebiet.

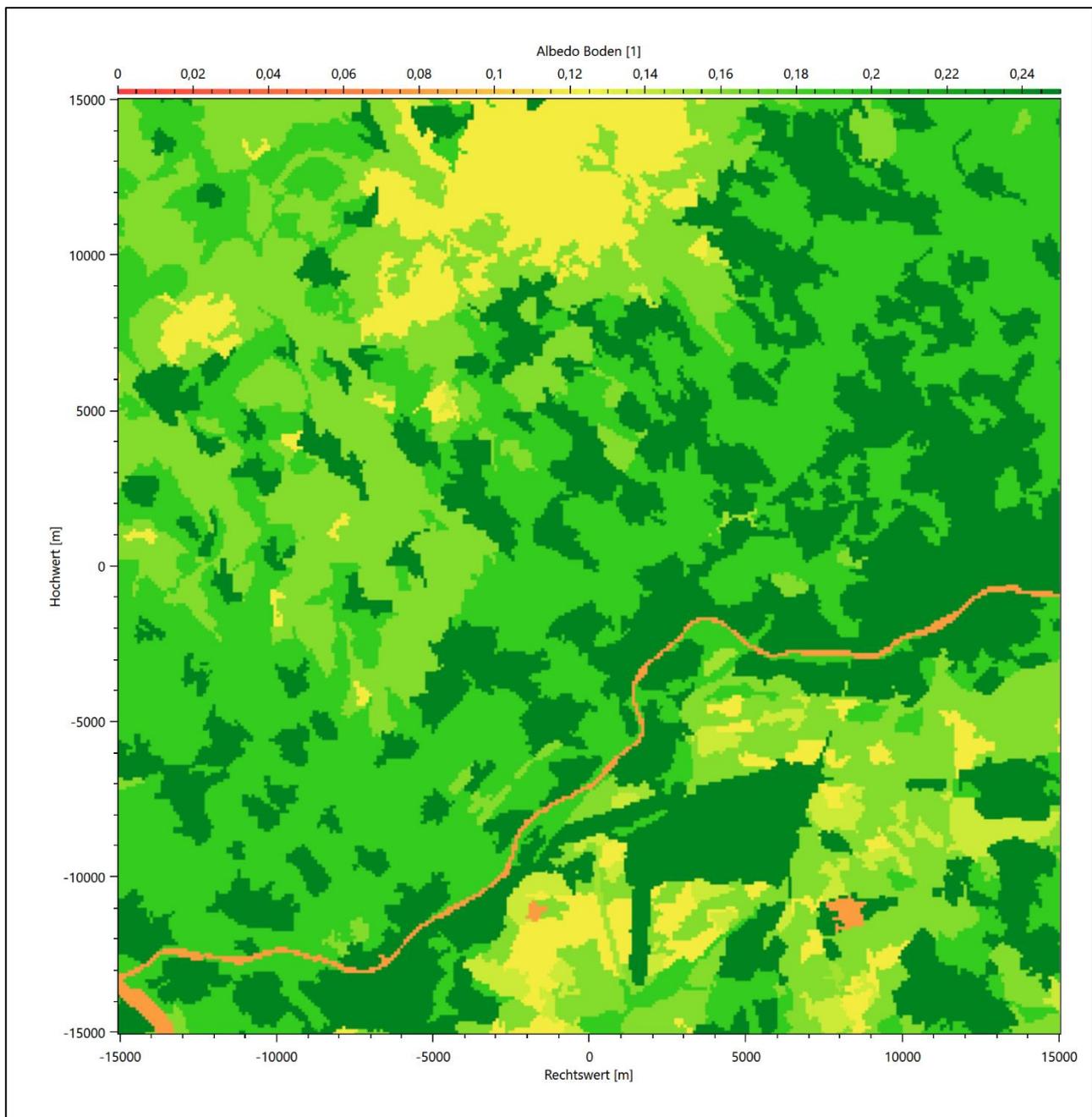


Abbildung 11: Albedowert des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

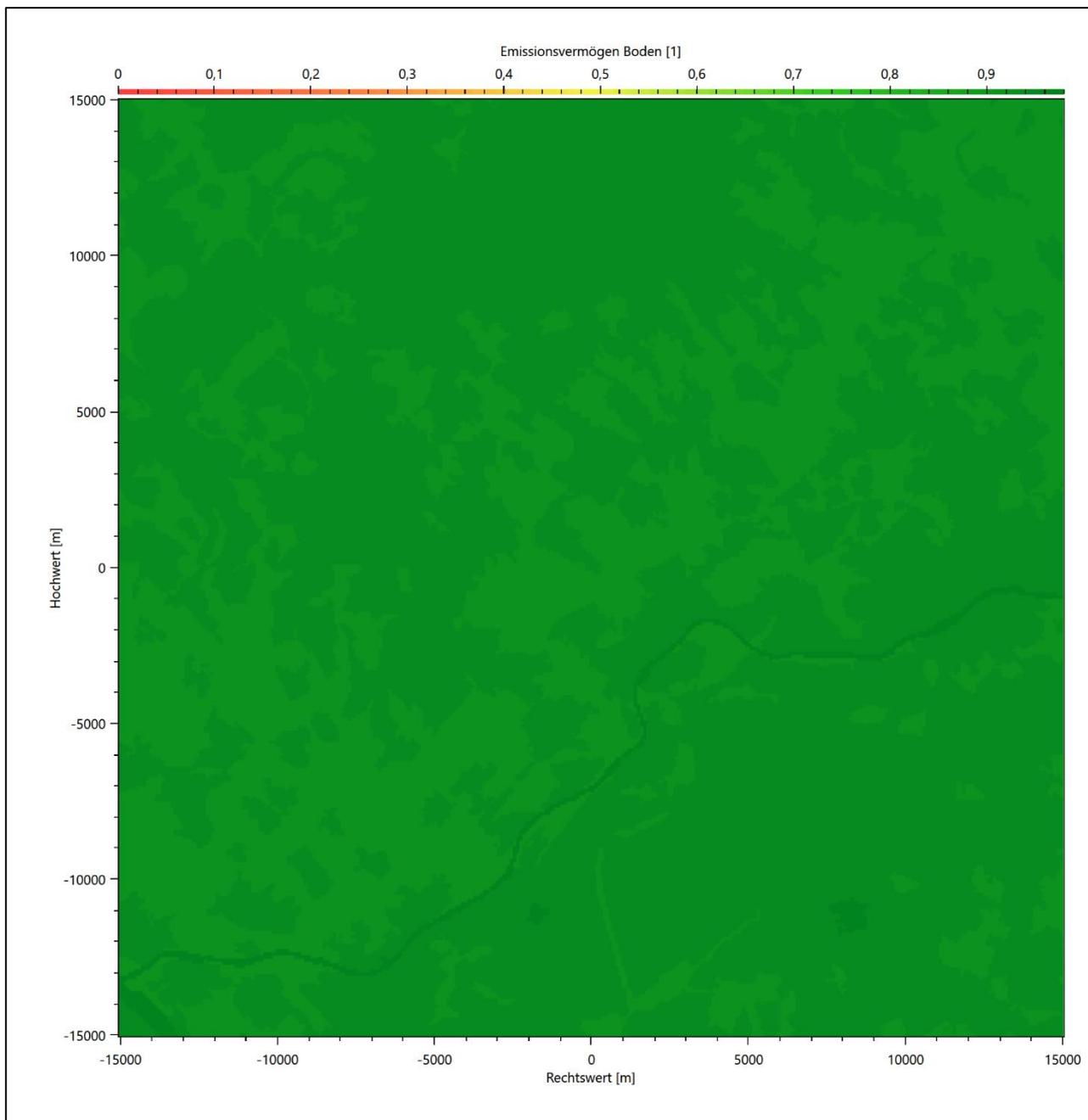


Abbildung 12: Emissionsvermögen des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

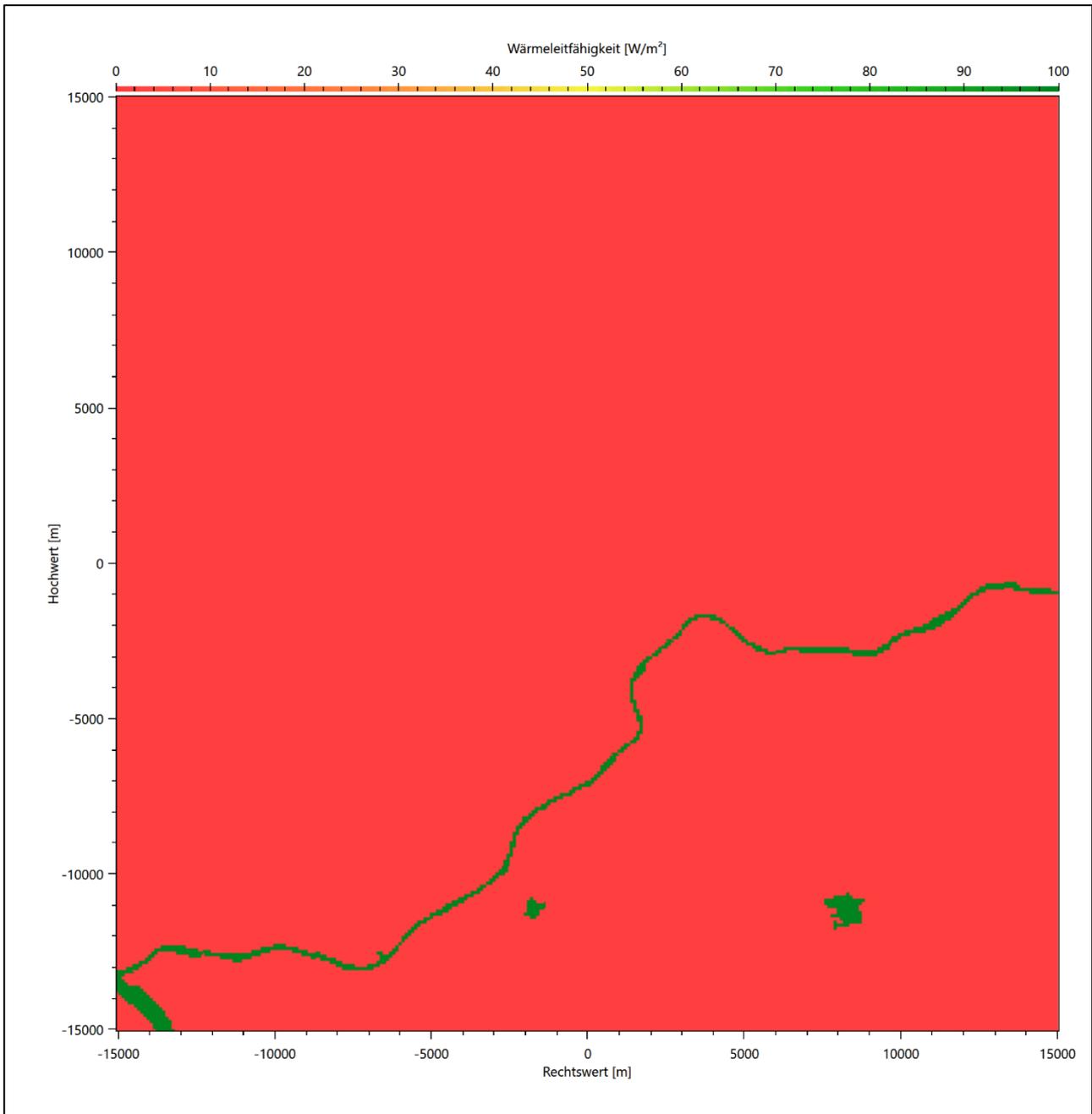


Abbildung 13: Wärmeleitfähigkeit des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

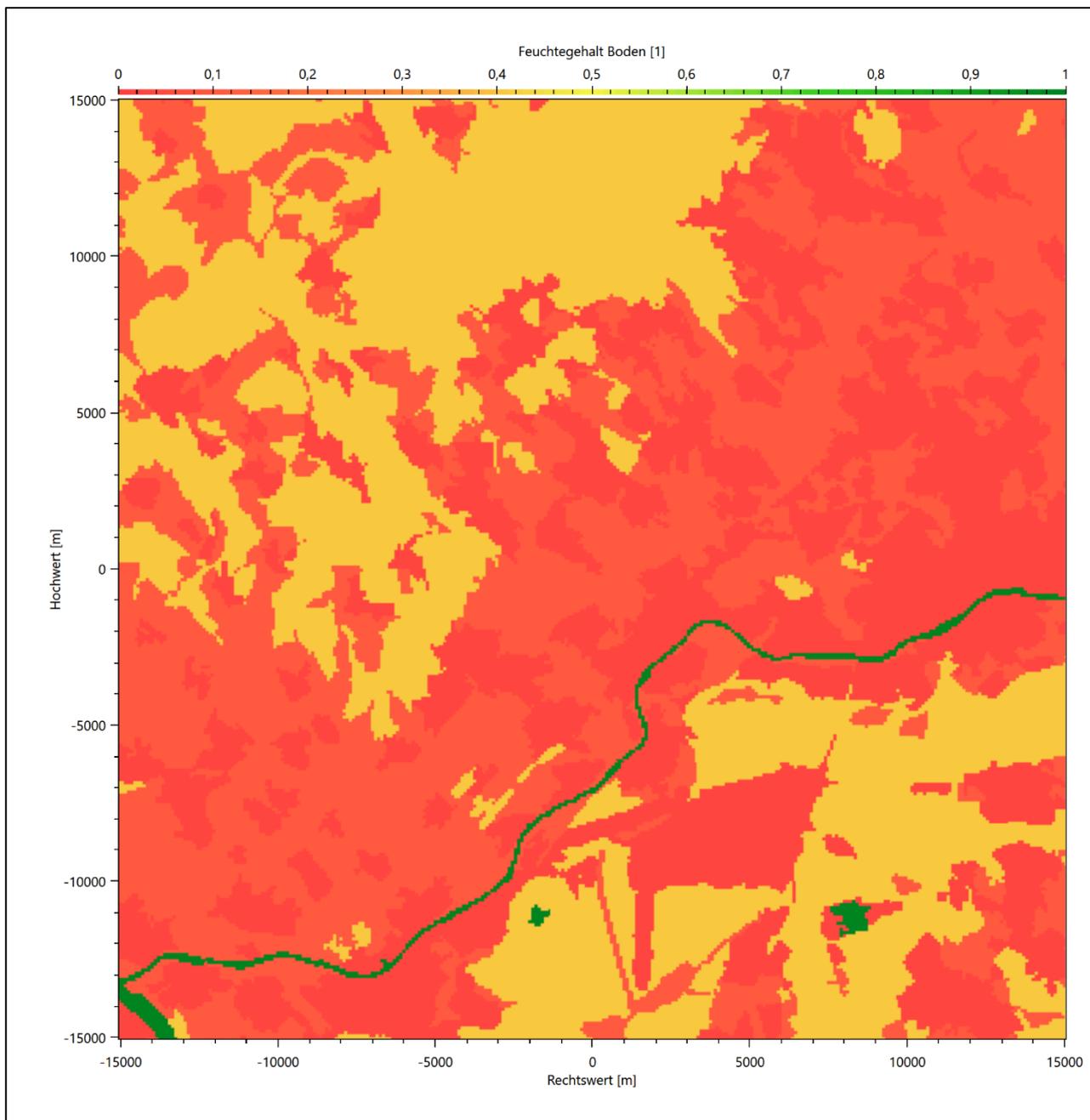


Abbildung 14: Feuchtegehalt des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

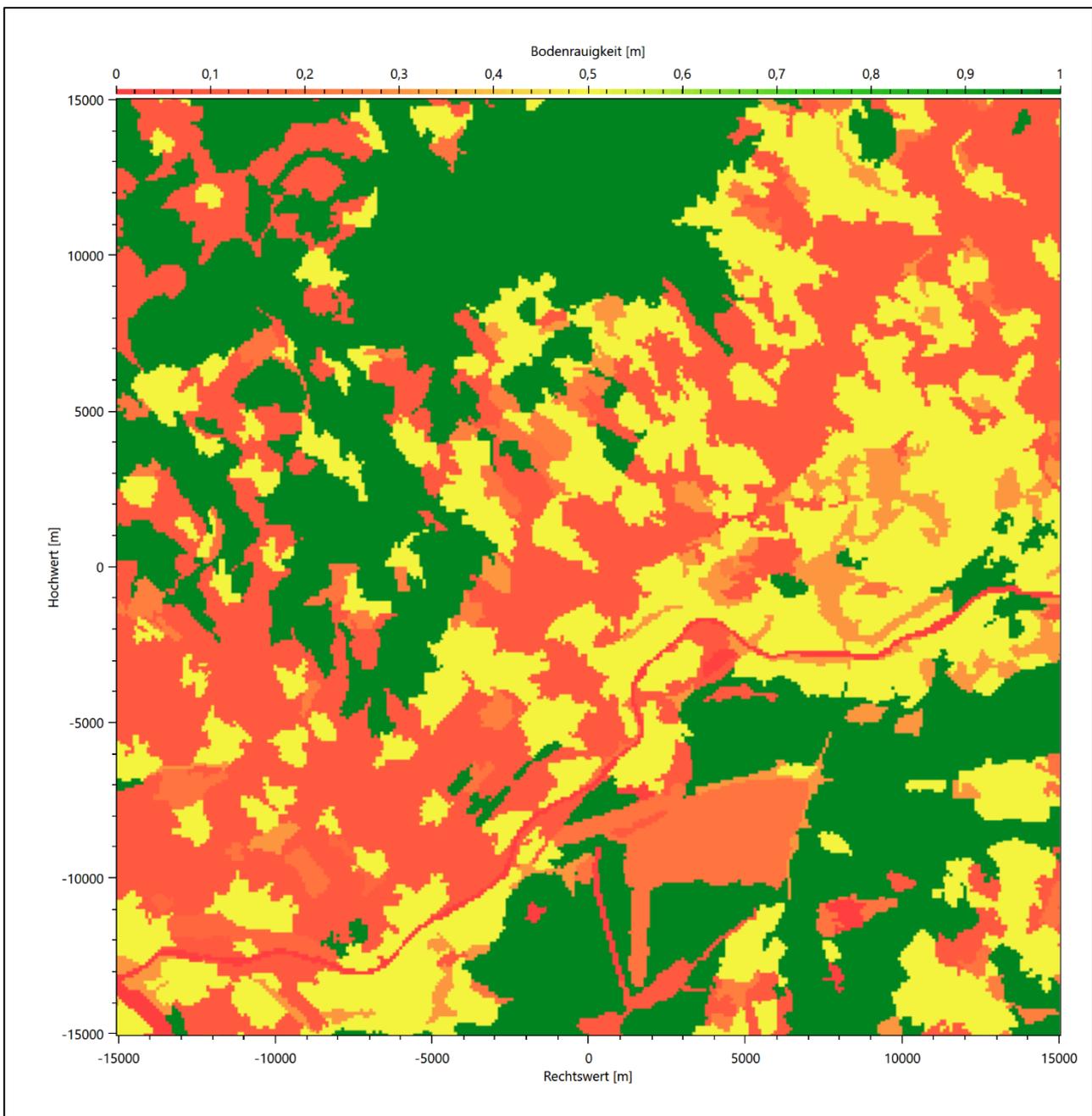


Abbildung 15: Rauigkeit des Bodens als Eingangsdaten für die Kaltluftmodellierung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

4.3.2 Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung

Im Gegensatz zum großen Modellgebiet, einschließlich der Kaltluft-Entstehungsgebiete im Taunus, 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 2000 m x 2000 m um den Standort angesetzt. Für die horizontale Auflösung wurde mit 5 m gerechnet, vertikal wurden 45 Ebenen festgelegt, wobei in Bodennähe (bis etwa 70 m über Grund) die Auflösung 2 m betrug und nach oben vergrößert wurde.

Die folgende Grafik zeigt den relevanten Ausschnitt des Untersuchungsgebietes.

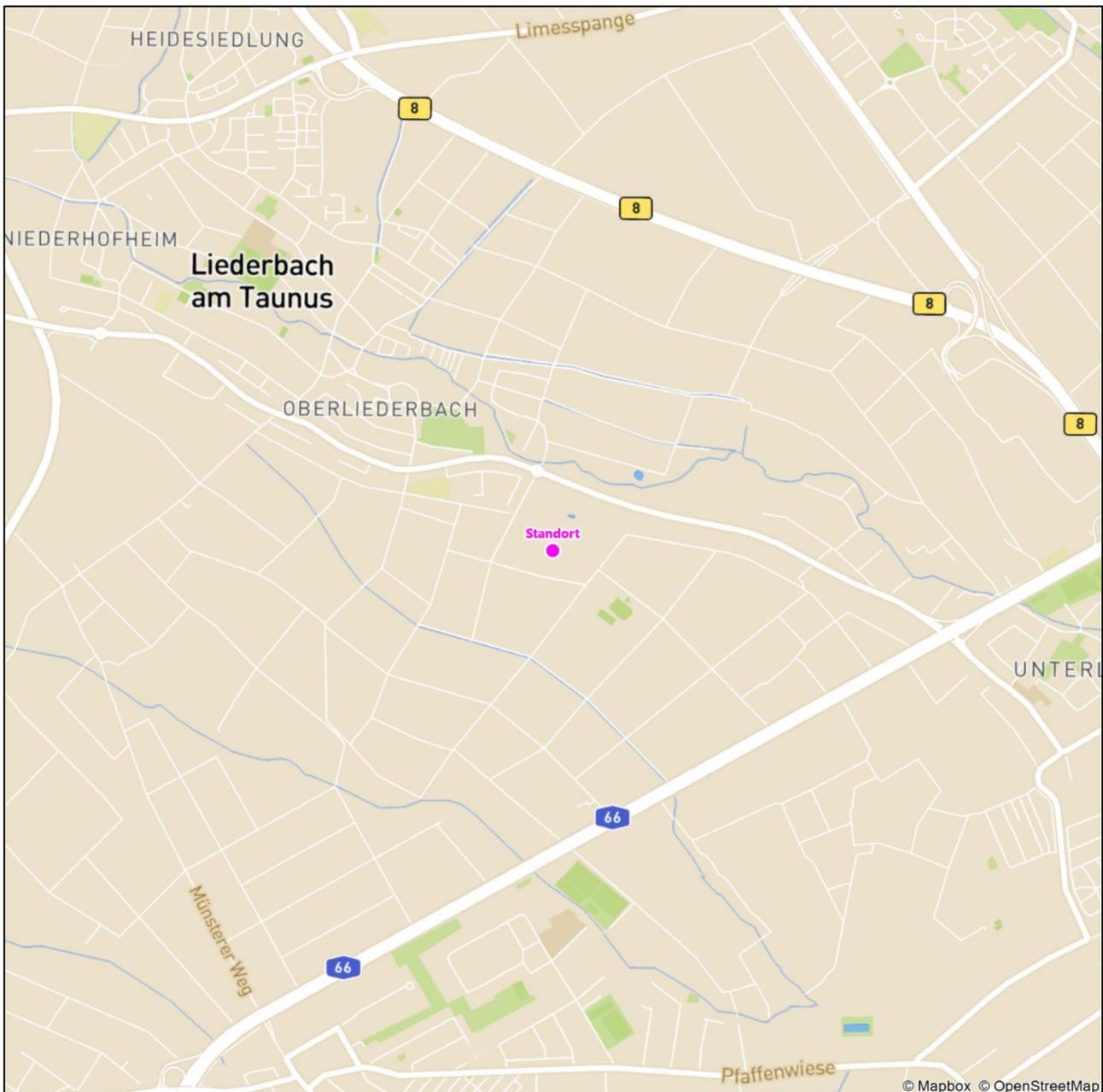


Abbildung 16: Untersuchungsgebiet zur Modellierung der Gebäudeumströmung und der Temperaturverteilung (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

4.3.3 Thermische Angaben zum Bauvorhaben

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

Für das Vorhaben ist die Errichtung von zwei Gebäuden mit Rechentechnik geplant (Gebäude A und B), wobei die wesentliche Wärmeemission über deren Dach oberhalb von 20 m über Grund abgegeben wird. Die folgende Abbildung zeigt die Anordnung der Aggregate auf den Gebäuden.

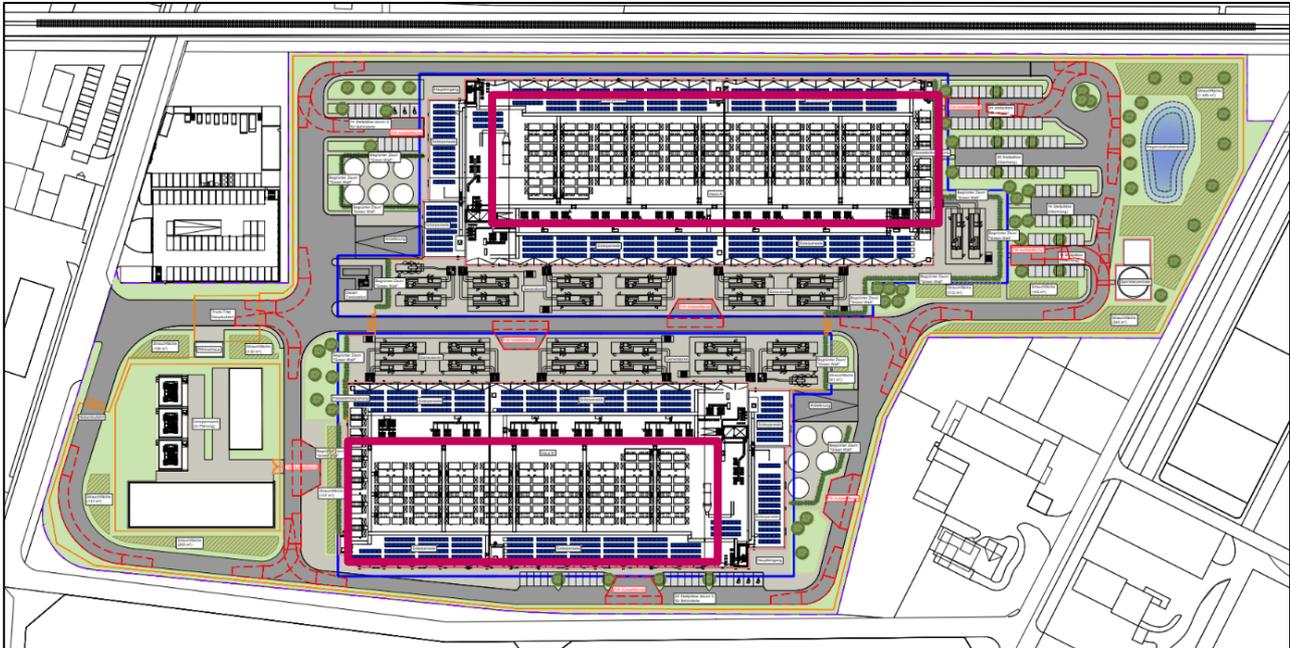


Abbildung 17: Anordnung der wärmeemittierenden Lüftungsgeräte auf den Gebäuden, violett umrahmt (Quelle: Auftraggeber)

Die installierte Nennleistung der Lüftungsgeräte beträgt insgesamt für Gebäude A 99,5 MW, für Gebäude B 83 MW. Im Normalbetrieb arbeiten nicht alle Aggregate mit voller Nennleistung, so dass die installierte Leistung in der Regel nicht voll ausgelastet wird. Im Folgenden wird dennoch von einer Wärmeemission in Höhe der vollen installierten Leistung ausgegangen, um auf der sicheren Seite zu sein. Vorsorglich wird eine weitere Sicherheitsreserve von 3 MW aufgeschlagen. Es kann dann davon ausgegangen werden, dass über die auf diese Weise geschaffene Sicherheitsreserve in Höhe von 3 MW der installierten Leistung alle weiteren Quellen wie Transformatoren, Büros und weitere Nebenanlagen, die im bestimmungsgemäßen Betrieb regelmäßig Wärme emittieren, ebenfalls berücksichtigt sind.

Im Probetrieb werden außerdem Notstromaggregate einzeln in Betrieb genommen, um deren Funktion zu testen. Kommt es zu einem Totalausfall der Stromversorgung, muss das Rechenzentrum komplett mit eigens erzeugter Elektroenergie betrieben werden. In diesem Notstrombetrieb laufen die installierten Notstromaggregate und emittieren zusätzliche Wärme gegenüber dem Normalbetrieb.

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 Lüftungsgeräten auf dem Dachgeschoss. Unter der Maßgabe, dass der Probetrieb der Notstromaggregate nicht regelmäßig 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, der 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	Lüftungsgeräte Gebäude A	99,5	Dachgeschoss	ja
Normalbetrieb	Lüftungsgeräte Gebäude B	83,0	Dachgeschoss	ja
Sicherheitsreserve	Lüftungsgeräte, sonstige ständig emittierende Wärmequellen, Nebenanlagen	3	Dachgeschoss	ja
Probetrieb	Abwärme der Notstromaggregate	-	Dachgeschoss/Kamine	nein
Notstrombetrieb	Abwärme der Notstromaggregate	-	Dachgeschoss/Kamine	nein

4.3.4 Geometrie der Emissionsorte

Die im Bereich des Dachgeschosses emittierenden Quellen werden als Flächenquellen bei 20 m Höhe angesetzt, die horizontal der Grundfläche der Quellen - wie in Abbildung 17 gekennzeichnet - entsprechen.

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 am entlang der Höchster Straße nördlich des Standortes, die Einzelnutzung Am Nassgewann südöstlich sowie das Hofgut Liederbach betrachtet. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Beurteilungspunkte im Luftbild.



Abbildung 18: Lage der Beurteilungspunkte (Quelle: Google Earth, Autoren)

5 Ergebnisse und Bewertung

5.1 Großräumige Kaltluftabflüsse im Modellgebiet

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen 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.

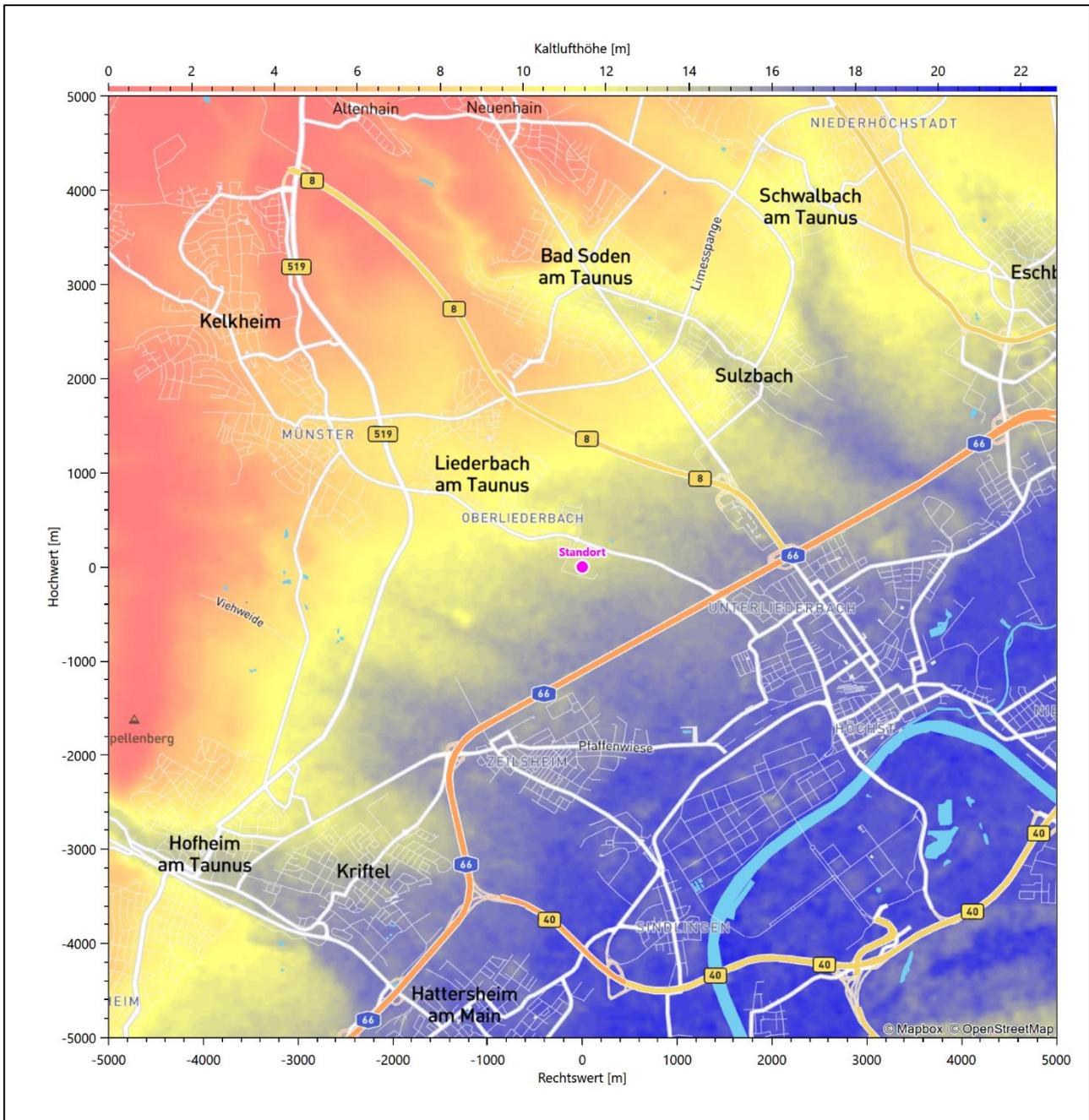


Abbildung 19: Kaltluftmächtigkeit (m) im Modellgebiet (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

Das Ausmaß der Kaltluftmächtigkeit kann in zwei Bereiche unterteilt werden.

Die Entstehungsgebiete der Kaltluft (Hanglagen des Taunus nordwestlich von Liederbach) weisen Kaltluftmächtigkeiten von bis zu etwa 12 m auf und liegen im nordwestlichen Teil des Modellgebiets. Da Kaltluft dort gerade erst entsteht und aufgrund der Hanglage schnell abfließt, kommt es nur in einzelnen Tallagen zu größeren Mächtigkeiten als etwa 12 m.

Wenn die abfließende Kaltluft in die Siedlungskerne von Liederbach und den umliegenden Orten eindringt, kommt es einerseits zu einem Rückstau aufgrund der im bebauten Bereich kleineren Fließgeschwindigkeit. Zudem fällt in den benannten Siedlungsbereichen die Hangneigung des Taunus weg, so dass sich die Kaltluft aufgrund wegfallender Hangabtriebskraft weiter verlangsamt und zum Teil auftürmt. Im südöstlichen Bereich

des Modellgebietes hin zum Flusslauf des Mains sind daher größere Kaltluftmächtigkeiten zu beobachten, die zwischen etwa 10 m und etwa 25 m liegen.

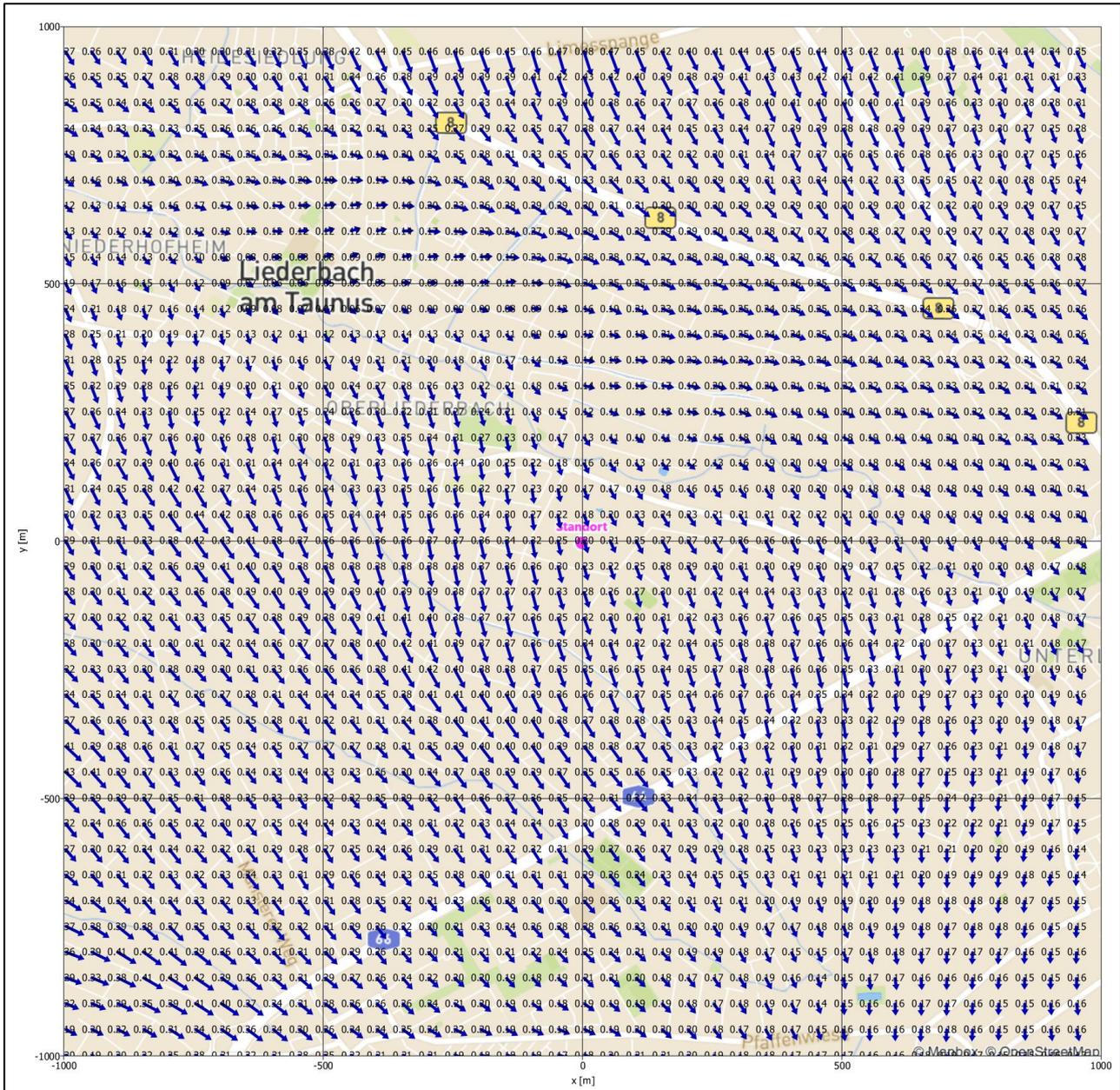


Abbildung 20: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Modellgebiet (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Auto- ren)

Die Visualisierung der Kaltluftgeschwindigkeit zeigt, dass erwartungsgemäß ein großräumiger Kaltluftstrom von den Hängen des östlichen Taunus der Hangneigung nach Südosten folgend nach Liederbach und in die umliegenden Siedlungen einströmt. Kaltluftschneisen bilden vornehmlich die Täler, die den Taunus nach Südosten hin entwässern (Urselbach, Westerbach). Dort treten mit bis zu 1 m/s in etwa 5 m über Grund die höchsten Kaltluftgeschwindigkeiten im Modellgebiet auf, ebenfalls wieder modelliert für den stationären Zustand nach etwa 6 Stunden. Im Standortbereich liegen die Kaltluftfließgeschwindigkeiten bei 0,2 m/s bis 0,3 m/s.

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 fein aufgelöste Betrachtung durchgeführt (Auflösung 5 m zur zusätzlichen Erfassung von Bebauung und umströmten Hindernissen).

Die im vorigen Abschnitt großräumig visualisierten Daten sind im nachfolgend für das Untersuchungsgebiet in feinerer Auflösung dargestellt. Die Umströmung der bisherigen und geplanten Baukörper ist noch nicht berücksichtigt.

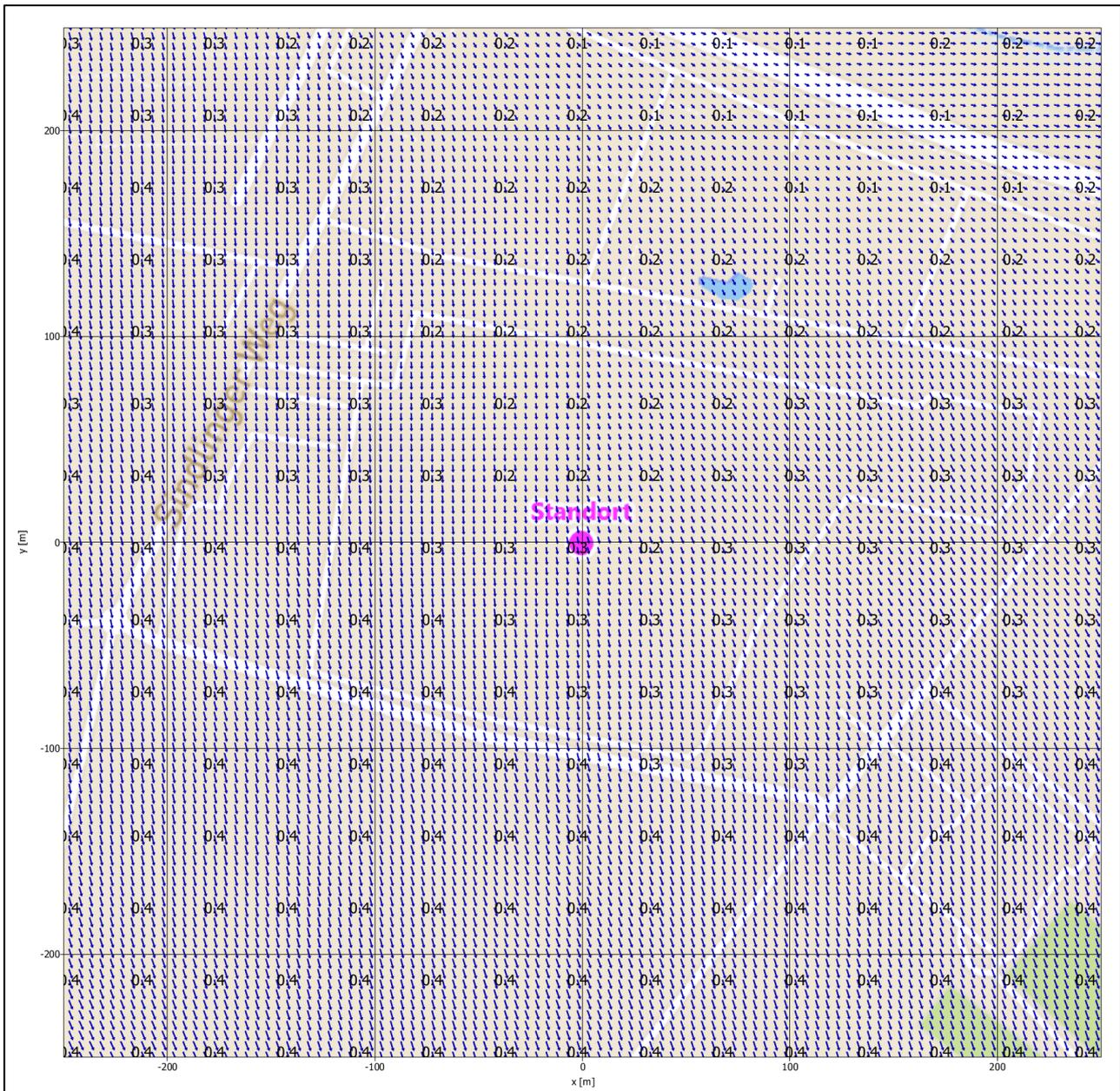


Abbildung 21: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Untersuchungsgebiet ohne Berücksichtigung von Umströmung der Baukörper (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

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 die Baukörper in bisheriger Geometrie (Variante 1) und zum anderen in geplanter Geometrie (Variante 2) berücksichtigt werden.

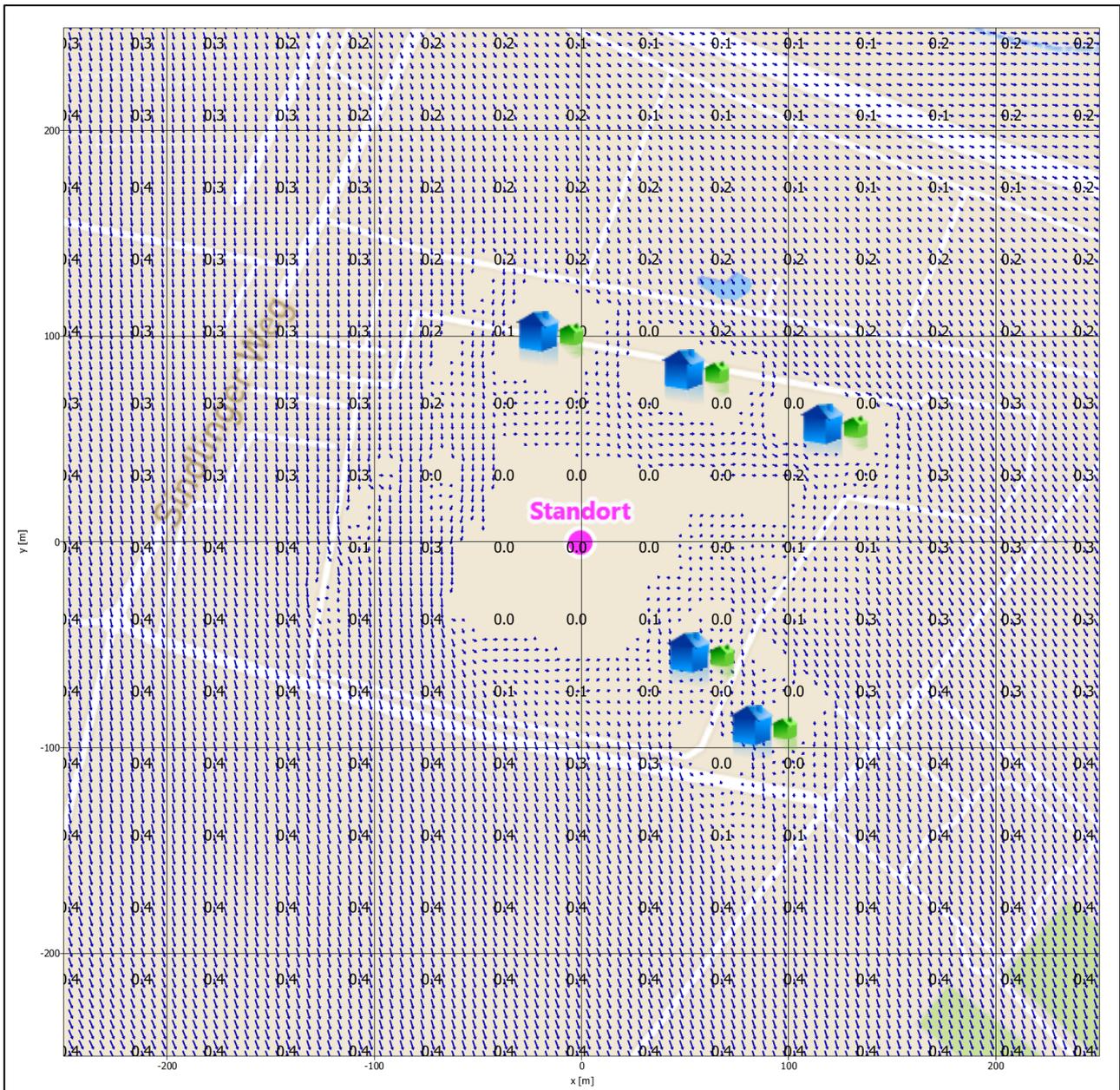


Abbildung 22: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Untersuchungsgebiet mit bisherigen Baukörpern (Variante 1) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

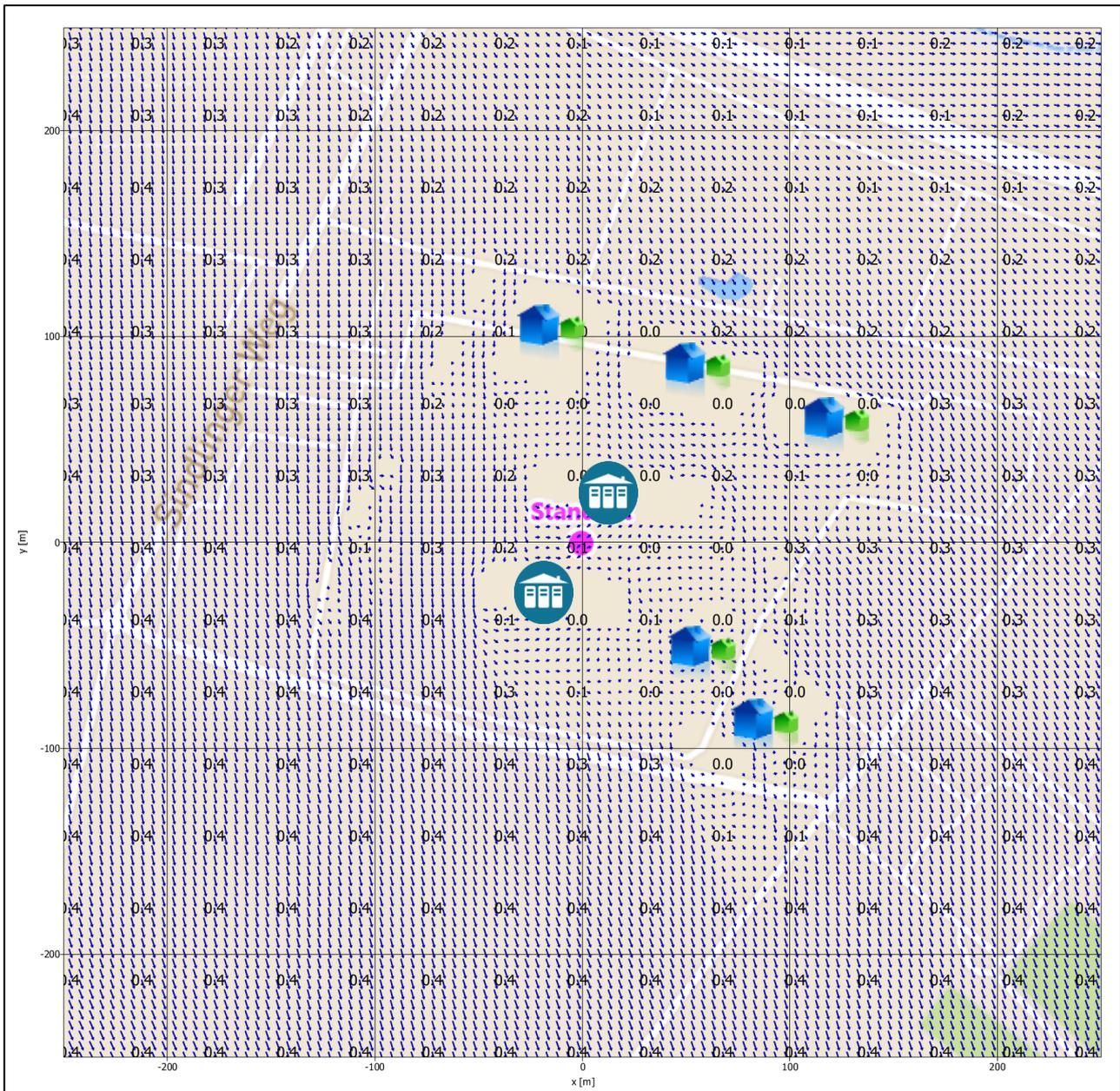


Abbildung 23: Kaltluftgeschwindigkeit (m/s) im Untersuchungsgebiet mit geplanten Baukörpern (Variante 2) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

In beiden Abbildungen sind die umströmten Baukörper als Bereiche erkennbar, in denen die Strömungsgeschwindigkeit auf Null zurück geht. Für Variante 1 wird das große Gebäude des Limonadenherstellers berücksichtigt, für Variante 2 die zwei geplanten Gebäude des Rechenzentrums. Die markierten Aufpunkte kennzeichnen die umliegende Wohnnutzung als Beurteilungspunkte.

Ein Vergleich der Abbildungen zu Variante 1 und 2 liefert an den Beurteilungspunkten keine Unterschiede in der Windgeschwindigkeit. Sowohl in Variante 1 als auch in Variante 2 sorgt die komplexe Gebäudestruktur dafür, dass um die Beurteilungspunkte selbst die Windgeschwindigkeit auf Werte zwischen 0,0 m/s und 0,1 m/s zurück geht. In Abbildung 21 ist noch der ungestörte Kaltluftabfluss dargestellt, der sich ohne Behinderung durch die Gebäudestruktur einstellen würde – bei etwa 0,2 m/s bis 0,3 m/s. Dies ist ohnehin schon

vergleichsweise wenig, da die aus dem Taunus nordwestlich heranfließenden Kaltluftströme durch die Ortslage von Liederbach selbst bereits abgeschattet oder durch anthropogene Wärmequellen im Ort aufgezehrt werden.

Mit Blick auf die das Durchlüftungspotenzial ausgedrückt über die Kaltluftgeschwindigkeit lässt sich also feststellen, dass der Abriss der bestehenden Gebäude am Standort und die Errichtung der geplanten Gebäude keine nachteiligen Auswirkungen an den umliegenden Beurteilungspunkten eintreten werden. So, wie diese Aussage auf die umliegenden Beurteilungspunkte gilt, kann sie auch auf weiter entfernt liegende Punkte und Bereiche verallgemeinert werden, da in zunehmender Entfernung die Wirkung der Geometrieänderung in den Baukörpern umso schneller abnimmt.

Gemäß Aufgabenstellung war noch zu untersuchen, ob sich bei südwestlichen Windrichtungen Abschattungen durch die geplanten Baukörper insbesondere auf die Beurteilungspunkte an der Höchster Straße ergeben könnten. Aus Sicht der Kaltluftströme kann dies ausgeschlossen werden, da diese aus Nordwesten entlang der Hangneigung des Taunus fließen. Um dennoch sicher zu gehen, wurde eine fiktive meteorologische Situation mit Anströmung aus Südwesten untersucht und jeweils wieder Variante 1 mit den bestehenden Gebäuden und Variante 2 mit den geplanten Gebäuden gegenübergestellt.

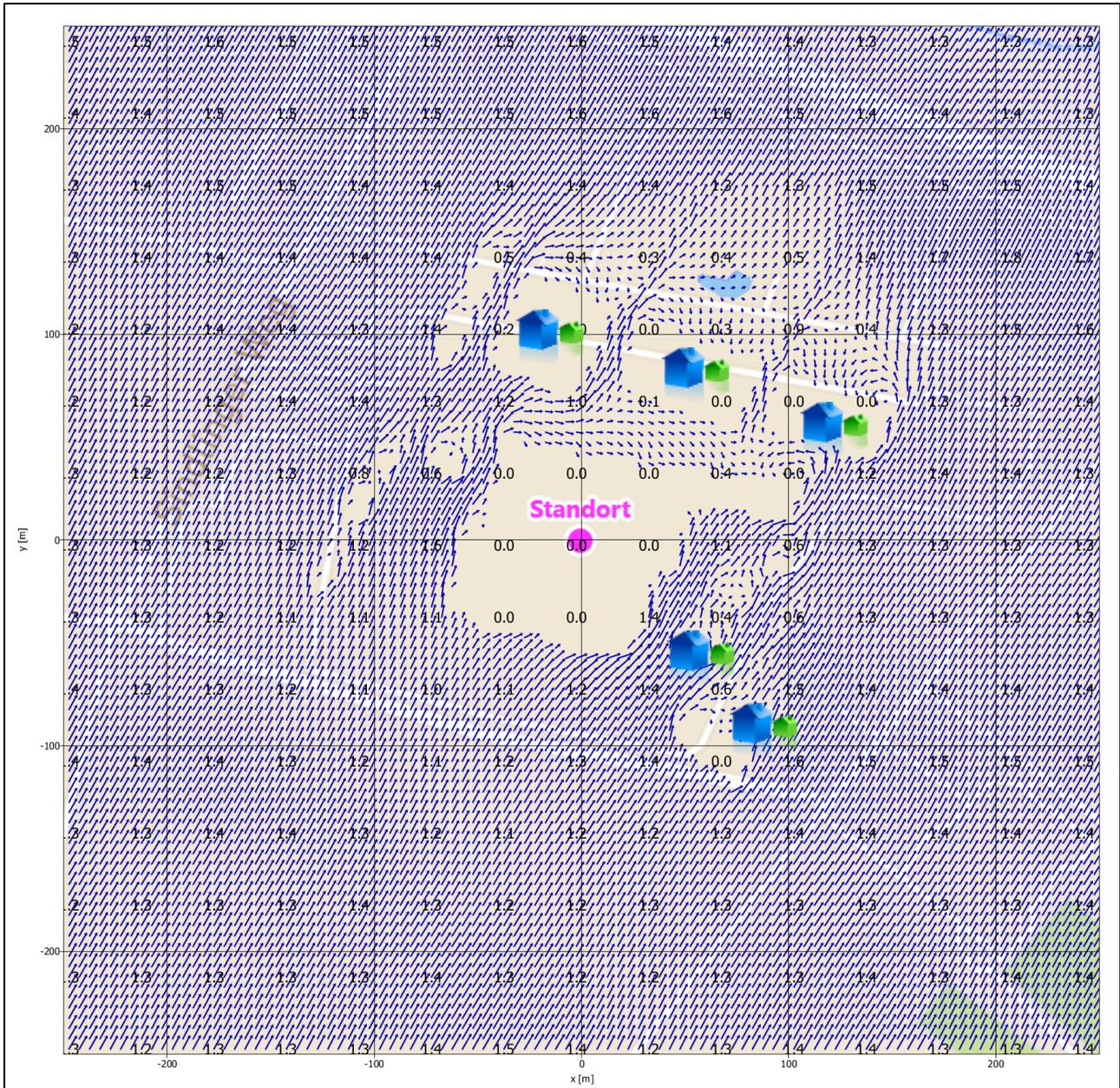


Abbildung 24: Windgeschwindigkeit (m/s) bei Anströmung aus Südwesten im Untersuchungsgebiet mit bisherigen Baukörpern (Variante 1) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

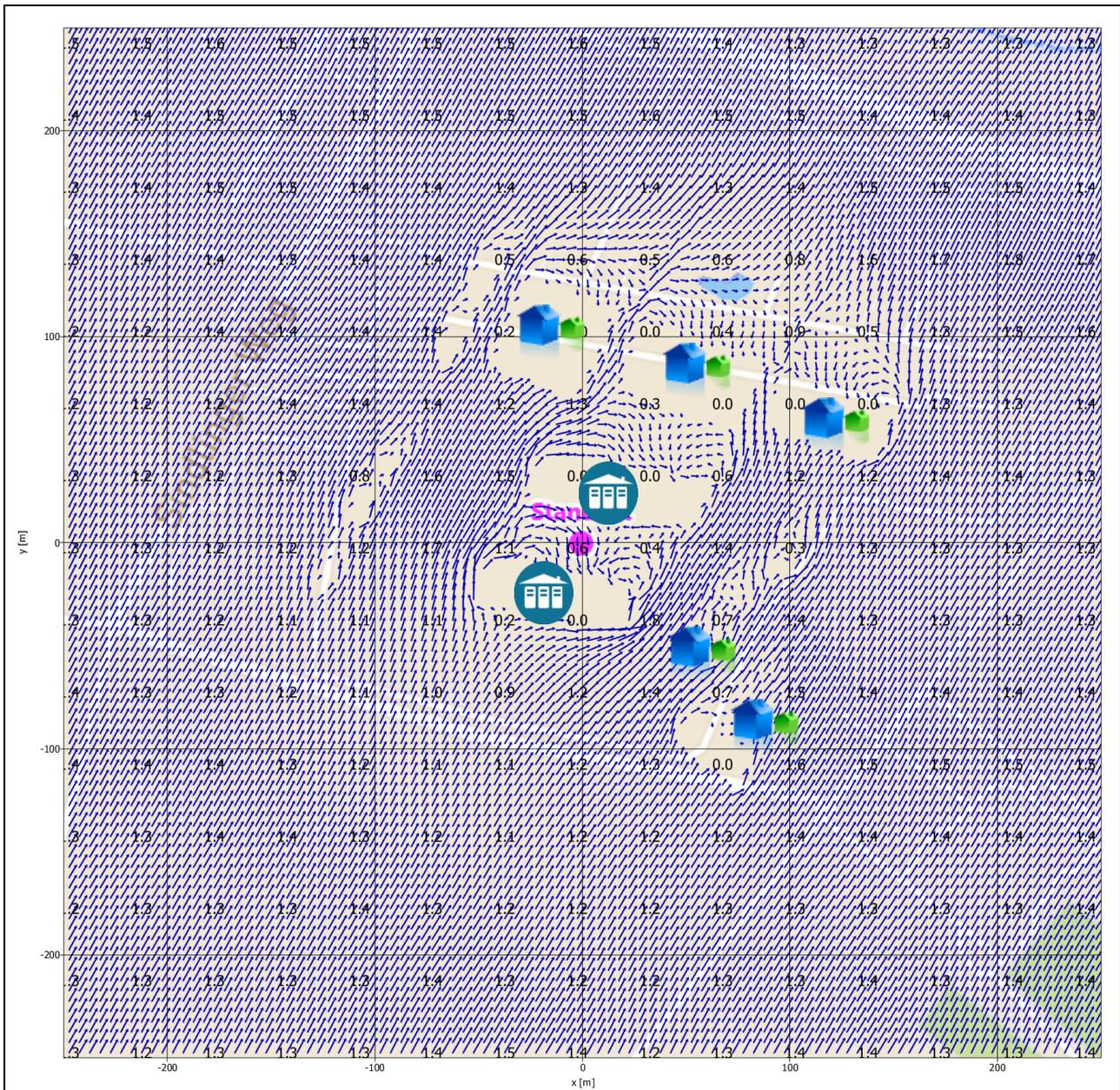


Abbildung 25: Windgeschwindigkeit (m/s) bei Anströmung aus Südwesten im Untersuchungsgebiet mit geplanten Baukörpern (Variante 2) (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

Ein Vergleich der Varianten 1 und 2 zeigt, dass nach Errichtung der geplanten Gebäude durchweg eine bessere Durchlüftung auch bei Wind aus Südwesten zu verzeichnen ist. Selbst für diese, mit Kaltluftabflüssen nicht erklärbare Situation, sind nachteilige Wirkungen durch das Vorhaben auszuschließen.

5.4 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 räumlichen Temperaturverteilung vorgenommen, wobei den Gebäuden des geplanten Rechenzentrums die installierte Leistung an Wärmeemissionen zugeordnet wird.

Zur Modellierung der Temperaturverteilung wurde willkürlich von einer Umgebungstemperatur von 20°C ausgegangen. Eine Abkühlung durch Kaltluft erfolgt am Boden auf etwa 15°C. Diese 15°C wurden als „Grundniveau“ der Temperatur angenommen und Temperaturen darüber als Differenz dargestellt. Um die Aussagekraft der Darstellung zu erhöhen, wurden Temperaturen oberhalb von 20°C nicht mehr andersfarbig dargestellt, obwohl die Temperatur im Bereich der Wärmeabgabe durchaus noch höhere Werte annehmen kann.

In der folgenden Grafik ist die Temperaturverteilung in einer Höhe von 5 m über Grund dargestellt. Im Bereich der Gebäude des Rechenzentrums wird trotz der immensen Wärmeemission keine Temperaturerhöhung festgestellt, die über das Maß der Unsicherheit bei der Modellierung von etwa 1 K hinausgeht.

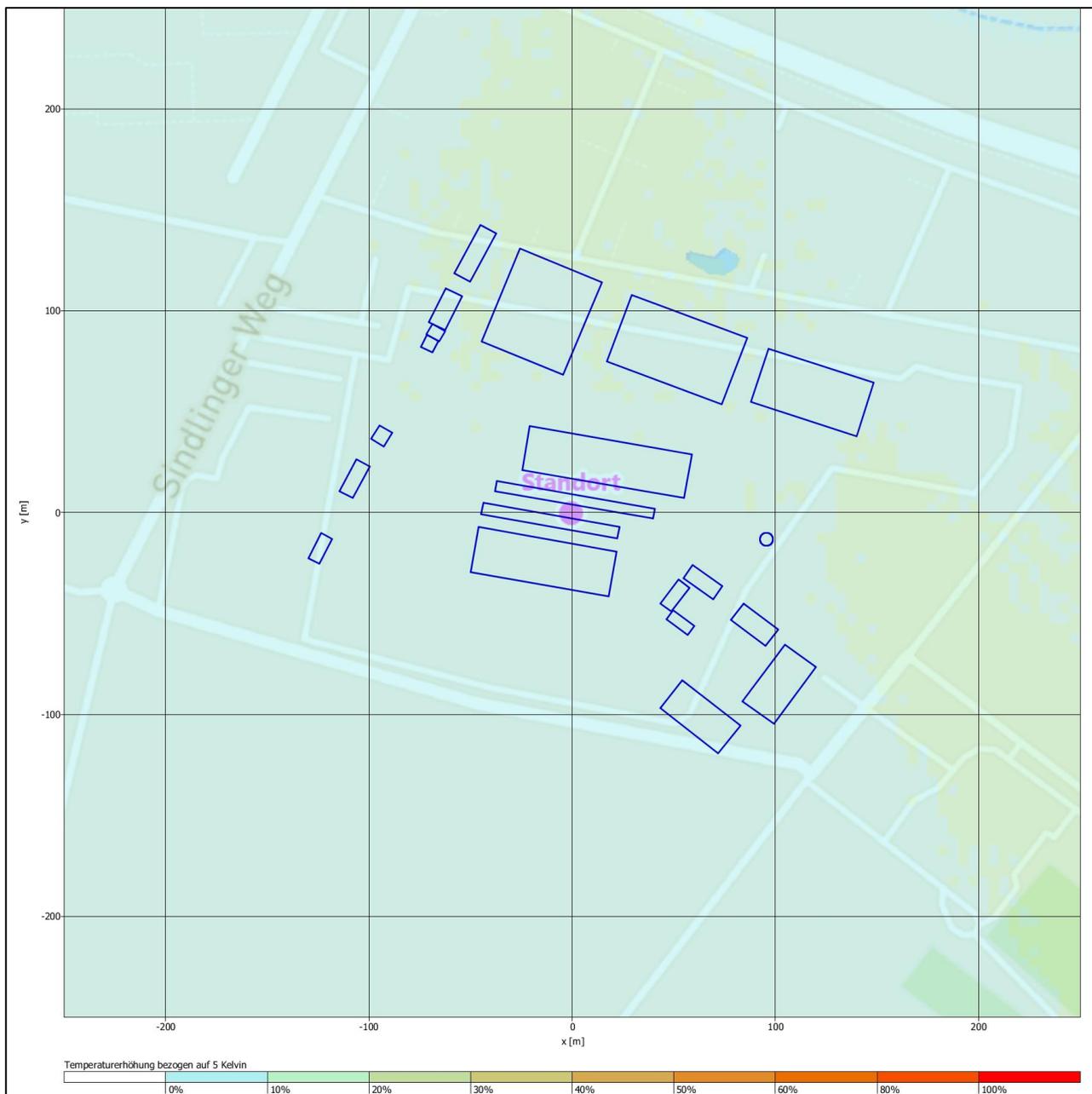


Abbildung 26: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 5 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

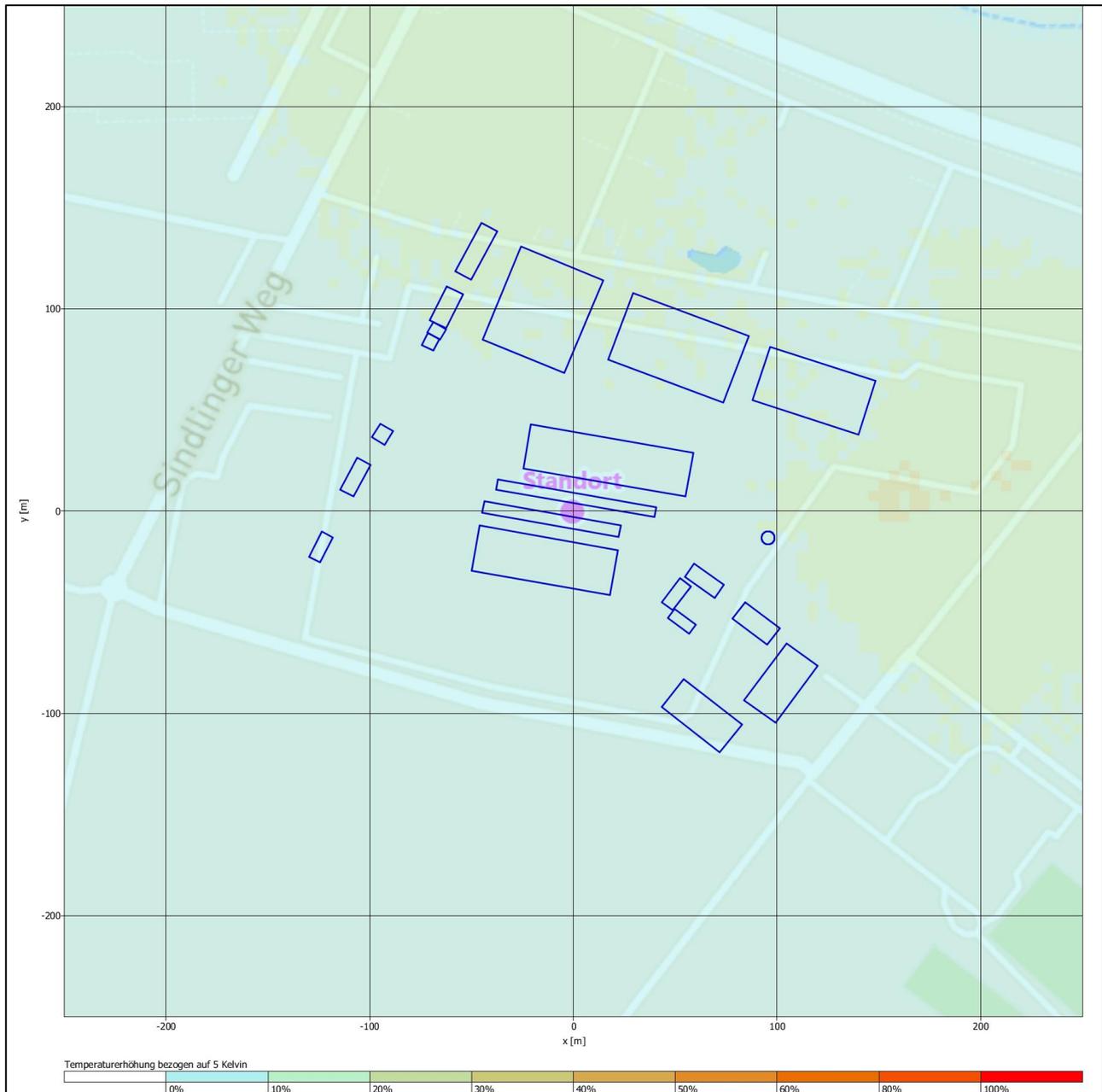


Abbildung 27: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 15 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

Während zwischen den Bewertungsniveaus von 5 m und 15 m über Grund (vorangegangene Abbildungen) nur eine leichte Temperaturerhöhung auffällt (plausibel, da Kaltluft am Boden die niedrigsten Temperaturen aufweist), zeigt das Niveau bei 25 m (folgende Abbildung) die deutlichen Wärmesäulen, die aufgrund des enormen thermischen Auftriebs über den Gebäuden des Rechenzentrums aufsteigen. Eine nennenswerte laterale Verfrachtung ist dabei nicht erkennbar. Benachbarte Bereiche werden also bis in 25 m Höhe nicht von der Wärmeemission berührt, die abkühlende Wirkung der Kaltluft wird weder bodennah noch in 25 m Höhe beeinträchtigt.

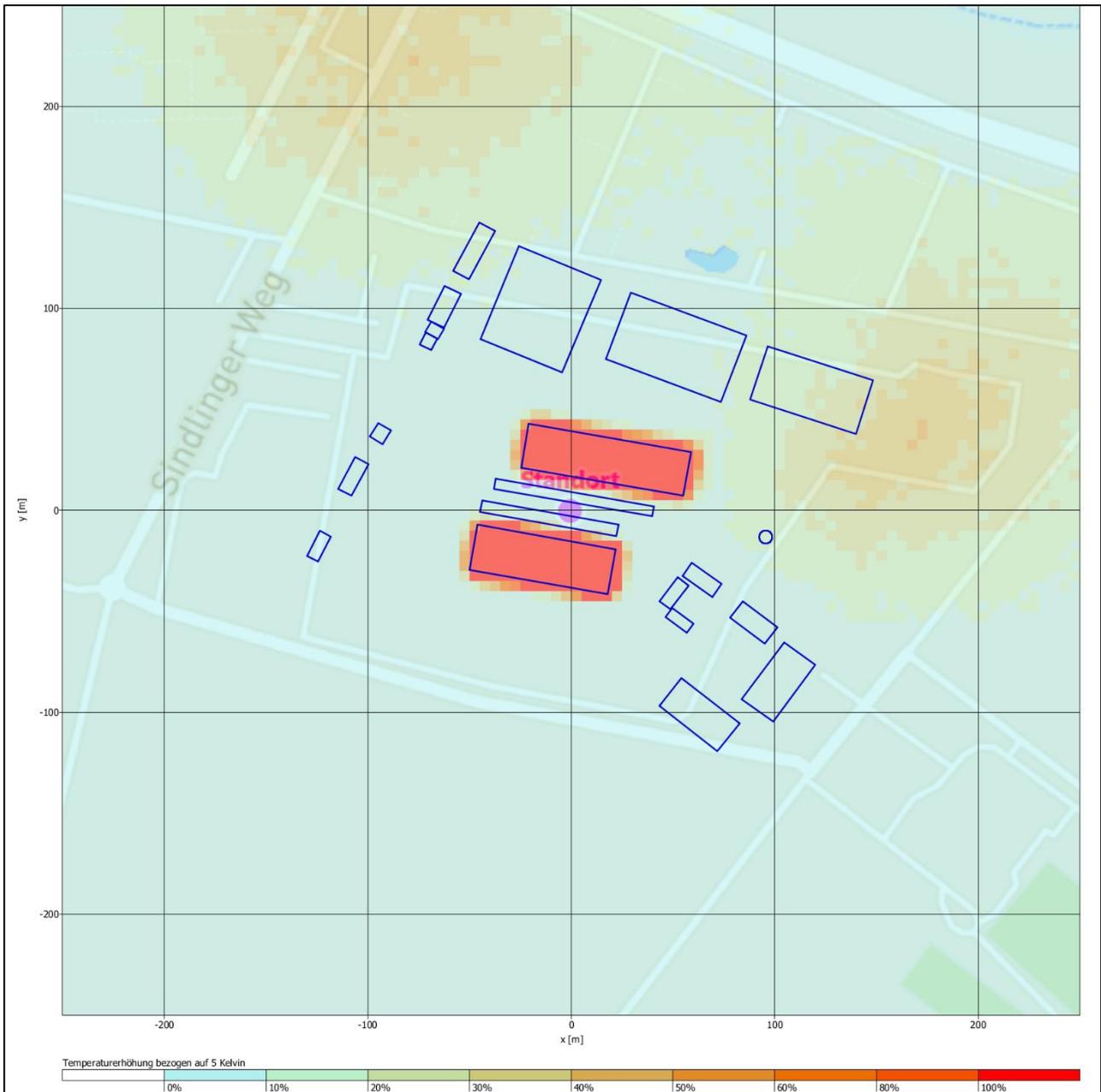


Abbildung 28: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 25 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

Schließlich weiten sich die aufsteigenden Säulen der emittierten Wärme in 50 m (folgende Abbildung) über Grund merklich, jedoch hat dies auf die schützenswerten Kaltluftströme in Bodennähe keinen Einfluss mehr.

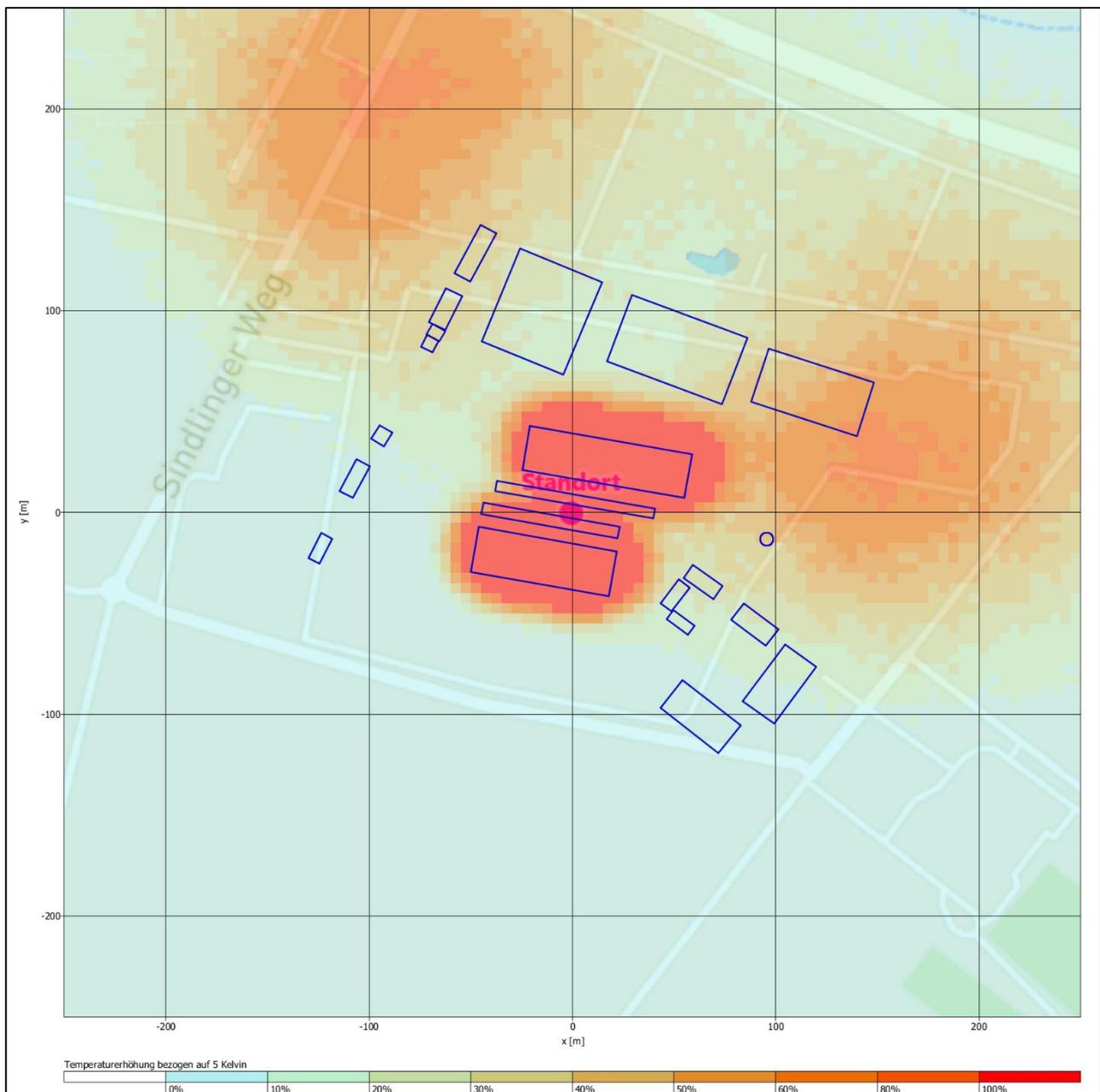


Abbildung 29: Kaltlufttemperatur (°C) als räumliche Verteilung (0 bis 5 K) in 50 m über Grund (Quelle: Mapbox, OpenStreetMap, Autoren)

Zusammenfassend kann also eingeschätzt werden, dass die Wärmeemission der Gebäude des geplanten Rechenzentrums keine nachteiligen Wirkungen auf die abkühlende Wirkung durch bodennahe Kaltluftströme haben wird.

Da erstens die nahezu gesamte Wärmeemission in etwa 20 m Höhe über Grund erfolgt und zweitens die erwärmte Luft aus den Lüftungsgeräten sofort nach Übertritt in die Atmosphäre einen starken thermischen Auftrieb erfährt, wird die emittierte Wärme über den Pfad der Konvektion nach oben in die Atmosphäre abgeführt. Ein nennenswerter Eintrag in bodennahe Bereiche (bis etwa 20 m über Grund) erfolgt nicht, siehe dazu insbesondere Abbildung 26 und Abbildung 27. Damit ist gewährleistet, dass keine bodennahen Kaltluftströme nachteilig beeinflusst werden, die schützenswert mit Blick auf das städtische Bioklima sind. Weiterhin

ist damit auch der Nachweis erbracht, dass Vegetation und Bewuchs im Umfeld des geplanten Rechenzentrums nicht durch die über Dach emittierte Wärme nachteilig beeinflusst werden können.

5.5 Kumulation mit anderen Projekten

Im Untersuchungsgebiet gibt es derzeit keine Kumulation mit ähnlichen Projekten, etwa wie andernorts im Umfeld von Frankfurt am Main. Eine Untersuchung dahingehend ist also entbehrlich.

6 Zusammenfassung

Es wurde untersucht, ob und inwieweit nach Fertigstellung und Inbetriebnahme des geplanten Rechenzentrums STACK FRA01 am Sindlinger Weg in Liederbach am Taunus nachteilige Wirkung auf das städtische Bioklima im Umfeld entstehen können.

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

Als Beurteilungspunkte mit den wenn dann am stärksten zu erwartenden Auswirkungen wurden die Wohnhäuser am entlang der Höchster Straße nördlich des Standortes, die Einzelnutzung Am Nassgewann südöstlich sowie das Hofgut Liederbach betrachtet, stellvertretend für weiter entfernt liegende schutzwürdige Bebauung.

Für diese Beurteilungspunkte wurde festgestellt, dass die abkühlende Wirkung der bodennahen und schützenswerten Kaltluft durch das Bauvorhaben und seine Wärmeabgabe nicht beeinflusst wird.

Ebenso wurde für diese Beurteilungspunkte festgestellt, dass die Herbeiführung von Luftaustausch bei windschwachen Wetterlagen durch das Bauvorhaben und seine Wärmeabgabe nicht nachteilig 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 zu.

Außerdem wurde festgestellt, dass es im Umfeld des geplanten Rechenzentrums durch dessen Wärmeabgabe über Dach zu keiner nachteiligen Beeinflussung von landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen kann.

Es ist also davon auszugehen, dass nach Fertigstellung und Inbetriebnahme des geplanten Rechenzentrums keine nachteiligen Wirkungen auf das städtische Bioklima zu erwarten sind.

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. Auch die Errichtung der baulichen Hülle der geplanten Gebäude führt nicht zu einer abriegelnden Wirkung, da im Gegenzug ein bestehendes Gebäude am Standort rückgebaut wird.

Frankenberg, am 20. September 2023



Dr. Ralf Petrich
- 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, Dezember 2003.
- [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] *Bebauungsplan Nr. 314 Ä der Stadt Frankfurt am Main*.
- [10] VDI 3783 Blatt 10, *Umweltmeteorologie - Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle - Gebäude und Hindernisumströmung*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, März 2010.
- [11] 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].
- [12] VDI 3783 Blatt 8, *Umweltmeteorologie - Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2017.
- [13] TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, „Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz,“ vom 21. September 2021.