

**Auftraggeber:** **Stadt Ravensburg**  
**Stadtplanungsamt**  
**Seestraße 32**  
**88214 Ravensburg**

## **Lokalklimatische Auswirkungen des Bebauungsplangebiets „Brachwiese III – Neuaufstellung“ in Ravensburg-Schmalegg**

**Projekt-Nr.:** **13-01-22-FR**

**Umfang:** **28 Seiten**

**Datum:** **8. Dezember 2022**

**Bearbeiter:** **Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe**  
**Katharina Knapp, Diplom-Mathematikerin**

**iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG**  
**Eisenbahnstraße 43**  
**79098 Freiburg**  
**Tel.: 0761/ 202 1662**  
**Fax: 0761/ 202 1671**  
**E-Mail: [roeckle@ima-umwelt.de](mailto:roeckle@ima-umwelt.de)**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Situation und Aufgabenstellung.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Einführung.....</b>	<b>3</b>
2.1 Definition des Begriffs „Stadtklima“.....	3
2.2 Relevante Wetterlagen .....	4
2.3 Entstehung von Kaltluftabflüssen.....	5
2.4 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen .....	5
2.5 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen.....	6
<b>3 Standort und örtliche Gegebenheiten.....</b>	<b>6</b>
<b>4 Großräumige Einordnung .....</b>	<b>8</b>
<b>5 Bisherige Untersuchungen zum Stadtklima von Ravensburg.....</b>	<b>9</b>
5.1 Ergebnisse bisheriger Klimauntersuchungen.....	9
5.2 Strömungsverhältnisse .....	9
<b>6 Modellrechnungen.....</b>	<b>10</b>
6.1 Eingesetztes Modell .....	11
6.2 Das Simulationsgebiet.....	11
6.3 Ergebnisse der Kaltluftabflussberechnung.....	13
<b>7 Auswirkungen der Planung .....</b>	<b>15</b>
7.1 Klima .....	15
7.2 Lufthygiene.....	15
<b>8 Einwirkungen auf das Plangebiet.....</b>	<b>16</b>
8.1 Klima .....	16
8.2 Lufthygiene.....	16
<b>9 Bewertung und Planungshinweise .....</b>	<b>16</b>
<b>10 Zusammenfassung .....</b>	<b>18</b>
<b>11 Literatur .....</b>	<b>19</b>

## 1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadt Ravensburg beabsichtigt, das Wohnbaugebiet „Brachwiese III - Neuaufstellung“ zu entwickeln. Das Bebauungsplangebiet liegt ca. 5,8 km westnordwestlich des Stadtzentrums von Ravensburg auf einer Hochfläche am Südrand des Ortsteils Schmälegg. Derzeit wird die Hangfläche landwirtschaftlich genutzt.

Eigenschaften einer vegetationsbestandenen Fläche sind nächtliche Kaltluftproduktion und infolge der Hindernisarmut auch der ungehinderte Luftaustausch. Ob diese Eigenschaften auch eine positive Funktion auf die angrenzenden Siedlungsbereiche ausüben, soll in diesem Gutachten untersucht werden. Hierzu sind qualitative und quantitative Aussagen zur Veränderung des Kleinklimas erforderlich.

Somit ergibt sich folgende Vorgehensweise:

1. Darstellung des Istzustands
  - Sichtung und Bewertung vorhandener Untersuchungen
  - Kaltluftabfluss-Simulationen für den derzeitigen Bebauungszustand
2. Darstellung des Planfalls
  - Kaltluftabfluss-Simulationen unter Berücksichtigung der geplanten Bebauung
  - Darstellung der Auswirkungen auf die abendliche und nächtliche Durchlüftung in der näheren und weiteren Umgebung
  - Abschätzung der Auswirkungen auf die thermische Situation

## 2 Einführung

### 2.1 Definition des Begriffs „Stadtclima“

Beim Wort „Klima“ denkt man in der Regel an ganze Kontinente oder Großregionen wie die Tropen, Subtropen, gemäßigten Breiten oder Polargebiete. Doch nicht nur diese Gebiete weisen ein für sie typisches Klima auf, sondern auch kleinräumige Strukturen wie Wiesen, Flusstäler, Siedlungen und Städte.

Die Definition des Stadtclimas wurde von der World Meteorological Organization (WMO) folgendermaßen festgelegt:

*Das Stadtclima ist das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima.*

Im Wesentlichen zeichnet sich das Stadtclima durch folgende Eigenschaften aus:

1. Veränderung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse

Das bekannteste stadtclimatologische Phänomen ist die Ausbildung einer Wärmeinsel. Je nach Größe der Stadt oder Gemeinde können die Temperaturen innerhalb der Bebauung während klarer Sommernächte um bis zu 10 K höher als im Umland sein. Die Ursache hierfür liegt vor

allem in der Wärmespeicherung der städtischen Baumaterialien, der herabgesetzten Verdunstung und der reduzierten nächtlichen Wärmeabstrahlung.

## 2. Veränderung der Windverhältnisse

Die erhöhte Rauigkeit der städtischen Bebauung bewirkt im Mittel eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten, was gleichzeitig den Luftaustausch verschlechtert. In der Nähe von hohen Gebäuden kann es hingegen zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeitsspitzen, also einer Erhöhung der Böigkeit, kommen.

## 3. Veränderung der lufthygienischen Situation

Üblicherweise treten innerhalb von Stadtgebieten höhere Emissionen als im Umland auf. Während früher Hausbrand und Gewerbegebiete hierfür verantwortlich waren, ist in den vergangenen Jahren der Kfz-Verkehr zum Hauptverursacher geworden. In Verbindung mit dem reduzierten Luftaustausch kommt es zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentrationen im Stadtgebiet.

Wie aus der Aufzählung ersichtlich ist, beinhaltet der Begriff „Klima“ die Zusammenschau verschiedenster Parameter, die zum Teil konkurrierenden Prinzipien unterworfen sind. So kann eine Optimierung im Hinblick auf eine bestimmte Situation (z.B. Minderung der Wärmelastung an einem Sommertag durch Anpflanzung von schattenwerfenden Bäumen) Nachteile bei anderen Situationen bringen (z.B. Verminderung des Luftaustausches aufgrund der Hinderniswirkung von Bäumen).

Eine wie auch immer definierte klimatische Optimierung steht daher stets in Konkurrenz zu anderen ökologischen sowie zum großen Feld der sozioökonomischen Planungsziele wie preiswertem Wohnraum, Urbanität, günstiger Verkehrserschließung, Sicherheit und vielem anderen mehr.

Inwiefern Neubaugebiete das vorhandene Stadtklima nachhaltig verändern, hängt von zahlreichen Parametern ab. Die bedeutendsten sind Lage, Ausdehnung, Dichte und Art der geplanten Bebauung.

### 2.2 Relevante Wetterlagen

Bei Wetterlagen, bei denen die Witterung durch die großräumige Verteilung der Tiefdruckgebiete geprägt ist, herrschen in der Regel gute Austauschbedingungen. Lokal macht sich im Wesentlichen die Orographie bemerkbar, in Tallagen treten z.B. Kanalisierungen der Strömung auf. Temperaturunterschiede zwischen bebauten und unbebauten Flächen sind vergleichsweise gering.

Hochdruckwetterlagen können dagegen mit geringen übergeordneten Windgeschwindigkeiten und geringer Bewölkung verbunden sein. Bei dieser so genannten autochthonen Wetterlage stellt sich meist ein ausgeprägter Tagesgang der Temperatur ein. Aufgrund des geringen großräumigen Luftaustausches prägen die lokalen topographischen Verhältnisse (sowohl das Geländerelief als auch die Realnutzung) das Geschehen.

In reliefiertem Gelände bilden sich tagesperiodische Windsysteme aus. In den Tagstunden tal- und hangaufwärtsgerichtete, meist böige Winde, in den Nachtstunden dagegen Kaltluftabflüsse. In Ebenen sind insbesondere nachts nur geringe Strömungen vorhanden. Deshalb zählen Kaltluftabflüsse in gegliedertem Gelände zu den klimatischen Gunstfaktoren einer Region.

## 2.3 Entstehung von Kaltluftabflüssen

In klaren windschwachen Nächten ist die Energieabgabe der Boden- und Pflanzenoberflächen aufgrund der Wärmeausstrahlung größer als die Gegenstrahlung der Luft. Dieser Energieverlust verursacht eine Abkühlung der Boden- und Pflanzenoberfläche, so dass die Bodentemperatur niedriger als die Lufttemperatur ist. Durch den Kontakt zwischen dem Boden und der Umgebungsluft bildet sich somit eine bodennahe Kaltluftschicht. Diese ist umso ausgeprägter, je negativer die Strahlungsbilanz, je geringer die Wärmezufuhr aus den tieferen Bodenschichten und je schwächer der Luftaustausch mit der darüber liegenden Atmosphäre ist.

In ebenem Gelände bleibt die bodennahe Kaltluftschicht an Ort und Stelle liegen. In geneigtem Gelände setzt sie sich infolge von horizontalen Dichteunterschieden (kalte Luft besitzt eine höhere Dichte als warme Luft) hangabwärts in Bewegung. Dieser Prozess ist von der Hangneigung und dem Dichteunterschied abhängig. Die Reibungskraft bremst die abfließende Luft. Die beschriebenen Vorgänge sind in der Regel zeitlich nicht konstant, d.h. es kommt zu „pulsierenden“ Kaltluftabflüssen.

In Geländeeinschnitten fließen die Hangabwinde zusammen und es kann ein mehr oder weniger mächtiger Talabwind (= Bergwind) entstehen. Die vertikale Mächtigkeit des Talabwinds und die Geschwindigkeit hängen im Wesentlichen von der Fläche des Einzugsgebiets, der Kaltluftproduktionsrate, dem Talgefälle und den „Rauigkeiten“ im Talbereich ab. Die Fließrichtung wird durch die Geländeform bestimmt. Als Leitlinien dieses Kaltluftabflusses treten talwärts führende Einsenkungen des Geländes wie z.B. Seitentäler, Schluchten und Rinnen in Erscheinung.

In tiefer gelegenen konkaven Geländeformen wie z.B. in Tälern, Talkesseln, Schluchten und Mulden kann sich die Kaltluft sammeln und es kann sich ein Kaltluftsee ausbilden. In dieser stagnierenden Kaltluft können sich intensive Inversionen ausbilden, die den vertikalen Luftaustausch deutlich reduzieren.

Die Kaltluftentstehung und der Kaltluftabfluss hängen somit von folgenden Faktoren ab:

- meteorologische Verhältnisse
- Flächennutzung
- Geländeform und -exposition.

## 2.4 Zeitlicher Verlauf von Kaltluftabflüssen

Hangabwinde setzen ein, wenn sich der Erdboden deutlich abkühlt. Dies ist, abhängig von der Exposition des Hanges, in den Nachmittags- und Abendstunden der Fall. An nicht-besonnten Hängen setzen die Hangabwinde bereits vor Sonnenuntergang ein. Sie dauern die Nacht über an, sofern sie nicht von einem stärkeren Bergwind (Talabwind) überlagert werden. Wenn der Hang am Morgen wieder besonnt wird, endet der Hangabwind.

Bergwinde setzen gegenüber den Hangabwinden später ein. Sie beginnen meist erst nach Sonnenuntergang. In den Morgenstunden dauern sie länger.

## 2.5 Häufigkeit von Kaltluftabflüssen

Kaltluftabflüsse treten bei windschwachen und gleichzeitig wolkenarmen Wetterlagen auf, da in diesen Fällen gute Ausstrahlungsbedingungen vorliegen und die bodennah gebildete Kaltluftschicht nicht durch Turbulenzen zerstört wird.

In großen Tälern bilden sich Bergwinde auch bei Wetterlagen mit höheren Windgeschwindigkeiten und selbst bei teilweise bewölktem Wetter aus. So tritt der Freiburger Höllentäler auch dann noch auf, wenn die Windgeschwindigkeiten im Feldbergniveau (1500 m) bis ca. 7 m/s betragen. Bei höheren Windgeschwindigkeiten kann der Bergwind nicht mehr entstehen, da die Höhenströmung bis zum Boden durchgreift und die Kaltluft auflöst. Basierend auf diesen Randbedingungen kann abgeschätzt werden, dass in ca. 40% der Nachtstunden mit Bergwinden zu rechnen ist.

Die geringmächtigeren Hangabwinde reagieren wesentlich empfindlicher auf übergeordnete Strömungen. In windgeschützten Lagen (z.B. Waldschneisen) bilden sich Kaltluftabflüsse häufig aus, während in exponierten Lagen nur bei ausgesprochen schwachwindigen Strahlungswetterlagen ein ausgeprägter Abfluss auftritt. Heldt und Höschele (1989) geben an, dass bei Windgeschwindigkeiten, die in 50 m über Grund mehr als 5 m/s betragen, praktisch nur noch in geschützten Tälern Hangwinde auftreten, während bei weniger als 3 m/s die Hangwind-Wahrscheinlichkeit auf überdurchschnittliche Werte ansteigt. Auch der Tagesgang der Temperatur ist mit dem Kaltluftabfluss korreliert. Falls die Differenz der Maximal- und Minimaltemperatur innerhalb eines Tages mehr als 10 C beträgt, ist die Auftrittswahrscheinlichkeit von Hangabwinden überdurchschnittlich hoch.

Dieser Befund wird auch durch den Jahresgang der Auftrittswahrscheinlichkeit bestätigt. Das Maximum von Kaltluftabflüssen wird im Spätsommer/Frühherbst beobachtet. In den Wintermonaten ist die Wahrscheinlichkeit, auch aufgrund der Nebellagen, am geringsten.

## 3 Standort und örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet befindet sich am südlichen Ortsrand von Schmälegg (vgl. Abbildung 3-1). In Abbildung 3-2 ist der städtebauliche Entwurf dargestellt.

Im Norden schließen direkt die Wohnhäuser von Schmälegg an. Das nähere Umfeld des Plangebiets wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Im Südwesten liegt die Ortschaft Trutzenweiler, die überwiegend aus landwirtschaftlichen Betrieben besteht. Am Hangfuß im Südosten befindet sich das Gewerbegebiet Okatreute und im Osten liegt der Golfanlage Ravensburg.

Der überplante Hang fällt von Westnordwest nach Ostnordost um ca. 22 m ab. Das Gelände fällt insgesamt großräumig nach Osten hin ab. Ca. 1 km nördlich der Planung fällt das Gelände steil in den Schmalegger und Rinkenburger Tobel ab. Beide Tobel fließen zum Sturmtobel zusammen. Abbildung 3-4 zeigt das geschummerte Geländemodell.



Abbildung 3-1: Lage der Bebauung (skizziert) nach städtebaulichem Entwurf „Schmalegg Brachwiese III - Neuaufstellung“



Abbildung 3-2: Planung (Stand 21.12.2012).



Abbildung 3-3: Panoramaaufnahme mit Plangebiet

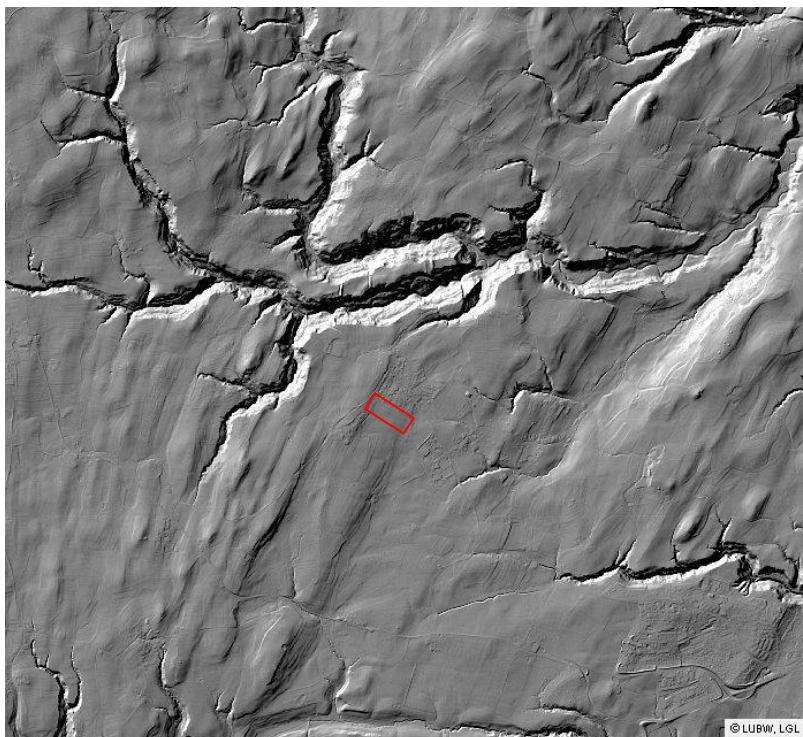


Abbildung 3-4: geschummertes Geländemodell mit Plangebiet (rot).

## 4 Großräumige Einordnung

Entsprechend der Definition der WMO (World Meteorological Organisation) ist das Klima die für einen Ort oder einen größeren Raum typische Zusammenfassung der erdnahen und die Erdoberfläche beeinflussenden atmosphärischen Zustände und Witterungsvorgänge während eines längeren Zeitraumes in charakteristischer Verteilung der häufigsten, mittleren und extremen Werte. Zu grunde gelegt werden Normalperioden von 30 Jahren. Aktuelle Auswertungen existieren hier für den Zeitraum 1971-2000.

Das Klima wird von vielen Faktoren beeinflusst, insbesondere der geographischen Breite, dem Abstand zu Ozeanen, der Höhe des Gebietes über NN., der Landnutzung und dem Geländerelief.

Schmalegg liegt in einer „gemäßigten“ Klimazone im Übergangsbereich zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Gebieten. Der Witterungsablauf wird sowohl von Tiefdruckgebieten wie auch Hochdruckgebieten bestimmt, so dass sich das Wetter meist veränderlich gestaltet. Längere Hochdruckperioden mit beständigem Wetter können unter kontinentalem Einfluss auftreten.

Laut Klimaatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2006) beträgt die Jahresmitteltemperatur im Untersuchungsgebiet zwischen 8,1 und 8,5°C. Bezogen auf das Sommerhalbjahr sind es 13,6 bis 14°C. Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe ist mit 2 bis 2,9 m/s angegeben. Im langjährigen Mittel tritt an 175 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 22,6 bis 25 Tage im Jahr Wärmebelastung auf (REKLIBO, Band 3).

## 5 Bisherige Untersuchungen zum Stadtklima von Ravensburg

Die Studie „Regionale Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO, 2008-2009)“ wurde im Auftrag des Regionalverbandes Bodensee-Oberschwaben und der Landkreise Sigmaringen, Ravensburg und Bodenseekreis erstellt. Die wissenschaftliche Bearbeitung erfolgte durch Prof. Dr. Andreas Schwab und Denis Zachenbacher aus dem Fachbereich Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten.

Die Analysen basieren auf umfangreichen Messungen und Modellrechnungen, insbesondere Kaltluftabflussmodellierungen. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden u.a. Klimakarten für verschiedene Bereiche des Regionalverbands erarbeitet.

### 5.1 Ergebnisse bisheriger Klimauntersuchungen

In Abbildung 11-1 im Anhang ist die Klimakarte für den Bereich des mittleren Schussenbeckens dargestellt. In der Karte sind Bergwinde, Hangabwinde und Kaltluftstaugebiete auf einer Reliefkarte mit überlagerter Nutzung dargestellt.

Im Untersuchungsraum gibt es intensive Kaltluftströme in den nördlich von Schmalegg gelegenen Tobeln. Im Bereich Schmalegg werden Kaltluftabflüsse auf nordwestlicher Richtung erwartet.

### 5.2 Strömungsverhältnisse

Die Strömungsverhältnisse bestimmen den lokalen Luftaustausch. Je nach Windrichtung transportieren sie kühtere oder lufthygienisch wenig belastete Luft heran oder sorgen für den Abtransport von belasteter Luft.

In Abbildung 5-1 sind die im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) für Baden-Württemberg flächendeckend im 500-m-Raster berechneten Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen dargestellt. Im gesamten Untersuchungsgebiet dominieren Winde aus Südsüdwest bis Südwest gefolgt von einem zweiten Maximum bei nordnordöstlichen Windrichtungen.

Da sich bei bewölkten und windigen Wetterlagen keine großen räumlichen Unterschiede ausprägen, sind diese Situationen für die Planung weniger von Interesse. Bei Strahlungswetterlagen (wolkarne antizyklonale Großwetterlage) wird die Witterung dagegen durch lokale und regionale

Einflussfaktoren (Relief, Landnutzung) bestimmt. Die meisten meteorologischen Elemente (Strahlung Lufttemperatur, relative Feuchte, Wind) weisen bei Strahlungswetterlagen einen ausgeprägten Tagesgang auf. Dabei treten auch die höchsten thermischen Belastungen auf.

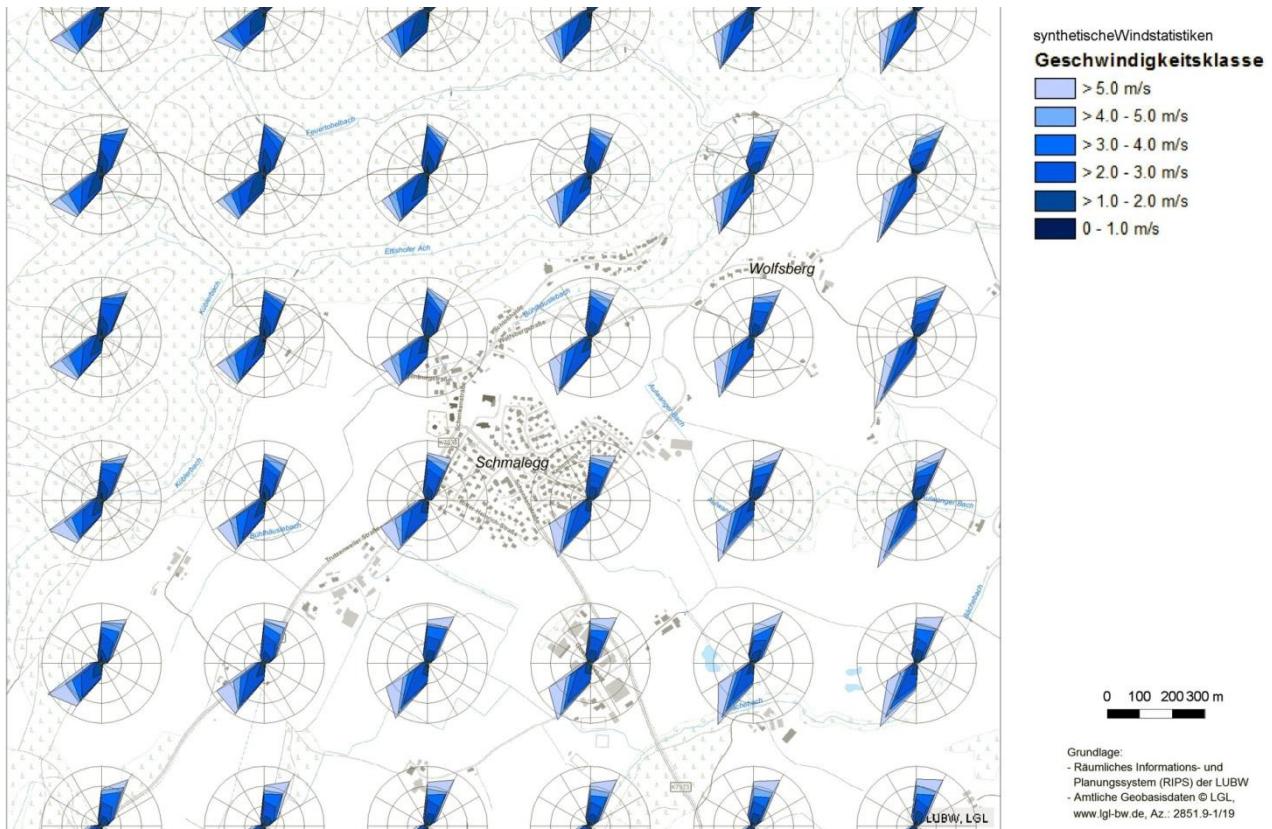


Abbildung 5-1: Synthetische Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen im Raum Schmalegg (Quelle: LUBW).

## 6 Modellrechnungen

Mittels Modellrechnungen können abgeleitete Größen, die sich aus den Messungen nicht herleiten lassen, ermittelt werden. Ein weiterer Vorteil der Modelle gegenüber Messungen, die in der Regel nur punktuelle Information liefern, ist die Bereitstellung flächendeckender Informationen.

Im Rahmen des Gutachtens wurden thermische Windsysteme (Kaltluftabflüsse), die sich bei schwachwindigen wolkenarmen Verhältnissen in den Abend- und Nachtstunden ausbilden, modelliert. Diese Windsysteme führen bei austauscharmen Verhältnissen zu einer Reduktion thermischer wie lufthygienischer Belastungen und sind deshalb erwünscht. Die Relevanz dieser Strömungen ergibt sich aus deren Intensität und deren Häufigkeit des Auftretens. Die Intensitäten der Strömung werden mit dem prognostischen Kaltluftabflusmodell DFM berechnet.

## 6.1 Eingesetztes Modell

Das Modell DFM (Röckle, R., Richter, C.-J., 1998) beruht auf Gleichungen, die von Garrett und Smith (1984)<sup>1</sup> hergeleitet wurden. Es beschreibt ein vertikal integriertes Kaltluftabflussmodell.

In einem geländefolgenden Koordinatensystem werden die Erhaltungsgleichungen für Impuls und Masse numerisch gelöst. Die Gleichungen enthalten Terme für Advektion, Schwerebeschleunigung, Reibung an der Erdoberfläche, Einmischen von Luft (Entrainment) am oberen Rand der Kaltluft, mesoskalige und großräumige Druckgradienten, Antrieb durch übergeordnete Strömungen, Coriolis-Effekte und horizontale Diffusion.

Eingangsgrößen sind das digitale Höhenmodell und landnutzungsabhängige Größen wie die Geländerauigkeit, der potentielle Temperaturgradient der Kaltluft (Maß für die Kaltluftproduktivität) und ein Höhenzuschlag zur Orographie.

Ausgabegrößen sind die vertikal gemittelten Horizontalkomponenten und die Höhe der fließenden Kaltluft. Daraus lassen sich der lokale Volumenstrom (Produkt aus Kaltlufthöhe und Horizontalgeschwindigkeit) und unter Annahme eines typischen Kaltluftströmungsprofils auch Geschwindigkeiten in vorgegebenen Höhen ableiten.

## 6.2 Das Simulationsgebiet

Das Rechengebiet von DFM wurde so groß gewählt, dass das gesamte Kaltlufeinzugsgebiet des Plangebiets enthalten ist. Es erstreckt sich über 32 km in West-Ost- und 36 km in Süd-Nord-Richtung (Abbildung 6-1).

Die Modellierungen erfolgten auf einem feinen Raster von 20 m. Jeder Rechenfläche von 20 m · 20 m wird neben der Geländehöhe eine Landnutzung „Wasser“, „Freifläche“, „Bebauung“ und „Bewaldung“ zugeordnet. Die Landnutzung ist neben dem Geländefmodell die wichtigste Eingangsgröße für die Modellierung. Diese wurde auf der Basis von ATKIS-Daten ebenfalls auf dem 20 m-Raster aufbereitet.

Die Kaltluftbildung wird zum Zeitpunkt Null (entspricht etwa der Zeit des Sonnenuntergangs) gestartet und dann die ganze Nacht fortgesetzt, so dass die Verhältnisse zu unterschiedlichen Zeiten dargestellt werden können.

<sup>1</sup> Garrett, A.J., Smith, F.G.: Two-Dimensional Simulations of Drainage Winds and Diffusion Compared to Observations. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol.23, 1984.

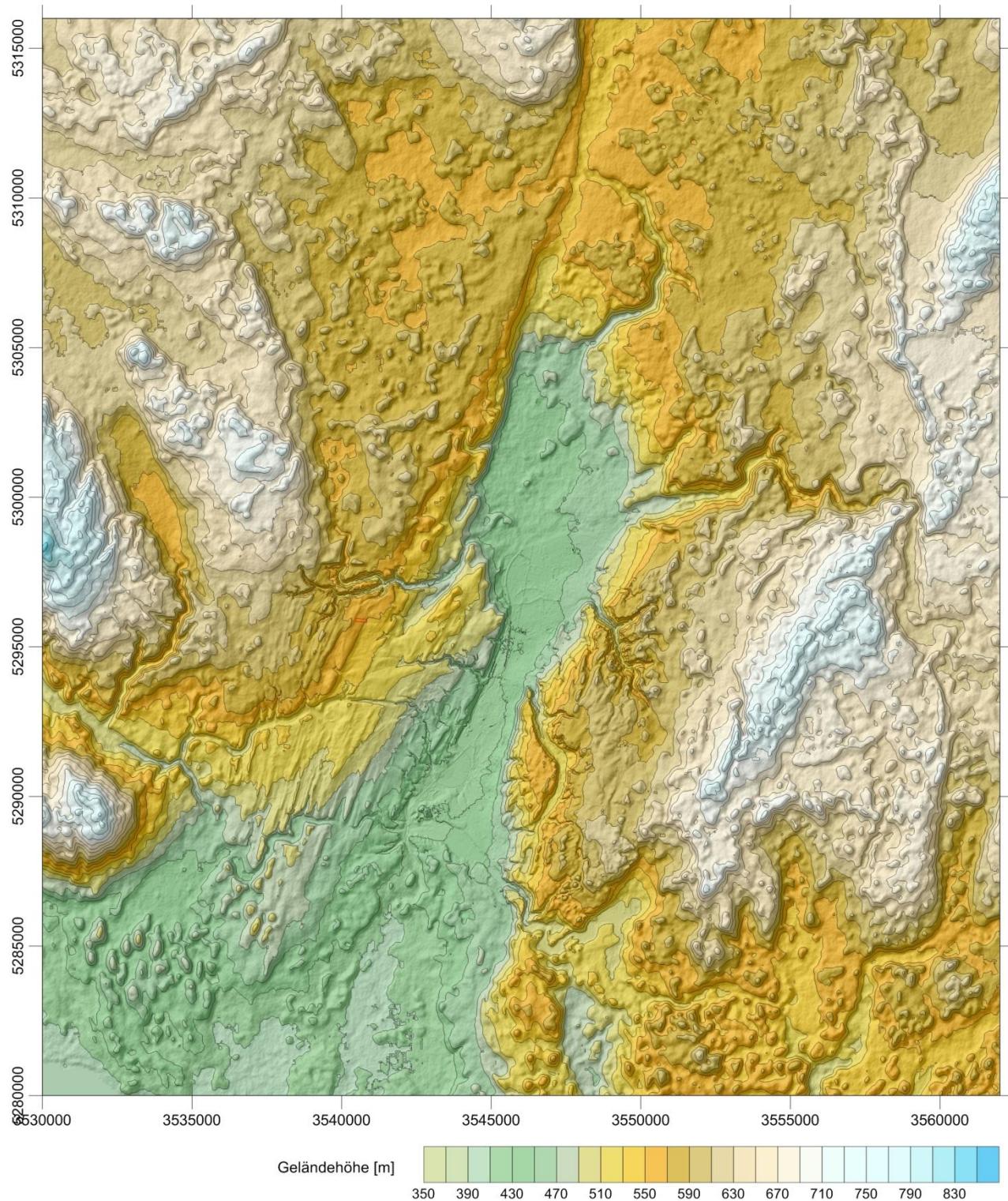


Abbildung 6-1: Simulationsgebiet mit Relief. Rot umrandet ist das geplante Baugebiet

### 6.3 Ergebnisse der Kaltluftabflussberechnung

Das Kaltluftabflussmodell berechnet primär den Volumenstrom, d.h. den über die Kaltluftmächtigkeit summierten Luftdurchsatz. So transportiert ein vertikal mächtiger Kaltluftstrom zwar viel Kaltluft, bodennah kann davon aber relativ wenig Luftbewegung spürbar sein.

In Abbildung 6-2 sind exemplarisch Profile einer Kaltluftströmung für unterschiedliche Rauigkeiten dargestellt. Über Freiland mit geringer Rauigkeit findet man das Maximum der Strömungsgeschwindigkeit im unteren Drittel. Mit zunehmender Rauigkeit gehen die Windgeschwindigkeiten bodennah zurück und das Maximum wandert durch Verdrängungseffekte in die Höhe. So wird über einer Stadt oder einem Wald das Maximum erst in 40% bis 50% der Kaltlufthöhe gefunden.

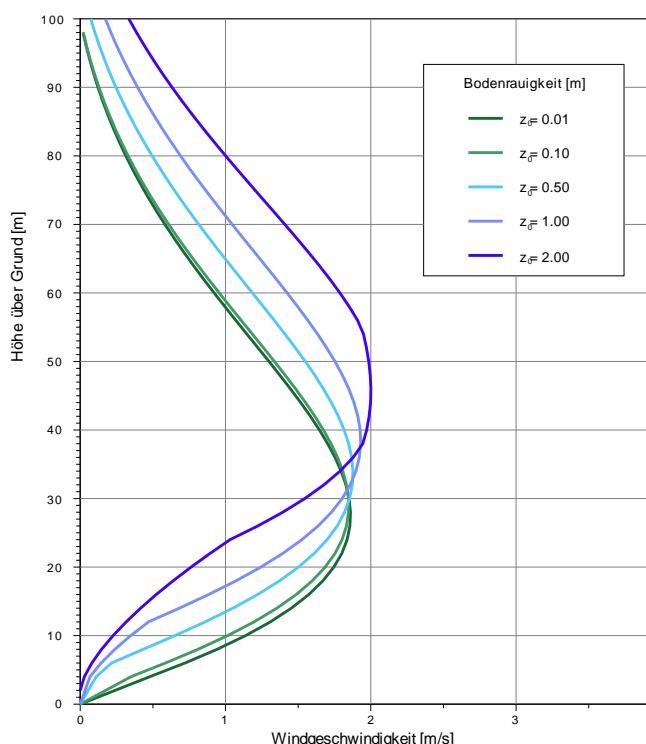


Abbildung 6-2: Typische Kaltluftabflussprofile für unterschiedliche Rauigkeiten

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kaltluftabflussberechnungen im Umfeld des Plangebiets dargestellt. In Abbildung 11-2 bis Abbildung 11-5 (im Anhang) sind die abend- und nächtlichen Strömungsverhältnisse dargestellt. Die Höhe der fließenden Kaltluft ist farbig hinterlegt. Die Strömung wird in Form von Vektoren dargestellt. Die Pfeile geben an, in welche Richtung die Strömung fließt; die Länge ist ein Maß für die Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund. Die Pfeile wurden aus Übersichtlichkeitsgründen nur in jeder zweiten Rechenzelle (d.h. alle 40 m) dargestellt.

In den Abendstunden, kurze Zeit nach Sonnenuntergang, bilden sich Hangabwinde aus. In Abbildung 11-2 sind die Verhältnisse für den Istzustand eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse dargestellt. An den stärker geneigten Freiflächen gibt es intensivere Kaltluftabflüsse, die lokal zu Windgeschwindigkeiten von bis zu 3 m/s führen. Die Kaltluftmächtigkeit ist an diesen Hängen jedoch mit Werten um 10 m vergleichsweise gering.

Im Plangebiet stellt sich ein Kaltluftabfluss aus Westnordwest ein. Dieser wird zum Teil von den höher gelegenen Bereichen gespeist. Der intensivste Strom läuft durch den Südteil des Plangebiets. Die Kaltluftmächtigkeiten liegen im Bereich von 10 m. Der Kaltluftstrom fließt dann hauptsächlich nördlich an Okatreute vorbei in Richtung Golfplatz.

Im Planfall wurde das Plangebiet als vollständig überbaut angenommen. In Abbildung 11-3 sind die berechneten Verhältnisse zu Beginn der Nacht dargestellt. Aufgrund der geringen Kaltluftmächtigkeiten geht die Strömung im Plangebiet stark zurück. Ein Teil der aus höheren Lagen zuströmenden Kaltluft fließt nun zwischen Trutzenweiler und Plangebiet ab. Die in zwei Teilströmen um Okatreute herumgeführte Kaltluft nimmt ebenfalls an Intensität ab.

In Abbildung 11-4 sind die Verhältnisse für den Istzustand drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse dargestellt. Die höchsten bodennahen Windgeschwindigkeiten findet man wieder an den Hängen. Die Kaltluftmächtigkeiten haben zugenommen. Im nordwestlichen Teil des Plangebiets auf ca. 17 m, im südöstlichen Teil auf ca. 13 m. Aufgrund der insgesamt größeren kaltlufthohen verlagert sich das Windgeschwindigkeitsmaximum in größere Höhen, so dass die Windgeschwindigkeiten in 2 m über Grund zurückgehen.

Im Planfall (Abbildung 11-5) gehen die Windgeschwindigkeiten im Plangebiet stark zurück. Man findet vergleichbare Verhältnisse wie in den bebauten Bereichen von Schmalegg.

Die bodennahe Windgeschwindigkeit (2 m über Grund) entspricht dem, was beobachtet wird. Für die Intensität der Kaltluftströmung ist der Volumenstrom bedeutender. Er gibt an, wie viel Luft über die gesamte Kaltlufthöhe durch eine 1 m breite Fläche strömt. Diese Verhältnisse sind für den Beginn der Nacht in Abbildung 11-6 und für den weiteren Verlauf der Nacht in Abbildung 11-7 dargestellt. Aufgrund der großen Kaltluftmächtigkeit in den nördlich gelegenen Tobeln werden dort die größten Volumenströme berechnet, die bodennah jedoch kaum wahrnehmbar sind.

Das Plangebiet trägt mit seiner dort gebildeten bzw. weitergeleiteten Kaltluft an zwei Teilströmen bei, die sich bei Okatreute aufteilen. Der intensivere Teilstrom fließt nach Südosten ab.

In Abbildung 11-8 sind die durch die Planung bedingten Änderungen der Volumenströme zu Beginn der Nacht (links) und im weiteren Verlauf der Nacht (rechts) dargestellt. Die größten Effekte gibt es erwartungsgemäß im Plangebiet selbst. Dort werden Verhältnisse wie im bestehenden Ortsgebiet von Schmalegg simuliert. In den Nachtstunden wird die Belüftung von Okatreute vor allem am nordwestlichen Rand dieses Gewerbegebiets reduziert. Im nach Süden verlaufenden Teilstrom wird die Volumenstromdichte um 1 bis 2  $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$  reduziert. Die Volumenstromdichte im Istzustand beträgt dort zwischen 15 und 20  $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ . Dies entspricht einer Reduktion des Volumenstroms von ca. 10%.

Der nach Westen über den Golfplatz fließende Teilstrom ist weniger stark ausgeprägt, wird aber in vergleichbarer Größenordnung beeinflusst.

Mit zunehmender Entfernung gehen die Effekte zurück, da zu den über das Plangebiet fließenden Kaltluftströmen weitere Kaltluftströme hinzukommen. Fernwirkungen (z.B. auf das Stadtgebiet von Ravensburg) sind nicht zu erwarten.

Am stärksten betroffen ist der Westrand von Okatreute. Hier kommt die nächtliche Kaltluftströmung nahezu zum Erliegen. Der Abbau thermischer und lufthygienischer Belastungen in den Nachtstunden wird dadurch reduziert. Ein Gewerbegebiet ist zwar tendenziell unempfindlicher gegenüber diesen Belastungen als ein reines Wohngebiet, trotzdem muss diese Verschlechterung der nächtlichen Verhältnisse abgewogen werden.

## 7 Auswirkungen der Planung

### 7.1 Klima

#### Durchlüftung

Gebäude stellen Hindernisse dar, die um- und überströmt werden müssen. Die dabei erzeugte Turbulenz führt zu einer Reduktion der mittleren Strömungsgeschwindigkeit. Die Effekte gehen mit zunehmendem Abstand zu den Hindernissen zurück.

Die Hauptwindrichtungen im Untersuchungsgebiet sind Nord- bis Nordnordost und Südsüdwest. Reduktionen der Windgeschwindigkeit ergeben sich somit bei nördlichen Windrichtungen am nördlichen Ortsrand von Trutzenweiler. Bei südwestlichen Richtungen am bisherigen Ortsrand von Schmalegg.

#### Thermische Verhältnisse

Durch die Bebauung mit den einhergehenden Versiegelungen (Erschließungsstraßen, Zufahrten, Abstellplätze) heizt sich das Plangebiet an sonnenreichen Tagen stärker auf als die Wiese. Warme Oberflächen führen auch zu einer Erwärmung der Luft, die mit diesen Flächen in Berührung kommt. Primär wird es deshalb im Plangebiet wärmer als im Istzustand. Auch in der direkt angrenzenden Wohnbebauung ergibt sich eine geringe Zunahme der Lufttemperaturen. Typischerweise kann an der direkt nördlich anschließenden Nachbarschaft von ca. 0,5°C im Jahresmittel ausgegangen werden.

Hier werden demnach Verhältnisse wie sie in Schmalegg ca. 100 m nördlich vorkommen, zu erwarten sein.

### 7.2 Lufthygiene

Die Luftqualität wird im Wesentlichen durch den Kfz-Verkehr, die Landwirtschaft und den Hausbrand bestimmt. Aufgrund des großen Abstands zu den Hauptverkehrsstraßen liegen die Belastungen weit unter den Grenzwerten der 39. BlmSchV.

Durch die geplante Bebauung werden durch Quell- und Zielverkehre sowie Hausbrand zusätzlich Luftschadstoffe emittiert. Diese Zusatzbelastung ist aber bei der Größe des Wohngebiets vergleichsweise gering und kann durch zusätzliche Maßnahmen noch reduziert werden. Die Grenzwerte der 39. BlmSchV werden jedoch auch im Planfall deutlich unterschritten.

## 8 Einwirkungen auf das Plangebiet

### 8.1 Klima

Durch die Höhenlage, die gegenüber dem Schussenbecken deutlich bessere Durchlüftung und den großen Grünflächenanteil in der Umgebung sind Hitzebelastungen wesentlich geringer als im Stadtzentrum von Ravensburg. Es kann von einem verträglichen Klima ausgegangen werden.

### 8.2 Lufthygiene

Die Luftschaadstoffbelastung ist aufgrund des Abstands zu relevanten Quellen (Bundesstraßen, Industrie) vergleichsweise gering. Sie wird hauptsächlich durch die lokalen Quell-/Zielverkehre und den eigenen Hausbrand sowie den der Nachbarn bestimmt.

Zu Geruchseinwirkungen des südlich in Trutzenweiler gelegenen landwirtschaftlichen Betriebs wurde ein separates Gutachten erstellt (iMA, 2013).

## 9 Bewertung und Planungshinweise

Für klimatische Auswirkungen existieren keine Grenz- oder Richtwerte. Eine strikte Bewertung wie bei Lärm oder Luftschaadstoffen ist deshalb nicht möglich. Der Vergleich des Planfalls mit dem Istzustand ermöglicht jedoch gravierende Änderungen zu erkennen.

Prinzipiell sind in thermisch oder lufthygienisch belasteten Gebieten Siedlungserweiterungen kritisch zu prüfen, da durch Bebauung und Versiegelung weitere thermische Belastungen entstehen und durch die Verkehre und den Hausbrand zusätzliche Luftbelastungen entstehen.

Die Auswirkungen auf die direkte Nachbarschaft oder größere städtische Areale hängt dabei stark von der Lage des geplanten Baugebiets ab. Insbesondere interessiert der räumliche Bezug zu Belastungszonen und zu Zonen, aus denen entlastende Momente zu erwarten sind.

Das Plangebiet liegt ca. 5,8 km westnordwestlich vom Stadtzentrum von Ravensburg und ca. 130 m über dem Talgrund des Schussenbeckens. Thermische und lufthygienische Belastungen sind hier geringer als im Schussenbecken.

Bei austauscharmen Strahlungswetterlagen, bei denen lokalklimatische Einflüsse dominieren, findet man im Raum Schmälegg hauptsächlich geringmächtige Kaltluftströme, die auf eine Bebauung empfindlicher reagieren als dies in Tälern mit großen Kaltlufthöhen der Fall ist. Durch die geplante Bebauung kommt deshalb der Hangabwind nahezu zu Erliegen. Dies führt in wolkenarmen und windschwachen Nächten am Westrand des Gewerbegebiets Okatreute zu einer Verschlechterung der Durchlüftung. Da dieser Bereich weder zu den thermisch noch zu den lufthygienisch stark belasteten Bereichen gehört, können die Auswirkungen als tolerierbar angesehen werden, müssen aber, abhängig von der konkret betroffenen Nutzung, abgewogen werden.

Das Plangebiet gehört zwar zum Kaltlufteinzugsbereich des Schussentals, der Wegfall einer Kaltluftproduktionsfläche in dieser Größenordnung führt jedoch nicht zu Auswirkungen auf den talbereich.

Quell- und Zielverkehre sowie Hausbrand erhöhen die lufthygienische Belastung. Aufgrund des Abstands zu den Hauptverkehrsstraßen liegt die Luftbelastung weit unter den Grenzwerten der 39.

BlmSchV. Auch mit den Zusatzbelastungen der geplanten Wohnsiedlung ändert sich an dieser Situation wenig.

Aufgrund mangelnder Bewertungsmaßstäbe ist es schwierig Auflagen in der Bauleitplanung festzusetzen. Es gilt deshalb ein Minimierungsgebot, d.h. unerwünschte Auswirkungen sollen in angemessenem Umfang minimiert werden. Dazu sind folgende Empfehlungen geeignet:

### **Planungsempfehlungen Durchlüftung**

- Der nächtliche Kaltlufthauptstrom führt auf der Südseite durch das Plangebiet. Die dort geplante Grünzäsur sollte möglichst frei von Strömungsbarrieren sein. Pflanzriegel quer zum Hang sind zu vermeiden. Vereinzelte hochstämmige Laubbäume sind möglich.
- Der städtebauliche Entwurf folgen die Längsseiten der Gebäude weitgehend dem Hanggefälle. Quer dazu stehende Gebäude könnten noch optimaler ausgerichtet werden.

### **Planungsempfehlungen thermische Verhältnisse**

- Die Versiegelung sollte so gering wie nötig gehalten werden. Wenig frequentierte Stellplätze sollten z.B. mit Rasenbausteinen befestigt werden.
- Dachbegrünungen sind ebenfalls hilfreich die thermischen Belastungen zu mindern. Ferner wird Niederschlagswasser zurückgehalten, so dass Versickerungseinrichtungen kleiner ausgelegt werden können.
- Gebäude sollen nach Energieeinsparverordnung (EnEV), die dieses Jahr novelliert werden soll, oder darüber hinausgehenden Standards errichtet werden. Dadurch wird die Wärmespeicherwirkung der Gebäude reduziert. Die Gebäudeoberflächen kühlen nachts rasch ab und die Wärmestrahlung wird deutlich reduziert.

### **Planungsempfehlungen Lufthygiene**

- Zur Reduktion der Emissionen durch Hausbrand ist ein emissionsarmes Heizkonzept vorzusehen. Festbrennstoffheizungen führen gerade in Hanglage durch die häufig damit verbundene Geruchsentwicklung zu Beschwerden. Gasheizungen und die Nutzung solarer Wärme wären zu präferieren.
- Der Wärmeschutz der Gebäude sollte nach neuesten Standards ausgelegt werden. Hierdurch wird die Regelung der Innentemperaturen erleichtert und Energie gespart. Der verringerte Heizbedarf führt ebenfalls zu geringeren Zusatzbelastungen.
- Auch während der Bauphase ist mit Emissionen zu rechnen. Hier helfen emissionsarme Baumaschinen mit Partikelfiltern die Ruß- und Feinstaubbelastung zu minimieren. Fahrwege auf öffentlichen Straßen sind stets sauber zu halten. Verschleppungen von Erdmaterial auf die Straße führen zu einem erhöhten Anteil an Staubaufwirbelung. Dies gilt es zu vermeiden.

## 10 Zusammenfassung

Die Stadt Ravensburg beabsichtigt, das Wohnbaugebiet „Brachwiese III - Neuaufstellung“ zu entwickeln. Das Bebauungsplangebiet liegt ca. 5,8 km westnordwestlich des Stadtzentrums von Ravensburg auf einer Hochfläche am Südrand des Ortsteils Schmalegg. Derzeit wird die Hangfläche landwirtschaftlich genutzt.

Die überplante Fläche stellt zum einen eine Kaltluftproduktionsfläche, zum andern eine lokale Leitbahn für nächtlich abfließende Kaltluft dar.

In wolkenarmen und windschwachen Nächten bilden sich im Raum Schmalegg überwiegend geringmächtige Kaltluftabflüsse aus. Im Plangebiet findet man einen Hangabwind, der die gesamte Nacht andauern kann. Da dieser mit 10 bis 15 m Mächtigkeit empfindlich auf Hindernisse reagiert, kommt es bei einer Bebauung nahezu zum Erliegen dieses Hangabwindes.

Der Hangabwind belüftet derzeit das an den Hang anschließende Gewerbegebiet Okatreute. Insbesondere am Westrand des Gewerbegebiets verschlechtert sich die nächtliche Durchlüftung. Da dieser Bereich weder zu den thermisch noch zu den lufthygienisch stark belasteten Bereichen gehört, können die Auswirkungen als tolerierbar angesehen werden, müssen aber, abhängig von der konkret betroffenen Nutzung, abgewogen werden.

Fernwirkungen, z.B. auf den Talraum des Schussenbeckens, sind aufgrund des Verlustes an Kaltluftproduktionsfläche gemessen an der gesamten Kaltluftproduktionsfläche im Westen von Ravensburg nicht zu erwarten.

Aus Sicht des Stadtklimas und der Lufthygiene sind keine grundsätzlichen Bedenken gegen die Planung im Hinblick auf unzumutbare Beeinträchtigungen der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu erwarten. Zur Minimierung unerwünschter Effekte sind die Planungsempfehlungen in Kapitel 9 zu berücksichtigen.

Freiburg, 8. Dezember 2022



Dr. Rainer Röckle  
Diplom-Meteorologe



Katharina Knapp  
Diplom-Mathematikerin

## 11 Literatur

**39. BlmSchV:** Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BlmSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 3830)

**EnEV:** Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 29. April 2009 (BGBl. I S. 954) geändert worden ist.

**Gerth, W.-P., 1986:** Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 171, Offenbach am Main

**Hauf, T., Witte, N., 1985:** Fallstudie eines nächtlichen Windsystems. Meteorologische Rundschau 38

**Klimaatlas Baden-Württemberg, 2006:** Hrsg.: LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Natur- schutz. – Mannheim.

**Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.; 1988):** Stadtklima und Luftreinhaltung. Ein wissenschaftliches Handbuch für die Praxis in der Umweltplanung. Berlin u.a.

**Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN (Hrsg.; 1993):** Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Düsseldorf

**Matzarakis, A., 2001:** Die thermische Komponente des Stadtklimas. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 6.

**Mayer H., Beckröge W. u. Matzarakis A. 1994:** Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. - In: UVP-report 5/94, S. 265-268

**Mayer, H.; Höppe, P., 1987:** Thermal comfort of man in different urban environments. Theor. Appl. Cli

**Mühr, A., 2012:** [www.klimadiagramme.de](http://www.klimadiagramme.de)

**Regionalverband Bodensee-Oberschwaben 2010:** Klimafibel – Ergebnisse der Klimaanalyse für die Region Bodensee-Oberschwaben und ihre Anwendung in der regionalen und kommunalen Planung. Info Heft No. 11

**Reuter, U., Baumüller, J., Hoffmann, U., 1991:** Luft und Klima als Planungsfaktor im Umweltschutz. Expert-Verlag, Band 328

**Richter, C.-J.; Röckle, R.; Gaede, M., 1998:** Das Schutzgut Klima in der Umweltverträglichkeitsprüfung. VDI-Schriftenreihe Band 28, 1998, S. 4 - 14

**Richter, C.-J., Röckle, R., 1995:** Methode zur Ermittlung von Kfz-bedingten Schadstoffkonzentrationen in bebauten Gebieten. UVP-Report 5, 1995, S 233-235

**Richtlinie 2008/50/EG** des Europäischen Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Amtsblatt der EU vom 11.06.2008, L 152/1-44.

**Röckle, R.:** Einsatz mikroskaliger Strömungsmodelle bei Planungsfragen. Annalen der Meteorologie, 28, 1992, S. 43 - 45

**Röckle, R., Richter, C.-J.:** Ausbreitung von Geruchsstoffen in Kaltluftabflüssen – Messungen und Modellrechnungen. VDI Berichte 1373 – Gerüche in der Umwelt. VDI-Verlag Düsseldorf, 1998, 249-259

**VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10:** Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle – Gebäude- und Hindernism strömung. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, 2001

**VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2:** Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil 1: Klima. Beuth Verlag Düsseldorf, 10. 2008

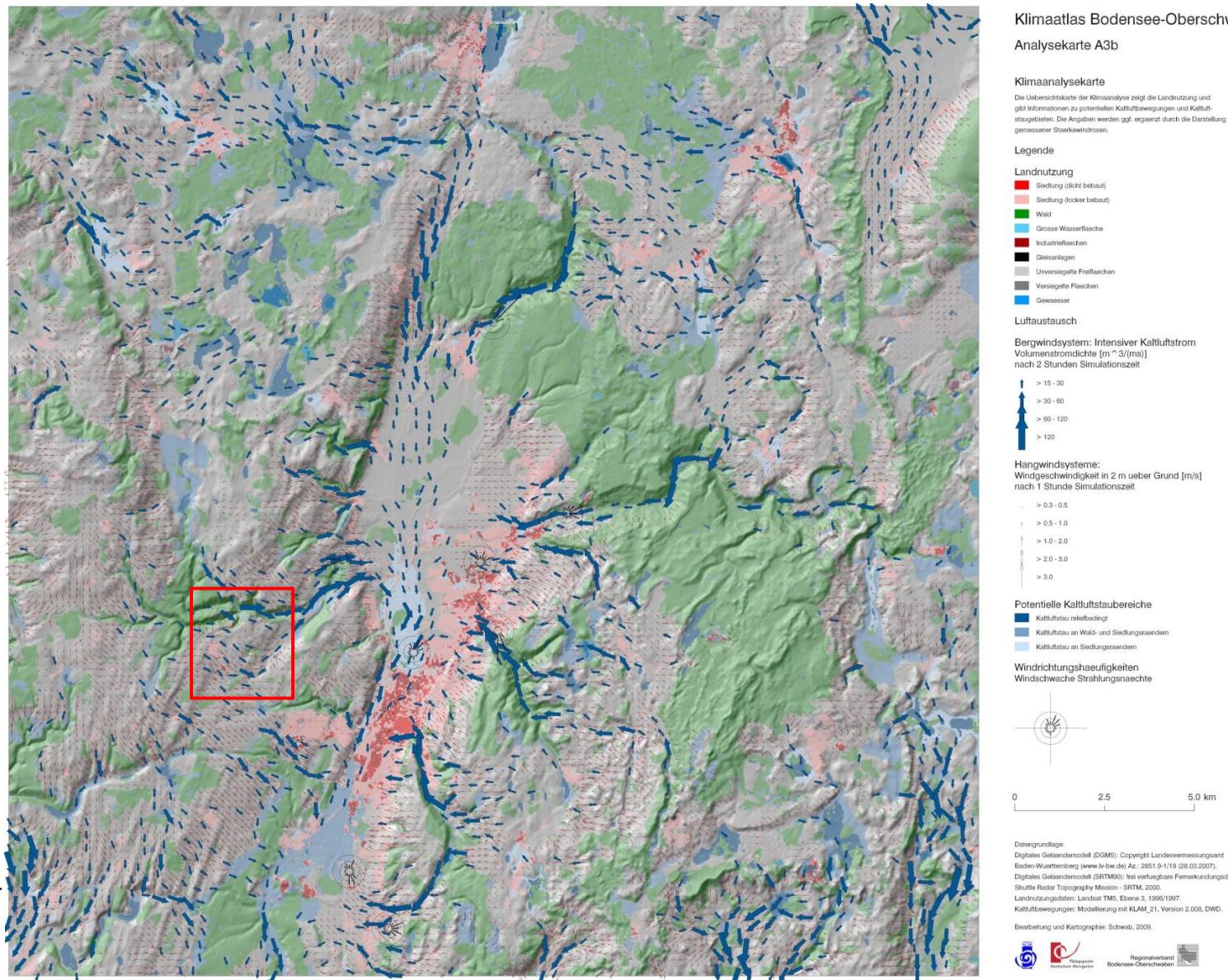
**VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5:** Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft, Beuth Verlag Düsseldorf.

**VDI-Richtlinie 3894 Blatt 2 Entwurf:** Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Methode zur Abstandsbestimmung (Abstandsregelung) Geruch, Juni 2011, Beuth Verlag Düsseldorf.

**WAB, 2009:** Wissenschaftlicher Abschlussbericht der Regionalen Klimaanalyse Bodensee-Oberschwaben (REKLIBO). Band 1 – 3. Hrsg.: Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, Landkreise Bodenseekreis, Ravensburg, Sigmaringen. Bearbeitung: Schwab, A. und Zachenbacher, D. Online-Version ([www.rvbo.de](http://www.rvbo.de)).

**Wirtschaftsministerium des Landes Baden Württemberg:** Städtebauliche Klimafibel Online. Hinweise für die Bauleitplanung. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>

## Anhang



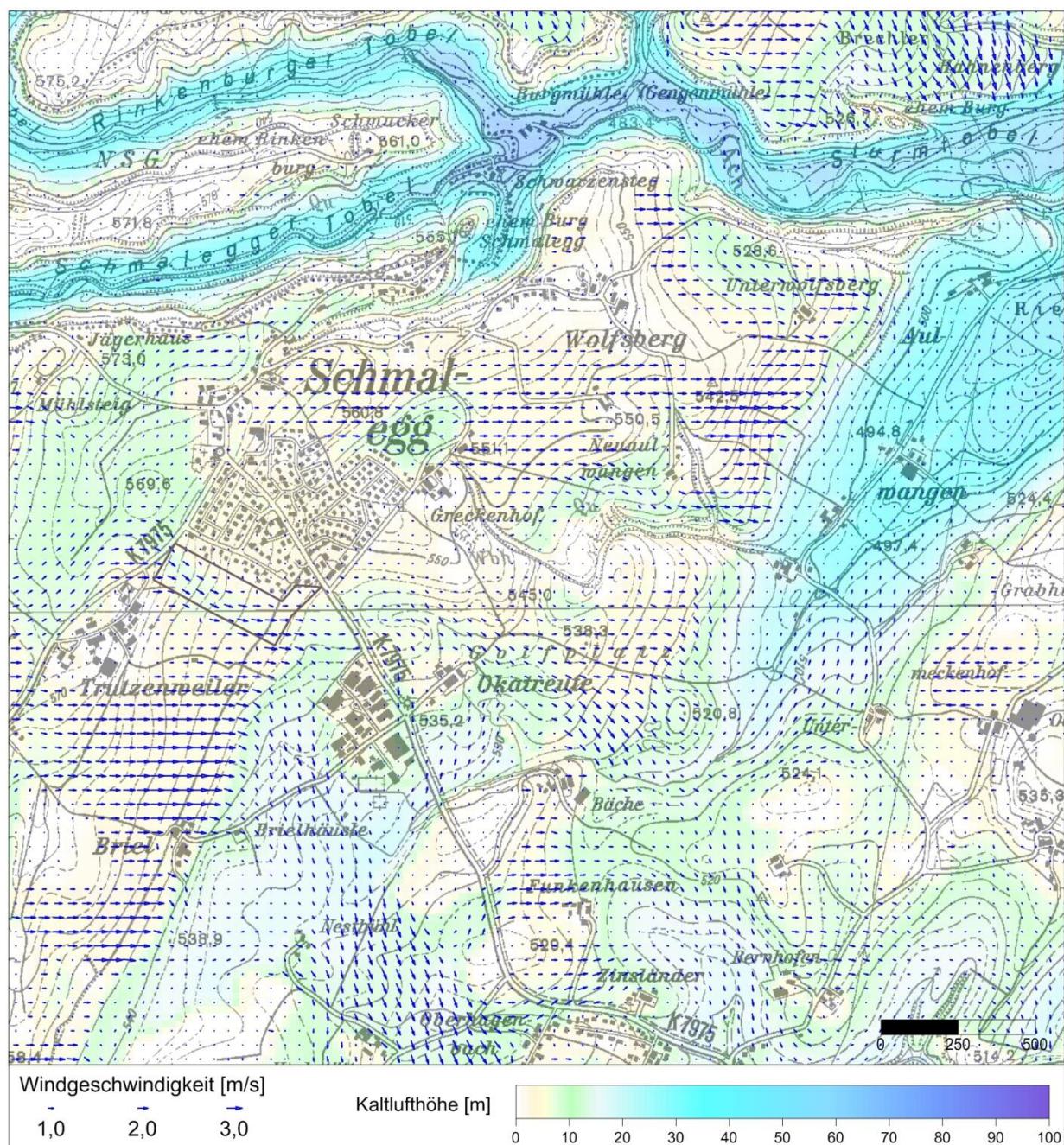
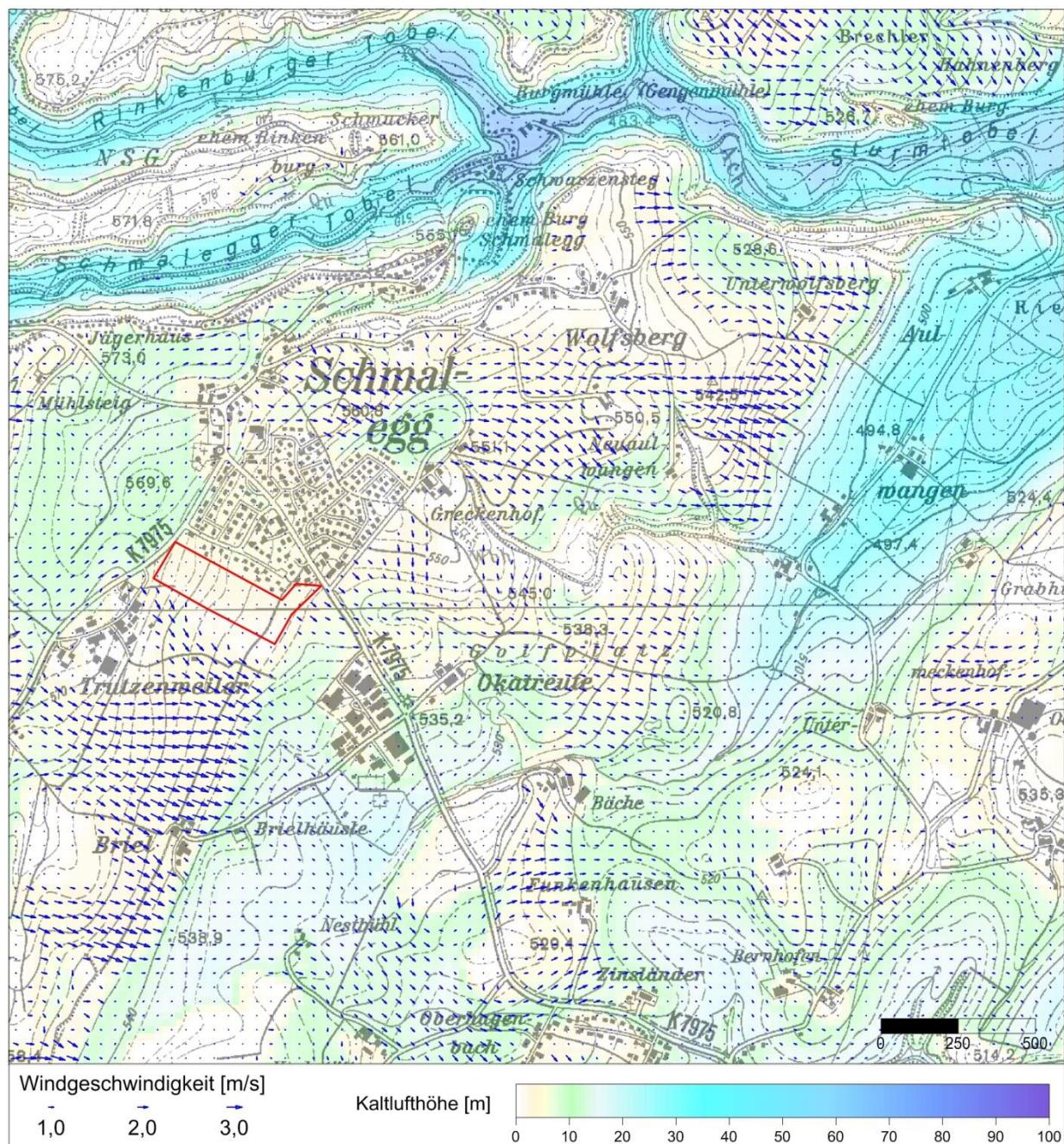


Abbildung 11-2: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Istzustand **eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse**



**Abbildung 11-3: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Planfall eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse**

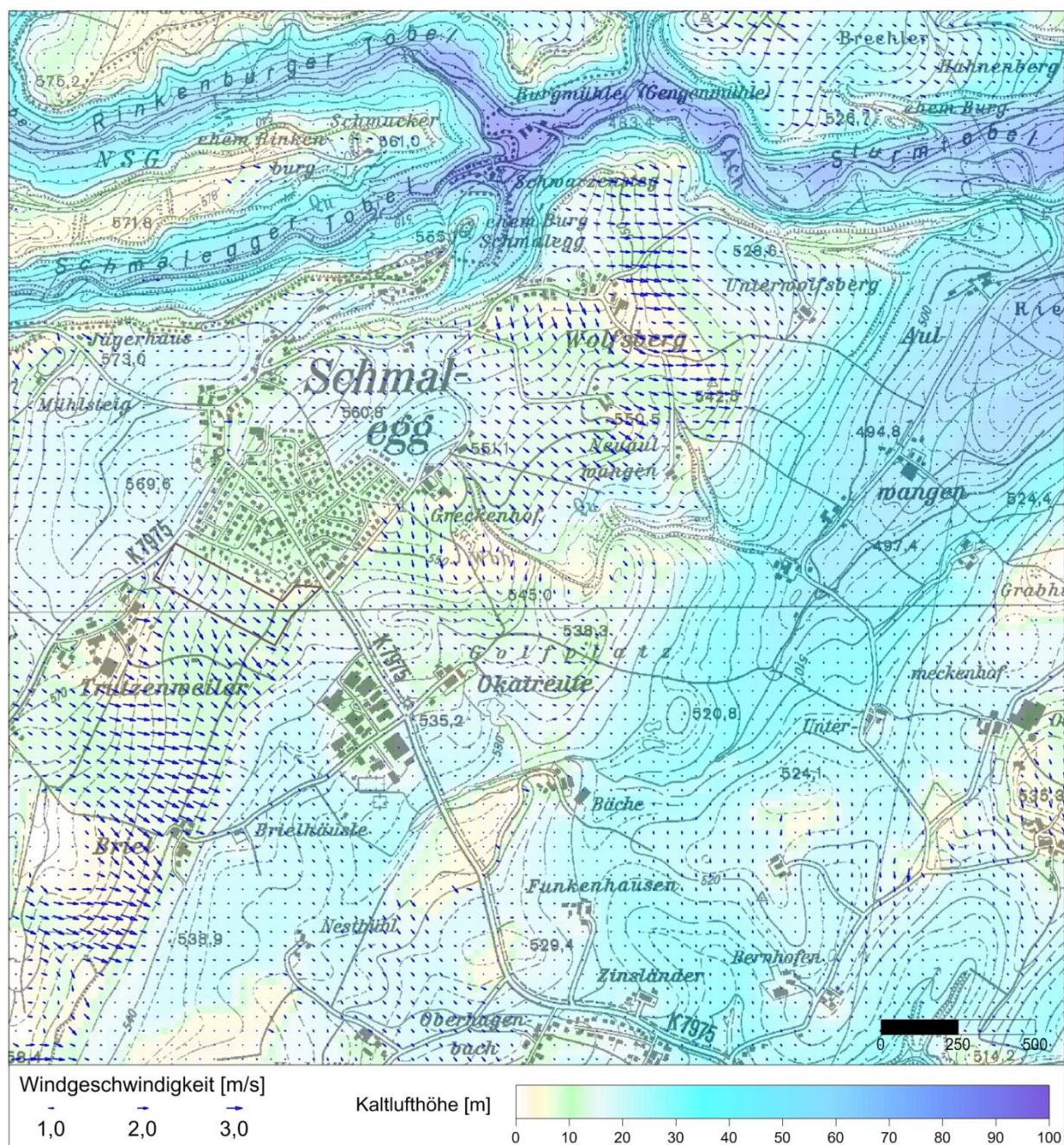


Abbildung 11-4: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Istzustand **drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse**

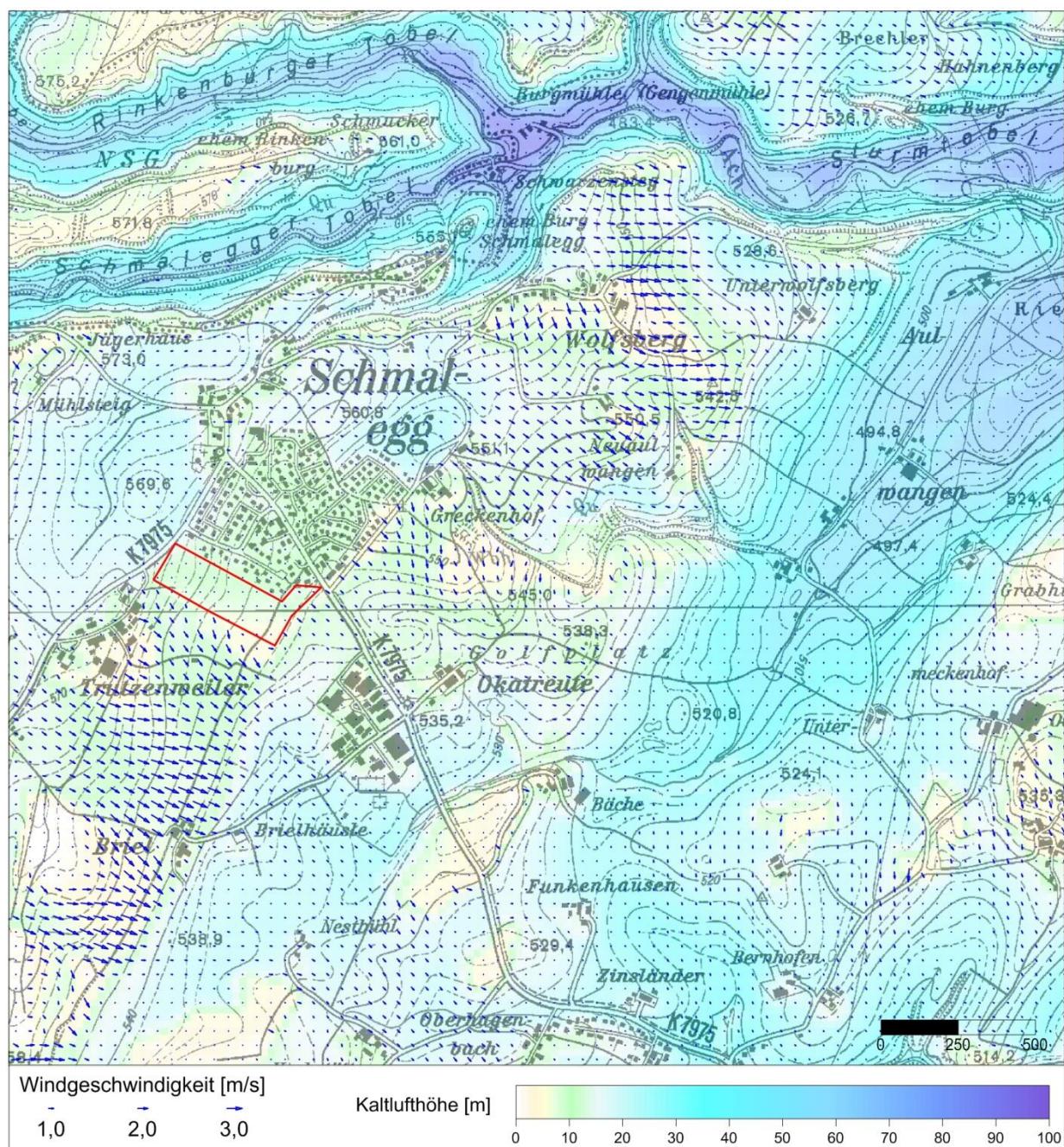


Abbildung 11-5: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Planfall **drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse**

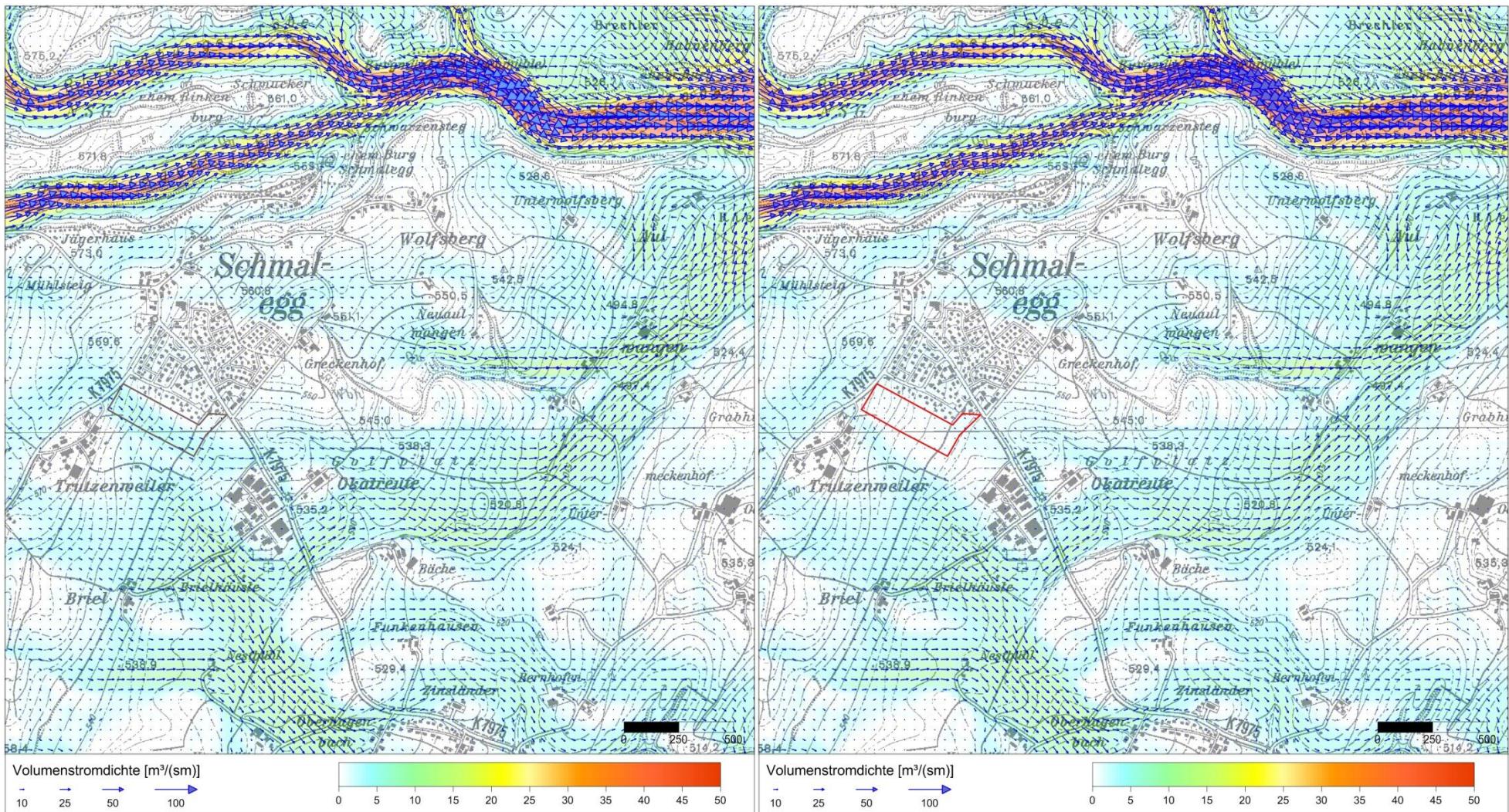


Abbildung 11-6: Volumenströme eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse. Links – Istzustand; rechts – Planfall

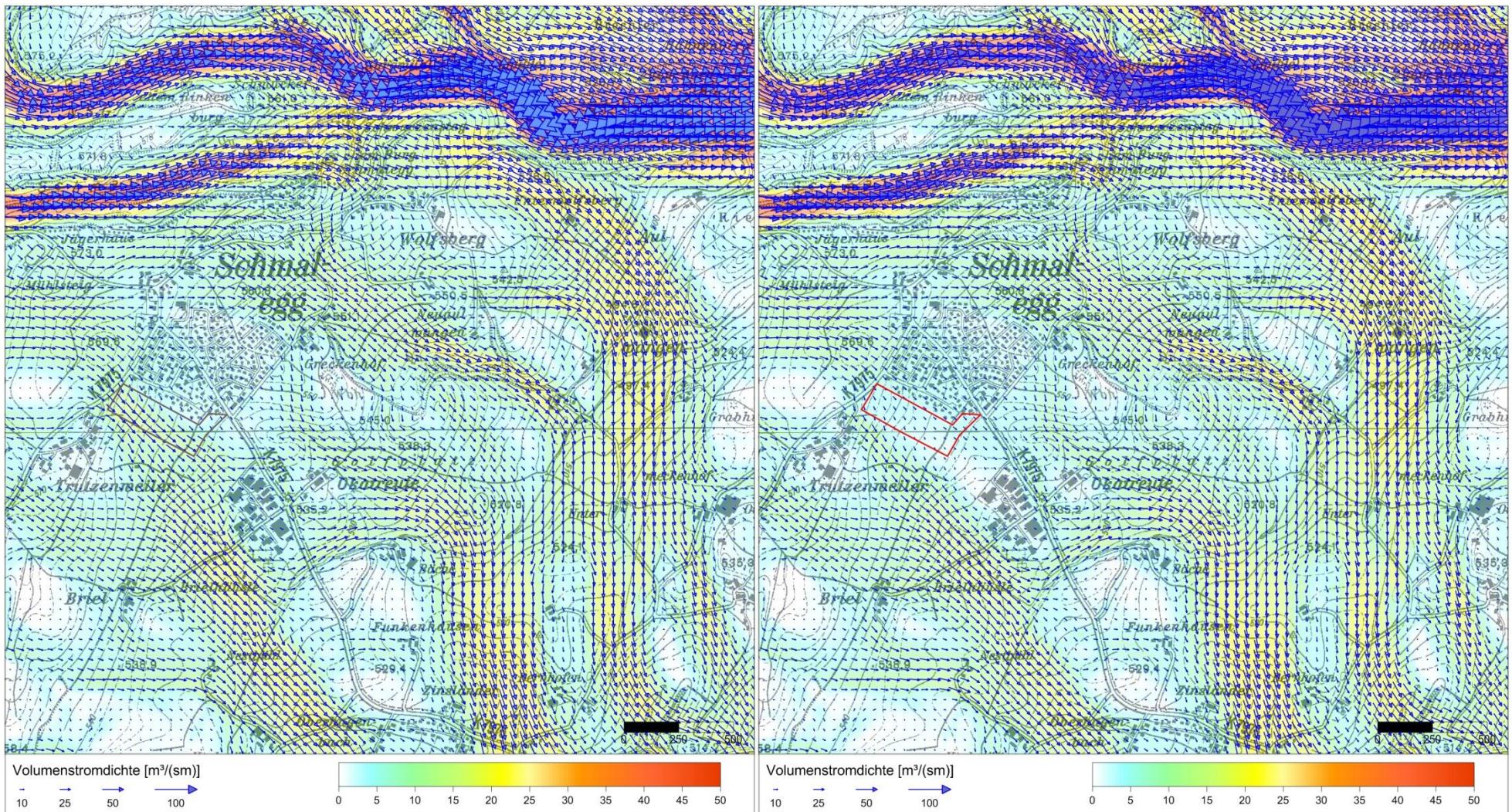


Abbildung 11-7: Volumenströme drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse. Links – Istzustand; rechts – Planfall

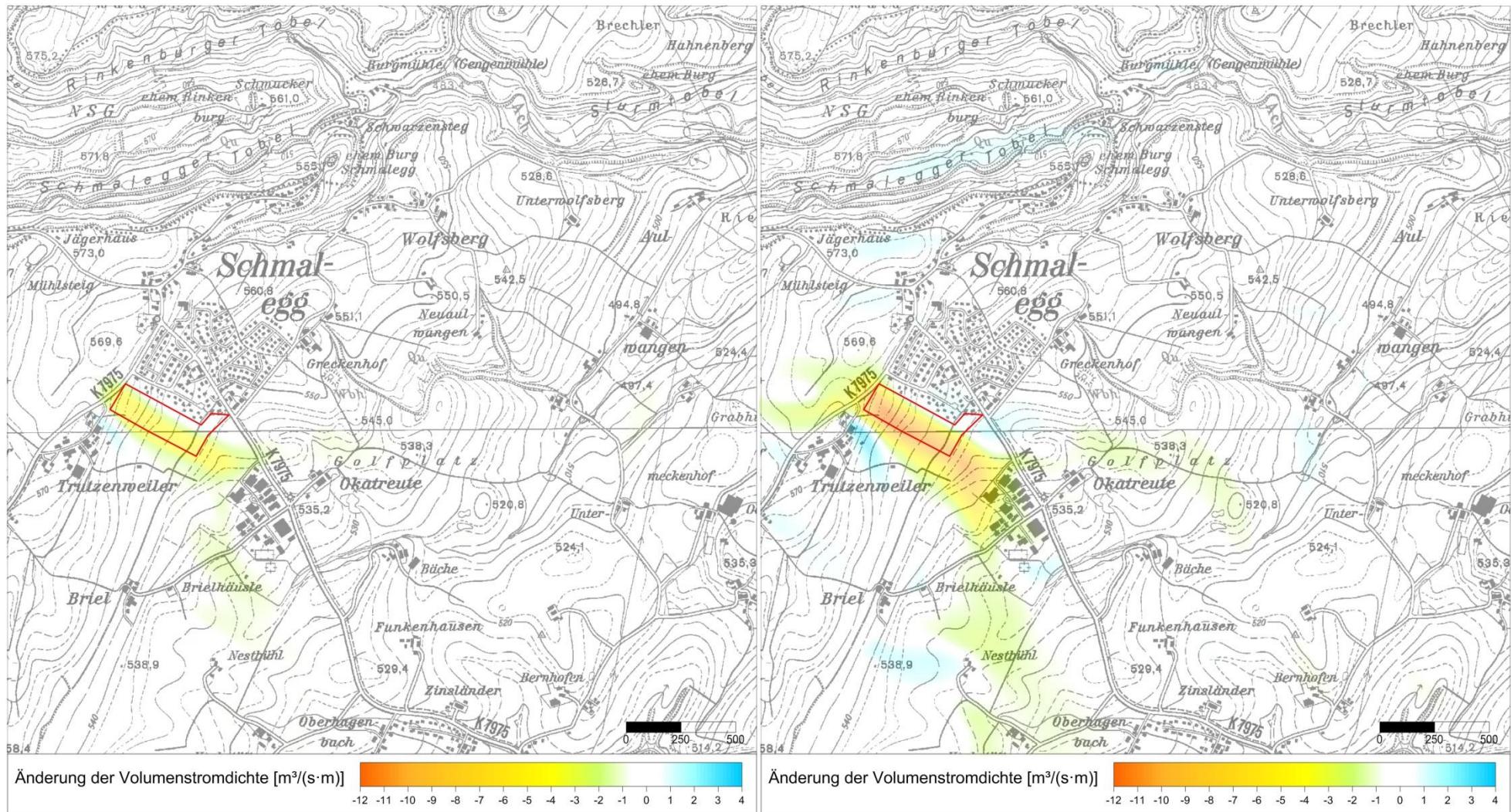


Abbildung 11-8: Änderung der Volumenströme. Links – eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse; rechts – drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse