

**Ingenieurbüro Lohmeyer  
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,  
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D - 76229 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 / 6 25 10 - 0

E-Mail: [info.ka@lohmeyer.de](mailto:info.ka@lohmeyer.de)

URL: [www.lohmeyer.de](http://www.lohmeyer.de)

**Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG**

## **BEBAUUNGSPLAN „ADELSBACH“ IN WINNENDEN**

### **STELLUNGNAHME ZUM EINFLUSS VON KALTLUFT AUF DIE GERUCHSIMMISSIONEN**

Auftraggeber: Stadtverwaltung Winnenden  
Torstraße 10  
71364 Winnenden

Dipl.-Geogr. D. Bretschneider  
Dipl.-Met. A. Moldenhauer

Dr.-Ing. W. Bächlin

Version 20.07.2012  
Projekt 62125-12-04  
Berichtsumfang 35 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>EINGANGSDATEN .....</b>	<b>4</b>
	2.1 Schreiben des Regierungspräsidiums Stuttgart.....	4
	2.2 Untersuchungsgebiet.....	4
	2.3 Relief und Landnutzung.....	5
	2.4 Meteorologie .....	7
<b>3</b>	<b>KALTLUFT .....</b>	<b>10</b>
	3.1 Kaltluftbildung und -auswirkungen .....	10
	3.1.1 Allgemeines.....	10
	3.1.2 Ursachen für Kaltluftbildung und -abfluss .....	11
	3.1.3 Kaltluftentstehung über verschiedenen Oberflächen.....	12
	3.1.4 Einfluss von Flächennutzungsänderungen auf Kaltluft.....	16
	3.1.5 Einfluss von künstlichen Hindernissen und Bewuchs .....	16
	3.1.6 Bestimmung von Kaltluftströmungen – Kaltluftabflussmodell KALM.....	17
	3.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet.....	19
	3.2.1 Ergebnisse KALM-Berechnung .....	19
	3.2.2 Ergebnisse Berechnung mit EDV-Programm GAK.....	20
	3.2.3 Fazit.....	25
<b>4</b>	<b>AUSWIRKUNGEN DER KALTLUFT AUF DIE IMMISSIONSSITUATION .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>29</b>
	<b>A1 BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM .....</b>	<b>32</b>
	<b>A2 MATERIALIEN UND UNTERLAGEN .....</b>	<b>35</b>

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG 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 VERANLASSUNG UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

In Winnenden soll der Bebauungsplan „Adelsbach“ aufgestellt werden. Derzeit befindet sich die Tierhaltungsanlage des Landwirts Oettinger (Rinder) im Nahbereich des Plangebietes. Im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens wurden vom Regierungspräsidium (RP) Stuttgart abschätzende Ausbreitungsmodellierungen für den genannten Betrieb durchgeführt. Demnach wird ohne explizite Berücksichtigung von Kaltluftabflüssen im Untersuchungsgebiet der Immissionswert der GIRL an der geplanten Wohnbebauung deutlich unterschritten. Bedenken bestehen aber dahingehend, dass die im Untersuchungsgebiet zu erwartenden Kaltluftabflüsse von der Quelle zu den geplanten Wohnhäusern gerichtet sind und es dadurch in Kaltluftsituationen zu vermehrten Geruchswahrnehmungen im Bereich des B-Plan-Gebietes kommen kann. Es soll geklärt werden, wie sich die Kaltluftsituation im Untersuchungsgebiet darstellt.

Zur quantitativen Beschreibung der Kaltluftsituation wurden Modellsimulationen der Kaltluftabflüsse mit dem Kaltluftabflussmodell KALM durchgeführt. Dafür wurde das gesamte Untersuchungsgebiet, welches das relevante Einzugsgebiet der Kaltluft beinhaltet, hinsichtlich Relief und Landnutzung digital erfasst. Die Berechnungen wurden mit Daten in einer räumlichen Auflösung von 50 m x 50 m durchgeführt. Mit dem Ergebnis ist es möglich, Aussagen zu Auswirkungen von Kaltluftabflüssen auf die Immissionssituation (verursacht durch den betrachteten Betrieb) im Untersuchungsgebiet zu machen.

Die Ergebnisse liefern flächendeckend Kaltluftströmungsrichtungen, -geschwindigkeiten und Kaltluftmächtigkeiten für verschiedene Entwicklungsphasen der Kaltluft, die grafisch aufbereitet werden.

Der Einfluss von Kaltluft auf die Geruchsimmissionen im Untersuchungsgebiet wird abgeschätzt.

## 2 EINGANGSDATEN

### 2.1 Schreiben des Regierungspräsidiums Stuttgart

Es liegt ein Schreiben vom RP Stuttgart (2012) zur Einschätzung der Immissionssituation im Untersuchungsgebiet vor. Darin wird ausgesagt, dass von den beiden vorhandenen Hofstellen im Untersuchungsgebiet nur der Betrieb Oettinger Tierhaltung betreibt. Andere Geruch emittierende Anlagen werden nicht aufgeführt. Da die Berücksichtigung von Gerüchen aus landwirtschaftlichen Düngemaßnahmen entsprechend Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL, LAI 2008) und VDI 3894 Blatt 2 (Entwurf, 2011) im Allgemeinen nicht erforderlich ist, beziehen sich die nachfolgenden Betrachtungen ausschließlich auf den Betrieb Oettinger.

Das RP Stuttgart betrachtet für den Betrieb Oettinger zwei Emissionszustände: Zum einen die im o. g. Schreiben so genannte Ist-Tierhaltung mit ca. 48 GV - Großvieheinheiten (entspricht in etwa dem genehmigten Bestand), zum anderen eine potenzielle Erweiterung (Ziel-Tierhaltung) mit 141 GV, was in etwa eine Verdreifachung gegenüber dem genehmigten Zustand darstellt.

Mittels einfacher Verfahren (Abstandsbetrachtungen nach VDI 3894, Blatt 2 (2011) und Ausbreitungsrechnungen mit GERDA (EDV-Programm zur Ausbreitung von Geruch) werden für beide Emissionsszenarien Geruchsimmissionen ausgehend von der Hofstelle Oettinger abgeschätzt (zu den Ergebnissen siehe Kapitel 4).

### 2.2 Untersuchungsgebiet

Winnenden liegt im Rems-Murr-Kreis. Naturräumlich lässt sich Winnenden in das Neckarbecken der Neckar- und Tauber-Gäuplatten (LUBW, o. J.) einordnen. Die Naturregion wird als Hochplateau mit Höhenlagen zwischen 200 m und 350 m charakterisiert, mit dem Neckar als Zentralachse.

Die Lage des geplanten Baugebietes mit der Lage des vorhandenen landwirtschaftlichen Betriebes Oettinger ist in der **Abb. 2.1** aufgezeigt.

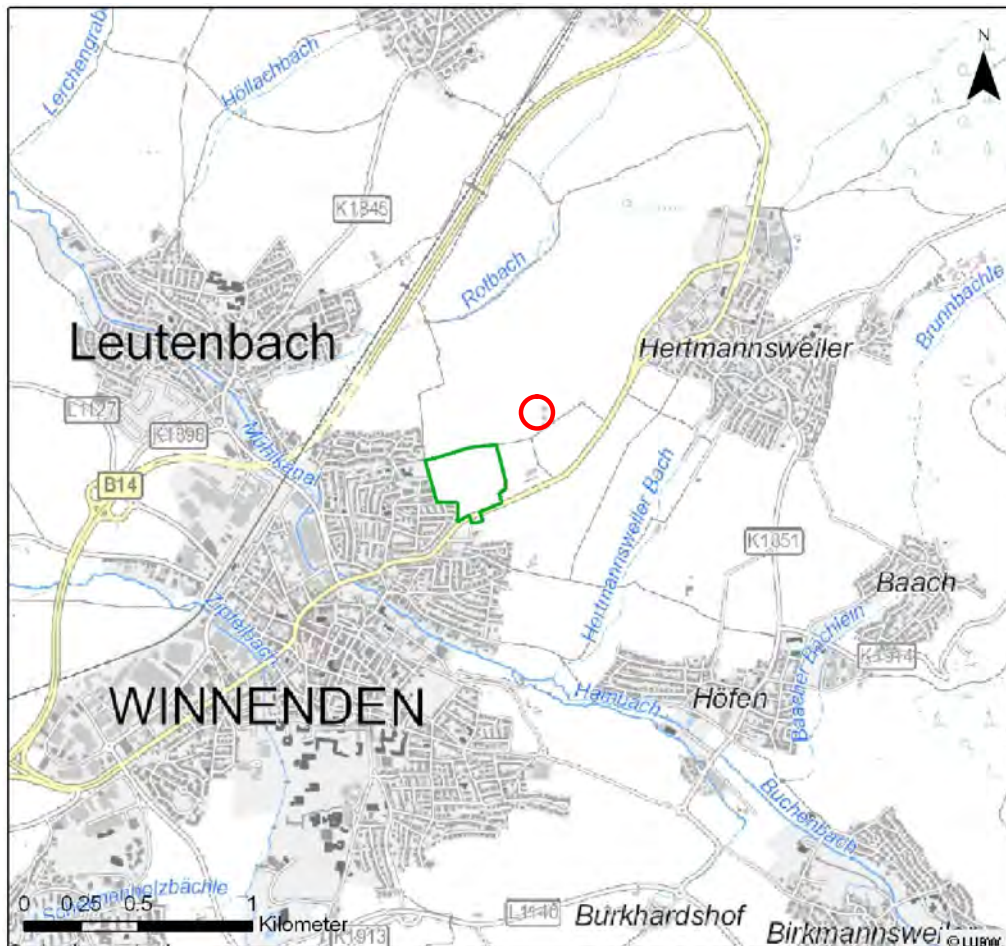


Abb. 2.1: Topografische Karte für den Standort (grün markiert = geplantes Bebauungsgebiet, rot markiert = Betrieb Oettinger) und seine Umgebung

Die Anlage befindet im Außengebiet ca. 1.7 km von der südwestlich gelegenen Ortsmitte von Winnenden entfernt. Die nächstgelegene derzeitige Wohnbebauung befindet sich ca. 520 m südwestlich des Betriebs Oettinger. Der minimale Abstand zwischen dieser Anlage und dem geplanten Bebauungsgebiet beträgt ca. 220 m.

### 2.3 Relief und Landnutzung

Für die Modellsimulationen mit dem Kaltluftabflussmodell KALM (Abschnitt 3.2.1) wurde das gesamte Untersuchungsgebiet, welches das relevante Einzugsgebiet der Kaltluft beinhaltet, hinsichtlich Relief (siehe **Abb. 2.2**) und Landnutzung (**Abb. 2.3**) digital erfasst.

Das Höhenmodell wurde aus allgemein verfügbaren Höhendaten erstellt. Das Bebauungsplanelände befindet sich in einer Höhenlage von ca. 290 - 305 m üNN, der Anlagenstandort

in ca. 310 m üNN. Nach Nordosten bis Südwesten steigt das Gelände allmählich bis auf über 400 m an.

Als Grundlage für die Erstellung des Landnutzungsrasters dienten CORINE Land Cover Daten (Aufnahmestand 2006), welche für den Nahbereich mit Luftbildern abgeglichen wurden. Das Plangebiet wurde entsprechend der technischen Planungen (Stand 23.04.2012) ergänzt. Im gesamten betrachteten Untersuchungsgebiet wechseln sich bebaute Flächen mit Freiland und Wald ab, wobei v. a. die Höhenzüge bewaldet sind.

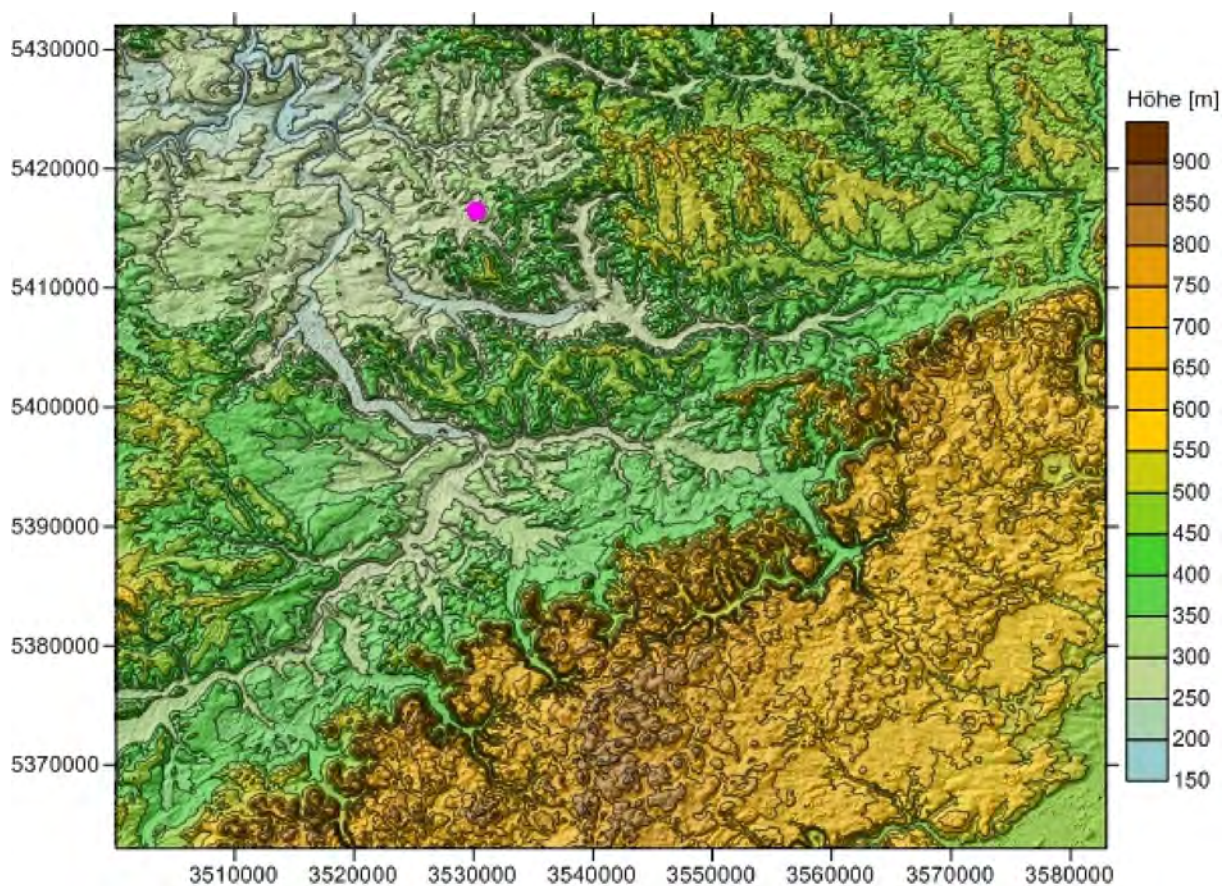


Abb. 2.2: Geländerelevierung in der Umgebung des Standortes; rosa Punkt: Anlagenstandort



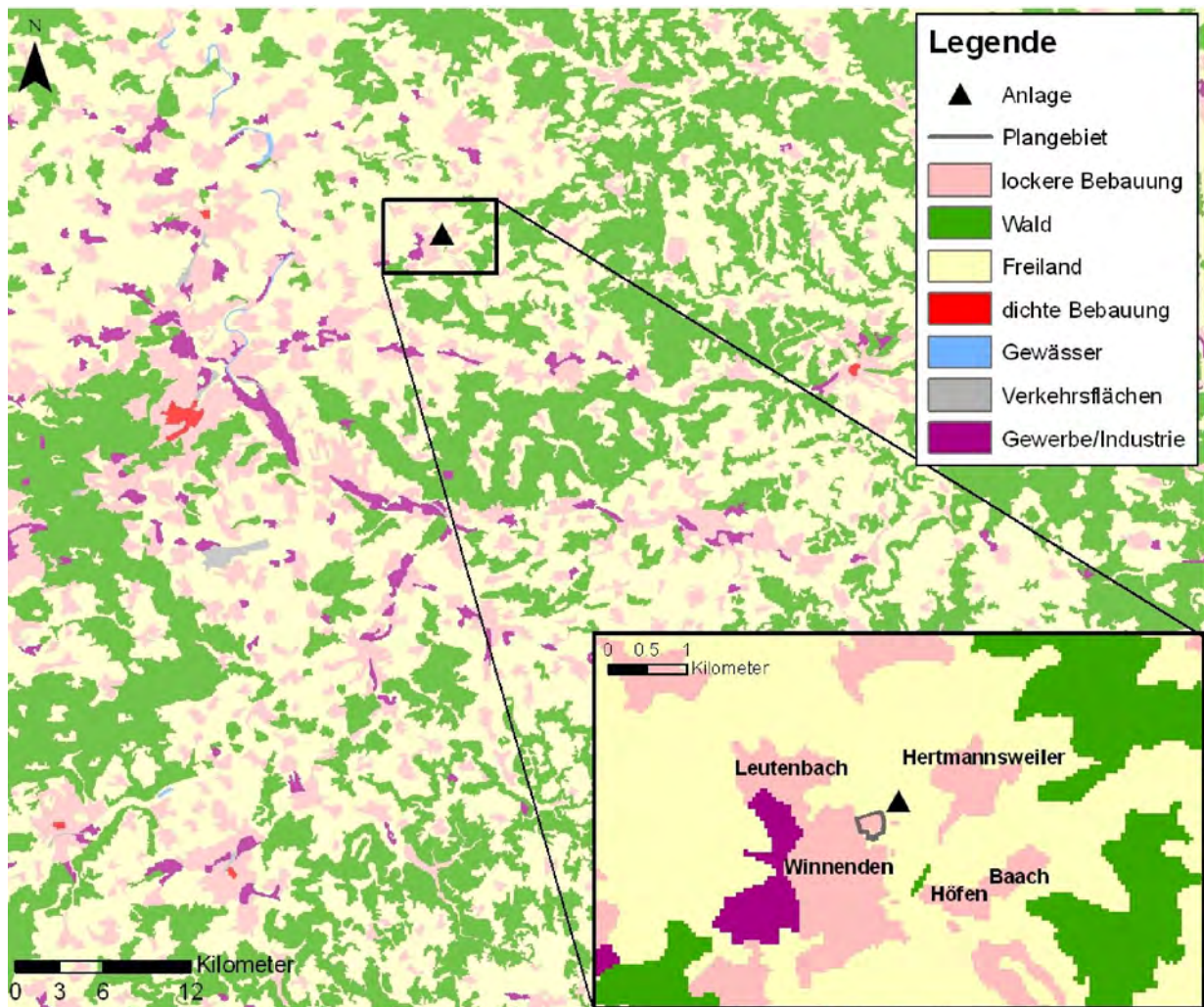


Abb. 2.3: Landnutzung im Untersuchungsgebiet

## 2.4 Meteorologie

Die Windrichtungsverteilung an einem Standort wird primär durch die großräumige Druckverteilung geprägt. Die Strömung in der vom Boden unbeeinflussten Atmosphäre (ab ca. 1 500 m über Grund) hat daher in Mitteleuropa ein Maximum bei südwestlichen bis westlichen Richtungen. In Bodennähe, wo sich der Hauptteil der lokalen Ausbreitung von Schadstoffen abspielt, wird die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung jedoch durch die topografischen Strukturen modifiziert. Außerdem kann es zur Ausbildung von lokalen, thermisch induzierten Windsystemen kommen (vgl. Kapitel 3).

Für die Einschätzung der Windverhältnisse bei allochthonen (fremdbürtigen) Wetterlagen sind Kenntnisse über die Verteilung von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbrei-



tungsklasse im Untersuchungsgebiet nötig. Direkt im Untersuchungsgebiet stehen keine langjährigen, qualitätsgesicherten oder repräsentative meteorologische Messdaten zur Verfügung. In solchen Fällen können z.B. die Messdaten einer geeigneten nahegelegenen meteorologischen Station herangezogen werden und/oder die Windfelder am Standort werden mittels Windfeldmodellierung ermittelt.

Das RP Stuttgart führt in seinem Schreiben vom 29.02.2012 zur Beurteilung der Immissions-situation im Untersuchungsgebiet die synthetischen Winddaten der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) an. Im Umweltinformationssystem der LUBW (<http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de/>) können diese Winddaten im 500 m-Raster für Baden-Württemberg angefordert werden. Die in der Umgebung des Standorts ausgewiesenen synthetischen Windrosen sind in **Abb. 2.4** dargestellt. In **Abb. 2.5** ist die Windrose der für den Standort berechneten Statistik abgebildet.

Die Topographie führt bei den Windrosen im Untersuchungsgebiet zu Modifizierungen der jeweiligen Ausprägung der Haupt- und Nebenmaxima.

Für den Untersuchungsstandort werden Windgeschwindigkeiten um 2.3 m/s erwartet. Die nächtlichen Kaltluftabflüsse, die im Untersuchungsgebiet auftreten können (vgl. Kapitel 3), spiegeln sich im Maximum (Strömungen aus Südosten; entspricht der häufigsten Kaltluftströmungsrichtung) in Verbindung mit niedrigen Windgeschwindigkeiten wider.

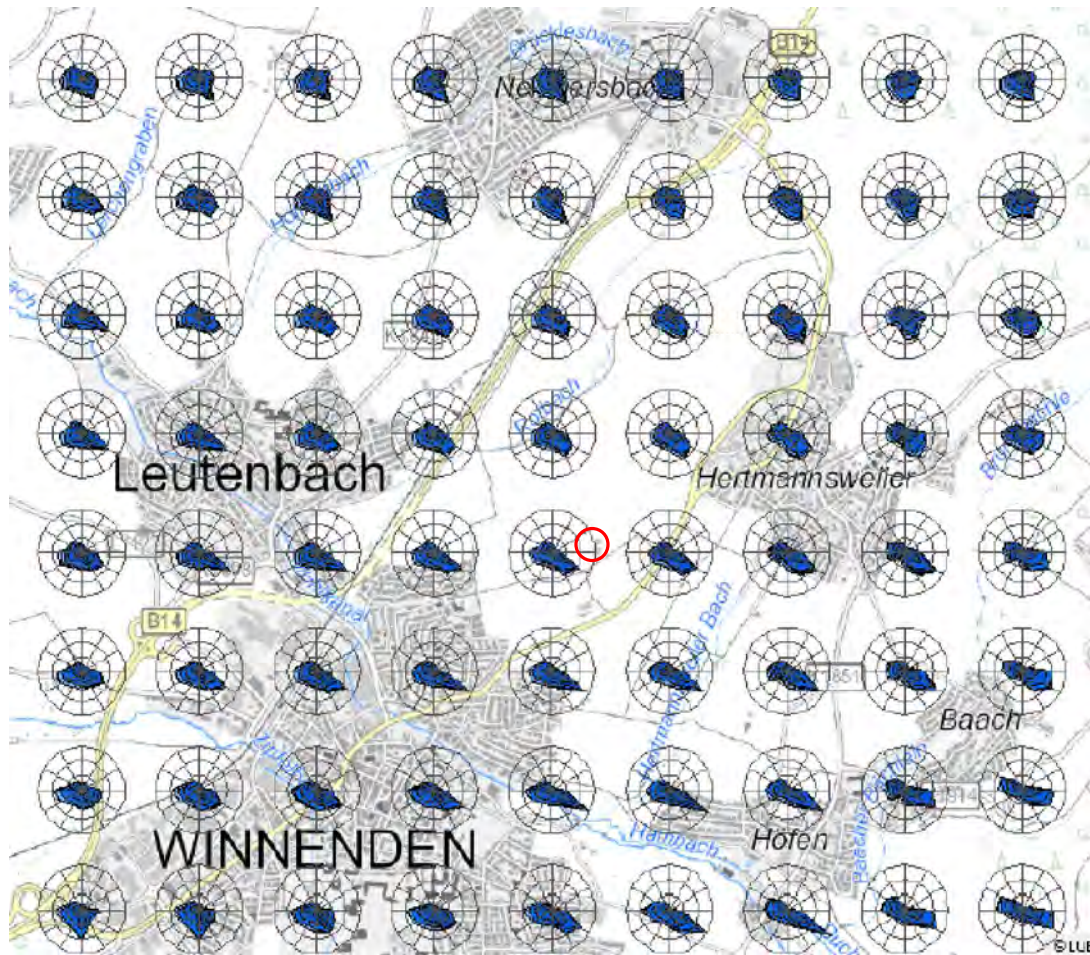


Abb. 2.4: Synthetisches Windrosenfeld in der Umgebung des Standorts (roter Kreis = Anlage), Quelle: RIPS Datensystem der LUBW, <http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de>

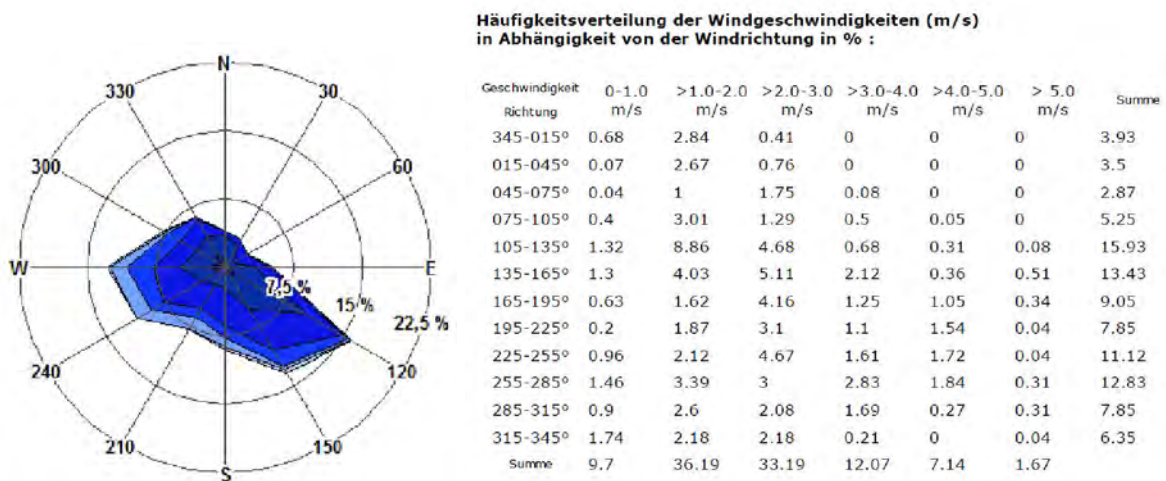


Abb. 2.5: Synthetisch ermittelte Windrichtungsverteilung in der Umgebung des Anlagenstandorts (Quelle: RIPS Datensystem der LUBW)

### 3 KALTLUFT

#### 3.1 Kaltluftbildung und -auswirkungen

##### 3.1.1 Allgemeines

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über geneigtem Gelände so genannte 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 so genannten Kaltluftseen, 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 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 Umweltbewertung und -planung her ist es daher von großer Bedeutung, eventuelle Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können. Als Hilfsmittel können z. B. Kaltluftabflussmessungen aber auch Kaltluftabflussmodelle eingesetzt werden. Innerhalb der vorliegenden Studie werden Modellierungen mit dem Kaltluftabflussmodell KALM eingesetzt.

In den folgenden Abschnitten werden zuvor die Ursachen für Kaltluftbildung und -abfluss einschließlich Einflussgrößen aufgezeigt und diskutiert. Dabei beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen in wesentlichen Teilen auf die Richtlinie VDI 3787, Blatt 5 (VDI, 2003) und die Auswertung weiterer vorliegender Literatur zur Problematik.

### 3.1.2 Ursachen für Kaltluftbildung und -abfluss

Die nächtliche Strahlungsbilanz setzt sich aus der Ausstrahlung der Erdoberfläche und der atmosphärischen Gegenstrahlung zusammen, wobei die Gegenstrahlung zum Erdboden gerichtet ist. Hierdurch reduziert sie den Betrag der Strahlungsbilanz. Während die Ausstrahlung von einer definierten Oberfläche ausgeht, empfängt die Erdoberfläche atmosphärische Gegenstrahlung aus verschiedenen Schichten der bodennahen Atmosphäre. Durch anhaltende, auch im Verlauf der Nacht in ihrer Intensität abnehmende Abkühlung, kann sich eine mehrere Dekameter dicke Kaltluftschicht bilden. In einer solchen stabilen Schichtung (im Extremfall eine Temperaturinversion) ist, bei schwachem Wind, der *turbulente Austausch* weitgehend unterdrückt. Bei auffrischendem Wind kann dagegen turbulenter Austausch die Temperaturinversion zusammenbrechen lassen („break-down of stability“) und die bodennahe Kaltluft mit der darüber liegenden Warmluft durchmischen. Dieses führt zu einem kurzfristigen bodennahen Temperaturanstieg und zu einer Reduktion der weiteren Temperaturabnahme.

Zusammenfassend lassen sich somit zwei grundlegende meteorologische Voraussetzungen nennen, von denen die Intensität der Kaltluftentstehung abhängt: Wolkenlosigkeit während einer windschwachen Hochdruckwetterlage sowie geringer Wasserdampfgehalt der Atmosphäre.

Die Kaltluftströmung (oder auch Kaltluftabfluss) wird als Verlagerung von kalten (dichten) Luftmassen in wärmerer (weniger dichter) Umgebungsluft von folgenden wesentlichen Größen beeinflusst:

- eine der Geländeneigung folgende Abtriebskomponente, die von der Schwerebeschleunigung und der Dichtedifferenz zur umgebenden Luft bestimmt wird;
- der Druckdifferenz zwischen stromauf und stromab gelegenen Stirnflächen;
- der Reibung der Erdoberfläche;
- der Wirkung der Luftmassen oberhalb der Kaltluftschicht;

- den Reibungskräften an den Seitenflächen der Kaltluftschicht.

Folgende wesentliche Wechselwirkungen zwischen Kaltluftströmung und Topografie bzw. Landnutzung sind bekannt:

- von der Landnutzung abhängige Kaltluftproduktion
- 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
- Beschleunigung oder Abbremsen bzw. Umleiten der Strömung durch Bebauung bzw. Bewuchs als Hindernis.

Dies soll im Weiteren erläutert werden.

### **3.1.3 Kaltluftentstehung über verschiedenen Oberflächen**

Die Kaltluftentstehung über einer natürlichen Oberfläche wird - abgesehen von den bereits genannten Einflussgrößen - durch die thermischen Stoffeigenschaften (besonders Wärmeleitfähigkeitskoeffizient und Wärmekapazitätsdichte<sup>1</sup>) des entsprechenden Substrates sowie durch eventuell vorhandene Oberflächenbedeckungen bestimmt, die in der Regel aus pflanzlichem Bewuchs, Laubstreu oder Schnee bestehen. Der Einfluss der Vegetation ist abhängig von ihrem Flächenanteil an der Gesamtfläche sowie von der Art des Bestandsaufbaus (z. B. Wiesen-, Kraut-, Strauch- oder Baumvegetation). Die Auswirkungen von Laubstreu und Schnee auf die Kaltluftentstehung werden von deren Zusammensetzung, Schichtdicke und Alter bestimmt. Die bodenphysikalischen Eigenschaften werden über Art und Zustand des Substrates festgelegt. Bestimmende Faktoren sind hierbei in erster Linie die Dichte, der Luft- und Wassergehalt sowie das Porenvolumen, daneben Bodenfarbe, -struktur und -zusammensetzung. Exposition und Geländeneigung üben einen weiteren Einfluss auf die Kaltluftentstehung aus. Die genannten Größen bestimmen den Grad der Strahlungsabsorption und damit die Oberflächentemperatur sowie die Höhe des Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten und die Stärke der Wärmekapazitätsdichte. Eine große Amplitude des Tagesganges

---

<sup>1</sup> Produkt aus spezifischer Wärmekapazität und Dichte



der Bodentemperatur ist in der Regel ein Indiz für eine starke Kaltluftentstehung in den Abend- und Nachtstunden. Darüber hinaus bestimmt die Dauer der nächtlichen Ausstrahlung, die in den mittleren Breiten im Sommer 9 bis 10 Stunden, im Winter 15 bis 17 Stunden erreichen kann, die Kaltluftentstehung. Böden mit hoher Dichte leiten die Wärme besser und sind schlechtere Kaltluftproduzenten als solche mit geringerer Dichte und Wärmeleitfähigkeit. Bodendichteunterschiede können sowohl auf Korngrößendifferenzen beruhen als auch durch unterschiedlichen Gehalt abgestorbenen Pflanzenmaterials (Humusanteil) verursacht sein. Mit wachsender Korngröße nimmt in der Regel der Porenraum zu, so dass bei trockenem Boden und mithin hohem Luftanteil die Wärmeleitung gering und die Kaltluftentstehung groß ist.

Das Porenvolumen eines Bodens kann sowohl durch Feuchtigkeitsänderungen als auch durch landwirtschaftliche Bearbeitung (Bodenverdichtung bzw. Bodenlockerung) beeinflusst werden. Während unbearbeitete und verdichtete Böden Porenvolumina von nur 30 % aufweisen können, erreichen frisch gepflügte Böden rund 60 %. Eine derartige Verdoppelung des Porenvolumens führt zu einer Abnahme der Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten auf etwa 1/5 des Ausgangswertes (Berényi, 1967), wodurch die Kaltluftentstehung zunehmen kann.

Eine Veränderung des Bodenwassergehaltes hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die thermischen Verhältnisse des Substrates. Dies wird in **Tab. 3.1** zeigt.

Da Porosität, Permeabilität und Bodenwassergehalt gerade in den oberen Bodenschichten innerhalb kurzer Zeit erheblich schwanken können, ist die Angabe von Mittelwerten der Kaltluftentstehung mit großen Unsicherheiten behaftet. Aus den in **Tab. 3.1** zusammengestellten Werten der Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten kann indirekt auf die Kaltluftentstehung der entsprechenden Oberflächen geschlossen werden. Feuchte Substrate verfügen zwar im Vergleich zu trockenen Substraten über größere Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten und Wärmekapazitätsdichten und müssten demnach schlechtere Kaltluftproduzenten sein. Da aber der latente turbulente Wärmefluss über die Verdunstung tagsüber relativ hoch und auch nachts meist noch von der Oberfläche weggerichtet ist, sind feuchte Böden auch zu den Kaltluftbildnern zu rechnen (Baumgartner, 1963).

Komponenten	Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
Quarz	8.80
Granit	4.60
Sand: feucht, 40 % Porenvolumen Sand: trocken, 40 % Porenvolumen	2.20 0.30
Lehmboden: feucht, 40 % Porenvolumen Lehmboden: trocken, 40 % Porenvolumen	1.60 0.25
Humus	1.30
Moorboden: feucht Moorboden: trocken	0.80 0.06
Wasser; 4 °C, ruhig	0.60
Torfboden: feucht, 40 % Porenvolumen Torfboden: trocken, 40 % Porenvolumen	0.50 0.06
Luft: 10 °C, ruhig	0.02

Tab. 3.1: Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten [W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>] verschiedener Komponenten (entnommen aus VDI, 2003).

Hinsichtlich der Kaltluftentstehung von Wäldern muss nach deren topographischer Lage unterschieden werden. Bei Beständen, die in einer Ebene liegen, sinkt die im Kronendach abgekühlte Luft in den Stammraum ab und stagniert dort, oder aber sie fließt mit sehr geringer Geschwindigkeit im unteren Stammraumbereich als „Waldwind“ aus dem Bestand heraus (Geiger, 1961). Die Lufttemperatur nimmt in diesen Fällen zwar niedrige Werte an, ist jedoch im Vergleich zur Kaltluft über einer Wiesenfläche in entsprechender Lage absolut gesehen höher. Bei Wäldern in Kamm- oder Hanglage wird die in Bodennähe aus dem Stammraum mit höherer Geschwindigkeit als im vorgenannten Fall ausfließende Kaltluft durch warme Luft ersetzt, die von oben in den Bestand eindringt. Die im Stammraum bodennah austretende Luft ist hierbei in der Regel jedoch nicht so kalt wie diejenige eines in ebener Lage stockenden Waldes (Goßmann, 1988). Daher sind Täler, deren Hänge bewaldet sind, weniger frostgefährdet. Der spärlichen Literatur zu diesem Thema können im Allgemeinen meist nur Hinweise auf die qualitative Wirkung verschiedener Böden oder Bewuchsarten hinsichtlich der

Kaltluftproduktion entnommen werden. Eine Zusammenstellung häufig zitierter mittlerer Kaltluftentstehungsraten enthält **Tab. 3.2**.

Lokalität	Volumenstrom [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]	Kaltluftproduktionsrate [m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ]	Flächennutzung	Geländeneigung	Quelle (siehe Hartenstein, 2000)
Beierbachtal	23 000		32	gemischt, un bebaut		Hauf & Witte, 1985
Rohrbachtal			15	gemischt, un bebaut		Kost, 1982, zit. in KRdL 1993
Würzenbachtal	38 000	9.8	13.7	gemischt, un bebaut		Vogt, 1990
Dreisamtal			13 11 16	gemischt, entwaldet Ackerland		Gross, 1989 (modelliert)
Eifeltäler			12	Wiese	Hangneig. 5° bis 9° Sohlenneig. 2° bis 8°	King, 1973
Michelbachtal	30 000	11.2	9.6		Hangneig. 13° Sohlenneig. 2°	Hartenstein, 2000
Pfinztal		235	6		9° bis 11°	Heldt, 1984
Kronsberg			4 bis 33			Herberger et al., 1993

Tab. 3.2: „Kaltluftproduktionsraten“ verschiedener Täler (entnommen aus VDI, 2003).

Der Wärmeinhalt von Kaltluft kann besonders stark durch urbane Gebiete und größere Wasserflächen beeinflusst, das heißt, in der Regel aufgezehrt werden. Im Falle einer bebauten Fläche erfolgt eine Temperaturerhöhung durch die städtische Überwärmung. Das liegt daran, dass von städtischen Oberflächen durch die langwellige Ausstrahlung sowie den turbulenten sensiblen und latenten Wärmefluss unter Einbezug des anthropogenen Wärmeintrags Energieflüsse erreicht werden, die in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte Werte zwischen  $5 \text{ W m}^{-2}$  und  $120 \text{ W m}^{-2}$  erreichen können. Auch ausreichend große Wasserflächen können Kaltluft erwärmen.

### 3.1.4 Einfluss von Flächennutzungsänderungen auf Kaltluft

Nachfolgend soll exemplarisch dargelegt werden, welche Veränderungen auftreten, wenn z. B. landwirtschaftliche Nutzflächen in Wald und Grünland in Ackerland umgewandelt werden. Da über landwirtschaftlichen Nutzflächen die Kaltluftentstehung wegen der stärkeren Absenkung der Temperatur im Allgemeinen intensiver ist als über Waldgebieten, kann bei Umwandlung der genannten Flächen in Waldgebiete ein ausgeglichenerer Tagesgang der Temperatur erwartet werden. Für ebene Wiesenflächen gibt King (1973) Produktionsraten von etwa  $12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  an, was zu einem theoretischen Mächtigkeitzuwachs der Kaltluft von  $12 \text{ m h}^{-1}$  führt. Kaltluftschichtdicken über Freilandflächen würden erfahrungsgemäß pro Ausstrahlungsnacht 20 m bis 80 m Mächtigkeit erreichen. Hingegen mindern Waldgebiete die „absoluten“ Kaltlufttemperaturen. Bei der Umwandlung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Waldgebiete ist somit davon auszugehen, dass zwar weiterhin Kaltluft gebildet wird, diese jedoch nicht die für eine unbewaldete Fläche repräsentativen niedrigen Untertemperaturen aufweist. Wird Grünland in Ackerland umgewandelt, so ist in der Regel davon auszugehen, dass die neuen Flächen zuerst einmal „ackerfähig“ gemacht werden müssen, das heißt, der Boden wegen des Einsatzes von schwerem landwirtschaftlichen Gerät verdichtet wird. Hieraus würde eine Verringerung der Kaltluftproduktivität resultieren. Da aber eine Feldbestellung im allgemeinen saisonal erfolgt und sich deshalb Bodenverdichtung und -auflockerung sowie der Besatz mit Vegetation im Jahresverlauf abwechseln, unterliegt auch die Kaltluftproduktivität einem Jahresgang.

### 3.1.5 Einfluss von künstlichen Hindernissen und Bewuchs

Einzelne Hindernisse wie Gebäude oder Dämme werden über- und umströmt, wenn es nicht zu einem Kaltluftstau kommt. Einzelne Dämme können in Tälern einen markanten Kaltluftstau auslösen. Dieses betrifft sowohl Hindernisse, die quer zur Talsohle verlaufen als auch solche, die hangparallel orientiert sind. Die luvseitige horizontale Erstreckung des Kaltluftstaus hängt u. a. vom Gefälle der Talsohle bzw. des Hanges ab und kann das 10fache der Dammhöhe betragen (grober Orientierungswert). Leeseits des Dammes wird die Geschwindigkeit der dammüberströmenden Kaltluft durch den Damm selbst reduziert. In einer Entfernung vom 30fachen der Dammhöhe beträgt die Geschwindigkeitsreduktion immer noch ca. 10 %. Nach den Beobachtungen von King (1973) gleitet die nachfolgende Kaltluft über die im Staubereich des Dammes liegende bodennahe Kaltluft hinweg, so dass sich die Erstreckung des dammbedingten Kaltluftsees nicht mehr ändert. Nach den Beobachtungen von King

(1973) kann die Ausbildung von Kaltluftstaus vor Dämmen durch Durchlässe von mindestens 10 m Breite wirksam unterbunden werden. Bei breiten Tälern ist es wirksamer, mehrere schmalere Durchlässe von etwa 10 m Breite statt eines breiten Durchlasses vorzusehen.

Büsche und Baumgruppen modifizieren die Strömungscharakteristika. Bei ihrer Durchströmung wird die dynamische Turbulenz erhöht, wodurch sich der Volumenstrom im bodennächsten Niveau vermindert und horizontale oder vertikale Verlagerungen des Strömungsmaximums erfolgen können. Die leeseitige Reichweite dieser Störungen ist abhängig von Strömungsmächtigkeit, Geschwindigkeit und Turbulenzgrad sowie von der Größe und Form der Hindernisse. Hindernisse wie Waldränder und Hecken können auch die Richtung des Kaltluftabflusses beeinflussen.

### 3.1.6 Bestimmung von Kaltluftströmungen – Kaltluftabflussmodell KALM

Für die Untersuchung über Kaltluftentstehung und -fluss sowie deren Auswirkungen sind folgende Untersuchungsverfahren möglich (VDI 3787 Blatt 5 (VDI, 2003)):

- Auswertung von Karten (Topografie und Landnutzung) und Literatur
- Modelluntersuchungen (numerische oder physikalische Modelle)
- Messungen im Untersuchungsraum.

Welche dieser Verfahren zur Anwendung kommen soll, ist von der entsprechenden Fragestellung abhängig. Im vorliegenden Projekt kamen Kaltluftabflussberechnungen mit dem Modell KALM zur Anwendung.

Das Kaltluftmodell KALM (Schädler, 1994; Modellbeschreibung im Anhang **A1**) verwendet die so genannten 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.

Vorausgesetzt wird die in den vorhergehenden Abschnitten genannte für Kaltluftabflüsse optimale Situation, das heißt eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitli-



che 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. Zurzeit werden 7 Landnutzungs-klassen berücksichtigt: dichte Bebauung, lockere Bebauung, Gewerbegebiet, Wald, Freiland, Wasser, Gleisanlagen und Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze). Für die Kaltluftproduktionsraten, Reibungskoeffizienten und Nullpunktsverschiebungen sind Standardwerte vorgesehen, welche aber bei Bedarf geändert werden können. Die Kaltluftproduktionsrate von Wald wird in Abhängigkeit von der tatsächlich in jeder Gitterbox vorliegenden lokalen Hangneigung entsprechend Messergebnissen von Kost (1982) und Vogt (1997) variiert. Die landnutzungsabhängigen Modellparameter sind in **Tab. 3.3** zusammengestellt. 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.

Landnutzung	Kaltluftproduktion [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> · h)]	Unter- temperatur [K]	Verschie- bungslänge [m]	Rauigkeits- länge [m]
Lockere Bebauung	0	4	2	0.5
Wald	1 – 50 (abhängig von der Hangneigung)	8	5	0.5
Freiland	15	10	0	0.05
dichte Bebauung	-1	2	5	1
Wasserfläche	0	4	0	0.001
Verkehrsgelände	3	6	1	0.05
Gewerbegebiet	0	4	5	0.5

Tab. 3.3: Landnutzungsabhängige Modellparameter

Das Lösungsverfahren ist ein Differenzenverfahren mit variabler Gitterpunktzahl und Gitterweite, das heißt 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, das heißt 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.

Die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen beinhalten die Richtung und Geschwindigkeit des Kaltluftstroms, die Mächtigkeit der Kaltluft und die Kaltluftvolumenstromdichte. Die Kaltluftvolumenstromdichte beschreibt die Kaltluftmenge in  $\text{m}^3$ , die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Oberkante der Schichtdicke, der senkrecht zur Strömung steht, fließt; die Einheit ist  $\text{m}^3/\text{sm}$  bzw.  $\text{m}^2/\text{s}$ .

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.

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.

Die Ergebnisse der Kaltluftabflussberechnungen für das Untersuchungsgebiet werden im Abschnitt 3.2 dargestellt und erläutert.

## 3.2 Kaltluftabflüsse im Untersuchungsgebiet

### 3.2.1 Ergebnisse KALM-Berechnung

Die Kaltluftsituation im Untersuchungsgebiet in der Anfangsphase der Kaltluftbildung ist in **Abb. 3.1** und **Abb. 3.2** und bei ausgeprägtem Kaltluftabfluss in **Abb. 3.3** und **Abb. 3.4** dargestellt.

Dabei ist zu erkennen, dass die auf den Höhen (Kuppen und Hängen) entwickelte Kaltluft in die Niederungen abfließt und in Tälern so genannte Kaltluftseen entstehen. Im Verlauf der Nacht werden die Kaltluftschichtdicken in den Niederungen und Tälern immer mächtiger. Der

Kaltluftabfluss von den Hangbereichen oberhalb der Kaltluftsammelgebiete dauert, mit abnehmender Intensität, die ganze Nacht an.

Kaltluftabflüsse mit Bezug auf die Anlage treten in der Anfangsphase einer Kaltluftnacht (**Abb. 3.1** und **Abb. 3.2**) von dem nordöstlich gelegenen Höhenzug mit Fließrichtung Südwesten, Strömungsgeschwindigkeiten um ca. 0.5 m/s und geringen Kaltluftschichtdicken (< 1 m) bzw. geringem Kaltluftvolumenstromdichten (< 3 m<sup>3</sup>/(s m)), entspricht einem Volumenstrom von weniger als 500 m<sup>3</sup>/s, in Anlehnung an VDI 3787 Blatt 1 (VDI, 1997) ist dies als schwacher Volumenstrom einzustufen) auf. Nach Überströmen des Anlagengeländes gelangt die Kaltluft dem Gelände folgend in den Bereich des geplanten Baugebietes. Täler und Niederungen füllen sich mit Kaltluft (z. B. Buchenbachtal bei Winnenden bis ca. 30 m Mächtigkeit).

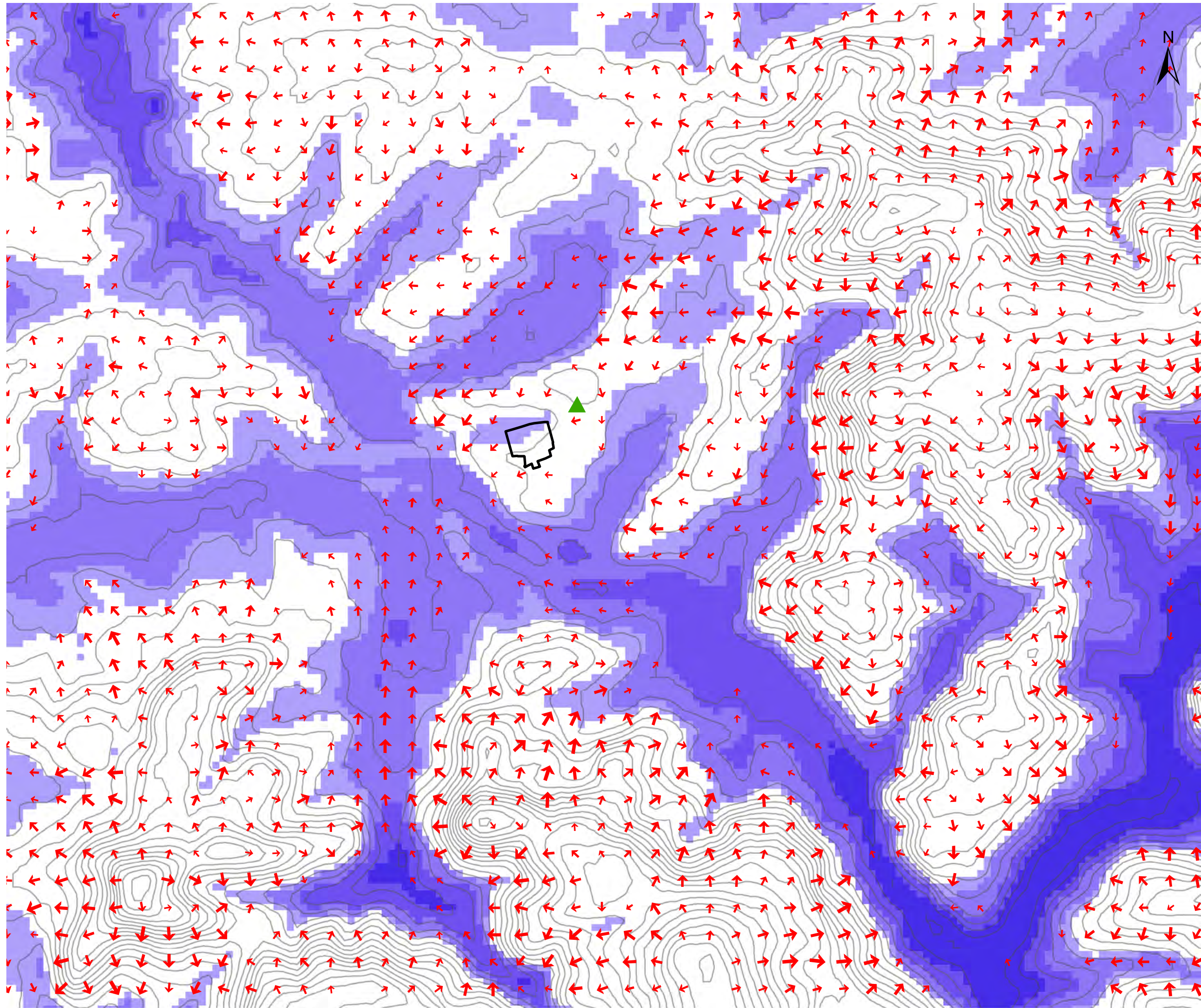
Bei ausgeprägter Kaltluftbildung (**Abb. 3.3** und **Abb. 3.4**) hat sich das Buchenbachtal mit Kaltluft aufgefüllt und die Kaltluftströmungsrichtung am Standort des Landwirtschaftsbetriebes entspricht der talparallelen Strömungsrichtung (nach Nordwest) des Kaltluftsees. Am Anlagenstandort ist mit Kaltluftgeschwindigkeiten um ca. 0.3 bis 0.6 m/s, Kaltluftschichtdicken bis zu ca. 50 m und Kaltluftvolumenströmen bis zu 20 m<sup>3</sup>/(s m) zu rechnen.

### 3.2.2 Ergebnisse Berechnung mit EDV-Programm GAK

In der Einschätzung des RP Stuttgart (2012) zur Beurteilung der Immissionssituation im Untersuchungsgebiet wird auf die Auswertungen zur Kaltluftsituation mittels des EDV-Programms GAK (Geruchsausbreitung in Kaltluft) hingewiesen.

Die Berechnungsergebnisse (**Abb. 3.5**) zeigen für den Termin „Zu Beginn der Nacht“ (Anfangsphase der Kaltluft) Kaltluftabfluss mit Fließrichtung Südwesten, Strömungsgeschwindigkeiten um ca. 0.4 m/s und geringen Kaltluftschichtdicken auf. Der Termin „Im weiteren Verlauf der Nacht“ (ausgeprägte Kaltluftsituation) ist gekennzeichnet durch Strömungen in nordwestliche Richtungen und Strömungsgeschwindigkeiten um ca. 0.7 m/s bei mäßigen Schichtdicken.





# Kaltluftsituation

in der Anfangsphase  
der Kaltluft

## Kaltluftgeschwindigkeit [m/s]

- ↑ 0.3 - <0.5
- ↑ 0.5 - <0.75
- ↑ 0.75 - <1.0
- ↑ 1.0 - <1.5
- ↑ ≥ 1.5

## Kaltluftschichtdicke [m]

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 35
- 35 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100

- ▲ Betrieb Oettinger
- Plangebiet
- Höhenlinien

Auftragnehmer: **Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG**  
 An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe  
 Telefon 0721/ 62510-0

Auftraggeber: Stadt Winnenden

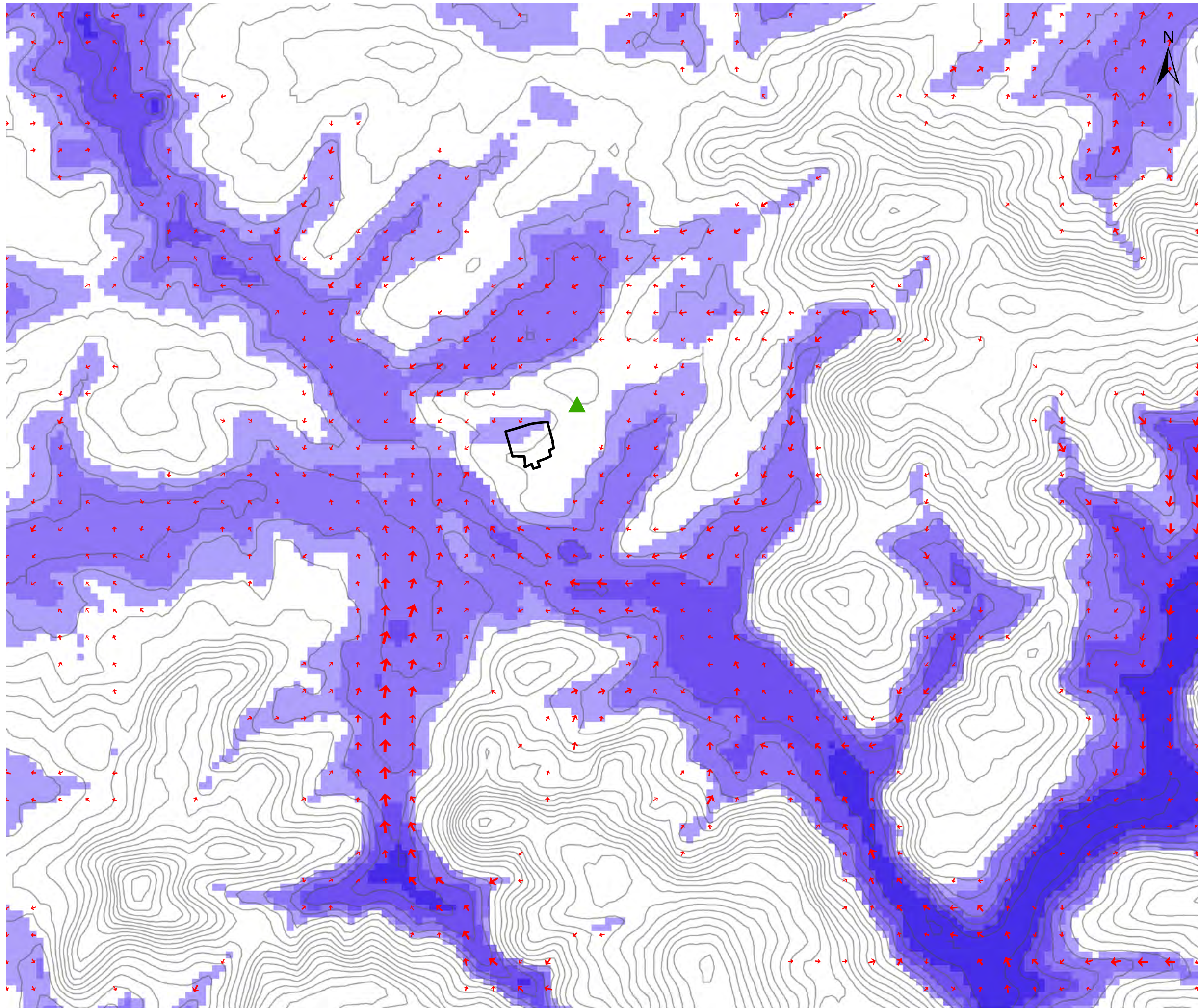
Bebauungsplan "Adelsbach"  
 in Winnenden



	Datum	Zeichen
gezeichnet	02.05.12	TB
geprüft	02.05.12	DB
Projekt	62125-12-01	

Abb. 3.1





# Kaltluftsituation

in der Anfangsphase  
der Kaltluft

## Kaltluftvolumenstromdichte [m³/(ms)]

- ↑ 3 - 10
- ↑↑ 11 - 20
- ↑↑↑ 21 - 30
- ↑↑↑↑ 31 - 50
- ↑↑↑↑↑ > 50

## Kaltluftschichtdicke [m]

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 35
- 35 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100

- ▲ Betrieb Oettinger
- Plangebiet
- Höhenlinien

Auftragnehmer: **Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG**  
 An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe  
 Telefon 0721/ 62510-0

Auftraggeber: Stadt Winnenden

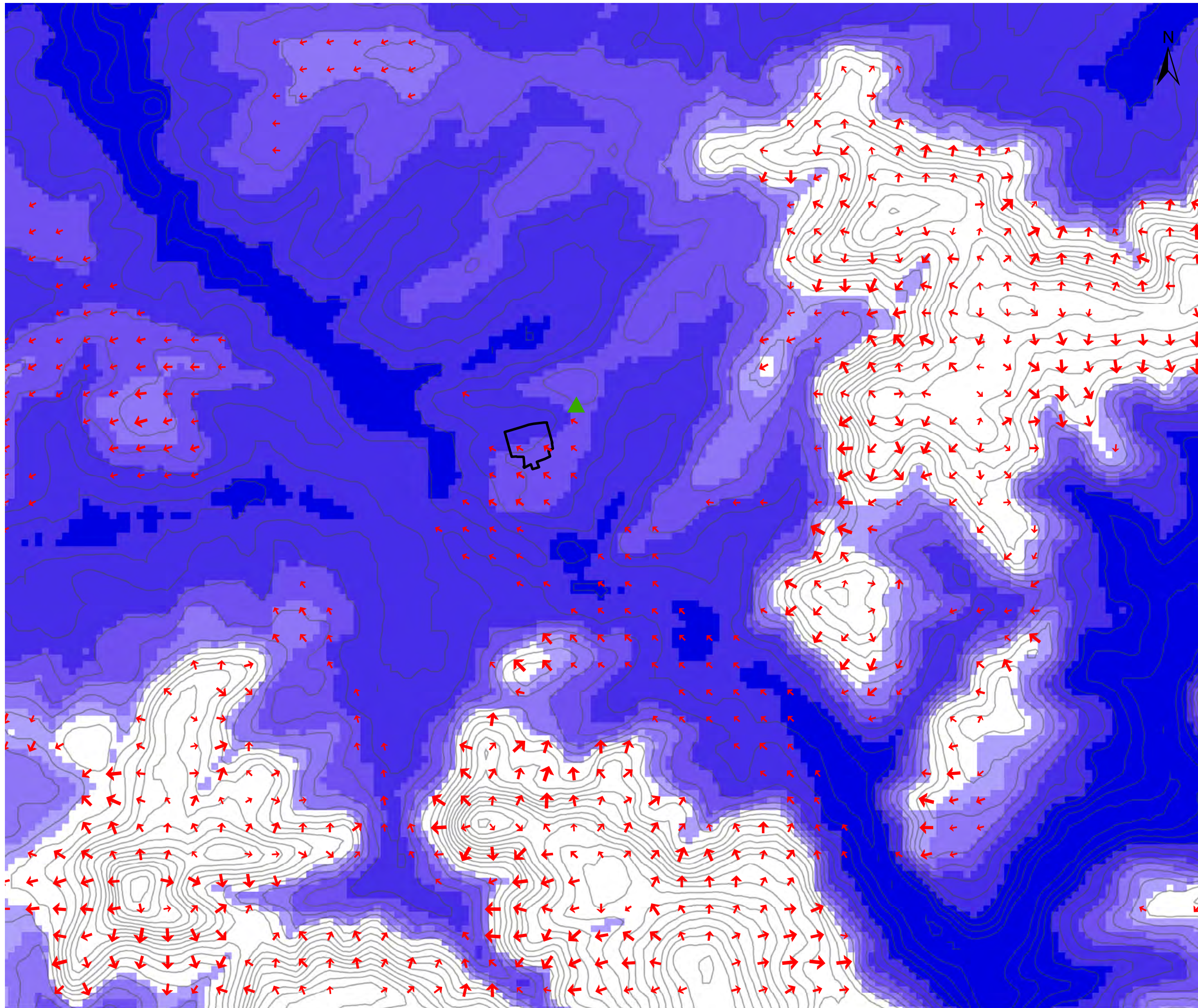
Bebauungsplan "Adelsbach"  
in Winnenden



	Datum	Zeichen
gezeichnet	02.05.12	DB
geprüft	02.05.12	DB
Projekt	62125-12-01	

Abb. 3.2





# Kaltluftsituation

bei ausgeprägter Kaltluft

## Kaltluftgeschwindigkeit [m/s]

- ↑ 0.3 - <0.5
- ↑ 0.5 - <0.75
- ↑ 0.75 - <1.0
- ↑ 1.0 - <1.5
- ↑ ≥ 1.5

## Kaltluftschichtdicke [m]

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 35
- 35 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100

- ▲ Betrieb Oettinger
- Plangebiet
- Höhenlinien

Auftragnehmer: **Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG**  
 An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe  
 Telefon 0721/ 62510-0

Auftraggeber: Stadt Winnenden

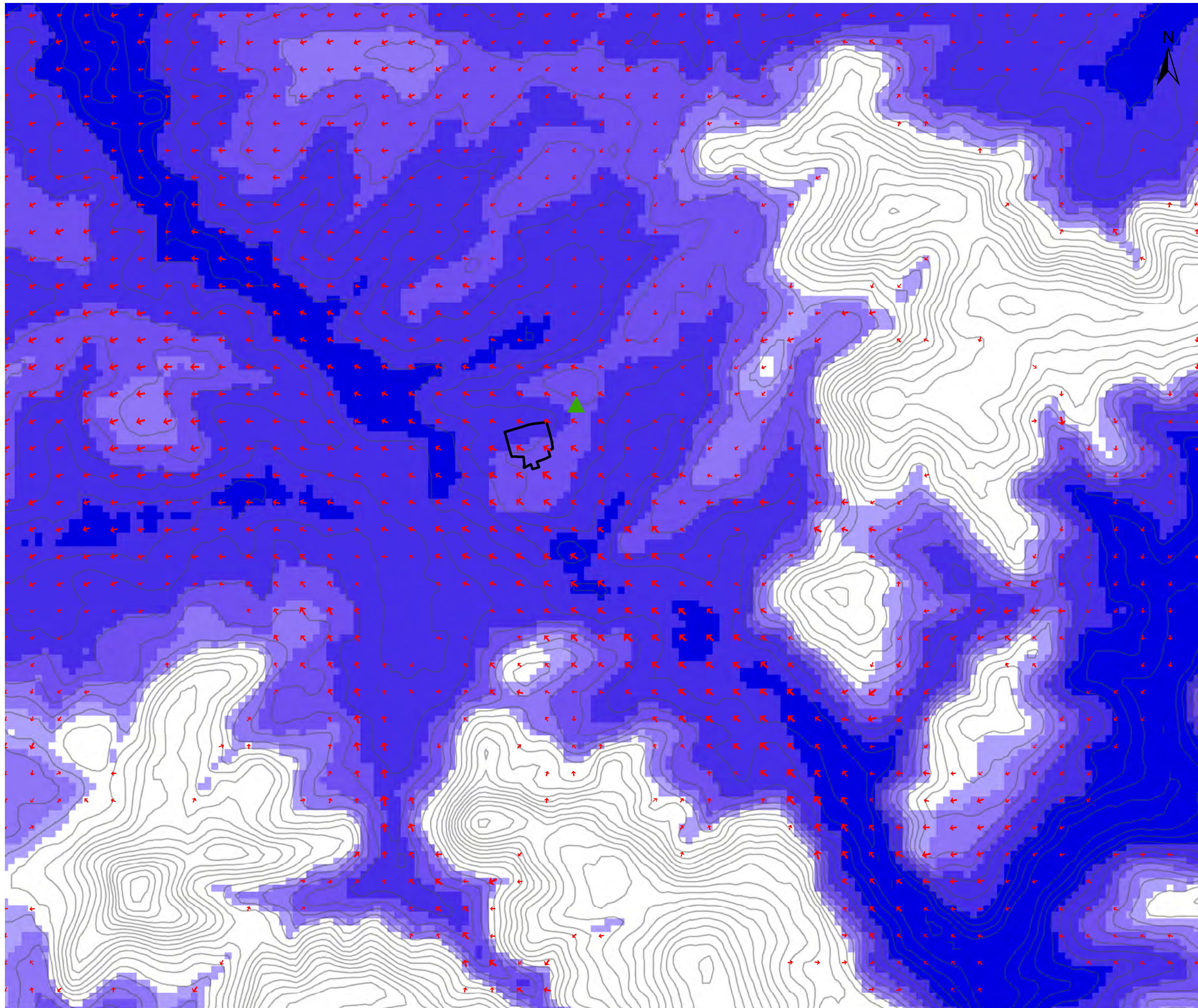
Bebauungsplan "Adelsbach"  
 in Winnenden



	Datum	Zeichen
gezeichnet	02.05.12	TB
geprüft	02.05.12	DB
Projekt	62125-12-01	

**Abb. 3.3**





# Kaltluftsituation

bei ausgeprägter Kaltluft

## Kaltluftvolumenstromdichte

[m<sup>3</sup>/(sm)]

- ↑ 3 - 10
- ↑ 11 - 20
- ↑ 21 - 30
- ↑ 31 - 50
- ↑ > 50

## Kaltluftschichtdicke [m]

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 35
- 35 - 50
- 50 - 75
- 75 - 100

- ▲ Betrieb Oettinger
- Plangebiet
- Höhenlinien

Auftragnehmer: **Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG**  
 An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe  
 Telefon 0721/ 62510-0

Auftraggeber: Stadt Winnenden

Bebauungsplan "Adelsbach"  
 in Winnenden



	Datum	Zeichen
gezeichnet	02.05.12	DB
geprüft	02.05.12	DB
Projekt	62125-12-01	

Abb. 3.4



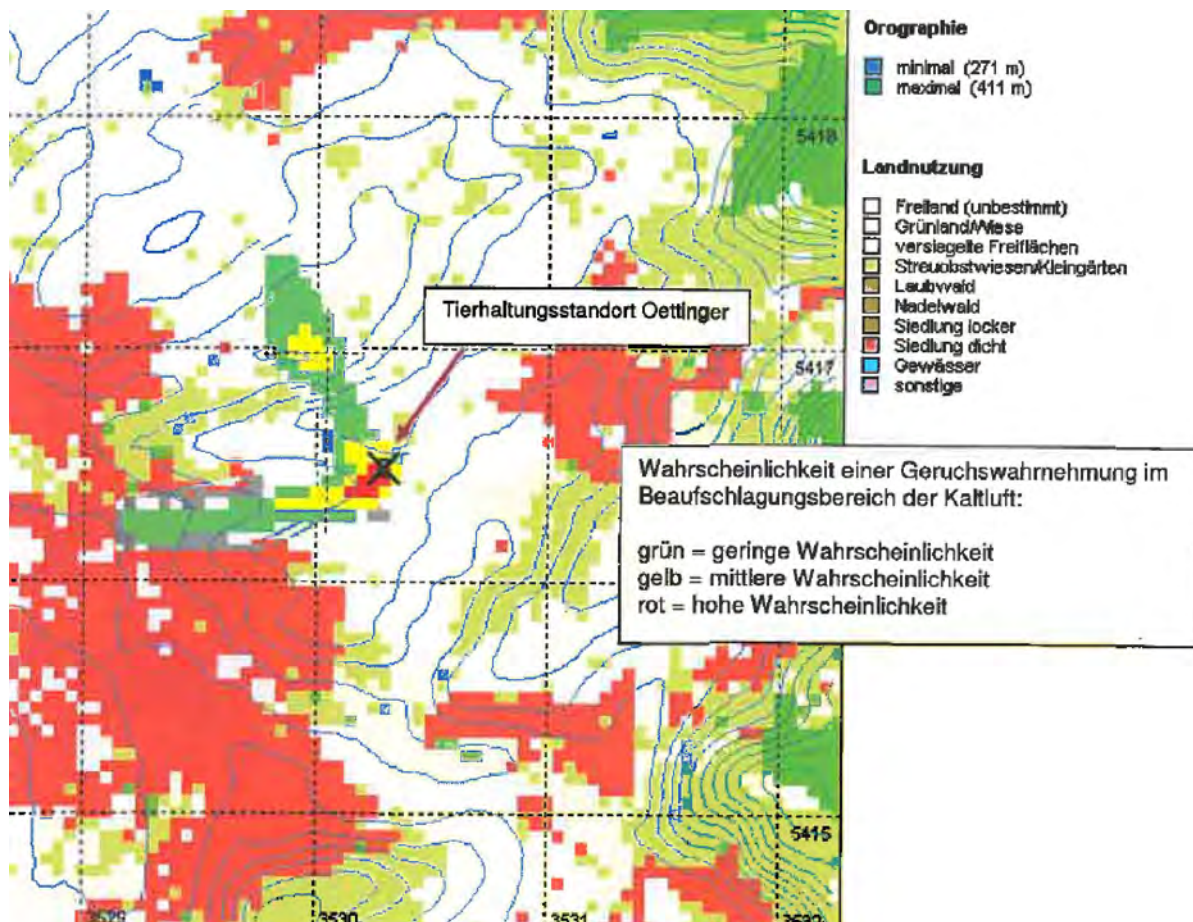


Abb. 3.5: Kaltluftergebnis von GAK mit Immissionswahrscheinlichkeit (Istzustand) und Strömungsrichtung für zwei Termine (Zu Beginn der Nacht; Im weiteren Verlauf der Nacht)  
Quelle: RP Stuttgart (2012)

### 3.2.3 Fazit

Die Ergebnisse beider Modelle (KALM, GAK) stimmen sehr gut überein.

Beide Modelle zeigen bei Kaltluftabflüssen mit Bezug auf das Untersuchungsgebiet (Anfangsphase der Kaltluft) sehr geringe Kaltluftschichthöhen. Bei ausgeprägter Kaltluft ist durch die Kaltluftströmungsrichtung Nordwest kein Einfluss von Anlagengerüchen auf das geplante Bebauungsgebiet zu erwarten.

Die in den synthetischen Windverteilungen (Abschnitt 2.4) enthaltenen austauscharmen autochthonen Wetterlagen (Windrichtung Südost in Verbindung mit niedrigen Windgeschwindigkeiten) stimmen sehr gut mit der von den Modellen berechneten Kaltluftfließrichtung (in nordwestliche Richtung) für ausgeprägte Kaltluftsituationen überein.

#### 4 AUSWIRKUNGEN DER KALTLUFT AUF DIE IMMISSIONSSITUATION

Das RP Stuttgart (2012) hat Abschätzungen der Immissionssituation im Untersuchungsgebiet anhand der Richtlinie VDI 3894 Blatt 2 (VDI, 2011 (Entwurf)) und GERDA III durchgeführt. Diese Untersuchungen zeigen, dass die Geruchsemissionen aufgrund der mittleren jährlichen Windverteilung (vgl. Abschnitt 2.4) überwiegend in nordwestliche und östliche Richtungen verfrachtet werden, wo sich keine Immissionsorte befinden.

Aus den vom RP Stuttgart durchgeführten orientierenden Geruchsausbreitungsberechnungen mit GERDA III (ohne explizite Kaltluftberücksichtigung) für die so genannte Ziel-Tierhaltung (**Abb. 4.1**) geht hervor, dass die Geruchsimmissionen im geplanten Bebauungsgebiet deutlich weniger als 5 % Geruchsstundenhäufigkeit betragen. Um auf der sicheren Seite zu sein, werden hier die Ergebnisse für die hinsichtlich Emissionen und Immissionen ungünstigere Ziel-Tierhaltung (vgl. Abschnitt 2.2) zugrunde gelegt.

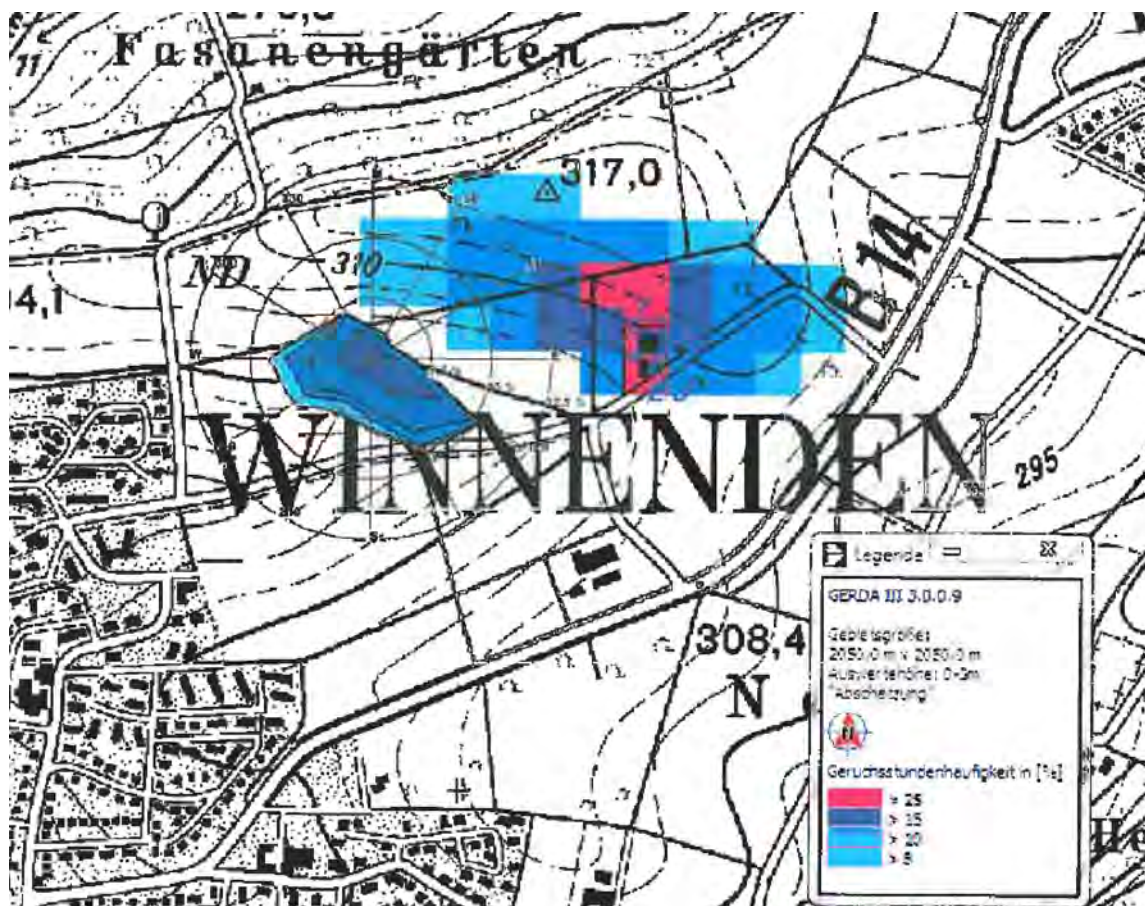


Abb. 4.1: Ergebnis der orientierenden Geruchsausbreitungsrechnung mit GERDA III für die so genannte Ziel-Tierhaltung. Legendeneinteilung: 5 % (hellblau) - 25 % (rot)  
Quelle: RP Stuttgart (2012)

Bei Wetterlagen mit Kaltluftbildung zeigen Modellrechnungen (siehe Abschnitt 3.2) im Untersuchungsgebiet Abflüsse zu Beginn einer Strahlungsnacht in südwestliche Richtung in das geplante Bebauungsgebiet. Bei ausgeprägter Kaltluftsituation füllen sich die umgebenden Niederungen mit Kaltluft auf und der Kaltluftstrom im Untersuchungsgebiet fließt in nordwestliche Richtung. Die vertikale Mächtigkeit der Kaltluftflüsse gibt das KALM-Modell am Anlagenstandort mit <1 m (Kaltluftabfluss zu Beginn einer Strahlungsnacht) bis ca. 50 m (ausgeprägte Kaltluftsituation) an.

Durch die Position des Betriebes Oettinger im Kaltluftabflussgebiet (Anfangsphase der Kaltluft) bzw. Kaltluftsee (ausgeprägte Kaltluftsituation) ist ein Einmischen der anlagenbedingten Geruchsemissionen in den Kaltluftstrom bei austauscharmen Strahlungswetterlagen möglich.

Bei ausgeprägter Kaltluft ist durch die Kaltluftströmungsrichtung Nordwest kein Einfluss von Anlagengerüchen auf das geplante Bebauungsgebiet zu erwarten. Nur in der Anfangsphase der Kaltluftbildung befindet sich das untersuchte Planungsgebiet im Einwirkungsbereich der Kaltluft. D. h. kaltluftbedingte Geruchswahrnehmungen von der Tierhaltung Oettinger sind in der Anfangsphase der Kaltluftbildung im Planungsgebiet möglich.

Die Berechnungsergebnisse zeigen für die Anfangsphase der Kaltluftbildung am Anlagenstandort sehr geringe Kaltluftmächtigkeiten (zum Teil unterhalb der Quellhöhen) und es ist mit häufigem Durchgreifen des großräumigen Windes zu rechnen. Aus diesen Gründen ist ein Einmischen von Geruchsemissionen in den Kaltluftstrom nicht während der gesamten Anfangsphase bzw. nicht in vollem Umfang zu erwarten.

Für die Häufigkeit von Kaltluftsituationen liegen im betrachteten Untersuchungsgebiet keine Messwerte vor. Untersuchungen von Heldt und Höschele (1989) zeigen eine Häufigkeit von Kaltluftsystemen im von ihnen untersuchten Gebiet (Nebentäler des Rheins in Baden-Württemberg) von 10 % bis 40 % aller Tage (entspricht etwa 5 % bis 20 % der Zeit eines Jahres). In Untersuchungen im Rahmen von Stuttgart 21 (Stuttgart, 1996) wird anhand von Messdaten (Station Stuttgart-Schwabenzentrum) die Häufigkeit von Kaltluft für den Raum Stuttgart von ca. 14 % der Zeit eines Jahres abgeleitet. Näherungsweise wird diese Größenordnung (ca. 15 %) auch für den untersuchten Bereich in Winnenden abgeschätzt und liegt damit im oberen Bereich der in der oben angegebenen Spannbreite von 5 % bis 20 %.

Für die Einschätzung des Einflusses von Kaltluft auf die Immissionssituation ist in diesem Fall nicht die erwartete Gesamthäufigkeit von Wetterlagen mit Kaltluft heranzuziehen, sondern nur der Anteil der Anfangsphase der Kaltluftbildung. Dieser wurde wie folgt abgeleitet:

Die Dauer der Kaltluftabflüsse mit Bezug zum geplanten Bebauungsgebiet (Anfangsphase der Kaltluftbildung) wird mit max. zwei Stunden (pro Tag mit Kaltluftereignis) abgeschätzt. Darin enthalten ist sowohl der Kaltluftabfluss zu Beginn einer Strahlungsnacht als auch ein eventuell späteres Wiedereinsetzen von Kaltluftabflüssen (z. B. nach temporären Durchgreifen großräumiger Strömungssysteme). Es ist davon auszugehen, dass in der Anfangszeit der Kaltluftbildung am Anlagenstandort häufiger der großräumige Wind durchgreift und die noch geringe Schichtdicke auflöst, d.h. die tatsächlich relevante Dauer weniger als 2 h beträgt. Nach Heldt und Höschele (1989) treten Kaltluftsysteme typischerweise an 10 % bis 40 % aller Tage im Jahr auf. Selbst unter der für den Standort konservativen Annahme von einer Auftretenshäufigkeit von 40 % aller Tage im Jahr, bedeutet dies bei einer max. Dauer von 2 Stunden pro Kaltlufttag eine Häufigkeit von Kaltlufteinflüssen im Planungsgebiet von ca. 3 % aller Jahresstunden  $[(40 \% \times 365 \text{ Tage} \times 2 \text{ Stunden}) / 8760 \text{ Stunden im Jahr}]$ . In dieser Zeit ist anhand der Kaltluftergebnisse im geplanten Wohngebiet mit Geruchswahrnehmungen zu rechnen.

Unter Berücksichtigung obiger Ausführungen werden die vom Betrieb Oettinger verursachten Geruchswahrnehmungen im geplanten Bebauungsgebiet von deutlich weniger als 8 % der Jahresstunden [dies berechnet sich aus: deutlich weniger 5 % (Berechnung Geruchsimmissionen vom RP Stuttgart ohne Kaltluftberücksichtigung) plus max. 3 % (entsprechend der Abschätzung der Häufigkeit von Kaltluft mit Bezug auf das Bebauungsgebiet)] abgeschätzt. Dies ist gültig für den betrachteten Fall der Ziel-Tierhaltung, welcher ca. einer Verdreifachung des genehmigten Bestandes entspricht.

Der für Wohngebiete zulässige Immissionswert der GIRL (LAI, 2008) beträgt 10 % Häufigkeit der Jahresstunden. Für Übergangsbereiche zwischen Wohngebiet und Außenbereich können auch Zwischenwerte (zwischen 10 % und 25 %) festgesetzt werden.

Die Abschätzung des Kaltlufteinflusses auf die Immissionssituation lässt eine deutliche Unterschreitung der o. g. Immissionswerte im Planungsgebiet erwarten.

Eine detaillierte Ausbreitungsrechnung ist nicht notwendig.

Die endgültige Bewertung obliegt der genehmigenden Behörde.

## 5 LITERATUR

- Baumgartner, A. (1963): Einfluss des Geländes auf Lagerung und Bewegung der nächtlichen Kaltluft. In: Schnelle, F. (Hrsg.): Frostschutz im Pflanzenbau. Bd. 1. München, Basel, Wien: BLV Verlagsgesellschaft, 1963.
- Berényi, D. (1967): Mikroklimatologie. Mikroklima der bodennahen Atmosphäre. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1967.
- Geiger, R (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. 4., Neubearb. Aufl. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 1961 (Die Wissenschaft. 78).
- Goßmann, H. (1988): Thermalbilder und Oberflächentemperaturen. In: Geomethodica, 12 (1987), S. 117-149, Basel.
- Gross, G. (1989): Numerical Simulation of the Nocturnal Flow Systems in the Freiburg Area for Different Topographies. Beitr. Phys. Atmosph., February 1989, pp. 57-72.
- Hartenstein, M. (2000): Analyse eines Bergwindsystems im Nordschwarzwald (Michelbachtal bei Gaggenau) unter Berücksichtigung seiner stadtklimatisch-lufthygienischen Bedeutung. Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie, Band 11, Karlsruhe, 2000.
- Heldt, K., Höschele, K. (1989): Hang- und Bergwinde am Rheintalrand bei Karlsruhe. In: Meteorol. Rundschau, 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).
- Kost, W.-J. (1982): Experimentelle Untersuchung zur Ausbreitung von Luftverunreinigungen in einem Talsystem. Diplomarbeit im Fach Meteorologie am Meteorologischen Institut der Universität Karlsruhe, August 1982.
- LAI (2008): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie GIRL) in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008 (zweite ergänzte und aktualisierte Fassung). Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- LUBW (o. J.): Naturräume Baden-Württembergs. Naturräume in den Gemeinden Baden-Württembergs. Landesanstalt für Umwelt, Messungen, und Naturschutz Baden-Württemberg.



[http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/59786/naturraeume\\_baden\\_wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=naturraeume\\_baden\\_wuerttemberg.pdf](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/59786/naturraeume_baden_wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=naturraeume_baden_wuerttemberg.pdf)

- Schädler, G., Lohmeyer, A. (1994): Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. In: Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3 167-171.
- Stuttgart (1996): Kaltluft- und Windfeldberechnungen für den Raum Stuttgart im Zusammenhang mit der Planung für das Projekt „STUTTGART 21“. Untersuchungen zur Umwelt „STUTTGART 21“ – Heft 1. Herausgeber: Landeshauptstadt Stuttgart. Bearbeitet durch Ingenieurbüro Lohmeyer. Juli 1996.
- VDI (1997): VDI 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Dezember 1997.
- VDI (2003): VDI 3787 Blatt 5: Umweltmeteorologie Lokale Kaltluft. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, Dezember 2003. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2011): VDI 3894 Blatt 2: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen Methode zur Abstandsbestimmung (Abstandsregelung) Geruch. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf, Entwurf vom Juni 2011.
- Vogt, J. (1997): Lokale Kaltluftabflüsse und ihre Relevanz für die räumliche Planung, Mikroskalige empirische Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Struktur von thermisch induzierten Bergwinden im Mittelgebirge, ihrer Modifikation durch Bebauungen und ihre raumplanerische Bewertung. Habilitationsschrift eingereicht an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Oktober 1997.

## **ANHÄNGE**

## **A1 BESCHREIBUNG DES KALTLUFTABFLUSSMODELLS KALM**

### **A1.1 Allgemeines**

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über geneigtem Gelände so genannte 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 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.

### **A1.2 Modellbeschreibung**

Das Modell verwendet die so genannten 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 topografischen Geländehöhe
- von der Landnutzung abhängige Kaltluftproduktion.

Das Lösungsverfahren ist ein Differenzenverfahren mit variabler Gitterpunktzahl und Gitterweite, das heißt 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, das heißt die berechneten Werte ändern sich dann nicht mehr signifikant. Im Allgemeinen Fall ist es sinnvoll, etwa 3 h zu simulieren; dies entspricht den Verhältnissen in der

Natur. Für eine solche Rechnung benötigt das Modell bei etwa 50 x 50 Gitterpunkten weniger als 5 Minuten Rechenzeit auf einem PC mit Pentium-Prozessor.

### **A1.1 Eingabedaten und Ergebnisse des Modells**

Vorausgesetzt wird die in Abschnitt 1 genannte 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. Zurzeit werden 8 Landnutzungsklassen berücksichtigt: dichte Bebauung, lockere Bebauung, Gewerbegebiete, 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 5 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.

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

## **A2 MATERIALIEN UND UNTERLAGEN**

Für das Gutachten wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen neben den im Kapitel Literatur verzeichneten Schriften verwendet:

- Städtebaulicher Entwurf Winnenden Adelsbach. Gesamtgebiet mit Abgrenzung 1. Bauabschnitt. Stadtentwicklungsamt Winnenden, Stand 27.01.2012
- RP Stuttgart (2012): Schreiben Hr. Michelfelder (RP Stuttgart) vom 29.02.2012 zur Beurteilung der von den angrenzenden landwirtschaftlichen Betrieben ausgehenden Immissionsituation.

Verwendete Pläne und ähnliche Unterlagen werden im Archiv des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG abgelegt.