

Gefördert aus dem Europäischen Fonds
für Regionale Entwicklung

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

Gutachten zu den Auswirkungen des geplanten Wohnbaugebietes „Am Hofgut“ auf die lokalklimatischen Verhältnisse von Ravensburg

Projekt-Nr.: **11-12-07-FR**

Umfang: **44 Seiten**

Datum: **13. Dezember 2012**

Bearbeiter: **Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe**
Claus-Jürgen Richter, Diplom-Meteorologe
Anerkannter Beratender Meteorologe DMG
in Zusammenarbeit mit
Prof. Dr. Andreas Schwab, Päd. Hochschule Weingarten

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

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	3
2	Einführung.....	3
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
3	Großräumige Einordnung.....	6
4	Bisherige Untersuchungen zum Stadtklima von Ravensburg	7
4.1	Ergebnisse bisheriger Klimauntersuchungen	7
4.2	Lufthygienische Verhältnisse	9
4.2.1	Allgemeines.....	9
4.2.2	Messungen in Ravensburg	9
5	Standort und örtliche Gegebenheiten.....	9
6	Messungen im Untersuchungsgebiet.....	11
6.1.1	Wahl der Messstandorte	11
6.1.2	Messtage.....	12
6.1.3	Ergebnisse an den einzelnen Standorten	13
6.1.4	Fazit der Handmessungen	15
7	Modellrechnungen	15
7.1	Eingesetztes Modell	15
7.2	Das Simulationsgebiet	16
7.3	Ergebnisse für den Istzustand im größeren Raumbezug	17
7.4	Situation im näheren Umfeld des Plangebiets	18
8	Auswirkungen der Planung	23
8.1	Klima	23
8.2	Lufthygiene.....	23
9	Einwirkungen auf das Plangebiet	24
9.1	Klima	24
9.2	Lufthygiene.....	24
10	Bewertung und Planungshinweise	24
11	Zusammenfassung	25
12	Literatur	27
13	Anhang A.....	29
13.1	Betrieb einer einfachen Funkwetterstation.....	29
13.2	Handmessungen	31
14	Anhang B.....	33

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadt Ravensburg beabsichtigt das Wohnbaugebiet „Am Hofgut“ in der Weststadt zu entwickeln. Die Randhöhen können als Kaltluftproduktionsflächen und Leitbahnen für Kaltluftabflüsse in die im Tal liegende Kernstadt dienen. Deshalb werden die klimatische Funktion und die Bedeutung der überplanten Flächen näher untersucht.

Ziel der Untersuchung ist es, die lokalklimatischen Wirkzusammenhänge zu erfassen.

Somit ergibt sich folgende Vorgehensweise:

1. Darstellung des Istzustands
 - Sichtung und Bewertung vorhandener Untersuchungen
 - Kaltluftabfluss-Simulationen für den derzeitigen Bebauungszustand
 - Messkampagnen zur Stützung der Simulationsergebnisse
2. Darstellung des Planfalls
 - Kaltluftabfluss-Simulationen unter Berücksichtigung der zusätzlichen Bebauung
 - Darstellung der Auswirkungen auf die abendliche und nächtliche Durchlüftung in der näheren und weiteren Umgebung

2 Einführung

2.1 Definition des Begriffs „Stadtklima“

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 Stadtklimas wurde von der World Meteorological Organization (WMO) folgendermaßen festgelegt:

Das Stadtklima 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 Stadtklima durch folgende Eigenschaften aus:

1. Veränderung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse

Das bekannteste stadtklimatologische 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 Wärmebelastung 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 Geländere relief 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 Kaltluft 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 Auftretswahrscheinlichkeit von Hangabwinden überdurchschnittlich hoch.

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

3 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. Zugrunde 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 Geländere relief.

Ravensburg 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 225 Tagen im Jahr eine Inversion auf, die Durchlüftungssituation fällt in die Klasse „schlecht“. Durchschnittlich weisen 22,6 bis 32,5 Tage im Jahr Wärmebelastung auf (REKLIBO, Band 3).

4 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.

Eine Weiterführung der Projekte zur Regionalen Klimatologie in der Region Mittleres Schussenbecken wurde im Rahmen von REKLISCHUB (2009-2010) erstellt. Im Rahmen dieses Projektes wurden auch Thermalkartierungen von Ravensburg erstellt.

4.1 Ergebnisse bisheriger Klimauntersuchungen

In Abbildung 14-1 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. Die Ergebnisse dieser Klimaanalyse werden nachfolgend zusammengefasst.

Im Mittleren Schussenbecken findet man Hangwindssysteme rund um Ravensburg, Weingarten und Baienfurt. Talabwinde stellen sich in den Tobeln rund um das mittlere Schussenbecken ein. Kaltluft im Schussenbecken fließt nach Süden hin zum Bodensee ab und überstreicht Ravensburg, wobei der intensivste Strom auf der Westseite des Tales fließt. Dieser Talabwind aus dem Schussenbecken tritt mit zeitlicher Verzögerung auf, verzahnt sich mit den Talabwinden aus den Tobeln und dominiert meist über die Hangabwinde, die im Verlauf der Nacht nachlassen.

Die nächtlichen Hangabwinde rings um das Siedlungsgebiet weisen geringe Reichweiten auf und sind häufig auf die erste Nachthälfte beschränkt. Talabwinde aus den Tobeln weisen deutlich größere Reichweiten auf.

Die Windgeschwindigkeiten (Messungen in 2 m über Grund) sind sehr unterschiedlich. Sie hängen von der unmittelbaren Umgebung des Messstandortes ab. Im Bereich von Engstellen findet man durch Düseneffekte erhöhte Windgeschwindigkeiten

Bereiche mit relativ guten Durchlüftungsverhältnissen findet man entlang von Kaltluftleitbahnen, insbesondere in den Tälern bzw. an den Talausgängen und in den Abendstunden am Rande der Siedlungsflächen in Hanglagen.

Bereiche mit relativ schlechten bodennahen Durchlüftungsverhältnissen ergeben sich in den verdichteten Bebauungsbereichen (z.B. westlich des Marienplatzes, Kuppelnau, Gartenstraße) meist in Talmitte, also im Abstand zu den Hängen.

Im Rahmen von REKLISCHUB wurden aus Messfahrten auf verschiedenen Routen durch Ravensburg und Weingarten Thermalkarten erzeugt.

In Abbildung 14-2 und Abbildung 14-3 (im Anhang) sind die Thermalkartierungen im Raum Ravensburg für die Abend- und die Morgenstunden zweier Strahlungstage dargestellt. Die Auswertung erfolgte für die Temperaturabweichungen zum Flächenmittelwert der Lufttemperaturen zu jedem Termin. Orangefarbene bis rote Farben zeigen überwärmte Gebiete, blaue Farben kühlere Bereiche.

In den Abendstunden ergeben sich deutliche Temperaturunterschiede zwischen Umland und den zentralen Siedlungsbereichen. Die maximalen Unterschiede liegen bei etwa 6 K, was den erwarteten Größenordnungen entspricht. Die höchsten Wärmebelastungen findet man in den zentral gelegenen Stadtteilen von Ravensburg und Weingarten und entlang der alten B30. Entlang der Schussen bildet sich ein kühleres Band aus. Zur Bebauungsperipherie hin nehmen die Temperaturen ebenfalls ab. In den Morgenstunden haben sich die überwärmten Siedlungsbereiche den anderen Siedlungsbereichen angepasst. Die Temperaturunterschiede zwischen Umland und Stadtzentrum sind zurückgegangen. In den Morgenstunden des 22. Juli 2009 (Abbildung 14-3) treten die höchsten Temperaturen in den oberen Lagen der östlichen Hänge auf. Diese Bereiche ragen aus der Kaltluft heraus, die sich dort bildende Kaltluft fließt noch ins Tal ab und wird durch wärmere Umgebungsluft ersetzt.

Hohe Temperaturen sind im Wesentlichen abhängig von der Bebauungsdichte, dem Versiegelungsgrad, der Bausubstanz und den Grünflächenanteilen. In der Altstadt führen die hohe Bebauungsdichte, die hohe Speicherwirkung der Bebauung und die schlechtere Belüftung zu den höchsten Temperaturen. Zu den Rändern hin nimmt zum einen die Bebauungsdichte ab, zum anderen ergeben sich bessere Durchlüftungsverhältnisse, so dass dort die Temperaturen zurückgehen.

Die Untersuchungen zeigen, dass der Talgrund eher schlecht durchlüftet ist und erhöhte Wärmebelastung und lufthygienische Belastungen aufweist.

Lokale Windsysteme – insbesondere die nächtlichen Kaltluftabflüsse (Hangabwinde, Talabwinde aus den Tobeln, Nordströmung aus dem Schussenbecken) – können die Belastungssituation verbessern, da sie thermische und lufthygienisch belastete Luft abtransportieren.

Problematisch bleiben jedoch winterliche Inversionswetterlagen, insbesondere mit Nebelbildung, da die lokalen Windsysteme dann nur schwach ausgeprägt sind.

4.2 Lufthygienische Verhältnisse

4.2.1 Allgemeines

Neben den klimatischen Bedingungen bestimmt die Luftqualität das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit. Schädliche Bestandteile der Luft sind Stickstoffdioxide (NO₂), Stäube (PM₁₀, PM_{2,5}) und Ozon (O₃).

Aus dem Emissionskataster 2008 der LUBW (<http://www.ekat.baden-wuerttemberg.de/>) kann entnommen werden, dass für die beiden Luftschadstoffkomponenten NO₂ und PM₁₀ Verkehre die wesentliche Quelle sind. Laut Tabelle 4-1 machen diese bei NO_x ca. 54% und bei PM₁₀ ca. 38% der Gesamtemission aus.

Tabelle 4-1: Emissionen in t/a nach Quellengruppen in Ravensburg laut Emissionskataster 2008 (Quelle: <http://www.ekat.baden-wuerttemberg.de/>).

Quellengruppe	NO _x	PM ₁₀
Biogene Systeme	–	15
Kleine und Mittlere Feuerungsanlagen	62	12
Industrie und Gewerbe	33	1
Sonstige Technische Einrichtungen	103	7
Verkehr	237	21
Summe	436	56

4.2.2 Messungen in Ravensburg

Von Prof. Speckle (Steinbeis-Transfer-Zentrum an der Hochschule Ravensburg-Weingarten) wurden die lufthygienischen Verhältnisse durch einjährige Messungen vom August 2010 bis Juli 2011 an verschiedenen Punkten in und um Ravensburg bestimmt.

Die Messungen zeigen, dass der besiedelte Talraum spürbar stärker belastet ist als die Höhenlagen.

Die höchsten Belastungen treten im Verlauf der stark befahrenen Bundesstraßen auf. Hier werden punktuell (Frauentor, Kaufland) bei Stickstoffdioxid Überschreitungen der Grenzwerte der 39. BImSchV gefunden. Auch Feinstäube sind dort erhöht. Der Grenzwert für den Jahresmittelwert von PM₁₀ wird jedoch weit unterschritten.

Weiterhin existieren Kurzzeitgrenzwerte. Diese werden bei NO₂ eingehalten, bei PM₁₀ an den höchst belasteten Punkten nur knapp unterschritten.

5 Standort und örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet liegt am Südwestrand der Weststadt, die westlich des Schussentals gut 50 m über dem Talgrund liegt (siehe Abbildung 5-1). Die Gesamtfläche liegt bei ca. 8 ha, davon sind ca. 5 ha geplante Baugebiets- und Straßenfläche. Das Baugebiet liegt zwischen dem südlich angrenzenden Gewerbegebiet und dem Wohngebiet Huberesch. Die Freiflächen werden derzeit landwirtschaftlich genutzt.

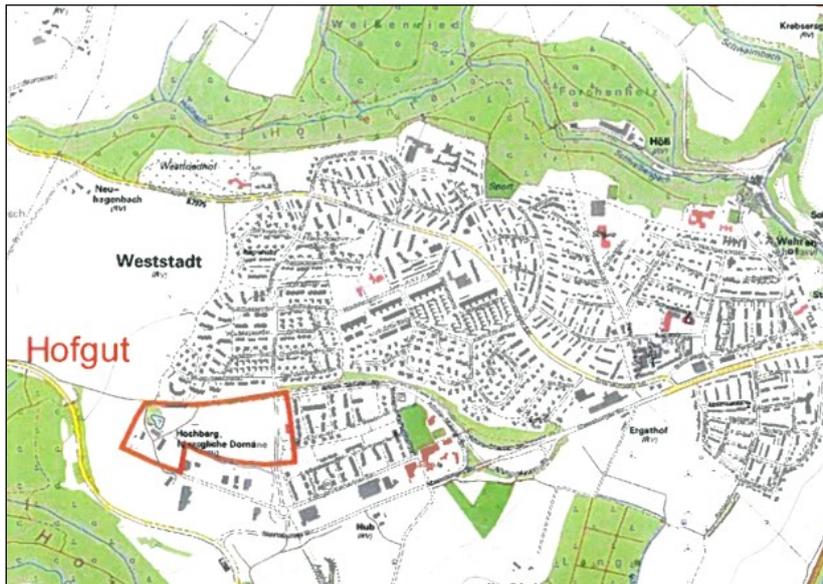


Abbildung 5-1: Lage des Bebauungsplangebiets „Am Hofgut“.

Insgesamt sollen rund 85 Wohneinheiten in Form von Winkel-, Reihen- oder Doppelhäusern entstehen. Zusätzlich sind 70 Wohneinheiten als Geschosswohnungsbau geplant. Abbildung 5-2 zeigt einen Bebauungsplanentwurf.

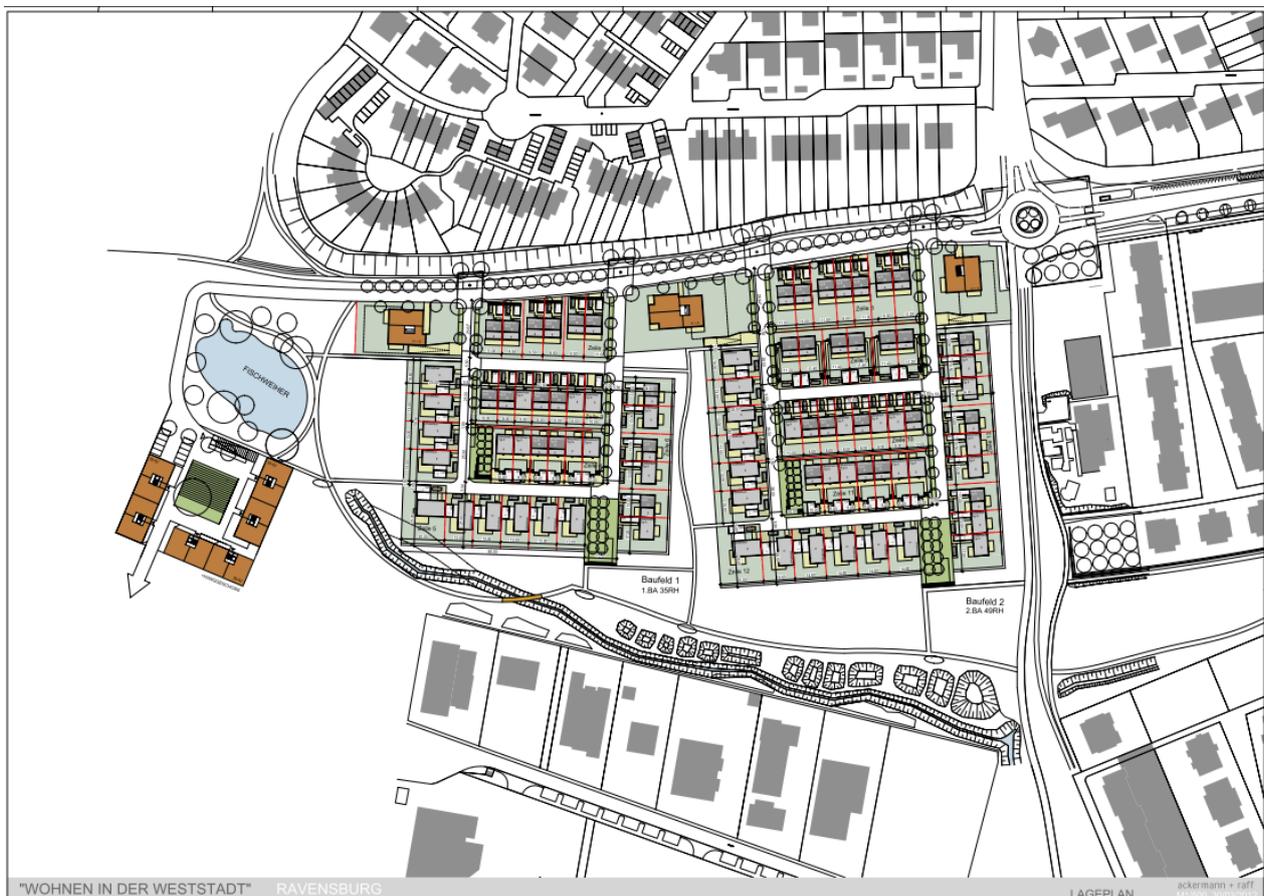


Abbildung 5-2: Bebauungsplanvorentwurf (Stand 30.03.2012).

6 Messungen im Untersuchungsgebiet

Bei verschiedenen Begehungen wurden Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur an verschiedenen Punkten im Umfeld der geplanten Baugebiete erhoben. Die Messungen sollen zum einen die Modellrechnungen stützen, zum andern bei der Beantwortung der nachfolgenden Fragen helfen:

- Gibt es am Standort nächtliche Kalt- und Frischluftströme? Wenn ja: Mit welchen Häufigkeiten und Intensitäten treten sie auf?
- Wie weit reichen sie in die angrenzenden Wohngebiete bzw. in das Schussenbecken hinein?
- Wie verzahnen sich Hangabwinde und der nachgewiesene Talabwind aus dem Schussenbecken untereinander?

6.1.1 Wahl der Messstandorte

Die Messstandorte der Handmessungen sind auf der nachfolgenden Karte dargestellt.



Abbildung 6-1: Lage der Messstandorte „Hofgut“ (Handmessungen).

Die folgende Tabelle gibt Auskunft, unter welchen Gesichtspunkten die Standorte ausgewählt wurden:

Standort	Lage	Fragestellung
B1	Nordwestlich Domäne Hochberg	Kaltluftleitbahn
B2	Östlich Domäne Hochberg	Kaltluftleitbahn
B3	Südöstlich Domäne Hochberg	Kaltluftleitbahn, Wirkung des Siedlungsrandes
B4	Nördlich Vogler	Kaltluftleitbahn
B5	Südöstlich Vogler	Kaltluftleitbahn
B6	Südlich Domäne Rahlen	Kaltluftleitbahn

6.1.2 Messtage

Beschreibung der Wetterlagen während der Handmessungen

Für die zu untersuchenden Fragestellungen sind die Strömungsverhältnisse bei austauschenden Wetterlagen von Bedeutung, da das Bebauungsplangebiet Kaltluft produziert und eine Kaltluftleitbahn tangiert. Aussagekräftige Messergebnisse sind deshalb nur bei entsprechenden wind-schwachen und wolkenarmen Wetterlagen zu erwarten. In den Monaten Mai und Juni und in der ersten Juli-Hälfte 2012 waren solche Situationen recht selten. Erst in der zweiten Juli-Hälfte stellten sich vermehrt Hochdruckwetterlagen ein, die wegen starken großräumigen Druckdifferenzen aber z.T. mit recht hohen Windgeschwindigkeiten verbunden waren.

Messkampagnen, die mit Geographie-Studierenden der PH Weingarten vereinbart waren, mussten so immer wieder neu terminiert werden. Die Wetterlagen, die letztlich an den Messtagen vorherrschend waren, gehen aus den Stationsdaten der festen Wetterstation „Stadtblick“ hervor (vgl. nachfolgende Abbildung).

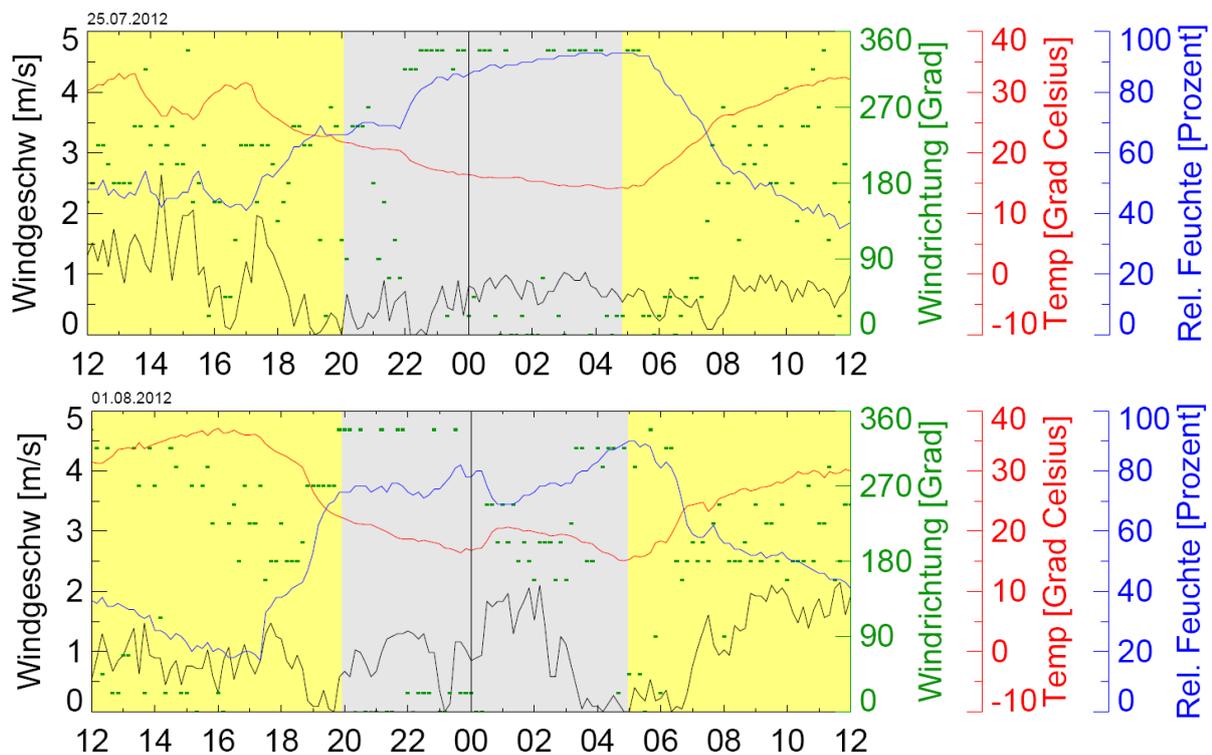


Abbildung 6-2: Tagesdiagramme der Station „Stadtblick“ zu den Terminen der Handmessungen.

Die Termine lassen sich wie folgt kurz beschreiben:

25.07.2012: Eigentlich windschwache Strahlungswetterlage, die aber von nahegelegenen Gewitterzellen und damit verbundenen Ausgleichsströmungen beeinflusst war, die erst gegen 22.30 Uhr zum Erliegen kamen.

01.08.2012: Nahezu ideale windschwache Strahlungswetterlage während der ersten Nachthälfte und damit während des Messzeitraums. Nach 0 Uhr Wechsel der Wetterlage auf eine übergeordnete Südströmung mit deutlicher Temperaturzunahme.

Die folgende Auflistung gibt einen Überblick, an welchen Tagen an den Standorten Handmessungen durchgeführt wurden.

Standort	Messtage:
B1	25.07./01.08.2012
B2	25.07./01.08.2012
B3	25.07./01.08.2012
B4	25.07./01.08.2012
B5	25.07./01.08.2012
B6	25.07./01.08.2012

Die Ergebnisse der Handmessungen an den einzelnen Standorten werden nachfolgend zusammengefasst.

6.1.3 Ergebnisse an den einzelnen Standorten

6.1.3.1 Kaltluftströme nordwestlich Domäne Hochberg (Standort B1)

Am 25.07. konnten vor 22.30 Uhr aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden. Die abschließend um 23.05 Uhr durchgeführte Vertikalsondierung mit Heliumballon ergab in einer Höhe von 6 bis 8 m über Grund erste hangabwärts gerichtete gleichmäßige Luftbewegung, die jedoch mit dem Handanemometer in 2 m Höhe (Messstandort auf Feldweg zwischen zwei Maisfeldern) nicht nachgewiesen werden konnte.

6.1.3.2 Kaltluftströme östlich Domäne Hochberg (Standort B2)

Am 25.07. konnten bei den ersten beiden Messungen aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden. Die abschließend um 22.15 Uhr durchgeführte Messung zeigte dann jedoch hangabwärts gerichtete gleichmäßige Luftbewegungen mit leicht wechselnden Windrichtungen aus NW bis NNW.

6.1.3.3 Kaltluftströme südöstlich Domäne Hochberg (Standort B3)

Am 25.07. konnten bei den ersten beiden Messungen aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden. Die abschließend um 22.45 Uhr durchgeführte Messung zeigte dann jedoch kräftige Kaltluftabflüsse mit leicht wechselnden Windrichtungen aus W bis WNW.

Bei Messungen am 01.08. konnten am selben Standort mit Rauchversuchen um 21.20 Uhr nur sehr schwache Kaltluftbewegungen aus W bis WNW deutlich gemacht werden. Abbildung 6-3 zeigt die nur langsam driftende Rauchwolke.



Abbildung 6-3: Rauchversuch am Standort B3 am 01.08. um 21:20 Uhr (MESZ).

6.1.3.4 Kaltluftströme nördlich Vogler (Standort B4)

Am 25.07. konnten bei den ersten beiden Messungen aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden. Die abschließend um 22.10 Uhr durchgeführte Messung zeigte dann jedoch kräftige Kaltluftabflüsse mit Windrichtung aus West. Die mittlere Windgeschwindigkeit betrug dabei 1,1 m/s.

Bei Messungen am 01.08. konnten am selben Standort mit Rauchversuchen um 21.35 Uhr Kaltluftbewegungen sehr deutlich sichtbar gemacht werden. Die Rauchfahne zeigte, ausgehend vom Standort, zunächst nach Osten und schwenkte (unter dem Einfluss der zwischen Vogler und Rahlen gelegenen Waldfläche) im weiteren Verlauf nach Süden ein. Die während des Rauchversuchs durchgeführten Messungen ergaben mittlere Windgeschwindigkeiten von 1,6 m/s.

6.1.3.5 Kaltluftströme südöstlich Vogler (Standort B5)

Am 25.07. konnten bei den ersten beiden Messungen aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden. Die abschließend um 22.15 Uhr durchgeführte Messung zeigte dann jedoch Kaltluftabflüsse mit Windrichtung aus Nordwest. Die mittlere Windgeschwindigkeit betrug dabei 0,6 m/s. In Spitzen erreichten die Luftbewegungen bis zu 1,6 m/s.

Bei Messungen am 01.08. waren am selben Standort um 21.45 Uhr leichte Kaltluftbewegungen spürbar.

6.1.3.6 Kaltluftströme südlich Domäne Rahlen (Standort B6)

Am 25.07. konnten bei den ersten beiden Messungen aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden. Auch die abschließend um 22.30 Uhr durchgeführte Messung zeigte am Boden noch keine eindeutigen Kaltluftbewegungen. Mit einer einfachen Vertikalsondierung mit Heliumballon konnten in Höhen ab 6 m jedoch einheitliche Windrichtungen aus NW festgestellt werden.

6.1.4 Fazit der Handmessungen

Aus den Handmessungen der Kaltluftbewegungen im Bereich Domäne Hochberg – Vogler – Domäne Rahlen ergeben sich zusammenfassend folgende Erkenntnisse:

Entlang einer Linie Domäne Hochberg – Vogler – Rahlen ist eine Kaltluftleitbahn nachweisbar. Geringe übergeordnete Winde stören den Kaltluftabfluss merklich. Die Windgeschwindigkeiten liegen selten über 1 m/s. Bereits bestehende Wohnbebauung ist von diesen Frischluftströmen nur am Rande betroffen, da das Geländegefälle die Kaltluft an den Siedlungsrändern vorbei führt.

7 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 Kaltluftabflussmodell DFM berechnet.

7.1 Eingesetztes Modell

Das Modell DFM (Röckle, R., Richter, C.-J., 1998) beruht auf Gleichungen, die von Garrett und Smith (1984)¹ 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.

¹ 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.

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

7.2 Das Simulationsgebiet

Das Rechengebiet von DFM wurde so groß gewählt, dass das gesamte Kaltlufteinzugsgebiet von Ravensburg enthalten ist. Es erstreckt sich über 32 km in West-Ost- und 36 km in Süd-Nord-Richtung (Abbildung 7-1). Die horizontale Auflösung (Maschenweite) der Simulation beträgt 20 m.

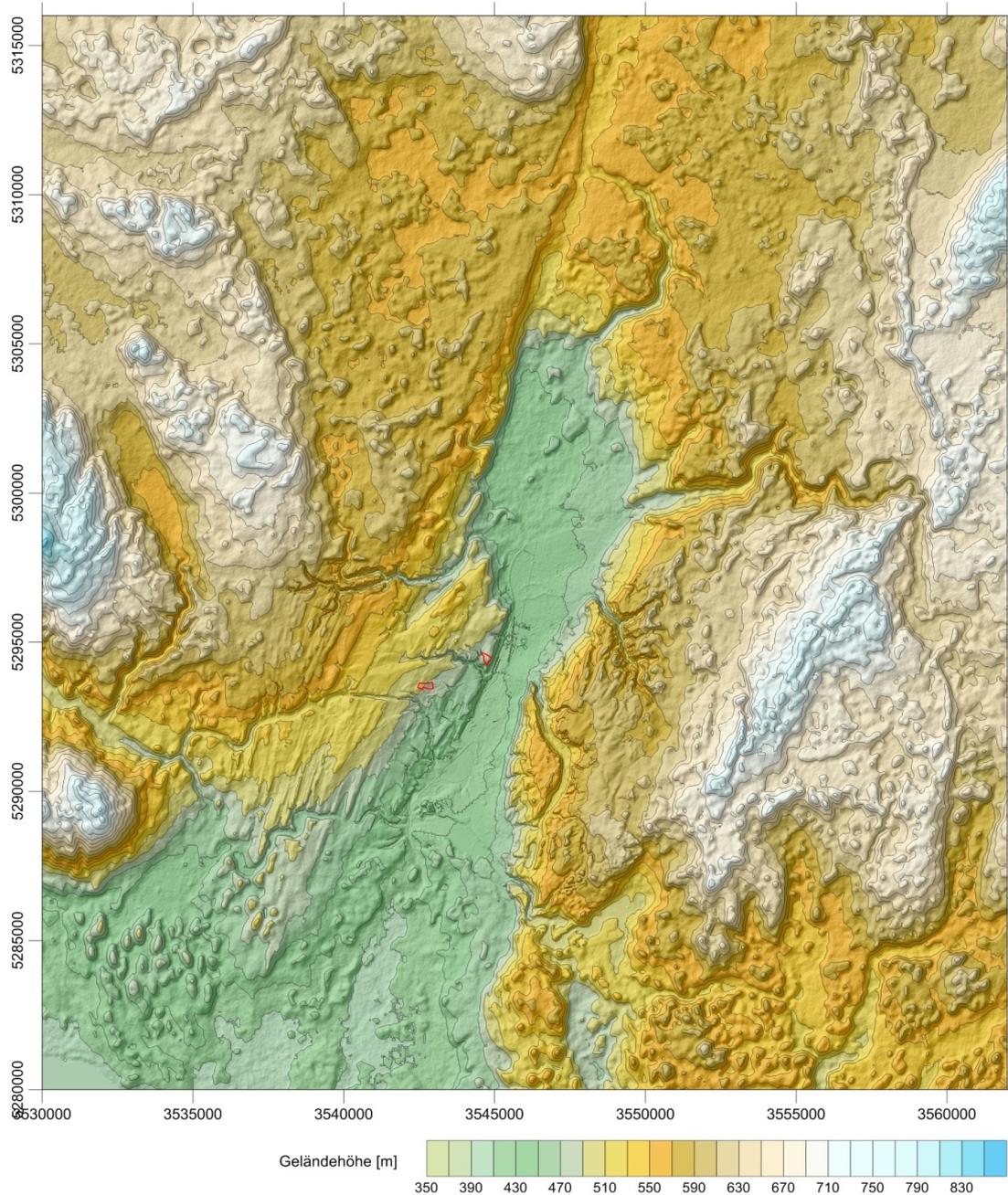


Abbildung 7-1: Simulationsgebiet mit Relief. Rot umrandet sind die geplanten Baugebiete (links – Hofgut, rechts – Oberer Büchelweg).

Für die Modellierungen wurde ein feines digitales Höhenmodell für die Gemarkung von Ravensburg zur Verfügung gestellt. Außerhalb der Gemarkung wurde auf Höhendaten der Satellitenbefliegung im 50 m-Raster zurückgegriffen. Diese wurde auf das 20 m-Raster interpoliert.

Jeder Rechenfläche von 20 m · 20 m wird neben der Geländehöhe eine Landnutzung „Wasser“, „Freifläche“, „Bebauung“ und „Bewaldung“ zugeordnet. Die Landnutzung ist neben dem Geländemodell die wichtigste Eingangsgröße für die Modellierung. Um die im 20 m-Raster auch kleinräumig stark variierenden Nutzungen und Oberflächeneigenschaften realistisch erfassen zu können, wurde die Landnutzung im Bereich des Stadtgebietes durch aktuelle GIS-basierte Realnutzungsdaten der Stadt Ravensburg erfasst. Im weiteren Umfeld wurde auf die Nutzungen des CORINE-Katasters zurückgegriffen.

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.

7.3 Ergebnisse für den Istzustand im größeren Raumbezug

In Abbildung 14-4 bis Abbildung 14-8 ist die zeitliche Entwicklung der Kaltluftabflüsse dargestellt. Die jeweils linke Abbildung zeigt die Mächtigkeit der fließenden Kaltluft. Die jeweils rechte Abbildung zeigt die Intensität der Strömung in Form einer Volumenstromdichte². Das ist der Volumenstrom der durch eine Fläche von 1 m Breite und der jeweiligen Kaltluflhöhe fließt. Zur besseren Orientierung ist die topografische Karte unterlegt. Das Bebauungsplangebiet ist rot eingerahmt.

Etwa zur Zeit des Sonnenuntergangs setzt die Kaltluftproduktion ein. In geneigtem Gelände setzt sich die Kaltluft in Bewegung, so dass sich hauptsächlich Hangabwinde entwickeln. Die abfließende Kaltluft sammelt sich bereits in kleinen Geländeeinschnitten und Tobeln und führt dort zu größeren Kaltluftmächtigkeiten als an den Hängen (vgl. Abbildung 14-4).

Nach einer Stunde füllt sich auch der Talgrund langsam mit Kaltluft durch die Abflüsse von den Hängen und aus den Tobeln (Abbildung 14-5). Eine talabwärts gerichtete Strömung hat sich jedoch noch nicht eingestellt.

Zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse (Abbildung 14-6) ist die Mächtigkeit im Tal auf ca. 50 m angestiegen. Die Kaltluft aus den höheren Lagen fließt immer noch in Richtung der Talagen ab, so dass sich in den Höhenlagen noch keine hohen vertikalen Mächtigkeiten ausbilden konnten. An der Westseite des Talgrundes setzt langsam der Talabwind ein.

Nach drei Stunden (Abbildung 14-7) hat sich der Talgrund mit Kaltluft gefüllt und reicht auf der westlichen Talseite bereits über die ersten Höhenlagen hinaus. Die östlichen Hänge ragen noch deutlich über die Kaltluft hinaus. Der Bergwind im Schussental hat sich auf der westlichen Talseite verstärkt. Der östliche Talbereich liegt noch im Zustrom der Hangabwinde von den östlichen Höhenzügen.

Im weiteren Verlauf der Nacht (Abbildung 14-8) steigt die Kaltluft im Schussental noch weiter an und erreicht Mächtigkeiten über 100 m. Im Westen ragen nur noch kleine Bereiche aus der Kaltluft des Schussentals heraus. Im Osten kann die Kaltluft aus den oberen Hanglagen immer noch

² Volumenstromdichte – gebildet aus dem Produkt aus vertikal gemittelter Fließgeschwindigkeit und Kaltluflhöhe.

ins Schussental abfließen. Der Talabwind hat sich auf der Westseite des Tals noch weiter intensiviert.

Die Ergebnisse decken sich weitgehend mit den Untersuchungen des REKLIBO- und REKLISCHUB-Projektes. In den Abend- und frühen Nachtstunden belüften zunächst die Hangabwinde den Talgrund, wobei deren Reichweite nicht den ganzen Talkörper ausfüllt. Wenn sich nach ca. zwei Stunden der Talgrund mit Kaltluft gefüllt hat, setzt der Schussentäler ein, der hauptsächlich auf der tiefer gelegenen und weniger bebauten Westseite fließt. Dieser Kaltluftstrom reicht bis über die westlichen Randhöhen hinaus und dominiert dort das Kaltluftgeschehen.

7.4 Situation im näheren Umfeld des Plangebiets

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kaltluftabflussberechnungen im Umfeld des Bebauungsplangebiets dargestellt. In Abbildung 7-2 sind die abendlichen Strömungsverhältnisse in Form eines Vektorplots dargestellt. Die Pfeile geben an, in welche Richtung die Strömung fließt; die Länge ist ein Maß für den Volumenstrom – also die Intensität der Strömung. Die Pfeile wurden aus Übersichtlichkeitsgründen nur in jeder dritten Rechenzelle (d.h. alle 60 m) dargestellt.

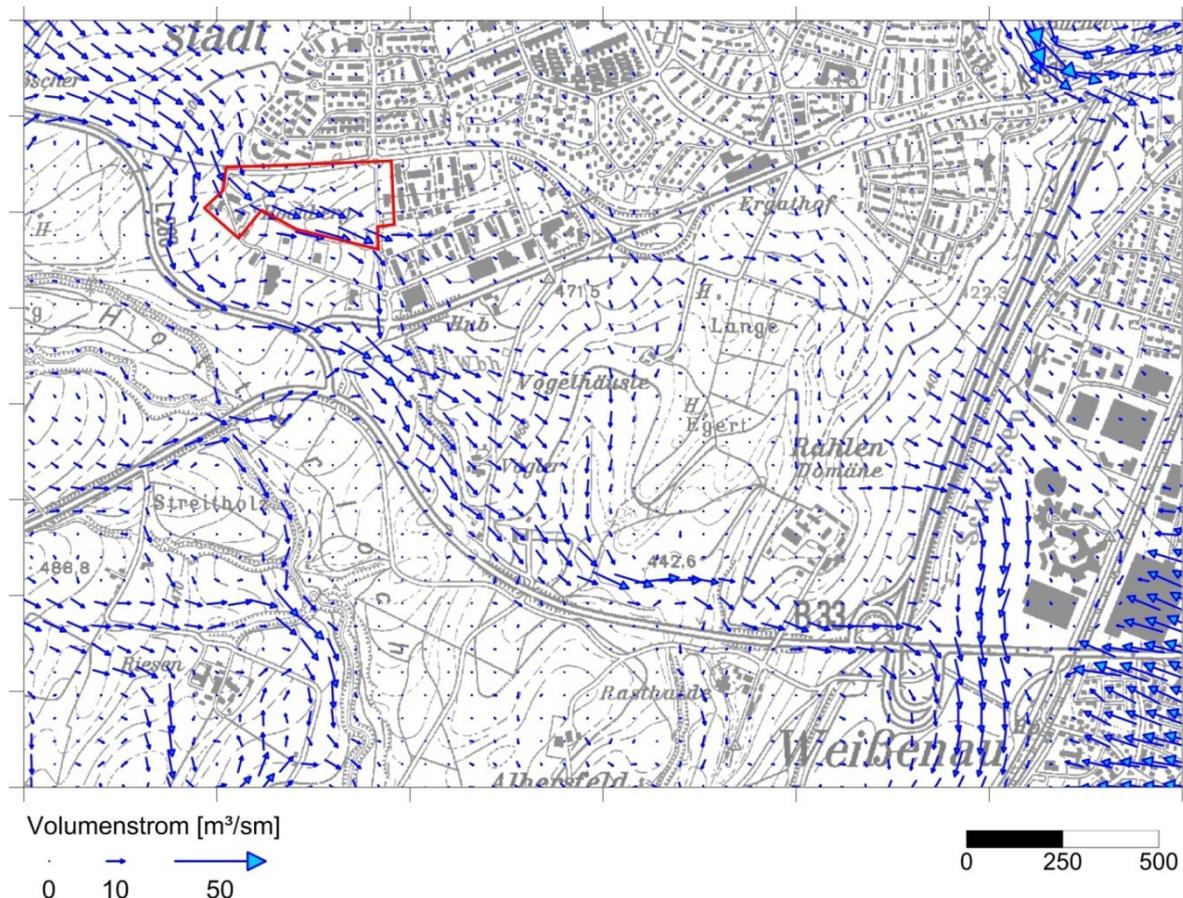


Abbildung 7-2: Volumenstrom 30 Minuten nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse, **Istzustand**.
 Schon relativ früh nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse wird das Plangebiet von einem Kaltluftstrom aus westlicher Richtung beeinflusst. Am Hofgut teilt sich der Strom in ein nach Süden abknickende und eine den Südteil des Plangebiets überstreichende Strömung. Im weiteren Verlauf

Die Situation im Planfall ist in Abbildung 7-4 dargestellt. Da die Kaltluftmächtigkeiten die Gebäude deutlich überragen, wird die Strömungsintensität im Planfall weniger beeinflusst. Signifikante Fernwirkungen ergeben sich nicht.

Die Intensität – ausgedrückt über den Volumenstrom – deckt sich nicht immer mit der Beobachtung. Ein vertikal mächtiger Kaltluftstrom transportiert zwar viel Kaltluft, bodennah kann davon aber relativ wenig spürbar sein. In Abbildung 7-5 sind exemplarisch Profile einer Kaltluftströmung für unterschiedliche Rauigkeiten dargestellt. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in diesem Beispiel beträgt 1 m/s, die Kaltluflhöhe 100 m und der jeweils daraus resultierende Volumenstrom durch eine 1 m breite Fläche $100 \text{ m}^3/(\text{sm})$. In den obigen Darstellungen wären alle Pfeile gleich lang, da der gleiche Volumenstrom vorhanden ist.

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 Kaltluflhöhe gefunden.

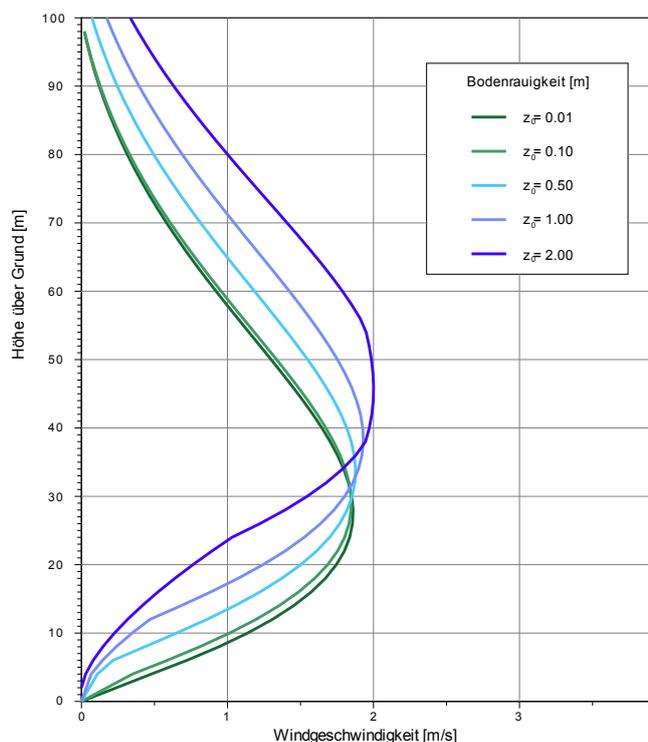


Abbildung 7-5: Typische Kaltluftabflussprofile für unterschiedliche Rauigkeiten

Im Anhang sind deshalb zusätzlich die Verhältnisse in 2 m über Grund dargestellt. Dabei wurde generell von den oben dargestellten Profilen ausgegangen. Im Wald und in Siedlungsbereichen sind die bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten gering, über Freiland entsprechend höher.

In Abbildung 14-9 sind oben die bodennahen Strömungsverhältnisse für den Istzustand eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse dargestellt. Die Windgeschwindigkeiten im unbebauten Plangebiet können im Westen etwa 2 m/s erreichen, im Osten sind sie dagegen vergleichsweise gering. Im Planfall (Bild unten) gehen die Windgeschwindigkeiten im Plangebiet deutlich

zurück. Durch Strömungsumlenkung am Westrand (Domäne Hofgut) wird die Umlenkung der Strömung geringfügig forciert. Zwischen B33 und Meersburger Straße gibt es eine Zone relativ mit hohen bodennahen Windgeschwindigkeiten. Auch auf Höhe der Einmündung der Alfons-Mauerer Straße in die Meersburger Straße schließt eine Zone mit vergleichsweise hohen Windgeschwindigkeiten an. Im Anschluss an das Gewerbegebiet an der Meersburger Straße stellen sich noch Bereiche mit reduzierter Windgeschwindigkeit zu Beginn der Kaltluftabflüsse ein, da durch die geplante Bebauung weniger Kaltluft in diesen Bereich geführt wird.

Zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse (Abbildung 14-10) sind die Verhältnisse noch mit dem vorangegangenen Termin nahezu identisch. Die wesentlichen Auswirkungen gibt es noch im Bebauungsplangebiet selbst. Die Unterschiede südlich der Meersburger Straße sind zurückgegangen.

Abbildung 14-11 zeigt die Kaltluftabflussverhältnisse 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftverhältnisse. Die Kaltluftmächtigkeiten sind deutlich angestiegen. Das Plangebiet ragt noch aus dem Einflussbereich des Schussentälers heraus und wird von Kaltluft aus Nordwesten überströmt. Die Kaltluftmächtigkeit liegt im Plangebiet zwischen 20 und 30 m. Das Geschwindigkeitsmaximum liegt bei ca. 10 m über Grund. Zwischen der Bebauung in 2 m über Grund wird die Strömung durch die Hindernisse abgebremst.

Unterschiede zwischen Istzustand und Planfall beschränken sich auf das Plangebiet selbst und die unmittelbar angrenzenden Bereiche südlich und östlich der geplanten Bebauung.

8 Auswirkungen der Planung

8.1 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 Süd- bis Süd-südwest. Reduktionen der Windgeschwindigkeit ergeben sich somit bei nördlichen Windrichtungen für das südlich angrenzende Gewerbegebiet und bei südlichen Windrichtungen für die nördlich angrenzenden Wohngebiete der Weststadt.

Bei windschwachen und wolkenarmen Verhältnissen liegt das Plangebiet im Zustrom von Kaltluft aus westlichen bis nordwestlichen Richtungen. Die nördlich gelegenen Wohngebiete werden somit nicht beeinflusst. In den östlich angrenzenden Wohngebieten und im südlich angrenzenden Gewerbegebiet wird die Durchlüftung in den Abend- und frühen Nachtstunden reduziert.

Im Gegensatz zum Talgrund des Schussentals sind die höher gelegenen Randzonen besser belüftet und weniger thermisch und lufthygienisch belastet. Eine Reduzierung der Durchlüftung führt deshalb nicht zu unakzeptablen Auswirkungen.

Thermische Verhältnisse

Durch Bebauung und Versiegelung ändern sich die Strahlungsumsetzungen. Auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche nehmen die Oberflächentemperaturen weniger zu als über versiegelten Oberflächen. Deshalb heizen sich Teilbereiche stärker auf als bisher. Es gibt aber auch Zonen, die durch die geplante Bebauung verschattet werden. In diesen Bereichen stellen sich kühlere Verhältnisse als im Istzustand ein. Es ergibt sich demnach eine stärkere Strukturierung. Insgesamt ist aber im Plangebiet von höheren Temperaturen als im derzeitigen Zustand auszugehen.

Bei nördlichen und südlichen Winden sind an den unmittelbar angrenzenden Randzonen der Wohnbebauung bzw. des Gewerbegebietes höhere Temperaturen zu erwarten. Bei Strahlungswetterlagen werden im Plangebiet selbst bis zu 3 K, an der Peripherie bis zu 1,5 K höhere Lufttemperaturen erwartet.

8.2 Lufthygiene

Die Luftqualität in der Höhenlage ist aufgrund des Abstands zu den Quellen im Talbereich deutlich besser.

Durch die geplante Bebauung werden durch Quell- und Zielverkehre sowie Hausbrand zusätzlich Luftschadstoffe emittiert. Diese Zusatzbelastung ist aber vergleichsweise gering und kann durch zusätzliche Maßnahmen noch reduziert werden. Die Grenzwerte der 39. BImSchV werden deutlich unterschritten.

9 Einwirkungen auf das Plangebiet

9.1 Klima

Das geplante Baugebiet weist, da oberhalb des Schussentals gelegen, ausgeglichene klein-klimatische Verhältnisse auf als der Talgrund. Insbesondere thermische Belastungen treten seltener auf. Auch die Belüftung in der Höhenlage ist besser als in der Tallage.

9.2 Lufthygiene

Die Luftschadstoffbelastung ist aufgrund des Abstands zu relevanten Quellen (Bundesstraßen, Industrie) eher gering. Sie wird hauptsächlich durch die lokalen Quell-/Zielverkehre und den eigenen Hausbrand sowie den der Nachbarn bestimmt. Auch die Emissionen des Gewerbegebiets beschränken sich im Wesentlichen auf die Quell-/Zielverkehre und den Hausbrand.

10 Bewertung und Planungshinweise

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

Da es aufgrund mangelnder Bewertungsmaßstäbe schwierig ist Auflagen festzusetzen, gilt ein Minimierungsgebot, d.h. unerwünschte Auswirkungen sollen in angemessenem Umfang minimiert werden.

Planungsempfehlungen Durchlüftung

- Das Hofgut liegt im Hauptstrom der abend- und nächtlich zuströmenden Kaltluft. Um den Kaltluftstrom nicht wesentlich stärker zu schwächen als dies die derzeitige Hofstelle tut, sollte die Bebauung an dieser Stelle moderat erfolgen.
- Im Süden ist – wie geplant – eine Grünzäsur zwischen geplanter Bebauung und Gewerbegebiet einzurichten. Diese leitet Kaltluft in das Gewerbegebiet und den östlich angrenzenden Siedlungsbereich.

Planungsempfehlungen thermische Verhältnisse

- Die Versiegelung sollte so gering wie nötig gehalten werden. Dazu trägt die Einrichtung von Tiefgaragen bei. Noch erforderliche, wenig frequentierte Stellplätze sollten mit Rasenbausteinen befestigt werden.
- Als Minderungsmaßnahme ist auch die vorgesehene Dachbegrünung hilfreich. Diese reduziert die Oberflächentemperaturen im Dachniveau spürbar. Ferner wird Niederschlagswasser zurückgehalten, so dass für 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. Eine zentrale Versorgung ist Einzelheizungen vorzuziehen. Ebenso sind Gasheizungen Öl- und Festbrennstoffheizungen vorzuziehen. Bei der Feuerung mit Holzpellets oder Stückholz ist auf eine große Ableithöhe zu achten, da bei Schwachlast oder Glutunterhalt Geruchsprobleme nicht auszuschließen sind.
- Zur Reduzierung des Quell- und Zielverkehrs ist auf einen guten Anschluss an das ÖPNV-Netz und an das Radwegenetz zu achten.
- 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.
- Emissionen gibt es auch während der Bauphase. Emissionsarme Baumaschinen mit Partikelfiltern helfen die Rußbelastung in der Bauphase 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.

11 Zusammenfassung

Die Stadt Ravensburg plant im Südwesten der Weststadt eine landwirtschaftlich genutzte Fläche zwischen Wohnbebauung im Norden und Osten und einem Gewerbegebiet im Süden in Wohnnutzung zu überführen.

Der Raum Ravensburg ist, wie viele andere Städte in Tal- und Kessellagen, wärmebelastet. Die höchsten Belastungen treten im Stadtkern aufgrund der dichten Bebauung und in den Gewerbegebieten aufgrund der hohen Versiegelung auf. Die Luftbelastung im Talgrund setzt sich aus den Emissionen des Kfz-Verkehrs, den Emissionen von Gewerbe und Industrie und dem Hausbrand zusammen. Aufgrund der niedrigen Freisetzungshöhe und dem relativ hohen Verkehrsaufkommen stellt der Kfz-Verkehr die wesentliche Schadstoffquelle dar.

Zu klären ist, inwieweit die Auswirkungen des Baugebiets in die Belastungssituation eingreifen. Hier müssen speziell die Strömungsverhältnisse bei austauscharmen Wetterlagen berücksichtigt werden. Bei windschwachen und wolkenarmen Verhältnissen sorgen hauptsächlich Kaltluftabflüsse für die Durchlüftung des Talraumes.

Wie schon Untersuchungen von Prof. Schwab im Rahmen der REKLIBO- und des REKLISCHUB-Projekts gezeigt haben, wird die Durchlüftung in den Abend- und frühen Nachtstunden durch vor allem durch die ins Schussenbecken einmündenden Seitentäler und Tobel bewirkt. Auch Hangabwinde liefern einen Kaltluftbeitrag. Sie besitzen jedoch nur geringe Mächtigkeiten und reichen nicht aus, um das Tal vollständig mit Kaltluft aufzufüllen. Etwa zwei Stunden nach Sonnenunter-

gang setzt der „Schussentäler“, ein Bergwind der aus dem Kaltlufteinzugsgebiet des Schussenbeckens gespeist wird, ein.

Das überplante Gebiet wird derzeit landwirtschaftlich genutzt. Die Fläche hat deshalb die Eigenschaft, Kaltluft zu produzieren und dient ferner als Luftleitbahn für größerskalige Luftströme. Um das Strömungsgeschehen zu erfassen, wurden Modellrechnungen mit einem Kaltluftabflussmodell für den Istzustand und den Planfall durchgeführt. Weiterhin wurden Messungen im Umfeld des Plangebiets und im Plangebiet selbst durchgeführt.

Im Plangebiet selbst stellen sich bei Strahlungswetterlagen in den Abendstunden westliche Winde ein. Dabei treten bodennah Windgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 2 m/s am Westrand und 0,2 m/s am Ostrand auf. Die Intensität und Fließrichtung der Strömung weist darauf hin, dass es sich nicht um lokal gebildete Kaltluft handelt. Die Modellrechnungen zeigen, dass es sich um Kaltluft handelt, die nordwestlich des Plangebiets entsteht und die Weststadt zwischen Waldgebieten und Siedlungsgebieten im Süden umströmt. Die Gebäude des Hofguts und Baumbestand spalten die Strömung zu Beginn der Nacht in einen südlich vorbeifließenden Teil, der unbeeinflusst bleibt und einen Teilstrom über das Plangebiet auf. Bei geringen Kaltluftmächtigkeiten in den Abendstunden führt dies im Plangebiet selbst zu einer deutlichen Reduktionen der Windgeschwindigkeit. Davon werden auch das südlich angrenzende Gewerbegebiet und die östlich anschließende Wohnbebauung tangiert.

Etwa 2 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang hat sich das Schussental mit Kaltluft gefüllt, die dann auch die westlichen Randlagen erreicht. Das Plangebiet liegt aber noch außerhalb des Einflusses, so dass hier im Laufe der Nacht die westliche Strömung in das Plangebiet einfließt.

Spürbare Auswirkungen auf die hauptsächlich nördlich der B33 verlaufenden Kaltluftabflussbahn ergeben sich nicht. Ebenso sind keine Auswirkungen auf das Stadtgebiet im Talgrund zu erwarten.

Aus Sicht des Stadtklimas und der Lufthygiene sind keine grundsätzlichen Bedenken gegen die Planung im Hinblick auf unzumutbare Beeinträchtigungen der gesunden Wohnverhältnisse zu erwarten. Zur Minimierung unerwünschter Effekte sind die Planungsempfehlungen in Kapitel 10 zu berücksichtigen.

Freiburg, 30. November 2012

Dr. Rainer Röckle
Diplom-Meteorologe

Claus-Jürgen Richter
Diplom-Meteorologe

"Gefördert aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung"

12 Literatur

- 39. BImSchV:** Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) 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 Naturschutz. – 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.; Höpfe, P., 1987:** Thermal comfort of man in different urban environments. Theor. Appl. Cli
- Mühr, A., 2012:** 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 Hindernisumströmung. 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).

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

13 Anhang A

13.1 Betrieb einer einfachen Funkwetterstation

Ziel

Zur Bestimmung der Häufigkeit und Intensität potentiell auftretender Kaltluftabflüsse in Bodennähe wurde eine einfache Funkwetterstation eingesetzt. Sie zeichnet Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie Lufttemperatur und Luftfeuchte in 2 m über Grund kontinuierlich auf.

Geräte und ihre Funktionsweise

Bei den festen Funkwetterstationen handelt es sich um ein Produkt der Firma TFA Dostmann mit der exakten Bezeichnung „NEXUS Funkwetterstation“. Es handelt sich dabei um ein Geräteset bestehend aus einer Basisstation, einem kombinierten Windsensor bestehend aus Windfahne und Schalenkreuzanemometer und einem Thermohygrometer. Die Wetterstation ist für den Einsatz im Laienbereich bestimmt, besitzt aber im Gegensatz zu vergleichbaren Geräten bereits einen relativ umfangreichen Datenspeicher.

Die Station wird mit herkömmlichen Batterien betrieben. Die Sensoren übertragen die erfassten Daten über eine Funkverbindung direkt an die Basisstation. Dort werden die Daten verarbeitet, auf einem Ringspeicher abgelegt und auf einem Display ausgegeben. Ein Datensatz enthält alle von den Sensoren gemessenen Daten, eine Reihe errechneter Werte (Durchschnittswerte, Maximum- und Minimumwerte, abgeleitete Werte etc.) sowie einen Datums- und Zeitstempel. Die Basisstation verfügt über eine sogenannte „Funkuhr“, d.h. in regelmäßigen Intervallen werden Uhrzeit und Datum über Langwelle mit einer Atomuhr der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig synchronisiert.

Für den Einsatz im freien Gelände wurde ein Geräteträger verwendet, der vom Fach Geographie der Pädagogischen Hochschule Weingarten entwickelt und hergestellt wurde. Am oberen Ende des Masts wird der Windsensor mit Hilfe seiner Schraubvorrichtung angebracht und mit einem Kompass eingenuordnet. Unterhalb des Windsensors wird der Thermo-Hygrometer an den Mast geschraubt. Eine weiße Kunststoffschale schützt ihn vor Niederschlag und dient gleichzeitig als provisorischer Strahlungsschutz. Auf halber Höhe wird ein Elektronik-Schutzgehäuse an den Mast geschraubt, in dem die Basis der Wetterstation wasserdicht untergebracht werden kann.

Ansicht des gesamten Geräteträgers



Basisstation im Elektronik-Schutzgehäuse



Abbildung 13-1: Ansichten der Funkwetterstation „Stadtblick“.

Konfiguration der Station, Wartungsroutinen und Datensicherung

Die Funkwetterstationen wurden so konfiguriert, dass sie in 10-Minuten-Intervallen alle gemessenen und errechneten Daten speicherten. Datum und Uhrzeit wurden über Funk synchronisiert und so eingestellt, dass stets die Mitteleuropäische Sommerzeit verwendet wurde.

Die Station wurde in Intervallen von rund zwei Wochen oder bei Bedarf angefahren. Dabei wurden sämtliche Geräte gereinigt und auf ihre Funktionsfähigkeit hin überprüft. Standsicherheit und Ausrichtung des Geräteträgers wurden kontrolliert.

Das Auslesen der Daten fand über eine zum Lieferumfang der Station gehörende Software und USB-Datenkabel statt. Die Software liest den kompletten Ringspeicher aus und legt die Daten im dBASE-Format auf dem Notebook/PC ab.

Kritische Reflexion und Anmerkungen

Die oben beschriebene Messmethodik beinhaltet einige Besonderheiten, die es bei der Auswertung der erfassten Daten und gegebenenfalls bei Folgemessungen zu beachten gilt.

Die Sensoren der Funkwetterstationen können nicht geeicht werden. Es kann zwar von einer entsprechenden Prüfung während des Herstellungsprozesses ausgegangen werden. Eine Justierung im wissenschaftlichen Sinn ist aber nicht möglich. Somit können die Daten verschiedener Messstationen nur unter Vorbehalt miteinander verglichen werden. In diesem Zusammenhang muss insbesondere die Erfassung der Lufttemperaturen betrachtet werden. Zudem verfügt der Thermo-Hygro-Sender von Haus aus außer seinem eigenen Gehäuse über keinen Strahlungsschutz. Die oben beschriebene Plastikschale eignet sich nur bedingt für den Strahlungsschutz und ist vor allem für den Schutz vor Niederschlag vorgesehen.

Der Windsensor kann die Windrichtung lediglich in 22,5°-Sektoren erfassen. In Hinblick auf die gewählten Formen der Datendarstellung muss dies allerdings nicht als Einschränkung verstanden werden. Von Vorteil ist hingegen, dass die beweglichen Teil des Windsensors relativ leicht gebaut sind und somit auch vergleichsweise geringe Luftbewegungen erfassen können.

Trotz der beschriebenen Einschränkungen haben sich die Funkwetterstationen mit ihrem großen Funktionsumfang und der Verwendung in Kombination mit den entwickelten Geräteträgern für die vorliegende Zielsetzung in vorausgegangenen Projekten (REKLIBO, REKLISCHUB) als gut geeignet erwiesen.

Grafische Aufbereitung der Daten

Die Visualisierung der Daten erfolgte mit von der PH Weingarten entwickelten Algorithmen. Dabei kam die Programmiersprache IDL zum Einsatz. Die Darstellungsformen sind im Wesentlichen:

- Windrosen zur Darstellung der statistischen Häufigkeiten von Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen (vgl. z.B. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)
- Einfache Liniendiagramme zur Darstellung von Tagesgängen der gemessenen Daten (vgl. z.B. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

13.2 Handmessungen

Ziel

Um das Beobachtungsnetz zu verdichten, wurden zusätzlich Handmessungen durchgeführt. Dabei wurden an festgelegten Standorten Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Lufttemperatur in 2 m über Grund an ausgewählten Messtagen zu ausgewählten Messzeiten erfasst.

Geräte und ihre Funktionsweise

Für die Erfassung der Windgeschwindigkeit wurde ein Handanemometer vom Typ „Windmaster 2“ der Firma Kaindl electronics eingesetzt. Bei diesem Schalenanemometer werden über ein Display unter anderem die aktuelle Windgeschwindigkeit und die Durchschnitts- und Maximalgeschwindigkeit des laufenden Erfassungszeitraums angezeigt. Das Gerät verfügt über keinen Speicher zur Aufzeichnung von Datenreihen.

Die Lufttemperaturen wurden mit einem sogenannten Präzisions-Sekundenthermometer der Firma Greisinger erfasst. Dabei handelt es sich um ein elektronisches Thermometer, das mittels eines Messfühlers die Lufttemperatur besonders schnell erfassen kann. Das Gerät verfügt über keinen Speicher zur Aufzeichnung von Datenreihen.

Die Windrichtung wurde erfasst, in dem die Richtung der Zugbahn von Seifenblasen mit einem Kompass ermittelt wurde.

Geräteträger wurden aus einfachen Holzplatten hergestellt. An diese sogenannten „Messlatten“ konnten Anemometer und Temperaturmessfühler in zwei Meter Höhe angebracht werden (Standardmesshöhe). Die Basis des Sekundenthermometers wird auf halber Höhe an der Messlatte befestigt. Im oberen Bereich befindet sich zudem ein Ausleger, an dem der Seidenfaden für die Bestimmung der Windrichtung angebracht ist.

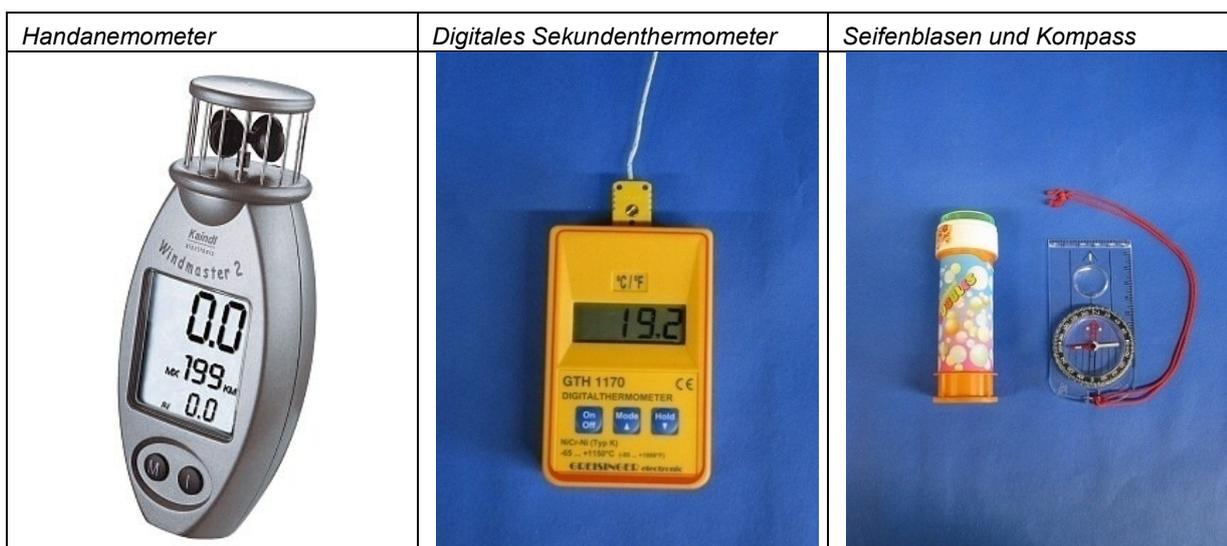


Abbildung 13-2: Während der Handmessungen verwendete Messgeräte.

Vorbereitung der Handmessungen

Vor Beginn der Messungen wurden die Studierenden theoretisch und praktisch in Technik und Verfahren der Handmessungen eingeführt. Besonderes Augenmerk lag dabei einerseits auf einem möglichst hohen Standardisierungsniveau der Datenerhebung, um die spätere Vergleichbarkeit der Messergebnisse sicherzustellen. Andererseits wurden die Messteams in die Planung der Messkonzepte (Standorte, Messzeiten etc.) eingebunden, was zu einem tieferen Verständnis des Untersuchungsraums und der dort zu erwartenden geländeklimatologischen Phänomene führte. Vor diesem Hintergrund waren die Messteams in der Lage, neben der quantitativen Erfassung mit Hilfe der Messgeräte auch relevante Umgebungseinflüsse (Beschattungseffekte, Bewölkung, übergeordnete Winde, Verkehr etc.) zu erkennen und zu protokollieren. Dadurch konnte somit vor Ort gegebenenfalls auf entsprechende Vorkommnisse reagiert werden (z.B. Wiederholung der Messung bei offensichtlicher starker Beeinflussung durch vorbeifahrende Lastwagen, etc.).

Die Messzeiten wurden so festgelegt, dass eine Messung vor Sonnenuntergang, eine zur Zeit des Sonnenuntergangs und eine nach Sonnenuntergang stattfinden konnte.

Die Messungen fanden während windschwacher Strahlungswetterlagen statt.

Bei der Wahl der Standorte wurde darauf geachtet, dass für einen kompletten Messdurchgang nicht mehr als 1 Stunde benötigt wurde. Somit ist eine gewisse Vergleichbarkeit der erfassten Daten zwischen den einzelnen Standorten gewährleistet.

Durchführung der Handmessungen

Die Datenerfassung wurde an jedem Standort in exakt gleicher Weise durchgeführt. Im Folgenden soll der typische Ablauf pro Standort erläutert werden.

- Positionierung der „Messlatte“ und Anbringen der Messgeräte, Vorbereitung des Standortprotokolls
- Funktionsprüfung der Messgeräte und Herstellung des Ausgangszustands
- Beginn der Messung
 - Protokollierung der Uhrzeit
 - Protokollierung der Lufttemperatur in 60-Sekunden-Intervallen
 - Protokollierung der Windrichtung mittels Seifenblasen/Seidenfaden und Kompass in 60-Sekunden-Intervallen
- Nach einer Messzeit von 3 Minuten werden am Anemometer Durchschnitts- und Maximalgeschwindigkeiten abgelesen und protokolliert. Die protokollierten Temperaturen und Windrichtungen werden gemittelt.
- Während der Messung werden relevante Beobachtungen protokolliert.

Verarbeitung und Sicherung der Daten

Nach der Durchführung der Handmessungen wurden die auf den Protokollen erfassten Daten für eine flexible Weiterverarbeitung in Tabellenform digitalisiert.

Kritische Reflexion und Anmerkungen

Die oben beschriebene Messmethodik beinhaltet einige Besonderheiten, die es bei der Auswertung der erfassten Daten und gegebenenfalls bei Folgemessungen zu beachten gilt.

Die Zuverlässigkeit der Datenerfassung hängt in diesem Fall in erster Linie von einer besonders sorgfältigen und gewissenhaften Anwendung der Methodik ab. So ist beispielsweise das Anemometer aufgrund seiner Leichtläufigkeit vergleichsweise anfällig hinsichtlich Eigenbewegungen oder Erschütterungen. Auch beim Temperaturmessfühler muss darauf geachtet werden, dass eine Beeinflussung durch Abwärme des Messpersonals weitestgehend ausgeschlossen wird. Die Erfassung der Windrichtung mittels Kompasspeilung setzt den sicheren Umgang mit diesem Werkzeug voraus.

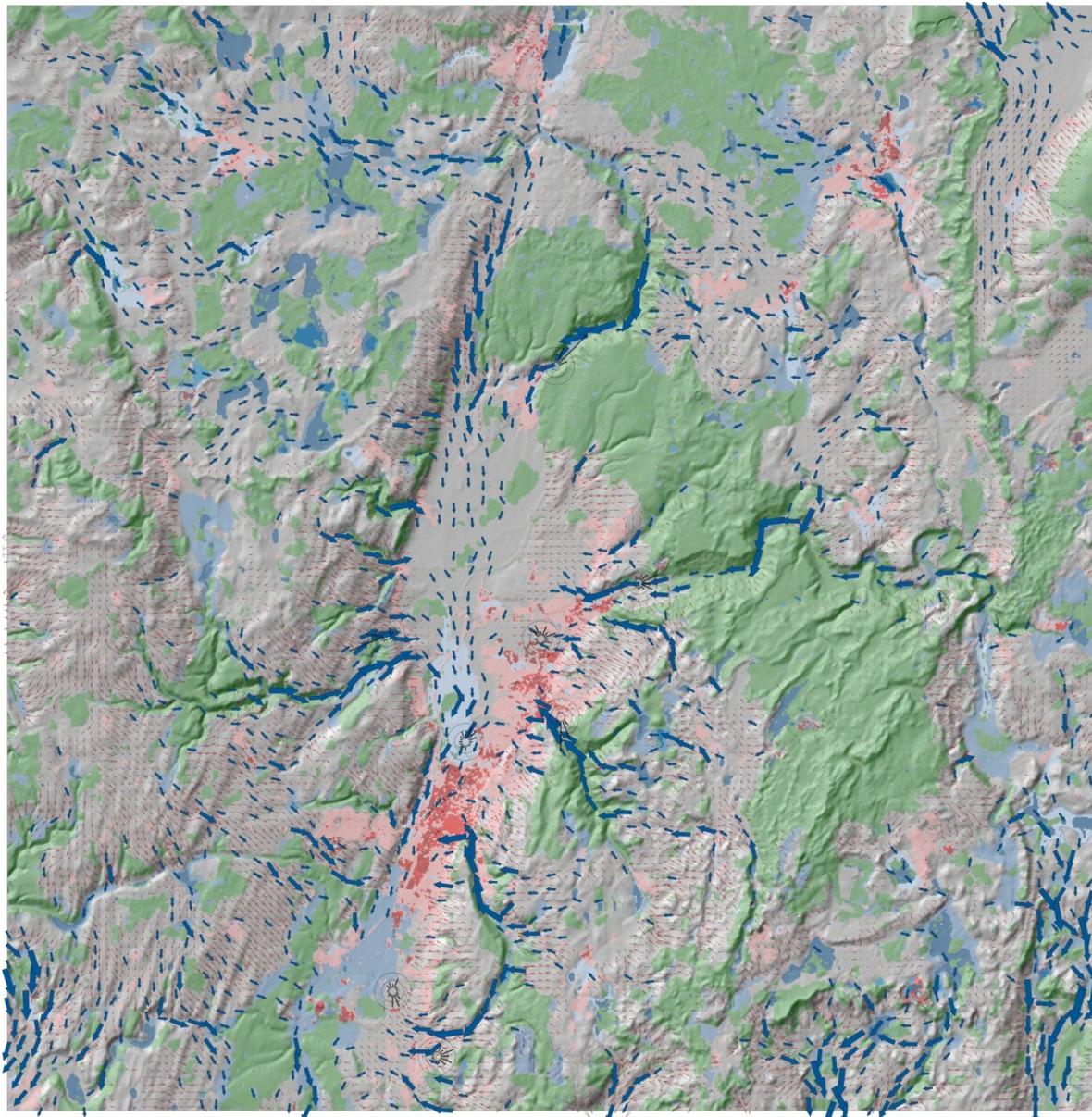
Aufgrund der relativ kurzen Messdauer pro Standort müssen Durchschnitts- und Maximalwerte mit einer gewissen Vorsicht betrachtet werden. Auch der zeitliche Versatz zwischen den Messungen an den Einzelstandorten birgt ein gewisses Maß an Zufälligkeit, was bei der Auswertung der Daten zu berücksichtigen ist.

Das Erkennen und Protokollieren von Umgebungseinflüssen ist äußerst wichtig für eine spätere Bewertung der erfassten Daten und setzt ein gewisses Maß an geländeklimatologischem Hintergrundwissen voraus. Bei der Auswertung der Messergebnisse wurde daher mit ganz besonderer Sorgfalt auf die Plausibilität der Daten geachtet.

Trotz vergleichsweise großem personellem und zeitlichem Aufwand können mit dieser Messmethodik dennoch einfach, effizient und flexibel wichtige geländeklimatologische Daten im Gelände erhoben werden.

14 Anhang B

Abbildungen



KlimaAtlas Bodensee-Oberschwaben

Analysekarte A3b

Klimaanalysekarte

Die Uebersichtskarte der Klimaanalyse zeigt die Landnutzung und gibt Informationen zu potentiellen Kaltluftbewegungen und Kaltluftstaugebieten. Die Angaben werden ggf. ergänzt durch die Darstellung gemessener Starkewindrosen.

Legende

Landnutzung

- Siedlung (dicht bebaut)
- Siedlung (locker bebaut)
- Wald
- Grosse Wasserläufe
- Industrieflächen
- Gleisanlagen
- Unversiegelte Freiflächen
- Versiegelte Freiflächen
- Gewässer

Luftaustausch

Bergwindssystem: Intensiver Kaltluftstrom
Volumenstromdichte [$m^{-3}/(ms)$]
nach 2 Stunden Simulationszeit

- ↑ > 15 - 30
- ↑ > 30 - 60
- ↑ > 60 - 120
- ↑ > 120

Hangwindssysteme:
Windgeschwindigkeit in 2 m ueber Grund [m/s]
nach 1 Stunde Simulationszeit

- ↑ > 0.3 - 0.5
- ↑ > 0.5 - 1.0
- ↑ > 1.0 - 2.0
- ↑ > 2.0 - 3.0
- ↑ > 3.0

Potentielle Kaltluftstaubereiche

- Kaltluftstau reliefbedingt
- Kaltluftstau an Wald- und Siedlungsrandem
- Kaltluftstau an Siedlungsrandem

Windrichtungshaeufigkeiten Windschwache Strahlungsnaechte



0 2.5 5.0 km

Datengrundlage:
Digitales Geländemodell (DGMS): Copyright Landesvermessungsamt Baden-Wuerttemberg (www.lw-bw.de) Az.: 2951-9-1/19 (28.03.2007),
Digitales Geländemodell (SRTM50): frei verfügbare Fernerkundungsdaten,
Shuttle Radar Topography Mission - SRTM, 2000.
Landnutzungsdaten: Landat TMS, Ebene 3, 1990/1997.
Kaltluftbewegungen: Modellierung mit KLAM_21, Version 2.00b, DWD.
Bearbeitung und Kartographie: Schwab, 2009.



Abbildung 14-1: Klimaanalysekarte Raum Schussenbecken (REKLIBO)

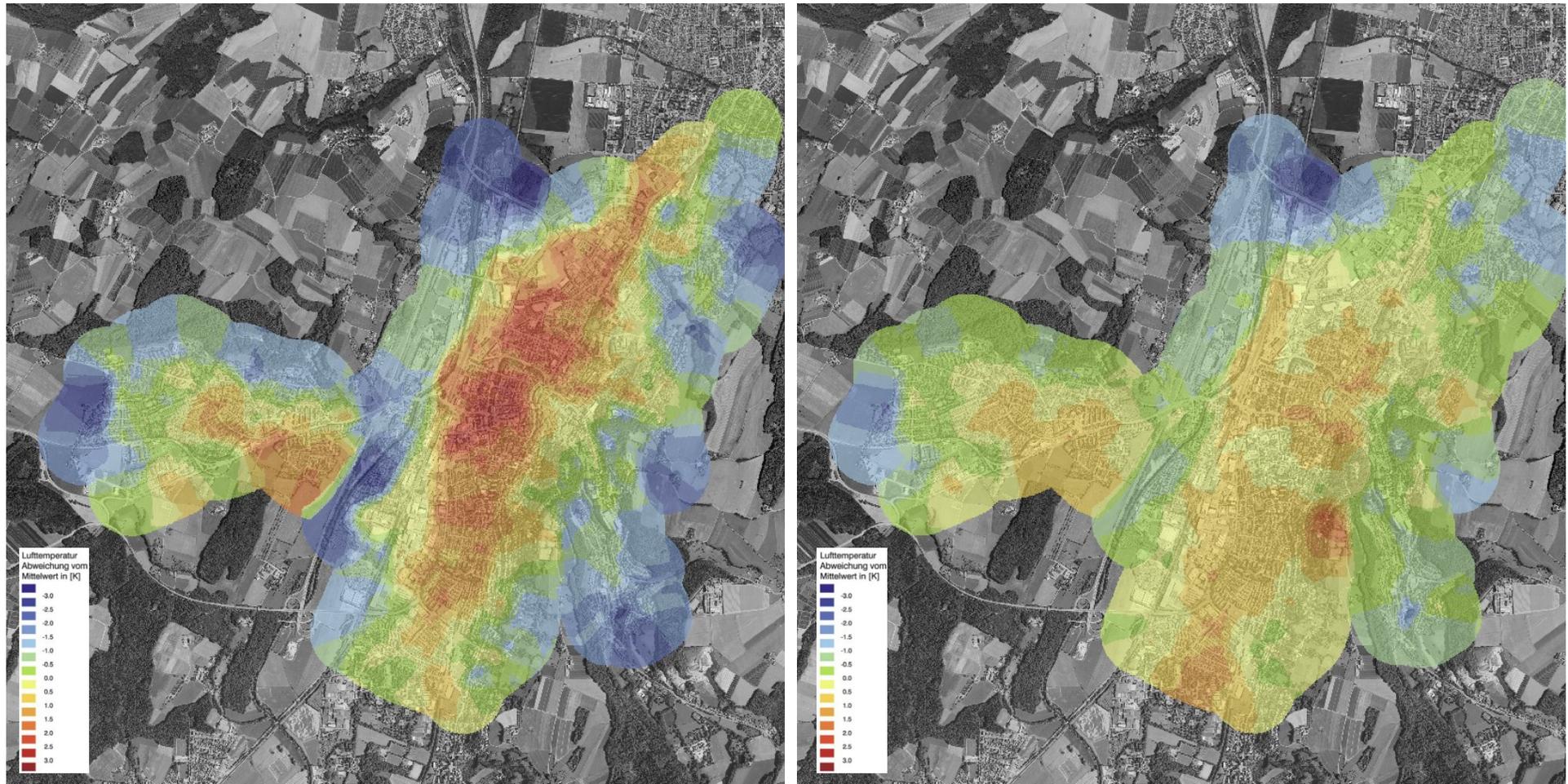


Abbildung 14-2: Thermalkartierung vom 26.07.2009 gegen 22:30 Uhr (links) und vom 27.07.2009 gegen 5:20 Uhr (rechts)

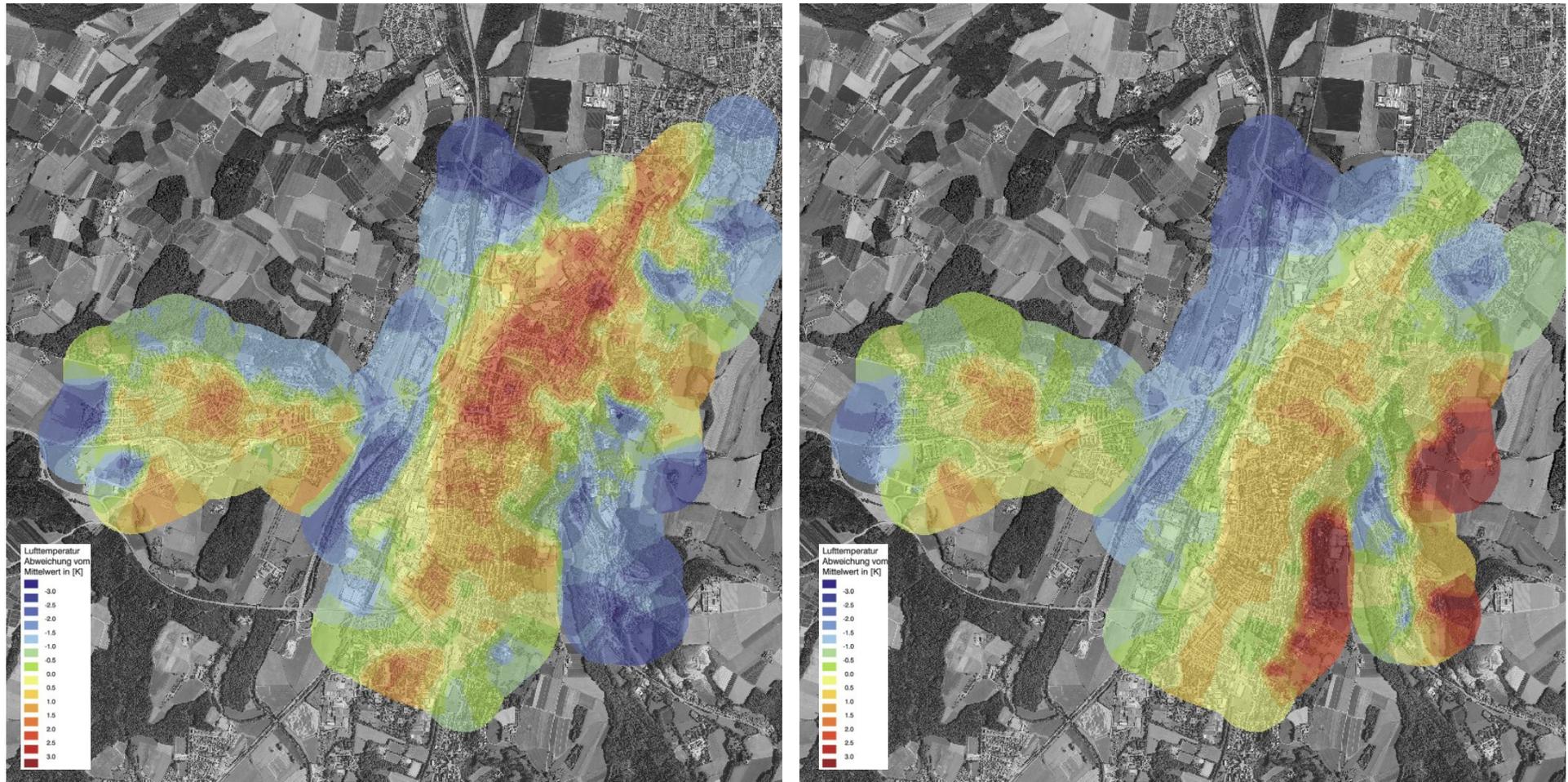


Abbildung 14-3: Thermalkartierung vom 21.07.2009 gegen 22:30 Uhr (links) und vom 22.07.2009 gegen 5:20 Uhr (rechts)

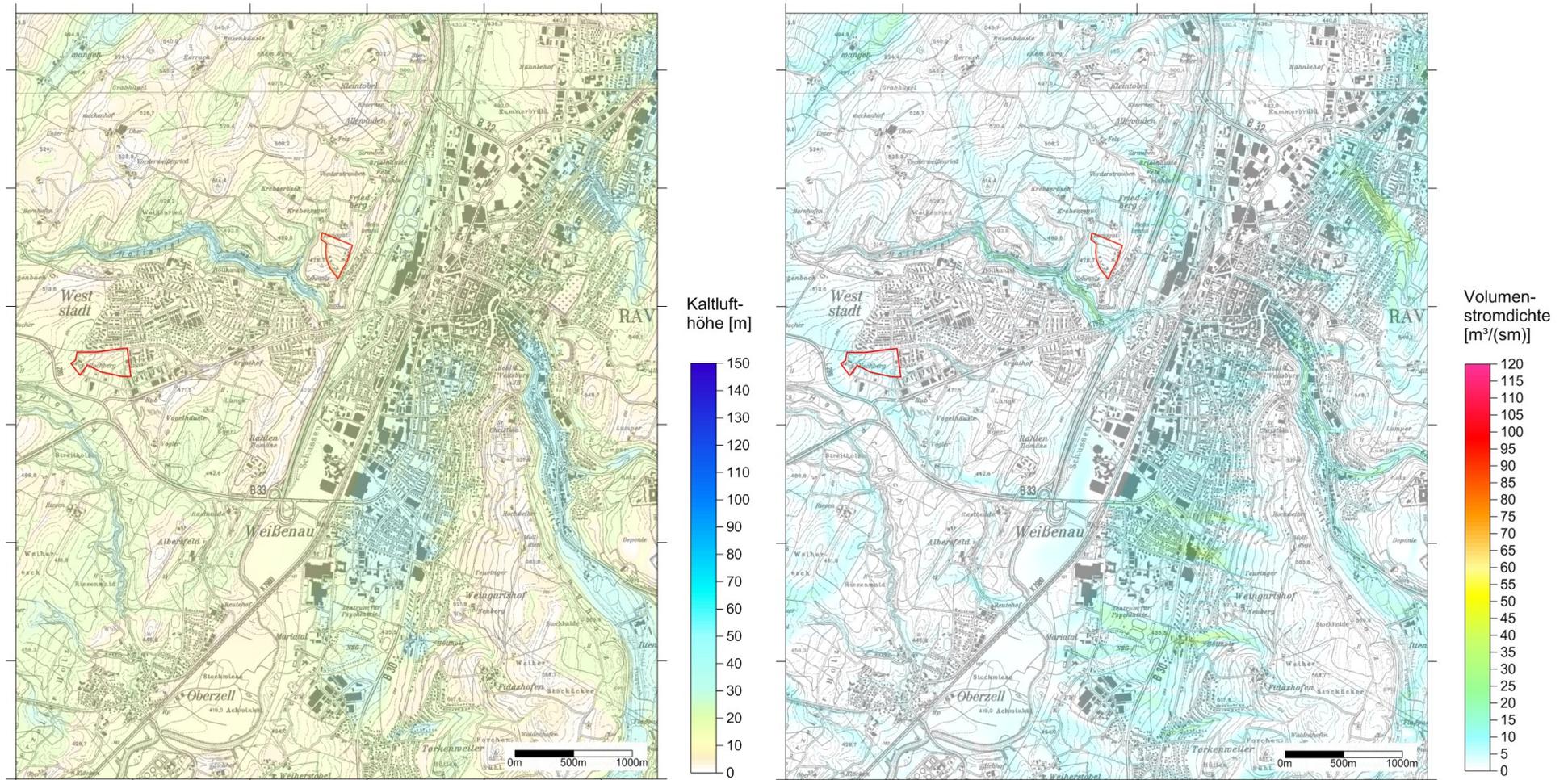


Abbildung 14-4: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) 30 Minuten nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse

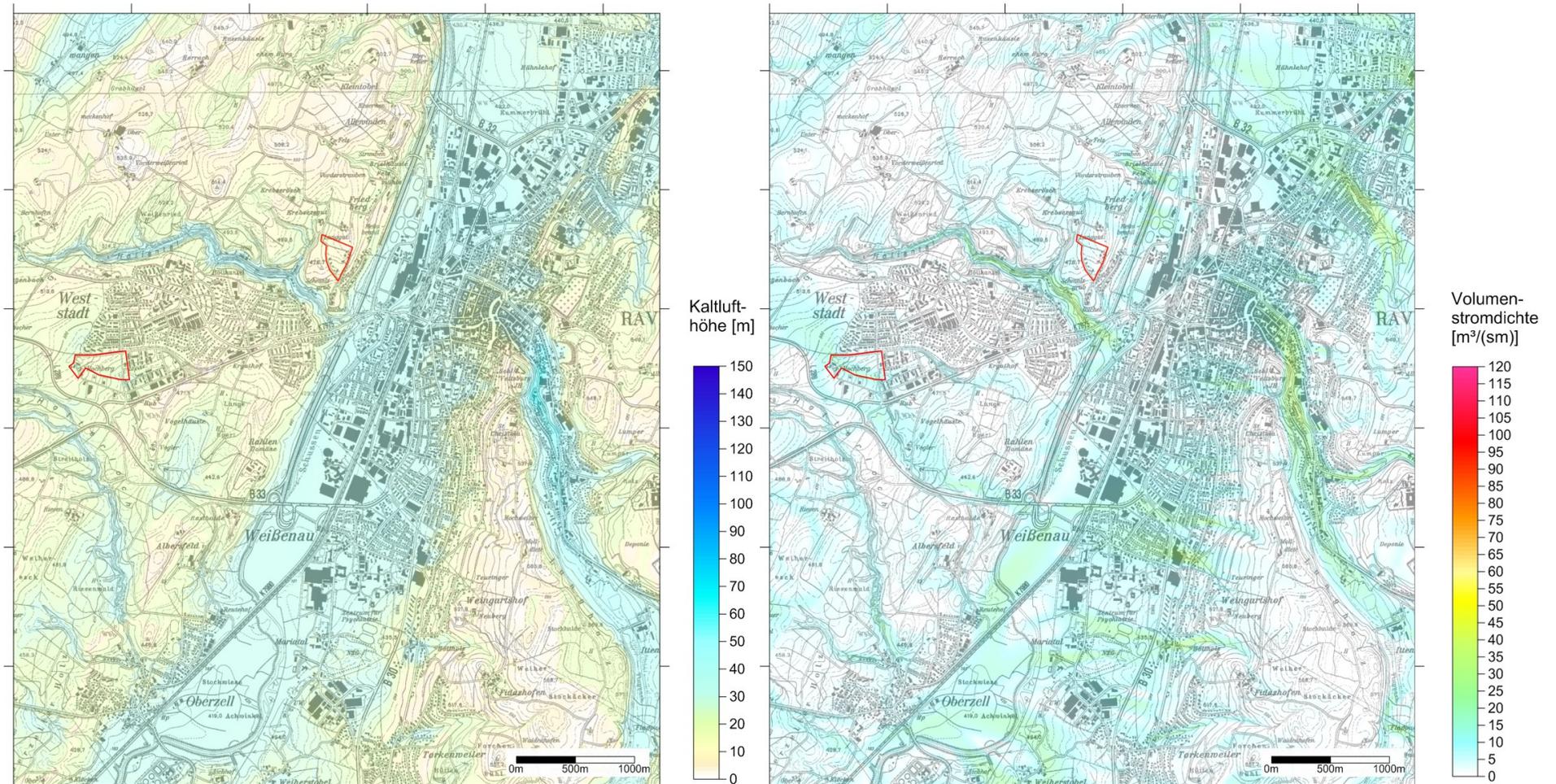


Abbildung 14-5: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse

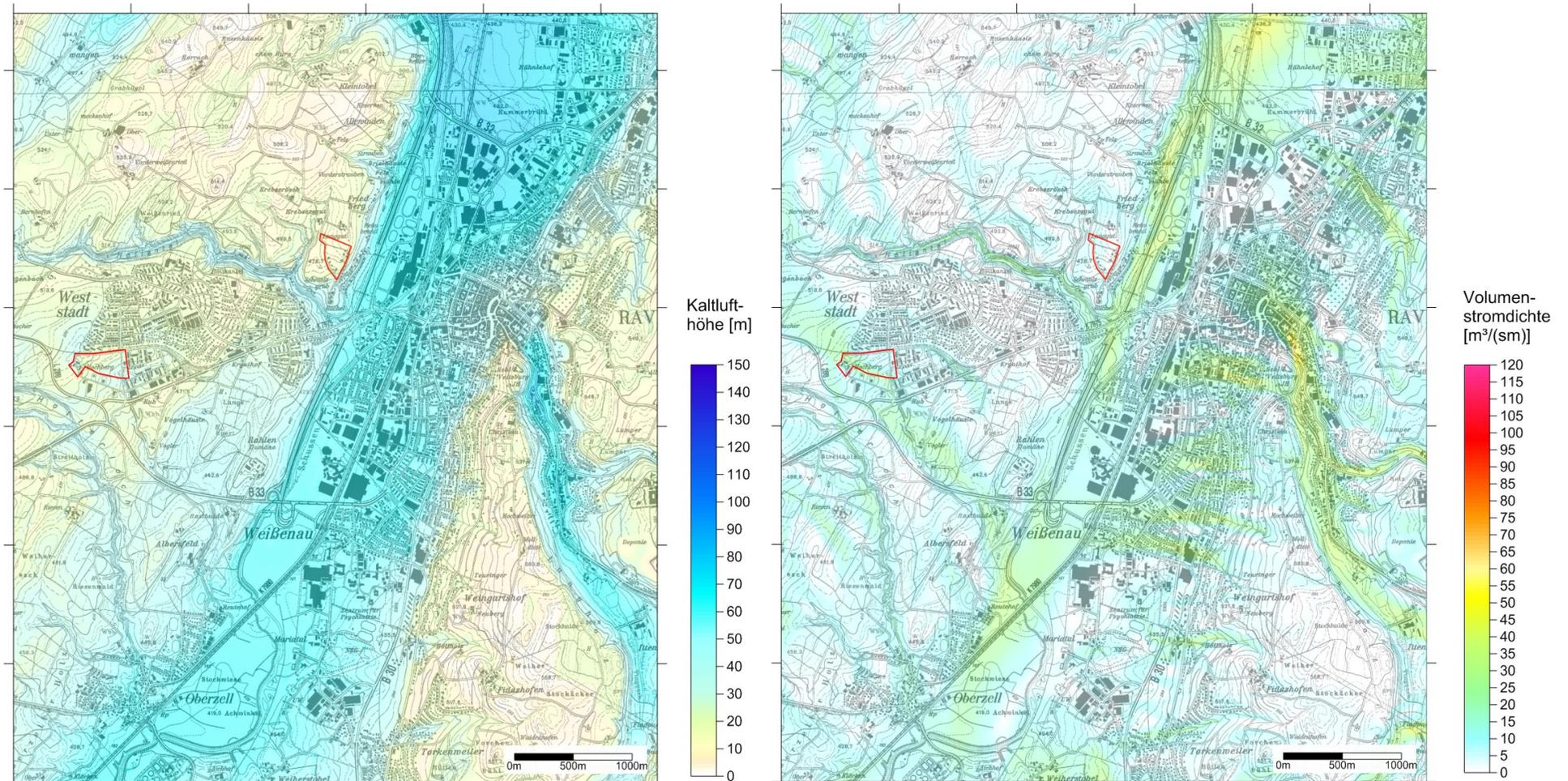


Abbildung 14-6: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse

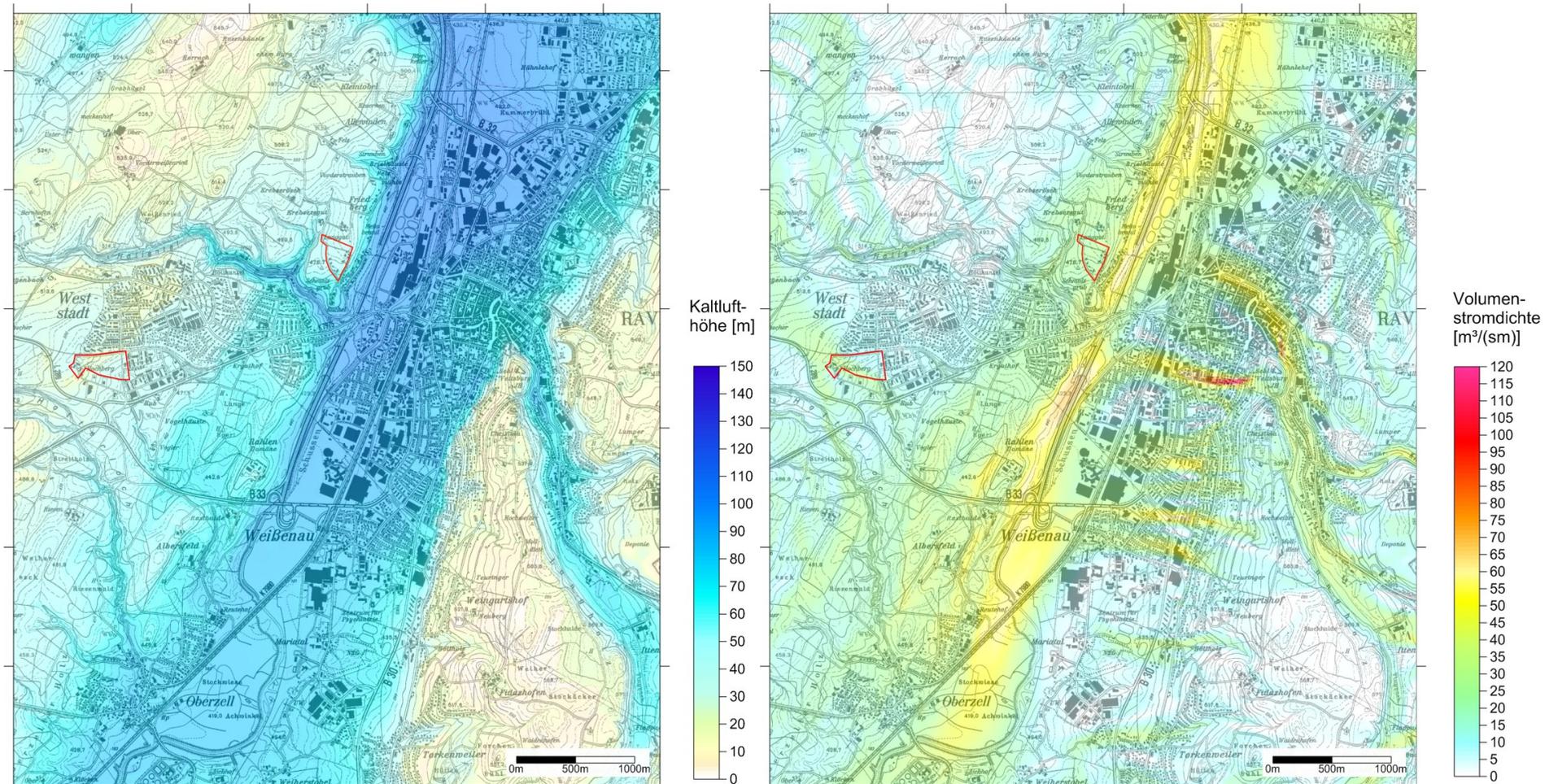


Abbildung 14-7: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse

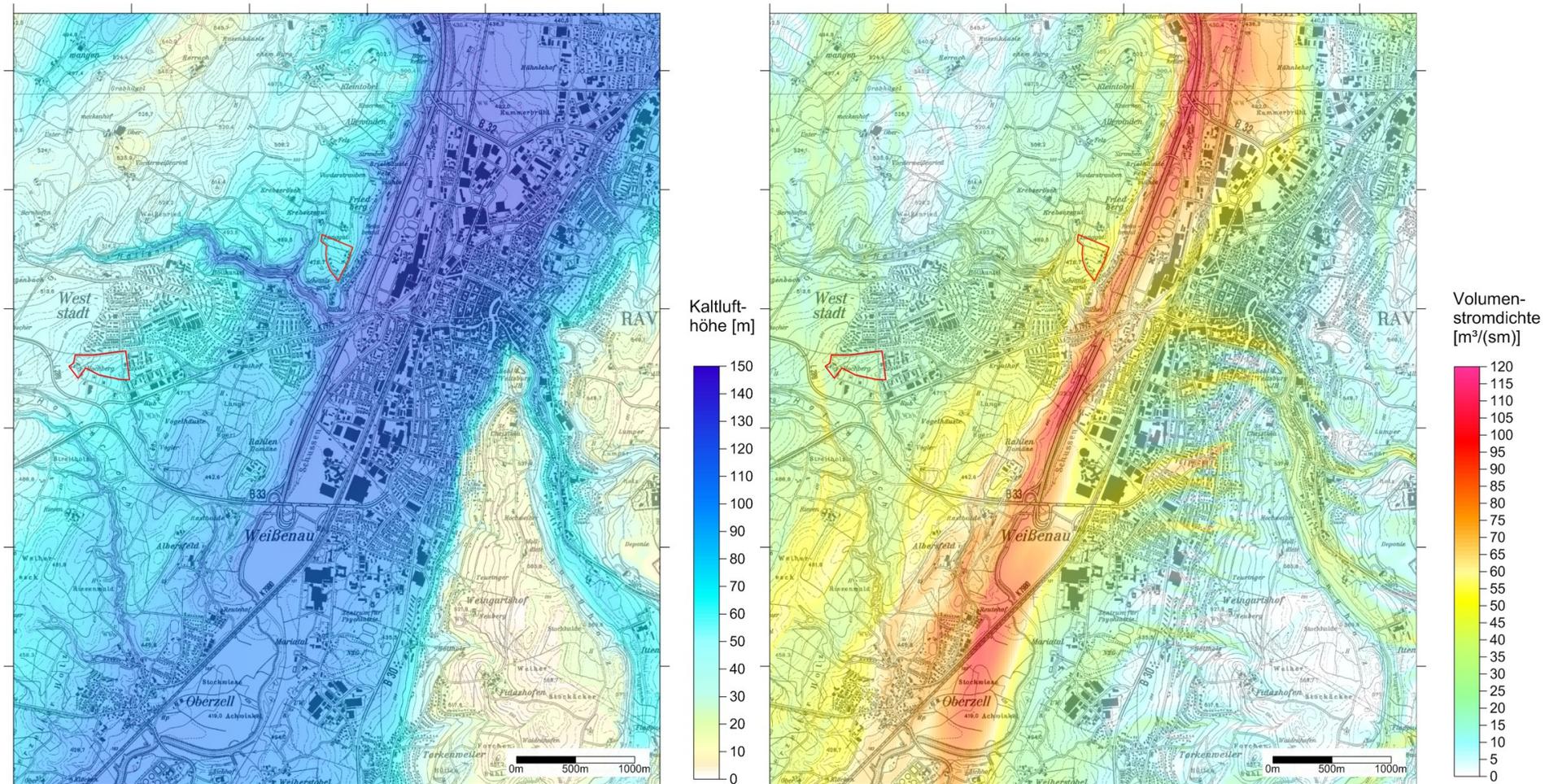


Abbildung 14-8: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) fünf Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse

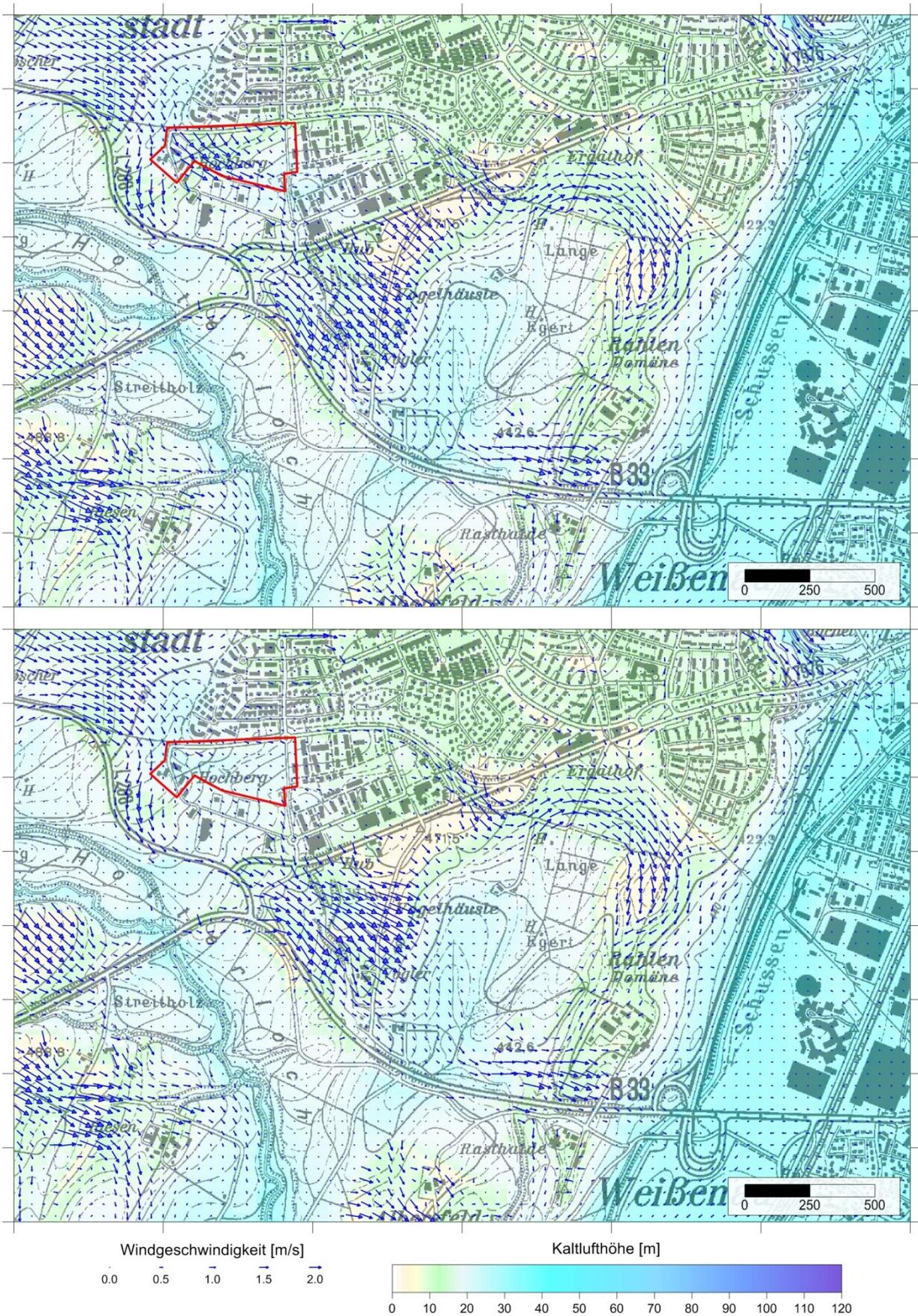


Abbildung 14-9: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltluflhöhe für den Istzustand (oben) und den Planfall (unten) **eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse**

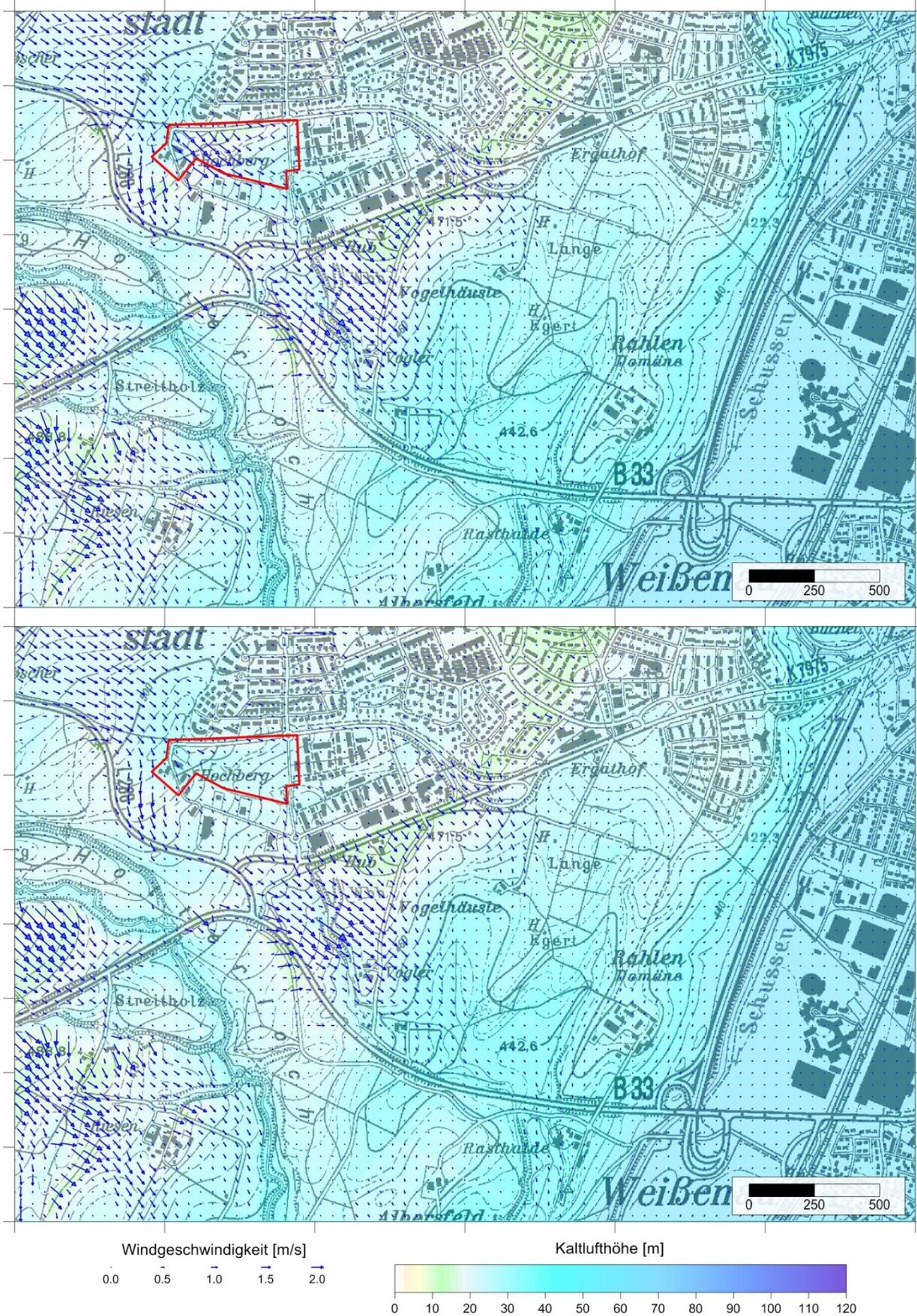


Abbildung 14-10: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltluflhöhe für den Istzustand (oben) und den Planfall (unten) zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse



Abbildung 14-11: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltluflhöhe für den Istzustand (oben) und den Planfall (unten) drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse