



**INTERKOMMUNALES GEWERBEGEBIET BEI
MÜNCHHAUSEN
AUSWIRKUNGEN AUF LOKALKLIMATISCHE
VERHÄLTNISSE**

Auftraggeber:

Zweckverband Gewerbegebiet
B 236 / B 252
Marburger Straße 82
35117 Münchhausen

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH
Niederlassung Karlsruhe

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr.-Ing. Th. Flassak

Juli 2022, ergänzt August 2022
Projekt 20562-21-02
Berichtsumfang 24 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | AUFGABENSTELLUNG | 1 |
| 2 | VORGEHENSWEISE | 2 |
| 3 | BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES | 4 |
| 4 | KALTLUFTSTRÖMUNGEN | 7 |
| 5 | LITERATUR | 20 |
| A1 | BESCHREIBUNG DES KALTLUFTMODELLS | 22 |
| A1.1 | Allgemeines..... | 22 |
| A1.2 | Modellbeschreibung | 22 |
| A1.3 | Eingabedaten und Ergebnisse des Modells | 24 |

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung der Lohmeyer GmbH nicht auszugswise 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

Bei Münchhausen ist die Planung eines interkommunalen Gewerbegebietes außerhalb der bestehenden Siedlungsbereiche an der B 236 vorgesehen. Das Gelände in der Umgebung von Münchhausen ist überwiegend durch Vegetationsflächen geprägt und weist ein Relief mit Geländeanstiegen und Talbereichen auf.

Mit den Planungen sind Überführungen bisheriger Vegetationsflächen in bauliche Nutzungen vorgesehen. Für diese Planungen sind die Auswirkungen auf die lokalklimatischen Verhältnisse zu erarbeiten.

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.

Das geplante Interkommunale Gewerbegebiet B 236 / B 252 ist nördlich an der Bundesstraße B 236 zwischen den Kommunen Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen geplant. Das derzeit landwirtschaftlich genutzte Gelände fällt nach Süden zum Fließgewässer Wollmar und nach Südosten Richtung Münchhausen ab. In der Umgebung des geplanten Gewerbegebietes steigt im weiteren Verlauf das Gelände nach Westen, Norden und Osten bis über 100 m an.

Mit dem geplanten Gewerbegebiet sind flächenhaft bauliche Nutzungen 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 derzeitigen Nutzung und der Planzustand mit Umsetzung des geplanten Gewerbegebietes, um relative Änderungen aufzeigen zu können.

3 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Die Kommunen Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen befinden sich im nördlichen Bereich von Hessen und im Übergang zwischen dem westlich gelegenen Sauerland und dem östlich gelegenen Nordhessischen Bergland.

Das geplante Interkommunale Gewerbegebiet B 236 / B 252 ist nördlich an der Bundesstraße B 236 zwischen den Kommunen Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen geplant. Der Abstand zum südöstlich gelegenen Münchhausen beträgt ca. 600 m, zum westlich gelegenen Wollmar ca. 800 m und zum nordöstlich gelegenen Ernsthausen ca. 1 500 m. Das derzeit landwirtschaftlich genutzte Gelände fällt nach Süden zum Fließgewässer Wollmar auf eine Höhe von ca. 250 m über NHN ab und in weiterer Folge fällt das Tal der Wollmar nach Südosten Richtung Münchhausen ab. In der Umgebung des geplanten Gewerbegebietes steigt im weiteren Verlauf das Gelände nach Westen, Norden und Osten um mehrere Dekameter und bis über 100 m an.

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 westöstlicher Richtung auf ca. 15 km und in nordsüdlicher Richtung auf ca. 10 km durchgeführt. Dieses Gebiet wurde mit einem Raster der Maschenweite von 10 m x 10 m berücksichtigt.

Abb. 3.1 zeigt die weitere Umgebung des Standortes für das geplante Interkommunale Gewerbegebiet B 236 / B 252 mit den Siedlungsbereichen von Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen, **Abb. 3.2** zeigt den Bereich des Rechengebietes für die Kaltluftsimulation als perspektivische Darstellung mit Blick aus Süden und mit doppelter Überhöhung. Die Geländehöhen und Lagedaten wurden vom Auftraggeber digital zur Verfügung gestellt.

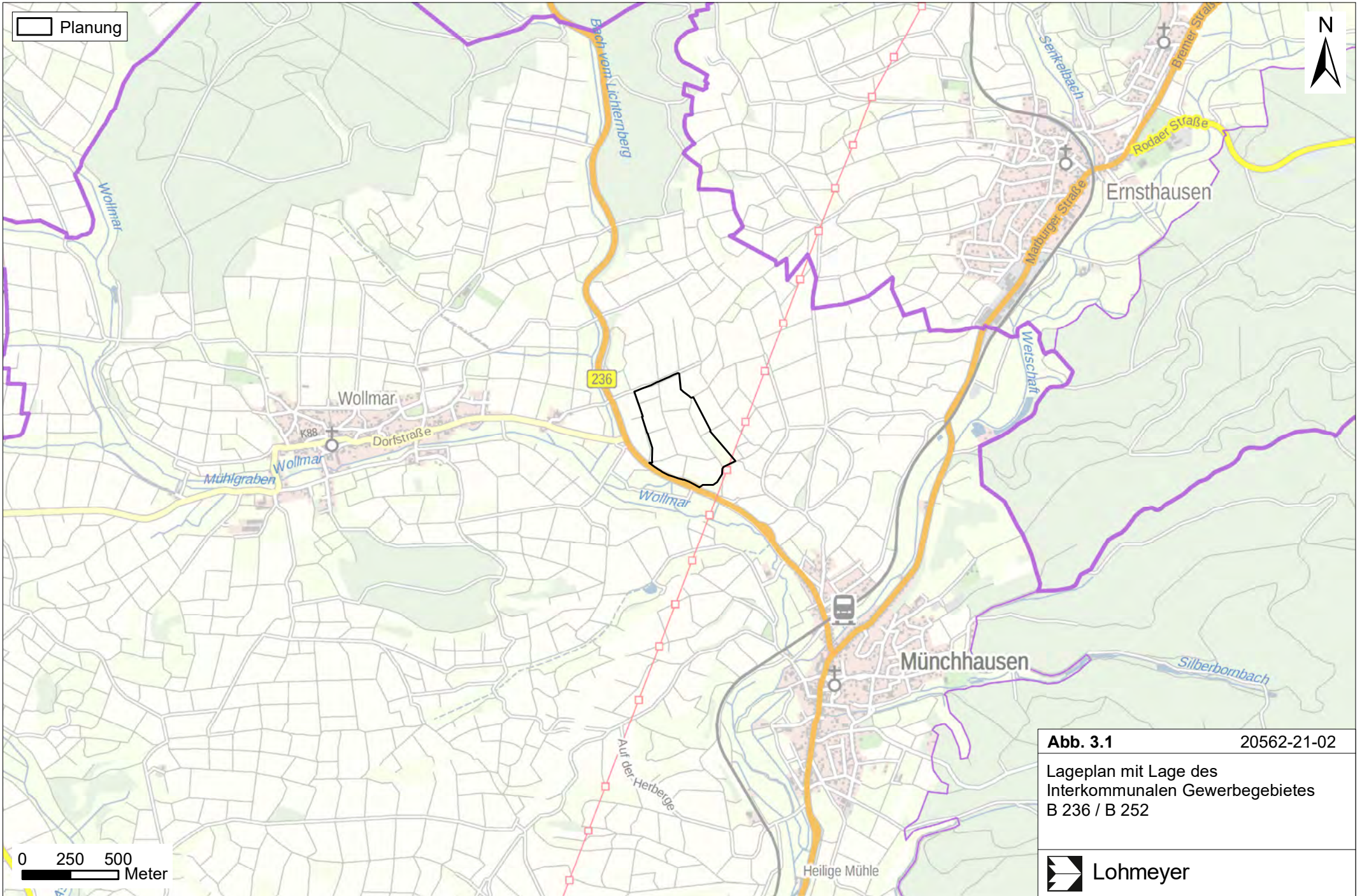
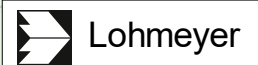
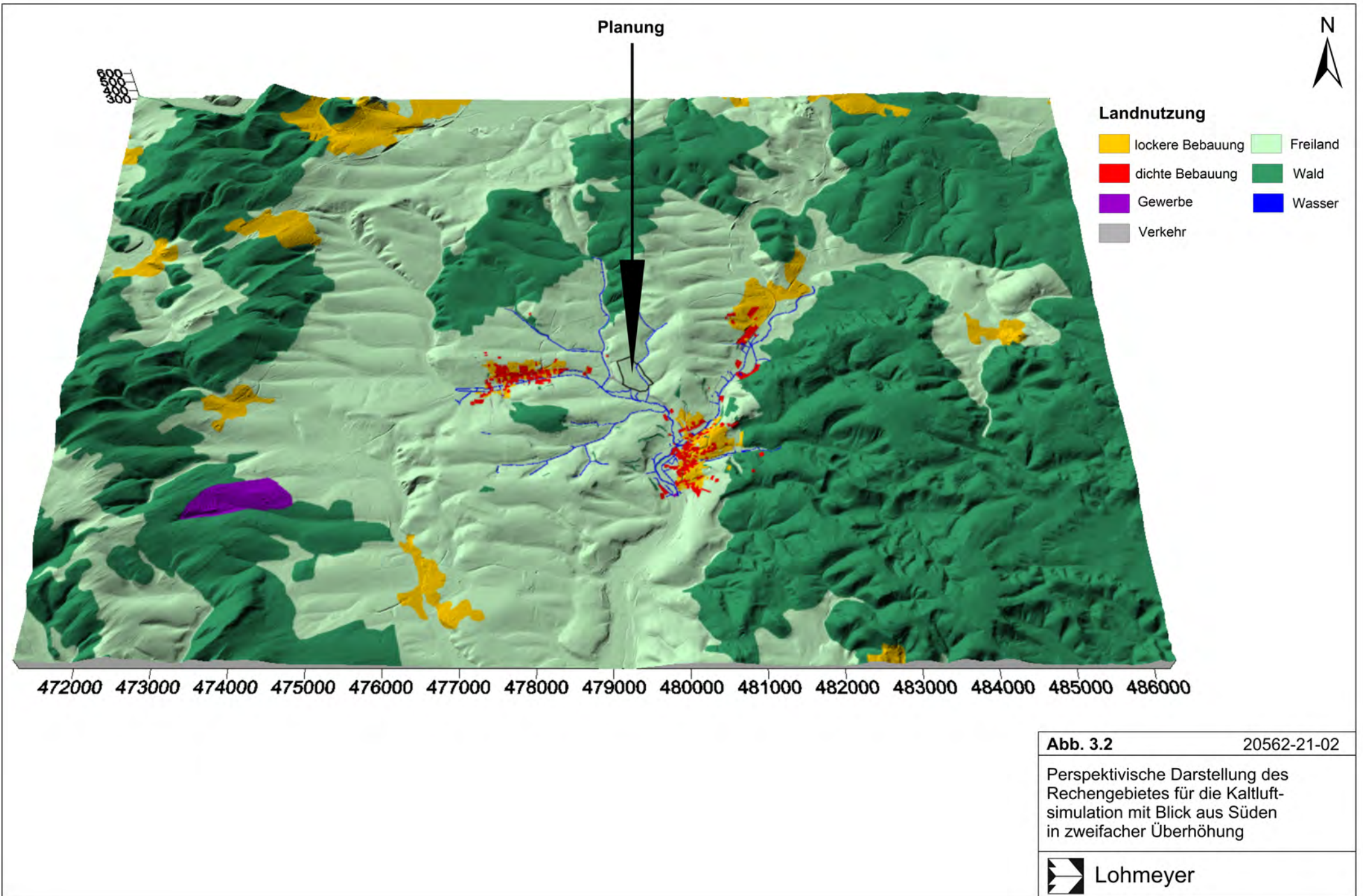


Abb. 3.1 20562-21-02
 Lageplan mit Lage des
 Interkommunalen Gewerbegebietes
 B 236 / B 252





4 KALTLUFTSTRÖMUNGEN

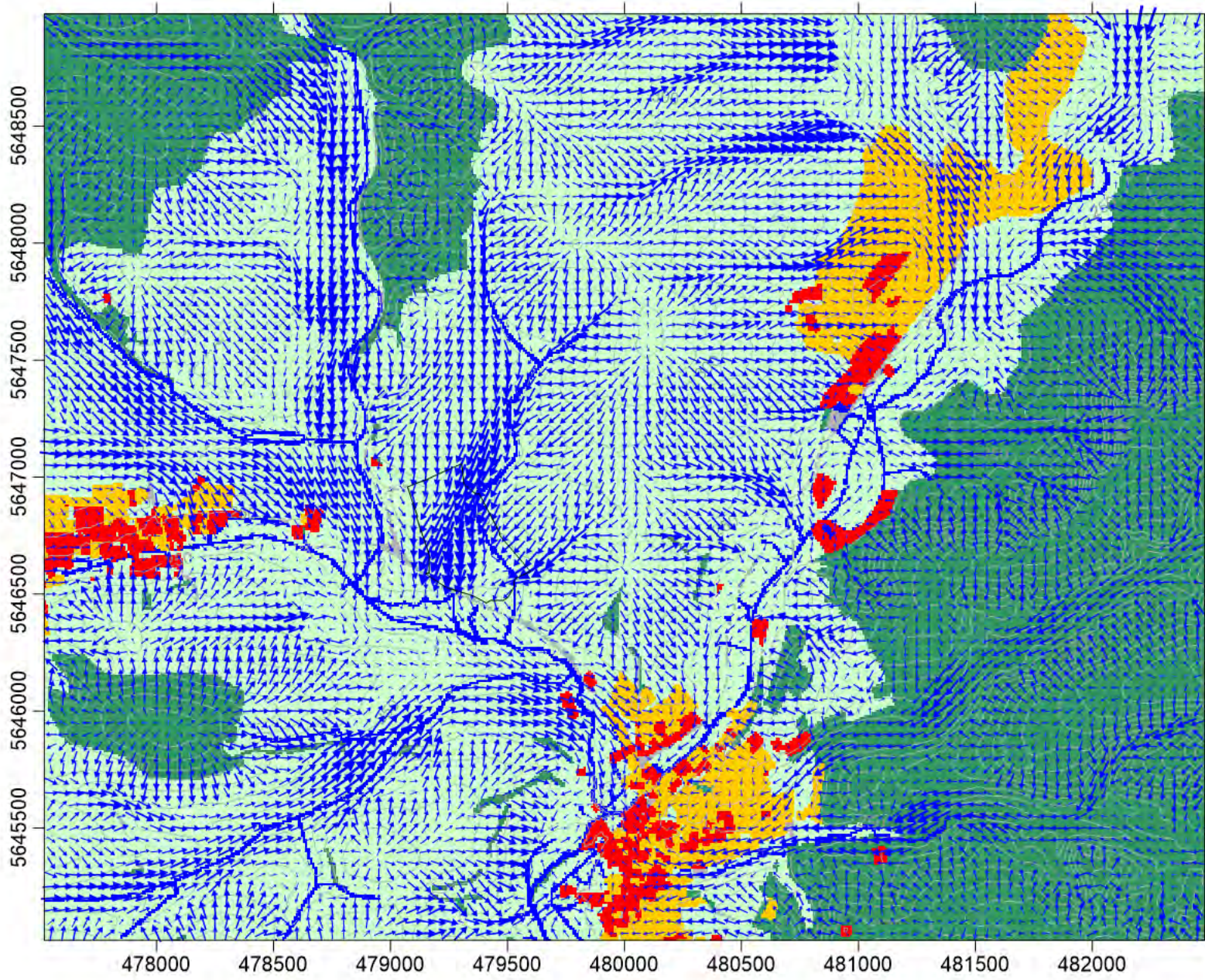
Für das Aufzeigen der Auswirkungen der geplanten Nutzungsänderungen auf die Kaltluftströmungen wurden Kaltluftsimulationen für den baulichen Bestand und den Planfall mit dem Kaltluftmodell KALM (Beschreibung siehe Anhang A1) durchgeführt. Dafür wurden die Geländeerhebungen berücksichtigt, die das Betrachtungsgebiet 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 Umgebung des geplanten Gewerbegebietes dominieren Freilandnutzungen bestehend aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und im Weiteren aus Waldnutzungen. Dort findet bei den entsprechenden Wetterlagen eine intensive Kaltluftentstehung statt; die Kaltluft sammelt sich vor allem im eingeschnittenen Talbereichen und wird in weiterer Folge nach Süden geführt.

Für die Darstellung der Berechnungsergebnisse wurde ein Teilausschnitt des Rechengebietes mit dem Bereich des geplanten Gewerbegebietes und der direkten Umgebung gewählt, sodass die Reichweite der aus den Berechnungen abgeleiteten Beeinträchtigungen der Kaltluftströmungen dargestellt wird. In den Abbildungen sind Wald grün, Freiflächen hellgrün, Verkehrsflächen grau und Siedlungsflächen in Gelb- und Rottönen 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.

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, d. h. in der ersten Stunde nach Einsetzen der Kaltluftbildung. In dieser Kaltluftbildungsphase dominieren Hangabwinde mit Strömungsgeschwindigkeiten bis ca. 2.5 m/s. In Bereichen mit



Landnutzung

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

**Kaltluftströmungs-
geschwindigkeit**

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

Abb. 4.1 20562-21-02

Kaltluftströmungsgeschwindigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung mit Landnutzung im Untersuchungsgebiet für den Bestand

geringer Längsneigung sind Strömungsgeschwindigkeiten um 0.5 m/s und in Siedlungsbereichen auch unter 0.5 m/s berechnet. An den Hangbereichen in der Umgebung des geplanten Gewerbegebietes entwickeln sich intensive Hangabwinde, die schon in der Anfangsphase der Kaltluftbildung zu einem gesammelten Kaltluftstrom durch das Plangebiet nach Süden führen. Vergleichbare zusammengeführte Hangabwinde sind auch westlich des geplanten Gewerbegebietes bei Wollmar berechnet, die sich entlang dem Fließgewässer Wollmar sammeln und Richtung Münchhausen geführt werden. Selbst in dieser Anfangsphase der Kaltluftbildung werden die Siedlungsbereiche von Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen mit Kaltluftströmungen versorgt.

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 und geringe Kaltluftmächtigkeiten von wenigen Metern, mit Ausnahme der Talbereiche. In den Talbereichen entwickeln sich rasch Kaltluftmächtigkeiten von über 20 m und deutliche gesammelte Kaltluftströmungen entlang den Tälern, überwiegend mit Orientierung nach Süden. Damit fördern die Kaltluftströmungen schon in der Anfangsphase der Kaltluftbildung eine nächtliche Belüftung der Siedlungsbereiche von Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen.

In **Abb. 4.3** ist für den Bestand die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen im Laufe der Nacht aufgezeigt, d. h. für über 2 Stunden andauernde Kaltluftbildung. In den oberen Hangbereichen der Geländeerhebungen sind weiterhin kräftige Hangabwinde mit Strömungsgeschwindigkeiten bis ca. 2.5 m/s wirksam. In Bereichen mit geringer Längsneigung sind Strömungsgeschwindigkeiten um 0.5 m/s und in Siedlungsbereichen auch unter 0.5 m/s berechnet. Im dargestellten Ausschnitt überwiegen die Bereiche, in denen sich die Kaltluft sammelt und langsam nach Süden bewegt. Teilweise zeigen die Pfeildarstellungen angedeutete Wirbel mit geringer Strömungsgeschwindigkeit, die auf ein Zusammenführen der Kaltluftzuflüsse deuten und die in der Folge überwiegend langsam nach Süden ausstreichen.

Bei andauernden Kaltluftbedingungen ist eine Zunahme der Kaltluftmächtigkeiten in den Tal-, Mulden- und Senkenbereichen zu erwarten. Dies ist in **Abb. 4.4** für den Bestand aufgezeigt und zeigt nahezu im gesamten dargestellten Ausschnitt mehrere Dekameter mächtige Kaltluftmächtigkeiten bis ca. 100 m und damit verbunden sehr kräftige Kaltluftströme entlang den Talbereichen, überwiegend mit Orientierung nach Süden, wie bei den Siedlungsbereichen von Münchhausen und Ernsthausen; im Siedlungsbereich von Wollmar dominiert eine Strömung

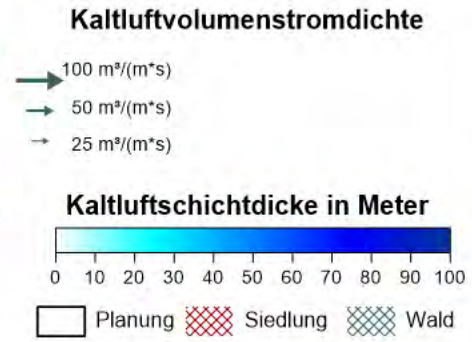
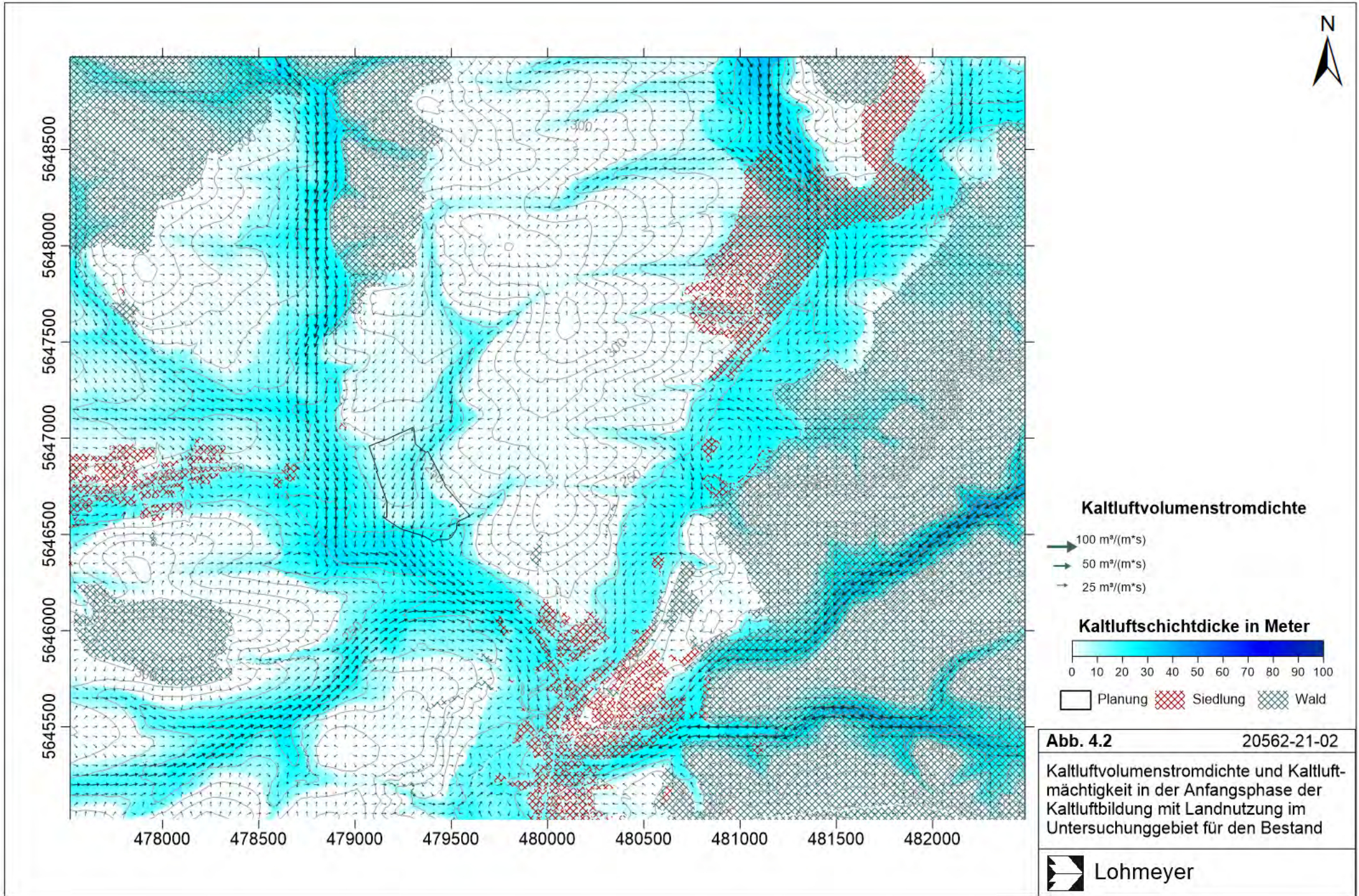
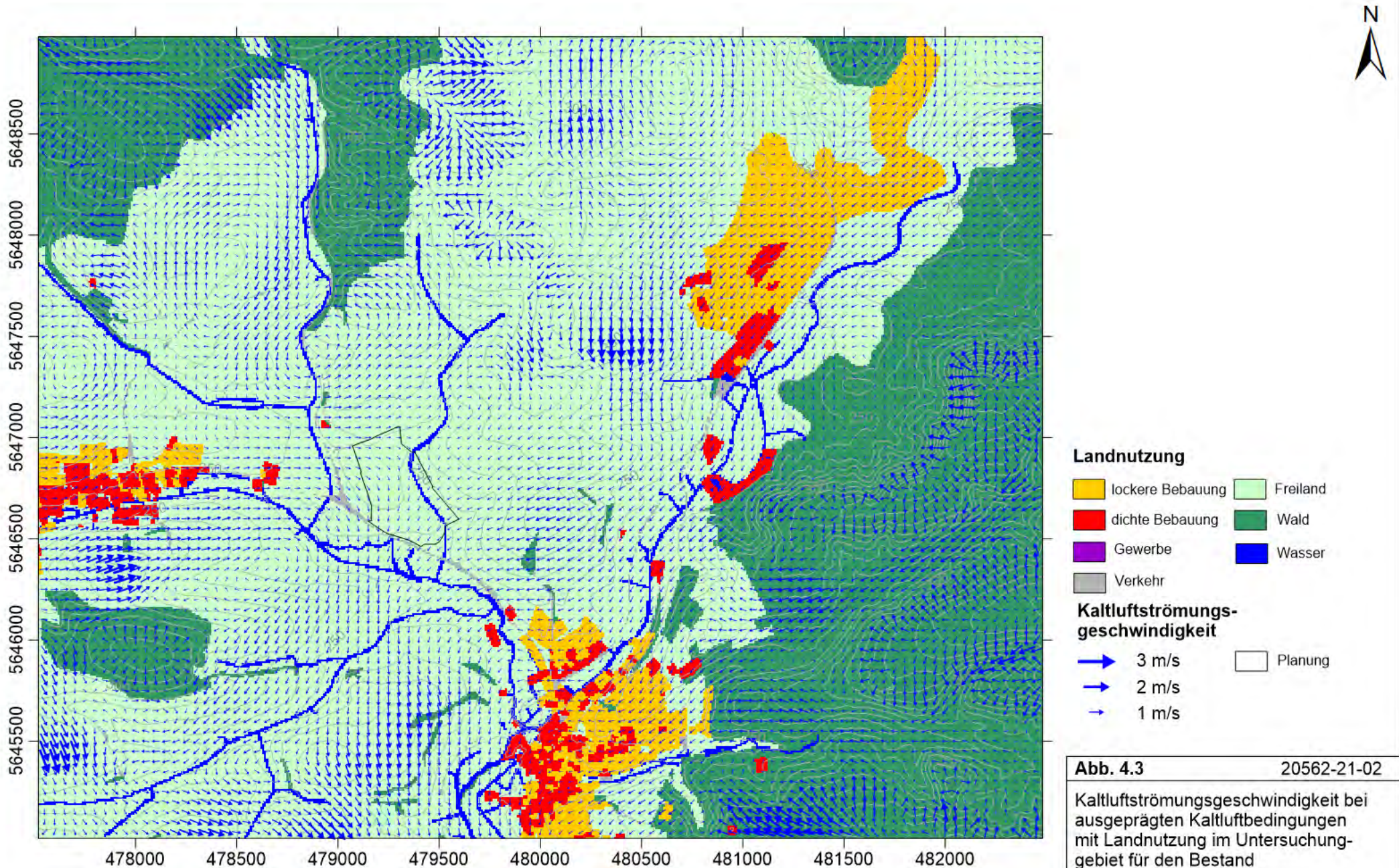
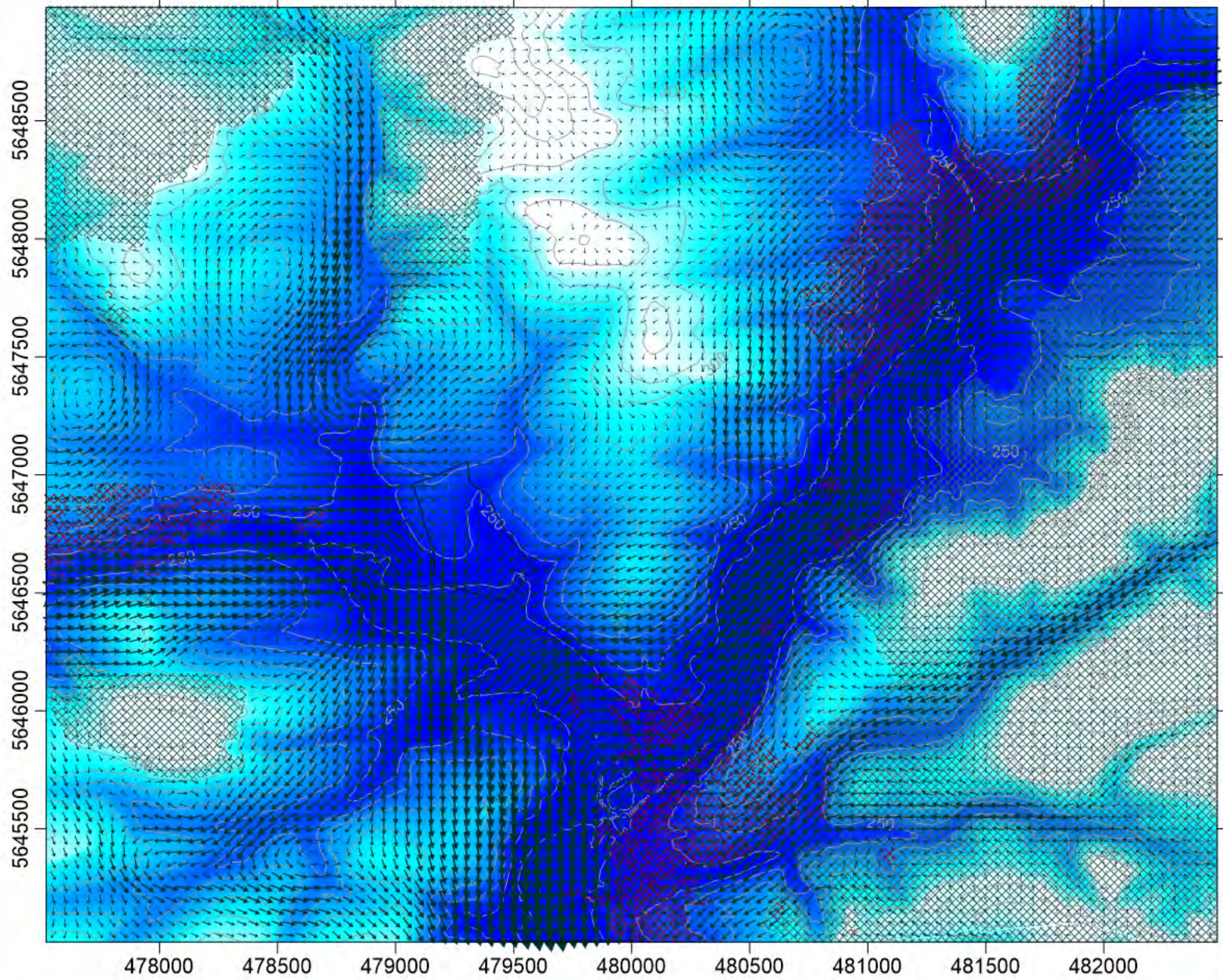


Abb. 4.2 20562-21-02
 Kaltluftvolumenstromdichte und Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung mit Landnutzung im Untersuchungsgebiet für den Bestand

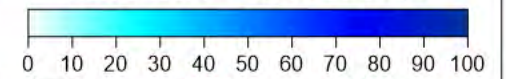




Kaltluftvolumenstromdichte

- 100 m³/(m*s)
- 50 m³/(m*s)
- 25 m³/(m*s)

Kaltluftschichtdicke in Meter



- Planung
- ▨ Siedlung
- ▩ Wald

Abb. 4.4 20562-21-02
Kaltluftvolumenstromdichte und Kaltluftmächtigkeit bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen mit Landnutzung im Untersuchungsgebiet für den Bestand

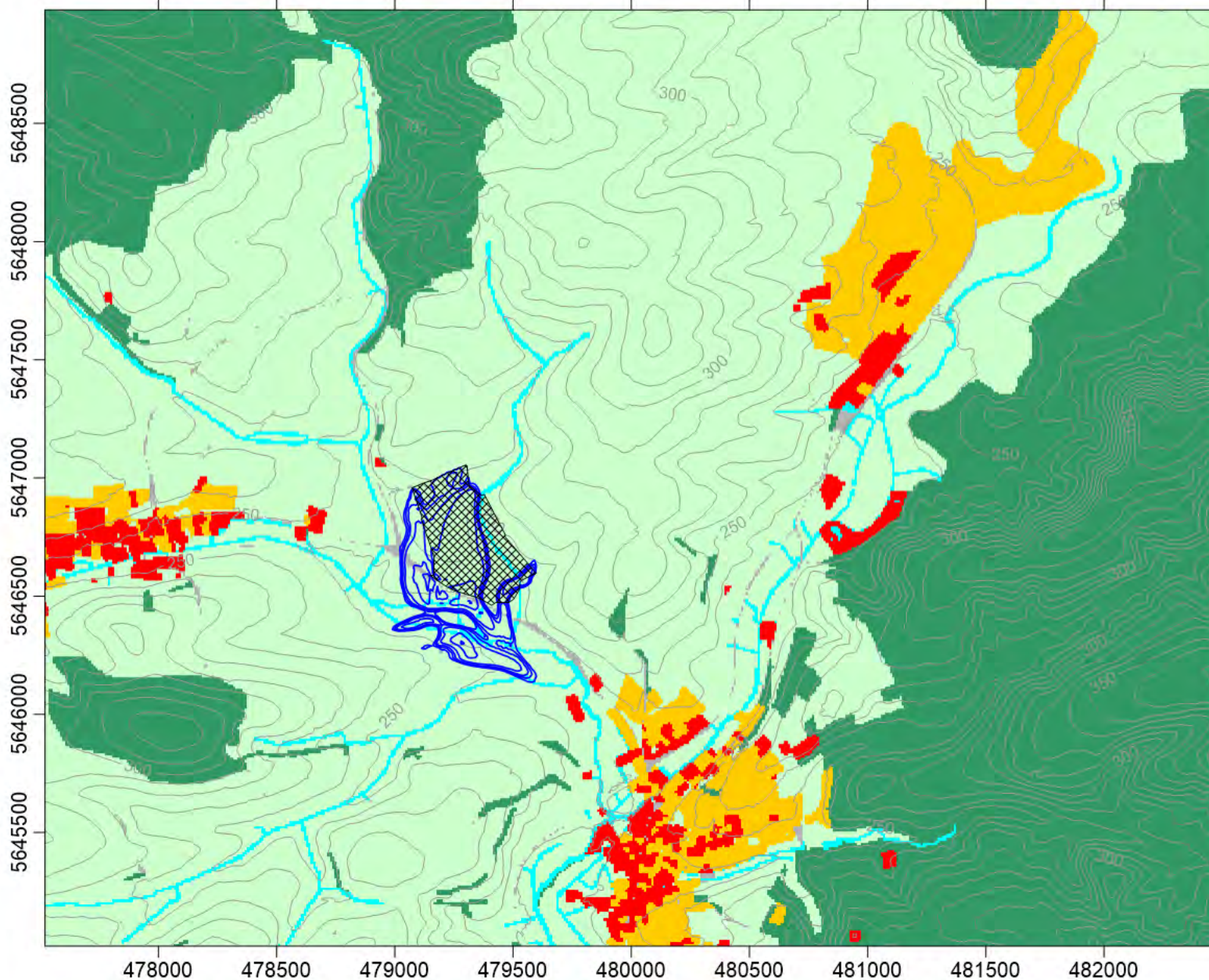


nach Osten. Damit erfolgt eine intensive Förderung der nächtlichen Belüftung der Siedlungsbereiche von Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen.

Die genannten Kaltluftberechnungen werden ebenfalls für den Planfall mit Umsetzung des geplanten Gewerbegebietes mit modifizierter baulicher Landnutzung durchgeführt. Da die Planungen nicht zu kompletten Einschränkungen der Kaltluftströmungen führen, sind die Ergebnisdarstellungen ähnlich zu denen für den Bestand. Dementsprechend werden im Folgenden Darstellungen der Abnahmen der Kaltluftvolumenstromdichten aufgezeigt. In diesen Abbildungen ist das geplante Interkommunale Gewerbegebiet B 236 / B 252 schwarz schraffiert eingetragen und der Bereich ist als Gewerbe 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 des geplanten Interkommunalen Gewerbegebietes B 236 / B 252, aufgezeigt. Mit der geplanten baulichen Nutzung werden bodennah die Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten im Nahbereich des Gewerbegebietes verringert. Damit sind entsprechend den Berechnungen gewisse Einschränkungen der dem Gewerbegebiet zugeführten Hangabwinde zu erwarten, indem dort geringe Bereiche mit verringerter Kaltluftströmungsgeschwindigkeit auftreten. Entlang dem Talverlauf des Fließgewässers Wollmar südlich des geplanten Gewerbegebietes wird die Kaltluftströmung in der Anfangsphase der Kaltluft etwas eingeschränkt. Dieser Bereich erstreckt sich über bestehende Freiflächen Richtung Münchhausen und erreicht nahezu den westlichen vorgelagerten Siedlungsbereich von Münchhausen.

Bei ausgeprägten Kaltluftbildungen mit mächtiger Kaltluftschicht sind durch die Nutzungsänderungen, d. h. mit Umsetzung des geplanten Interkommunalen Gewerbegebietes B 236 / B 252, in einigen Bereichen Einschränkungen der Kaltluftströmung berechnet (**Abb. 4.6**). Das betrifft nördlich und östlich benachbarte Bereiche des geplanten Gewerbegebietes, indem dort die Strömungsgeschwindigkeit und die Kaltluftmächtigkeit etwas verringert wird. Der zentrale Bereich des Gewerbegebietes wird überwiegend von einem mächtigen Kaltluftstrom überströmt und führt in südlicher und südöstlicher Richtung zu etwas geringerem Volumenstrom. Davon ist in kleinem Umfang der nordwestliche Siedlungsrand von Münchhausen berührt, wobei die mehr als 50 m mächtige Kaltluftströmung weiterhin die Belüftung des Siedlungsbereichs von Münchhausen bewirkt. Von den Bereichen mit eingeschränktem Kalt-



Abnahme der Volumenstromdichte in $m^3/(m*s)$

— Linie gleicher Abnahme

Isolinienabstände von außen:

-1, -2, -3, -5, -10, -15, -20, -25

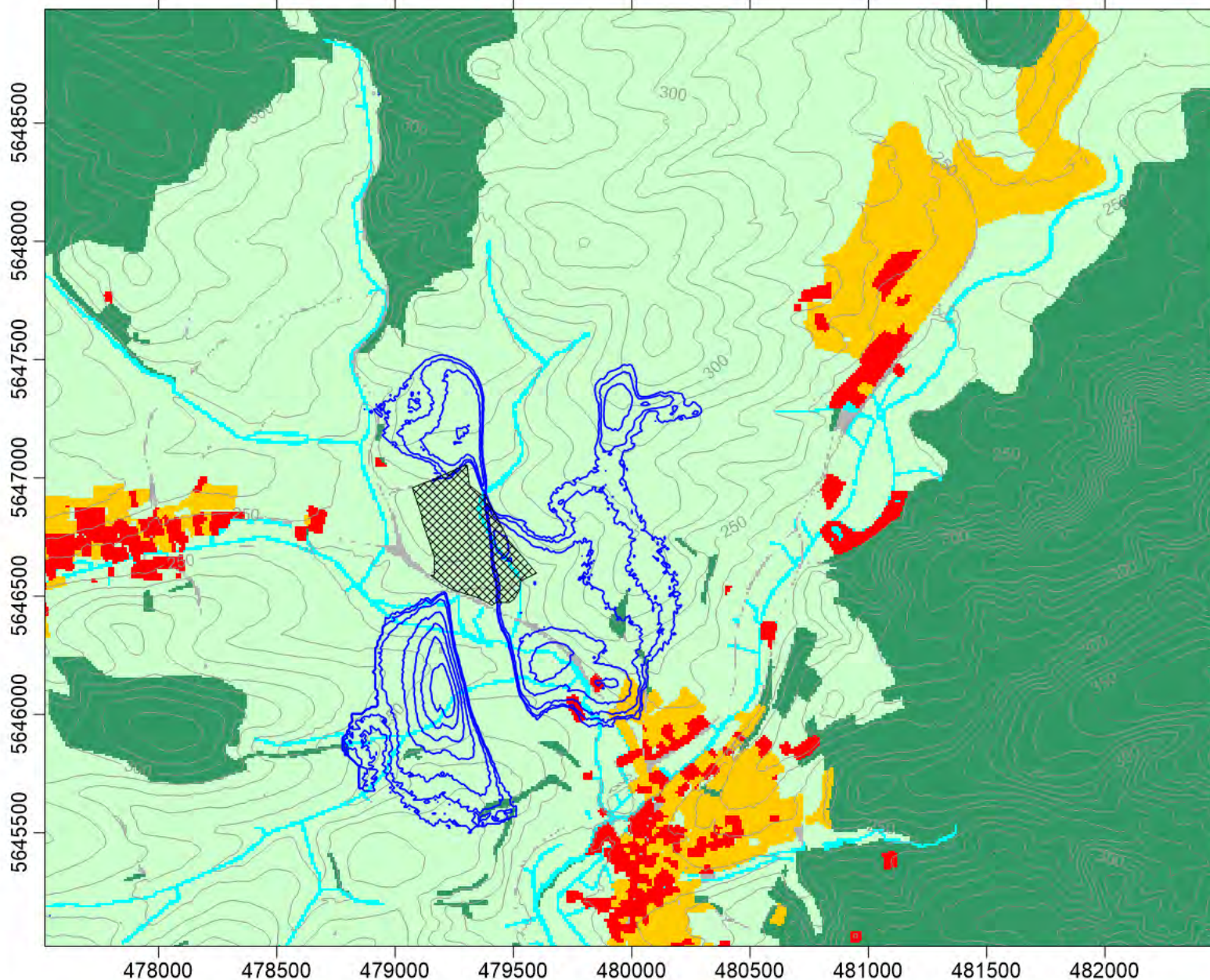
Landnutzung

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

Abb. 4.5

20562-21-02

Abnahme der Volumenstromdichte in der Anfangsphase der Kaltluftbildung für den Planfall gegenüber dem Bestand mit Landnutzung



Abnahme der Volumenstromdichte in $m^3/(m^*s)$

— Linie gleicher Abnahme
 Isolinienabstände von außen:
 -2, -3, -5, -10, -15, -20, -25

Landnutzung

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

Abb. 4.6 20562-21-02
 Abnahme der Volumenstromdichte bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen für den Planfall gegenüber dem Bestand mit Landnutzung

luftvolumenstrom sind überwiegende Freilandnutzungen wie Wiesen und landwirtschaftliche Nutzflächen betroffen.

Insgesamt ist für die Siedlungsbereiche von Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen festzuhalten, dass intensive Kaltluftbedingungen bestehen und dass die bestehenden Kaltluftströmungen die nächtliche Belüftung der bestehenden Siedlungsbereiche fördern und prägen; das trifft insbesondere in den genannten Siedlungsbereichen bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen zu, indem entlang der Talbereiche mehr als 50 m mächtige Kaltluftströmungen wirksam sind. Die baulichen Planungen für das geplante Interkommunale Gewerbegebiet B 236 / B 252 führen zu gewissen Einschränkungen der Kaltluftströmung in dessen direkten Nahbereich. Dieser Bereich mit eingeschränkter bodennaher Strömungsgeschwindigkeit erstreckt sich überwiegend auf bestehende Freiflächennutzungen und erreicht den nordwestlichen Siedlungsrand von Münchhausen, wobei die mehr als 50 m mächtige Kaltluftströmung weiterhin die Belüftung des Siedlungsbereichs von Münchhausen bewirkt. Die günstigen Kaltluftbelüftungsverhältnisse in den Siedlungsbereichen von Münchhausen, Ernsthausen und Wollmar bleiben auf mit Umsetzung des geplanten Interkommunalen Gewerbegebietes B 236 / B 252 wirksam.

Einfluss auf Durchlüftungsverhältnisse

Im Bereich der Kommunen Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen wird die bodennahe Windrichtung bei vorherrschenden Regionalwinden durch das Relief mit den westlich und östlich gelegenen Geländeerhebungen geprägt. Für das Betrachtungsgebiet liegen keine langjährigen Windmessdaten vor; ersatzweise wird auf regional repräsentative Winddaten auf Basis von modellierten Reanalysedaten des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung für ein ca. 2 x 2 km Raster und für den Zeitraum 2007-2013 zurückgegriffen (Wahl, 2017). Im Bereich des Untersuchungsgebietes weisen die modellierten Winddaten eine Windrichtungsverteilung auf, in der südliche bis südsüdwestliche Windrichtungen dominieren, Winde aus nordnordöstlichen Richtungen bilden ein Nebenmaximum (**Abb. 4.7**). Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in 10 m Höhe über Grund ca. 2.9 m/s.

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.

Windverteilung in Prozent

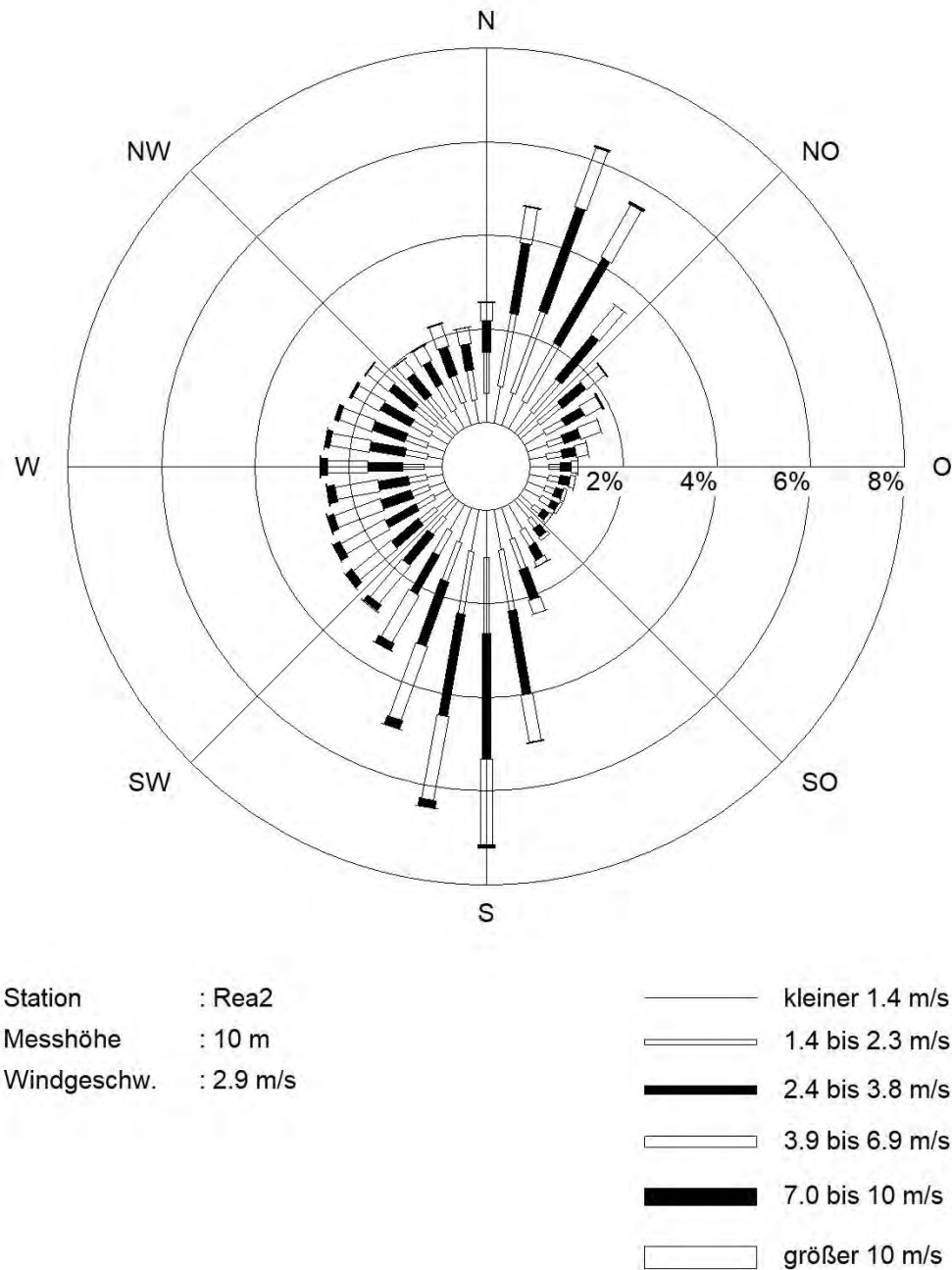


Abb. 4.7: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung bei Münchhausen basierend auf Reanalysedaten für den Zeitraum 2008-2013 (Quelle: Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung)

Das Gewerbegebiet mit einer Fläche von ca. 16.8 ha hat in west-östlicher Richtung eine Ausdehnung bis ca. 400 m, in nord-südlicher Richtung bis ca. 550 m. Selbst unter Annahme eines ca. 400 m langen und 15 m hohen baulichen Strömungshindernisses in west-östlicher Richtung ergeben sich im Lee, d. h. hinter dem Strömungshindernis in Strömungsrichtung, bis in einen Abstand von ca. 92 m Bereiche mit modifizierter Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit, bis in einen Abstand von ca. 460 m nur verringerte Strömungsgeschwindigkeiten. Dabei ist zu anmerken, dass winddurchlässige Lücken zwischen baulichen Hindernissen die oben genannten Ausdehnungen der Störungsbereiche verringern. Bei den auftretenden Hauptwindrichtungen Süd bis Südsüdwest sowie Nordnordost sind von den möglichen eingeschränkten bodennahen Durchlüftungsverhältnissen durch die Planung keine bestehenden Siedlungsbereiche betroffen; die Einschränkungen sind überwiegend auf benachbarte Frei- und Verkehrsflächen beschränkt.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass die oben genannten Abstände der Hinderniswirkungen auch bei ca. 30 m hohen und ca. 90 m langen oder ca. 40 m hohen und ca. 77 m breiten Gebäuden, wie Hochregallagern, zu erwarten sind.

Der westliche Rand des Gewerbegebietes weist eine Länge von ca. 400 m auf; damit reichen bei möglicherweise durchgängigem baulichen Strömungshindernis die windtechnischen Störungsbereiche nicht bis zum Siedlungsrand von Wollmar. An der vorgelagerten baulichen Nutzung (Schillerhöfe) sind etwas verringerte Windgeschwindigkeiten bei östlichen Windanströmungen, die entsprechend der Windstatistik nicht häufig vorkommen, nicht ausgeschlossen.

Der östliche Rand des Gewerbegebietes weist eine Länge von ca. 540 m auf; damit reichen bei möglicherweise durchgängigem baulichen Strömungshindernis die windtechnischen Störungsbereiche mit modifizierter Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit bis in einen Abstand von ca. 95 m und nur verringerte Strömungsgeschwindigkeiten bis in einen Abstand von ca. 480 m. Damit reichen die windtechnischen Störungsbereiche bei südwestlicher bis westlicher Windanströmung deutlich nicht zum Siedlungsrand von Ernsthausen.

Damit sind in den Siedlungsbereichen von Münchhausen, Wollmar und Ernsthausen bei vorherrschenden Regionalwindanströmungen keine wesentlichen Änderungen der bodennahen Windgeschwindigkeiten bedingt durch die baulichen Nutzungen des geplanten Gewerbegebietes zu erwarten. Das ist auch auf die bodennahen Lufttemperaturen übertragbar; über künstlichen Oberflächen, wie dem geplanten Gewerbegebiet, 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 geplanten Gewerbegebietes mildern die Erwärmung der künstlichen Oberflächen.

5 LITERATUR

- Heldt, K., Hörschele, 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.
- Wahl, S., Bollmeyer, C., Crewell, S., Figura, C., Friederichs, P., Hense, A., Keller, J. D., and Ohlwein, C. (2017): A novel convective-scale regional reanalysis COSMO-REA2: Improving the representation of precipitation, *Meteorol. Z.* 26.

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.