

An der Rossweid 3, D - 76229 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 / 625 10 - 0 Telefax: +49 (0) 721 / 625 10 - 30 E-Mail: info.ka@lohmeyer.de URL: www.lohmever.de

Leitung: Dr.-Ing. Thomas Flassak

Unser Zeichen Karlsruhe, den 20302-20-01-Na 11.06.2021

Interkommunales Gewerbegebiet LIMES, Aussagen zu lokalklimatischen Verhältnissen

In Hammersbach ist nordöstlich der Autobahn A 45 die Errichtung des Interkommunalen Gewerbegebietes Limes in Planung, das hallenartige Gebäude nahe der Autobahn beinhaltet. Für diese Planungen sind u. a. die Auswirkungen auf die lokalklimatischen Verhältnisse zu erarbeiten. Für das Betrachtungsgebiet betrifft das insbesondere nächtliche Kaltluftströmungen mit entsprechenden Belüftungsfunktionen für Siedlungsbereiche.

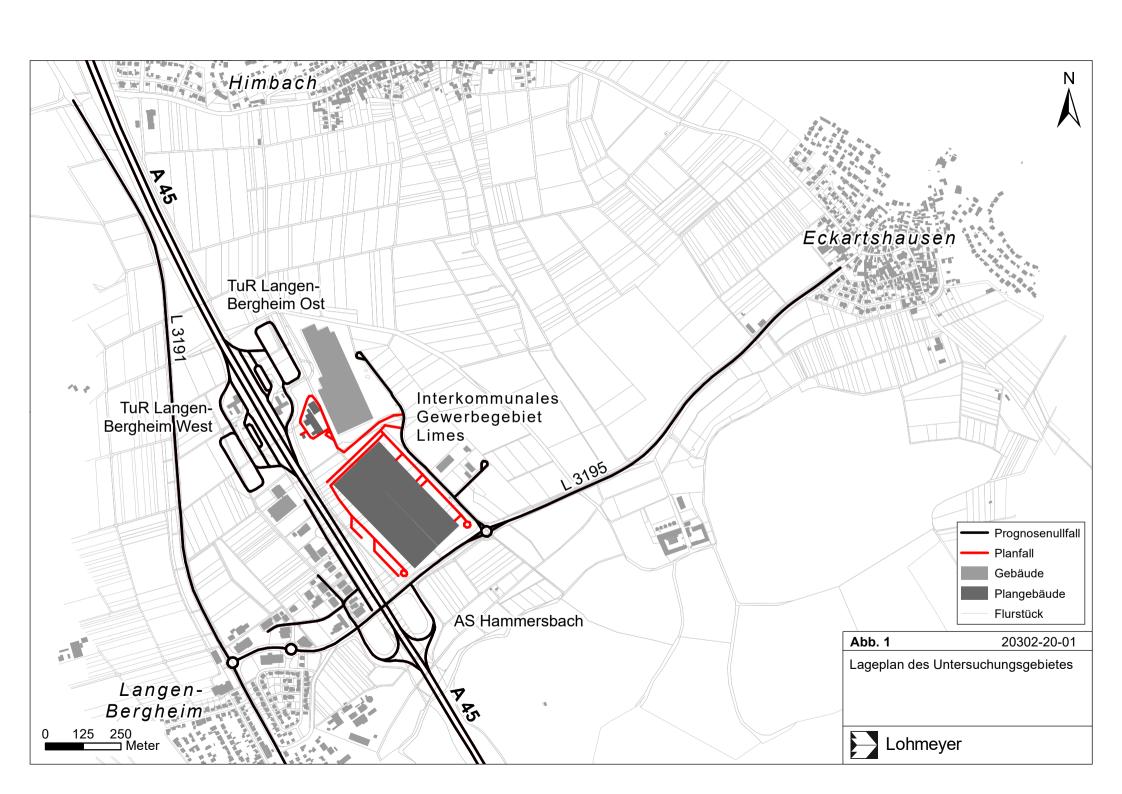
1 Vorgehensweise Kaltluft

Das Gelände in der Umgebung von Hammersbach steigt in nördlicher, nordöstlicher und östlicher Richtung intensiv an und fällt in südlicher Richtung in der Folge bis zum Stadtgebiet von Frankfurt am Main ab. Die überwiegend vegetationsbestandenen Geländeanstiege bewirken lokale, thermisch induzierte Windströmungen. Dort bilden sich an wolken- und windarmen Tagen nächtliche Kaltluftströmungen aus, die einerseits zur Belüftung der Siedlungen in der Umgebung beitragen, andererseits aufgrund der Kaltluftströmungen mögliche bodennah freigesetzte Fremdstoffe in der Luft weit mit sich führen können.

Im derzeitigen Zustand dominieren landwirtschaftliche Nutzflächen und gewerbliche Nutzungen im Plangebiet. Mit dem geplanten interkommunalen Gewerbegebiet LIMES wird ein Teil der Landoberfläche versiegelt und mit geplanten hallenartigen Gebäuden werden bodennahe Strömungsverhältnisse modifiziert.

Abb. 1 zeigt den Lageplan des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES.

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, um auch quantitative Angaben über Intenstität und Reichweite der Einschränkungen der Kaltluftströmungen zu beschreiben.

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. 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. 30 km und in nordsüdlicher Richtung auf ca. 25 km durchgeführt. Dieses Gebiet wurde mit einem Raster der Maschenweite von 10 m x 10 m berücksichtigt.

Betrachtet werden der derzeitige Zustand entsprechend der derzeitigen Nutzung und der Planzustand mit geplantem Interkommunalen Gewerbegebiet LIMES, um relative Änderungen aufzeigen zu können.

Abb. 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 und für die Umgebung um frei verfügbare Daten (GlobDem50 und Corine-Landnutzungsdaten) ergänzt.

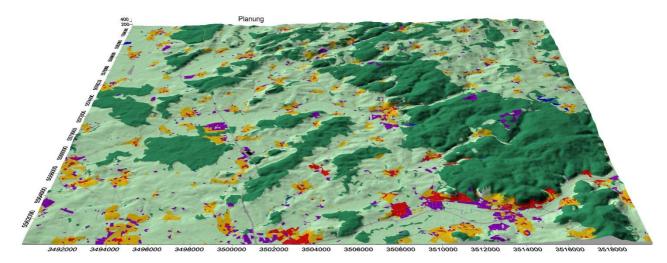


Abb. 2: Perspektivisch Darstellung des Rechengebietes mit Blick aus Süden und doppelter Überhöhung für den Planfall mit geplantem Interkommunalen Gewerbegebiet LIMES

2 Kaltluftströmungen

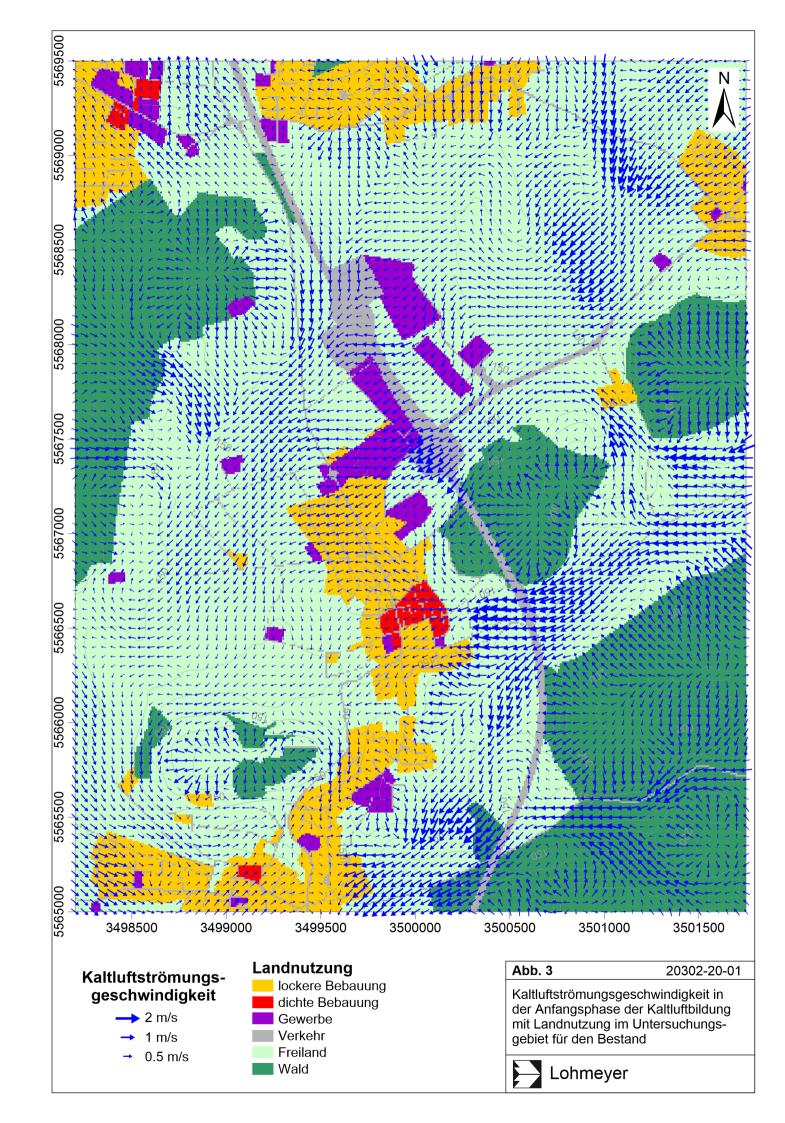
Für das Aufzeigen der Auswirkungen der geplanten Nutzungsänderungen auf die Kaltluftströmungen wurden Kaltluftsimulationen für den Bestand und den Planfall mit dem Kaltluftmodell KALM (Beschreibung siehe Anhang) durchgeführt. Dafür wurden ergänzend zum Bereich des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES vor allem die Geländeerhebungen nördlich, nordöstlich und östlich von Hammersbach berücksichtigt, in dem der in **Abb. 1** dargestellte Bereich eingebunden ist. 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 m³, 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 m³/(s m) bzw. m²/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 Betrachtungsgebietes dominieren Freilandnutzungen bestehend aus landwirtschaftlichen Nutzflächen und Waldnutzungen auf den Geländeanstiegen. Dort findet bei den entsprechenden Wetterlagen eine intensive Kaltluftentstehung statt; die Kaltluft sammelt sich u. a. in Einschnitten entlang von Bachläufen.

Für die Darstellung der Berechnungsergebnisse wurde ein Teilausschnitt des Rechengebietes mit dem geplanten Interkommunalen Gewerbegebiet LIMES mit den benachbarten Siedlungsbereichen von Hammersbach 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. 3** 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, an den östlich von Hammersbach gelegenen Hängen auch bis über 3 m/s. In Bereichen mit geringer Längsneigung sind Strömungsgeschwindigkeiten um 1 m/s und in Siedlungsbereichen auch unter 1 m/s berechnet. Bei Langen-Bergheim dominieren Kaltluftströmungen in westliche bis südwestliche Richtungen, die von den



östlich gelegenen Hangbereichen insbesondere in den Eintiefungen des Krebsbachs bei der Anschlussstelle und der südlich davon gelegenen Eintiefung des Hammerbachs herangeführt werden. Die Siedlungsbereiche von Langen-Bergheim weisen schon in der Anfangsphase der Kaltluftbildung nächtliche Belüftungen auf.

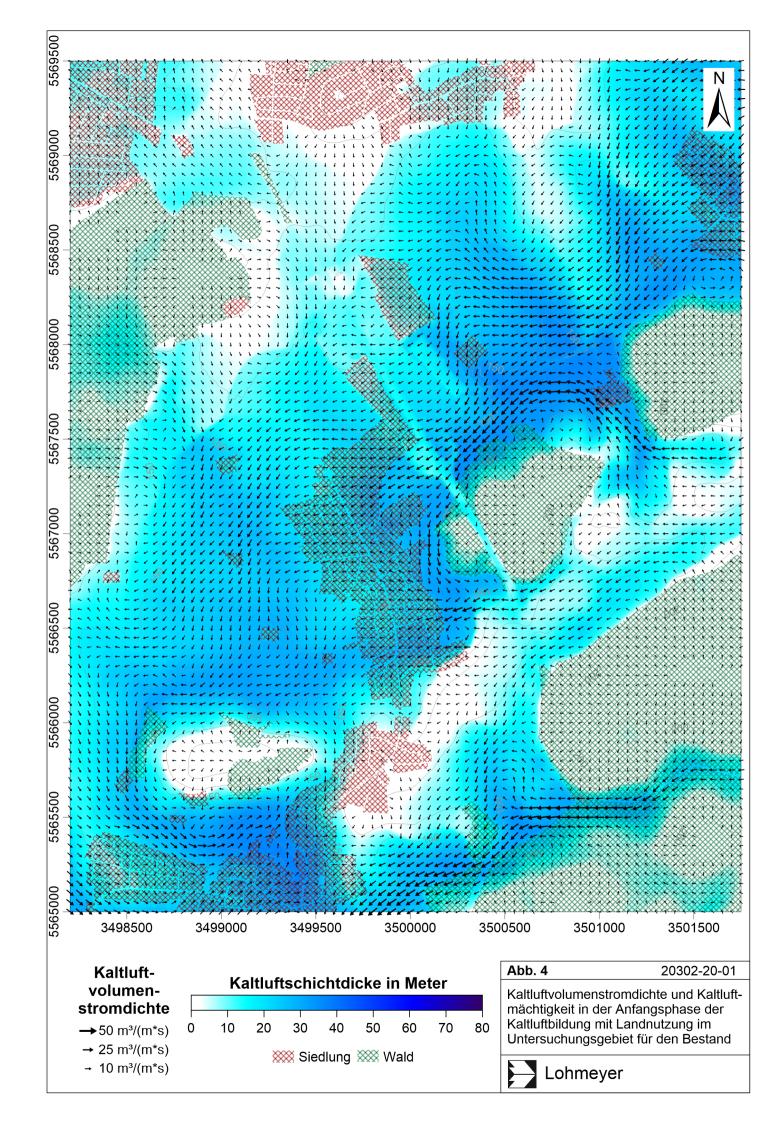
Abb. 4 zeigt für den Bestand die Kaltluftvolumenstromdichte und die Kaltluftmächtigkeit in der Anfangsphase der Kaltluftbildung, d. h. in der ersten Stunde nach Einsetzen der Kaltluftbildung. Im dargestellten Ausschnitt überwiegen in der Anfangsphase geringe Volumenströme und geringe Kaltluftmächtigkeiten von wenigen Metern. In der Eintiefung entlang des Krebsbachs bei der Anschlussstelle sind schon relativ kräftig Kaltluftvolumenströme wirksam.

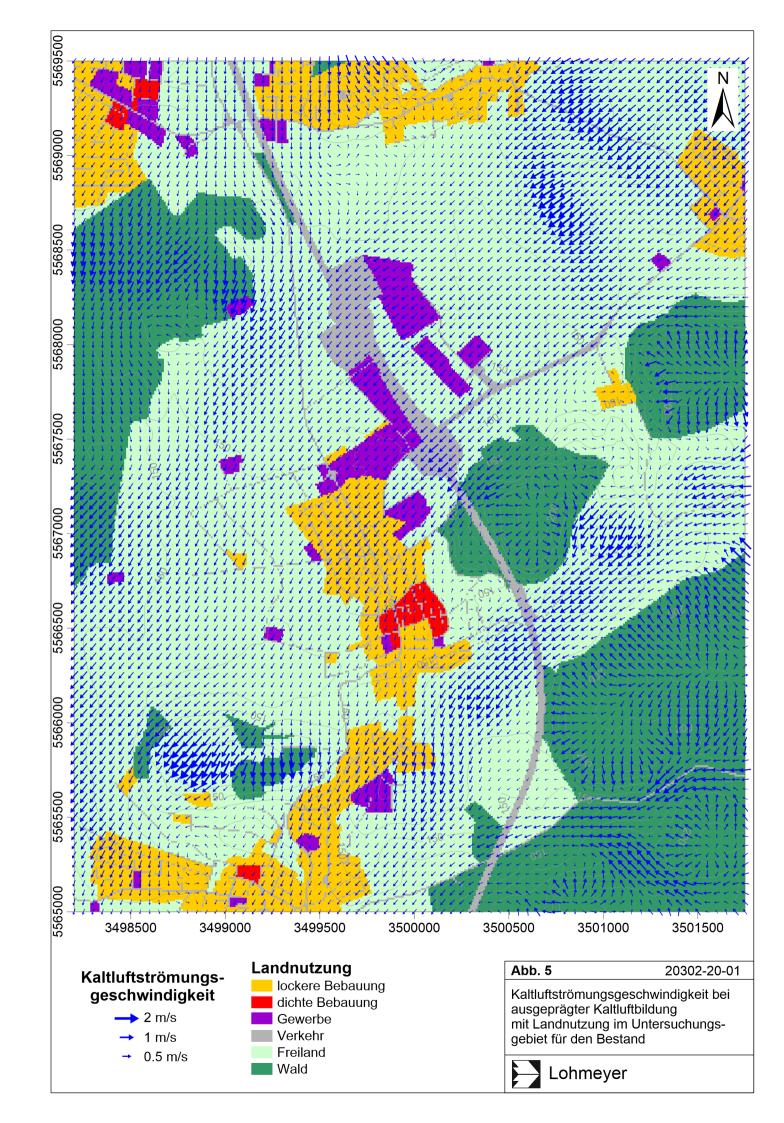
In **Abb. 5** ist für den Bestand die Kaltluftströmungsgeschwindigkeit bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen im Laufe der Nacht aufgezeigt, d. h. für über 3 Stunden andauernde Kaltluftbildung. In den oberen Hangbereichen wie nordöstlich von Hammersbach sind weiterhin kräftige Hangabwinde wirksam und im Siedlungsbereich von Langen-Bergheim sind weiterhin Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten um 1 m/s dargestellt. In den überwiegenden Bereichen des Betrachtungsgebietes dominieren Kaltluftströmungsgeschwindigkeiten um 1 m/s und 2 m/s. Die Kaltluftströmungen fördern weiter die nächtliche Belüftung des Siedlungsbereiches von Langen-Bergheim.

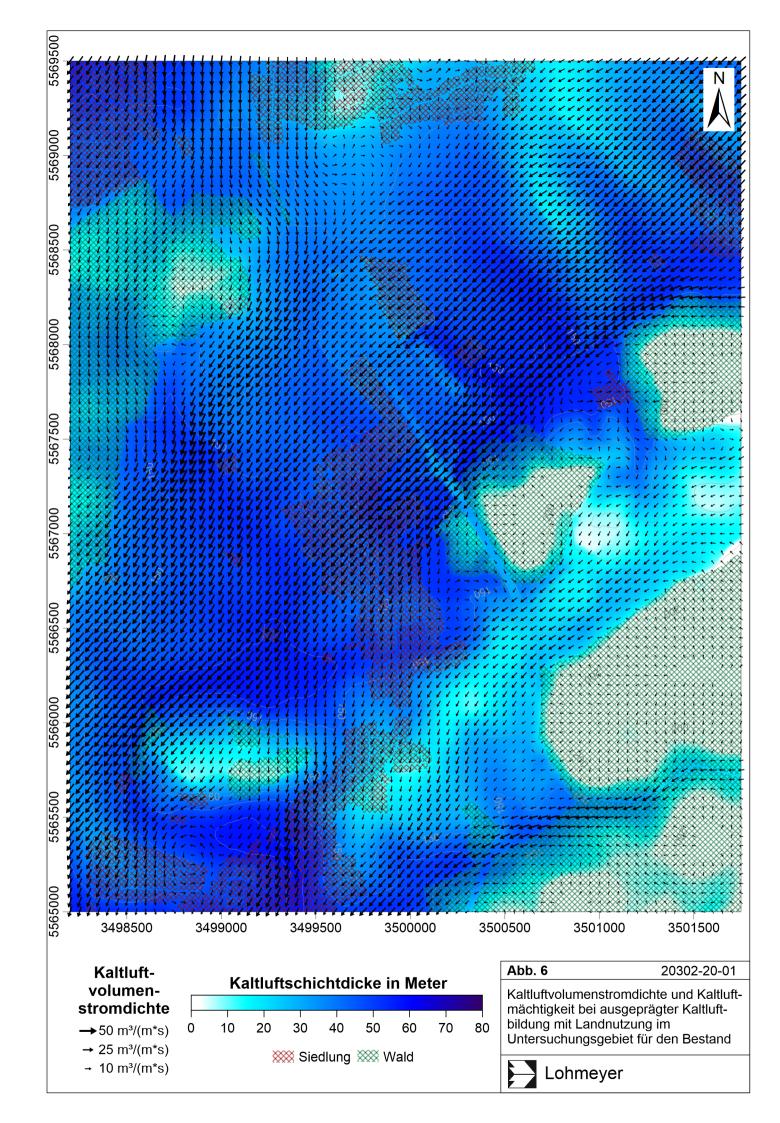
Bei andauernden Kaltluftbedingungen ist eine deutliche Zunahme der Kaltluftmächtigkeiten in den Tal-, Mulden- und Senkenbereichen zu erwarten. Dies ist in **Abb. 6** für den Bestand aufgezeigt und zeigt insbesondere im Bereich von Langen-Bergheim Kaltluftmächtigkeiten über 50 m und damit verbunden kräftige Kaltluftvolumenströme. Im Siedlungsbereich von Langen-Bergheim und südlich benachbarten Siedlungsbereichen sind kräftige Kaltluftströmungen wirksam, die dort eine günstige nächtliche Belüftung bewirken.

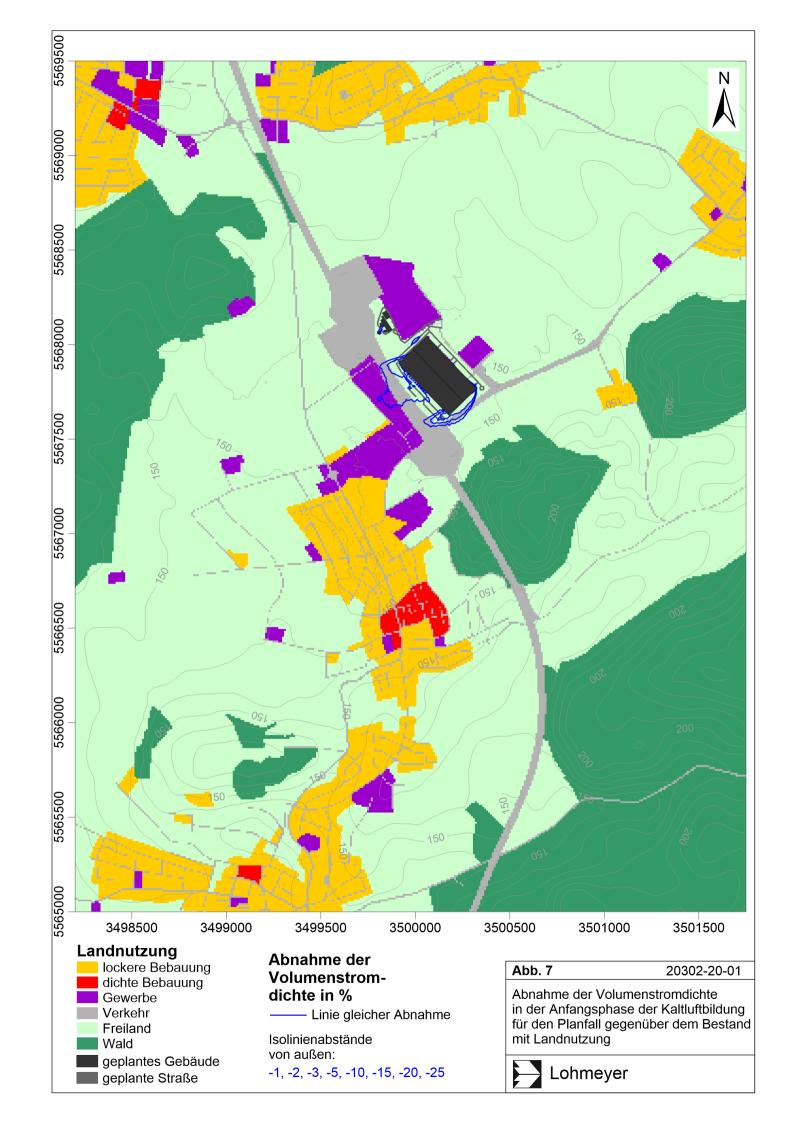
Die genannten Kaltluftberechnungen werden ebenfalls für den Planfall mit geplantem Interkommunalen Gewerbegebiet LIMES durchgeführt. Da die Planungen nicht zu kompletten Einschränkungen der Kaltluftströmungen führen, sind die Ergebnisdarstellungen ähnlich zu denen für den Bestand. Dementsprechend werden im Folgenden Darstellungen der Abnahmen der Kaltluftvolumenstromdichten aufgezeigt. In diesen Abbildungen ist die geplante bauliche Erweiterung des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES nordöstlich von der Autobahn und der Anschlussstelle als schwarze Flächen und die verkehrliche Erschließung dunkelgrau eingetragen. In den Abbildungen sind die Bereiche dargestellt, in denen Verringerungen der Kaltluftströmungen bedingt durch die Planungen zu erwarten sind.

In **Abb. 7** ist die Abnahme der Kaltluftvolumenstromdichte in der Anfangsphase der Kaltluftbildung als Linien gleicher Abnahmen für den Planfall aufgezeigt. Mit der Änderung der Landnutzung und den geplanten Gebäuden wird die bodennahe Kaltluftströmung in der Umgebung des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES verringert. Damit sind entsprechend den Berechnungen Einschränkungen der Kaltluftströmungen zu erwarten. Westlich und südwestlich der geplan-







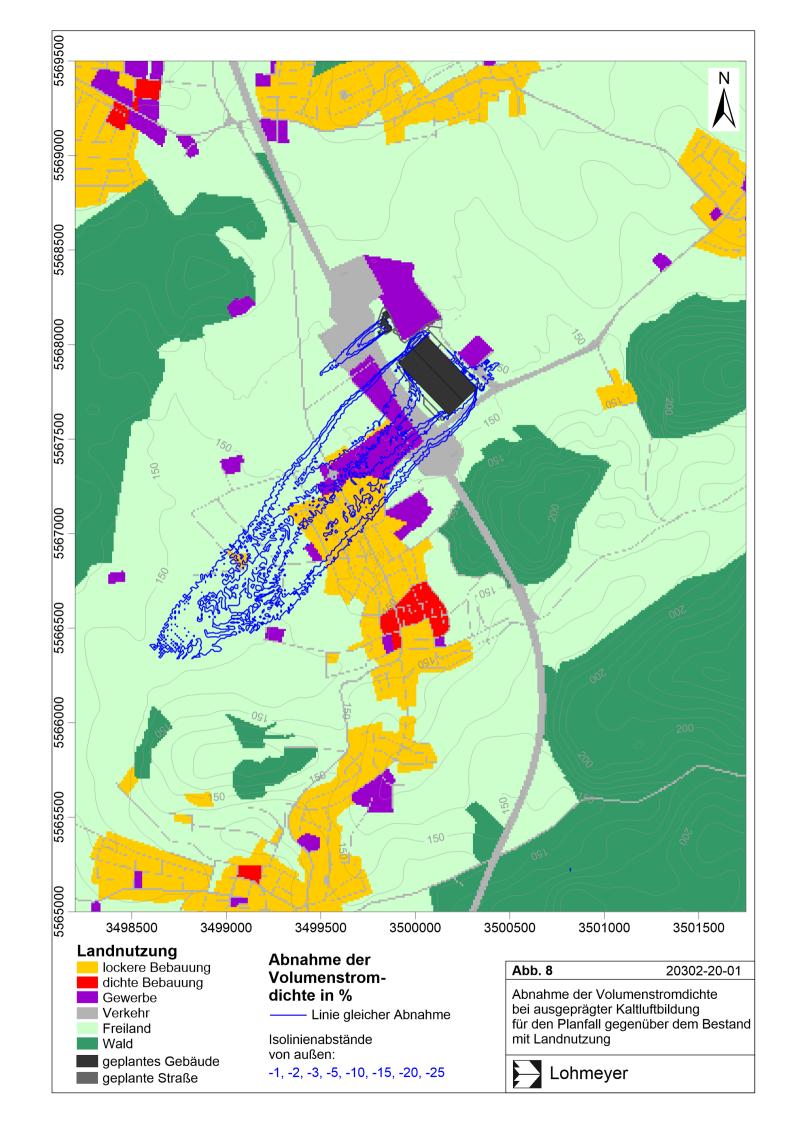


ten Erweiterungen wird die heranströmende Kaltluft bodennah hinsichtlich der Geschwindigkeit verringert. Aufgrund der östlich bereits bestehenden benachbarten gewerblichen Gebäude liegen bereits bodennah beeinflusste Strömungsverhältnisse vor. Die Einschränkungen durch die geplante bauliche Erweiterung des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES reicht über die Autobahn bis in den Rand des westlich der Autobahn gelegenen gewerblich genutzten Bereichs, d. h. das Eintreffen der Kaltluft wird dort um wenige Minuten verzögert.

Bei ausgeprägten Kaltluftbildungen mit mächtiger Kaltluftschicht sind durch die geplante bauliche Erweiterung des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES in Strömungsrichtung dahinter Einschränkungen auf die Kaltluftströmung berechnet (**Abb. 8**). Diese Einschränkungen betreffen den nördlichen Siedlungsbereich sowie gewerbliche Nutzungen von Langen-Bergheim, indem dort die bodennahe Kaltluftströmungsgeschwindigkeit verringert ist. Die Einschränkungen umfassen im Siedlungsbereich weniger als 10% gegenüber den derzeitigen Verhältnissen und sind als mäßige Einschränkungen aufzufassen.

Insgesamt ist für den Bereich in der Umgebung von Langen-Bergheim festzuhalten, dass günstige belüftungswirksame Kaltluftbedingungen bestehen, die aus den nordöstlich und östlich benachbarten Hangbereichen der Geländeanstiege in die Mulde bei Hammersbach und in der Folge nach Südwesten und Süden zum Maintal geführt werden. Mit der geplanten baulichen Erweiterung des Interkommunalen Gewerbegebietes LIMES entstehen nordöstlich von Hammersbach und der Autobahn zusätzliche langgestreckte bodennahe Strömungshindernisse quer zu der wirkenden Kaltluftströmung, die zu Einschränkungen der bodennahen Kaltluftströmungen führen. In der Anfangsphase der Kaltluftbildung bewirkt das für gewerbliche Nutzungen von Langen-Bergheim an der Autobahn ein um wenige Minuten verzögertes Eintreffen der kalten Luftmassen; bei ausgeprägten Kaltluftbedingungen sind im nördlichen Siedlungsbereich von Langen-Bergheim mäßige Einschränkungen der nächtlichen Belüftung zu erwarten.

Die durch die Planungen mit dem Interkommunalen Gewerbegebiet LIMES bedingten beschriebenen Einschränkungen der Kaltluftverhältnisse können durch großzügige Vegetationsausstattungen gemildert werden, wie dies mit den textlichen Vorgaben für Außenanlagen (gärtnerisch angelegte Freiflächen mit Wiesen und Sträuchern) und Stellplatzflächen (Rasenkammerflächen, Baumstandorte) umgesetzt wird, um mögliche Erwärmungen benachbarter bestehender Bereiche zu dämpfen; für Flachdächer sind Dachbegrünungen geeignet, das Aufzehren herantransportierter Kaltluftmassen zu mildern und wird in den textlichen Vorgaben mit extensiver Dachbegrünung umgesetzt.



3 Quellen

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).
- metSoft (2004): GlobDEM50, Deutschland, Digitale Höhendaten. Herausgeber: metSoft GbR Heilbronn.
- Schädler, G., Lohmeyer, A. (1994): Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. In: Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, S. 167-171.
- 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.

Anhang 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 veröffentlichen 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.