



Lohmeyer

**GEWERBEANSIEDLUNG ÖSTLICH DER L 67 IN
KUPPENHEIM,
AUSWIRKUNGEN AUF LOKALKLIMATISCHE
VERHÄLTNISSE**

Auftraggeber:

VEGA Grieshaber KG
Am Hohenstein 113
77761 Schiltach

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH
Niederlassung Karlsruhe

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dipl.-Geoökol. H. Lauerbach

September 2023, redaktionell geändert Juli 2024
Projekt 20937-23-02
Berichtsumfang 26 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	1
2	VORGEHENSWEISE	2
3	BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	4
4	KALTLUFTSTRÖMUNGEN	8
5	ZUSAMMENFASSUNG	20
6	QUELLEN	22
	6.1 Literatur	22
	6.2 Materialien	22
A1	BESCHREIBUNG DES KALTLUFTMODELLS	24
A1.1	Allgemeines	24
A1.2	Modellbeschreibung	24
A1.3	Eingabedaten und Ergebnisse des Modells	26

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung der Lohmeyer GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

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

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

1 AUFGABENSTELLUNG

In Kuppenheim ist östlich der Landesstraße L 67 bzw. des Mercedes-Benz Werkes zwischen dem Kreisverkehrsplatz L 67/K 3715 im Norden und der Fritz-Minhardt-Straße im Süden eine Gewerbeansiedlung mit einer Größe von rund 10 Hektar geplant.

Die Lage von Kuppenheim am östlichen Rand des Oberrheingrabens und am Ausgang des Murgtals aus dem Schwarzwald bringt besondere Funktionen für lokalklimatische Verhältnisse mit sich. Deshalb sind für diese Planungen auch Aussagen zu den Auswirkungen auf die lokalklimatischen Gegebenheiten mit besonderem Fokus auf die Kaltluftströmungen auszuarbeiten und zu beurteilen.

2 VORGEHENSWEISE

Für die Einbindung lokalklimatischer Belange in die Planung bestehen keine einheitlichen Vorgaben zu inhaltlichen Themen und zu Beurteilungsgrößen. Dementsprechend werden in den Betrachtungen die lokalen Besonderheiten bezüglich lokalklimatischer Belange herangezogen und die Belange in den Vordergrund gestellt, die durch die Planungen modifiziert werden. Änderungen des Reliefs und der Landnutzung durch bauliche Maßnahmen führen zu Modifikationen der lokalklimatischen Verhältnisse. Das betrifft Änderungen der kleinräumigen Wind- und Durchlüftungsverhältnisse und Änderungen der thermischen Verhältnisse. Im Hinblick auf die Windverhältnisse sind vor allem die lokalen, thermisch induzierten Windströmungen, die so genannten Kaltluftströmungen, zu betrachten.

Die zu betrachtende Gewerbeansiedlung ist östlich der Landesstraße L 67 und östlich des bestehenden Mercedes-Benz Werkes auf bisher nicht bebauten Flächen vorgesehen. Etwa 1.5 km östlich davon steigt das weitgehend ebene Gelände des Oberrheingraben zu den Randhöhen des Schwarzwaldes mit dem von Osten und Südosten herangeführten eingeschnittenen Tal der Murg um mehr als 100 Höhenmeter an. Damit sind im Bereich der geplanten Gewerbeansiedlung nach Westen und Nordwesten orientierte, gesammelte Kaltluftströmungen aus dem Murgtal mit Orientierung in den Siedlungsbereich der westlich benachbarten Stadt Rastatt wirksam und fördern dort die nächtliche Belüftung.

Für die geplante Gewerbeansiedlung sind ein großflächiges hallenartiges Gebäude, zwei Hochregallagerbereiche, riegelartige zusammenhängende Verwaltungsgebäude, ein Parkhaus und Verkehrsanlagen vorgesehen. Diese Änderungen führen zu kleinräumigen Modifikationen der lokalklimatischen Verhältnisse. Dadurch können bestehende, lokale thermisch induzierte Winde wie die Kaltluftströmungen beeinträchtigt werden. Die genannten Modifizierungen und Auswirkungen beziehen sich überwiegend auf die bodennahen Windverhältnisse und die Temperaturverhältnisse in der direkten Umgebung.

Die Kaltluftbildung und Entwicklung der Kaltluftströmung entsteht an wind- und wolkenarmen Tagen nach Sonnenuntergang, indem vegetationsbestandene Flächen gegenüber versiegelten Flächen oder Wasserflächen intensiver und rascher abkühlen. Damit kühlt auch die darüber gelegene Luftschicht intensiver und rascher ab. Bei geneigtem Gelände setzen sich diese kühlen Luftmassen der Geländeneigung folgend in Bewegung und bilden Hangabwinde. In Einschnitten und Tälern werden die Hangabwinde zusammengeführt und bilden intensive Kaltluftströmungen aus, die beispielsweise die nächtliche Belüftung von Siedlungsgebieten

fördern können. In Mulden und vor lang gestreckten Hindernissen quer zur Kaltluftströmung entstehen Kaltluftstagnationsbereiche, die sehr stark auskühlen können. In solchen Kaltluftstagnationsbereichen liegt die bodennahe Lufttemperatur bei Kaltluftbedingungen um einige Kelvin unter der Lufttemperatur umliegender Bereiche. Damit besteht dort eine höhere Frostgefährdung.

Dementsprechend werden hier die Auswirkungen der Planungen auf die nächtlichen Kaltluftströmungen mit Modellsimulationen betrachtet.

Für die vorliegende Planung werden Kaltluftberechnungen mit dem Modell KALM mit einer hohen räumlichen Auflösung durchgeführt, um qualitative und quantitative Aussagen über mögliche Modifikationen der Kaltluftströmungen zu erhalten. Betrachtet werden der derzeitige Zustand entsprechend der bisherigen Nutzung und der Planzustand mit Umsetzung der geplanten Gewerbeansiedlung, um relative Änderungen aufzeigen zu können.

3 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Die Stadt Kuppenheim liegt im Übergangsbereich vom Oberrheingraben zum östlich anschließenden Nordschwarzwald. Der überwiegende Bereich des Stadtgebietes von Kuppenheim liegt am östlichen Rand des Oberrheingrabens und am Talausgang der Murg aus dem Schwarzwald. In östlicher Richtung schließen sich die Randhöhen des Nordschwarzwaldes an, die den Oberrheingraben und das Murgtal um mehrere hundert Meter überragen. Im Nordschwarzwald befinden sich eingeschnittene Täler, die leitende Funktionen für Winde, insbesondere für Kaltluftströmungen haben. Das trifft vor allem auf das Murgtal zu.

Die geplante Gewerbeansiedlung ist östlich der Landesstraße L 67 und des bestehenden Mercedes-Benz Werkes zwischen dem Kreisverkehrsplatz L 67/K 3715 im Norden und der Fritz-Minhardt-Straße im Süden mit einer Größe von rund 10 Hektar geplant. Das Gelände befindet sich nördlich der von Osten nach Westen orientierten Murg und schließt an das bestehende Gewerbegebiet an.

Vorgesehen ist eine ca. 355 m lange, ca. 60 m breite und ca. 23 m hohe Halle parallel zur L 67. Östlich daran schließen zwei Bereiche mit ca. 28 m hohen Hochregallagern an; davon einer mit einer Länge von ca. 115 m und einer Breite von ca. 25 m sowie ein Bereich mit einer Länge von ca. 63 m und einer Breite von ca. 48 m. Westlich und südlich der geplanten Halle schließen mehrere und miteinander verbundene Teilgebäude mit Höhen von 19 m an, deren Schenkel eine Länge von ca. 355 m entlang der Längsseite der Halle und eine Länge von ca. 85 m entlang der Stirnseite der Halle aufweisen. Nördlich der Halle ist etwas abgesetzt ein viergeschossiges Parkhaus mit einer Länge von ca. 95 m, einer Breite von ca. 40 m und einer Höhe bis ca. 18,5 m vorgesehen. Die geplante Halle wird von Fahrbahnflächen mit Stellplatzanlagen umgeben, wobei die Fahrbahnen nördlich und südlich der Halle an die westlich gelegene L 67 angeschlossen werden. Für die nicht überbauten und nicht mit Verkehrswegen versehenen Flächen sind Vegetationsbereiche inklusive Baumstandorten und zwei Sickermulden vorgesehen.

Die geplante Gewerbeansiedlung ist in **Abb. 3.1** dargestellt.

Diese örtlichen Gegebenheiten prägen die lokalklimatischen Verhältnisse und Kaltluftströmungen. Damit die Modellierung der Kaltluftströmungen die örtlichen Verhältnisse zufriedenstellend berücksichtigen kann, wird die Modellierung für ein Gebiet mit einer Erstreckung in west-östlicher Richtung auf ca. 25 km und in nordsüdlicher Richtung auf ca. 26 km durchgeführt. Dieses Gebiet wurde mit einem Raster der Maschenweite von 10 m x 10 m berücksichtigt.



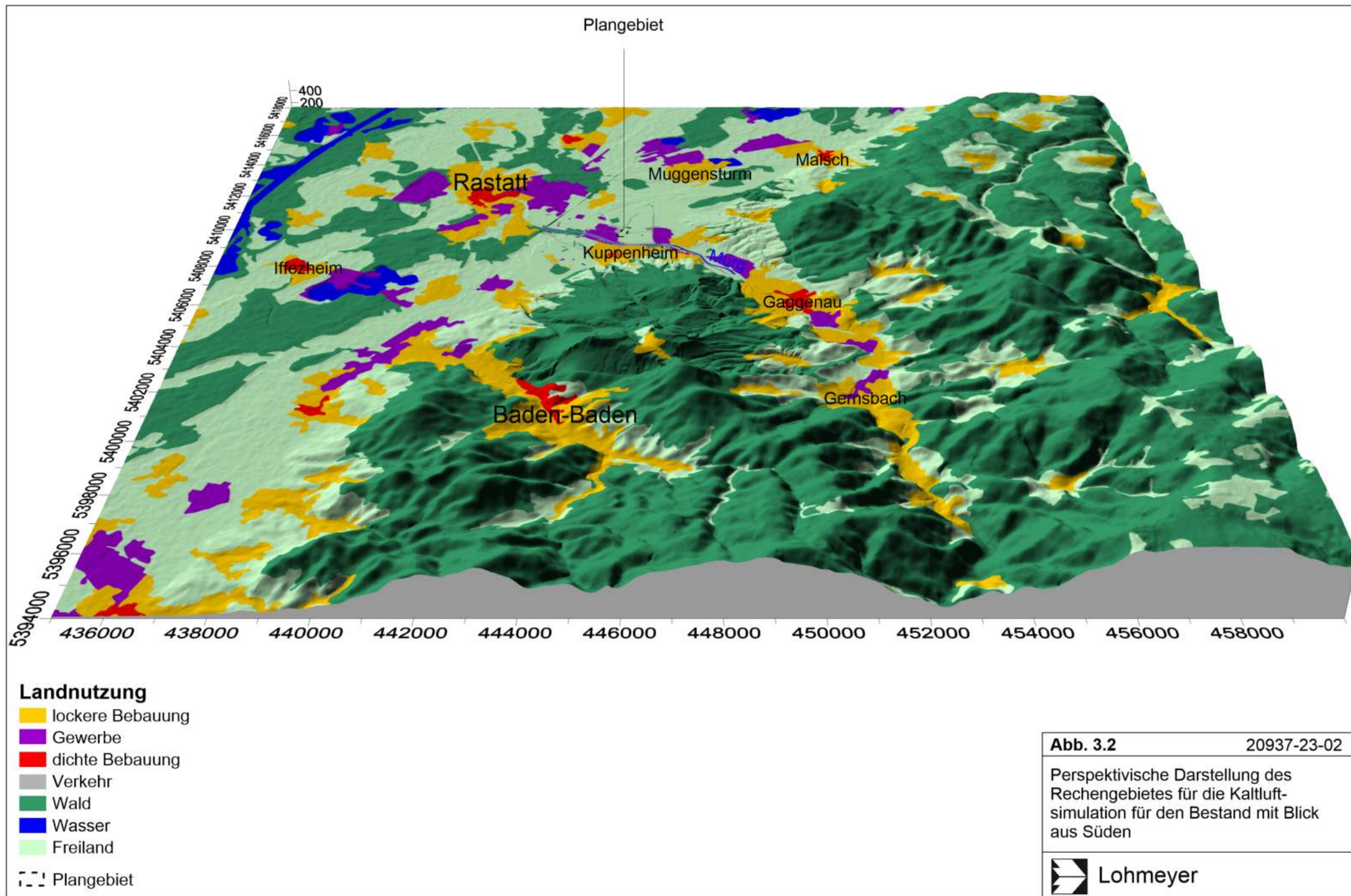
Abb. 3.1: Übersichtsplan der Gewerbeansiedlung östlich der L 67 in Kuppenheim, Stand 07/2022

Abb. 3.2 zeigt den Bereich des Rechengebietes für die Kaltluftsimulation als perspektivische Darstellung mit Blick aus Südsüdwesten und mit doppelter Überhöhung. Die Geländehöhen und Lagedaten wurden vom Auftraggeber digital zur Verfügung gestellt und für die Umgebung um frei verfügbare Daten (GlobDem50 und Corine-Landnutzungsdaten) ergänzt.

In der Umgebung von Kuppenheim liegen aus vergangenen Jahren Windmessdaten der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) vor.

Abb. 3.3 zeigt Windrosen der Stationen Rastatt und Gaggenau, die im Internet abrufbar sind (www.lubw.baden-wuerttemberg.de).

Während an den Messstationen in Gaggenau die Windrichtungen durch die Lage im Murgtal geprägt werden, zeichnen sich an der Station Rastatt südwestliche und nordöstliche Richtungen als Hauptwindrichtungen ab. Dies entspricht der Orientierung des Oberrheingraben.



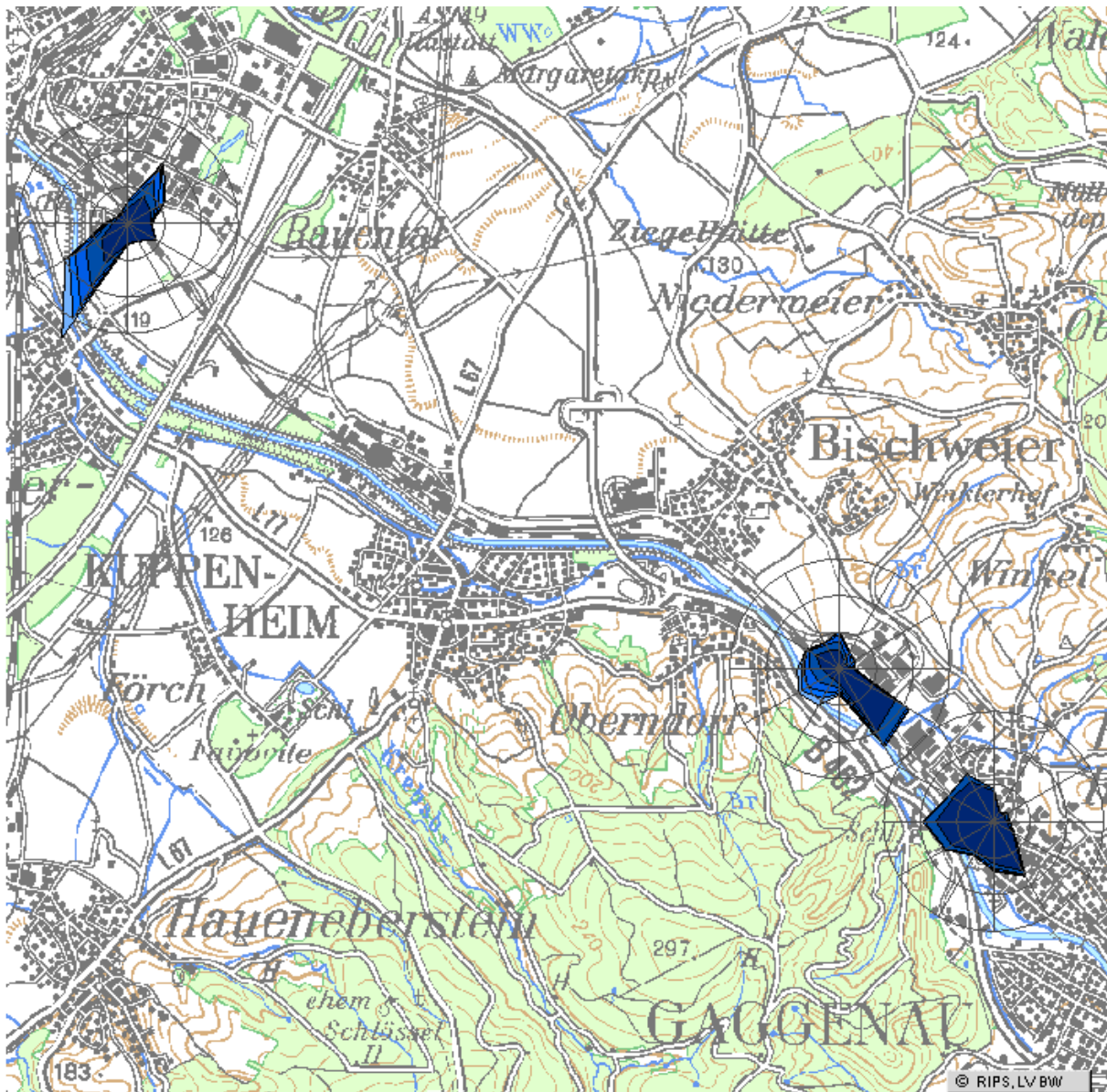


Abb. 3.3: Windrosen basierend auf Messdaten in der Umgebung von Kuppenheim (LUBW)

Winde aus südöstlichen Richtungen weisen eine gewisse Häufigkeit auf und werden durch Winde mit geringen Geschwindigkeiten geprägt. Das sind im Wesentlichen die Auswirkungen der Kaltluftströmung aus dem Murgtal.

4 KALTLUFTSTRÖMUNGEN

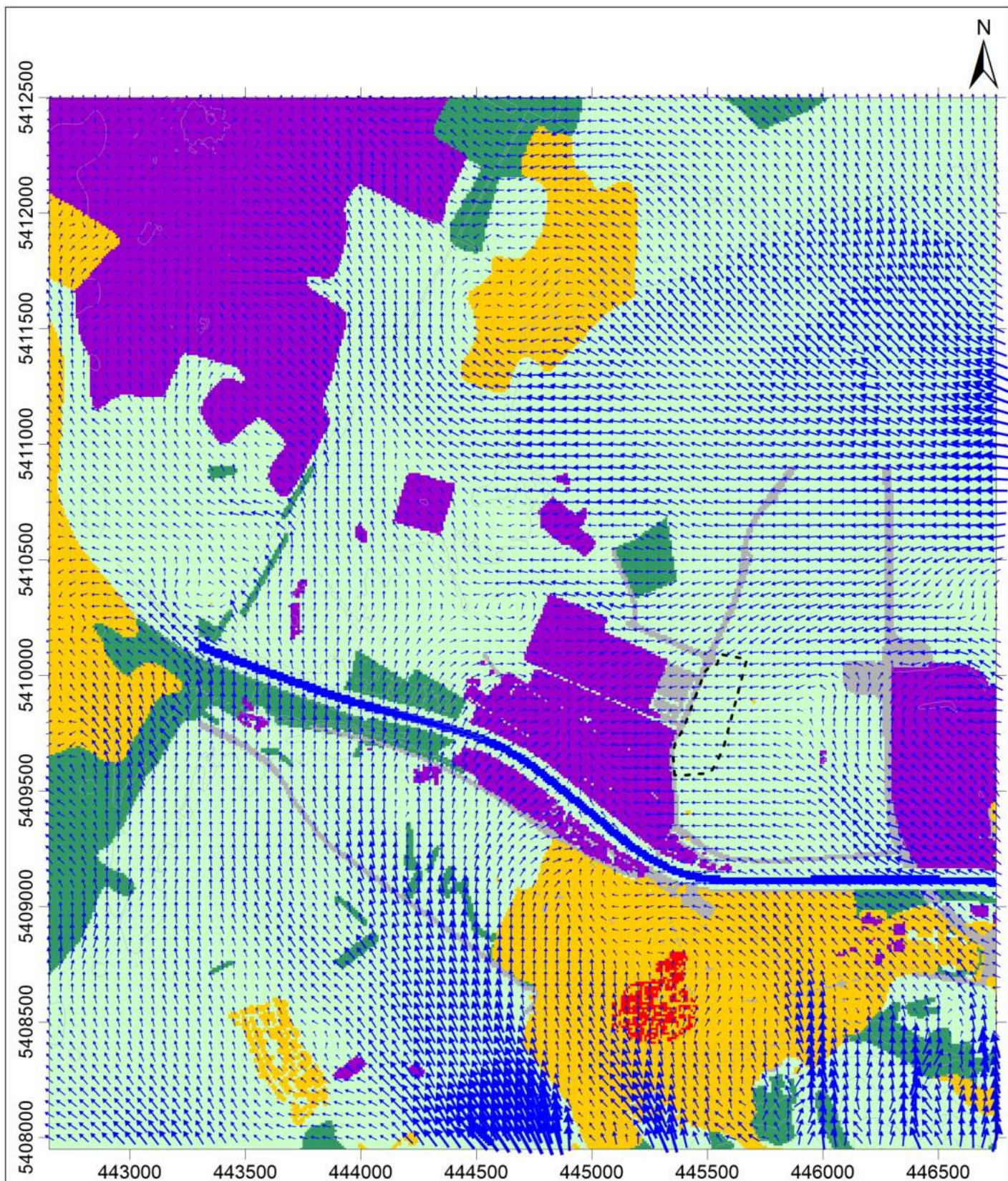
Für das Aufzeigen der Auswirkungen der geplanten Nutzungsänderungen auf die Kaltluftströmungen wurden Kaltluftsimulationen für den baulichen Bestand und den Planfall mit dem Kaltluftmodell KALM (Beschreibung siehe Anhang A1) durchgeführt. Dafür wurden die Geländeerhebungen berücksichtigt, die das Betrachtungsgebiet weiträumig umfassen, und die in **Abb. 3.2** dargestellt sind. Das Gebiet wurde so groß gewählt, dass die Einflüsse der umliegenden Geländeerhebungen auf die Kaltluftströmungen erfasst werden.

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen beinhalten die Richtung und die Geschwindigkeit des Kaltluftstroms, die Mächtigkeit der Kaltluft und die daraus resultierende Kaltluftvolumenstromdichte. Die Kaltluftvolumenstromdichte beschreibt die Kaltluftmenge in m^3 , die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Oberkante der Schichtdicke, die senkrecht zur Strömung steht, fließt; die Einheit ist $\text{m}^3/(\text{s m})$ bzw. m^2/s . Falls die Volumenstromdichte über einen Querschnitt konstant ist, lässt sich der Volumenstrom direkt und einfach als Volumenstromdichte mal Länge der Grundlinie dieser Fläche berechnen. Der Kaltluftvolumenstrom kann als Größe zur Beschreibung der Belüftungsintensität aufgefasst werden.

In der weiteren Umgebung von Kuppenheim dominieren Freilandnutzungen bestehend aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und teilweise aus Waldnutzungen. Dort findet bei den entsprechenden Wetterlagen eine intensive Kaltluftentstehung statt; die Kaltluft sammelt sich vor allem in eingeschnittenen Talbereichen und wird in weiterer Folge entlang den Tälern geführt.

Für die Darstellung der Berechnungsergebnisse wurde ein Teilausschnitt des Rechengebietes mit dem Bereich der geplanten Gewerbeansiedlung und der direkten Umgebung gewählt, so dass die Reichweite der aus den Berechnungen abgeleiteten Beeinträchtigungen der Kaltluftströmungen dargestellt wird. In den Abbildungen sind Wald grün, Freiflächen hellgrün, Wasserflächen blau, Verkehrsflächen grau, Siedlungsflächen in Gelb- und Rottönen und Gewerbeflächen violett dargestellt. Die Höhenlinien des digitalen Höhenmodells sind in grober Auflösung dargestellt; kleinere Einschnitte oder Aufschüttungen sind wegen der gewählten Stufung der Höhenlinien nicht erkennbar, sind aber im digitalen Geländemodell enthalten. Zur Orientierung ist das Bebauungsplangebiet eingetragen.

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen sind in **Abb. 4.1** für den Bestand mit der Geschwindigkeit und Richtung der Kaltluftströmung in der Anfangsphase der Kaltluftbildung dargestellt,



Landnutzung

- lockere Bebauung
- Gewerbe
- dichte Bebauung
- Verkehr
- Wald
- Wasser
- Freiland

Kaltluftströmungs- geschwindigkeit

- ➔ 3 m/s
- ➔ 2 m/s
- ➔ 1 m/s

 Plangebiet

Abb. 4.1

20937-23-02

Kaltluftströmungsgeschwindigkeit in
der Anfangsphase der Kaltluftbildung
mit Landnutzung im Untersuchungs-
gebiet für den Bestand



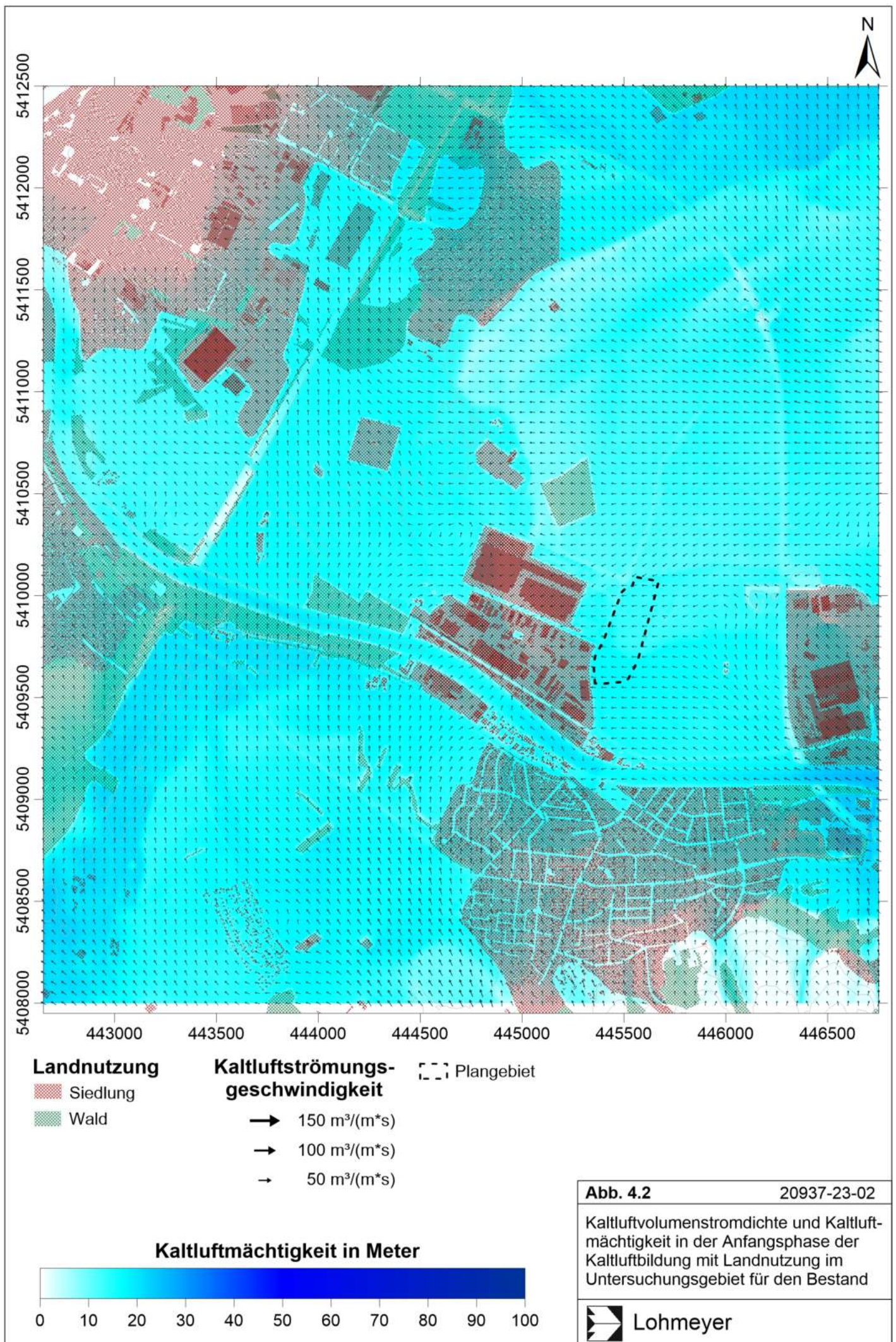
Lohmeyer

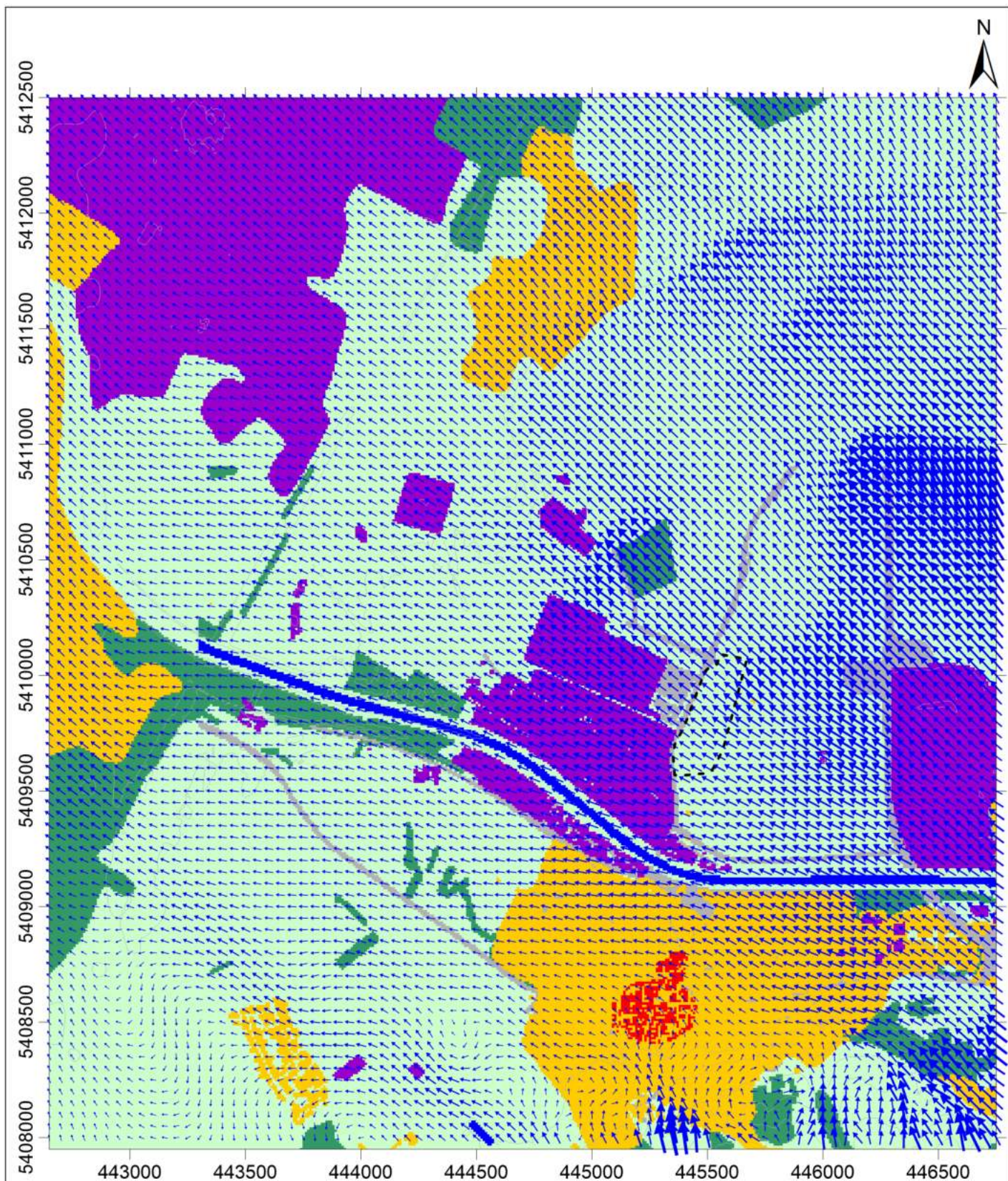
d. h. in der ersten Stunde nach Einsetzen der Kaltluftbildung. In dieser Kaltluftbildungsphase dominieren Hangabwinde mit Strömungsgeschwindigkeiten um 1 m/s, an einigen Hangbereichen sind auch Strömungsgeschwindigkeiten bis 2 m/s berechnet. In Bereichen mit geringer Längsneigung sind Strömungsgeschwindigkeiten um 0.5 m/s und in Siedlungsbereichen auch unter 0.5 m/s berechnet. In den Hangbereichen südlich von Kuppenheim entwickeln sich Hangabwinde mit Strömungsgeschwindigkeiten über 1 m/s mit Orientierung zum Siedlungsrand. Im Bereich des Plangebietes sind schon in der Anfangsphase der Kaltluftbildung gesammelte Kaltluftströme mit Orientierung von Osten nach Westen mit ca. 0.5 m/s dargestellt.

Abb. 4.2 zeigt für den Bestand die Kaltluftvolumenstromdichte und die Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung, d. h. in der ersten Stunde nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Im dargestellten Ausschnitt überwiegen in der Anfangsphase geringe Volumenströme. Im Tal der Murg entwickeln sich rasch Kaltluftmächtigkeiten von wenigen Dekametern. Im Plangebiet entwickeln sich in der Anfangsphase geringe Volumenströme unter $5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ und geringe Mächtigkeiten unter 15 m. Damit ist dort eine geringe Kaltluftbelüftung durch die Zuführung kühler Luftmassen gegeben, ohne dass ein intensiver Kaltluftstrom vorherrscht.

In **Abb. 4.3** ist für den Bestand die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen im Laufe der Nacht aufgezeigt, d. h. für über 3 Stunden andauernde Kaltluftbildung. In den oberen Hangbereichen der Geländeerhebungen sind weiterhin Hangabwinde mit Strömungsgeschwindigkeiten über 1 m/s wirksam. In Bereichen mit geringer Längsneigung sind Strömungsgeschwindigkeiten unter 1 m/s und in Siedlungsbereichen auch unter 0.5 m/s berechnet. Im Bereich des Plangebietes sind gesammelte Kaltluftströmungen aus dem Murgtal mit Orientierung nach Westen und Nordwesten Richtung Rastatt dargestellt.

Bei andauernden Kaltluftbedingungen ist eine Zunahme der Kaltluftmächtigkeiten in den Tal-, Mulden- und Senkenbereichen, insbesondere im eingeschnittenen Murgtal vorherrschend. Auch im Oberrheingraben bilden sich bei den geringen Strömungsgeschwindigkeiten deutliche Mächtigkeiten aus. Dies ist in **Abb. 4.4** für den Bestand aufgezeigt und zeigt im Murgtal Kaltluftmächtigkeiten deutlich über 50 m; in dem dargestellten Bereich des Oberrheingrabens sind Kaltluftmächtigkeiten über 30 m berechnet. Entlang den Geländeeinschnitten am Schwarzwaldrand und im Murgtal sind damit kräftige Kaltluftströme verbunden, die eine intensive nächtliche Kaltluftbelüftung bewirken. Im Plangebiet entwickeln sich Kaltluftmächtigkeiten von ca. 50 m und Kaltluftvolumenstromdichten von ca. $80 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$. Richtung Rastatt verringern sich die Kaltluftvolumenstromdichten auf unter $50 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ und fördern dort am Siedlungsrand die Belüftung.





Landnutzung

- lockere Bebauung
- Gewerbe
- dichte Bebauung
- Verkehr
- Wald
- Wasser
- Freiland

Kaltluftströmungs- geschwindigkeit

- 3 m/s
- 2 m/s
- 1 m/s

Plangebiet

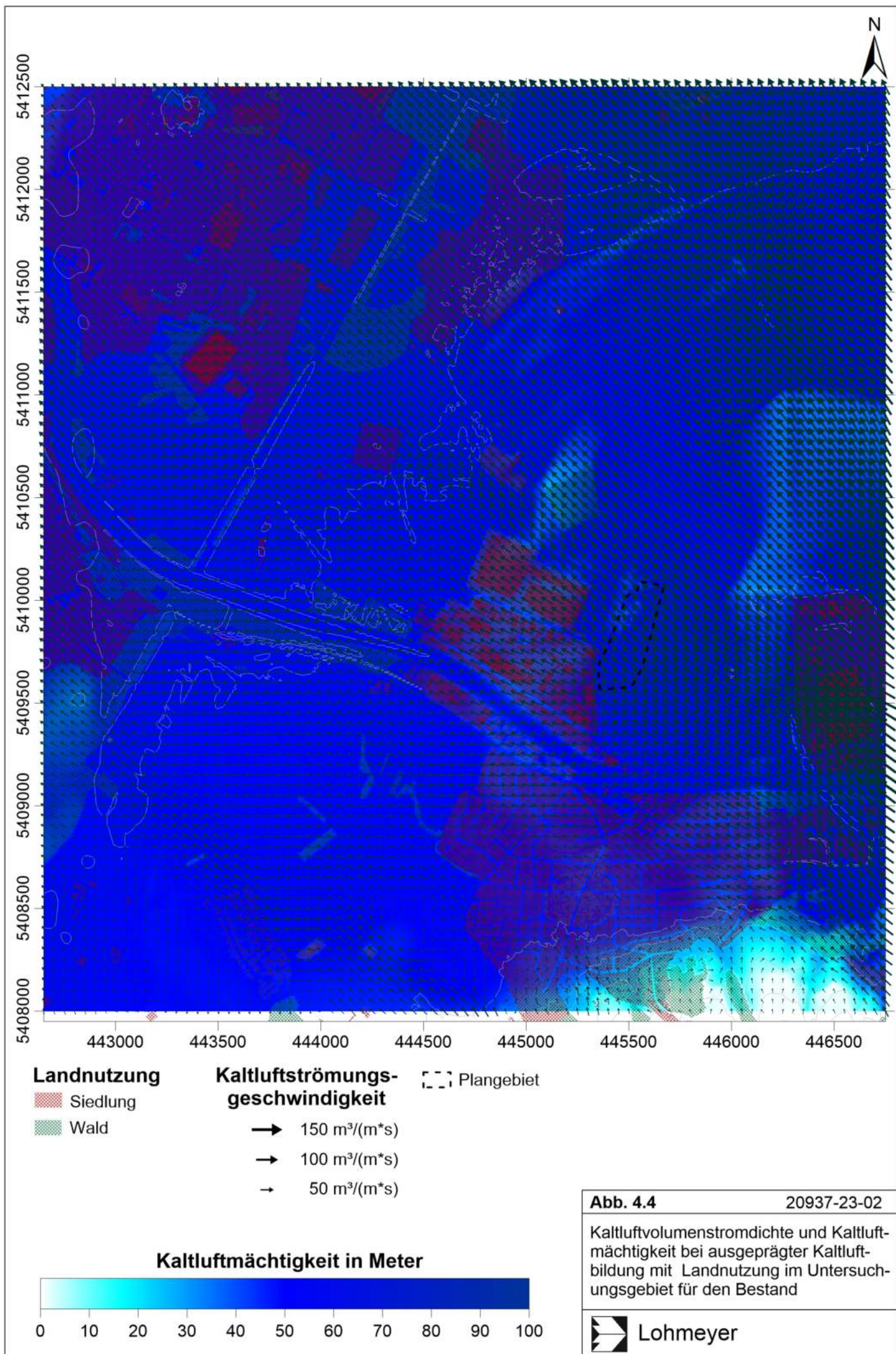
Abb. 4.3

20937-23-02

Kaltluftströmungsgeschwindigkeit bei ausgeprägter Kaltluftbildung mit Landnutzung im Untersuchungsgebiet für den Bestand



Lohmeyer

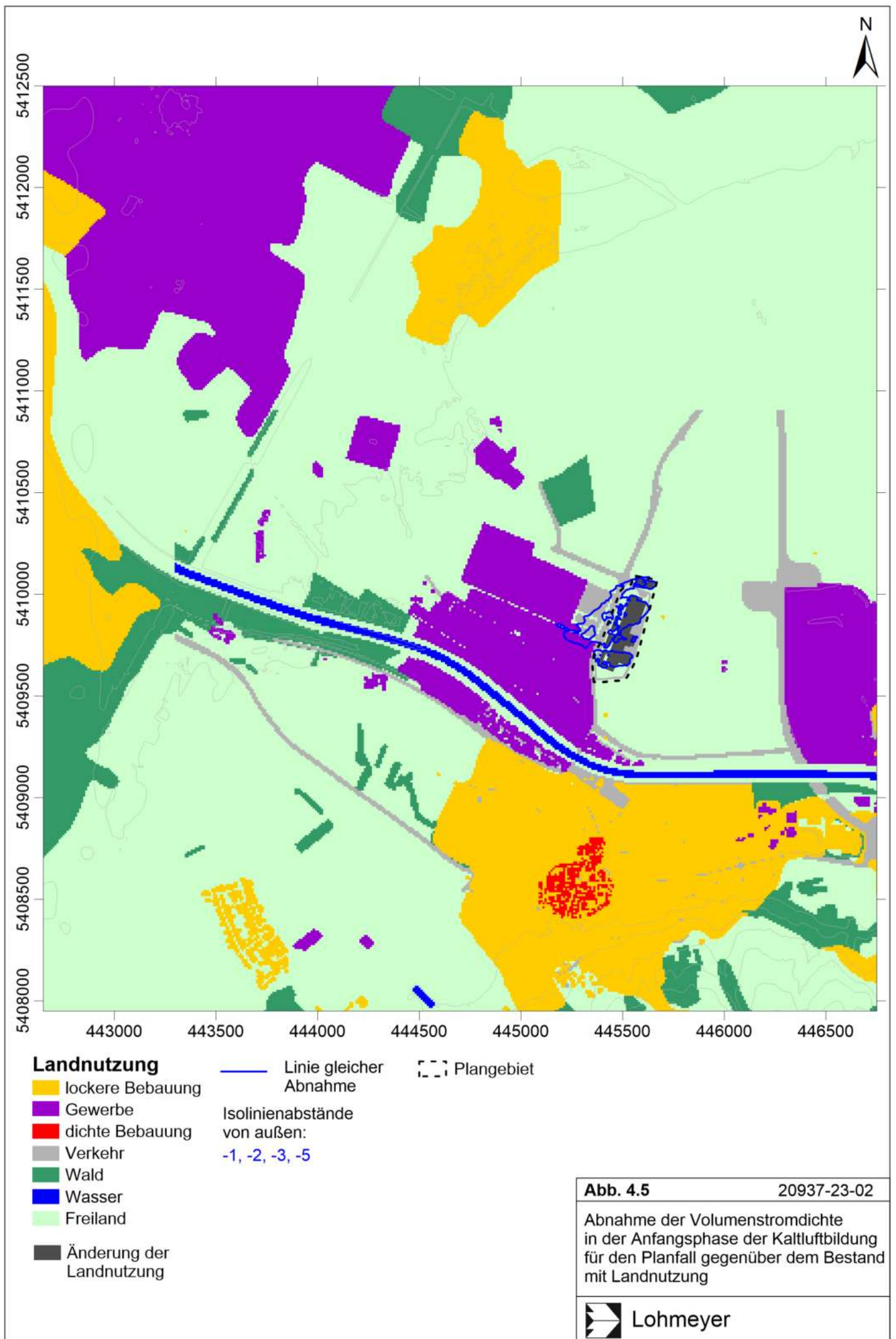


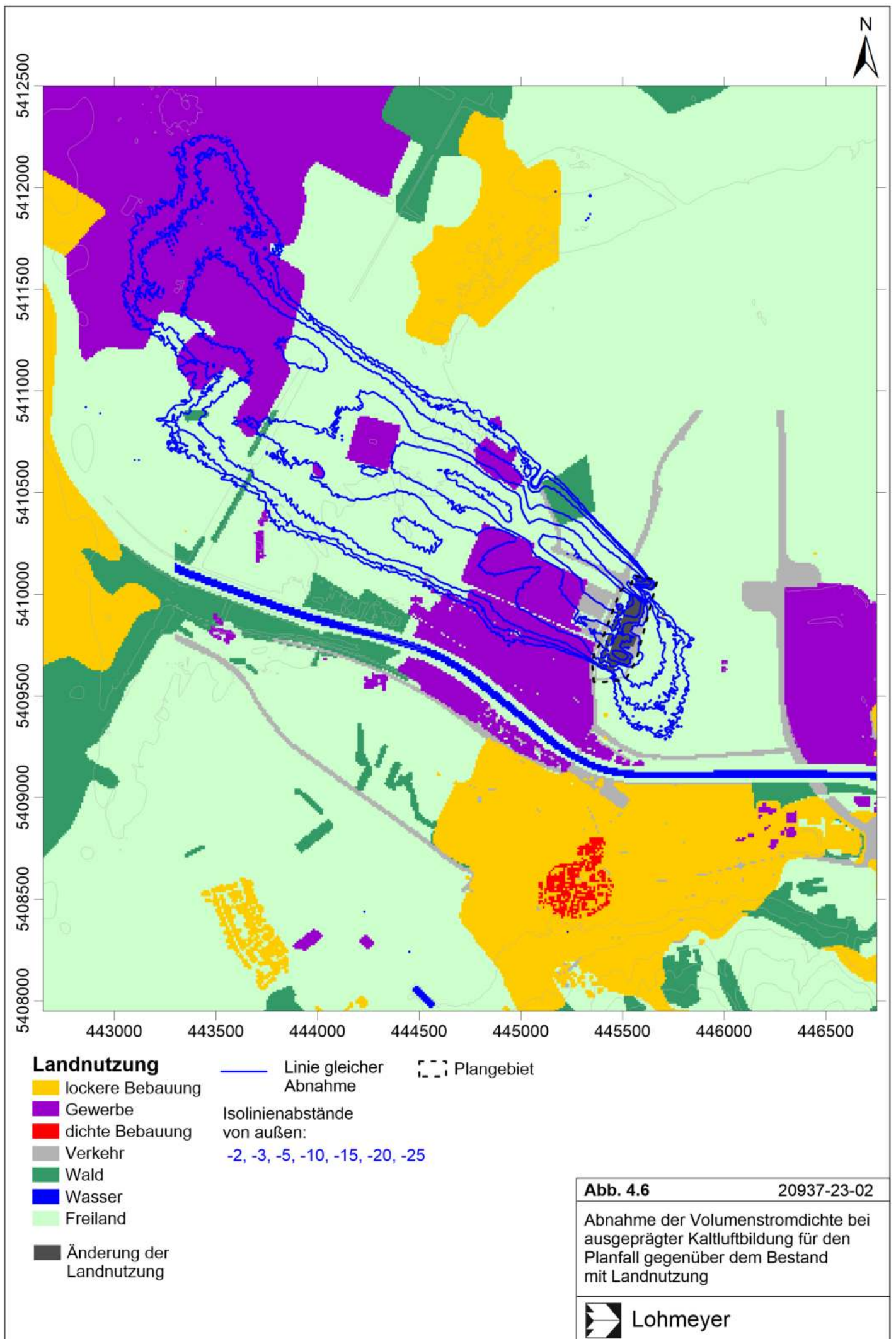
Die genannten Kaltluftberechnungen werden ebenfalls für den Planfall mit Umsetzung der geplanten Gewerbeansiedlung mit hallenartiger Bebauung, d. h. mit modifizierter baulicher Landnutzung durchgeführt. Da die Planungen nicht zu kompletten Einschränkungen der Kaltluftströmungen in der Umgebung des Plangebietes führen, sind die Ergebnisdarstellungen ähnlich zu denen für den Bestand. Dementsprechend werden im Folgenden Darstellungen der Abnahmen der Kaltluftvolumenstromdichten aufgezeigt. In diesen Abbildungen sind die geänderten Landnutzungen im Plangebiet dunkelgrau eingetragen und der bebaute Bereich ist als gewerbliche und dichte Bebauung berücksichtigt. In den Abbildungen sind die Bereiche dargestellt, in denen Verringerungen der Kaltluftströmungen bedingt durch die Planungen zu erwarten sind.

In **Abb. 4.5** ist die Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte in der Anfangsphase der Kaltluftbildung als Linien gleicher Abnahmen für die Planung, d. h. mit Umsetzung der Gewerbeansiedlung, aufgezeigt. Mit der geplanten baulichen Nutzung werden bodennah die Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten im Nahbereich der Planung verringert und damit auch die geringen Kaltluftvolumenströme reduziert. Damit sind entsprechend den Berechnungen Einschränkungen der nach Westen orientierten Kaltluftströme zu erwarten, indem dort bis in einen Abstand von ca. 200 m Bereiche mit verringerter Kaltluftströmungsgeschwindigkeit auftreten. In dieser Anfangsphase der Kaltluftbildung sind diese Einschränkungen als Verzögerung der antreffenden Kaltluftströme um wenige Minuten aufzufassen.

Bei ausgeprägten Kaltluftbildungen mit mächtiger Kaltluftschicht sind durch die Nutzungsänderungen, d. h. mit Umsetzung der Gewerbeansiedlung, im westlich und nordwestlich anschließenden Bereich sowie östlich und südöstlich Einschränkungen der Kaltluftströmung berechnet (**Abb. 4.6**). Die geplante Gewerbeansiedlung führt in Strömungsrichtung vor den geplanten Gebäuden, d. h. östlich davon bis in einen Abstand von ca. 400 m zu verringerten Strömungsgeschwindigkeiten und Volumenstromdichten. Westlich und nordwestlich der Gewerbeansiedlung erstrecken sich die Einschränkungen des Kaltluftstroms großflächig bis zu gewerblichen Nutzungen von Rastatt. An dem Bebauungsrand von Rastatt betragen die Einschränkungen des Kaltluftvolumenstroms weniger als 10%; mit zunehmender Nähe zur geplanten Gewerbeansiedlung steigen die Einschränkungen des Kaltluftvolumenstroms auf über 10% gegenüber den bestehenden Verhältnissen an.

Entsprechend der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (2003) werden Einschränkungen über 10% als hoch und bis 10% als mittel eingestuft.





Insgesamt ist für den Siedlungsbereich von Kuppenheim festzuhalten, dass aufgrund der östlich und südöstlich gelegenen Geländeanstiege insbesondere im Murgtal ausgeprägte Kaltluftbedingungen bestehen und dass die entstehenden Kaltluftströmungen die nächtliche Belüftung des bestehenden Siedlungsbereichs intensiv fördern. Mit der Lage der geplanten Gewerbeansiedlung im nordwestlichen Bereich von Kuppenheim und in Nachbarschaft zu bestehenden Gewerbenutzungen wird die nächtliche Belüftung der Wohngebiete von Kuppenheim durch die Planung nicht modifiziert. Die mit der geplanten Gewerbeansiedlung zusammenhängenden Einschränkungen der Kaltluftströmungen werden auf benachbarten Freiflächennutzungen und gewerblichen Nutzungen von Kuppenheim und auf gewerblichen Nutzungen vom westlich benachbarten Rastatt wirksam, nicht jedoch in Wohngebieten. Für Wohnnutzungen ist in Sommertagen eine nächtliche Kühlung der Wohnräume mit natürlicher Belüftung (Fenster öffnen) zum Wohle der Anwohner erwünscht und hoch zu bewerten. Gewerbegebiete sind in Sommernächten nicht als sensible Nutzungsorte aufzufassen, die auf natürliche kühlende Raumbelüftungen zum Wohle der Anwohner angewiesen sind. Freiflächennutzungen sind ebenfalls in Sommernächten nicht als sensible Bereiche zum Wohle der Anwohner aufzufassen. Für Freiflächen können im Frühjahr in Luv von Hindernissen Kaltluftstagnationen nicht ausgeschlossen werden, die für sensible Sonderkulturnutzungen zu erhöhter Frostgefährdung führen können. Informationen über Ausweisungen von frostempfindlichen Sonderkulturflächen östlich der Planung liegen nicht vor.

Auch mit Umsetzung der geplanten Gewerbeansiedlung ist eine nächtliche lokale Kaltluftbelüftung in Strahlungsnächten wirksam, allerdings mit Einschränkungen gegenüber den bisherigen Verhältnissen.

Einfluss auf Durchlüftungsverhältnisse

Im Bereich der geplanten Gewerbeansiedlung östlich der L 67 in Kuppenheim wird die bodennahe Windrichtung bei vorherrschenden Regionalwinden durch das Relief geprägt. Wie in **Abb. 3.3** aufgezeigt entsprechen im Oberrheingraben die Hauptwindrichtungen der Orientierung des Oberrheingrabens. D. h. die Hauptwindrichtung wird durch den südlichen bis südwestlichen Sektor geprägt, Winde aus dem nördlichen bis nordöstlichen Sektor bilden ein sekundäres Maximum. Ergänzend führt das Murgtal zu etwas erhöhten Häufigkeiten von Winden aus dem südöstlichen Sektor. Winde aus dem nordwestlichen Sektor kommen sehr selten vor.

Die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10 (Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle (2010)) ermöglicht die Ableitung der Ausdehnung von Auswirkungsbereichen von Hindernisumströmungen.

Diese Auswirkungen beziehen sich auf eine Anströmrichtung quer zur Ausdehnung eines Hindernisses.

Für ein Gebäude wie die geplante gewerbliche Halle mit einer Länge von ca. 355 m und einer Höhe von ca. 23 m ergeben sich im Lee, d. h. hinter dem Strömungshindernis in Strömungsrichtung, bis in einen Abstand von ca. 128 m Bereiche mit modifizierter Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit, bis in einen Abstand von ca. 640 m nur verringerte Strömungsgeschwindigkeiten. Diese Störungsbereiche werden bei Winden aus dem südöstlichen Sektor wirksam und betreffen das bestehende Gewerbegebiet sowie Freilandnutzungen von Kuppenheim. Werden die etwas niederen Verwaltungsgebäude einbezogen, vergrößern sich die Störungsbereiche bis um weitere 10 m.

Quer zur Hauptwindrichtung bildet die geplante Gewerbeansiedlung mit der Halle und den Verwaltungsgebäuden ein bauliches Hindernis mit einer Breite von ca. 85 m und einer Höhe bis 23 m; daraus ergeben sich im Lee bis in einen Abstand von ca. 78 m Bereiche mit modifizierter Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit, bis in einen Abstand von ca. 387 m nur verringerte Strömungsgeschwindigkeiten. Bei der Hauptwindrichtung aus südwestlicher Richtung sind von den Windfeldänderungen umliegende Freiflächen betroffen; bei der Hauptwindrichtung aus dem nördlichen bis nordöstlichen Sektor reichen die Einschränkungen nicht bis in den Siedlungsbereich von Kuppenheim und betreffen damit umliegende Freiflächen und gewerbliche Nutzungen.

Für Wohngebiete sind Einschränkungen der bodennahen Windverhältnisse als Einschränkungen des Luftaustauschs aufzufassen, d.h. verminderter Abtransport lufthygienisch oder thermisch belasteter Luftmassen in Aufenthaltsbereichen der Anwohner im Freien oder im Hinblick auf die natürliche Wohnraumbelüftung und auf langfristige Aufenthaltsbereich von Anwohnern. In Gewerbegebieten und in Freiflächennutzungen sind keine langfristigen und der Erholung dienenden Aufenthaltsbereiche der Anwohner anzusetzen, weshalb eine bewertende Betrachtung dort von untergeordneter Bedeutung ist. Auch eine Bewertung der lufthygienischen Verhältnisse entsprechend 39. BImSchV ist für Gewerbegebiete und Freiflächennutzungen ausgenommen. Für landwirtschaftliche Nutzungen kann ein Sonderfall für spezifischen Anbau auftreten, wenn beispielsweise die Eigenbestäubung von Saatmaispflanzungen aufgrund verringerter bodennaher Windgeschwindigkeiten eingeschränkt wird; Informationen für Ausweisungen solcher landwirtschaftlichen Nutzungen liegen für das Betrachtungsgebiet nicht vor.

Vergleichbare Auswertungen werden für die beiden geplanten Hochregallagerbereiche mit Höhen von 28 m abgeleitet. Das nördliche Hochregallager erreicht eine Länge von 115 m; daraus ergeben sich im Lee bis in einen Abstand von ca. 100 m Bereiche mit modifizierter Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit, bis in einen Abstand von ca. 497 m nur verringerte Strömungsgeschwindigkeiten.

Der südliche Hochregallagerbereich erreicht eine Länge von 63 m; daraus ergeben sich im Lee bis in einen Abstand von ca. 71 m Bereiche mit modifizierter Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit, bis in einen Abstand von ca. 353 m nur verringerte Strömungsgeschwindigkeiten.

Trotz geringerer horizontaler Erstreckung erreichen die hohen Hochregallagergebäude vergleichbare Ausdehnungen der Windstörzonen wie die lange Halle.

Die Reichweite der Windfeldänderungen ist auch auf die bodennahen Lufttemperaturen übertragbar; über künstlichen Oberflächen, wie den baulichen Nutzungen der geplanten Gewerbeansiedlung östlich der L 67, bewirken die erhöhten Oberflächentemperaturen eine gewisse Erwärmung der bodennahen Luftschicht. Diese Erwärmung bleibt weitgehend auf das Plangebiet beschränkt und die Reichweite bei horizontalem Transport dieser Luftmassen durch vorherrschende bodennahe Windströmungen ist vergleichbar mit den oben genannten Ausdehnungen der windtechnischen Störbereiche. Großzügige Vegetationsausstattungen innerhalb des Plangebietes mildern die Erwärmung der künstlichen Oberflächen. Vegetationspflanzungen mit Strauch- und Baumstandorten am Rand des Plangebietes mildern die Erwärmung der bodennahen Luftmassen in benachbarten bestehenden Nutzungen. Bezogen auf die Einschränkung der wirksamen Kaltluftströmungen führen Dachbegrünungen der geplanten Gebäude mit Flachdächern zur Minderung der zusätzlichen Erwärmung der herantransportierten Luftmassen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

In Kuppenheim ist östlich der Landesstraße L 67 bzw. des Mercedes-Benz Werkes eine Gewerbeansiedlung mit einer Größe von rund 10 Hektar geplant. Für diese Planungen sind auch Aussagen zu den Auswirkungen auf die lokalklimatischen Gegebenheiten mit besonderem Fokus auf die Kaltluftströmungen erforderlich.

Die geplante Gewerbeansiedlung ist auf bisher nicht bebauten Flächen vorgesehen. Etwa 1.5 km östlich davon steigt das weitgehend ebene Gelände des Oberrheingrabens zu den Randhöhen des Schwarzwaldes mit dem von Osten und Südosten herangeführten eingeschnittenen Tal der Murg um mehr als 100 Höhenmeter an. Damit sind im Bereich der geplanten Gewerbeansiedlung nach Westen und Nordwesten orientierte, gesammelte Kaltluftströmungen aus dem Murgtal mit Orientierung in den Siedlungsbereich der westlich benachbarten Stadt Rastatt wirksam und fördern dort die nächtliche Belüftung.

Für die geplante Gewerbeansiedlung sind ein großflächiges hallenartiges Gebäude, zwei Hochregallagerbereiche, riegelartige zusammenhängende Verwaltungsgebäude, ein Parkhaus und Verkehrsanlagen vorgesehen. Diese Änderungen führen zu kleinräumigen Modifikationen der lokalklimatischen Verhältnisse.

Für die vorliegende Planung wurden Kaltluftberechnungen mit dem Modell KALM mit einer hohen räumlichen Auflösung durchgeführt, um qualitative und quantitative Aussagen über mögliche Modifikationen der Kaltluftströmungen zu erhalten.

Insgesamt ist für den Siedlungsbereich von Kuppenheim festzuhalten, dass aufgrund der östlich und südöstlich gelegenen Geländeanstiege insbesondere im Murgtal ausgeprägte Kaltluftbedingungen bestehen und dass die entstehenden Kaltluftströmungen die nächtliche Belüftung des bestehenden Siedlungsbereichs intensiv fördern. Mit der Lage der geplanten Gewerbeansiedlung im nordwestlichen Bereich von Kuppenheim und in Nachbarschaft zu bestehenden Gewerbenutzungen wird die nächtliche Belüftung der Wohngebiete von Kuppenheim durch die Planung nicht modifiziert. Die mit der geplanten Gewerbeansiedlung zusammenhängenden Einschränkungen der Kaltluftströmungen werden auf benachbarten Freiflächennutzungen und gewerblichen Nutzungen von Kuppenheim und auf gewerblichen Nutzungen vom westlich benachbarten Rastatt wirksam, nicht jedoch in Wohngebieten.

Auch mit Umsetzung der geplanten Gewerbeansiedlung ist eine nächtliche lokale Kaltluftbelüftung in Strahlungs Nächten wirksam, allerdings mit Einschränkungen gegenüber den bisherigen Verhältnissen.

Die geplanten großflächigen Gebäude führen zu Änderungen der bodennahen Windverhältnisse bei vorherrschenden regionalen Windanströmungen. Bis in einen Abstand von ca. 128 m quer zu den Längsseiten der Gebäude können Änderungen der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten auftreten, bis in einen Abstand von 387 m und 497 m können bodennah verringerte Windgeschwindigkeiten bewirkt werden. Davon sind benachbarte gewerbliche Nutzungen sowie Freilandnutzungen von Kuppenheim betroffen.

6 QUELLEN

6.1 Literatur

Heldt, K., Höschele, K. (1989): Hang- und Bergwinde am Rheintalrand bei Karlsruhe. In: Meteorol. Rdsch. 41, S. 104-110.

King, E. (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten (Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 130, Band 17).

Schädler, G., Lohmeyer, A. (1994): Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. In: Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, S. 167-171.

VDI 3783 Blatt 10 (2010): Umweltmeteorologie. Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle. Gebäude- und Hindernisumströmung. Richtlinie VDI 3783 Blatt 10. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, Düsseldorf, März 2010.

VDI 3787 Blatt 5 (2003): Umweltmeteorologie. Lokale Kaltluft. Richtlinie VDI 3787 Blatt 5. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, Düsseldorf, Dezember 2003.

6.2 Materialien

Lagepläne und digitale Lagedaten, übergeben September 2023 durch den Fachbereich Bauen der Stadt Kuppenheim:

- Digitales Geländemodell Kuppenheim (DGM1), übergeben 9.2023
- ALKIS-Lagedaten Kuppenheim, DWG-Datei, übergeben 7.2023
- Gewerbeansiedlung, Bestand-Aufmaß. DWG-Datei, Stand 3.2023
- Werksplanung-VEGA-Kuppenheim. PDF-Datei, übergeben 7.2023
- Präsentation Werksplanung Kuppenheim. PDF-Datei, übergeben 9.2023

A N H A N G A 1
BESCHREIBUNG DES KALTLUFTMODELLS

A1 BESCHREIBUNG DES KALTLUFTMODELLS

A1.1 Allgemeines

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über geneigtem Gelände sogenannte Kaltluftabflüsse bilden; dabei fließt in Bodennähe (bzw. bei Wald über dem Kronenraum) gebildete kalte Luft hangabwärts. Die Dicke solcher Kaltluftschichten liegt meist zwischen 1 m und 50 m, in Kaltluftsammelgebieten, in denen sich die Kaltluft staut, kann die Schicht auf über 100 m anwachsen. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt in der Größenordnung von 1 m/s bis 3 m/s. Die folgenden beiden meteorologischen Bedingungen müssen für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen erfüllt sein:

- i) wolkenarme Nächte: durch die aufgrund fehlender Wolken reduzierte Gegenstrahlung der Atmosphäre kann die Erdoberfläche kräftig auskühlen
- ii) großräumig windschwache Situation: dadurch kann sich die Tendenz der Kaltluft, an geneigten Flächen abzufließen, gegenüber dem Umgebungswind durchsetzen.

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf, während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten.

Unter Umweltgesichtspunkten hat Kaltluft, wie in der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (2003), zusammenfassend beschrieben, eine doppelte Bedeutung: zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Nimmt sie zu viele Schadstoffe auf, kann ihr Zufluss von Schaden sein. Vom Standpunkt der Regional- und Stadtplanung her ist es daher von großer Bedeutung, eventuelle Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können. Als Hilfsmittel dazu ist das im Folgenden beschriebene Modell erstellt worden (Schädler, 1994).

A1.2 Modellbeschreibung

Das Modell verwendet die sogenannten Flachwassergleichungen, eine vereinfachte (vertikal integrierte) Form der Grundgleichungen der Strömungsmechanik. Durch diese Vereinfachung

ist es möglich, das Modell mit relativ geringem Rechenzeit- und Speicherbedarf auch auf Personal Computern zu betreiben.

Die Bezeichnung "Flachwassergleichungen" hat sich eingebürgert; die Gleichungen eignen sich jedoch genauso zur Beschreibung der Strömung jedes relativ zur Umgebung schweren Fluids, z. B. von Wasser oder von kalter Luft. Eine solche Strömung hat folgende Charakteristika:

- Abfluss über geneigtem Gelände entsprechend der Hangneigung
- Weiterbewegen der "Kaltluftfront" auch über ebenem Gelände
- Auffüllen von Becken (Kaltluftseen)
- Einfluss der Schichtdicke auf Strömungsrichtung und -geschwindigkeit (Druckgradienten).

Angetrieben wird die Strömung durch die auftriebskorrigierte Erdbeschleunigung. Innerhalb der Flachwassergleichungen werden folgende Einflüsse auf die Strömung berücksichtigt:

- Advektion (Transport der Kaltluft mit der Strömung)
- Reibung zwischen Erdoberfläche und Luft: diese Reibung variiert mit der Landnutzung (Freiland: niedrige Reibung, Siedlung: hohe Reibung)
- Beschleunigung oder Abbremsen der Strömung durch Änderung der Geländehöhe und/oder der Kaltluftschichtdicke
- von der Landnutzung abhängige Nullpunktverschiebung des Geländeniveaus zusätzlich zur topographischen Geländehöhe
- von der Landnutzung abhängige Kaltluftproduktion.

Das Lösungsverfahren ist ein Differenzenverfahren mit variabler Gitterpunktzahl und Gitterweite, d. h. Topografie und Landnutzung müssen an den einzelnen Gitterpunkten digitalisiert vorliegen; es wird ein versetztes Gitter verwendet. Um großskalige Einflüsse (z. B. Flusstäler) bei gleichzeitiger hoher Auflösung im interessierenden Gebiet zu berücksichtigen, kann das Modell auf einem geschachtelten Gitter ("Nesting") betrieben werden.

Falls keine Kaltluftseebildung auftritt, wird die Rechnung nach etwa 1 h simulierter Zeit stationär, d. h. die berechneten Werte ändern sich dann nicht mehr signifikant. Im allgemeinen Fall ist es sinnvoll, etwa 3 h bis 6 h zu simulieren; dies entspricht den Verhältnissen in der Natur.

A1.3 Eingabedaten und Ergebnisse des Modells

Vorausgesetzt wird die für Kaltluftabflüsse optimale Situation, d. h. eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung, ausgehend vom Ruhezustand (keine Strömung) bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Zur Zeit werden 8 Landnutzungsklassen berücksichtigt: dichte Bebauung, lockere Bebauung, gewerbliche Nutzungen, Wald, Freiland, Wasser, Gleisanlagen und Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze). Für die Kaltluftproduktionsraten, Reibungskoeffizienten und Nullpunktverschiebungen sind Standardwerte vorgesehen, welche aber bei Bedarf geändert werden können. Die Kaltluftproduktionsrate von Wald wird in Abhängigkeit von der lokalen Hangneigung variiert. Weiterhin benötigt das Modell die Topografie in digitalisierter Form. Die Skala des Modells ist beliebig (i. a. etwa 10 km x 10 km), die Auflösung liegt zwischen etwa 10 m und 200 m.

Berechnet wird die Dicke der Kaltluftschicht sowie die beiden horizontalen Geschwindigkeitskomponenten (West-Ost und Süd-Nord), gemittelt über die Dicke der Kaltluftschicht. Aus diesen Größen kann dann auch der Kaltluftvolumenstrom berechnet werden.

Zur Weiterverarbeitung der Modellergebnisse stehen Postprozessoren u. a. zur graphischen Darstellung der berechneten Felder (Vektor- und Rasterdarstellung), zur Berechnung und Darstellung von Kaltluftvolumenströmen durch wählbare Schichten, zur Visualisierung der Strömung durch Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien und zur Darstellung von Zeitreihen an ausgewählten Punkten zur Verfügung.

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen weisen gute Übereinstimmungen mit in der Fachliteratur veröffentlichten Messdaten auf (z. B. Heldt, Höschele, 1989, King, 1973).

Durch Kopplung der von KALM berechneten Windfelder mit Eulerschen oder Lagrangeschen Ausbreitungsmodellen, wie z. B. LASAT, kann die Schadstoffausbreitung in Kaltluftabflüssen berechnet und z. B. in Immissionsstatistiken eingearbeitet werden.