METCON
Umweltmeteorologische Beratung Dr. Klaus Bigalke
Jappopweg 9h • 25421 Pinneberg • Tel. 04101 / 693856 • Fax 04101 / 693857
info@metcon-umb.de • www.metcon-umb.de

Gutachten

Untersuchung der Auswirkungen von Nutzungsänderungen im Bebauungsplangebiet Nr. 43 „Blotenberg“ in Werther (Westf.) auf Kaltluft- und Durchlüftungsverhältnisse

Auftraggeber:

Stadt Werther (Westf.)

Mühlenstraße 2

33824 Werther (Westf.)

Pinneberg, den 25. November 2014

Version 1.0

Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung 3
2. Datengrundlage der Untersuchung 5
3. Beschreibung des Untersuchungsgebietes und der Planung 6
4. Mikroskalige numerische Kaltluftsimulationen 10
   4.1. Allgemeine Modellbeschreibung 10
   4.2. Modellgleichungen und Numerik 11
   4.3. Modellgebiet und Eingangsdaten 13
5. Ergebnisse 17
6. Zusammenfassung und Bewertung 29
Literatur 31

1. Aufgabenstellung

Die Stadt Werther (Westf.) erarbeitet derzeit den Bebauungsplan Nr. 43 „Blotenberg“ Das Plangebiet befindet sich am südlichen Ortsrand in Hanglage des Blotenbergs. Auf einer derzeit landwirtschaftlich genutzten Fläche von rund 5 ha soll zukünftig ein neues Wohngebiet entstehen.

Über Freiflächen wird bei nächtlichen Strahlungswetterlage, wie sie z.B. während Phasen sehr warmen Sommerwetters vorliegen, besonders in den Abendstunden sehr effektiv bodennahe Kaltluft gebildet. Bei entsprechenden topographischen Bedingungen können sich daraus Kaltluftflüsse bilden, die in Richtung niedriger gelegenes Gelände abfließen und für überwärmte und ggf. mit Immissionen belastete Siedlungsgebiete angenehme Abkühlung und Durchlüftung mit Frischluft bedeuten. Sie können deshalb ebenso wie Wälder eine wichtige bioklimatische Funktion für Siedlungsgebiete erfüllen [1].

Durch die geplante Bebauung am Hang des Blotenbergs ist unter Umständen mit klimatischen und lufthygienischen Veränderungen innerhalb der nördlich und nordöstlich angrenzenden Bebauung von Werther zu rechnen. Zum einen besteht die Möglichkeit, dass ein Kaltluftabfluss, der sich in Strahlungsnächten in Richtung bestehender Bebauung ausbilden kann, durch die geplante Bebauung behindert wird. Zum anderen wird durch die geplante Bebauung und der damit einhergehenden Versiegelung möglicherweise die Größe des Kaltluftentstehungsgebietes und somit die Kaltluftproduktion vermindert. Beides könnte eine Verschlechterung der Durchlüftung in der angrenzenden Bestandsbebauung von Werther in windschwachen Strahlungsnächten nach sich ziehen und somit Auswirkungen auf das lokale Klima haben.

Der Planungsausschuss der Stadt Werther hat beschlossen, neben der Verschattung und solarenergetischen Möglichkeiten im Plangebiet auch mögliche Auswirkungen der vorgesehenen Bebauung hinsichtlich klimatischer Veränderungen untersuchen zu lassen.

Die Aufgabenstellung des vorliegenden Gutachtens lässt sich daher folgendermaßen formulieren:

- Hoch auflösende Berechnung des Kaltluftströmungsgeschehens für typische windschwache Strahlungswetterlagen mit einem mesoskaligen Kaltluftmodell für den Istzustand sowie den Planzustand nach Realisierung des Wohngebiets
- Ermittlung typischer Kenngrößen nächtlicher Kaltluftabflüsse sowie deren Veränderung durch das geplante Wohngebiet in dessen Umgebung, insbesondere in den unmittelbar nördlich und nordöstlich angrenzenden Wohngebieten

- Bewertung der Ergebnisse

Die Berechnung der Kaltluftabflüsse im weiteren Einflussbereich des Untersuchungsgebiets erfolgt mit dem numerischen Simulationsmodell METKAT. Dieses Modell beruht auf einer vereinfachten Form der atmosphärischen Bewegungsgleichungen, den so genannten Flachwassergleichungen und ist damit speziell an die Simulation nächtlicher Kaltluftabflusssysteme angepasst.

Für die Bewertung möglicher klimatischer Auswirkungen der Bebauungsplanung gibt es derzeit keine verbindlichen rechtlichen Vorgaben oder Normen. In Anlehnung an die VDI 3787 Blatt 5 [1] werden daher die relativen Änderungen in den charakteristischen Kenngrößen des Kaltluftsystems zur Bewertung herangezogen.

2. Datengrundlage der Untersuchung

Die Untersuchung basiert auf den folgenden Unterlagen, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden:

- Rahmenplan, Variante 4a zum Bebauungsplan Nr. 43, Maßstab 1:1.000 („43-Rahmenplan V4a_130926.pdf“)
- Digitales Geländemodell DGM10 in 10 m Rasterauflösung für ein Gebiet von 12x12 km² („dgm10_32xxx_5yyy_2_nw.xyz“)
- Digitales Landschaftsmodell DLM im Shape-Format für ein Gebiet von 10x10 km² („anr_73030_produktionsdaten.zip“)

Die Daten des Digitalen Landschaftsmodells wurden von dem gelieferten Shape-Format den Anforderungen des Kaltluftmodells gemäß in ein Arc/Info ASCII Grid Rasterdatenformat mit 10 m Auflösung, entsprechend dem Digitalen Geländemodell, konvertiert.

Daneben standen als eigene Datenbasis

- Digitales Höhenmodell GlobDEM50 in 50 m Rasterauflösung der Fa. metSoft, Heilbronn
- CORINE 2006 Landnutzungsdaten in 100 m Auflösung für die großräumige Umgebung von Werther
- Topographische Karte 1:50.000
- Luftaufnahmen aus Google Earth

zur Verfügung. Außerdem wurden die Örtlichkeiten bei einem Ortstermin am 7.11.2013 besichtigt.

3. Beschreibung des Untersuchungsgebietes und der Planung

Der Bebauungsplan Nr. 43 „Blotenberg“ wird derzeit von der Stadt Werther (Westf.) erarbeitet. Das Rahmenkonzept der Planung ist in der Abbildung 1 wiedergegeben. Das Plangebiet grenzt südlich an den bebauten Kernbereich von Werther an. Es handelt sich im Wesentlichen um den Bereich der Ackerfläche südlich des Hofes Overbeck. Nach Nordwesten wird das Plangebiet von dem Teutoburger-Wald-Weg und nach Nordosten von der Bielefelder Straße begrenzt. Im Osten und Süden schließt ein Baumstreifen bzw. ein Wald das Plangebiet ab und im Südwesten endet es am Gelände des Diakoniewerks Werther Waldheimat. Insgesamt handelt es sich um eine Fläche von etwa 5 ha.

Abbildung 1: Rahmenkonzept zum B-Planentwurf Nr. 43 „Blotenberg“ mit beispielhafter Bebauung, Erschließung und Grünplanung.

Mit dem Bebauungsplan „Blotenberg“ sollen neue Flächen vorwiegend für Wohnbebauung ausgewiesen werden. In begrenztem Umfang sind weitere Nutzungen möglich, insbesondere entlang der Bielefelder Straße und des Teutoburger-Wald-Weges.

Die Grundrisse der bestehenden Bebauung sind in der Abbildung 1 mit grauen Linien dargestellt. Eine mögliche Anordnung und Größe der künftigen Bebauung ist anhand der braunen Farbflächen vorgegeben. Gegliedert wird der Planbereich durch Erschließungswege und Grünstreifen / Hecken. Die Höhe der künftigen Bebauung ist noch nicht abschließend geregelt. Möglich wäre sowohl eine 1 ½- als auch eine 2 ½-geschossige Bebauung. Fest steht jedoch, dass die Fläche - wie in der Skizze - locker und überwiegend mit Einfamilienhäusern bebaut werden soll und einen großen Anteil an Grünfläche und Gärten erhält.

Aus den Abbildungen 2 und 3 ist die Einbettung des Plangebietes in die regionale topographische Situation ersichtlich. Werther liegt ca. 9 km nordwestlich von Bielefeld auf der Nordostseite des Teutoburger Waldes. In dem Abschnitt zwischen Werther, Halle und Borgholzhausen bildet der Teutoburger Wald keinen durchgehenden Höhenzug, sondern ist in mehrere parallele, unterbrochene Höhenzüge untergliedert. Zwischen Halle und Werther endet der von Süden kommende 300 m hohe Hauptkamm. Nördlich fällt das hügelige Gelände auf 200 m NHN ab. Nach Nordwesten schließt sich mit der Großen Egge ein zweiter Kamm von 250 bis 300 m NHN an. Dazwischen existiert kein durchgehender Kamm, sondern Einzelerhebungen (Knüll und Starkenberg) wechseln sich mit tiefen Einschnitten ab. Auf der nordöstlichen Seite bilden Werther Egge und Blotenberg einen ebenfalls parallel verlaufenden, aber mit maximal 210 m NHN niedrigeren Höhenzug. Dieser Höhenzug trennt einen südwestlichen Stadtteil vom restlichen Stadtgebiet Werthers.

Zwischen Werther Egge und Blotenberg verläuft ein etwa 700 m breiter Geländeeinschnitt, der auf seiner Nordwestseite gut zur Hälfte bebaut ist. Auf der südöstlichen Seite befinden sich überwiegend landwirtschaftliche Flächen sowie Sportanlagen. Mit Umsetzung des Bebauungsplans wird hiervon ein etwa 200 m breiter Streifen ebenfalls bebaut sein, so dass dann nur noch ein knapp 200 m breiter Streifen des Geländeeinschnitts von Bebauung freigehalten bleibt.

In klimatischer Hinsicht dürften Teutoburger Wald und Egge sowie das landwirtschaftlich genutzte Hügelland dazwischen als Kaltluftproduktions- und -leitgebiete für den Stadtbereich von Werther von Bedeutung sein.

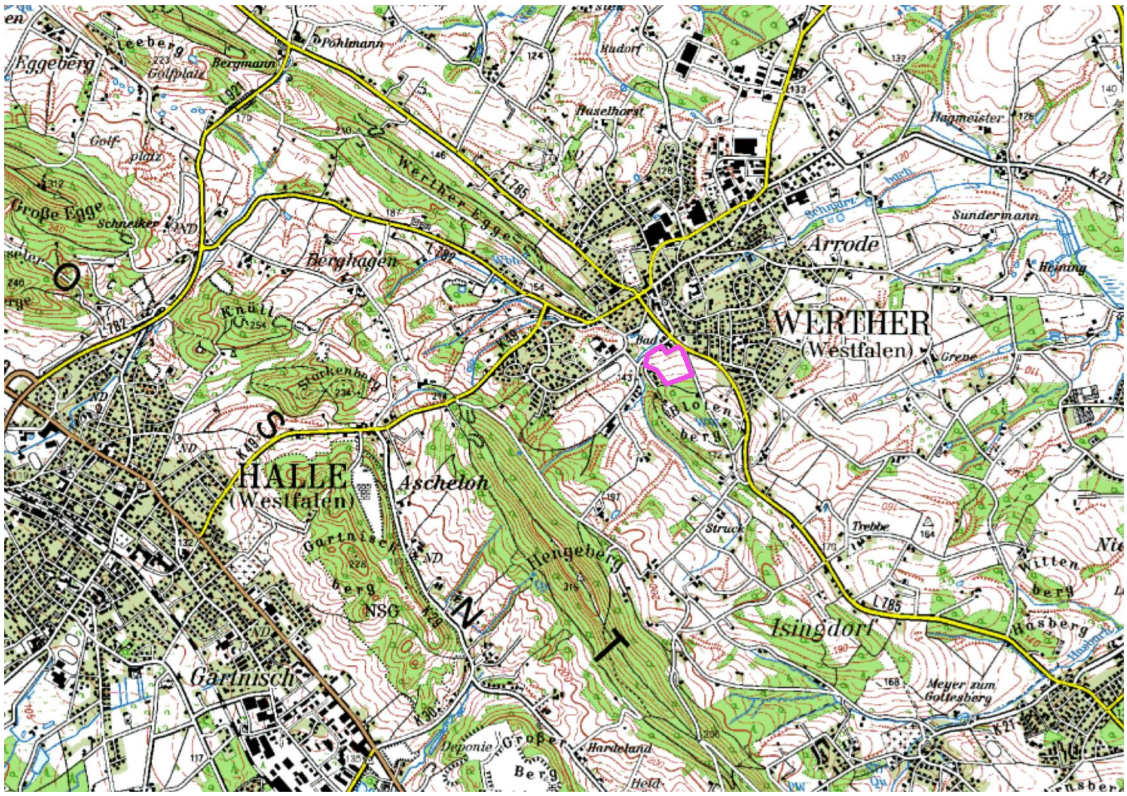

Abbildung 2: Topographische Karte der Umgebung von Werther mit rot eingezeichnetem Bebauungsplangebiet (Quelle: geoportal.nrw.de).

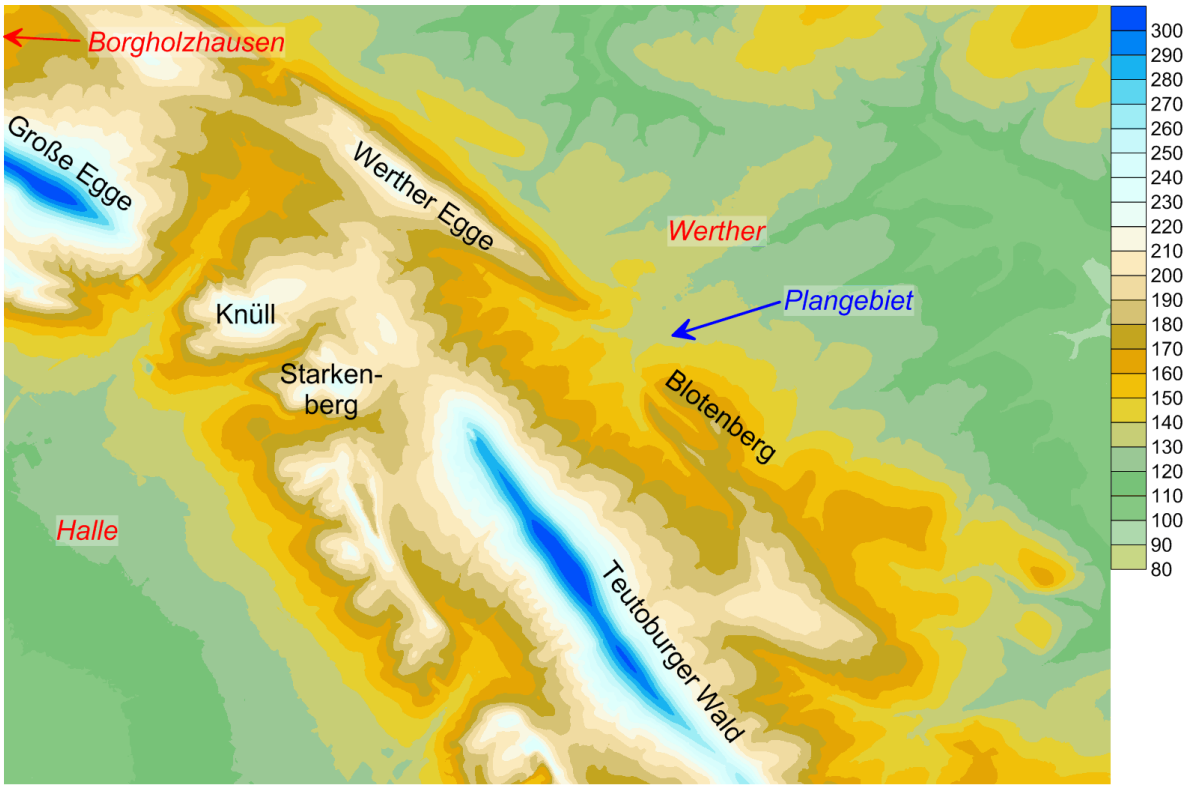

Abbildung 3: Geländerelief in der Umgebung von Werther, Geländeausschnitt wie Abb. 2, Geländehöhen in m über NHN.

Bodennahe Kaltluft entsteht bei windschwachen und wolkenarmen Wetterlagen über Freiflächen mit hoher langwelliger Ausstrahlung. Wachsen Kaltluftschichten in den Abendstunden an und weist das Gelände ein leichtes Gefälle auf, so setzt sich die im Vergleich zur Umgebungsluft schwerere Kaltluft als Dichteströmung in Richtung des tieferen Geländes in Bewegung.

Insbesondere der Geländeeinschnitt zwischen Werther Egge und Blotenberg könnte deshalb bei Strahlungswetterlagen mit geringen Windgeschwindigkeiten als Kaltluft- und Frischluftleitbahn in Richtung Werther Stadtgebiet fungieren. Dringt Kaltluft bis in die Siedlungsgebiete ein, so kann sie dort die nächtliche Lufttemperatur herabsetzen, was insbesondere in den Sommermonaten ein erwünschter Effekt ist. Kommt die Kaltluft aus lufthygienisch wenig belastetem Gebiet, so wird darüber hinaus die Luftqualität im Siedlungsgebiet verbessert. Da zwischen Teutoburger Wald, Egge und Blotenberg keine Industriegebiete oder Straßen mit hoher Verkehrsbelastung liegen und über Geruchsemissionen nichts bekannt ist, kann auch dieser Effekt hier zum Tragen kommen.

Die für das Plangebiet vorgesehene aufgelockerte Bebauung der bisherigen Ackerfläche erhöht die aerodynamische Rauigkeit des Geländes und wird die mittleren Windgeschwindigkeiten in der direkten Umgebung leicht reduzieren. Zudem ändern sich die Strahlungseigenschaften der Planfläche, so dass im Vergleich zu Ackerflächen weniger Kaltluft produziert wird. Die geplante Flächenumwandlung könnte deshalb sowohl einen möglichen Kaltluftfluss entlang der angenommenen „Kaltluftleitbahn“ zwischen Werther Egge und Blotenberg abbremsen als auch die Kaltluftschichtdicke und somit insgesamt den Kaltluftvolumenstrom in das Stadtgebiet reduzieren.

Weitere Einflüsse der geplanten Bebauung auf die klimatischen Verhältnisse der Umgebung sind aufgrund der Plangebietsgröße und aufgelockerten Bebauung nicht zu erwarten. Der geringe Versiegelungsgrad wird zu keiner nennenswerten thermischen Wirksamkeit der Flächen in Bezug auf die Umgebung führen.

4. Mikroskalige numerische Kaltluftsimulationen

Zur Ermittlung der Bedeutung der von der Planung betroffenen Flächen auf Kaltluftproduktion und Kaltluftabfluss im Untersuchungsgebiet in Bezug auf das größerräumige Kaltluftabflussverhalten des umgebenden Reliefs wurden Modellsimulationen mit dem Kaltluft-Simulationsmodell METKAT durchgeführt.

4.1. Allgemeine Modellbeschreibung

METKAT ist ein numerisches Modell zur Simulation von Kaltluftabflüssen in topographisch gegliedertem Gelände. Es basiert auf den so genannten Flachwassergleichungen, die eine vereinfachte, vertikal integrierte Form der Bewegungsgleichungen darstellen [2]. Mit Hilfe dieser Gleichungen ist es möglich Strömungskomponenten, Schichtdicken und Flüsse als vertikale Integralwerte über die Kaltluftschicht in hoher Horizontalauflösung zu berechnen. Der Vorteil eines solchen Modells liegt in den geringen Anforderungen an Rechenkapazitäten und Speicherplatz.

In METKAT werden folgende Einflüsse auf das Verhalten von Kaltluftabflüssen berücksichtigt:

- landnutzungsspezifische Kaltluftproduktion
- landnutzungsspezifische Strömungsabbremsung aufgrund der Rauigkeit (Reibung)
- Einflüsse der umgebenden Strömung auf die lokalen Verhältnisse (Advektion)
- Einflüsse von Dichtedifferenzen und Erdrotation auf die Strömung (Coriolis- und Auftriebskräfte)
- Einmischen umgebender Luft am Oberrand der Kaltluftschicht aufgrund von Impuls- und Temperaturdifferenzen (Entrainment)

Typische Anwendungsmöglichkeiten von METKAT sind z.B.:

- Analyse lokaler oder regionaler Kaltluftströmungen / Belüftungssituationen
- Messnetzplanung zum Nachweis / zur Quantifizierung von Kaltluftflüssen
- Abschätzung der Auswirkung von Landschaftseingriffen oder Baumaßnahmen auf Kaltluftströme / Belüftungssituationen
- Eingrenzung von Gebieten erhöhter Frostgefährdung (Kaltluftseen)
- Abschätzung von Immissionen im Einflussbereich von Kaltluftabflüssen

- Bereitstellung von Strömungsdaten zur weiteren Verwendung in Ausbreitungsmodellen

4.2. Modellgleichungen und Numerik

Grundlage des Modells sind die Flachwassergleichungen nach [2], die aus der vertikalen Integration der atmosphärischen Bewegungsgleichungen unter Annahme einer konstanten Dichte und der Kontinuitätsgleichung resultieren und eine ergänzende Gleichung für die Temperatur, abgeleitet aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{C_D U u}{h} - \frac{EV(u-u_a)}{h} - f(v_g - v) - \frac{g\Delta T}{T_0}\left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z_s}{\partial x}\right) + K_H\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{C_D U v}{h} - \frac{EV(v-v_a)}{h} - f(u_g - u) - \frac{g\Delta T}{T_0}\left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z_s}{\partial y}\right) + K_H\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial uh}{\partial x} - \frac{\partial vh}{\partial y} - \frac{EV\Delta T}{T_0} + Q + K_H\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\right)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u\frac{\partial T}{\partial x} - v\frac{\partial T}{\partial y} - A + K_H\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)$$

mit

$$U = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$V = \sqrt{(u-u_a)^2 + (v-v_a)^2}$$

$$E = \frac{A_1}{S_1\, Ri + A_2} \qquad A_1 = 2\cdot 10^{-3}, A_2 = 2\cdot 10^{-2}, S_1 = 0.5$$

$$Ri = \frac{g\ \Delta T\ h}{T_0 U^2}$$

$$K_H = 0.08\cdot\Delta x\cdot\Delta y\cdot\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2}$$

u und *v* sind die vertikal integrierten Windkomponenten in x- bzw. y-Richtung innerhalb der Kaltluftschicht, u_a und v_a bzw. u_g und v_g die korrespondierenden Windkomponenten oberhalb der Kaltluftschicht bzw. oberhalb der atmosphärischen Grenzschicht (geostrophischer Wind). Mit *h* ist die Schichtdicke der Kaltluft, mit z_s die Geländehöhe, mit *Q* die Kaltluftproduktionsrate und mit *A* die abendliche Abkühlrate der Luft bezeichnet. ΔT ist die Temperaturdifferenz der Kaltluftschicht *T* zur umgebenden Referenztemperatur T_0, C_D der Widerstandsbeiwert bzw. Reibungskoeffizient des Untergrunds, *f* der Coriolisparameter und *g* die Erdbeschleunigung. Der Diffusionskoeffizient K_H berechnet sich aus der Scherung der Strömung.

Die beiden ersten Terme jeder Gleichung entsprechen der Advektion, die folgenden Terme repräsentieren die Vertikaldiffusion (Reibung am Boden, Entrainment am Oberrand), Corioliskraft und Druckgradienten aufgrund von Dichte- bzw. Temperaturdifferenzen sowie die Kaltluftproduktion. Eine Kaltluftdissipation, die über Entrainmenteffekte hinausgeht (z.B. durch Advektion der Kaltluft über warme Wasseroberflächen oder Eindringen in wärmere bebaute Bereiche), kann durch Vorgabe einer negativen Kaltluftproduktionsrate für die entsprechenden Landnutzungstypen realisiert werden. Der letzte Term repräsentiert die Horizontaldiffusion. Entrainment am Oberrand, horizontale Diffusion sowie die Temperaturgleichung werden in METKAT optional berechnet.

Anstelle der prognostisch bestimmten Temperatur kann auch mit einer fest vorgegebenen Temperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung gerechnet werden. Die Temperaturgleichung dient in erster Linie dazu, eine zeitlich und räumlich variable Temperaturdifferenz zwischen Kaltluftschicht und Umgebung bereitzustellen. Sie liefert eine bessere Näherung als eine vorgegebene feste Temperaturdifferenz. Die absoluten Temperaturen sind dagegen weniger verlässlich. Für eine belastbare Temperaturbestimmung mangelt es der Temperaturgleichung jedoch an einer Parametrisierung der Energieflüsse am Boden, deren Richtung vom Vorzeichen der Temperaturdifferenz zwischen Boden / Oberflächen und Luft abhängt. In der vorliegenden Form findet grundsätzlich nur eine Abkühlung der Luft in Abhängigkeit von der lokalen Landnutzung statt.

Dem Modell kann ein Modellgitter vorgegeben werden, in dem innerhalb einer Gitterpunktsfläche die prozentualen Anteile verschiedener Landnutzungen definiert sind. In diesem Fall werden sowohl der Widerstandsbeiwert als auch die Kaltluftproduktionsrate und die Abkühlrate als gewichteter Mittelwert aus den landnutzungsspezifischen Klassenwerten gebildet.

Das Modellgebiet wird durch ein frei wählbares räumliches Gitter definiert, an dessen Gitterpunkten Geländehöhen und Landnutzung digitalisiert vorgegeben werden. Die Grundgleichungen werden gitterbezogen auf einem so genannten Arakawa-C-Gitter diskretisiert und numerisch gelöst. Die Advektionsterme werden mit einem Upstreamverfahren, andere Terme mit zentrierten Differenzen diskretisiert.

Über die Einströmränder erfolgt kein Kaltluftfluss in das Modellgebiet hinein. An Ausströmrändern wird die Normalableitung der Kaltlufthöhe auf 0 gesetzt. Die randnormalen Windkomponenten werden mithilfe einer Orlanski-Strahlungsrandbedingung berechnet. Alternativ kann für die Kaltlufthöhen und die randnormalen Windkomponenten ein konstanter Gradient angenommen werden.

4.3. Modellgebiet und Eingangsdaten

Um die geplanten Flächennutzungsänderungen und deren mögliche Einflüsse auf die Kaltluftströmungen im Modell darstellen zu können, ist eine hohe räumliche Auflösung erforderlich, die für diese Untersuchung auf 10 m festgelegt wurde. Mit einer so hohen Auflösung lassen sich nicht das gesamte Stadtgebiet und dessen weitere Umgebung berechnen. Anhand von Testrechnungen mit mehreren Modellgittern wurde daher zuerst untersucht, welche Modellgebietsgröße ausreichend ist, um alle wesentlichen Einflüsse auf die Kaltluftstrukturen im Untersuchungsgebiet zu erfassen.

Im Rahmen der Testrechnungen wurden zunächst Rechnungen mit 50 m Auflösung für so große Modellgebiete durchgeführt, dass alle für das Untersuchungsgebiet bei Werther möglicherweise relevanten regionalen topographischen Strukturen erfasst werden konnten. Dem wurden vergleichend Rechnungen mit 10 m Auflösung für kleinere Modellgebiete gegenübergestellt. Exemplarisch für diese Rechnungen sind in der Abbildung 4 die Strömungsfelder für ein charakteristisches Kaltluftsystem in einem Gebiet von 25x25 km² sowie 8x8 km² Ausdehnung dargestellt. Innerhalb des Ausschnitts um Werther stimmen die Strömungsstrukturen zwischen beiden Rechnungen sehr gut überein. Daraus wird geschlossen, dass der Gebietsausschnitt

UTM Nord: 32 455 500 - 32 463 500

UTM Ost: 5 765 500 - 5 773 500

für die hoch auflösenden Rechnungen des Ist- und Planzustandes hinreichend groß ist, um alle relevanten Einflüsse im Plangebiet und dessen Umgebung zu erfassen.

Die Orographie des anhand der Testrechnungsergebnisse für die eigentliche Untersuchung ausgewählten Modellgebiets ist in der Abbildung 5 dargestellt. Es umfasst alle Geländestrukturen, die einen Einfluss auf die Ausbildung des Kaltluftsystems im Untersuchungsgebiet haben. Im Süden reicht es bis über den Kamm des Teutoburger Waldes mit der regional höchsten Erhebung, dem Hengeberg, hinaus und im Nordwesten wird der nächste Hauptkamm (Große Egge) mit erfasst. Somit ist ein Abfluss nach beiden Seiten des Hauptkamms sowie in die Tallagen dazwischen im Modell möglich. Nach Nord und Osten werden die kleinen Talsysteme von Warmenau und Schwarzbach sowie die dazwischen liegenden Hügel bei Häger erfasst. Sie können für das Abbremsen und Umlenken der vom Teutoburger Wald her kommenden Strömung eine Rolle spielen.

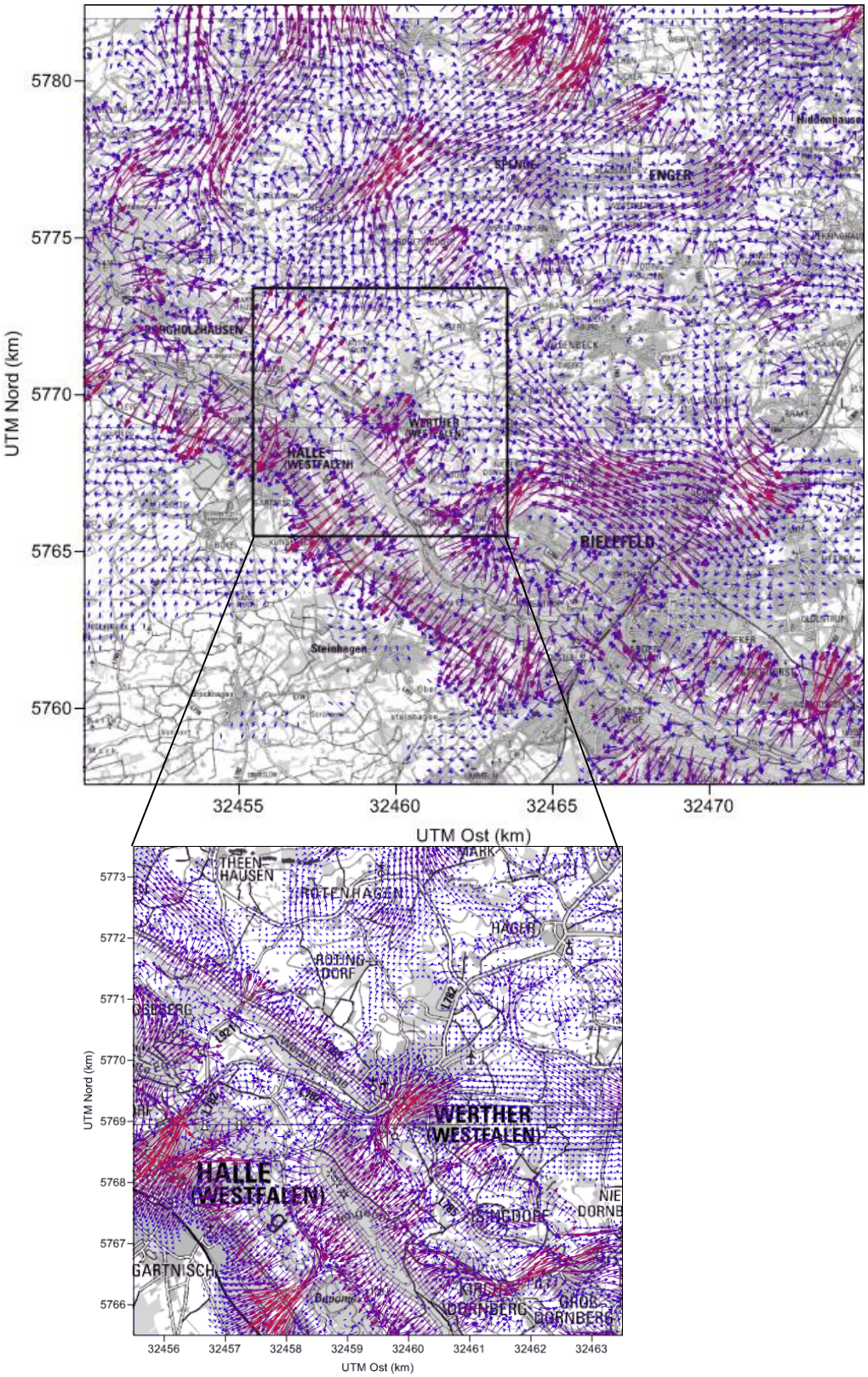

Abbildung 4: Vektordarstellung eines Kaltluft-Strömungsfeldes 4 Stunden nach Sonnenuntergang in einem Gebiet von 25x25 km² mit 50 m Auflösung (oben) und von 8x8 km² mit 10 m Auflösung (unten).

Die ungefähre Lage des Plangebietes „Blotenberg“ ist in der Abbildung rot markiert. Direkt westlich davon ist die Einkerbung zwischen Werther Egge und Blotenberg zu erkennen. Beide Höhenzüge schließen zusammen mit dem Hauptkamm des Teutoburger Waldes eine Art Senke ab, die nur nach Nordosten die schmale Öffnung hat. Bei einer räumlichen Auflösung von 10 m und einer Gebietsgröße von 8 x 8 km^2 ergibt sich eine Anzahl von 800x800 Gitterpunkten in West-Ost- und in Süd-Nord-Richtung.

Die Abbildung 7 stellt die Landnutzungen im Modellgebiet für den Istzustand (oben) und den Planzustand (unten) gegenüber. Dargestellt ist jeweils nur die Nutzung mit dem höchsten Flächenanteil an einem Modellgitterpunkt. Tatsächlich werden im Modell die prozentualen Anteile aller Landnutzungen berücksichtigt. Das Plangebiet hebt sich knapp unterhalb der Bildmitte, am südlichen Ortsrand von Werther, durch die neue, rot dargestellte Bebauung hervor.

Die Modellrechnungen werden für eine windstille Nacht ohne überlagerten großräumigen Wind durchgeführt. Sie setzen nach Sonnenuntergang ein und werden über vier Stunden fortgesetzt. Nach dieser Zeit haben sich die charakteristischen Verteilungen von Kaltluftabflüssen und Wind ausgebildet und ändern sich nur noch wenig. Die Temperaturdifferenz zwischen Kaltluftschicht und darüber liegender wärmerer Luftschicht wird mit 2,5 K angesetzt.

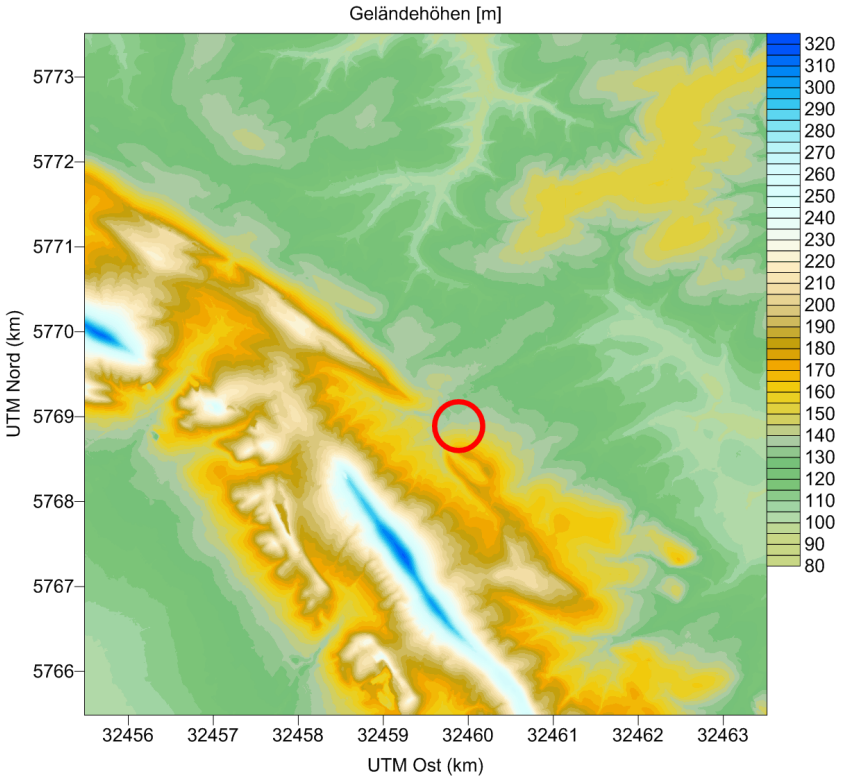

Abbildung 5: Geländehöhen (m) im Modellgebiet der Kaltluftsimulationen. Die Lage des Plangebietes ist rot markiert.

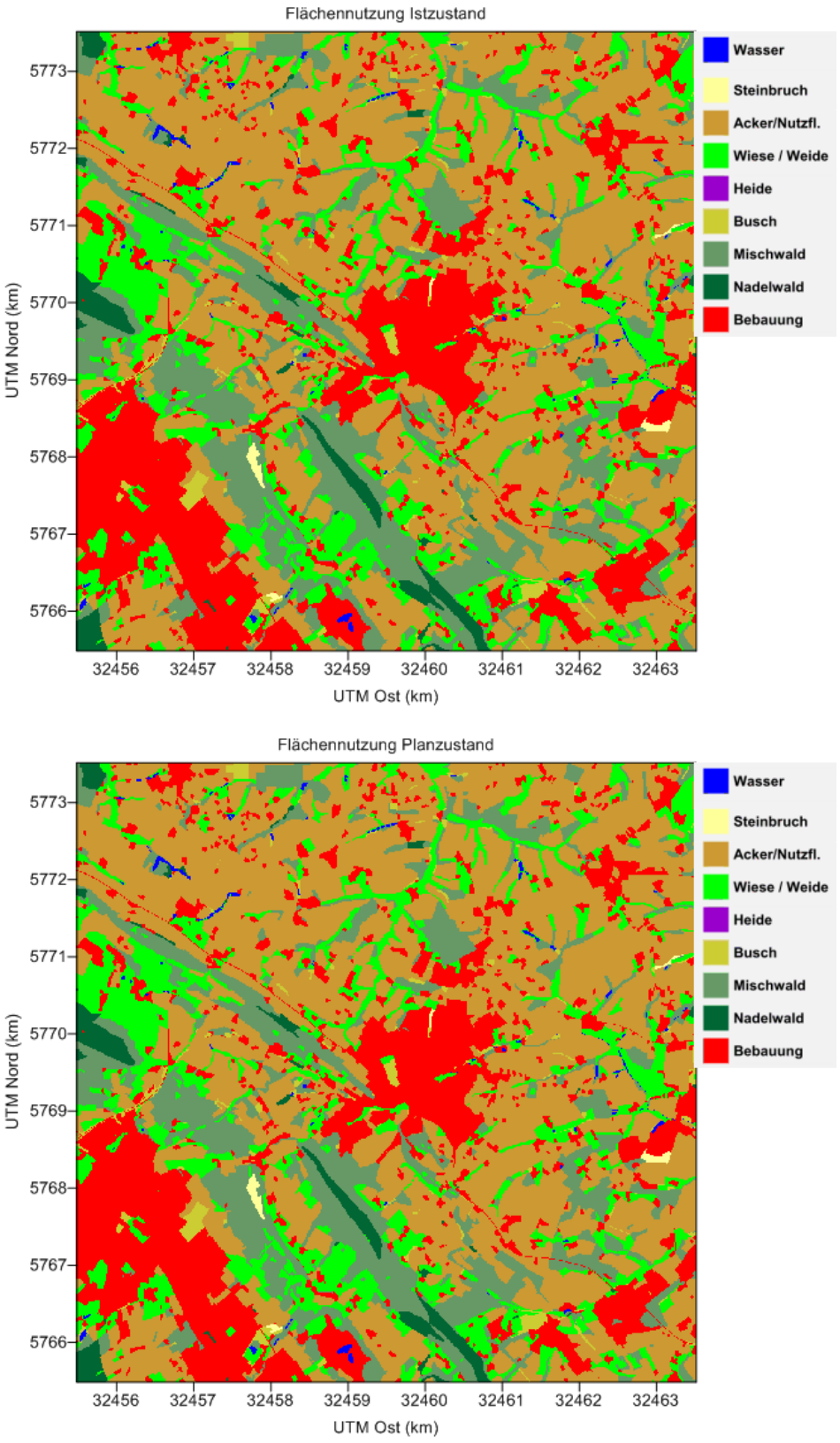

Abbildung 6: Flächennutzungen im Istzustand (oben) und Planzustand (unten) im Modellgebiet der Kaltluftsimulationen.

5. Ergebnisse

Das mit METKAT berechnete Kaltluftsystem für eine windstille Nacht wird in den Abbildungen 7 und 8 im gesamten Modellgebiet exemplarisch anhand der Windvektoren und Kaltluftmächtigkeit für den Istzustand dargestellt. Das Bebauungsplangebiet liegt etwa bei den Koordinaten 32460 / 5769 rechts unterhalb der Bildmitte (vgl. Abb. 5).

Einige Stunden nach Sonnenuntergang haben sich die Kaltluftabflüsse sowohl an den Hängen des Teutoburger Waldes als auch der vorgelagerten Höhenzüge bereits zu größeren, zusammenhängenden Systemen organisiert. In den kleinen Tälern am Nordost- und Südwesthang sammelt sich die lokal gebildete Kaltluft und fließt dann talabwärts.

Ein Teil der am Südwesthang der Werther Egge gebildeten Kaltluft vereinigt sich mit Abflüssen von der Großen Egge und Knüll und fließt dann in Richtung Halle ab. Ein anderer Teil vereinigt sich mit Abflüssen von Knüll und Starkenberg und fließt zunächst Richtung Südost. In der dortigen Senke zwischen Hauptkamm des Teutoburger Waldes und der vorgelagerten Werther Egge und dem Blotenberg kommen von Südwesten und Südosten weitere Kaltluftabflüsse der umgebenden Hänge hinzu. Für diese Abflüsse bleibt nur der etwa 700 m breite Einschnitt zwischen Werther Egge und Blotenberg, so dass sich hier eine relativ kräftige Strömung nach Nordosten in Richtung des Stadtgebiets von Werther ausbildet. Über dem Stadtgebiet verzweigt die Strömung wieder, wird abgeschwächt und ist ab einer Distanz von 1 km unbedeutend. An den weiter nördlich und südlich gelegenen Hangabschnitten haben die Kaltluftabflüsse geringere Stärke und reichen kaum weiter als 500 m. Zwei weitere, aber nur schwach ausgeprägte Strömungen finden sich in den kleinen Tälern von Warmenau (nach Norden) und Schwarzbach (nach Südosten).

Die beschriebenen Charakteristiken finden sich auch in der räumlichen Verteilung der Kaltluftmächtigkeit wieder (Abb. 8). Grundsätzlich sind die Schichtdicken der Kaltluft auf den Bergen und an den Hängen gering, weil sie von dort recht schnell abfließen. In den Tälern fließt Kaltluft aus verschiedenen Richtungen zusammen, so dass dort größere Schichtdicken auftreten. Erreicht ein Kaltluftabfluss eine Senke oder flaches Gelände, so nimmt die Strömungsgeschwindigkeit ab und die Kaltluftschicht kann unter Umständen bis auf große Höhe anwachsen („Kaltluftsee“). In den nach Halle führenden Abflüssen werden Schichtdicken bei 30 m berechnet. Südwestlich des Plangebiets, zwischen Teutoburger Wald, Werther Egge und Blotenberg ist die Kaltluftschicht nach 4 Stunden bis auf rund 20 m Mächtigkeit angewachsen. Mit dem Ausströmen über Werther nimmt nicht nur die Strömungsgeschwindigkeit, sondern auch die vertikale Mächtigkeit bis auf unter 10 m ab. Die beiden Talsysteme von Warmenau und Schwarzbach haben nur sehr geringes Gefälle und entsprechend geringe

Fließgeschwindigkeiten in der Kaltluft. Gleichzeitig kommen aber Abflüsse aus relativ großen Einzugsgebieten zusammen, so dass zwar noch nicht von Kaltluftseen gesprochen werden kann, sich in den schwachen Abflüssen jedoch Mächtigkeiten deutlich über 30 m ausbilden können.

Gegenüber den Ergebnissen in Abbildung 4 oben weisen diese Berechnungen eine fünffach bessere räumliche Auflösung auf, so dass kleinräumige Strukturen abgebildet werden können, die in den Rechnungen für das große Gebiet nicht zu erkennen sind.

In den Abbildungen 9 bis 15 sind Windvektoren, Windgeschwindigkeit, Kaltluftmächtigkeit und Kaltluftvolumenstrom in einem 1 km² großen Ausschnitt um das Bebauungsplangebiet jeweils für den Istzustand und den Planzustand zum direkten Vergleich einander gegenübergestellt. Ergänzend werden jeweils die absoluten und relativen Differenzen von Planzustand gegenüber dem Istzustand abgebildet.

An den Windvektoren im Kaltluftabfluss (Abb. 9) lassen sich fast keine Unterschiede zwischen Ist- und Planzustand feststellen. In beiden Fällen erkennt man eine von Süden her kommende Strömung, die sich um den Blotenberg herum in Richtung Werther zieht. Andeutungsweise ist auch an der Werther Egge am linken Bildrand die von Westen her um den Hang herum ziehende Strömung zu erkennen. Im tiefen Einschnitt zwischen beiden Höhenzügen ist die Strömung am stärksten und nimmt zu den Hängen hin ab. Etwa auf der Hälfte des Plangebiets ist noch eine nennenswerte Strömung Richtung Stadtgebiet vorhanden, auf der östlichen Hälfte kommt sie praktisch zum Erliegen. Über dem Stadtgebiet schließlich ist das schon oben erwähnte Divergieren der Strömung in nördliche bis östliche Richtung sichtbar. Der deutlichste Unterschied von Plan- zu Istzustand besteht in einer Abschwächung der Strömung im östlichen Plangebiet.

Die gleichen Strukturen lassen sich in den Windgeschwindigkeiten (Abb. 10) wiederfinden. Südwestlich des Einschnitts gibt es mehrere Zweige mit erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten von 1 bis 1,5 m/s. An der engsten Passage des Einschnitts, über den Freiflächen westlich des Teutoburger-Wald-Wegs, erreicht die Strömungsgeschwindigkeit 2 m/s und geht über dem Stadtgebiet wieder auf gut 1 m/s zurück. Geringe Kaltluftgeschwindigkeiten mit maximal 0,5 m/s liegen auf dem Blotenberg und an dessen Nordhang vor. Im Plangebiet bewegt sich das Geschwindigkeitsniveau im Istzustand zwischen 0,1 und 1,5 m/s, im Planzustand zwischen 0 und 1,5 m/s. Aus der Differenzendarstellung in Abbildung 11 wird deutlich, dass die Abnahme am Teutoburger-Wald-Weg mit -0,1 m/s maximal 5 % ausmacht, am östlichen Rand des Plangebiets mit -0,4 m/s aber etwa 70 % beträgt. Über das Plangebiet hinaus ist die Wirkung

minimal. Nordöstlich der Bielefelder Straße werden punktuell Änderungen in der Strömungsgeschwindigkeit von wenigen Prozent berechnet.

Ähnlich gering ist der Einfluss der geplanten Nutzungsänderung auf die Kaltluftmächtigkeit (Abb. 12 und 13). Im direkten Vergleich der in einer nicht-linearen Skala angegebenen Höhen ist ein Unterschied nicht auszumachen. In der Differenzendarstellung zeigt sich, dass die Abnahme der Kaltlufthöhe mit weniger als 1 m nördlich der Bielefelder Straße denkbar gering ist. Es mag etwas irritieren, dass über dem geplanten Wohngebiet trotz der im Planzustand fehlenden Kaltluftproduktion die Kaltlufthöhe sogar um bis zu 2 m zunimmt. Der Grund liegt einfach darin, dass die Strömung durch die neue Bebauung abgebremst wird und die von Südwesten einfließende Kaltluft dadurch geringfügig „aufgestaut“ wird. Da im Istzustand die Schichtdicken in diesem Bereich mit nur 1 bis 2 m äußerst gering sind, sind die prozentualen Änderungen natürlich beachtlich. Bereits im Wohngebiet nördlich der Bielefelder Straße wirkt sich die neue Bebauung jedoch nur noch unmerklich in einer Abnahme um wenige Prozent aus, und das auch nur sehr lokal.

Der Kaltluftvolumenstrom ist die eigentliche Bewertungsgröße für die Durchlüftungsverhältnisse. Er drückt aus, welches Luftvolumen pro Zeit- und Flächeneinheit herangeführt bzw. ausgetauscht wird. In der Abbildung 14 ist nahezu kein Unterschied zwischen Ist- und Planzustand zu erkennen. Bei genauem Betrachten ist lediglich eine ganz geringe Verschiebung in einigen der dargestellten Farbzonen sichtbar. Die Auswirkungen der geplanten Wohnbebauung sind so gering, dass sie nur in der Differenzendarstellung (Abb. 15) deutlich werden. In der Hauptströmung in Richtung Stadtgebiet verringert sich der Kaltluftvolumenstrom über eine Distanz von maximal 500 m um höchstens 1,5 $m^3/(m^2s)$. Gemessen an dem Ausgangsniveau ist die Abnahme mit meist 1 bis 3 % äußerst gering. Nur nördlich des Plangebiets, auf der anderen Seite der Bielefelder Straße, ist die relative Abnahme auf einer Fläche von etwa 1,5 ha mit 5 bis 7 % geringfügig höher.

Der insgesamt geringe Einfluss der Planbebauung auf die nächtliche Belüftungssituation in den angrenzenden Wohngebieten ist vor allem darauf zurückzuführen, dass insbesondere das südliche Stadtgebiet von Werther von einem Kaltluftsystem mit einem regionalem Einzugsgebiet von rund 5 km^2 geprägt ist. Dieses reicht etwa von Berghagen zwischen Knüll und Werther Egge bis Isingdorf südöstlich des Hengebergs. Demgegenüber ist die Größe des Plangebiets mit 5 ha vernachlässigbar. Die Verhältnisse sind dadurch weniger von lokalen Strukturen und deren Änderungen geprägt.

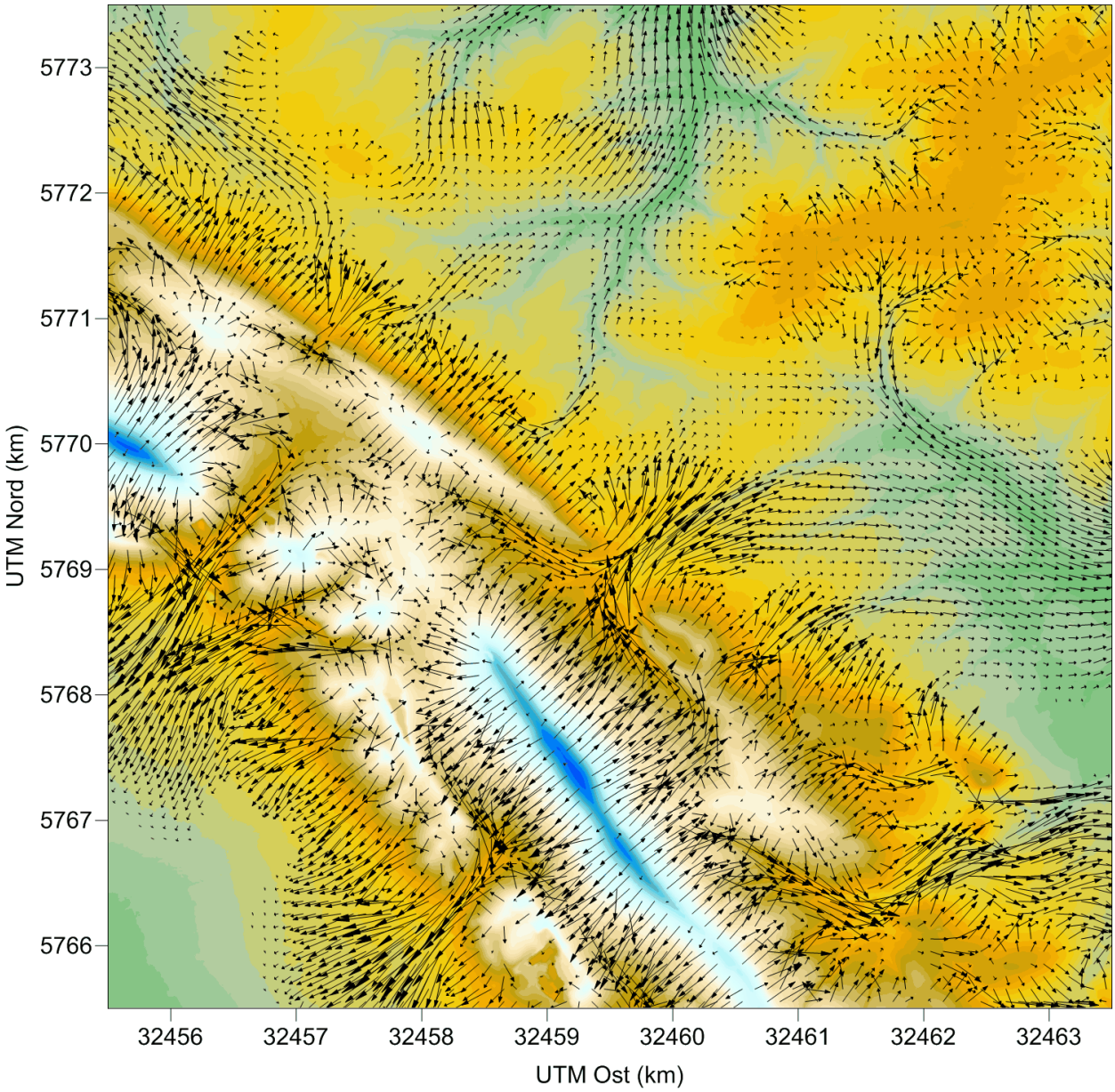

Abbildung 7: Windvektoren des Kaltluftsystems im Istzustand. Die Geländehöhen sind farbig unterlegt.

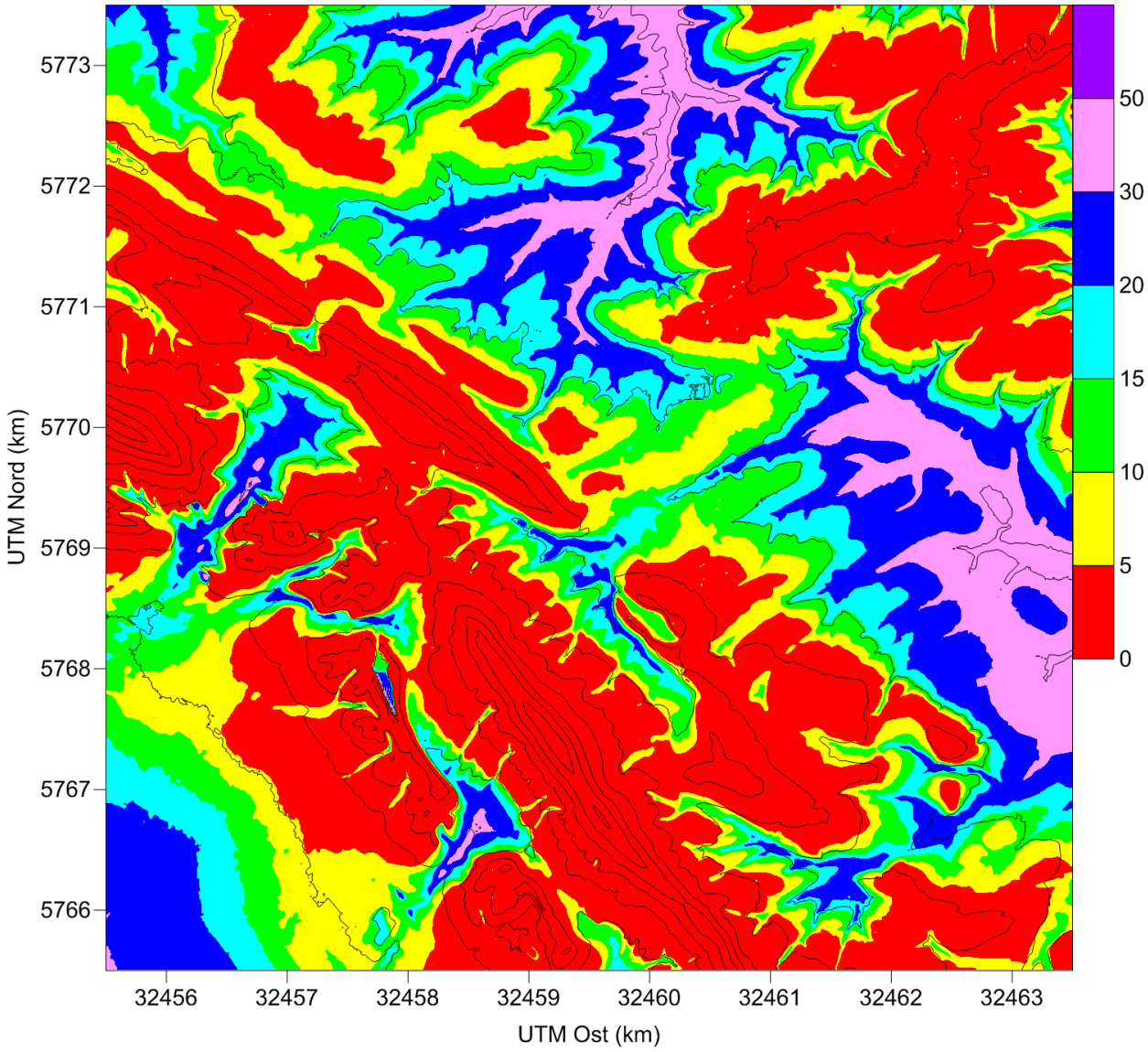

Abbildung 8: Kaltluftmächtigkeit (m) im Istzustand. Schwarze Linien sind Isolinien der Geländehöhe.

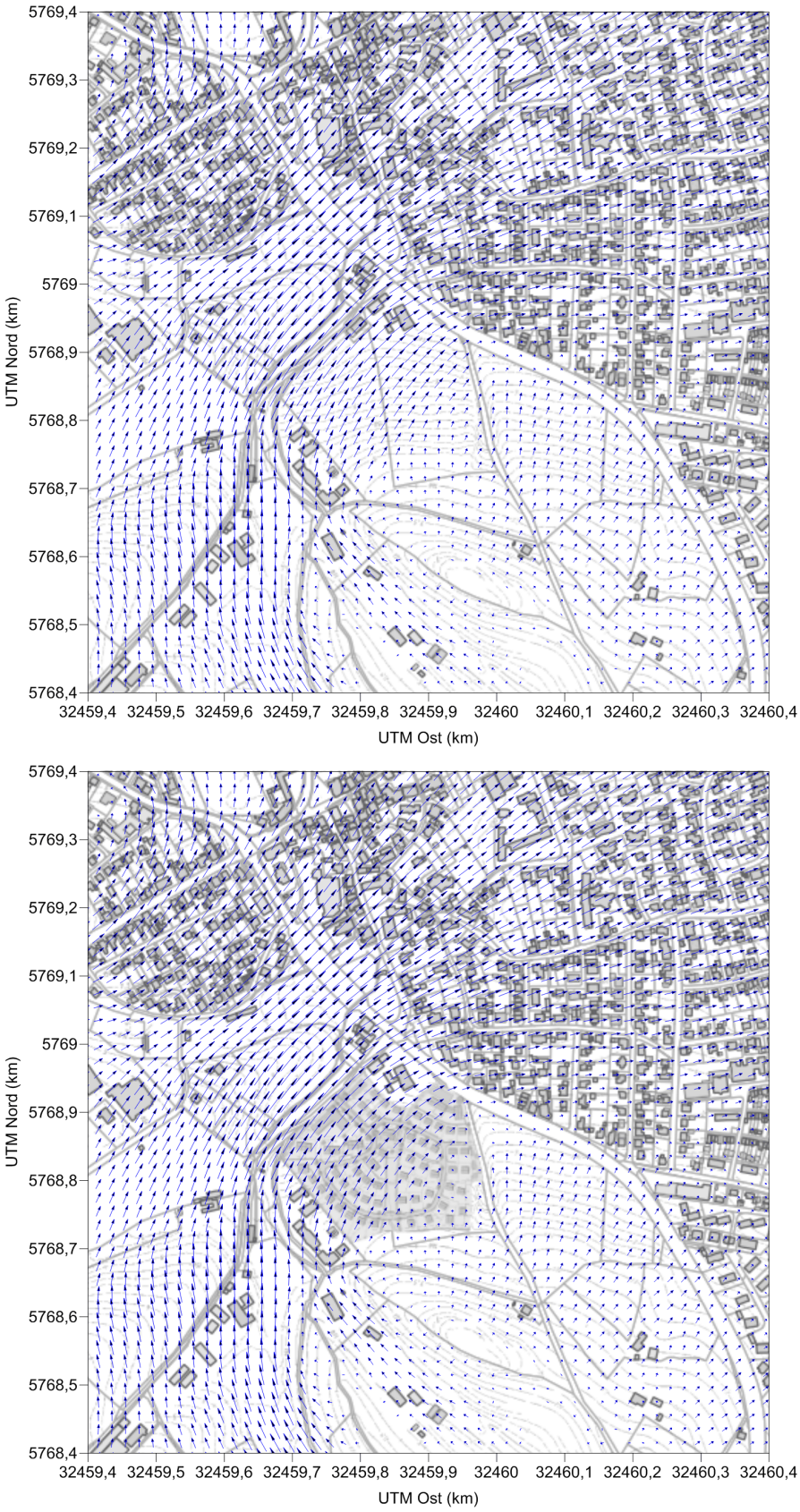

Abbildung 9: Windvektoren im Kaltluftabfluss in Umgebung des Plangebietes im Istzustand (oben) und Planzustand (unten).

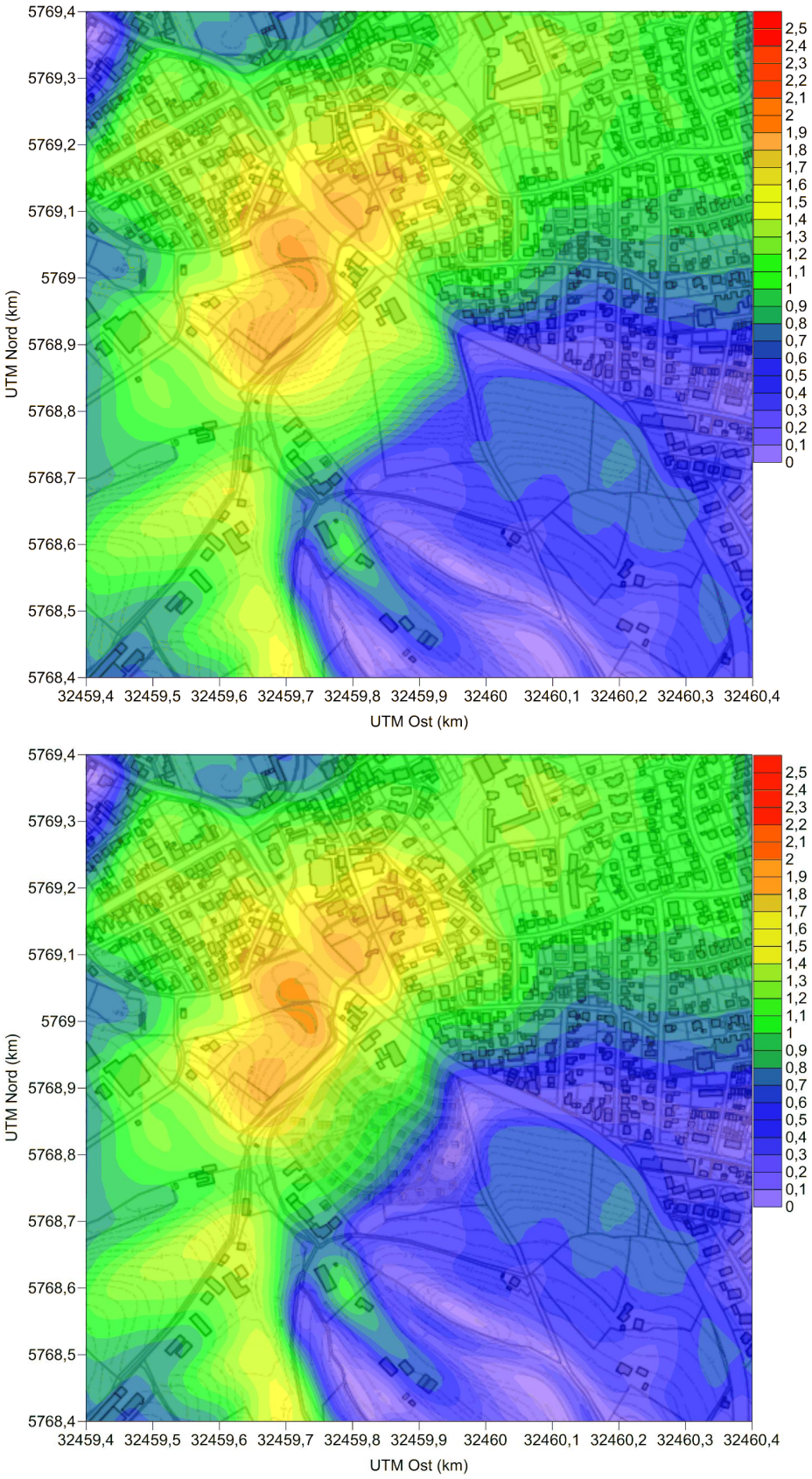

Abbildung 10: Windgeschwindigkeiten (m/s) im Kaltluftabfluss in Umgebung des Plangebietes im Istzustand (oben) und Planzustand (unten).

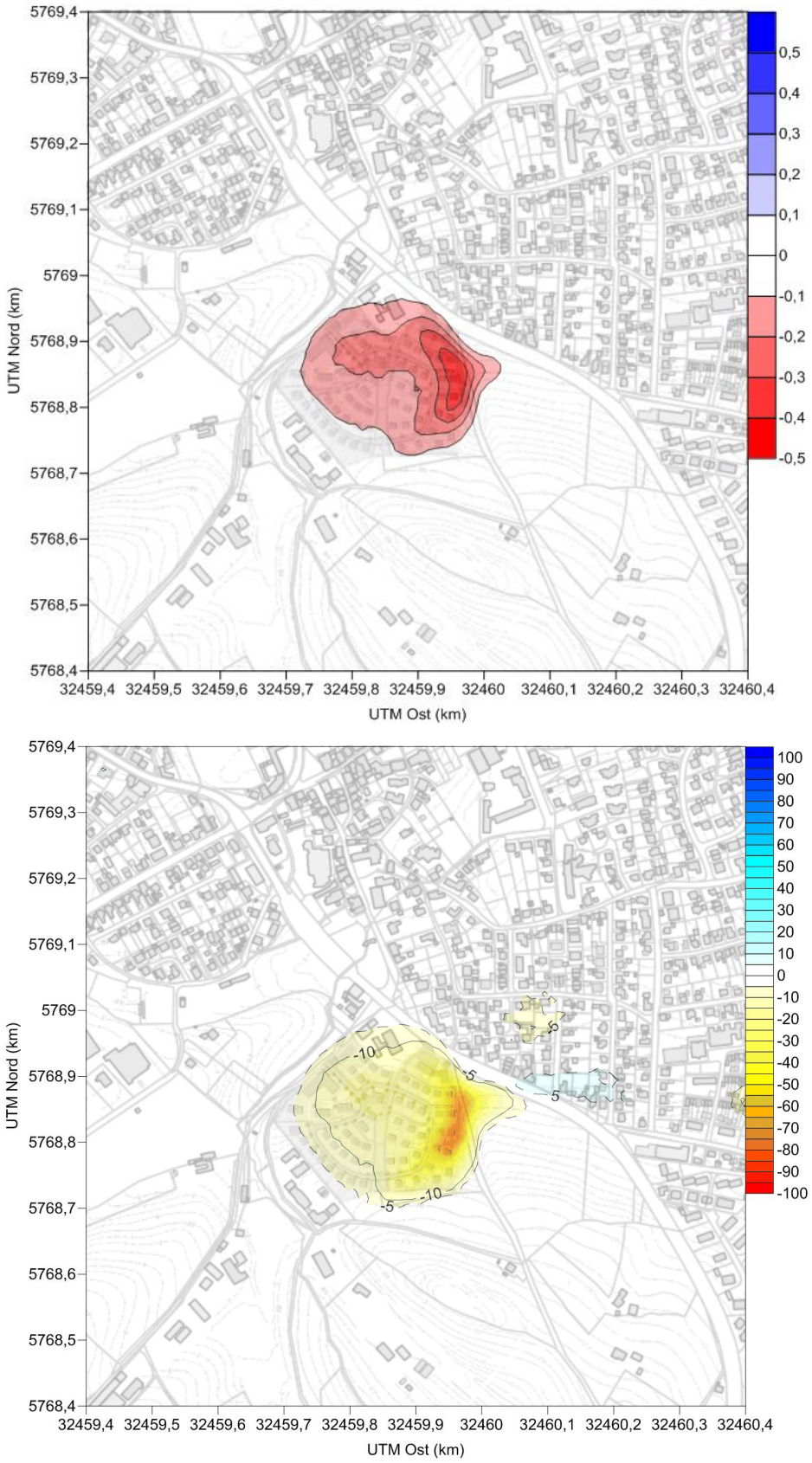

Abbildung 11: Differenz der Windgeschwindigkeiten (oben in m/s, unten in %) im Kaltluftabfluss in Umgebung des Plangebietes zwischen Planzustand und Istzustand.

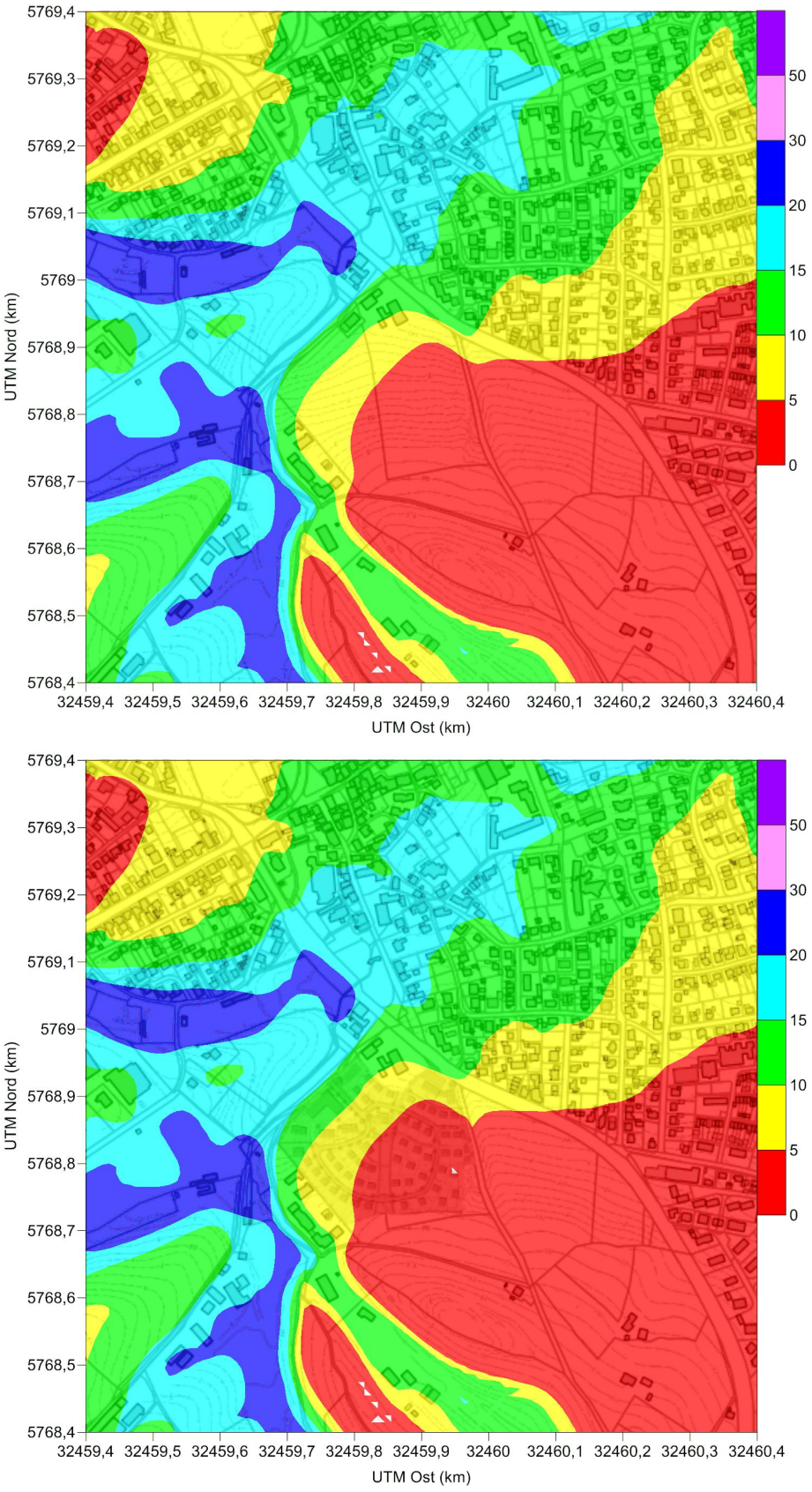

Abbildung 12: Kaltluftmächtigkeit (m) in Umgebung des Plangebietes im Istzustand (oben) und Planzustand (unten).

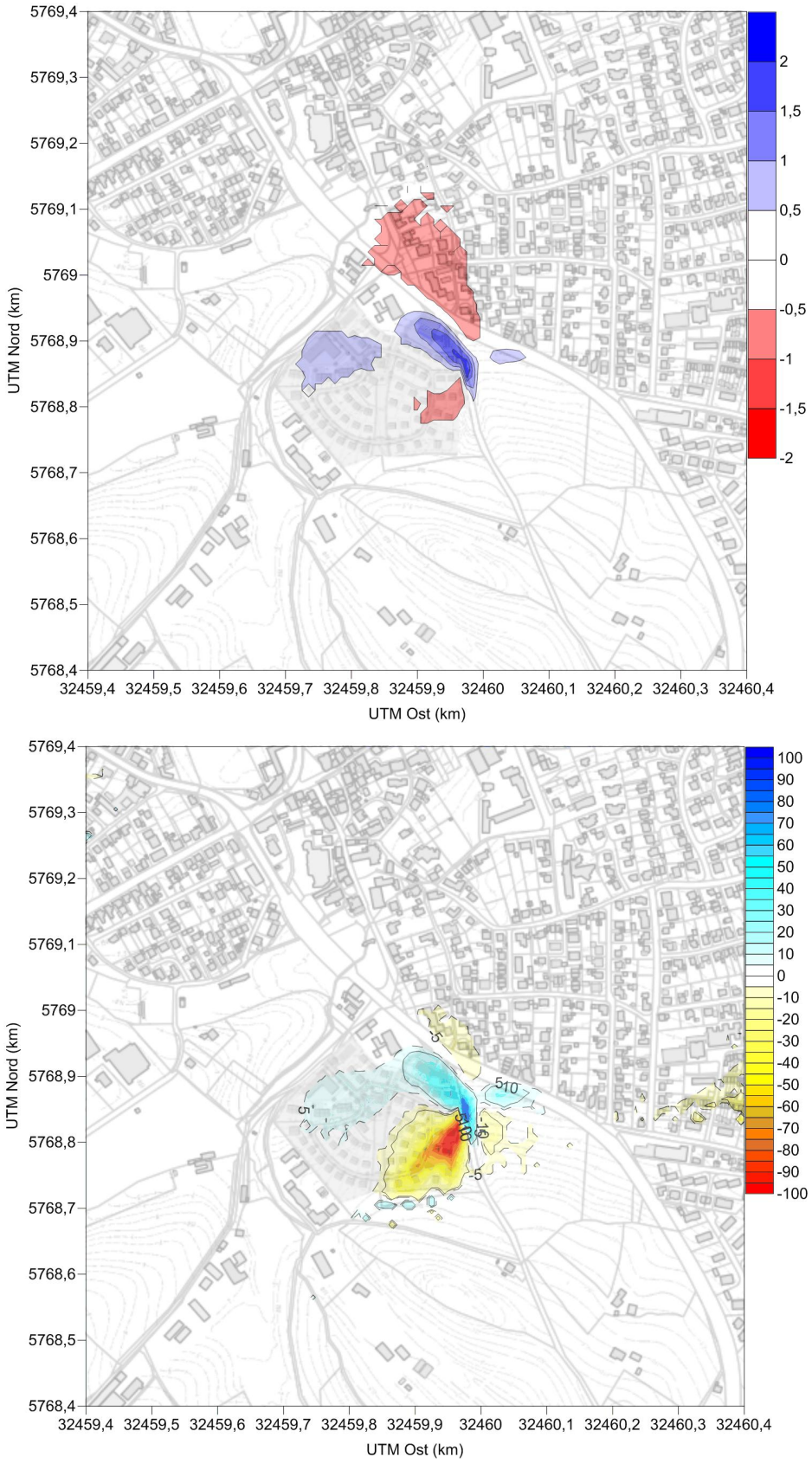

Abbildung 13: Differenz der Kaltluftmächtigkeit (oben in m, unten in %) in Umgebung des Plangebietes zwischen Planzustand und Istzustand.

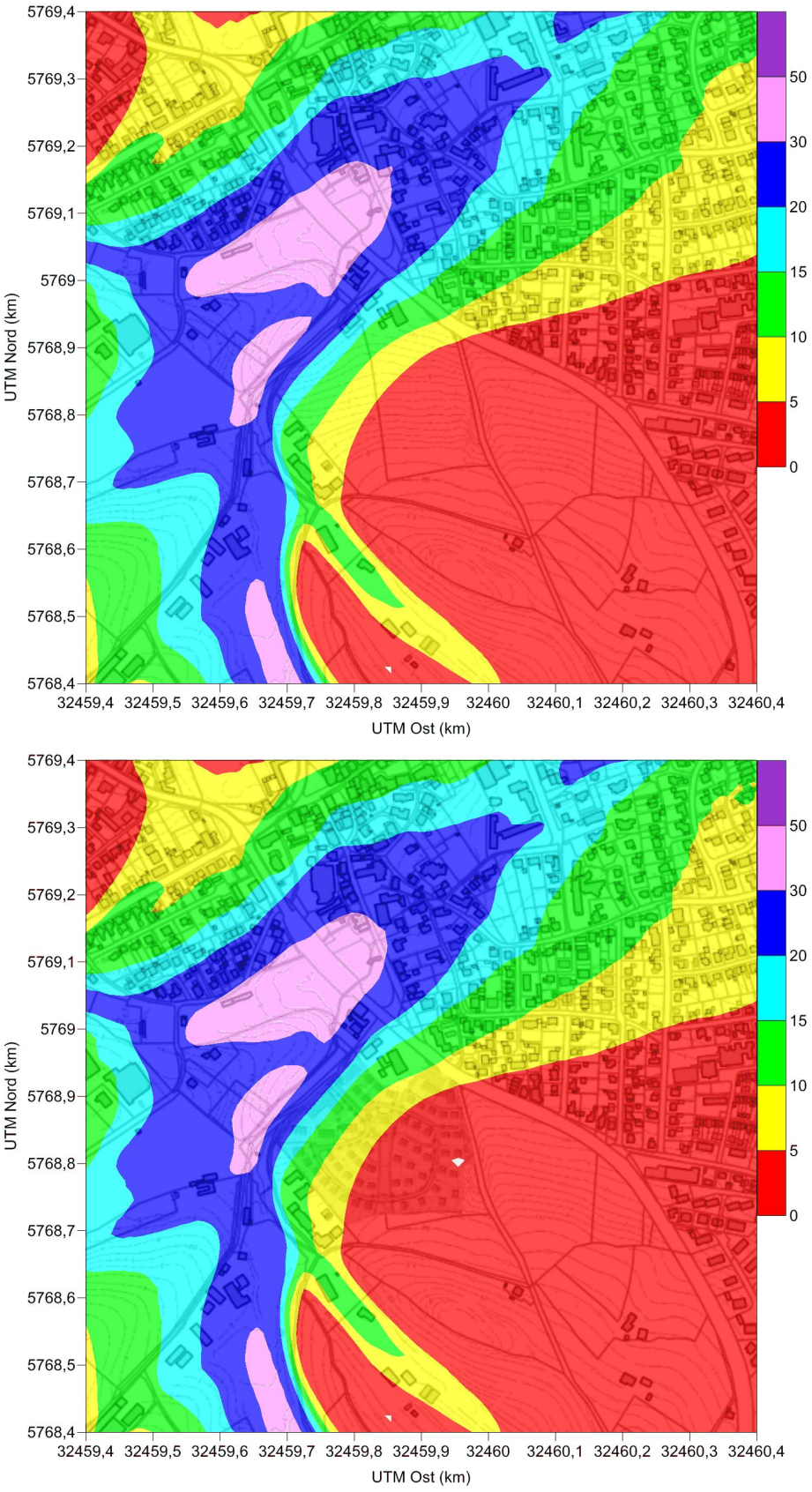

Abbildung 14: Kaltluftvolumenstrom ($m^3/(m^2*s)$) im Kaltluftabfluss in Umgebung des Plangebietes im Istzustand (oben) und Planzustand (unten).

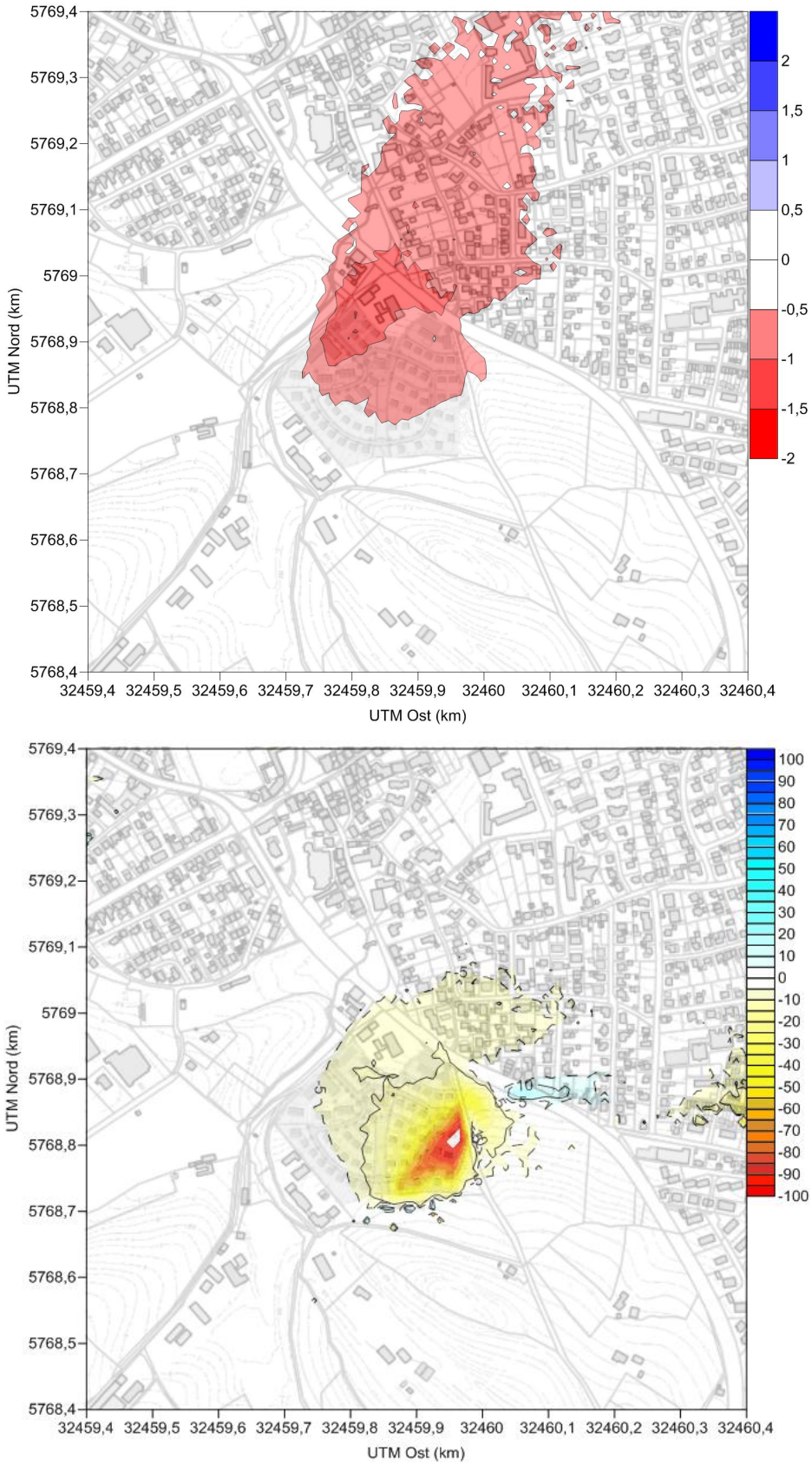

Abbildung 15: Differenz des Kaltluftvolumenstroms (oben in $m^3/(m^2*s)$, unten in %) in Umgebung des Plangebietes zwischen Planzustand und Istzustand.

6. Zusammenfassung und Bewertung

Die Stadt Werther arbeitet an der Aufstellung des Bebauungsplans Nr. 43 „Blotenberg“. Am südlichen Rand des Stadtgebietes soll auf dem Hang des Blotenbergs auf einer Fläche von 5 ha ein neues Wohngebiet entstehen. Aufgrund der bisher unverbauten Hanglage und der Nähe zu großräumigen Freiflächen im Bereich des anschließenden Teutoburger Waldes könnte die überplante Fläche eine klimatisch wertvolle Belüftungsfunktion für die angrenzenden städtischen Siedlungsgebiete haben. Fraglich ist, ob die neue Nutzung Kaltluftproduktion und Kaltluftabflüsse in erheblichem Maß einschränkt, so dass diese klimatische Ausgleichsfunktion möglicherweise nicht mehr gegeben ist.

Mit dem Kaltluftabflussmodell METKAT wurden Simulationsrechnungen für eine windstille Strahlungswetterlage sowohl für den Istzustand als auch den Planzustand durchgeführt. Die Rechnungen erfolgten mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung von 10 m, so dass auch kleinräumige Strukturen in Orographie und Landnutzung sowie den sich den ausbildenden Strömungssystemen abgebildet werden konnten. Gleichzeitig wurde das Modellgebiet anhand von Testrechnungen so groß festgelegt, dass alle relevanten regionalen Einflüsse auf die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet erfasst wurden.

Die Simulationsrechnungen zeigen einen ausgesprochen geringen Einfluss der Flächenumwandlungen auf die Strömungsgeschwindigkeit in der abfließenden Kaltluft und auf deren Mächtigkeit. Windgeschwindigkeitsdifferenzen von mehr als 0,1 m/s werden nur für das Plangebiet selbst berechnet und sind auf den abbremsenden Effekt der Bebauung zurückzuführen. Außerhalb des Plangebiets sind die Differenzen von weniger als 0,1 m/s nicht mehr wahrnehmbar. Auch die Kaltluftmächtigkeit zeigt nur eine vernachlässigbare Reaktion auf die Nutzungsänderung. Die Abnahme außerhalb des Plangebiets ist mit höchstens 1 m oder 5 % äußerst gering.

Der Kaltluftvolumenstrom ist das Produkt aus Kaltluftschichtdicke und Windgeschwindigkeit und sagt aus, welche Mengen an frischer und kühlerer Luft über die Siedlungsgebiete geführt werden. Je geringer der Volumenstrom, umso schneller kann die herangeführte kühlere Luft erwärmt und abgebremst werden. Der Kaltluftvolumenstrom als Maß für das Durchlüftungspotential ist nur wenig stärker als die Schichtdicke und Geschwindigkeit von den Nutzungsänderungen betroffen. Er reduziert sich in der Hauptströmung von dem Geländeeinschnitt zwischen Werther Egge und Blotenberg bis über das Stadtgebiet auf einer Länge von 500 m um höchstens 1,5 $m^3/(m^2s)$ oder 1 bis 3 %. Lediglich in einem etwa 1,5 ha großen Bereich nördlich der Bielefelder Straße ist die relative Abnahme mit 5 bis 7 % etwas höher.

Der vergleichsweise geringe Effekt der Planbebauung auf die nächtliche Belüftungssituation in der Umgebung ist darauf zurückzuführen, dass das Kaltluftsystem aus einem regionalen Einzugsgebiet von rund 5 km² gespeist wird, während die Größe des Plangebietes mit 5 ha demgegenüber gering ist. Dadurch werden die Verhältnisse weniger von lokalen Strukturen und deren Änderungen geprägt.

Gemessen an den in der VDI 3783 Blatt 5 [1] vorgeschlagenen Bewertungsmaßstäben ist damit der Einfluss des geplanten Wohngebiets auf das bestehende Kaltluftabflusssystem und die Durchlüftungsverhältnisse in den angrenzenden Siedlungsgebieten insgesamt als „gering“ zu bewerten. Auf einer kleinen Fläche von 1,5 ha nördlich der Bielefelder Straße kann der Einfluss als „mäßig“ bewertet werden.

Pinneberg, den 25. November 2014

(Dr. K. Bigalke)

Literatur

[1] **VDI (2003):** Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5, Beuth Verlag, Berlin.

[2] **Garret, A.J., Smith III, F.G. (1984):** Two-Dimensional Simulations of Drainage Winds and Diffusion Compared to Observations. J. Climate Appl. Meteor., 23, 597-610.

[3] **Stock, P., Beckröge, W., Kiese, O., Kuttler, W., Lüftner, H. (1986):** Klimaanalyse Stadt Dortmund. Planungshefte Ruhrgebiet, PO 18. Kommunalverband Ruhrgebiet: Essen.