iMA
Richter & Röckle

Immissionen
Meteorologie
Akustik

Messstelle §26
BImSchG

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

Gutachten zu den Auswirkung des geplanten Wohnbaugebietes „Oberer Büchelweg“ auf die lokalklimatischen Verhältnisse von Ravensburg

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

Umfang: **53 Seiten**

Datum: **31. Oktober 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

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-14202-01-00

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren

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 Klimauntersuchung 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 11
6.1 Feste Messstelle „Stadtblick“ am Oberen Büchelweg 11
6.2 Messkampagnen 14
6.2.1 Wahl der Messstandorte 14
6.2.2 Messtage 15
6.2.3 Ergebnisse an den einzelnen Standorten 16
6.2.4 Fazit der Handmessungen 20
7 Modellrechnungen 22
7.1 Eingesetztes Modell 22
7.2 Das Simulationsgebiet 22
7.3 Ergebnisse für den Istzustand im größeren Raumbezug 24
7.4 Situation im näheren Umfeld des Plangebiets 25
8 Auswirkungen der Planung 30
8.1 Klima 30
8.2 Lufthygiene 31
9 Einwirkungen auf die Plangebiete 31
9.1 Klima 31
9.2 Lufthygiene 31
10 Bewertung und Planungshinweise 32
11 Zusammenfassung 34
12 Literatur 36
13 Anhang A 38
13.1 Betrieb einer einfachen Funkwetterstation 38
13.2 Handmessungen 40
14 Anhang B 42

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Stadt Ravensburg beabsichtigt das Wohnbaugebiet „Oberer Büchelweg“ westlich des Stadtzentrums auf einer Hochfläche gelegen, 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 Ver-

dunstung 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 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 Nachstunden 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 Kaltlufthaut 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 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 Geländerelief.

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 Hangwindsysteme 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 andern 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 (NO_2), Stäube (PM_{10}, $PM_{2,5}$) und Ozon (O_3).

Aus dem Emissionskataster 2008 der LUBW (http://www.ekat.baden-wuerttemberg.de/) kann entnommen werden, dass für die beiden Luftschadstoffkomponenten NO_2 und PM_{10} Verkehre die wesentliche Quelle sind. Laut Tabelle 4-1 machen diese bei NO_x ca. 54% und bei PM_{10} 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 PM_{10} wird jedoch weit unterschritten.

Weiterhin existieren Kurzzeitgrenzwerte. Diese werden bei NO_2 eingehalten, bei PM_{10} an den höchst belasteten Punkten nur knapp unterschritten.

5 Standort und örtliche Gegebenheiten

Das Plangebiet liegt oberhalb der westlichen Hangkante des Schussentals ungefähr auf Höhe der Ravensburger Innenstadt (siehe Abbildung 5-1). Die Gesamtfläche liegt bei ca. 6,1 ha, davon sind ca. 4,7 ha bestehende und geplante Baugebiets- und Straßenfläche und ca. 1,4 ha Freifläche. Das Baugebiet liegt auf einer hochplateauartigen Fläche, die am Süd- und Ostrand bereits Bebauung aufweist. Die Freiflächen werden bislang landwirtschaftlich genutzt.

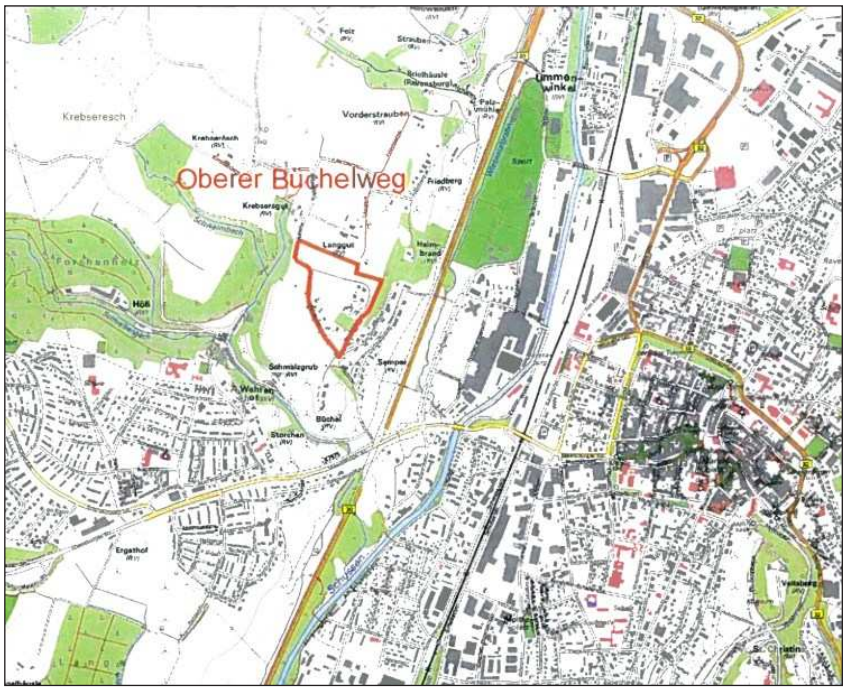


Abbildung 5-1: Lage des Bebauungsplangebiets „Oberer Büchelweg“.

Die städtebauliche Konzeption sieht eine Bebauung mit Einzelhäusern und in einem Teilbereich mit einer Doppelhausbebauung vor. Abbildung 5-2 zeigt einen Bebauungsplanentwurf.

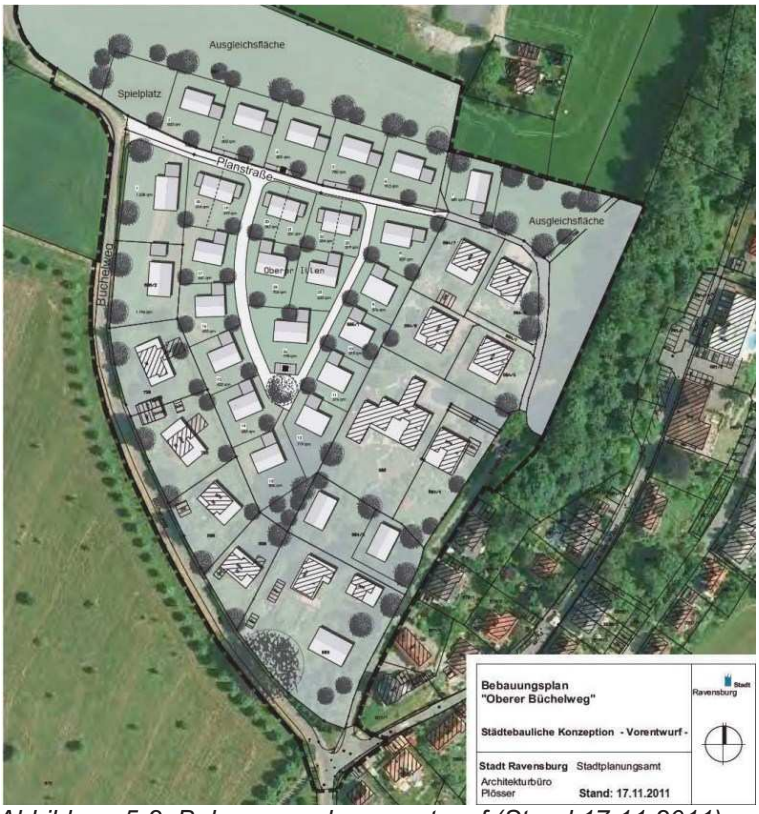


Abbildung 5-2: Bebauungsplanvorentwurf (Stand 17.11.2011).

6 Messungen im Untersuchungsgebiet

Um die Aussagen nicht nur auf Modellrechnungen beruhen zu lassen, wurden im Untersuchungsgebiet auch Messungen durchgeführt. Unter Leitung von Prof. Schwab (PH Weingarten) wurde eine feste Messstation am Oberen Büchelweg betrieben und Messkampagnen mit Studenten durchgeführt.

Der Messzeitraum erstreckte sich von Mai bis September 2012. Im Frühjahr 2012 stellten sich keine ausgeprägten Hochdruckperioden ein, so dass die Messkampagnen erst ab Juli möglich waren.

Bei den nachfolgend dargestellten Auswertungen der Messungen wurden folgende Einheiten verwendet:

- Zeitangaben in MEZ
- Temperaturen in Grad Celsius [°C], im Fall von Temperaturdifferenzen in Kelvin [K].
- Windrichtungen entweder in Form von Himmelsrichtungen oder im Gradmaß
- Windgeschwindigkeiten in [m/s].

6.1 Feste Messstelle „Stadtblick“ am Oberen Büchelweg

Um die lokalen meteorologischen Bedingungen zu erfassen, wurde am Oberen Büchelweg eine stationäre Messstation erstellt. Sie erfasst Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund. Ferner werden Lufttemperatur und relative Feuchte gemessen.

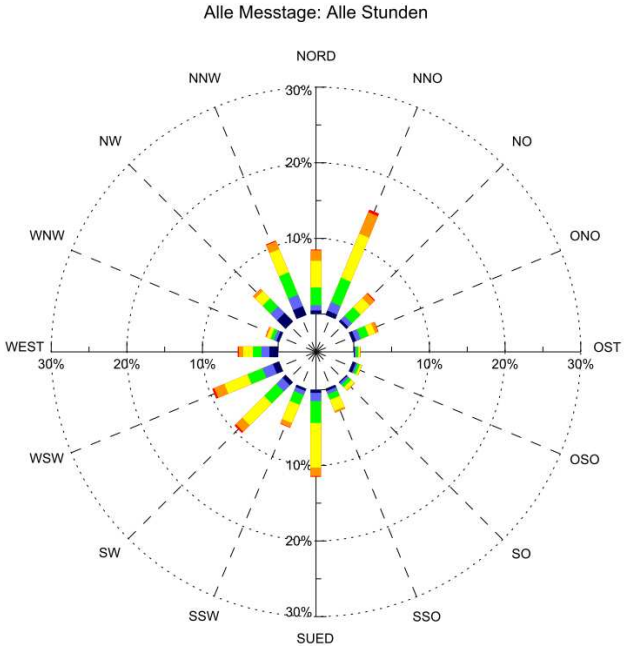
Die Station wird seit 30. April 2012 betrieben. Die hier dargestellten Daten zeigen die Auswertung bis 20. September 2012.

Die statistische Auswertung der Daten beschränkt sich auf die Analyse der Häufigkeiten bestimmter Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen. Um zwischen den Verhältnissen am Tage und in der Nacht differenzieren zu können, wurden diese Häufigkeitsanalysen nicht nur auf die gesamten Messtage, sondern auch auf die entsprechenden Tag- und Nachtstunden angewandt. Dazu wurden für alle Tage des Messzeitraums die astronomischen Sonnenauf- und Sonnenuntergangszeiten bestimmt.

Um der besonderen Bedeutung windschwacher Strahlungswetterlagen gerecht zu werden, wurden diese Auswertungen zusätzlich auf eine Auswahl von Tagen angewandt, die dem Wetterlagentyp Strahlungstag zugeordnet werden konnten. Die Auswahl dieser Tage erfolgte durch eine visuelle Analyse der Tagesdiagramme. Ausgewählt wurden Tage mit einem ausgeprägten Tagesgang der Lufttemperatur (mit deutlicher Abkühlungsphase um die Zeit des Sonnenuntergangs und einem gleichmäßigen Nachlassen der Lufttemperatur während der Nachstunden) und tagsüber vergleichsweise niedrigen Windgeschwindigkeiten.

In Abbildung 6-1 ist die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen für den genannten Zeitraum dargestellt. Am häufigsten treten Winde aus Nordnordost auf (15%). Auch Winde aus Nordnordwest und Nord sind vergleichsweise häufig. Daneben sind Winde aus Süd bis Westsüdwest stark vertreten.

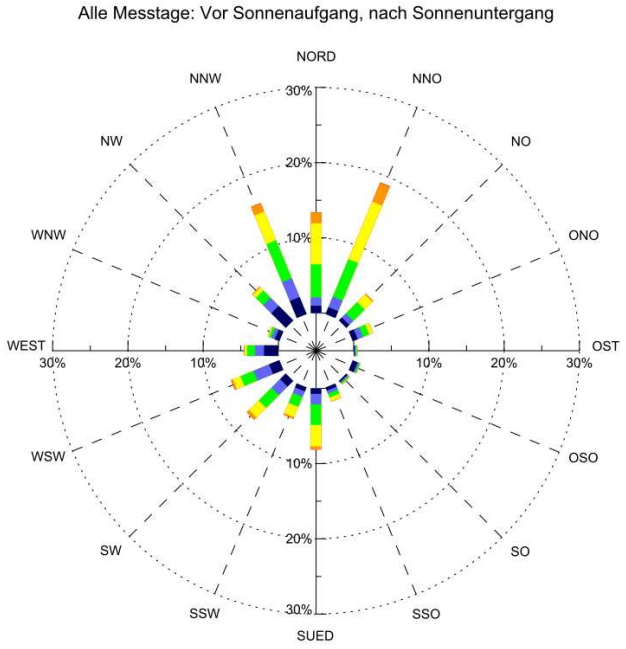
Wertet man nur die Nachtstunden (Zeitraum nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang) aus, so erhält man die in Abbildung 6-2 (links) dargestellte Häufigkeitsverteilung. Man erkennt, dass die nördlichen Windrichtungen gegenüber dem Gesamtzeitraum bevorzugt sind.



Haeufigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung:

WV / WD	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 3.0	> 3.0	Summe
NORD	0.47	0.69	2.36	3.51	1.39	0.11	8.53
NNO	0.62	1.22	3.50	6.30	3.08	0.37	15.08
NO	0.36	0.67	1.64	1.68	0.87	0.15	5.36
ONO	0.46	0.66	1.15	0.91	0.42	0.07	3.68
OST	0.11	0.18	0.32	0.20	0.06	0.00	0.88
OSO	0.43	0.23	0.36	0.26	0.04	0.01	1.33
SO	0.15	0.30	0.47	0.55	0.06	0.02	1.55
SSO	0.31	0.45	0.81	1.57	0.25	0.01	3.40
SUED	0.41	1.09	2.88	5.90	1.12	0.11	11.52
SSW	0.31	0.57	1.41	2.61	0.62	0.07	5.59
SW	0.56	1.14	2.25	4.09	1.22	0.25	9.51
WSW	0.88	1.49	2.13	3.31	1.45	0.28	9.54
WEST	1.16	1.04	1.13	1.28	0.58	0.15	5.35
WNW	0.37	0.39	0.47	0.52	0.16	0.04	1.95
NW	1.59	1.20	1.51	1.35	0.39	0.04	6.08
NNW	1.25	1.64	3.22	3.29	1.12	0.13	10.65
Summe	9.43	12.96	25.61	37.33	12.84	1.82	100.00

Abbildung 6-1: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (in 22,5° Klassen), unterteilt nach Windgeschwindigkeitsklassen (farbig).



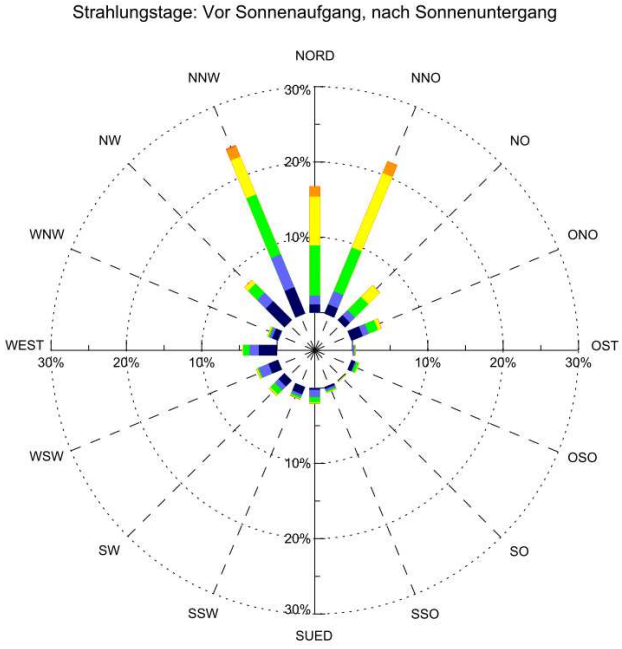


Abbildung 6-2: Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (in 22,5° Klassen), links – alle Nachtstunden; rechts – Nachtstunden bei Strahlungswetterlagen.

Noch stärker tritt dieser Effekt auf, wenn man nur die Nachtstunden bei Strahlungswetterlagen auswertet (Abbildung 6-2 rechts). In ca. 77% der Nachtstunden bei Strahlungswetterlagen treten Windrichtungen zwischen Nordwest und Nordost auf. Winde aus dem südlichen Halbraum sind

vergleichsweise selten. Diese starke Konzentration der Windrichtungen ist ein deutlicher Hinweis auf Kaltluftabflüsse.

Zeitlicher Ablauf

In Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 sind exemplarisch die Zeitverläufe der Windgeschwindigkeit (schwarze Linie), Windrichtung (grün gepunktet), Lufttemperatur (rote Linie) und relativen Feuchte (blaue Linie) für je einen 24-Stundenzeitraum bei einer Strahlungswetterlage dargestellt.

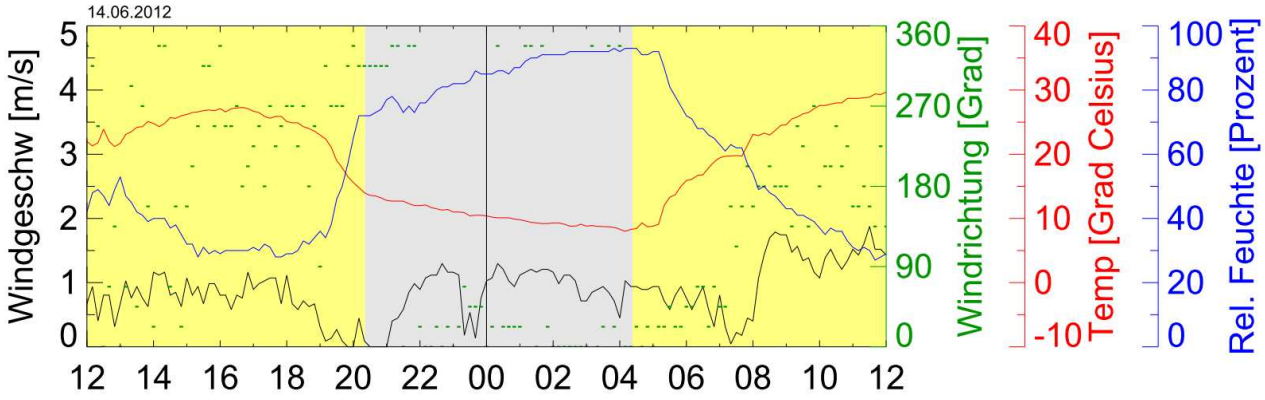


Abbildung 6-3: Diagramm der Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur und rel. Feuchte an einem Strahlungstag (14. Juni 2012).

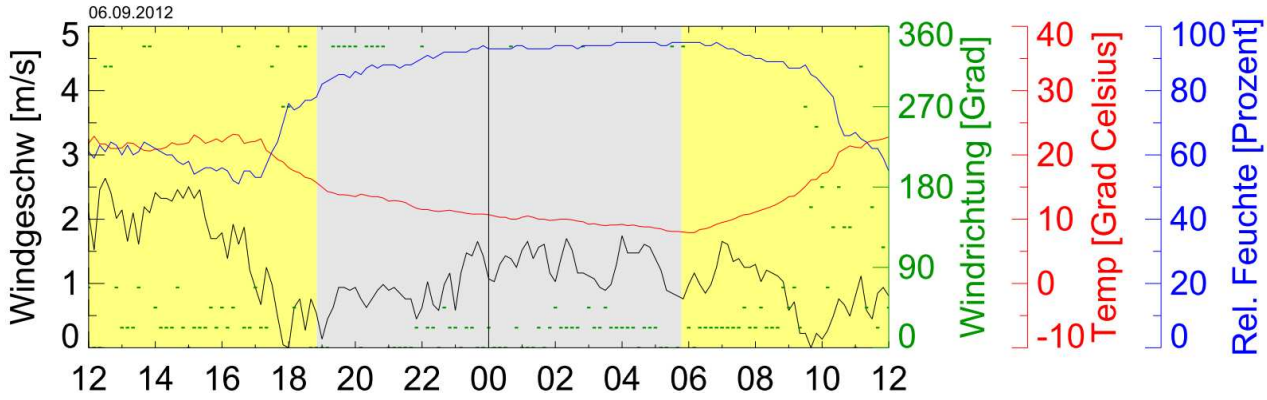


Abbildung 6-4: Diagramm der Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur und rel. Feuchte an einem Strahlungstag (6. September 2012)

Man erkennt an den Strahlungstagen folgende Muster:

Etwa eine Stunde vor Sonnenuntergang setzt eine rasche Abkühlungsphase ein. In diesem Zeitraum schläft der Wind nahezu ein. Bis ca. zwei Stunden nach Sonnenuntergang findet man nordnordwestliche Windrichtungen (330°) mit Windgeschwindigkeiten um 1 m/s in 2 m ü. Grund. Danach dreht der Wind auf Nordnordost (30°) und frischt zum Teil auf, so dass Windgeschwindigkeiten zwischen 1 und 2 m/s erreicht werden.

6.2 Messkampagnen

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, ein potentieller Talabwind aus dem Hölltobel und der nachgewiesene Talabwind aus dem Schussenbecken untereinander?

6.2.1 Wahl der Messstandorte

Die Messstandorte der Handmessungen sind auf der nachfolgenden Karte dargestellt.

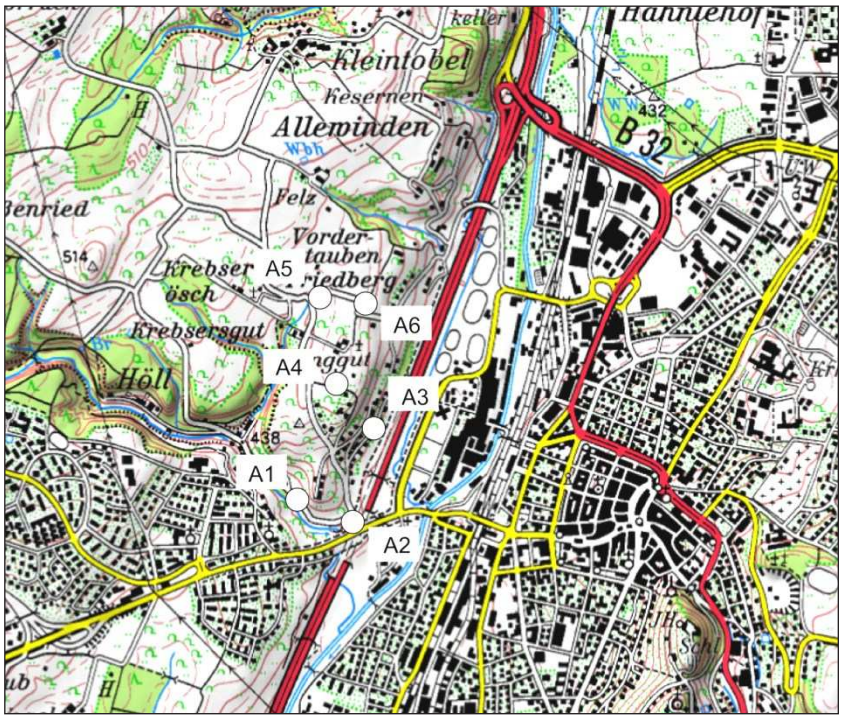


Abbildung 6-5: Lage der Messstandorte „Oberer Büchelweg“ (Handmessungen).

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

Standort	Lage	Fragestellung
A1	Hölltobel	Talabwind im Hölltobel
A2	Talausgang Hölltobel	Talabwind aus dem Hölltobel
A3	Goßnerhalde 18, Hangbebauung	Hangabwind innerhalb der Bebauung
A4	Feldweg Stadtblick-Büchelweg	Ergänzung zur festen Messstation
A5	Zwischen Krebserösch und Langgut	Kaltlufteinzugsgebiet
A6	Nördlich Langgut	Kaltlufteinzugsgebiet, Hangabwinde

6.2.2 Messtage

Beschreibung der Wetterlagen während der Handmessungen

Für die zu untersuchenden Fragestellungen sind windschwache Strahlungsverhältnisse von entscheidender Bedeutung. Aussagekräftige Messergebnisse sind deshalb nur bei entsprechenden 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).

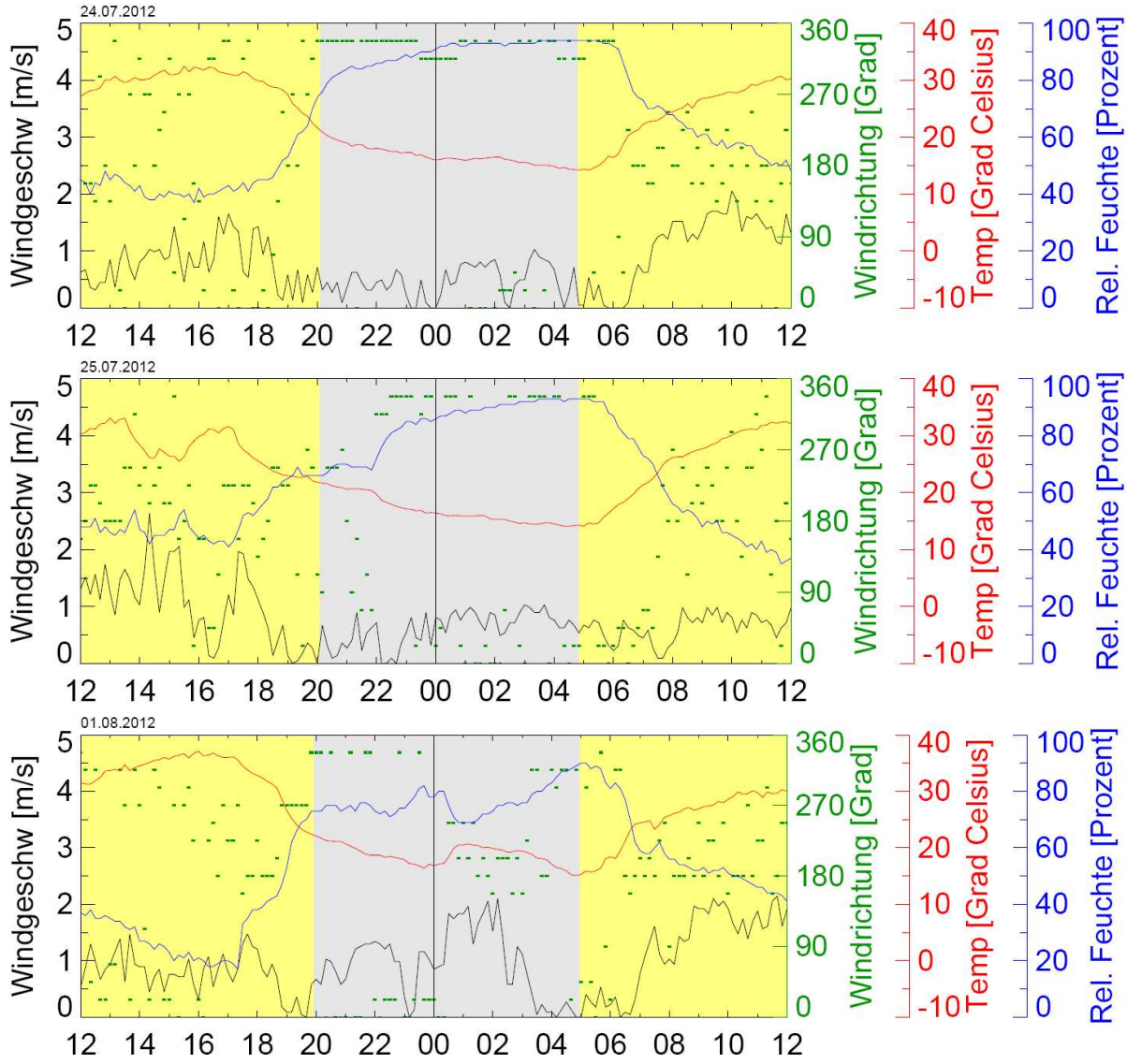


Abbildung 6-6: Tagesdiagramme der Station „Stadtblick“ zu den Terminen der Handmessungen.

Die Termine lassen sich wie folgt kurz beschreiben:

24.07.2012: Nahezu ideale windschwache Strahlungswetterlage während der gesamten Nacht.

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:
A1	24.07./25.07.
A2	24.07./25.07.
A3	24.07./25.07.
A4	24.07./25.07./01.08.2012
A5	24.07./25.07.
A6	24.07./25.07.

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

6.2.3 Ergebnisse an den einzelnen Standorten

6.2.3.1 Talabwinde im Hölltobel (Standort A1)

Im Hölltobel konnten bei allen Messungen talabwärts gerichtete, pulsierende Luftbewegungen beobachtet werden. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen in einer Größenordnung von 0,5 bis 0,7 m/s. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der genaue Messstandort mit Rücksicht auf Einzäunungen recht nah an der Straße und am Waldrand gelegen war und auch einzeln stehende Bäume ein ungehindertes Abfließen der Kaltluft verhindert haben.

Abbildung 6-7 zeigt einen Rauchpatronenversuch in den Abendstunden im Hölltobel. An der nahezu waagrecht abziehenden Rauchfahne kann man erkennen, dass hier relativ hohe Windgeschwindigkeiten auftreten.

Abbildung 6-7: Rauchversuch am Standort A1 (Hölltobel) am 24.07. um 19:00 Uhr (MESZ).

Abbildung 6-8: Rauchversuch am Standort A2 (Talausgang Hölltobel) am 24.07. um 20:30 Uhr (MESZ).

6.2.3.2 Talabwinde am Talausgang des Hölltobel (Standort A2)

Am Talausgang des Hölltobel konnten am ersten Messtag (ideale Bedingungen) deutliche Kaltluftströme beobachtet werden. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen hier in einer Größenordnung von 1,0 bis 1,5 m/s, in Spitzen erreichten sie sogar 2 m/s.

Am zweiten Messtag waren die Verhältnisse deutlich unklarer. Die erste und dritte Messung (20.30 Uhr und 22:20) ergaben keine Hinweise auf einen Talabwind. Nur während der zweiten Messung (21.30 Uhr) waren talauswärts gerichtete Luftströmungen zu messen. Die Windgeschwindigkeiten erreichten dabei im Mittel 1,0 m/s.

Zusätzliche Messungen, die im Rahmen einer wissenschaftlichen Hausarbeit an der PH Weingarten von einem Studierenden selbständig durchgeführt wurden, brachten im Hinblick auf zeitliche Entwicklung und Reichweite des Talabwindes aus dem Hölltobel folgende Erkenntnisse:

In den frühen Abendstunden erreicht der Talabwind aus dem Hölltobel das Stadtgebiet von Ravensburg und ist als eine nach Osten gerichtete Strömung bis in den Bereich Schussenbrücke/Pfannenstiel durchgängig nachweisbar.

Im Laufe des Abends setzen sich aber die von Norden nach Süden gerichteten Luftbewegungen aus dem Schussenbecken durch. Im Bereich des Grünzuges entlang der neuen B30 Höhe Meersburger Straße sind dann Winde aus nördlicher Richtung zu beobachten.

Innerhalb des Stadtgebietes können entlang der Meersburger Straße trotzdem noch Winde aus westlicher Richtung auftreten. Dies ist aber in erster Linie auf die kanalisierende Wirkung der Häuserfluchten zurückzuführen.

6.2.3.3 Hangabwinde innerhalb der Wohnbebauung (Goßnerhalde 18) (Standort A3)

Die Messergebnisse innerhalb der Wohnbebauung zeigen ein ähnliches Muster. Unter windschwachen Strahlungsbedingungen (24.07.) waren Kaltluftabflüsse in der ersten Nachthälfte deutlich messbar. Sie erreichten mittlere Windgeschwindigkeiten zwischen 0,2 und 0,7 m/s und waren auch innerhalb des Messintervalls stark pulsierend.

Abbildung 6-9 zeigt einen Rauchpatronenversuch zwischen den Häusern.

Unter den Bedingungen des zweiten Messabends (25.07.) waren sie hingegen nicht nachweisbar.

Abbildung 6-9: Rauchversuch am Standort A3 am 24.07. um 19:15 Uhr (MESZ).

Abbildung 6-10: Rauchversuch am Standort A4 am 01.08. um 20:55 Uhr (MESZ).

6.2.3.4 Kaltluftbewegungen am Feldweg Stadtblick-Büchelweg (Standort A4)

Die an diesem Standort durchgeführten Handmessungen bestätigen die Ergebnisse der fest installierten Wetterstation. Nächtliche Kaltluftflüsse lassen sich deutlich nachweisen. Durchgeführte Rauchversuche am 01.08. (vgl. Abbildung 6-10*)* zeigten die Hauptwindrichtungen aus NNW, N bzw. NNO an. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen am 24.07. um 21.10 Uhr bei 1,1 m/s. Am 25.07. konnten vor 22.30 Uhr aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden (vgl. Tagesdiagramm).

Kaltluftströme zwischen Krebserösch und Langgut (Standort A5)

Die hier durchgeführten Messungen zeigten am 24.07. zunächst noch Luftbewegungen, die nach Osten zum Schussenbecken hin gerichtet waren. Diese schwenkten jedoch später in südwestliche Richtung ein. Die dabei aufgetretenen mittleren Windgeschwindigkeiten lagen in einer Größenordnung von 0,7 m/s. Am 25.07. konnten vor 22.30 Uhr aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden

6.2.3.5 Kaltluftströme nördlich Langgut (Standort A6)

Die Messungen an diesem Standort ergaben für den 24.07. in Bodennähe (Messhöhe 2 m) recht gleichmäßige hangabwärts gerichtete Luftbewegungen am frühen Abend mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 0,7 m/s. Am 25.07. konnten vor 22.30 Uhr aufgrund der Wetterlage Kaltluftabflüsse nicht nachgewiesen werden.

6.2.4 Fazit der Handmessungen

Aus den Handmessungen ergeben sich zusammenfassend folgende Erkenntnisse:

6.2.4.1 Talabwind im Hölltobel

Im Hölltobel entwickelt sich bei windschwachen Strahlungswetterlagen ein Talabwindsystem, das sowohl im Tal als auch am Talausgang nachweisbar ist. Aufgrund von Reibungseffekten können bodennah direkt am Talausgang sogar höhere Windgeschwindigkeiten auftreten, als im Tal selbst. Im Tal stellt sich ein Kaltluftabfluss auch bei nicht optimalen Wetterlagen ein, wenn z.B. an allen anderen Standorten die übergeordnete Strömung bis zum Boden durchgreift (vgl. Situation am 25.07.). Der Talabwind aus dem Hölltobel erreicht in den frühen Abendstunden das Stadtgebiet von Ravensburg und trägt in dieser Zeit zur Belüftung der westlich der Bahnlinie gelegenen Wohn- und Gewerbeflächen bei. Mit dem Einsetzen des nach Süden gerichteten Kaltluftstroms aus dem Schussenbecken verliert er diese Wirkung und ist nur noch direkt am Talausgang nachweisbar.

6.2.4.2 Hangabwinde im Bereich Großnerhalde/Sennerbad

Bei windarmen Strahlungswetterlagen treten innerhalb der Wohnbebauung in den frühen Abendstunden nächtliche Hangabwinde auf, die jedoch eher schwach ausgeprägt sind. Sie reichen deshalb nicht weit in das Schussenbecken hinein.

6.2.4.3 Kaltluftbewegungen im Bereich Stadtblick-Büchelweg

Die bereits durch die Ergebnisse der fest installierten Wetterstation vorhandenen Kenntnisse werden bestätigt: Kaltluftbewegungen sind an diesem Standort ein häufig zu beobachtendes Phänomen. Die messbaren Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen sowie die Kenntnisse der Standorteigenschaften lassen jedoch darauf schließen, dass die abfließenden Kaltluftmassen aus einem deutlich größeren Kaltlufteinzugsgebiet stammen. Der bestehende Siedlungsrand wirkt in Verbindung mit einigen größeren Bäumen bodennah bremsend auf diese Kaltluftbewegungen.

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.

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.

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.

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 klein-

[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.

räumig 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.

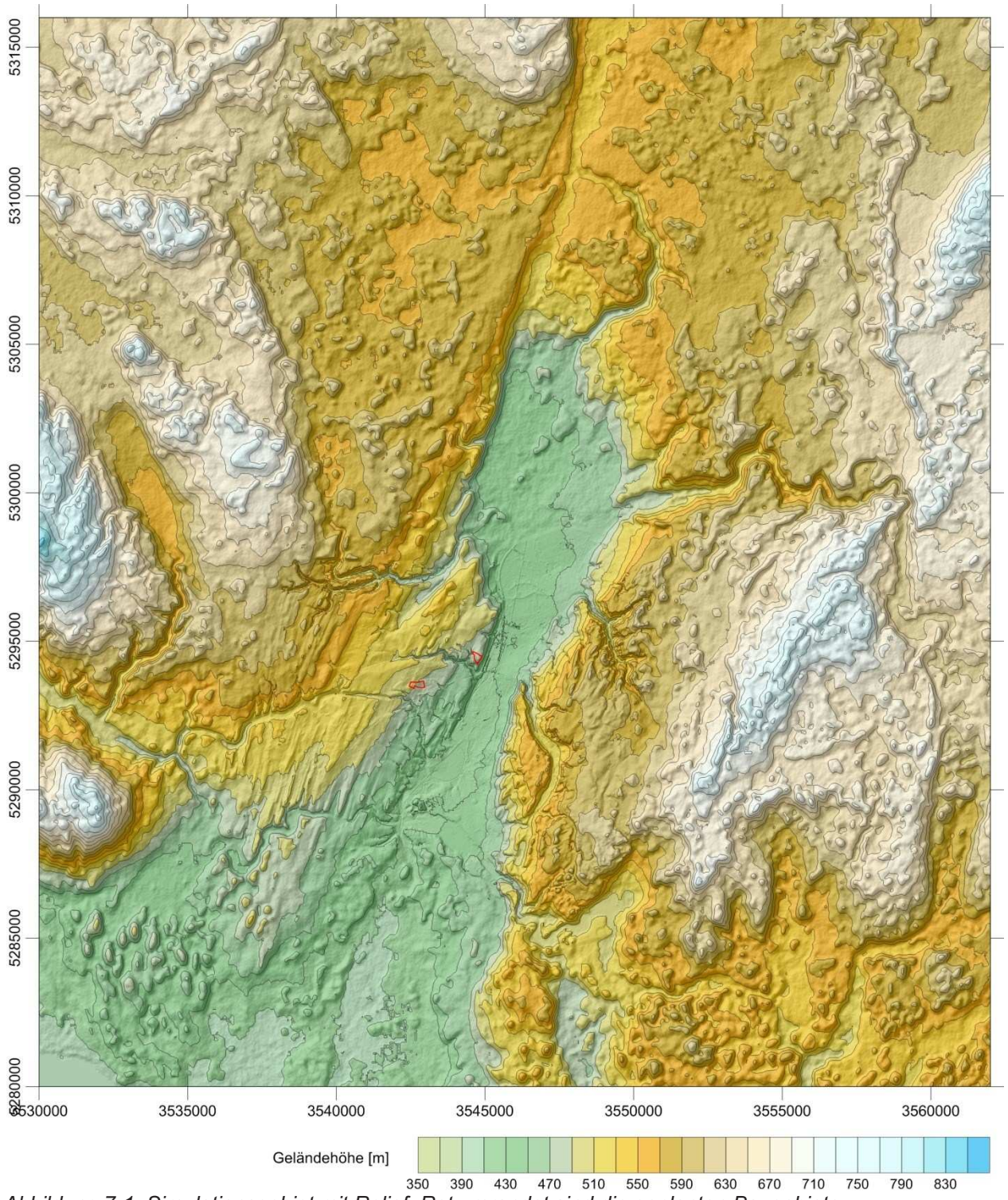


Abbildung 7-1: Simulationsgebiet mit Relief. Rot umrandet sind die geplanten Baugebiete.

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 Volumenstromdichte[2]. Das ist der Volumenstrom der durch eine Fläche von 1 m Breite und der jeweiligen Kaltlufthöhe 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 Tallagen 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 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.

[2] *Volumenstromdichte – gebildet aus dem Produkt aus vertikal gemittelter Fließgeschwindigkeit und Kaltlufthöhe.*

7.4 Situation im näheren Umfeld des Plangebiets

In Abbildung 7-2 sind die abendlichen Strömungsverhältnisse in Form eines Vektorplots dargestellt. Der Pfeil gibt 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.

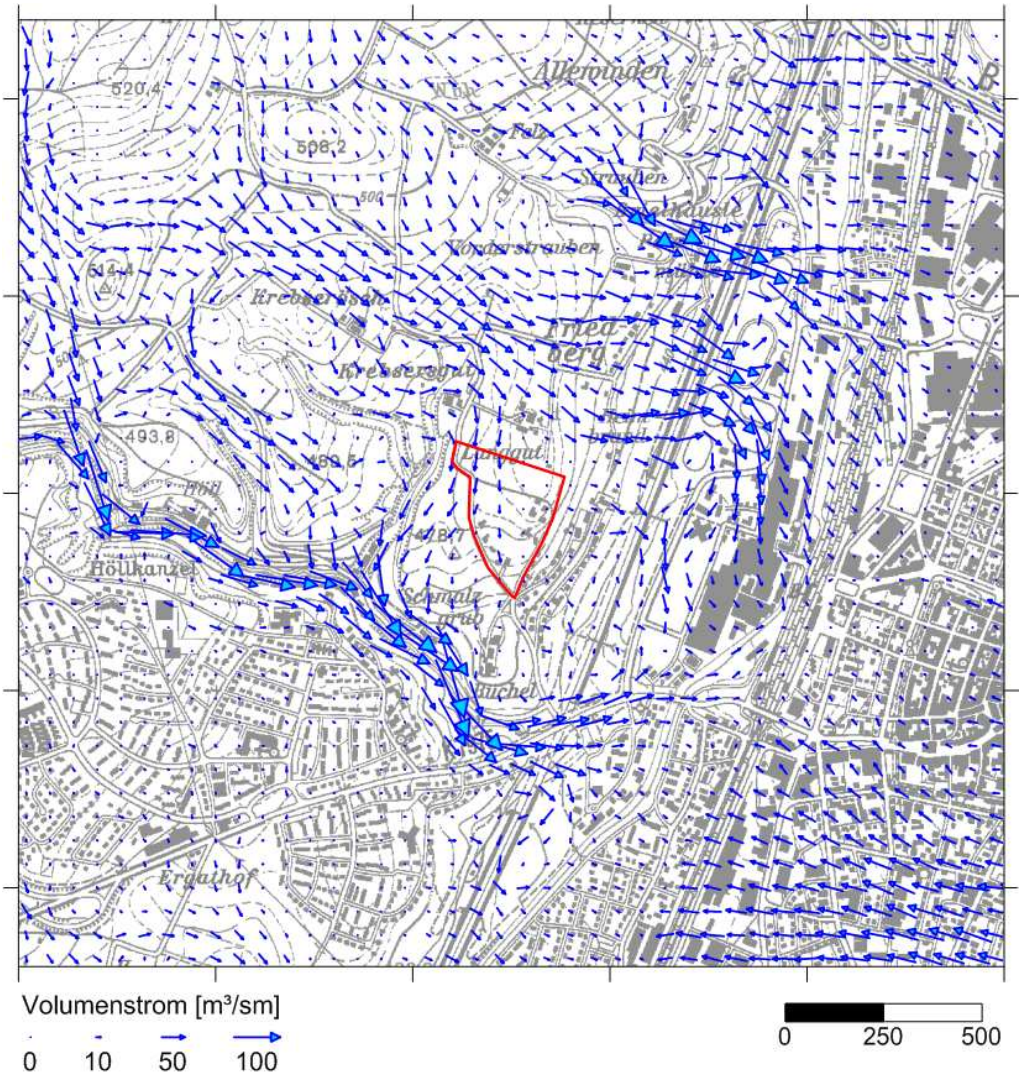


Abbildung 7-2: Volumenstrom 30 Minuten nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse, ***Istzustand.***

Aus dem westlichen Bereich findet man im Umfeld des Plangebietes drei intensivere Kaltluftströme, die im Talgrund bis etwa zur Bahnlinie hin reichen. Dies ist südlich vom Plangebiet der Strom aus dem Hölltobel. Nördlich vom Plangebiet gibt es einen relativ breiten Kaltluftabfluss über die dortigen Freiflächen, die dann über die Hänge im Bereich Friedberg intensiv ins Tal abfließen. Auch der nördlich anschließende Tobel (Friedbergweg) liefert einen spürbaren Kaltluftbeitrag für den westlichen Talbereich.

Im Plangebiet selbst stellt sich eine nord- bis nordwestliche Strömung ein. Diese wird weitgehend von dem nördlich fließenden Kaltluftstrom versorgt, der hinter dem Wald einem leichten Geländeeinschnitt nach Süden folgt. An den östlich angrenzenden Hangbereichen stellen sich schwache

Hangabwinde ein, die aber deutlich schwächer ausgeprägt sind als in den nördlich anschließenden Hangbereichen.

Im Planfall wurde im Sinne einer „worst-case“-Abschätzung angenommen, dass das ganze Bebauungsplangebiet vollständig bebaut ist. Dies ist so nicht vorgesehen. In der abendlichen Situation ergibt sich im Plangebiet selbst – insbesondere im westlichen Teil – eine deutliche Strömungsreduktion. Auch im südlich und westlich angrenzenden Bereich stellen sich noch Windgeschwindigkeitsabnahmen ein.

Die wesentlichen Ströme – Hölltobel, Friedberg und nördlich davon – bleiben aber nahezu unverändert, so dass sich die Belüftung des Talgrunds nicht ändert. Hauptsächlich betroffen sind die direkten Anrainer, die am Süd- und Südostrand des Plangebiets liegen. Eine Reduzierung des Kaltluftabflusses macht sich hier jedoch deutlich weniger bemerkbar als im Talgrund, da in der Höhenlage zum einen geringere thermische Belastungen vorhanden sind, zum anderen die lufthygienischen Belastungen vergleichsweise gering sind.

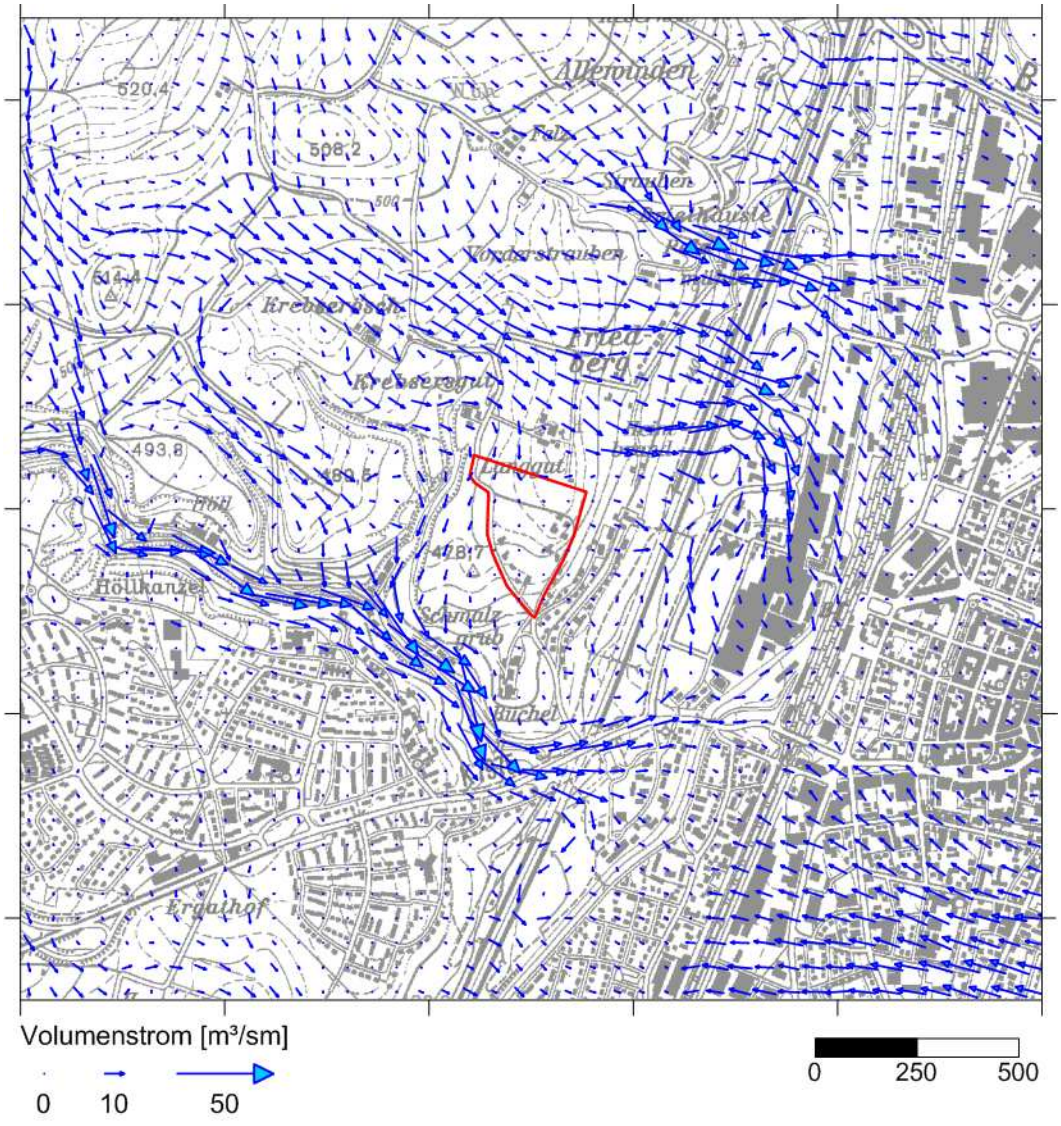


Abbildung 7-3: Volumenstrom 30 Minuten nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse, ***Planfall.***

Nach ca. zwei Stunden ab Einsetzen der Kaltluftabflüsse hat sich das Schussental mit Kaltluft soweit gefüllt, dass auch die westlichen Hangbereiche und Hochlagen in diesem talabwärts gerichteten Strom liegen. In Abbildung 7-4 sind die Verhältnisse rund um das Plangebiet drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse dargestellt.

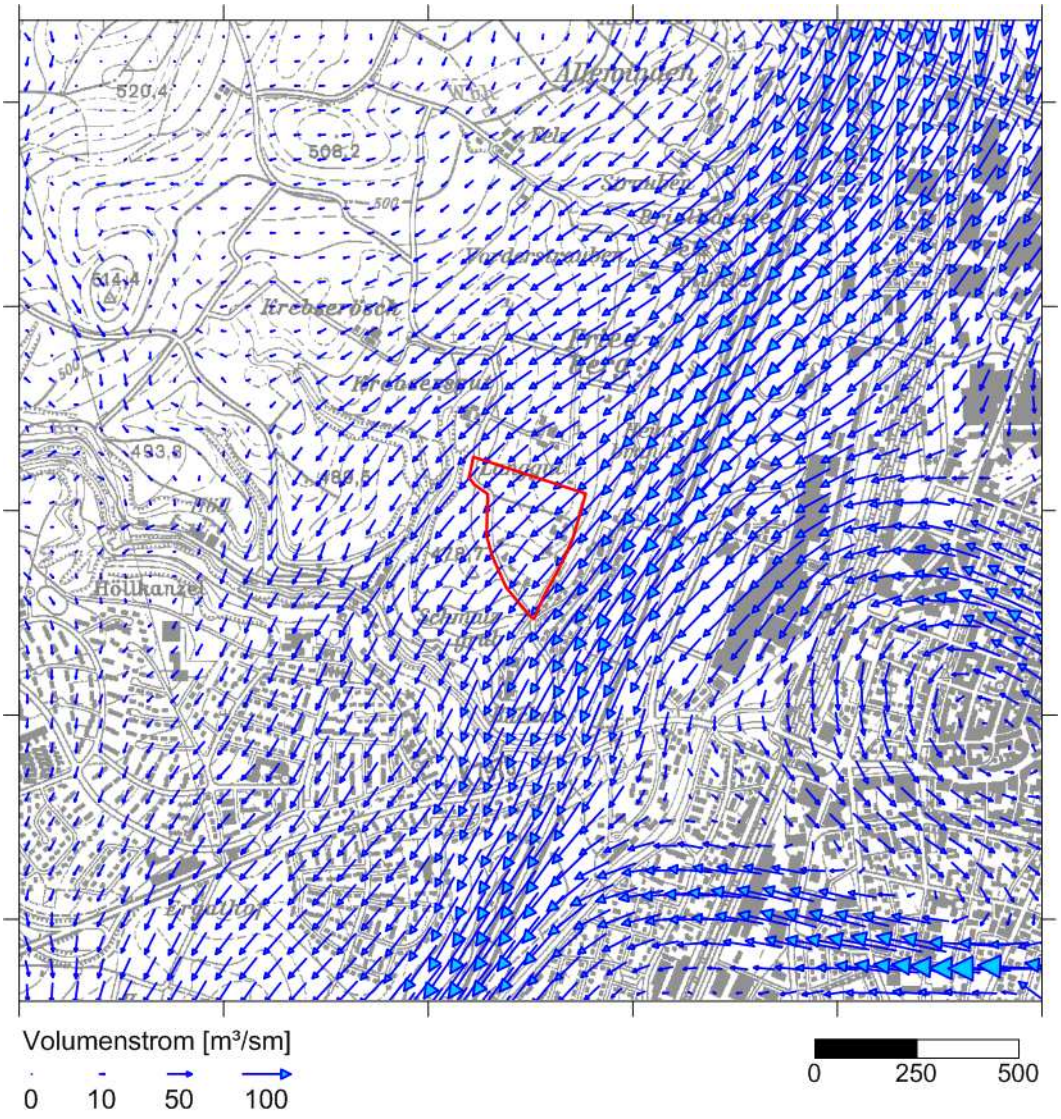


Abbildung 7-4: Volumenstrom drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse, ***Istzustand.***

Der intensivste Kaltluftstrom verläuft am Westrand des Schussentals. Auch die westlichen Hochlagen befinden sich im Wirkungsbereich dieses Kaltluftstroms, so dass sich im Plangebiet nordöstliche Windrichtungen einstellen. Dies deckt sich auch weitgehend mit den Messungen der Strömungsrichtung auf dem Büchelberg in Strahlungsnächten.

Die Situation im Planfall ist in Abbildung 7-5 dargestellt. Da die Kaltluftmächtigkeit des Bergwindes die Gebäude deutlich überragt, wird die Strömung im Planfall nur wenig reduziert. Signifikante Fernwirkungen ergeben sich nicht.

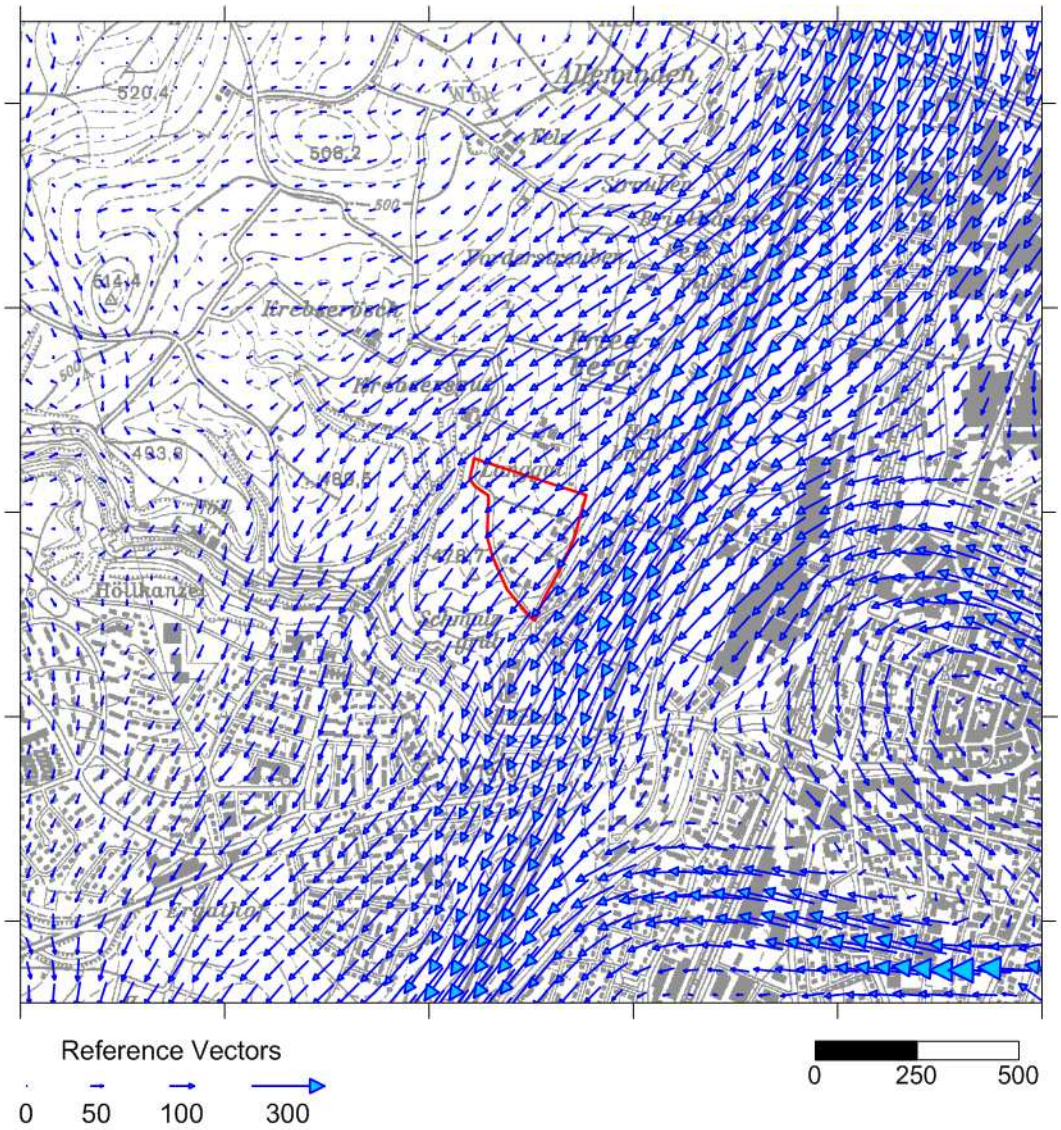


Abbildung 7-5: Volumenstrom drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse, ***Planfall.***

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 7-6 sind exemplarisch Profile eine Kaltluftströmung für unterschiedliche Rauigkeiten dargestellt. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in diesem Beispiel beträgt 1 m/s, die Kaltlufthöhe 100 m und der jeweils daraus resultierende Volumenstrom durch eine 1 m breite Fläche 100 m³/(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 Kaltlufthöhe gefunden.

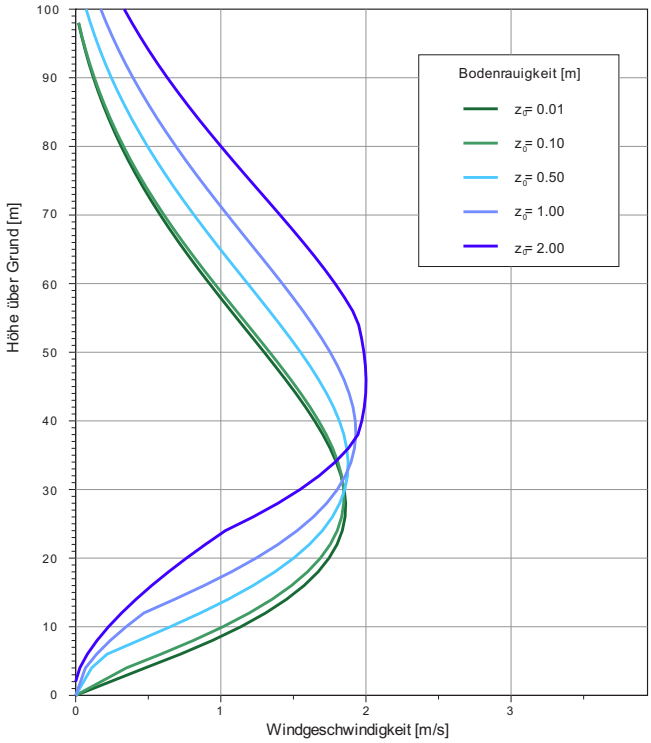


Abbildung 7-6: Typische Kaltluftabflussprofile für unterschiedliche Rauigkeiten

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 links die bodennahen Strömungsverhältnisse für den Istzustand eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse dargestellt. Die Windgeschwindigkeiten im unbebauten Plangebiet liegen zwischen 1 und 1,5 m/s. Im Planfall (Bild rechts) gehen die Windgeschwindigkeiten im Plangebiet zurück. Am Nordrand wird ein Teil der Strömung nach Osten umgebogen. Am Westrand wird die Strömung etwas abgebremst. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Bebauungsplangebiet als vollständig überbaut modelliert wurde.

Zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse (Abbildung 14-10) sind die Verhältnisse noch mit dem vorangegangenen Termin nahezu identisch.

Abbildung 14-11 zeigt die Kaltluftabflussverhältnisse 3 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftverhältnisse. Die Kaltluftmächtigkeiten sind deutlich angestiegen und das Plangebiet liegt im Einflussbereich des Schussentälers. Im Plangebiet stellt sich eine nord- bis nordöstliche Strömung ein. Die Kaltluftmächtigkeit liegt im Plangebiet zwischen 40 und 50 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.

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.

Hinderniswirkungen erstrecken sich nach VDI-Richtlinie 3783-10 bis zu ca. dem 5-fachen des nahen Nachlaufbereichs[3]. Die Ausdehnung des nahen Nachlaufs kann mit der Beziehung

$$l_{NN} = \frac{1{,}75b}{1 + 0{,}25\left(\frac{b}{h}\right)}$$ *mit b – Breite des Hindernisses quer zum Wind und h – Gebäudehöhe*

in ebenem Gelände abgeschätzt werden.

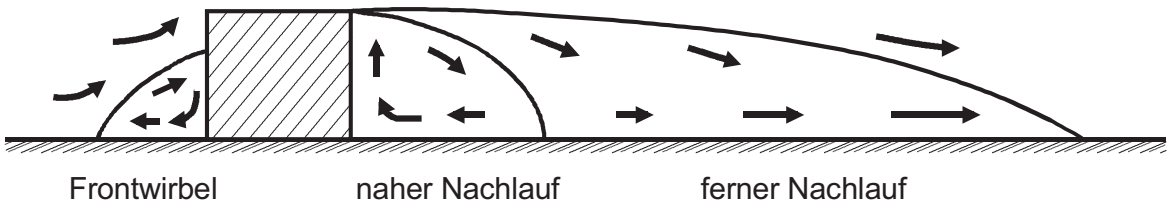


Abbildung 8-1: Ausdehnung der Störzonen und Windfeld in Störzonen.

Nähert man die Bebauung in maximaler Abschätzung durch einen 180 m breiten und 10 m hohen Block an, so ergeben sich Auswirkungen bis in eine Entfernung von ca. 57 · 5 m = 285 m. Reduktionen der Windgeschwindigkeit ergeben sich somit bei nördlichen Windrichtungen für die angrenzende Nachbarschaft im Süden, bei westlichen Windrichtungen für die im Osten anschließende Hangbebauung, bei südlichen Windrichtungen für das Langgut.

Der nächtliche Luftaustausch, insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen mit Kaltluftabflüssen, wird durch Rauigkeiten und den Wärmeeintrag beeinflusst. Während zu Beginn der Nacht (bis zu 1,5 Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse) im Plangebiet nur geringe Kaltluftmächtigkeiten (< 10 m) auftreten, steigt im weiteren Verlauf der Nacht die Kaltluftmächtigkeit auf ca. 70 m an. Nach Einsetzen des Schussentälers wird die Strömung deshalb nur noch wenig modifiziert.

Eine Strömungsreduktion führt insbesondere bei Schwachwindwetterlagen zu einem langsameren Abbau von thermischen oder lufthygienischen Belastungen, vorausgesetzt die herangeführte Luft führt zu einem thermischen Ausgleich und ist lufthygienisch weniger belastet als die vorhandene Luft.

[3] *Naher Nachlauf – Bereich auf der windabgewandten Seite eines kompakten Hindernisses, in dem die Strömung bodennah gegen die Anströmrichtung gerichtet ist.*

Die thermische Belastung ist in der Höhenlage aufgrund der besseren Durchlüftung und des höheren Grünanteils geringer als im Talraum. Auch die lufthygienische Belastung ist aufgrund des Abstands zu den relevanten Quellen, die im Tal liegen, deutlich geringer als im Tal.

Aus diesen Gründen erscheint eine Reduzierung der Durchlüftung, insbesondere in den ersten Nachtstunden, akzeptabel.

Thermische Verhältnisse

Durch Bebauung und Versiegelung ändern sich die Strahlungsumsetzungen. Auf einer Wiese 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.

Insbesondere bei nördlichen Winden sind an den unmittelbar angrenzenden Gebäuden höhere Temperaturen zu erwarten. Bei der Größe des Baugebiets und dem verbleibenden Grünanteil sind die Effekte jedoch gering. Bei Strahlungswetterlagen werden bis zu 1 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 die Plangebiete

9.1 Klima

Das geplante Baugebiet weist, da oberhalb des Schussentals gelegen, ausgeglichenere kleinklimatische Verhältnisse auf. Insbesondere thermische Belastungen treten seltener auf als im Talgrund. 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.

Nördlich der geplanten Bebauung am Oberen Büchelweg liegen jedoch zwei Tierhaltungsbetriebe. Von den Tierhaltungen gehen Geruchsemissionen aus, die im geplanten Bebauungsgebiet potenziell zu Geruchsbelästigungen führen können. In der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL,

2008) sind Grenzwerte für die zulässige Belästigung definiert. In Wohngebieten sind demnach maximal 10% Geruchsstunden pro Jahr zulässig.

Um zu prüfen, ob die zulässige Zahl der Jahresgeruchsstunden im Plangebiet eingehalten wird, wird derzeit ein eigenständiges Gutachten erstellt, in dem Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft durchgeführt werden.

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

- Um bodennah eine ausreichende Luftdurchlässigkeit zu gewährleisten, soll keine Riegelbebauung erfolgen. Dies gewährleistet eine ausreichende Lückigkeit, so dass Luft, insbesondere Kaltluft, auch bodennah das Gebiet durchfließen kann und kein Kaltluftstau an der Nordseite der Bebauung entsteht.
- Im Westteil soll keine Bebauung erfolgen. In diesem Bereich werden die größten Strömungsgeschwindigkeiten berechnet. Dies ist im Bebauungsplanvorentwurf nicht vorgesehen, wurde aber in den Simulationen so angenommen.

Planungsempfehlungen thermische Verhältnisse

- Die Versiegelung sollte so gering wie nötig gehalten werden. Wenig frequentierte Stellplätze sollten mit Rasenbausteinen befestigt werden. Garagen und Carports sollten eine Dachbegrünung erhalten.
- 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. Gasheizungen sind Öl- und Festbrennstoffheizungen vorzuziehen. Die Heizung mit Stückholz führt erfahrungsgemäß zu Geruchsproblemen. Diese sollten deshalb nicht erlaubt werden.
- 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 oberhalb der westlichen Hangkante des Schussentals, ungefähr auf Höhe der Ravensburger Innenstadt, das ca. 6,1 ha große Wohnbaugebiet „Oberer Büchelweg“.

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

Das überplante Gebiet wird derzeit als Wiese 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 nordnordöstliche Winde ein. Dabei treten bodennah bereits Windgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 1 m/s auf. Dies 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 in einem Teilstrom nach Süden in Richtung Hölltobel bzw. Talausgang des Hölltobels abfließt. Da die Kaltluftmächtigkeiten in diesem Zeitraum noch unter 20 m liegen, ergeben sich im Plangebiet selbst wie auch an der südlich anschließenden Wohnbebauung deutliche Reduktionen der Windgeschwindigkeit.

Etwa 2 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang hat sich das Schussental mit Kaltluft gefüllt, die dann auch die westlichen Randlagen überragt. Es stellt sich sowohl im Tal wie auch in den westlichen Randlagen eine talabwärts gerichtet Strömung ein. Die Kaltluftmächtigkeit überragt die Bebauungshöhen mehrfach, so dass der Gesamtstrom kaum noch geschwächt wird. Bodennah treten jedoch noch Reduktionen der Windgeschwindigkeit auf, die ebenfalls die südlich angrenzende Wohnbebauung betreffen.

Die Bebauung in der Nachbarschaft ist stark durchgrünt, so dass hier thermische Belastungen deutlich geringer sind als in der Kernstadt. Auch die lufthygienische Belastung ist aufgrund des Abstands zu den relevanten Quellen wesentlich geringer. Eine Reduktion der Durchlüftung ist deshalb in diesem Bereich aus gutachtlicher Sicht akzeptabel.

Spürbare Auswirkungen auf die Kaltluftsituation im Talgrund sind nicht zu erwarten. Hier gibt es im Umfeld des Plangebiets bedeutendere Kaltluftlieferanten. Dies sind die Hänge und Tobel nördlich des Plangebiets im Bereich Friedberg und Friedbergweg und der südlich anschließende Hölltobel. Diese führen dem Schussental Kaltluft aus vergleichsweise großen Einzugsgebieten zu. Deren Bedeutung geht aber auch zurück, wenn sich im Lauf der ersten Nachthälfte der Schussentäler durchsetzt, der im Talgrund – insbesondere an der Westseite des Tales – eine intensive Nordnordostströmung bewirkt.

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, 31. Oktober 2012

Dr. Rainer Röckle
Diplom-Meteorologe

Claus-Jürgen Richter
Diplom-Meteorologe

interreg IV
Alpenrhein | Bodensee | Hochrhein

EUROPÄISCHE UNION
Gefördert aus dem
europäischen Fonds
für regionale Entwicklung

"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.; Höppe, 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 eingenordet. 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. Abbildung 6-1)
- Einfache Liniendiagramme zur Darstellung von Tagesgängen der gemessenen Daten (vgl. z.B. Abbildung 6-3)

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 Holzlatten 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.

Handanemometer	*Digitales Sekundenthermometer*	*Seifenblasen und Kompass*

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 die 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

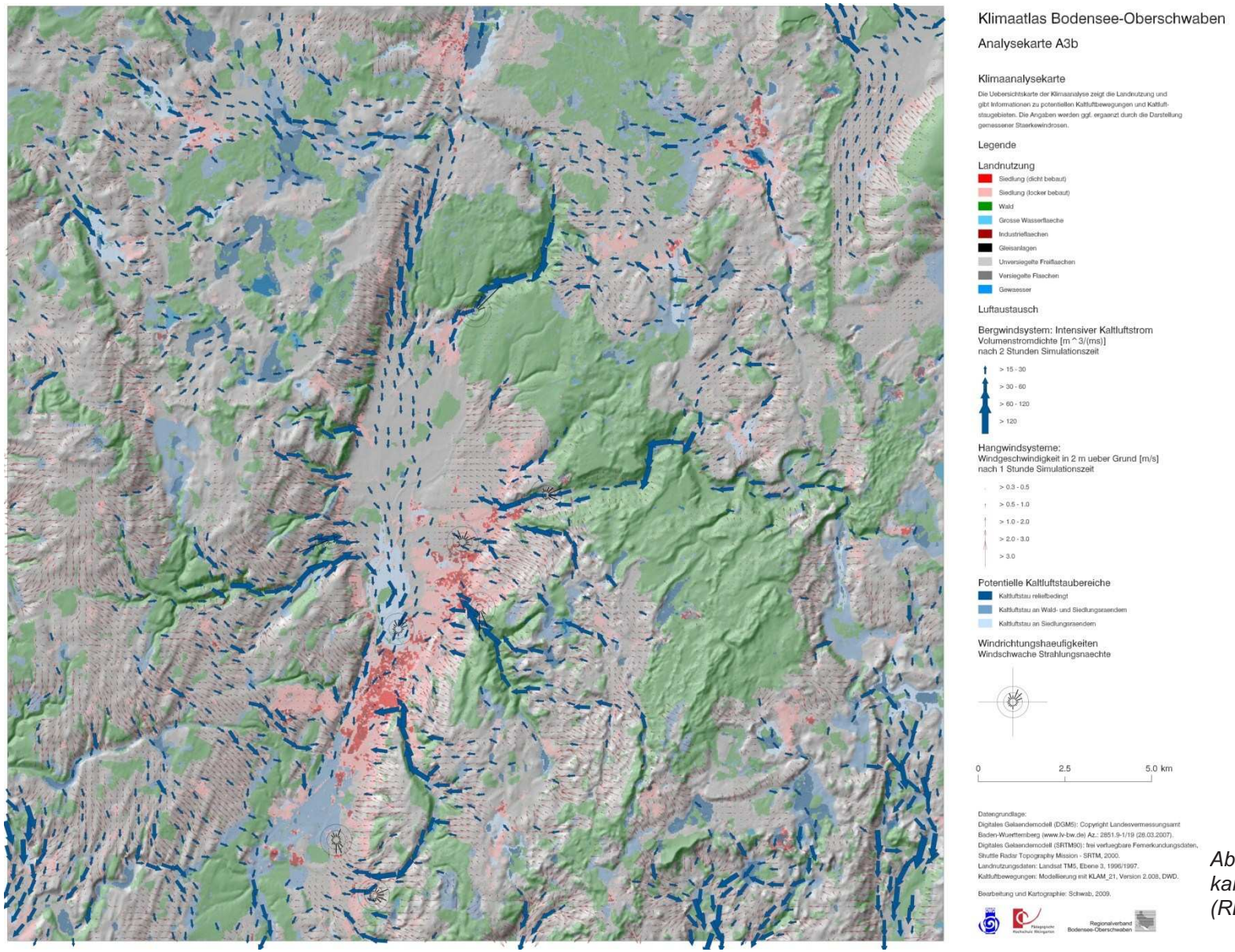


Abbildung 14-1: Klimaanalyse-karte Raum Schussenbecken (REKLIBO)

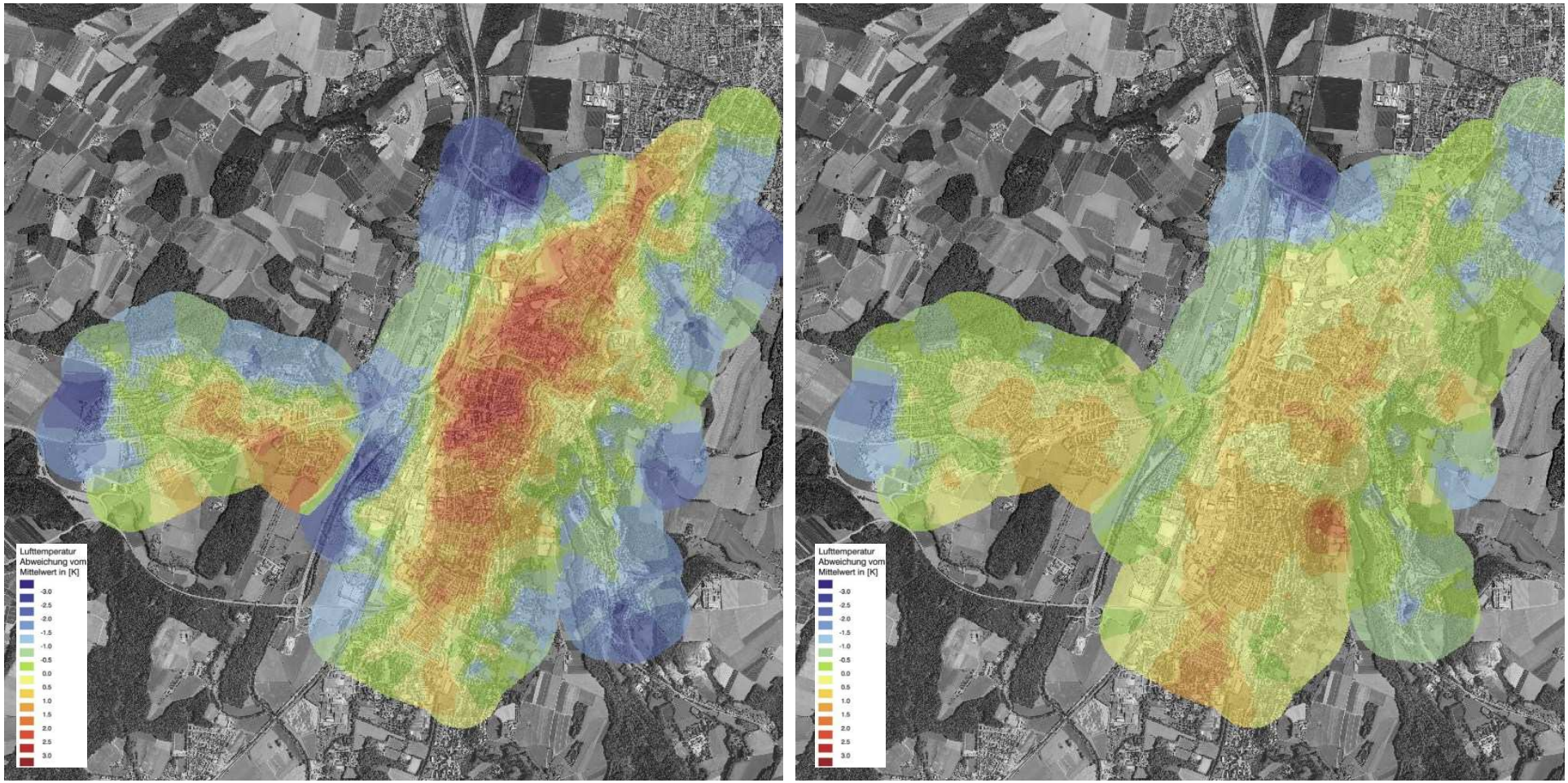


Abbildung 14-2: Thermalkartierung vom 26.07.2009 gegen 22:30 Uhr (links) und vom 27.07.2009 gegen 5:20 Uhr (rechts)

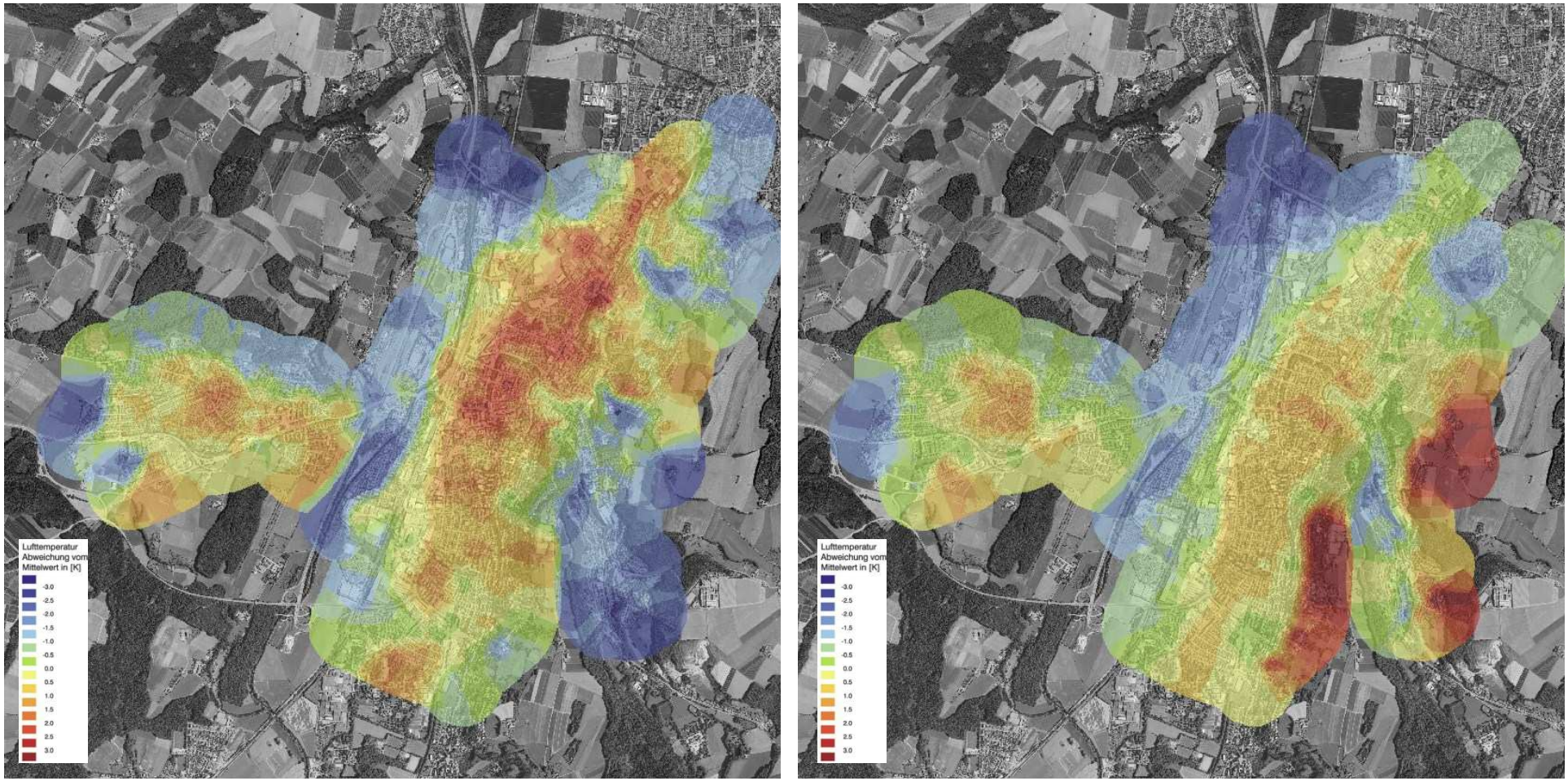


Abbildung 14-3: Thermalkartierung vom 21.07.2009 gegen 22:30 Uhr (links) und vom 22.07.2009 gegen 5:20 Uhr (rechts)

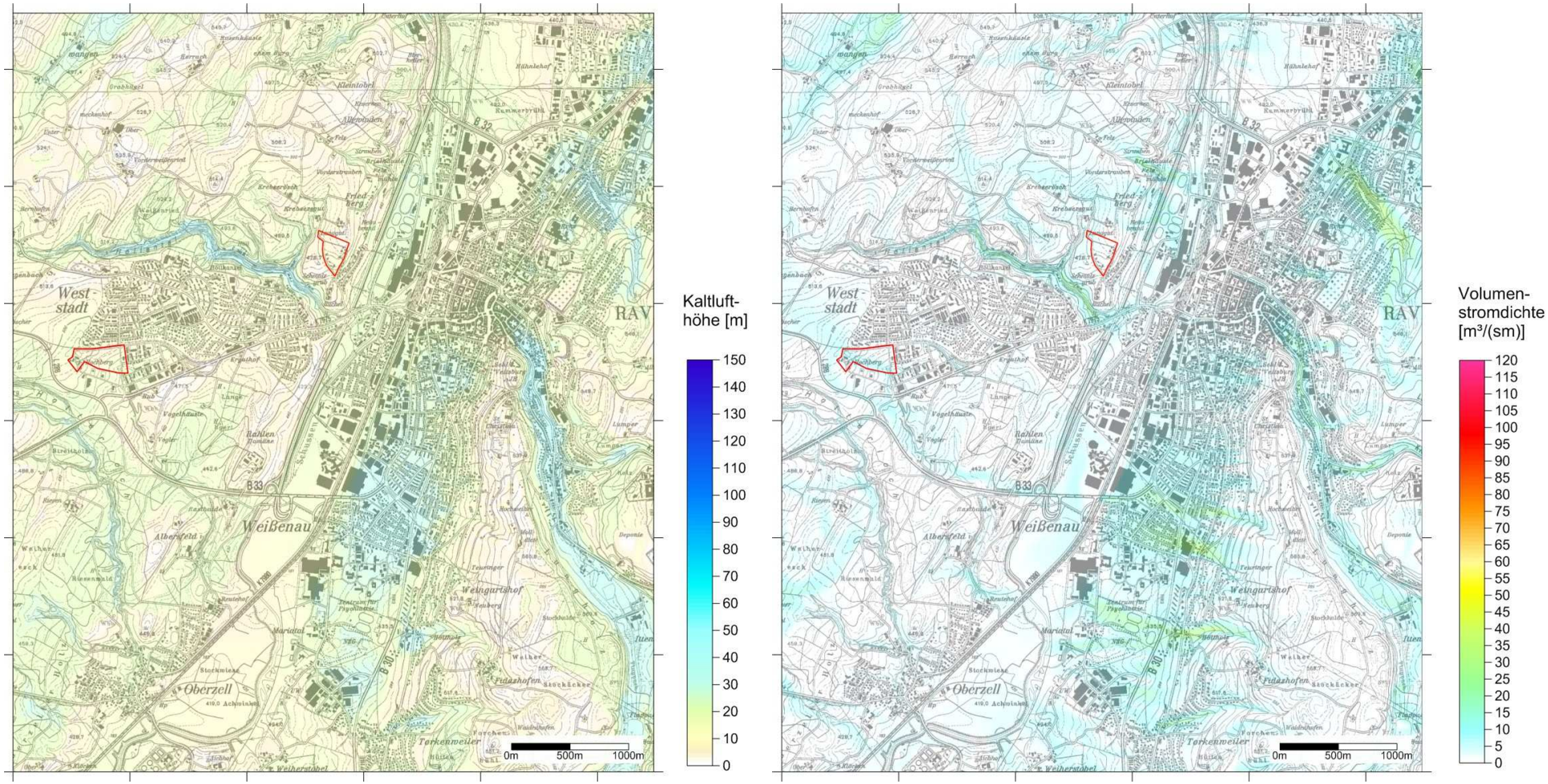


*Abbildung 14-4: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) **30 Minuten** nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse*

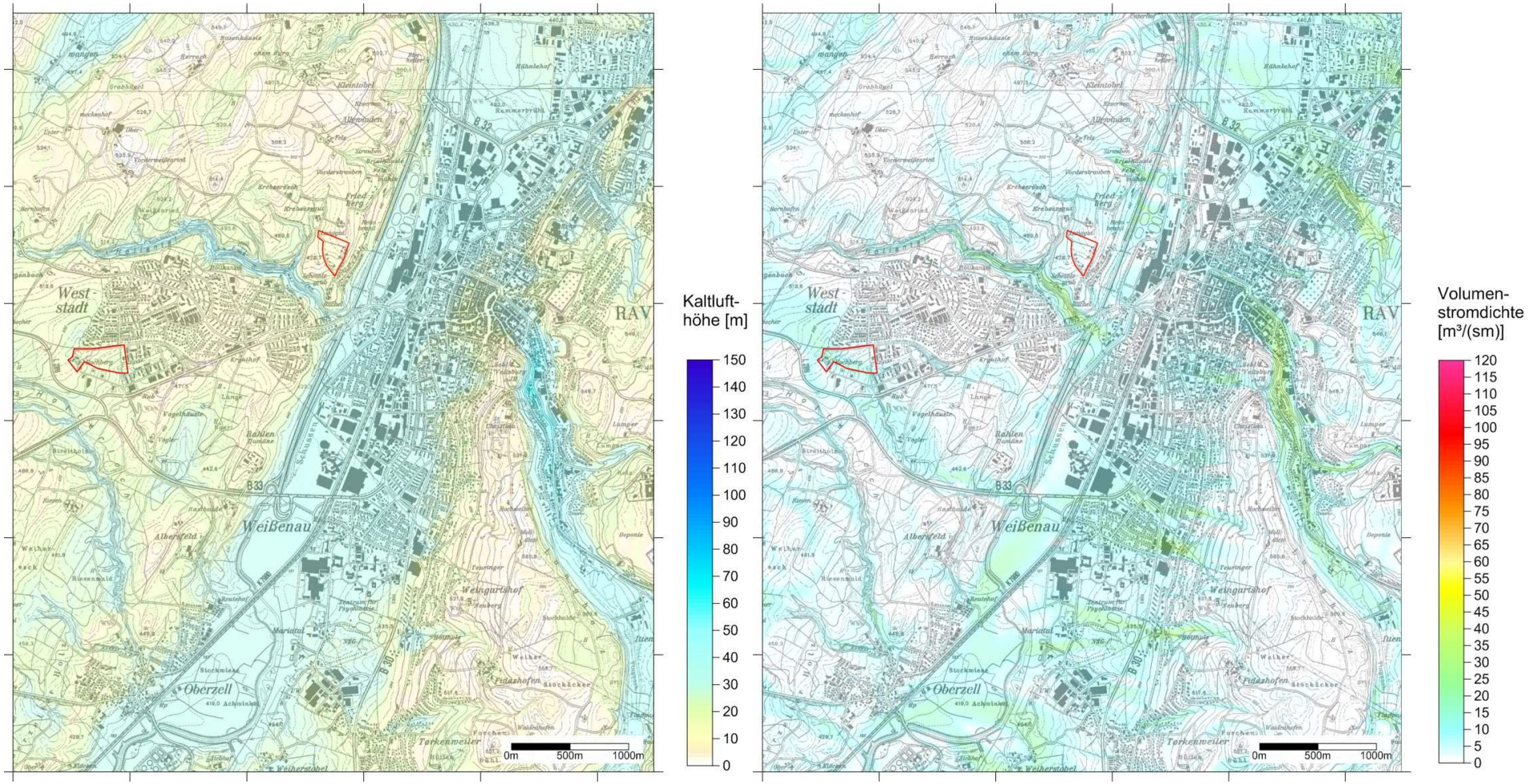


Abbildung 14-5: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) ***eine Stunde*** *nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse*

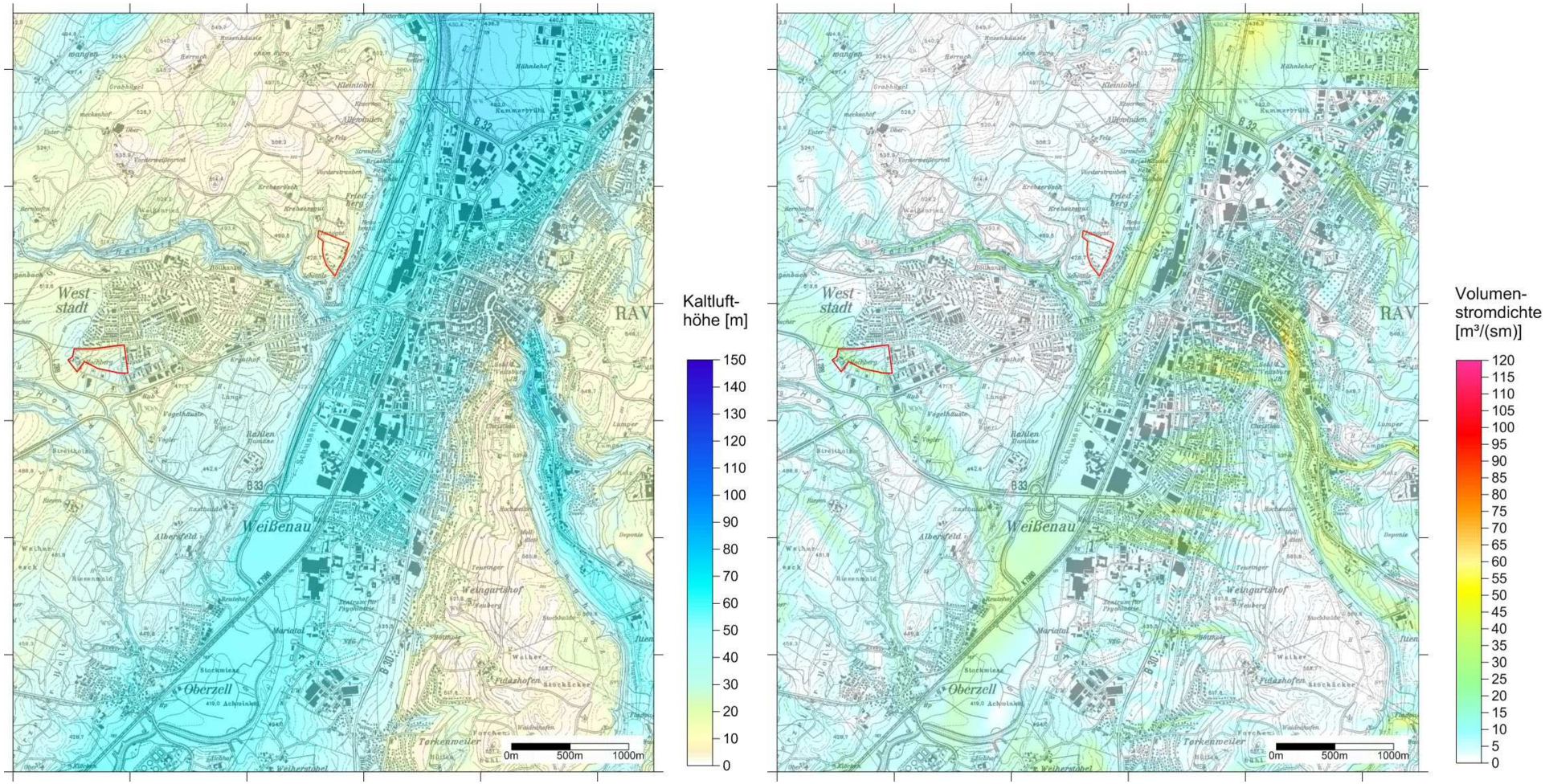


*Abbildung 14-6: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) **zwei Stunden** nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse*

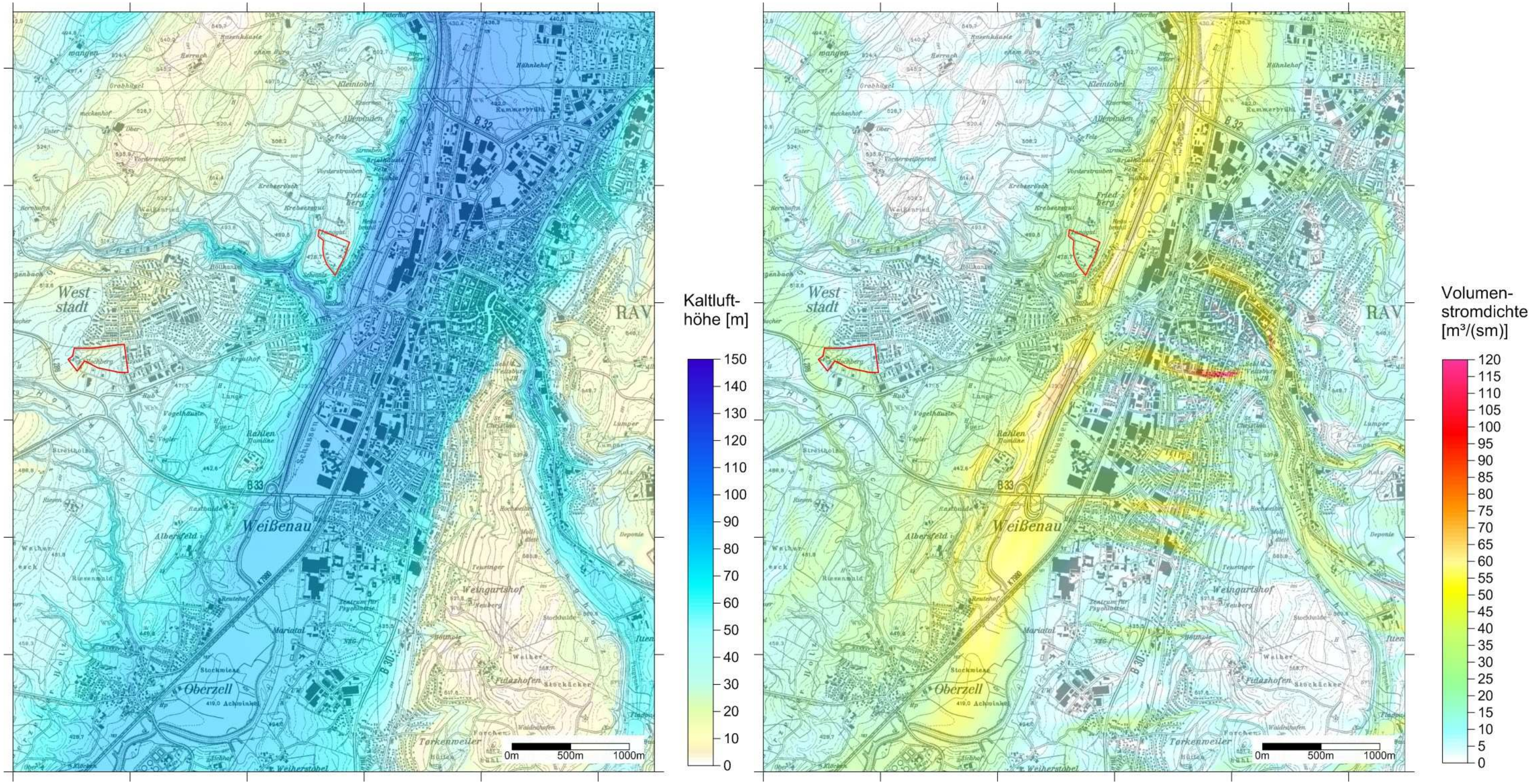


Abbildung 14-7: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) ***drei Stunden*** *nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse*

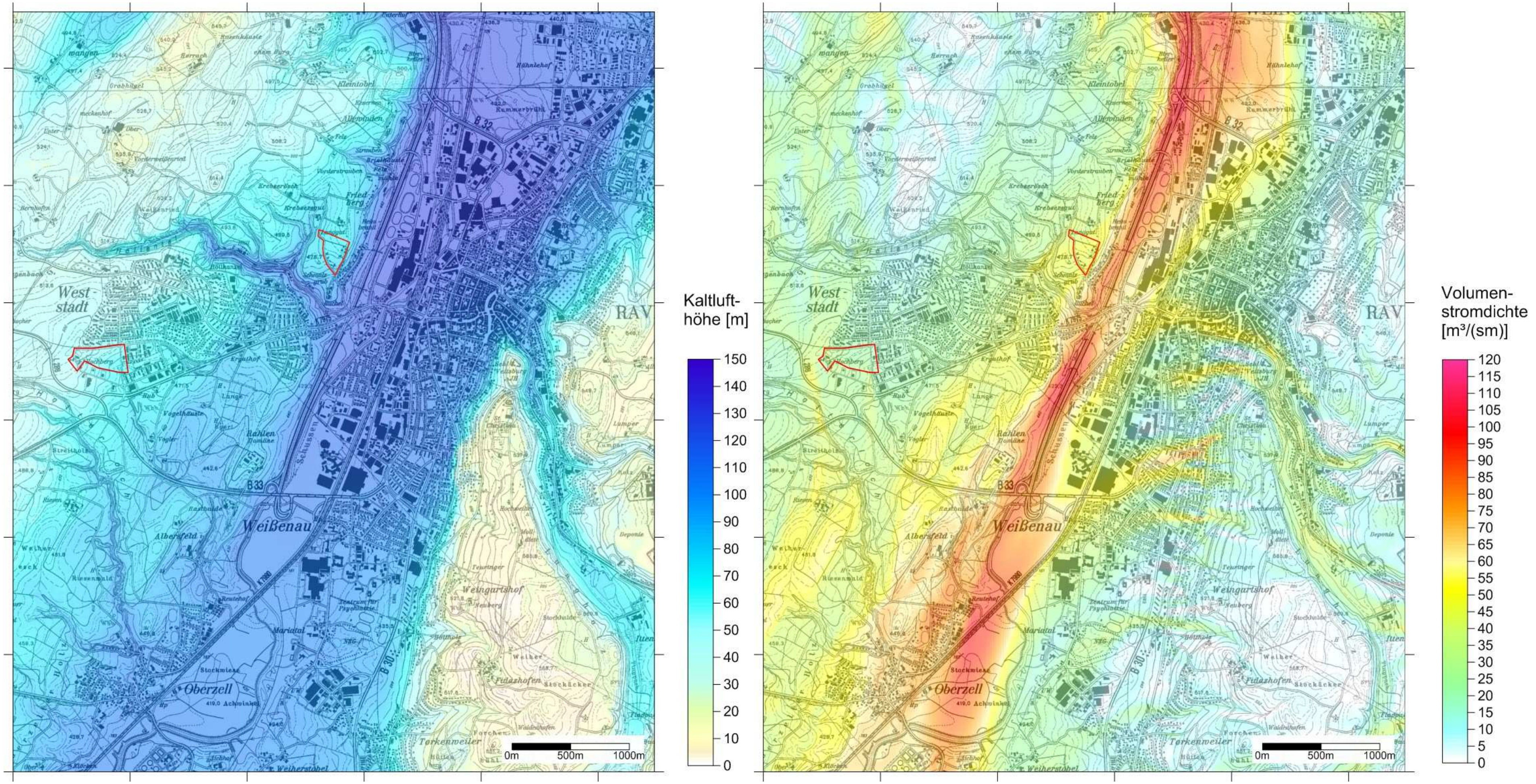


Abbildung 14-8: Höhe der fließenden Kaltluft über Grund (links) und Intensität der Strömung (rechts) ***fünf Stunden*** *nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse*

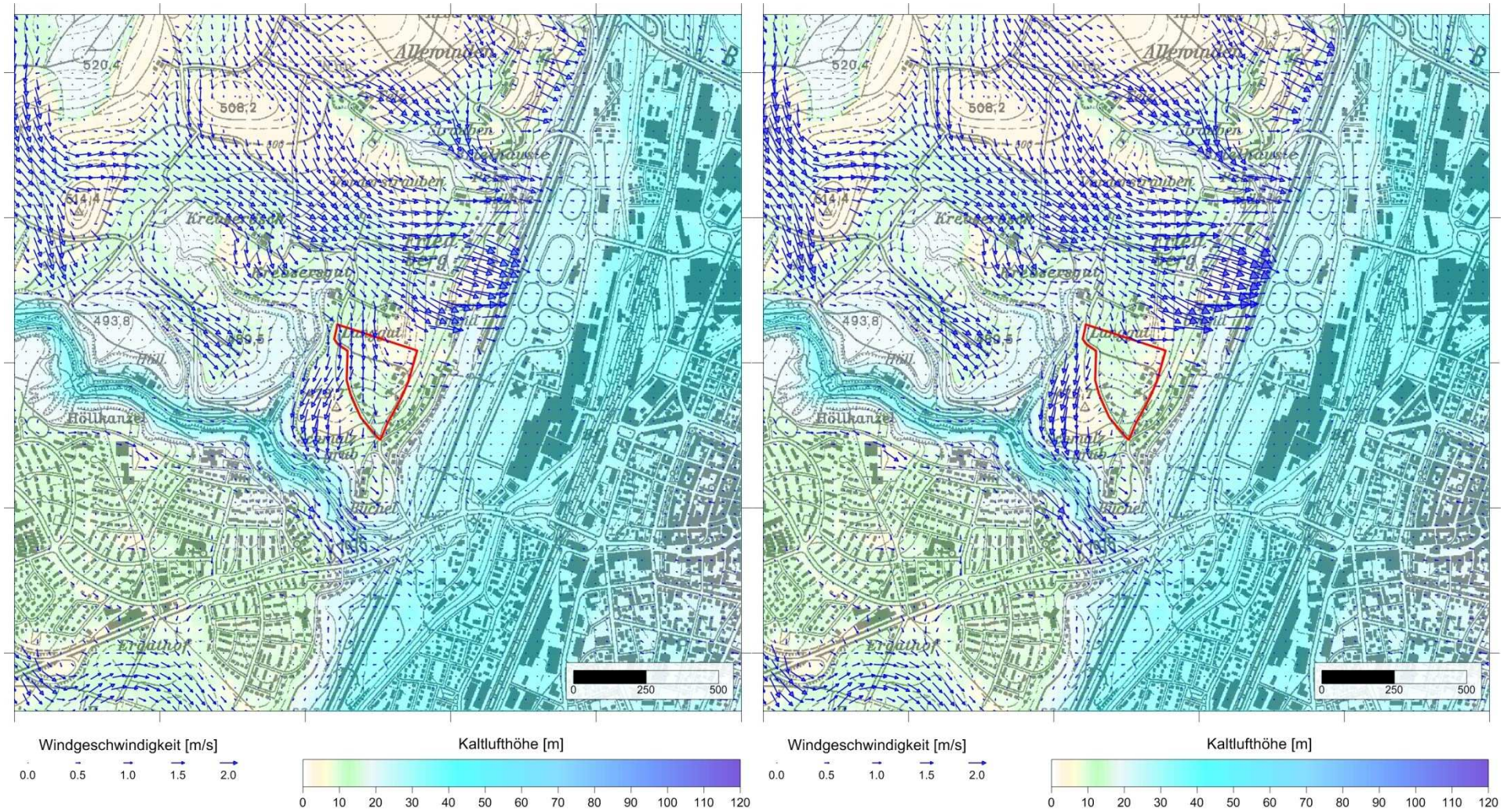


Abbildung 14-9: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Istzustand (links) und den Planfall (rechts) ***eine Stunde nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse***

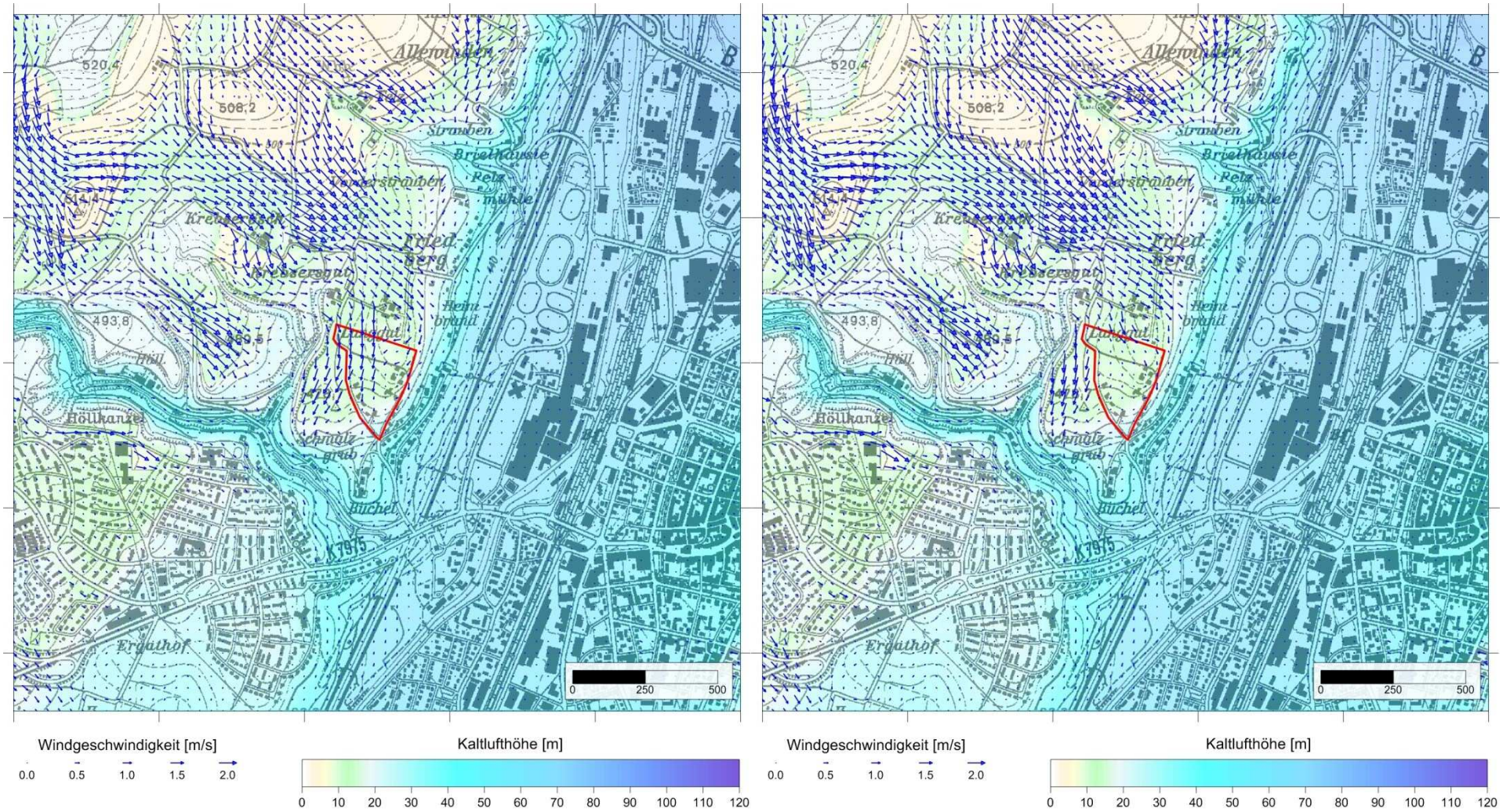


Abbildung 14-10: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Istzustand (links) und den Planfall (rechts) ***zwei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse***

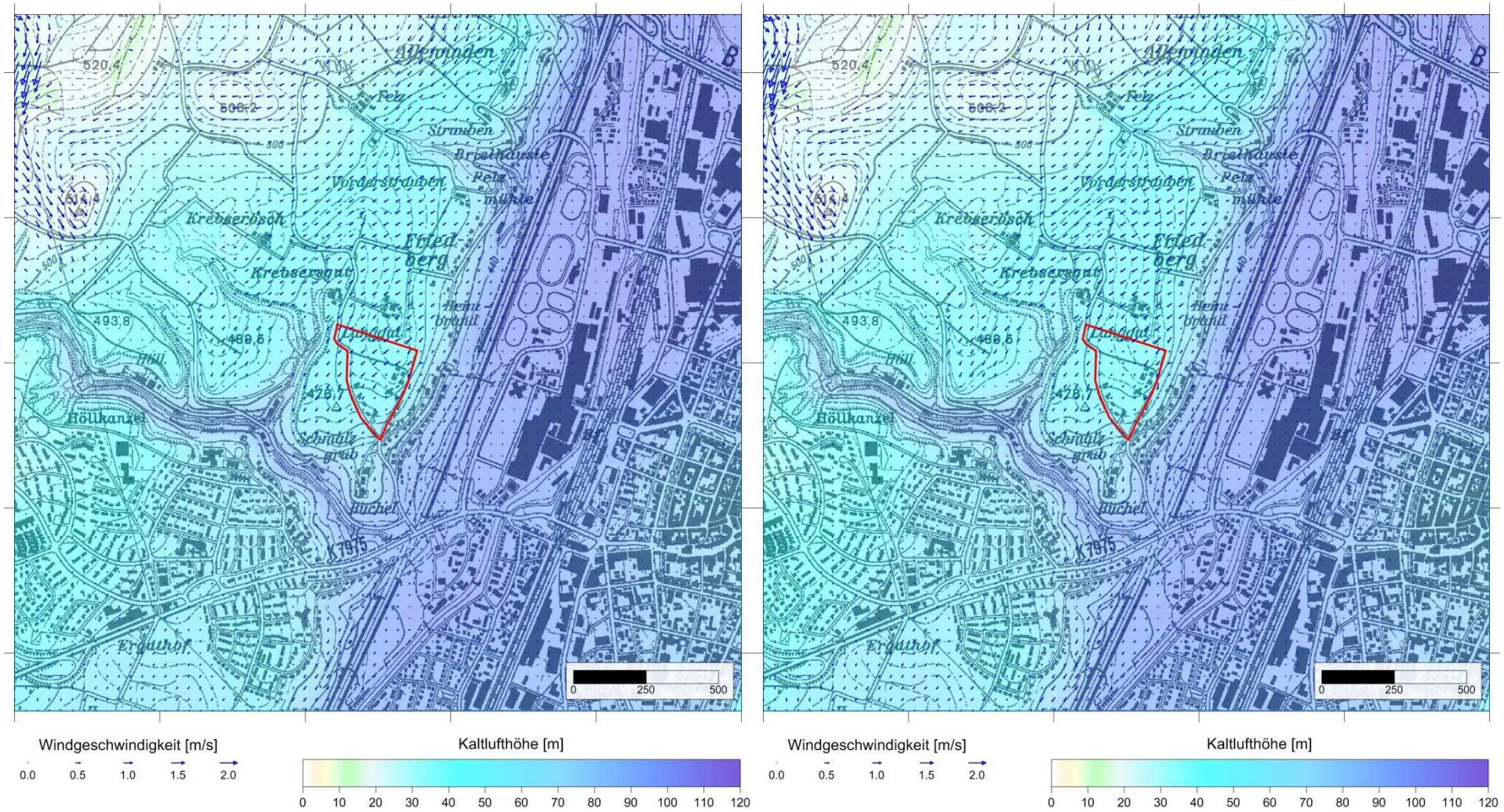


Abbildung 14-11: Windgeschwindigkeit in 2 m über Grund und Kaltlufthöhe für den Istzustand (links) und den Planfall (rechts) ***drei Stunden nach Einsetzen der Kaltluftabflüsse***