

**Auftraggeber:**           **Universitätsstadt Tübingen**  
**Fachabteilung Stadtplanung**  
**Friedrichstraße 21**  
**72072 Tübingen**

Messstelle § 29b  
BlmSchG  
Akkreditiert für  
Immissionsprognosen  
nach TA Luft  
und GIRL

# **Untersuchung der Kaltluftströmungen im Stadtgebiet von Tübingen mit dem Strömungsmodell FITNAH**

**Projekt-Nr.:**           **11-10-07-S-I (Modellrechnungen)**  
**18-09-12-S (Bericht, Struktur und Layout)**

**Umfang:**               **40 Seiten**

**Datum:**               **25.07.2019 (Endfassung Bericht, Struktur und Layout) auf Basis von**  
**31.01.2013 (Modellrechnungen)**

**Bearbeiter:**           **Dipl.-Met. Dr. Jost Nielinger**  
(Anerkannter Beratender Meteorologe DMG e.V.)  
**Dipl.-Met. Dr. Markus Hasel**

**IMA - Immissionen - Meteorologie - Akustik**  
**Richter & Röckle GmbH & Co. KG**  
**Niederlassung Stuttgart**  
**Hauptstraße 54**  
**D-70839 Gerlingen**

**07156 / 4389 15**  
**07156 / 5026 18**  
**E-Mail: [nielinger@ima-umwelt.de](mailto:nielinger@ima-umwelt.de)**  
**Internet: <http://www.ima-umwelt.de>**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Methodik, Begriffsbestimmungen</b> .....	<b>3</b>
1.1	Methodik.....	3
1.1.1	Kaltluftströmungs-Simulation mit FITNAH .....	3
1.1.2	Das prognostische Simulationsmodell FITNAH.....	3
1.2	Begriffsbestimmungen .....	4
1.2.1	Kaltluftströmungen.....	4
1.2.2	Flurwinde.....	8
1.2.3	Kaltluft-Strömungssysteme sind dreidimensional und zeitabhängig .....	10
1.2.4	Anthropogener Wärmestrom.....	12
<b>2</b>	<b>Kaltluftströmungen im Stadtgebiet von Tübingen</b> .....	<b>13</b>
2.1	Aufgabenstellung und vorhandene Unterlagen (Stand 2013).....	13
2.2	Das Rechengebiet von FITNAH für Tübingen (Gesamtstadt).....	17
2.3	Landnutzung und Detaillierung im Stadt-Gebiet.....	18
2.4	Meteorologische Situation und Anfangszustand.....	21
2.5	Ergebnisse für das Stadtgebiet.....	22
2.5.1	Zu Beginn der Kaltluftnacht (bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang) .....	22
2.5.2	Später in der Strahlungsnacht (3 bis 8 Stunden nach Sonnenuntergang) .....	27
2.6	Exemplarische Auswertung für die Kernstadt.....	31
<b>3</b>	<b>Wichtigste Bereiche und Planungshinweiskarte</b> .....	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>41</b>

### Hinweis:

Die in den Abbildungen verwendeten Kartengrundlagen basieren auf Geobasisdaten des Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de) (**Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0**, <http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>), Az.: 2851.9-1/19 sowie von OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org/copyright](http://www.openstreetmap.org/copyright)) - Veröffentlicht unter [ODbL](https://www.openstreetmap.org/copyright).

# 1 Methodik, Begriffsbestimmungen

## 1.1 Methodik

### 1.1.1 Kaltluftströmungs-Simulation mit FITNAH

Messungen von Kaltluftströmungen in der Natur sind mit vertretbarem Aufwand notwendigerweise Punktmessungen. Für ein flächendeckendes, hochauflösendes und vor allem 3-dimensionales Bild des Kaltluftgeschehens werden spezielle Kaltluft-Strömungssimulations-Modelle eingesetzt. Sie berechnen die Kaltluftströmung in einem engmaschigen Berechnungsgitter unter Berücksichtigung der Geländeform und der thermischen Eigenschaften der Landoberflächen.

Derartige Modellsimulationen gehören zu den mächtigsten Instrumenten zur Durchführung umweltmeteorologischer Untersuchungen überhaupt. Sie sind für eine methodensichere Stadtplanung heutzutage unverzichtbar. Sie ermöglichen eine komplette dreidimensionale Bestimmung des Kaltluftgeschehens.

Im vorliegenden Fall wurde das Modell FITNAH zur Berechnung der Kaltluftströmungen im Untersuchungsgebiet eingesetzt.

### 1.1.2 Das prognostische Simulationsmodell FITNAH

Das Modell FITNAH wird speziell für die Berechnung lokaler Strömungssysteme eingesetzt. Es kann sowohl die dynamische Strömungsbeeinflussung berechnen (wie z.B. die Kanalisierung von Strömungen durch Geländeformen) als auch thermische Strömungen (Kaltluftabflüsse, Hangaufwinde, Berg-Tal-Wind- und Land-See-Wind-Systeme) simulieren.

Die Modellname FITNAH steht für "**F**low over **I**rregular **T**errain with **N**atural and **A**nthropogenic **H**eat Sources" (/1/, /2/, /3/, /4/, /5/).

Die mathematisch formulierten und im Modell numerisch implementierten physikalischen Prozesse ermöglichen es, die Ausbildung von geländebeeinflussten Strömungen sowie die Temperatur- und Verdunstungsabläufe unter Berücksichtigung von Bewuchs und Bebauung realistisch zu berechnen. Das Modell arbeitet mit einem geländefolgenden Koordinatensystem und ist in der Lage, eine ganze Reihe von verschiedenen Landnutzungen mit den jeweils spezifischen Eigenschaften hinsichtlich der Energieumsetzung (z.B. den anthropogenen Wärmestrom, die mittlere Bebauungshöhe usw.) differenziert zu behandeln.

Als so genanntes „nicht-hydrostatisches, prognostisches“ Modell beruht es auf einem voll-dynamischen Strömungskern auf Basis der Gleichungen für alle drei Windkomponenten, sowie auf den Bilanzgleichungen für Temperatur, Feuchte und Turbulenzenergie. Diese (miteinander gekoppelten) Gleichungen werden in kleinen Zeitschritten gelöst, so dass sich die vielfältigen Nicht-Linearen Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Topographie-Bereichen, vergleichbar der Natur auch, sukzessive einstellen und der von der Natur erzielte Balancezustand zwischen den unterschiedlichen strömungsbeeinflussenden Effekten realistisch berechnet wird.

Das Modell **FITNAH** ist vielfach validiert und ist von zahlreichen Fachbehörden als eines der mächtigsten Instrumente zur Simulation meteorologischer Phänomene im Bereich der Umweltmeteorologie anerkannt.

## 1.2 Begriffsbestimmungen

### 1.2.1 Kaltluftströmungen

Als Kaltluftströmung wird in der Umweltmeteorologie im vorliegenden Zusammenhang bodennah gebildete Kaltluft verstanden, die sich in Bewegung gesetzt hat.

Zu beachten ist, dass sich der Begriff „Kaltluft“ dabei nicht auf absolut kalte Luft bezieht, sondern dass es sich um relativ kalte Luft handelt: „Luftmenge, die gegenüber durchschnittlichen Verhältnissen der Unterlage oder ihrer Umgebung eine niedrigere Temperatur aufweist“ (/6/).

Die Bildung bodennaher Kaltluft wird durch die Abkühlung der Erdoberfläche aufgrund einer negativen Energiebilanz verursacht. Der Energieverlust sorgt zunächst für eine Abkühlung der Oberfläche und infolgedessen für die Abkühlung der darüber befindlichen Luftmasse. Besonders günstig für solche Abkühlungsprozesse sind:

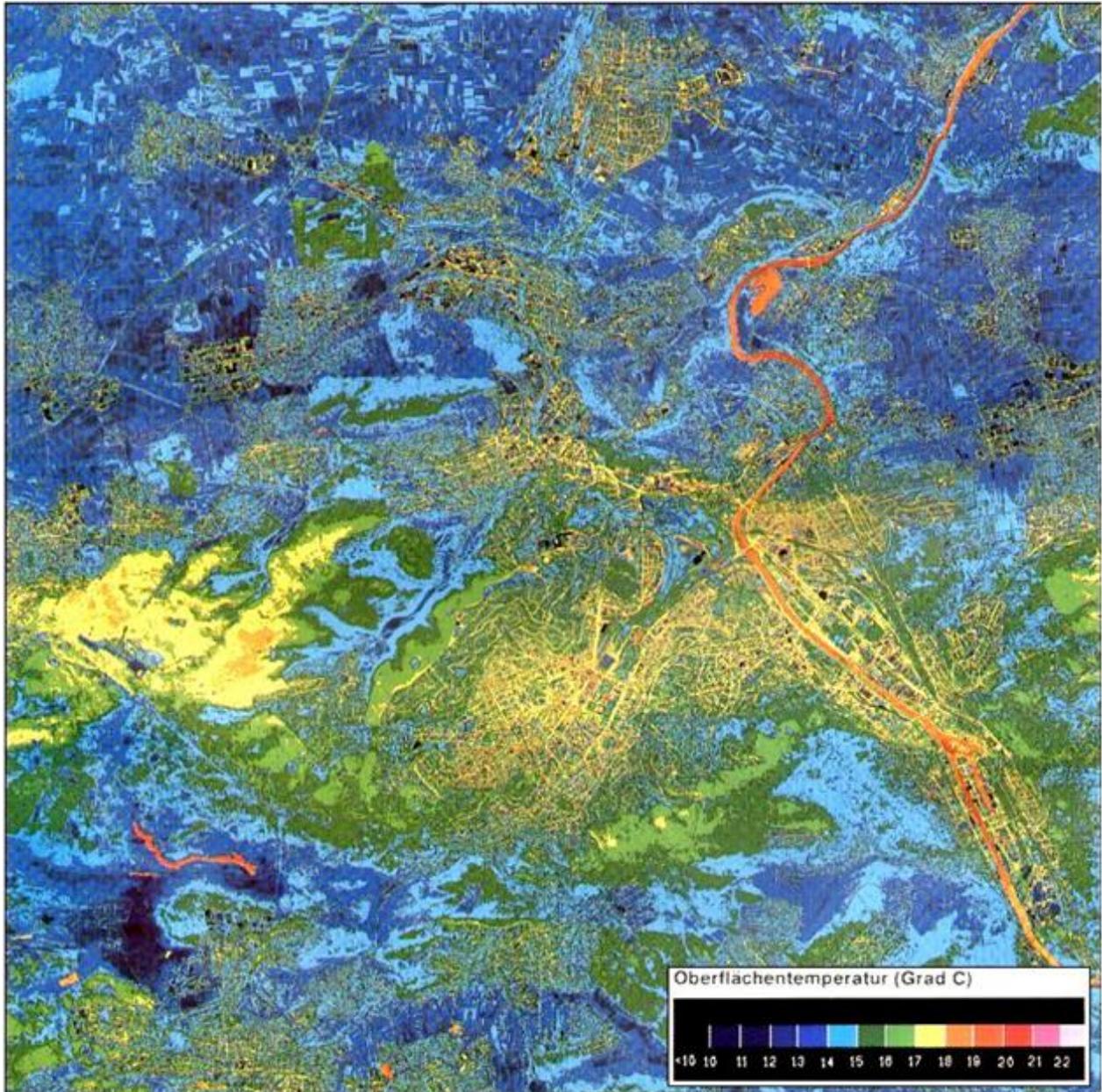
- Nachtstunden (wegen des Fehlens der solaren Einstrahlung).
- Geringer Wolkenbedeckungsgrad (wegen des Fehlens der atmosphärischen langwelligen Gegenstrahlung von Wolken und der ungehinderten langwelligen Ausstrahlung der Oberfläche).
- Hochdruckwetterlagen (wegen der überregional geringen Windgeschwindigkeiten und damit einer höheren Verweilzeit eines Luftpakets über der kaltluftproduzierenden Oberfläche sowie wegen der geringeren bodennahen Turbulenz und daher einer geringeren vertikalen Durchmischung bodennaher Luftschichten).

Die beschriebenen Bedingungen werden auch als „autochthone Wetterlage“ bezeichnet, die Nächte, in denen sich Kaltluftströmungen ausbilden, auch als „Strahlungsnächte“.

Die höchsten Kaltluftproduktionsraten weisen unversiegelte Freiflächen auf. Bebautes Gebiet hat i.a. ein reduziertes Kaltluftbildungsvermögen, dichte Bebauung und industriell genutzte Flächen können je nach anthropogener Wärmefreisetzung (siehe Abschnitt 1.2-4) als - relativ - warme Zonen wirken (Abb. 1-1).

In Wäldern bleibt die Luft aufgrund der Verschattung im Bestand tagsüber relativ kühl. Wälder können daher speziell am Abend und zu Beginn der Nacht durchaus nennenswerte Beiträge zu Kaltluftströmungen leisten, vorausgesetzt natürlich, dass die Umgebungsluft außerhalb des Bestandes noch höhere Temperaturen aufweist. Während der Nacht kühlt die Luft im Bestand sehr viel weniger ab als über freier Flur, was auf die langwellige Strahlung der Pflanzenbestandteile, die Minderung der Ausstrahlung des Erdbodens in die freie Atmosphäre und den gebremsten Luftaustausch zurückzuführen ist. Später in der Nacht können Wälder daher häufig als relativ warme Zonen (im Vergleich zur Umgebung) identifiziert werden (Abb. 1-1).

Wasser kann sehr viel Wärme speichern, daher ist die Abkühlung von Wasseroberflächen im Verlauf einer Strahlungsnacht äußerst gering. Die Wasseroberflächentemperatur ändert sich gegenüber den Tageswerten kaum. Aus diesem Grund sind Wasseroberflächen später in der Nacht mit am wärmsten, Flussläufe z.B. bilden sich in Thermal-Aufnahmen vom Flugzeug aus sehr markant mit hohen Temperaturen ab (Abb. 1-1).



**Abb. 1-1:** Oberflächentemperaturen gegen Ende einer Strahlungsnacht am Beispiel Stuttgart.  
Aus: <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>

Eine Kaltluftströmung entsteht dann, wenn sich bodennah gebildete Kaltluft in Bewegung setzt

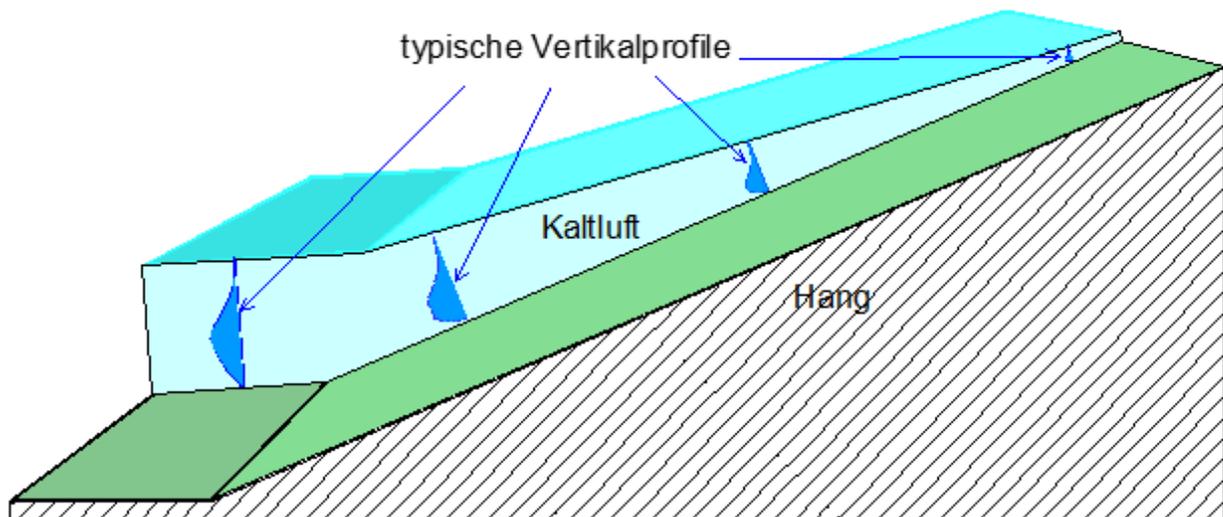
Dies geschieht vornehmlich an geneigten Hängen, da die Kaltluft eine höhere Dichte besitzt („schwerer ist“) und sich daher geländefolgend in Bewegung setzt. Dieses Stadium wird auch als Kaltluftabfluss bezeichnet.

Die Intensität dieses Prozesses ist von der Hangneigung, dem Dichteunterschied sowie von Bewuchs und Bebauung abhängig. Die hangparallel wirkende Reibungskraft bremst die abfließende Luft. Die beschriebenen Vorgänge sind bei flachen Hängen mit wenig Höhenunterschied oft instationär, d.h. es kommt vielfach zu "pulsierenden" Kaltluftabflüssen.

Zu Beginn der Nacht sind die lokalen Kaltluftabflüsse meist am intensivsten, da die Abkühlungsrate über freien Flächen am höchsten ist. Später in der Nacht flacht die Abkühlungskurve ab, und es wird lokal weniger schnell Kaltluft gebildet.

Da an einem ausreichend langen geneigten Hang von oben kommend immer mehr Kaltluft in den Abfluss mit einbezogen wird, ist die vertikale Mächtigkeit der Kaltluft im oberen Bereich eines Hanges geringer als am Hangfuß (Abb. 1-2).

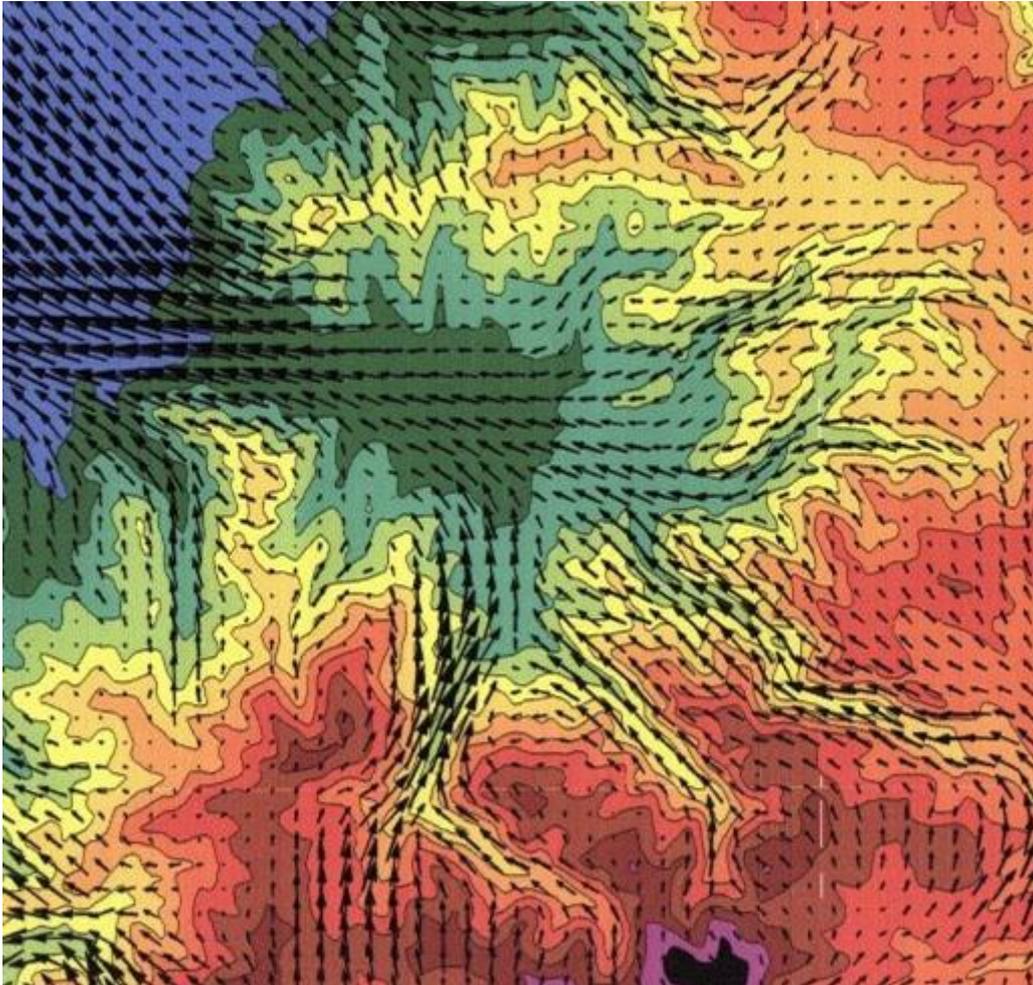
Aufgrund ihres Bewegungsimpulses bleibt die Kaltluft nicht einfach am Hangfuß „stehen“, wenn sich dort ebenes Gelände anschließt, sondern kann sich aufgrund ihrer Dynamik noch etwas in die Ebene vorschieben (Abb. 1-2). Dabei verliert sie allerdings fortwährend an Impuls, so dass sie nach einer bestimmten Distanz zum stagnieren kommt („liegen bleibt“).



**Abb. 1-2:** Idealisiertes Schema eines Kaltluftabflusses an einem Hang mit nachfolgender Ebene.

Mehrere solcher hanggebundenen Kaltluftabflüsse schließen sich oft im orographisch gegliederten Gelände zusammen und bilden ein Kaltluftströmungs-System. Aufgrund der Beiträge vieler kaltluftproduzierender Flächen und Hänge können solche Systeme eine z.T. bedeutende vertikale Mächtigkeit erlangen, die es unter Umständen sogar gestattet, dass einzelne, niedrige Geländestrukturen vollständig überströmt werden. In von Höhenzügen begrenzten Haupttälern können sich so trotz geringer Neigung der Talsohle eindeutig identifizierbare Kaltluftströmungen einstellen. Tritt ein Kaltluftströmungssystem indes in die Ebene hinaus, so verteilt sich die Kaltluft breitflächig, der Impuls nimmt ab und die Reichweite ist begrenzt (Abb. 1-3).

Diese Systeme bleiben relativ stabil, d.h. sie ändern sich zeitlich nur unwesentlich, man spricht auch von „stationären“ Strömungen. Eine Auswertung später in der Nacht bietet folglich ein Bild des in großen Teilen der Nacht maßgeblichen Belüftungssystems.



**Abb. 1-3:** Kaltluftströmungssysteme in flachen Talsohlen und in der Ebene am Beispiel Freiburg: Schwarzwaldhöhen (unterer und rechter Bildbereich), Tal bei Ebnet und Stadtgebiet von Freiburg (Mitte) und Rheintal (links oben).

Der Antrieb von Kaltluftströmungen ist die Druckdifferenz aufgrund von Temperaturdifferenzen, nicht die absolute Temperatur der Luft. Es spielt für die Dynamik und die Struktur der Strömung eine sehr untergeordnete Rolle, ob sich ein Unterschied von  $10^{\circ}\text{C}$  zwischen  $+30^{\circ}\text{C}$  und  $+20^{\circ}\text{C}$  oder zwischen  $+5^{\circ}\text{C}$  und  $-5^{\circ}\text{C}$  einstellt. Aus diesem Grund können sich Kaltluftabflüsse und Kaltluftströmungssysteme unter den o.g. Bedingungen das gesamte Jahr über in ähnlicher Struktur mit nur leicht variierenden Intensitäten ausbilden.

Ab Erreichen einer gewissen Mächtigkeit findet ein Großteil des Lufttransportes oberhalb der bodennahen Rauigkeitselemente (Bebauung, Bewuchs) statt.

### 1.2.2 Flurwinde

Auch in der Ebene bildet sich unter den im Abschnitt 1.2.1 beschriebenen meteorologischen Bedingungen bodennahe Kaltluft. Wegen des Fehlens einer Geländeneigung wäre sie jedoch ohne weitere Antriebsmechanismen ortsfest, würde allenfalls ein wenig hin- und her verfrachtet.

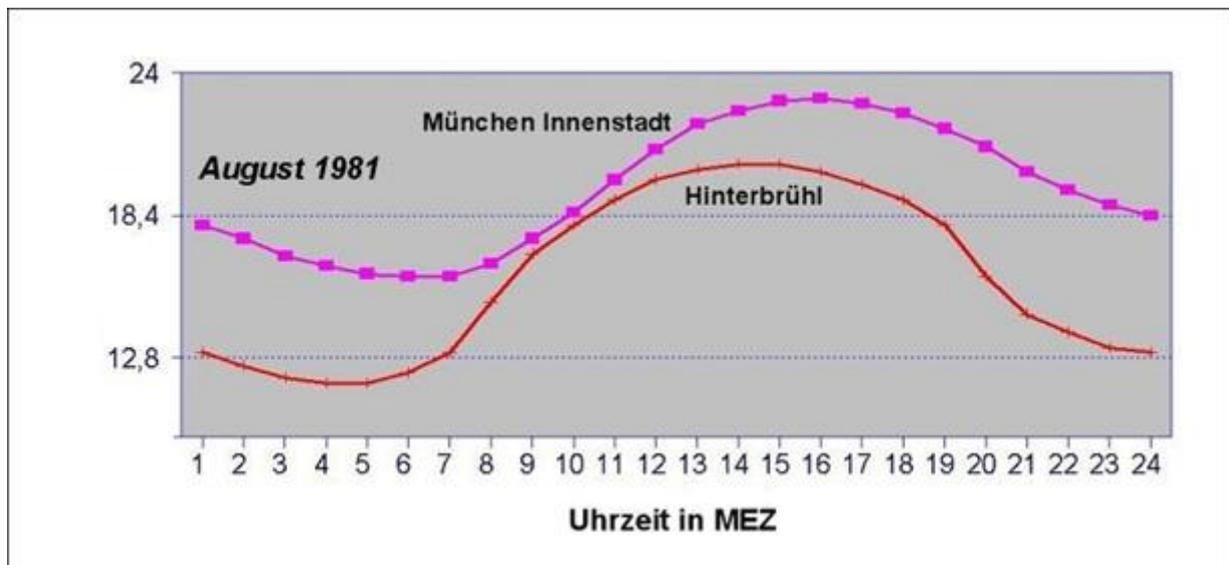
Solche Zustände werden jedoch nur kurzzeitig beobachtet, oft herrscht auch in der Ebene eine signifikante Kaltluftströmungsrichtung vor.

Ursache für Kaltluftströmungen in der Ebene können die folgenden vier Mechanismen sein:

- Ein in die Ebene hineinragendes Kaltluftströmungssystem (s. Abschnitt 1.2.1).
- Ein übergeordnetes Regionalwindssystem, das sich ebenfalls bevorzugt bei autochthonen Wetterlagen ausbilden kann.
- Das „Mitnehmen durch“ oder das „von oben Durchgreifen“ einer übergeordneten Strömung aufgrund der geringen Schichtdicke der bodennahen Kaltluft.
- Der Antrieb durch horizontale Temperaturunterschiede (*Flurwind*).

Zur Ausbildung eines Flurwindes bedarf es einer größeren, zusammenhängenden Zone mit höheren Temperaturen als im Umland. Dies können größere Siedlungsgebiete, Städte oder auch größere zusammenhängende Industrieareale sein.

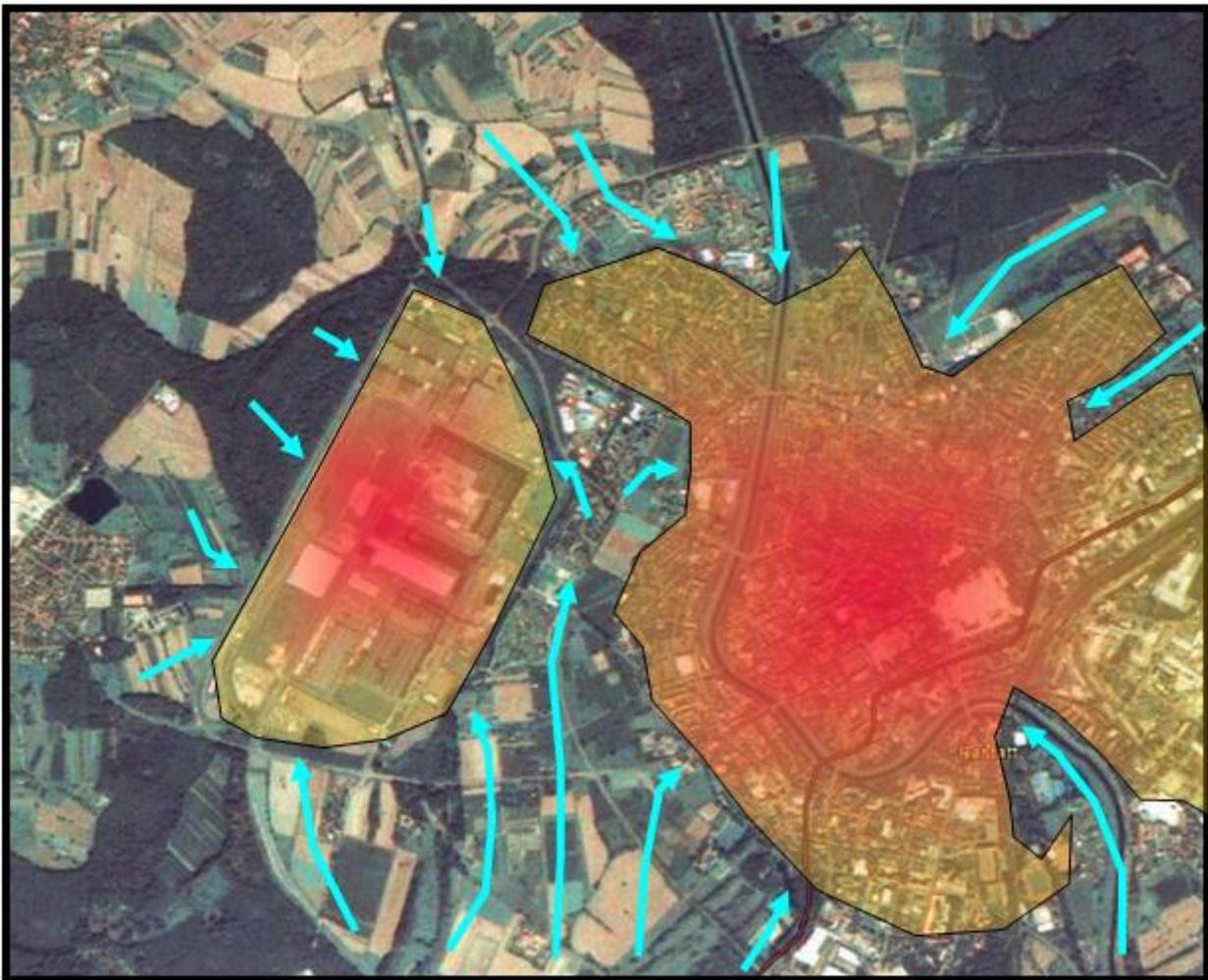
Aufgrund geringerer Strömungsgeschwindigkeiten und wegen der Wärmeabgabe aufgeheizter Flächen kommt es zu einer Verlangsamung der nächtlichen Abkühlung (Abb. 1-4).



**Abb. 1-4:** Unterschiede im Temperaturverlauf zwischen Innenstadt und Umland am Beispiel von München.

Im Laufe der Nacht bildet sich im Vergleich zum Umland bodennah eine relativ warme Zone aus, die deshalb auch gelegentlich als „Wärmeinsel“ bezeichnet wird (Gelb-Rottöne in Abb. 1-5).

Diese relativ wärmere Luft hebt sich mit geringer Geschwindigkeit an, was zur Folge hat, dass kühlere Luft aus der Umgebung nachströmt (Hellblaue Pfeile in Abb. 1-5). Dieses Nachströmen wird als Flurwind bezeichnet. Er bildet insbesondere für Großstädte einen wichtigen Belüftungsmechanismus („Wärmeinsel“).



**Abb. 1-5:** Schematische Darstellung von Flurwinden in der Ebene. Industriegebiet (links) und ausgedehnter urbaner Bereich (rechts).

Die bodennahe Eindringtiefe der Strömung in einen bebauten Bereich ist allerdings aufgrund der i.a. relativ schwachen Dynamik der Flurwinde und wegen der gebäudeinduzierten Bremswirkung begrenzt.

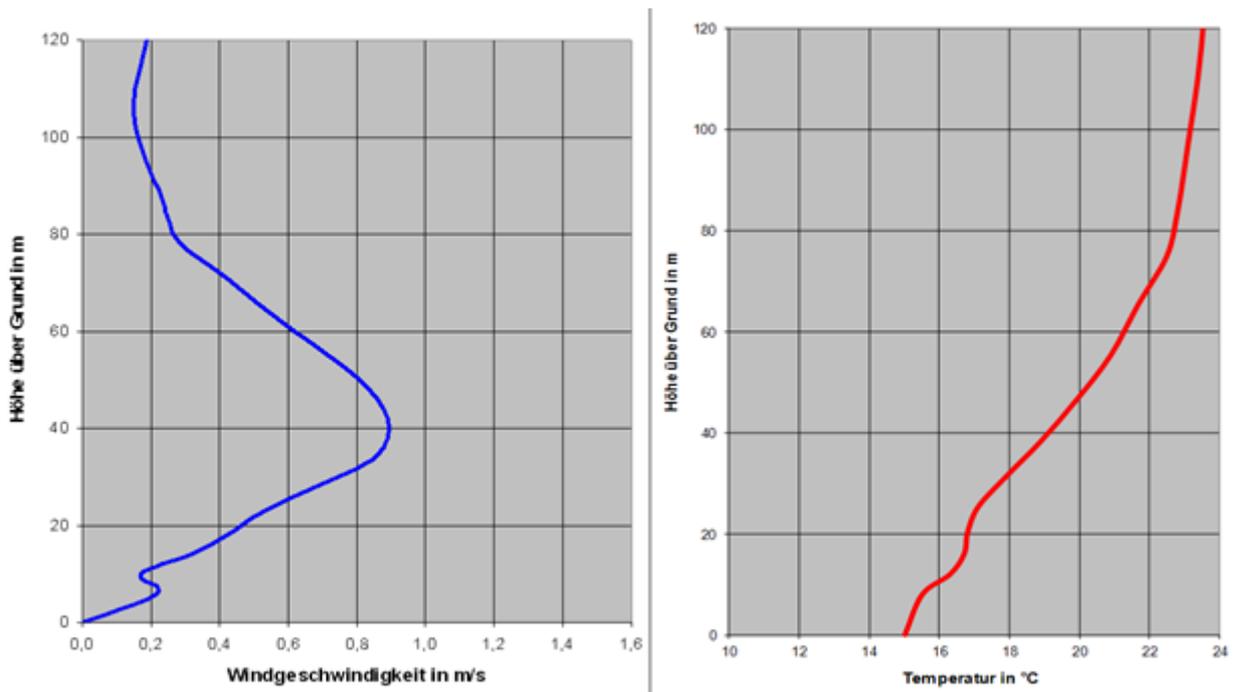
Wenn die bodennahe Kaltluftschicht deutlich mächtiger ist als die Bebauungshöhe, so findet der größte Teil des Belüftungsmechanismus durch Flurwinde eher im Überdachniveau statt.

Diese Belüftungsfunktion der Flurwinde macht deutlich, weshalb der Begriff „Wärmeinsel“ auch etwas irreführend sein kann – es handelt sich dabei nicht zwingend um einen abgeschotteten „Insel“-Bereich, der sich immer weiter und unabhängig von seiner Umgebung aufheizt, sondern der zunächst erforderlich ist, um ein Flurwindssystem anzutreiben, dass seinerseits mit seinem Transport kühlerer Luft in die wärmere Zone hinein für eine Belüftung und eine Temperatur-Angleichung sorgt.

Der Antrieb von Flurwinden ist auch hier die (horizontale) Temperatur*differenz*, nicht die absolute Temperatur der Luft. Aus diesem Grund können sich Flurwinde unter den o.g. Bedingungen das gesamte Jahr über in ähnlicher Struktur mit nur leicht variierenden Intensitäten ausbilden.

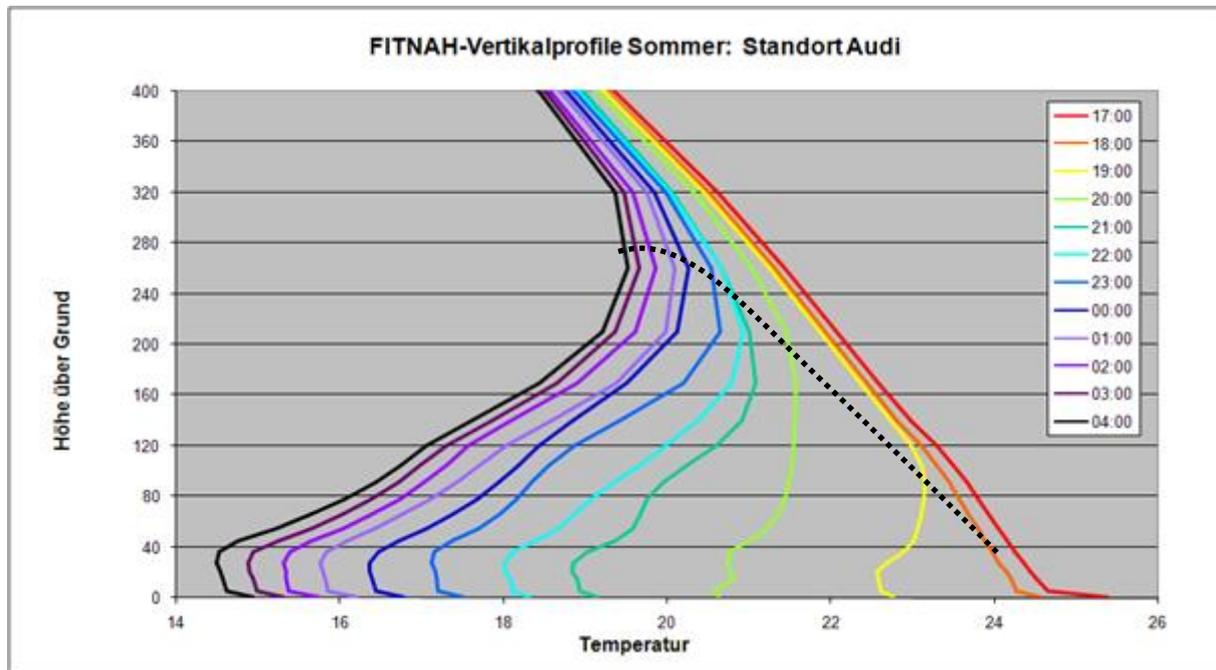
### 1.2.3 Kaltluft-Strömungssysteme sind dreidimensional und zeitabhängig

Die Kaltluft-Strömungssysteme besitzen oft eine vertikale Mächtigkeit, die ein Vielfaches der Gebäude- oder Bestandshöhe beträgt. Auf diese Weise können wesentliche Belüftung-Funktionen einer Strömung auch im Überdachniveau bzw. oberhalb des Kronenraumes ablaufen (Abb. 1-6).



**Abb. 1-6:** Vertikal-Profile in einer Kaltluftströmung. Links: Windgeschwindigkeit, rechts: Temperatur. Die Kaltluftströmung reicht bis etwa 100 m über Grund, das Maximum liegt in 40 m Höhe. Beispiel aus einem Modellergebnis von FITNAH.

Die Mächtigkeit der Kaltluft wächst im Normalfall während einer Nacht an (Abb. 1-7). In der Abbildung ist dies erkennbar am Anwachsen der Bodeninversion (gestrichelte Linie), des Bereiches, in dem die Temperatur mit der Höhe zunimmt.



**Abb. 1-7:** Zeitlicher Verlauf einer Bodeninversion über einem Industriestandort in einem Flusstal. Beispiel-Ergebnis einer Berechnung mit FITNAH. Zu beachten ist: Im Bereich einer Industriebebauung (wie hier im Beispiel) ist die Bodentemperatur erhöht, eine Temperaturabnahme setzt erst oberhalb der mittleren Bebauungshöhe (hier ca. 30-40 m) ein. Hier zeigt sich über dem Industriegebiet eine Kaltluftschicht mit einer Mächtigkeit bis 280 m

#### 1.2.4 Anthropogener Wärmestrom

Wie in Abschnitt 1.2.1 beschrieben, wird die Abkühlung der Erdoberfläche (und damit die Bildung bodennaher Kaltluft) durch eine negative Energiebilanz (= Verlust von Energie) verursacht.

In die bodennahe Energiebilanz gehen grundsätzlich folgende Prozesse ein:

- Bodenwärmestrom (Transport von Wärme zur oder von der Erdoberfläche aufgrund höherer bzw. niedrigerer Temperaturen im Erdboden).
- Latenter Wärmestrom (z.B. Wärmeverlust aufgrund Verdunstung von Wasser).
- Fühlbarer Wärmestrom (Wärmeverlust oder –gewinn wegen des Austausches der Oberfläche mit der darüber liegenden Luft).
- Langwellige Ausstrahlung (Wärmeverlust durch Ausstrahlung von Energie aufgrund der Oberflächentemperatur).
- Kurzwellige Einstrahlung (Wärmegewinn durch Einstrahlung tagsüber bei Sonnenschein).
- Langwellige atmosphärische Gegenstrahlung (Wärmegewinn durch langwellige Strahlung von oben, verursacht z.B. durch Wolken und Wasserdampf in der Atmosphäre).

In Waldbeständen kommen langwellige Strahlungsgewinne durch die Bestandselemente hinzu, wobei tagsüber der kurzwellige Strahlungsgewinn an der Erdoberfläche durch Abschattung und nachts der langwellige Strahlungsverlust durch Ausstrahlung gemindert sind.

In bebauten Bereichen kann ein so genannter anthropogener Wärmestrom hinzukommen.

Dieser Wärmestrom beschreibt die Energiezufuhr durch vom Menschen und insbesondere seinen Aktivitäten verursachte Energieeinträge (z.B. das Heizen von Gebäuden, Wärmefreisetzung bei industrieller Produktion).

## 2 Kaltluftströmungen im Stadtgebiet von Tübingen

### 2.1 Aufgabenstellung und vorhandene Unterlagen

Die Stadt Tübingen betreibt eine aktive Stadtentwicklung in deren Folge eine ganze Reihe von Bebauungsplanverfahren und Planungen durchgeführt werden.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt in der notwendigen Abwägung der verschiedenen Belange sind seit einigen Jahren die lokalklimatischen Bedingungen. Eine besondere Relevanz innerhalb des Themenfeldes „Klima“ kommt dabei den nächtlichen Kaltluftströmungen zu. Sie erfüllen bei großräumig windschwachen und wolkenarmen Wetterverhältnissen (Hochdruckgebiete) eine wichtige Belüftungs- und Abkühlungsfunktion in urbanen Siedlungsräumen.

Die Kaltluftströmungen haben die Besonderheit, dass ihre Intensität, ihre Richtung und ihre Mächtigkeit (vertikale Erstreckung) örtlich variiert. Dabei spielen sowohl die lokalen Gelände- und Landnutzungsverhältnisse eine Rolle wie auch die Lage eines Untersuchungsgebietes in Relation zum Weg übergeordneter Kaltluftströmungen, die oft aus einem großen Einzugsgebiet im Hinterland gespeist werden. Oft tritt zusätzlich eine Zeitabhängigkeit der Kaltluftströmungsverhältnisse im Laufe einer Nacht hinzu.

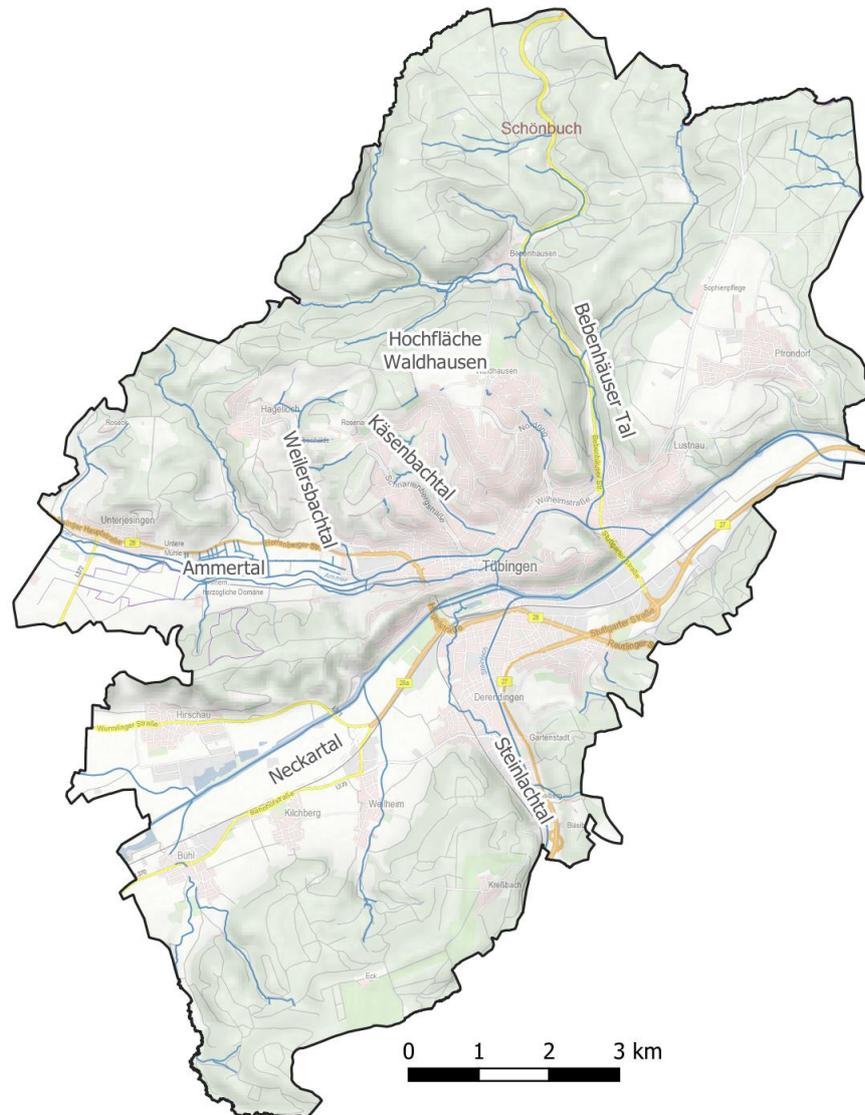
Es ist zu erwarten, dass auch im stark gegliederten Stadtgebiet von Tübingen lokal sehr unterschiedliche Richtungen, Intensitäten und Mächtigkeiten der Kaltluftströmungen auftreten. Während die Kernstadt im Bereich des Neckartales liegt, reicht das Stadtgebiet nach Norden in die Ausläufer des Schönbuchs hinein (z.B. Bebenhäuser Tal) und nach Süden bis zu den Randhöhen des Rammert mit seiner Begrenzung, dem Steinlachtal (Abb. 2-1, Abb. 2-2).

Die Kenntnis der örtlichen Kaltluftströmungen ist eine beständig notwendige und wiederkehrende wichtige Datengrundlage im Rahmen der Bearbeitung von Bebauungsplanverfahren bzw. bereits bei der Prüfung von Planungsgrundlagen und –varianten.

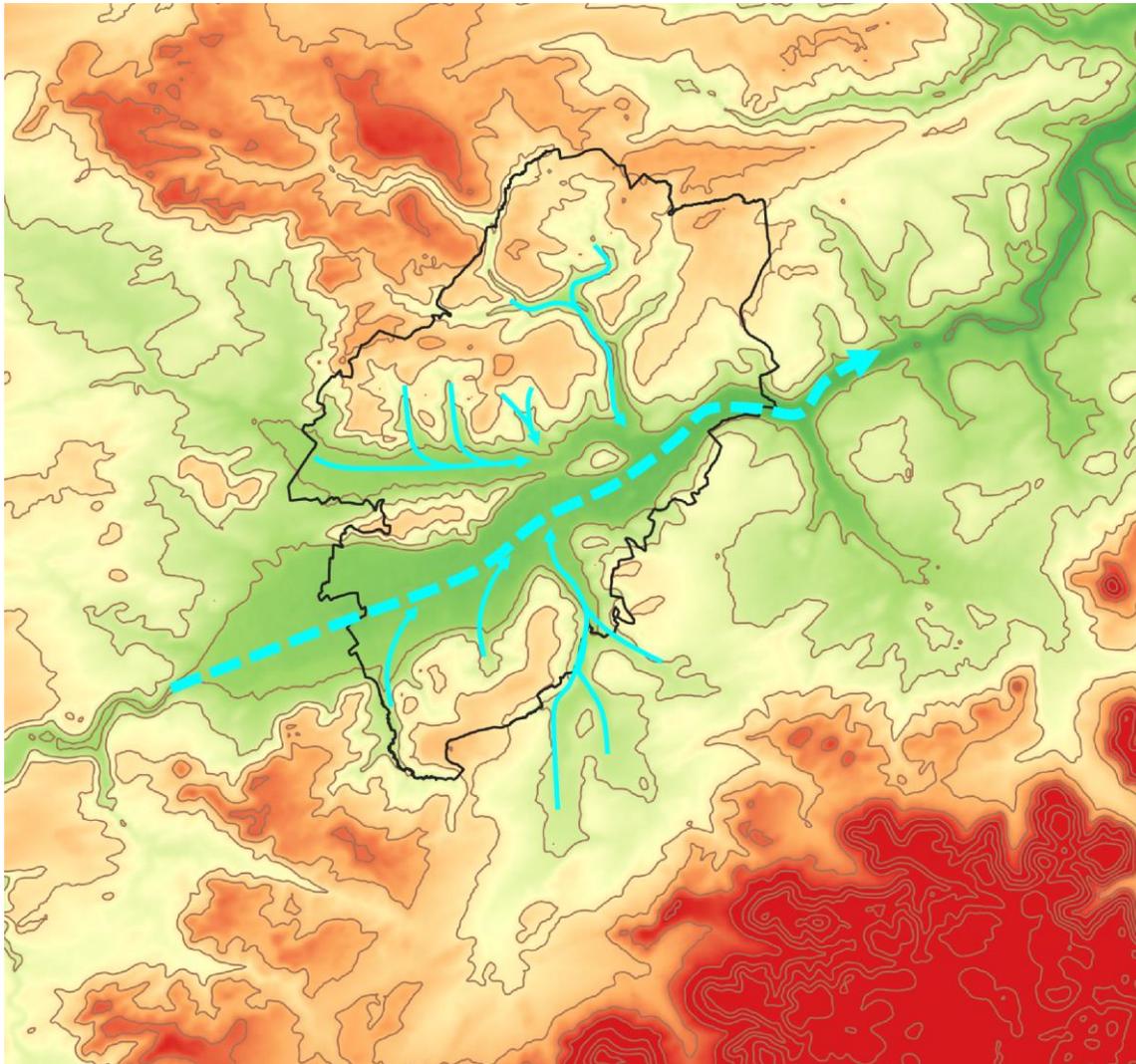
Bislang vorliegende Kaltluftströmungsuntersuchungen für das Stadtgebiet von Tübingen basierten auf punktuellen Messungen, Messfahrten und einer zumeist empirischen Interpretation der Messergebnisse in die Fläche (z.B. Vogt 1993, /7/, Abb. 2-3).

Die Datengrundlage für die Berechnungen (Digitales Höhenmodell, Landnutzung im Stadtgebiet) entspricht dem verfügbaren Stand im Bearbeitungszeitraum (2012/2013).

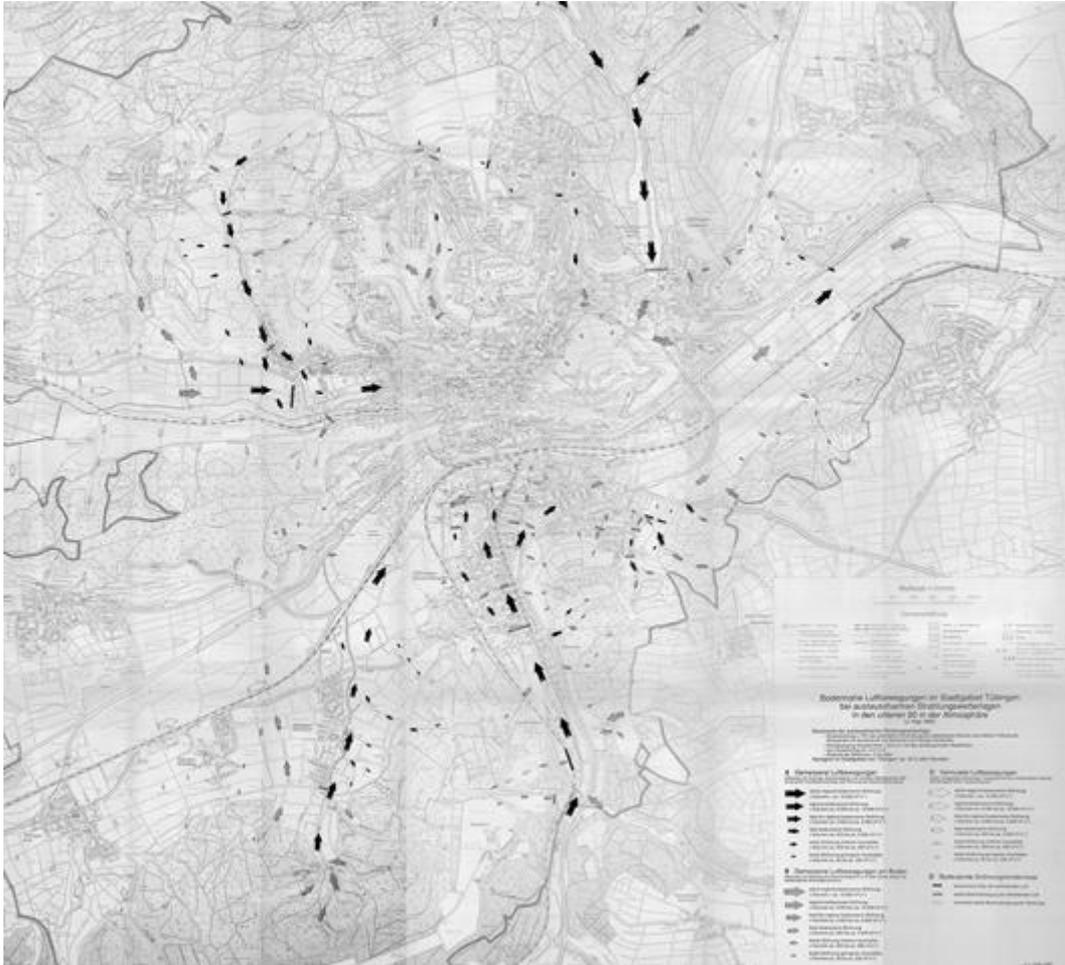
Zur Erstellung dieses Berichtes wurden dort, wo erforderlich, (Hintergrund-) Karten und Luftbild-Hintergründe zu den Abbildungen von der Stadt Tübingen bereitgestellt.



**Abb. 2-1:** Karte des Stadtgebiets von Tübingen (Karten-Datengrundlage: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de); OpenStreetMap).



**Abb. 2-2:** Stadtgebiet von Tübingen und Umgebung mit Geländeform. **Mögliche** bzw. **vermutete** Haupt-Kaltluftströmungen sind hellblau eingezeichnet.



**Abb. 2-3:** Karte von Vogt 1993 (/7/) zu Kaltluftströmungen im Stadtgebiet von Tübingen (Ausschnitt).

Diese vorhandenen Unterlagen sollten nun mit den Werkzeugen und Möglichkeiten moderner, rechnergestützter Strömungssimulationsmodelle ergänzt und aktualisiert werden.

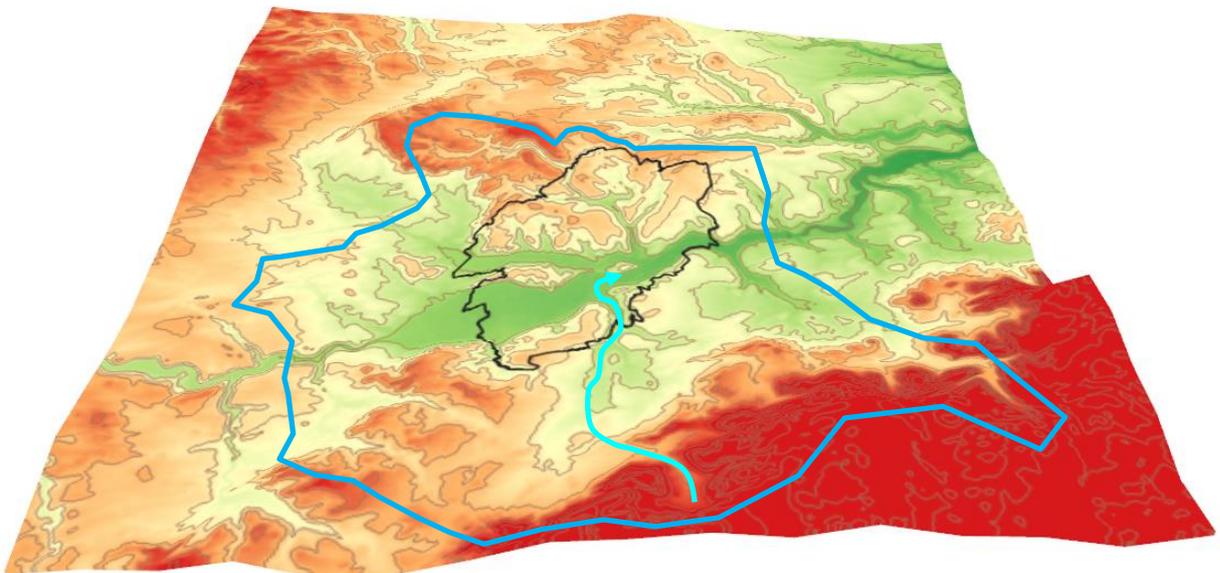
Der Vorteil dieser Methode ist, dass in diesen Modellen das Stadtgebiet und die umliegenden Kaltlufteinzugsgebiete mit einem engmaschigen dreidimensionalen Rechengitter überzogen werden und so eine hohe Dichte an Information generiert werden kann.

Die Ergebnisse gestatten eine hochauflösende, dreidimensionale individuelle Analyse für jeden Teilbereich oder jedes Planungsgebiet. Anders als die Interpretation von Messungen, die naturgemäß an nur wenigen Stützstellen im Stadtgebiet tatsächliche Informationen nutzen kann und Erkenntnisse inter- und extrapolieren muss, stehen bei modellgestützten Strömungsberechnungen Daten gleichbleibender Qualität in hoher räumlicher Dichte für das gesamte Stadtgebiet bereit.

## 2.2 Das Rechengebiet von FITNAH für Tübingen (Gesamtstadt)

Das Rechengebiet von FITNAH wurde so groß gewählt, dass das gesamte Stadtgebiet von Tübingen und das Einzugsgebiet von im Stadtgebiet wirksamen Kaltluftströmungen enthalten ist.

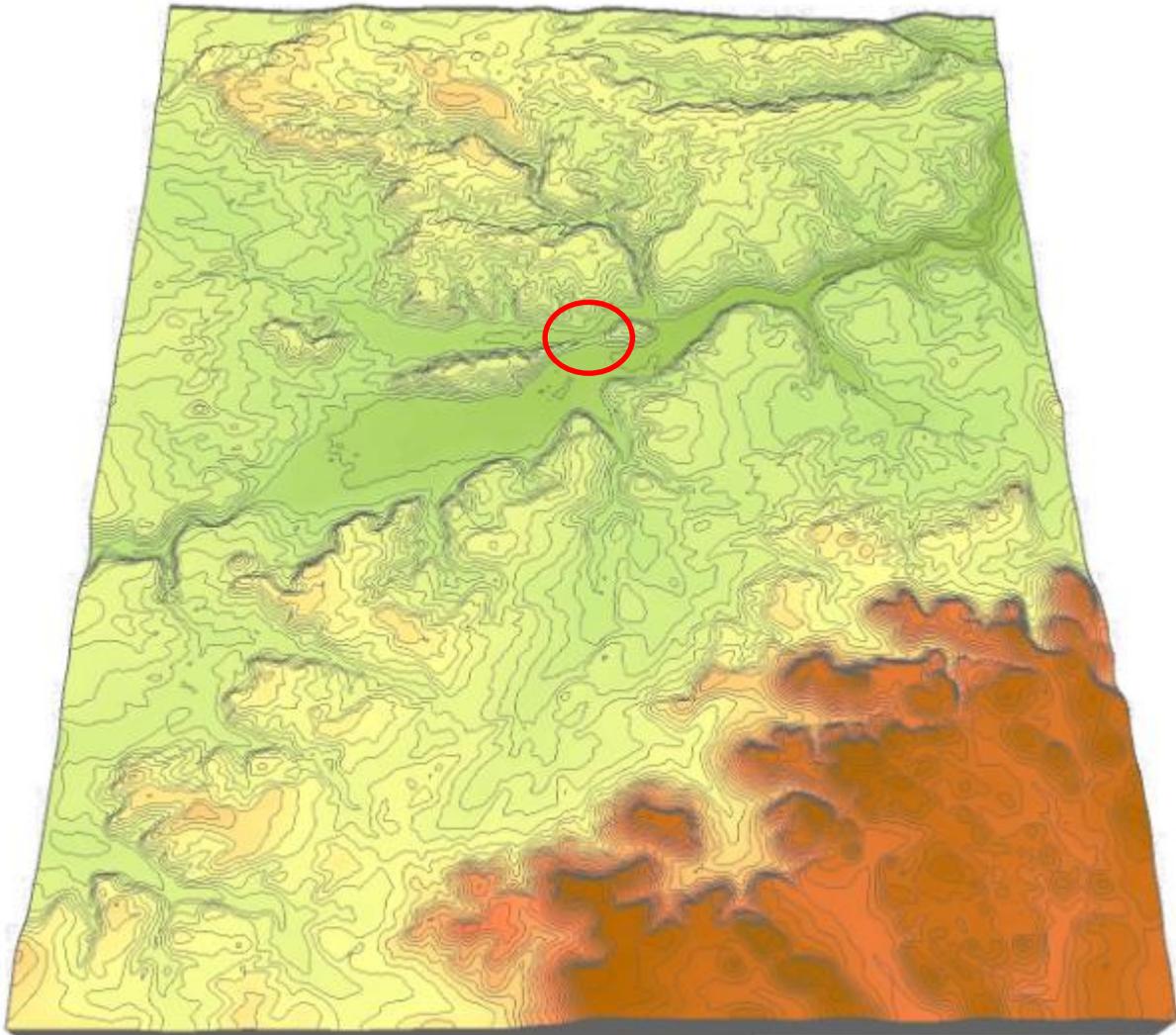
Dieser zweite Punkt führt zu einer Ausdehnung des Berechnungsgebietes bis zu den Ausläufern der Schwäbischen Alb, da nicht auszuschließen war, dass Kaltluftströme aus Süden (z.B. über das Steinlachtal) zumindest teilweise von dort gespeist werden oder einen Teilimpuls beziehen (Abb. 2-4).



**Abb. 2-4:** Mögliches Einzugsgebiet von Kaltluftströmungen im Stadtgebiet von Tübingen (blau). Exemplarisch ist eine Luftzufuhr über das Steinlachtal skizziert (hellblau).

Das Rechengebiet erstreckte sich daher über 27,0 km in West-Ost- und 32,4 km in Süd-Nord-Richtung (Abb. 2-5 bis Abb. 2-7) . Die horizontale Auflösung (Maschenweite) betrug 75 m.

Die vertikalen Rechenflächen sind bodennah dicht gestaffelt (0, 5, 15, 21, 28, 36, 45, 55, 66, 78 m usw.). Darüber wurde ihr Abstand von Fläche zu Fläche um etwa 20% vergrößert, insgesamt wurden 30 Rechenflächen bis in eine Höhe von 3.500 m definiert.



**Abb. 2-5** Gelände des FITNAH-Rechengebietes Stadt Tübingen mit einer Auflösung (Maschenweite) von 75 m (überhöht). Die Lage des Stadtzentrums ist rot markiert.

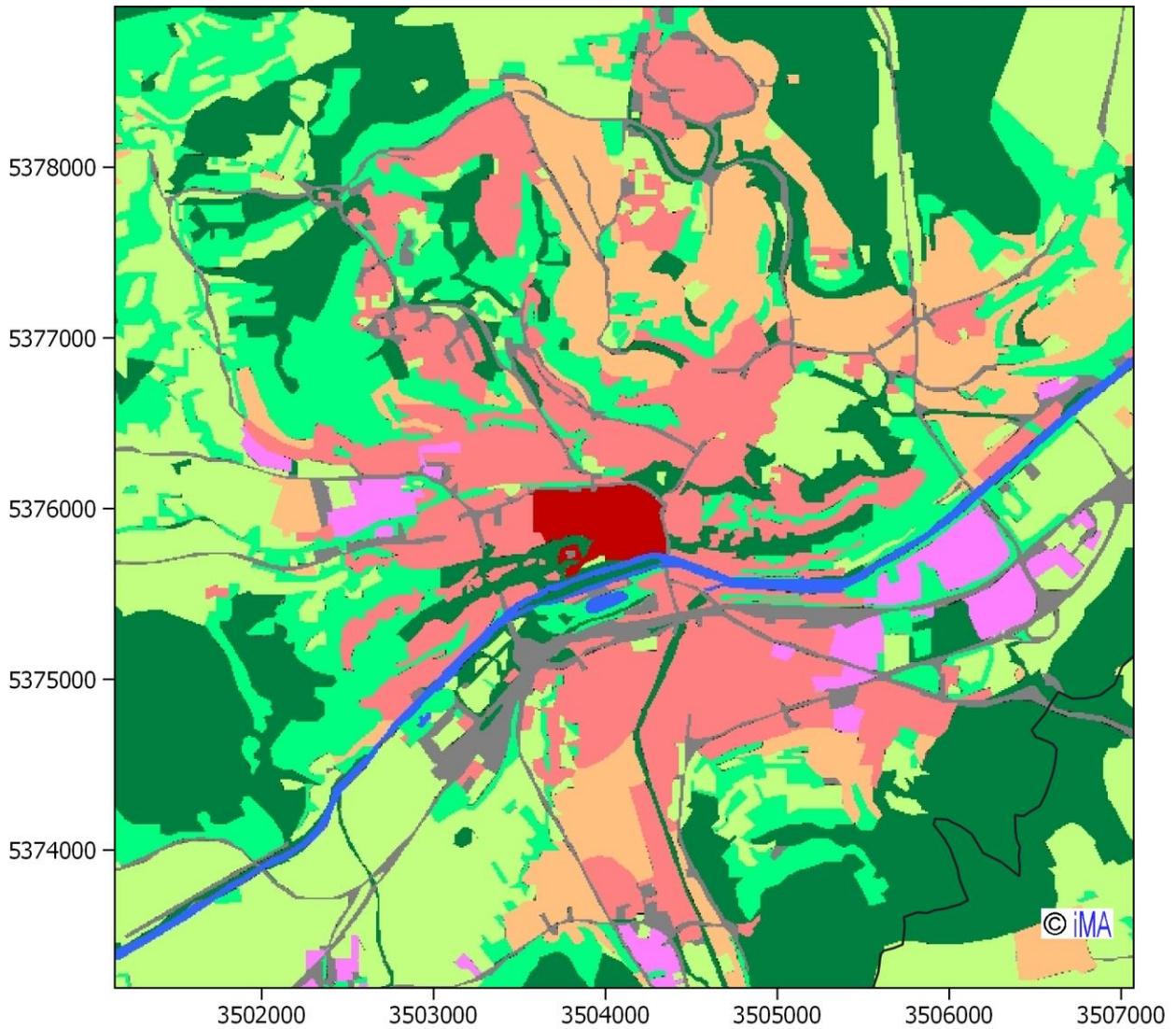
### **2.3 Landnutzung und Detaillierung im Stadt-Gebiet**

Die Landnutzung wurde zunächst auf Basis des CORINE-Katasters bestimmt. Dabei wurde jeder Rechenfläche von 75 m x 75 m ein Anteil der Landnutzungen „Wasser“, „Freifläche“, „Bebauung“ und „Bewaldung“ zugeordnet. Dabei werden je nach Bebauungstyp und Baumbestand unterschiedliche Höhen von Bebauung und Bewuchs berücksichtigt. Für die Bebauung wird zudem ein für den Bebauungstyp charakteristischer anthropogener Wärmestrom einbezogen.

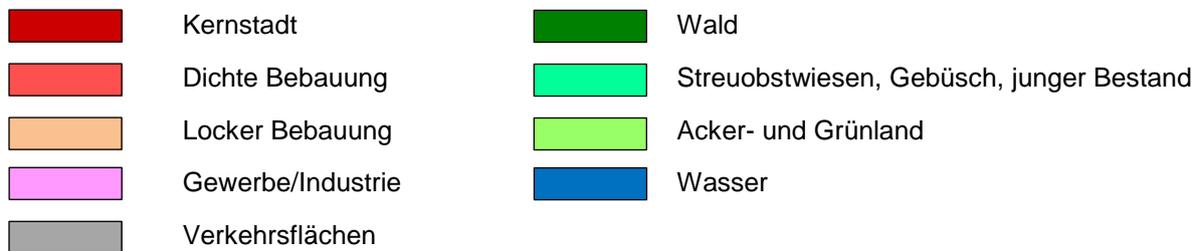
Um die im 75 m-Raster auch kleinräumig stark variierenden Nutzungen und Oberflächeneigenschaften realistisch erfassen zu können wurde die Landnutzung im Bereich des Stadtgebietes auf Basis des Flächennutzungsplanes der Stadt Tübingen (Stand 07.10.2011) gesondert erfasst (Abb. 2-7).



**Abb. 2-6:** Luftbild der Stadt Tübingen.



**Abb. 2-7:** Detail-digitalisierte Landnutzung auf Basis des Flächennutzungsplans der Stadt Tübingen. (Stand 2011 zum Zeitpunkt der Bearbeitung).



## 2.4 Meteorologische Situation und Anfangszustand

Für die hochauflösende Simulation im Berechnungsgebiet wurde von einer „autochthone“ Wetterlage ausgegangen. Die Luftdruckverteilung weist kaum Druckunterschiede auf (wie es z.B. im Kern von Hochdruckgebieten typischerweise der Fall ist) und es gibt keine übergeordnete bzw. überregionale Strömung.

Die Simulation wurde für einen typischen Sommertag durchgeführt (01. August), die Sonnenuntergangs- und –Aufgangszeiten waren 19:30 und 4:30 (wahre Ortszeit, die Sonne steht dabei um 12:00 im Zenit).

Die Berechnung wurde um 15:00 gestartet, damit sich die zu berechnenden meteorologischen Größen noch vor dem Beginn der abendlichen Abkühlung in Wechselwirkung mit Geländestrukturen und Landnutzung ausbalancieren und in sich konsistent einstellen können (Einschwingphase, meist ca. 1 simulierte Stunde).

Das Modell benötigt während der Simulation keine weiteren Eingaben von außen, alle Größen werden in Wechselwirkung und Balance miteinander konsistent und fortwährend modellintern berechnet. Allerdings muss ein Anfangszustand vorgegeben werden (bezogen auf 15:00 Startzeit):

- Zu Beginn ebenes Gelände, der Übergang zu den tatsächlichen Geländehöhen erfolgt innerhalb der ersten 5 Minuten der Simulationszeit (Diastrophie-Phase).
- Die Temperatur der Erdoberfläche beträgt über freiem Feld 25°C, in überwiegend dicht bebauten städtischen Strukturen ist sie um bis zu 4 K wärmer (max. 29°C), je nach Versiegelungsgrad auf einer 75 m x 75 m großen Fläche. In Waldbeständen ist sie zu diesem Startzeitpunkt je nach Dichte des Bestandes um bis zu 4 K kühler (minimal 21°C).
- Konstante Boden-Temperatur in 1 m Tiefe 15°C.
- Konstante Temperatur von Wasseroberflächen 20°C.
- Temperaturgradient mit der Höhe leicht stabil (Standard-Atmosphäre), Höhe der Mischungsschicht zu Beginn der Simulation 1.100 m über Grund.
- Relative Feuchte in Bodennähe 60%.
- Keine Wolken (Bedeckungsgrad 0/8).

Die Aktualisierung der Berechnung des Schattenwurfes erfolgte bei Sonnenständen dicht über dem Horizont alle 5 Minuten, die Aktualisierung der Berechnung der langwelligen Strahlungsströme (Divergenzen) alle 10 Minuten.

## **2.5 Ergebnisse für das Stadtgebiet**

### **2.5.1 Zu Beginn der Kaltluftnacht (bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang)**

Die folgenden Abbildungen zeigen die mittlere Bodentemperatur (2 m über Grund, Abb. 2-8) und die mittleren Strömungsverhältnisse in 0-10 m über Grund (Abb. 2-9) sowie in 50 m über Grund (Überdachniveau, Abb. 2-10) zu Beginn einer Strahlungsnacht, etwa 1 bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang. Es ist das Stadium, in der die Temperaturen vom Tage her zwar noch relativ hoch sind, die Abkühlungsraten jedoch am größten sind (vergl. auch Abb. 1-4) und die Kaltluftströmungen am intensivsten. Zu dieser Zeit dominieren noch lokale Kaltluftabflüsse, die Ausbildung von komplexeren Strömungssystemen hat gerade erst begonnen.

Zu diesem Zeitpunkt ist die Abkühlung bereits vorangeschritten, das Temperaturniveau liegt zwischen 14°C und 17°C (zum Startzeitpunkt des Modellaufes um 15:00 herrschten im Mittel 25°C).

Die höchsten Temperaturen zeigen sich über Wasseroberflächen. Da Wasser ein sehr träges Medium ist, dessen Temperatur sich über Nacht kaum verringert, erscheinen die Flüsse und Seen im nächtlichen Temperaturfeld relativ warm (vergl. auch Abb. 1-1).

Die höchsten Temperaturen des Stadtgebietes findet man erwartungsgemäß im Innenstadtbereich von Tübingen, in Bereichen mit dichterem Bebauung und in den Gewerbe- und Industriegebieten entlang des Neckars und am Talausgang des Steinlachtales. An den nach Westen orientierten bebauten Hängen des Schönbuchs (Abb. 2-8, linker Bildrand) sind die Temperaturen ebenfalls noch relativ hoch, da diese Bereiche bis Sonnenuntergang direkte Sonnenstrahlung empfangen konnten.

Waldgebiete sind zu diesem Zeitpunkt etwas kühler als die Siedlungsgebiete. Die niedrigsten Temperaturen werden jedoch über den größeren zusammenhängenden Freiflächen (z.B. im Ammertal), in den Tallagen des Schönbuch (z.B. Bebenhausen) und in denen des Steinlachtales und seiner Zuläufe berechnet.

Die Temperatur-Unterschiede zwischen Stadt und Umland sind nicht dramatisch, sie betragen etwa 2°C bis 4°C.

Die bodennahen Strömungsverhältnisse (Abb. 2-9) zeigen an vielen Hanglagen lokale Kaltluftabflüsse. Zu diesem Zeitpunkt ist sowohl die Richtung als auch die Geschwindigkeit von Kaltluftströmungen insgesamt sehr heterogen und primäre am lokalen Geländegefälle orientiert. Ein schönes Beispiel ist der Spitzberg (der bewaldete Höhenrücken zwischen Ammer und Neckar, westlich der Kernstadt), der hangfolgende Kaltluftabflüsse an jeder Flanke generiert.

Großflächige Kaltluftströmungen findet man über zusammenhängenden Freiflächen z. B. bei Pfrondorf, oberhalb von Lustnau und nördlich des Neckars gelegen, oder bei Wankheim, südwestlich des Stadtgebietes.

Eine kräftige bodennahe Kaltluftströmung hat sich auch im Tal des Weilerbaches, von Hagelloch zum Ammertal, ausgebildet. Sie ist jedoch relativ flach, wie die Abb. 2-10 (Kaltluftströmungen im Überdachniveau, 50 m über Grund) zeigt.

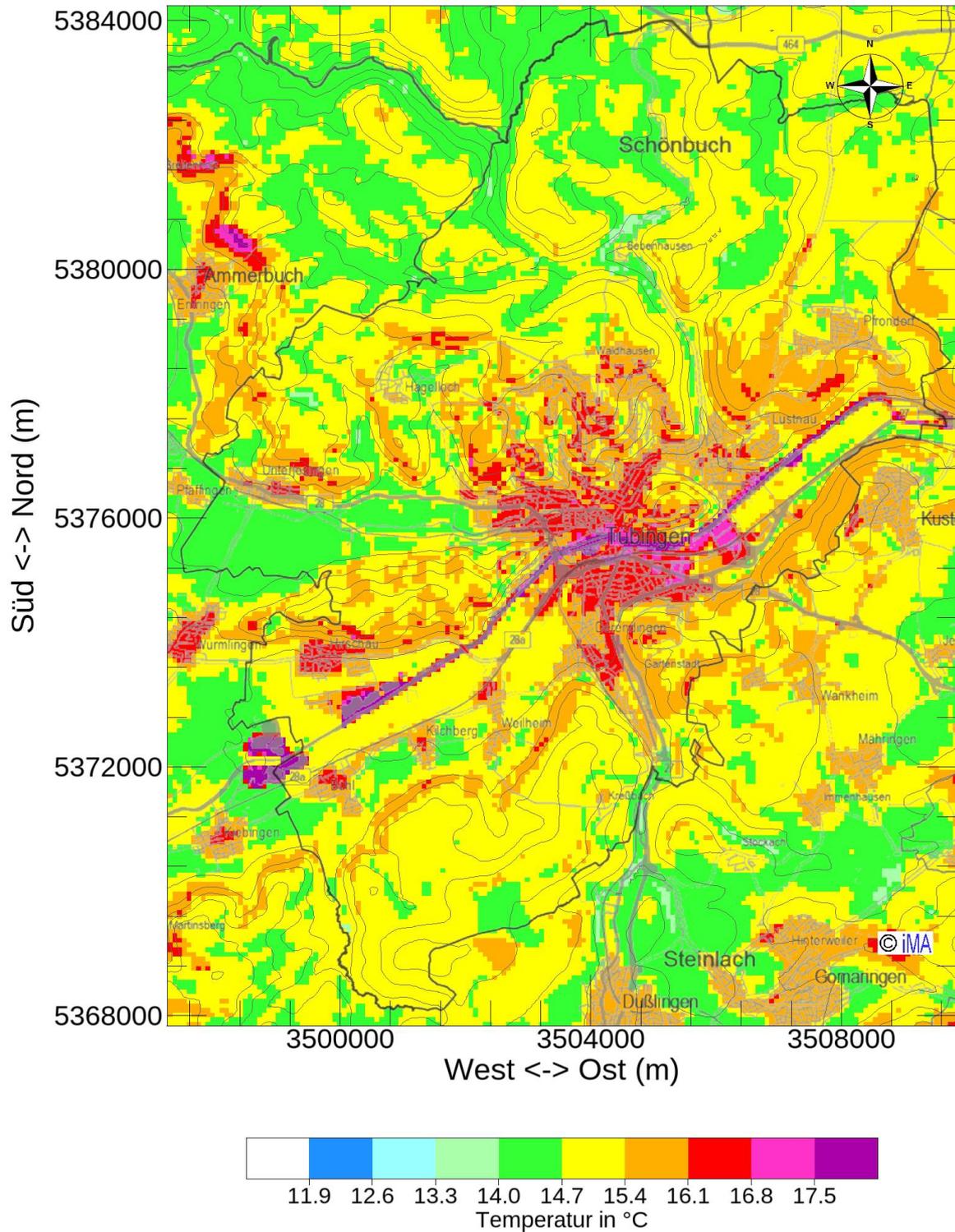
Direkt über dem Boden (Abb. 2-8) zeigen sich im Modell über zusammenhängenden städtischen Baustrukturen und Siedlungsgebieten keine markanten Strömungen mehr. Hier sorgen die Baukörper als Strömungshindernisse und die vielen Rauigkeitselemente dafür, dass sich keine eindeutige gerichtete Kaltluftströmung mehr ausbildet oder durchsetzt. Daher geraten in der Regel nur die Stadt- und Siedlungsränder in den Genuss direkter bodennaher Kaltluftzufuhr aus dem Umland.

Die Kaltluftströmung ist aber nicht blockiert, sondern wird nach Überstreichen einer gewissen Übergangszone im Wesentlichen im Überdachniveau fortgesetzt, wenn der Kaltluftstrom eine entsprechende vertikale Mächtigkeit ausgebildet hat.

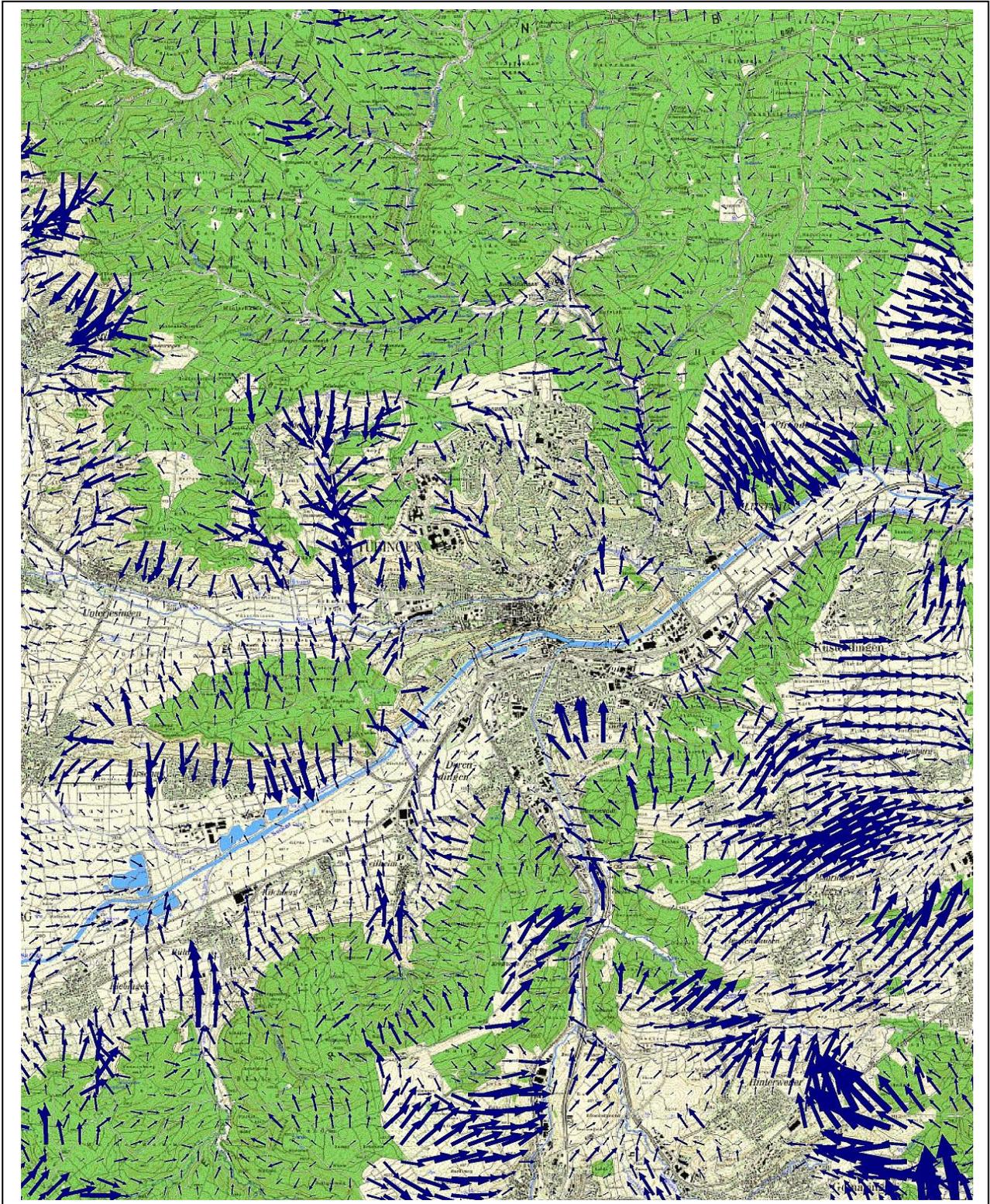
Im Überdach-Niveau zeigen sich zwei markante Kaltluftströme von Norden und von Süden (Abb. 2-10).

Am Ausgang des Bebenhäuser Tales findet man eine schmale, aber kräftige Strömung, die – wie in der Abb. 2-10 gut zu sehen ist – aus den Tälern des Schönbuchs gespeist wird. Im Süden stoßen intensive Kaltluftströme über das Steinlachtal und die Taleinschnitte des Rammert bei Bühl und Weilheim bis ins Tübinger Stadtgebiet vor.

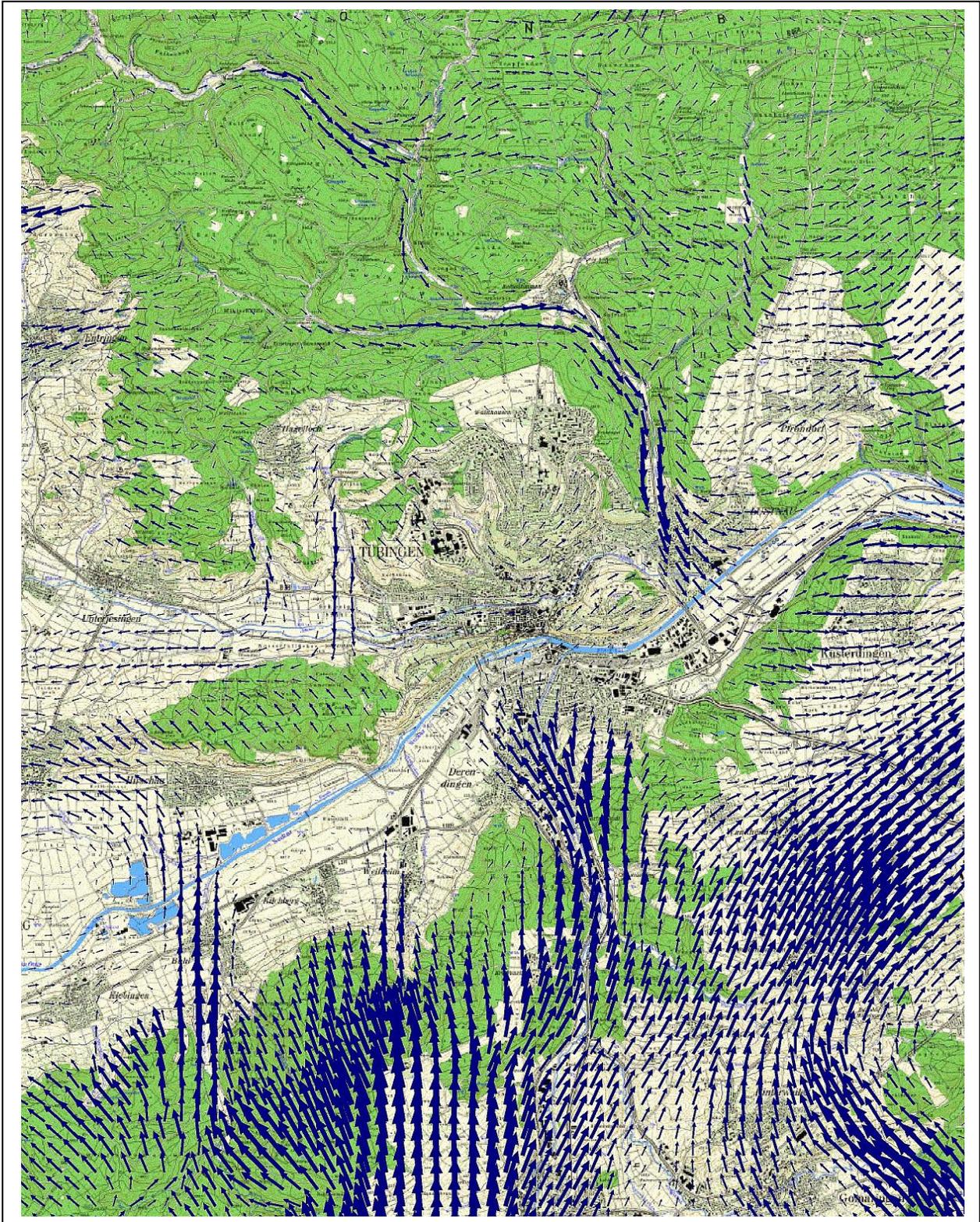
Ein ebenfalls kräftiger südlicher Kaltluftstrom biegt hinter Gomaringen bei Hinterweiler in Richtung Nordosten ab und erreicht das Stadtgebiet von Tübingen nicht.



**Abb. 2-8:** Bodennahe Temperaturen (2 m über Grund) zu Beginn einer Strahlungsnacht, ca. 1 bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang (Karten-Datengrundlage: LGL, www.lgl-bw.de).



**Abb. 2-9:** Mittlere Strömung zu Beginn einer Strahlungsnacht von 0 bis 10 m über Grund, dargestellt durch Vektoren an jedem 3. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit. (Karte: Ausschnitt aus MagicMaps Baden-Württemberg 3D.)



**Abb. 2-10:** Mittlere Strömung zu Beginn einer Strahlungsnacht in 50 m ü. Grund (**Überdachniveau**), dargestellt durch Vektoren an jedem 3. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit. (Karte: Ausschnitt aus MagicMaps Baden-Württemberg 3D.)

### 2.5.2 Später in der Strahlungsnacht (3 bis 8 Stunden nach Sonnenuntergang)

Die folgenden Abbildungen zeigen die mittlere Bodentemperatur (2 m über Grund, Abb. 2-11) und die mittleren Strömungsverhältnisse in 0-10 m über Grund (Abb. 2-12) sowie in 50 m über Grund (Überdachniveau, Abb. 2-13) zu im weiteren Verlauf einer Strahlungsnacht, etwa 3 bis 8 Stunden nach Sonnenuntergang. Es ist das Stadium, in der sich die Abkühlung verlangsamt, die Intensität der einzelnen Kaltluftabflüsse abnimmt, aber verstetigt, und in dem sich viele kleine und mittlere Strömungssysteme zu größeren, übergeordneten Strömungen zusammenschließen können.

Dargestellt sind hier die mittleren Verhältnisse in dieser zweiten Phase einer Strahlungsnacht.

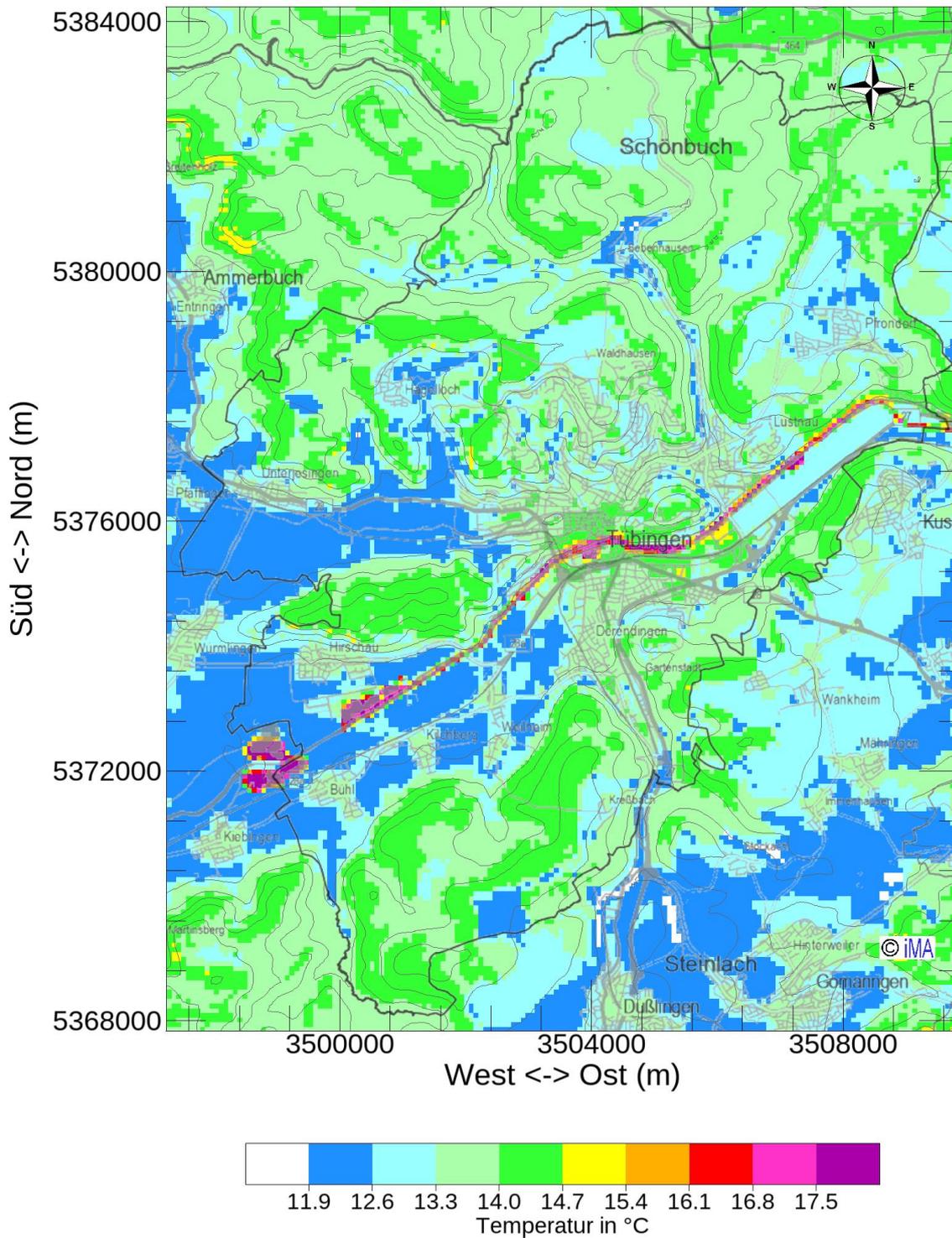
Das Temperaturniveau hat - abgesehen von den nach wie vor relativ warmen Wasseroberflächen - Werte zwischen 11°C und 15°C erreicht. Die niedrigsten Temperaturen werden nun über den Freiflächen der Tallagen berechnet. Sehr markant treten in der Abb. 2-11 die breiten Talzonen von Ammer und Neckar westlich von Tübingen in Erscheinung. Niedrige Temperaturen werden zudem z.B. in den Taleinschnitten vom Bebenhäuser Tal, denen des Weilerbachs südlich von Hagelloch und am Taleingang des Steinlachteles berechnet.

In diesen späteren Stunden einer Strahlungsnacht zeigt sich, dass innerhalb der Wald-Bestände (dargestellt ist die Temperatur in 2 m über Grund) die Verhältnisse wärmer bleiben als über offenem Acker- oder Grünland. Die Übertemperaturen in der Innenstadt sind zu großen Teilen abgebaut worden. Dieser Bereich tritt nun nicht mehr als „besonders warm“ in Erscheinung. Gleichwohl bleibt das Stadtgebiet mit Werten zwischen 14°C und 15°C wärmer als das Freiland der Umgebung (Neckar- und Ammertal: um 12°C).

Die Strömungsverhältnisse (Abb. 2-12) zeigen sich in Bodennähe im Ganzen betrachtet strukturell wenig verändert. Auch später in der Nacht bleiben die Kaltluftabflüsse und -strömungen in den untersten 10 m sehr stark an den örtlichen Geländebeziehungen orientiert. Nur im Detail finden sich Unterschiede. So haben sich zu diesem späteren Zeitpunkt in nahezu ebenem Gelände vom Ammertal und Neckartal kommend sehr schwache bodennahe Strömungen aus Westen eingestellt, die sich auch östlich von Tübingen im Neckartal fortsetzen. Handelt es sich bei der schwachen Strömung im Ammertal noch um ein sehr flaches System, dass in 50 m über Grund (Abb. 2-13) nicht mehr identifizierbar ist, so ist die Neckartalströmung, trotz seiner geringen Intensität auf eine größere Mächtigkeit angewachsen – sie ist auch in 50 m über Grund (Abb. 2-13) gut zu erkennen.

Zusammen mit den kräftigen Kaltluftströmungssystemen aus dem südlichen Voralb-Bereich, die noch südlich des Stadtgebietes in Richtung Nordost drehen, wird das Neckar-folgende Strömungssystem östlich der Stadt so intensiviert, dass auch die Kaltluft aus dem höher liegenden Bereich um Pfrondorf einbezogen wird. In diesem Bereich des Neckars entsteht eine allgemeine, höher reichende westliche Strömung, die man in dieser Form westlich der Stadt nicht findet.

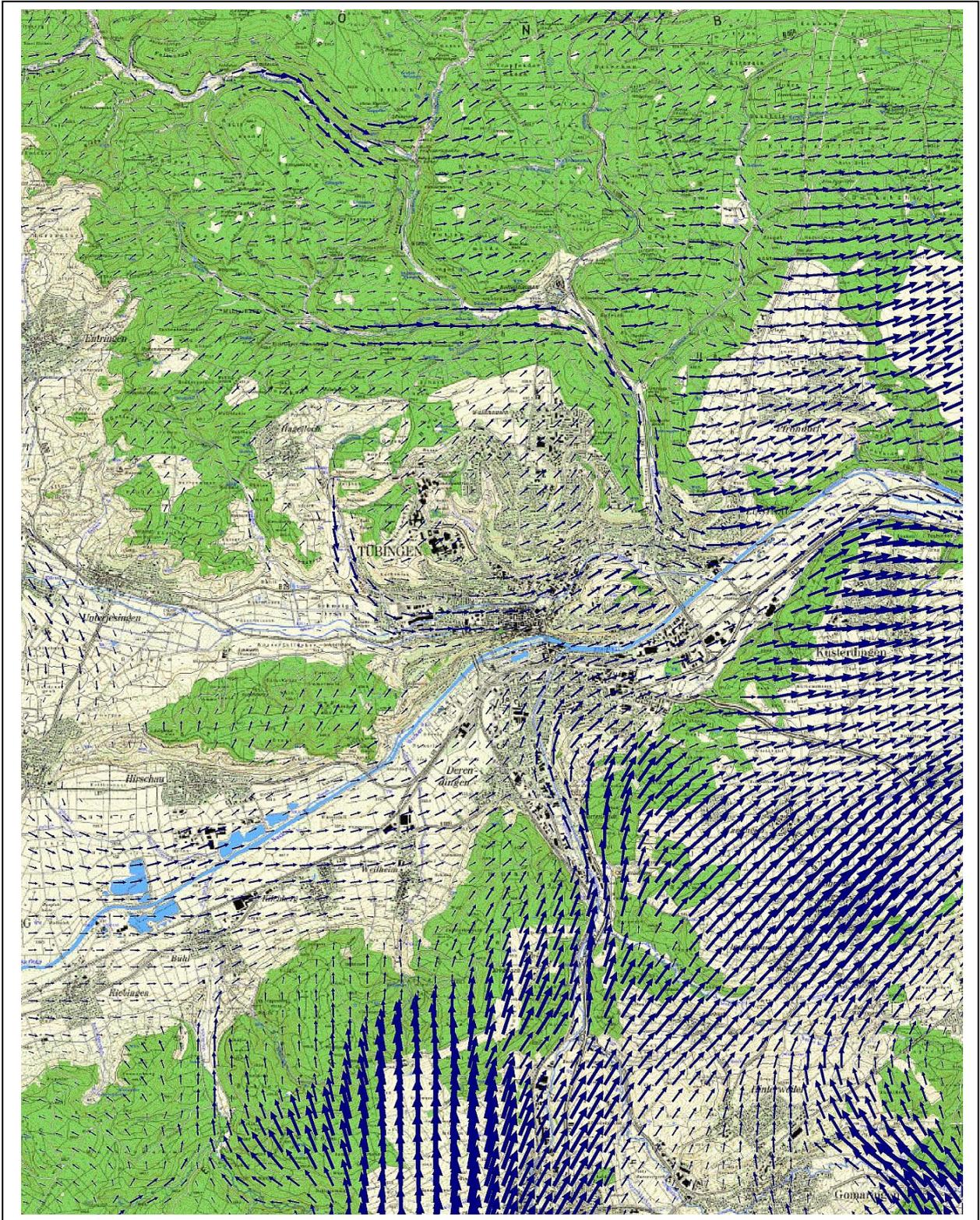
Die Intensität der Kaltluftströmung aus dem Bebenhäuser Tal hat deutlich nachgelassen. Dies liegt zum einen daran, dass das Einzugsgebiet überwiegend bewaldet ist (geringere Abkühlung im Bestand), andererseits haben sich zu diesem späteren Zeitpunkt die engen Täler mit Kaltluft aufgefüllt, die Strömung ist streckenweise zum Erliegen gekommen.



**Abb. 2-11:** Bodennahe Temperaturen (2 m über Grund) später in der Strahlungsnacht, mittlere Verhältnisse zwischen 3 und 8 Stunden nach Sonnenuntergang (Karten-Datengrundlage: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de)).



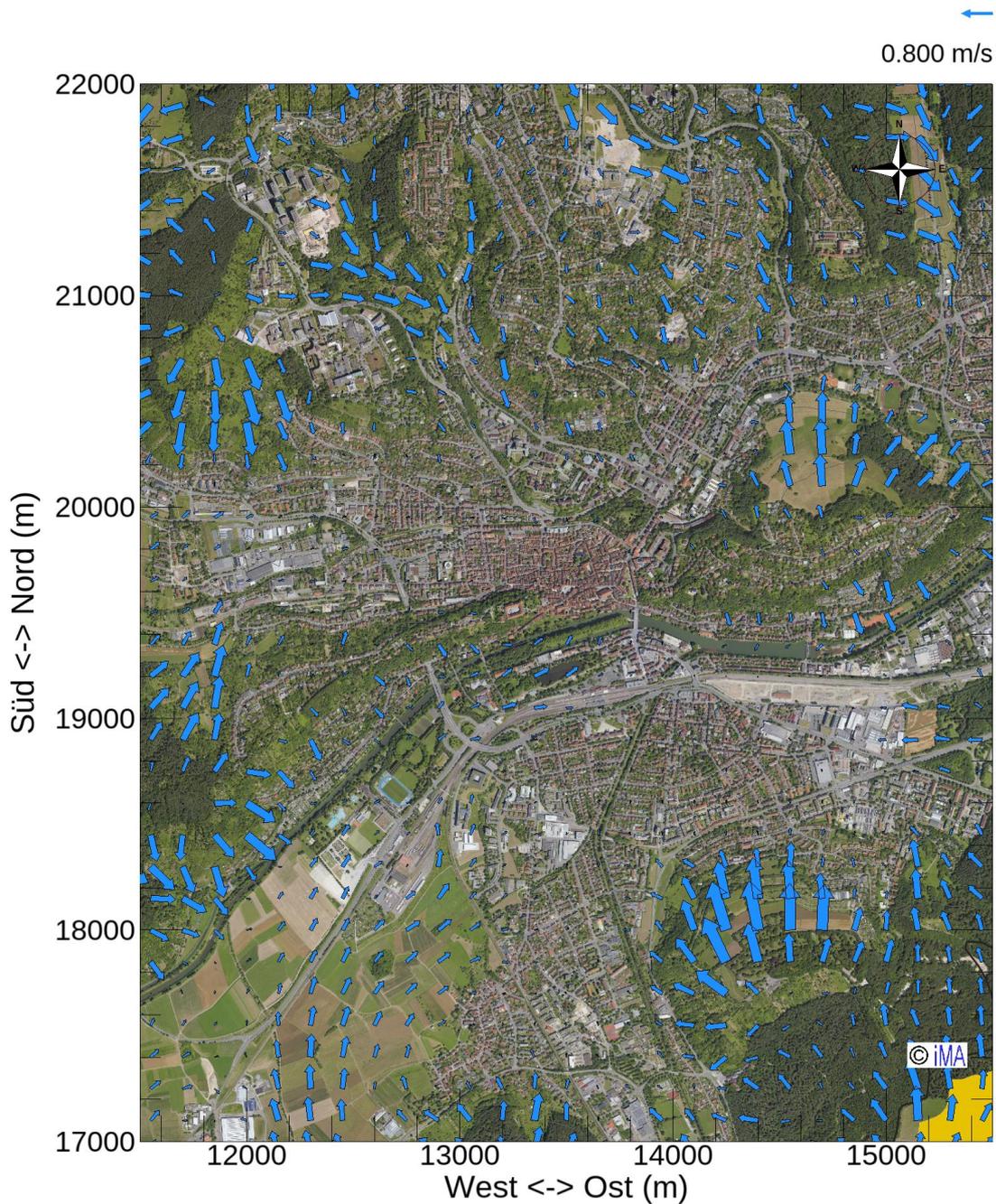
**Abb. 2-12:** Mittlere Strömung später in der Strahlungsnacht von 0 bis 10 m über Grund, dargestellt durch Vektoren an jedem 3. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit. (Karte: Ausschnitt aus MagicMaps Baden-Württemberg 3D.)



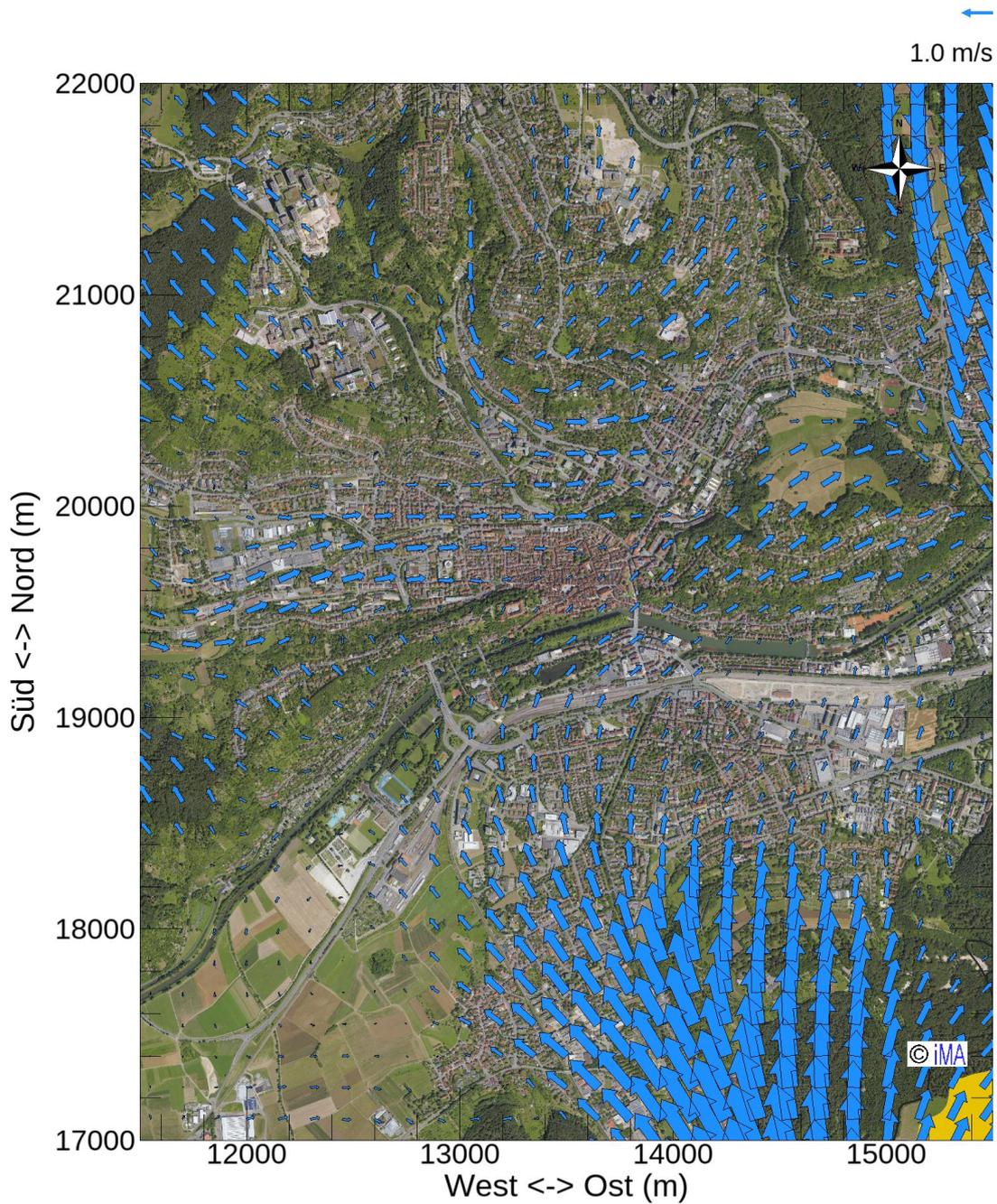
**Abb. 2-13:** Mittlere Strömung später in der Strahlungsnacht in 50 m ü. Grund (**Überdachniveau**), dargestellt durch Vektoren an jedem 3. Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit. (Karte: Ausschnitt aus MagicMaps Baden-Württemberg 3D.)

## 2.6 Exemplarische Auswertung für die Kernstadt

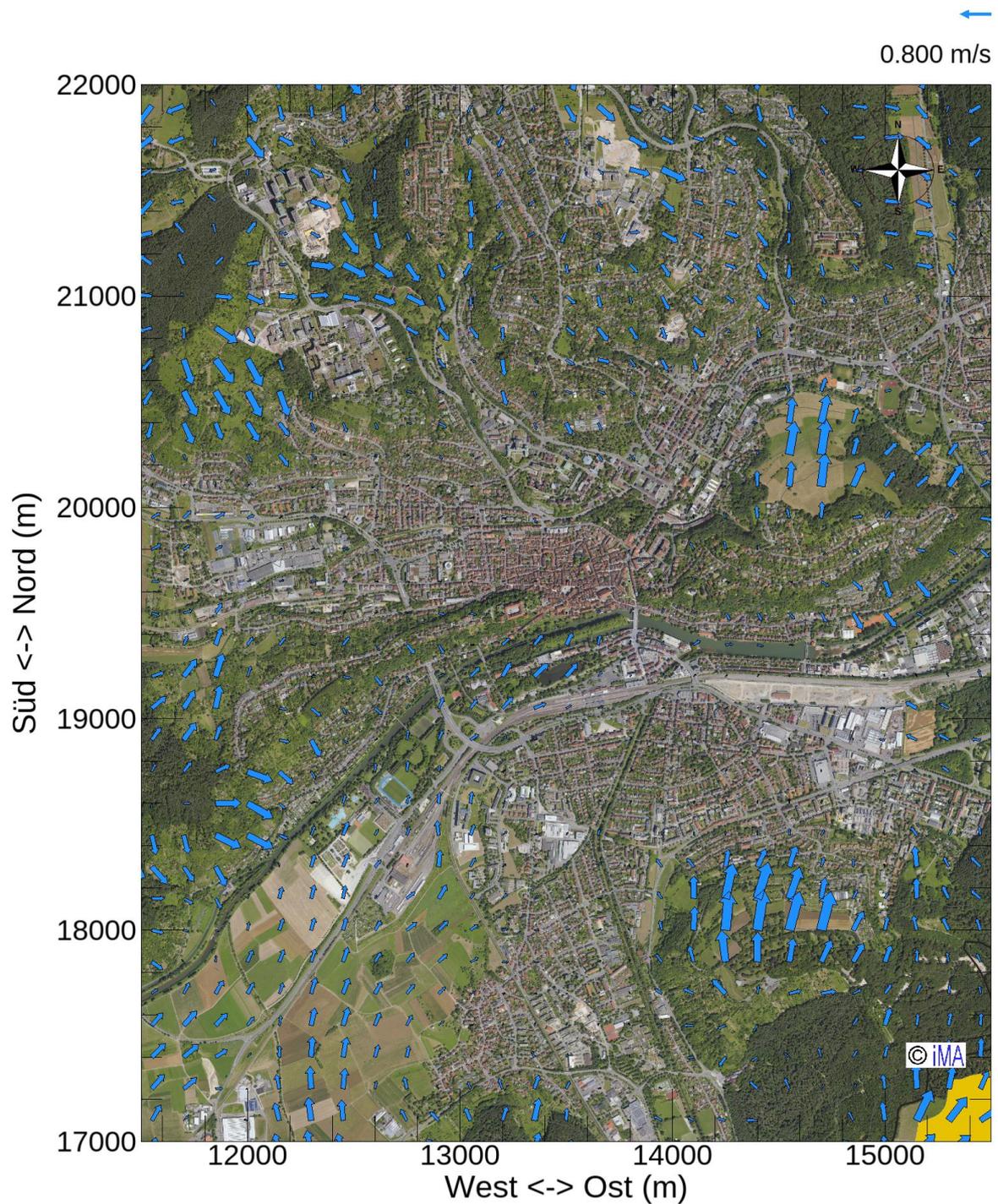
Die folgenden vier Abbildungen zeigen die Strömungsverhältnisse im Bereich der Kernstadt von Tübingen. Sie erlauben eine detaillierte optische Verfolgung von lokalen Kaltluftströmungsverhältnissen, weshalb auf eine textliche Darstellung verzichtet werden soll.



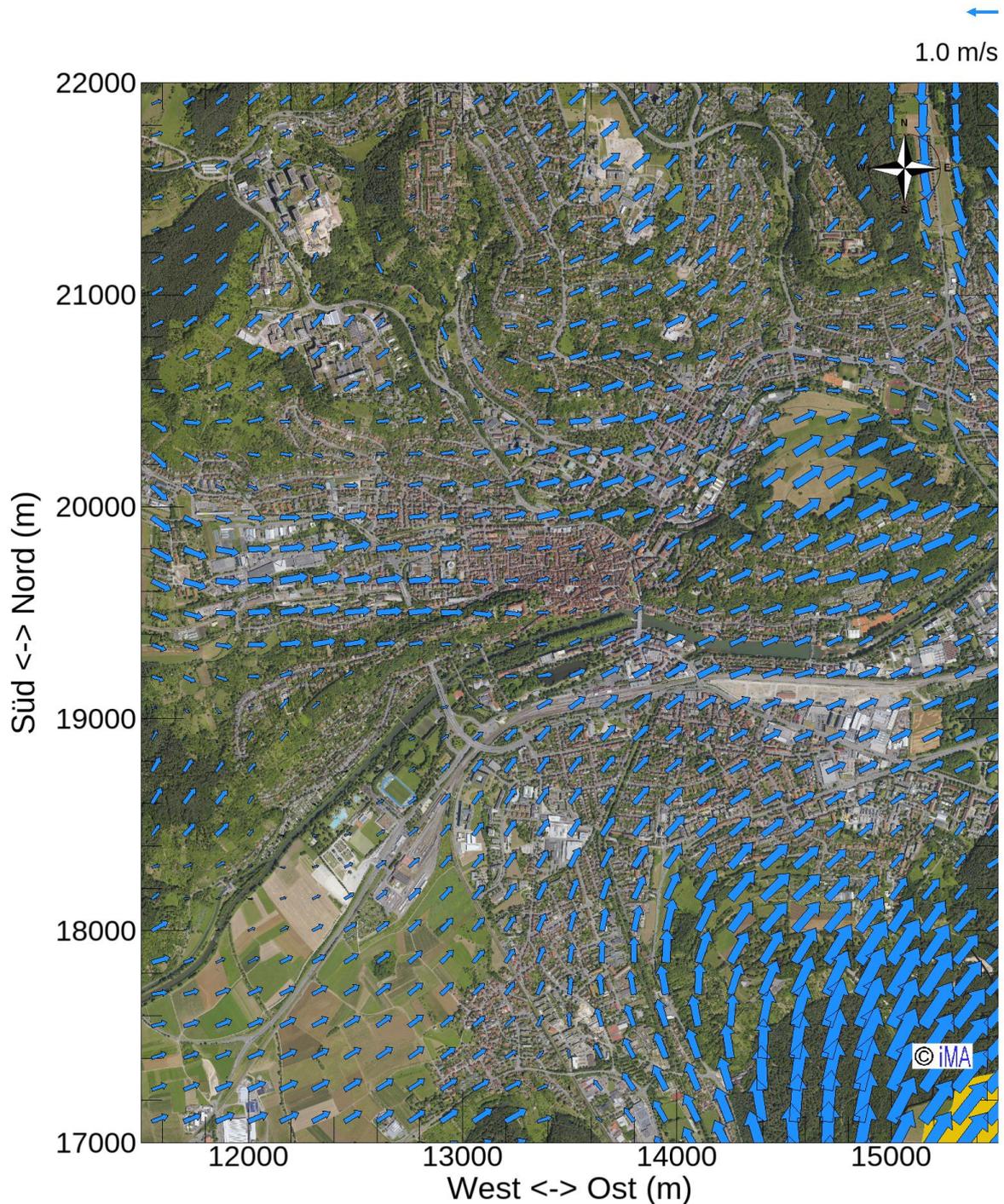
**Abb. 2-14:** Mittlere Strömung zu Beginn einer Strahlungsnacht von 0 bis 10 m über Grund, dargestellt durch Vektoren an jedem Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.



**Abb. 2-15:** Mittlere Strömung zu Beginn einer Strahlungsnacht in 50 m ü. Grund (**Überdachniveau**), dargestellt durch Vektoren an jedem Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.

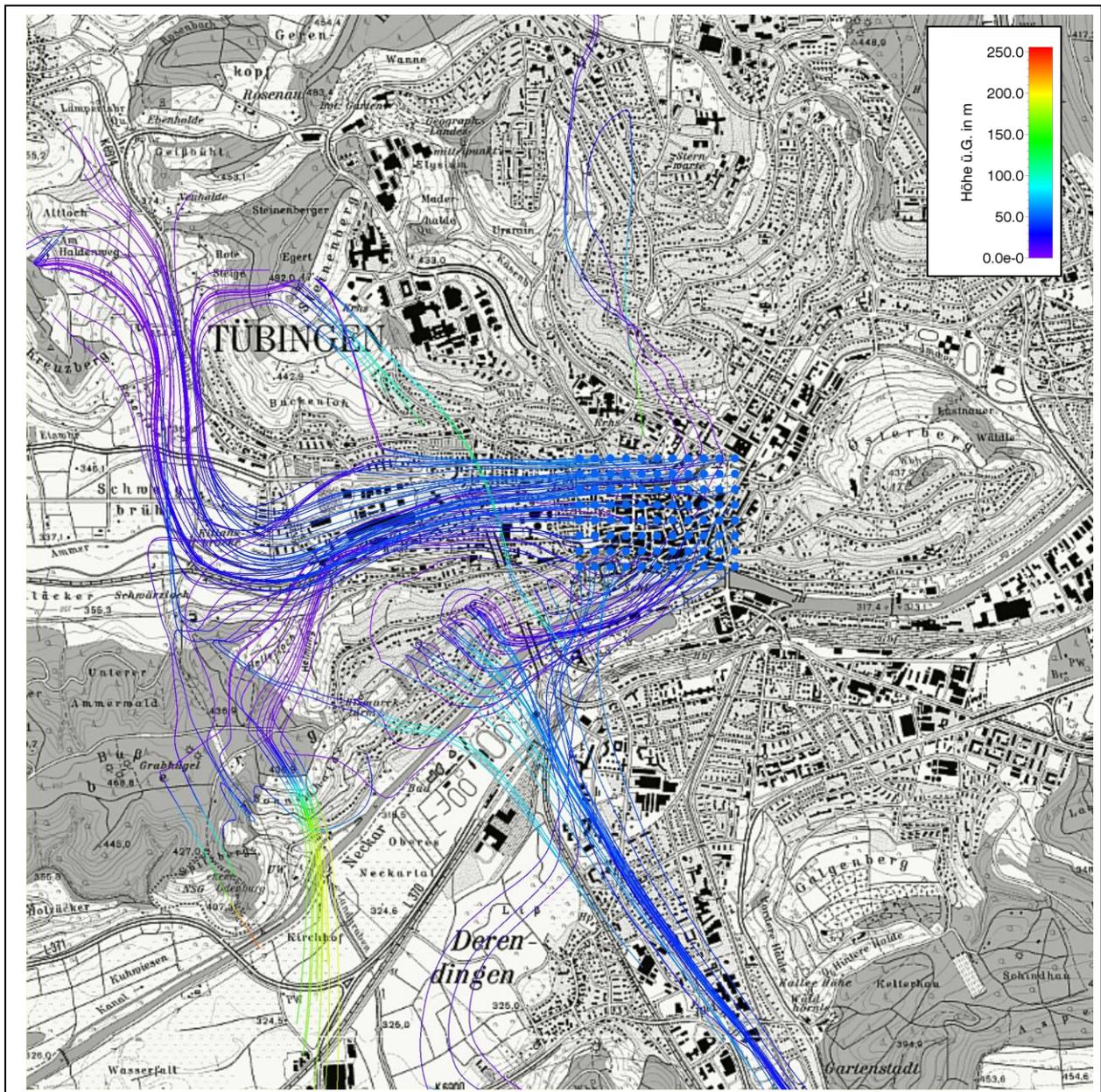


**Abb. 2-16:** Mittlere Strömung später in der Strahlungsnacht von 0 bis 10 m über Grund, dargestellt durch Vektoren an jedem Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.



**Abb. 2-17:** Mittlere Strömung später in der Strahlungsnacht in 50 m ü. Grund (**Überdachniveau**), dargestellt durch Vektoren an jedem Berechnungspunkt. Die Länge der Vektoren ist ein Maß für die lokale Geschwindigkeit.

Die nachfolgende Abb. 2-18 zeigt eine Rückverfolgung der Kaltluft, die im Bereich der Innenstadt ankommt. Die Linien sind so genannte Rückwärtstrajektorien. Ausgehend von einem Zielort wird dabei ein virtuelles kleines Luftpaket auf seinem Weg rückverfolgt, um zu berechnen, von wo es kommt. Dabei werden auch Vertikalbewegungen (aufsteigen, absinken) berücksichtigt.

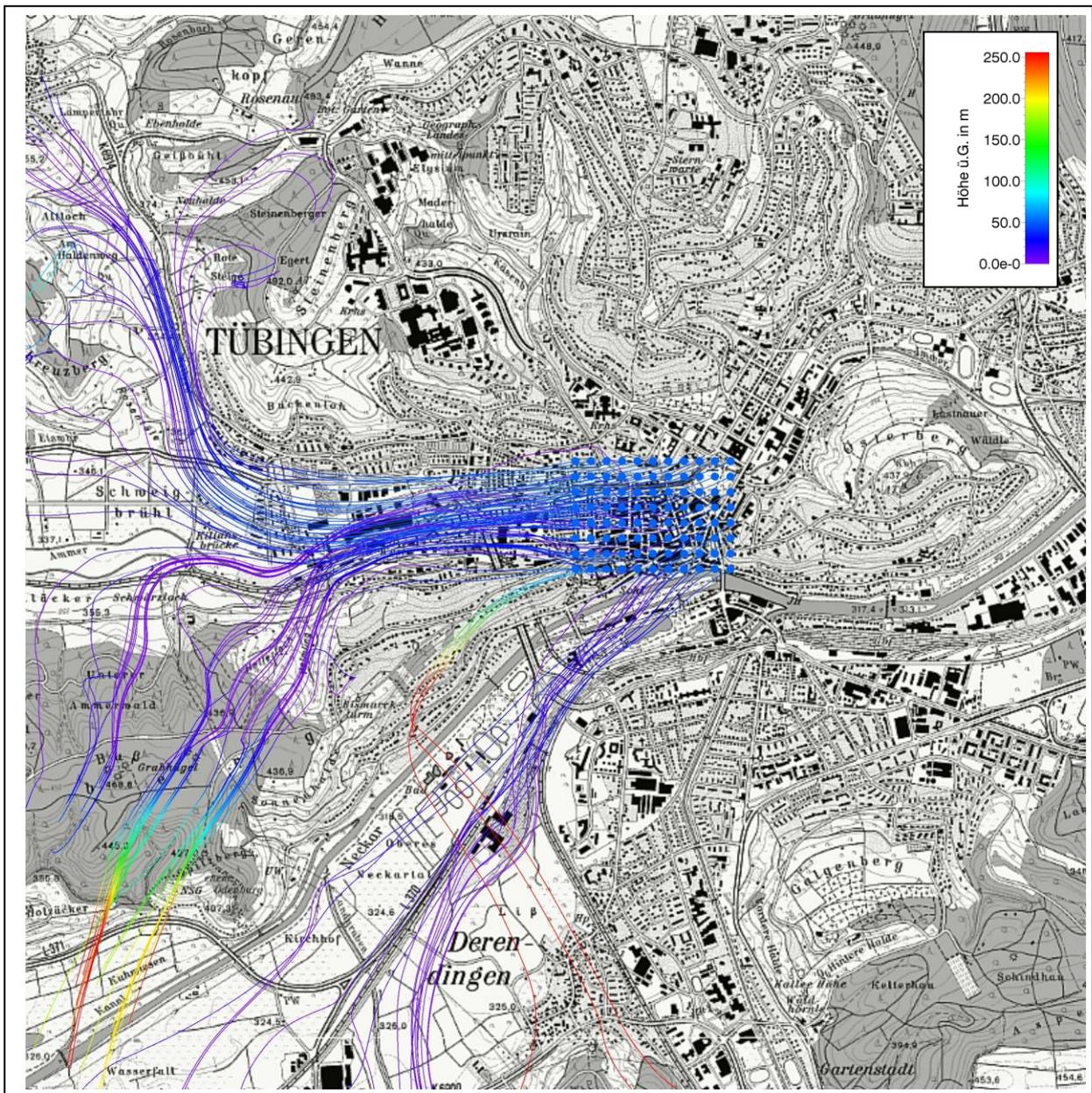


**Abb. 2-18:** Rückwärtstrajektorien zu Beginn einer Strahlungsnacht. Analyse der Herkunft von Kaltluft im Überdachniveau der Kernstadt durch Rückverfolgung entlang der Linien unter Berücksichtigung auch vertikaler Bewegungen. (Karte: Ausschnitt aus MagicMaps Baden-Württemberg 3D.)

Auf diese Weise kann analysiert werden, woher die – im Beispiel – für die Innenstadt relevante Kaltluft im Überdachniveau kommt. Die Analyse lässt Rückschlüsse zu, welche Bereiche der Stadt als besonders sensibel für die Luftzufuhr gelten müssen und wo Planungen mit besonderer Vorsicht bzw. Sorgfalt den Erfordernissen dieser Strömungen angepasst werden müssen.

Die beiden Abbildungen Abb. 2-18 (Beginn der Nacht) und Abb. 2-19 (später in der Nacht) verdeutlichen die große Bedeutung des Weilerbachtals von Hagelloch, des Ammertals vor Tübingen und des westlichen Stadteingangs für die Kaltluftversorgung der Kernstadt im Überdachniveau.

Die südlichen Teile der Kernstadt (südl. einer Linie etwa vom Schloss zum Lustnauer Tor) profitieren zudem ganz oder zeitweise von Kaltluftzufuhr aus dem Steinlachtal (zu Beginn der Nacht) bzw. aus dem Neckartal (später in der Nacht). Hier üben die östlichen Ausläufer des Spitzberges eine markante Leitwirkung aus.



**Abb. 2-19:** Rückwärtstrajektorien später in der Strahlungsnacht. Analyse der Herkunft von Kaltluft im Überdachniveau der Kernstadt durch Rückverfolgung entlang der Linien unter Berücksichtigung auch vertikaler Bewegungen. (Karte: Ausschnitt aus MagicMaps Baden-Württemberg 3D).

### 3 Wichtigste Bereiche und Planungshinweiskarte

Die für die Belüftung des Stadtgebietes *wichtigsten* Bereiche sind:

Aus Norden:

- **Bebenhäuser Tal:** Das Bebenhäusertal wird durch das Hinterland im Schönbuch mit Kaltluft gespeist. Die relativ engen Täler bilden einen schmalen Kaltluftstrom aus, der bodennah stellenweise durch den Baumbestand als Strömungshindernis geschwächt wird, insbesondere dort, wo bewaldete Bergflanken das Tal stark verengen. Im oberen Talraum findet man hingegen eine stete, nach Süden gerichtete Strömung, die im Neckartal nach Osten schwenkt.
- **Hochfläche bei Waldhausen:** Hier bildet sich Kaltluft, die nur bodennah in einen Hangabwärts gerichteten Kaltluftabfluss im Bereich des Nordrings einbezogen wird. Dieser Kaltluftabfluss belüftet die angrenzenden Siedlungsränder.
- **Käsenbachtal:** Dort bilden sich lokale Kaltluftströmungen aus, die für die Belüftung der angrenzenden Siedlungsränder von Bedeutung ist.
- **Weilersbachtal:** Im Weilertal bildet sich eine anhaltender Kaltluftstrom, der nach Einfließen in das Ammertal nach Osten abschwemmt und so signifikant zur Belüftung der westlichen Stadteile und – im Überdachniveau – der Kernstadt beiträgt.

Aus Westen:

- **Ammertal:** Im sehr flachen Talgrund der Ammer gibt es eine stete, aber schwache Kaltluftströmung in Richtung Osten. Im breiten Tal östlich von Unterjesingen zeigt sich keine nennenswerte Dynamik mehr, die Kaltluft wird nahezu stationär. Erst vor Tübingen nimmt der Kaltluftstrom, insbesondere durch den Zustrom von Norden aus dem Weilertal, wieder an Fahrt auf. In diesem Bereich ist er bodennah wichtig für die Belüftung der westlichen Stadtränder. Seine wesentliche Funktion erlangt er aber im Überdachniveau, wo er Belüftungsfunktionen bis hin zur Tübinger Kernstadt wahrnimmt.
- **Neckartal:** Im westlich von Tübingen sehr flachen und breiten Neckartal bildet sich erst später in der Nacht eine schwache, aber hochreichende und stete Strömung nach Osten aus. In dieser Phase leistet es dann wesentliche Belüftungsfunktionen für Derendingen und die übrigen südlichen Stadteile. Durch den Zustrom von Süden aus dem Steinlachtal nimmt die Strömung dabei nach Osten hin besonders im Überdachniveau Fahrt auf.

Aus Süden:

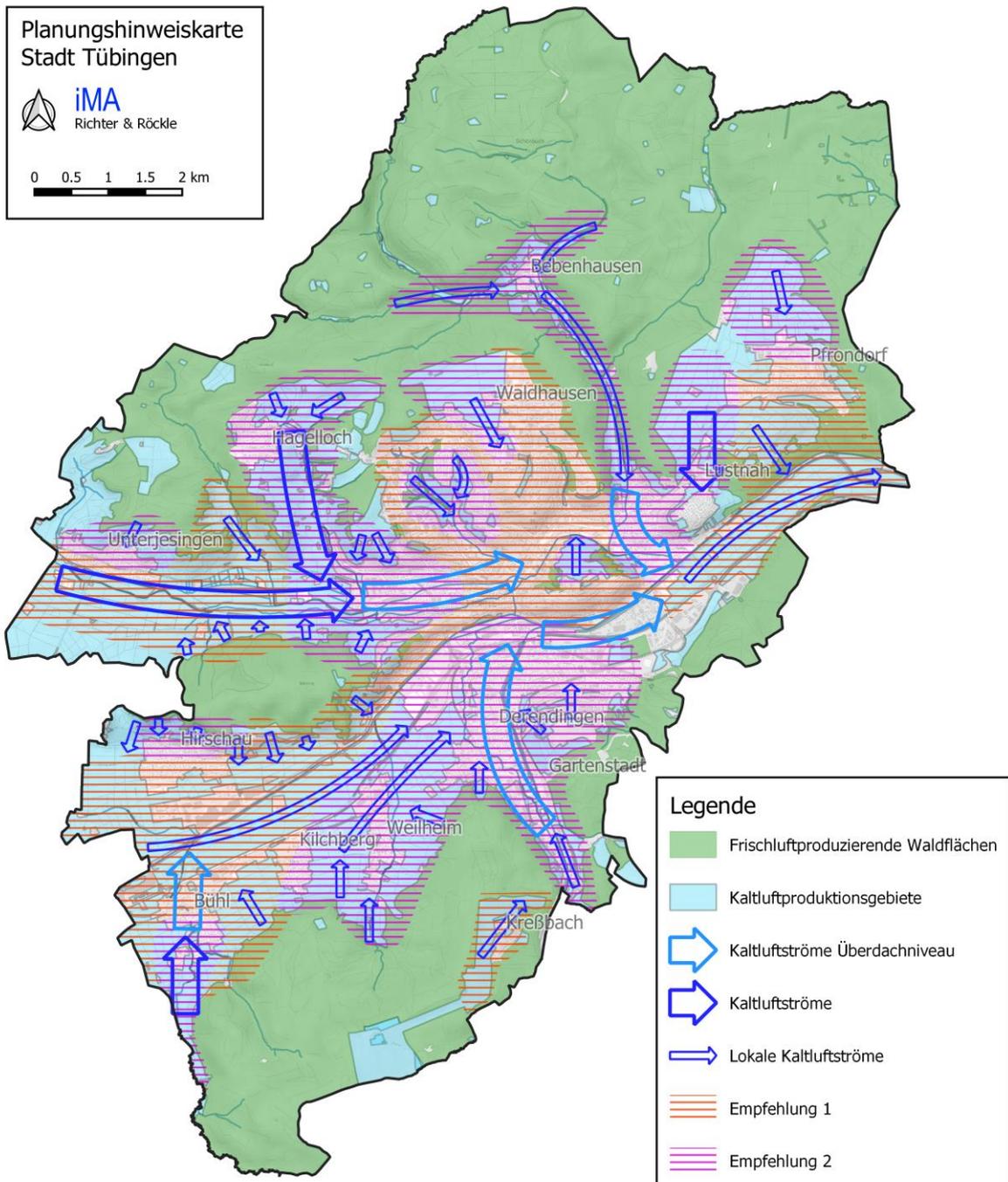
- **Steinlachtal:** Auch wenn dieser Bereich bodennahe bereits stark überbaut ist, erfüllt der dortige Kaltluftstrom noch nennenswerte Belüftungsfunktionen im Überdachniveau, insbesondere für die südlichen Tübinger Stadteile. Aufgrund der dort verlaufenden Hauptverkehrsader (B27) kann der Bereich bodennah als mit Luftschadstoffen belastet eingestuft werden. Auf die Luft im Überdachniveau > 20, 30 m, die später über den südlichen Stadteilen heruntergemischt werden kann, trifft diese jedoch nur abgeschwächt zu.

- Hänge zwischen Derendingen und Bühl, Rammert-Südhang: Diese Hänge leisten in Kaltluftnächten stete Beiträge zur im Neckartal liegenden Kaltluft und trägt damit zur Mächtigkeit des dortigen Kaltluftstromes bei, der sich in der zweiten Nachthälfte ausbildet. Die Erkenntnisse aus dieser gesamtstädtischen Analyse zur Belüftungsfunktion bei Kaltluft-Wetterlagen wurden in einer Planungshinweiskarte zusammengefasst.

Diese Planungshinweiskarte enthält folgende Bestandteile:

- Einstufung der Waldflächen als Frischluftproduzenten. Einfärbung grün-transparent.
- Einstufung der Acker- und Grünlandflächen als potentielle Kaltluftproduktionsgebiete und als Bereiche, in denen Kaltluft hindernisfrei (und damit mit einer gewissen Dynamik) strömen kann. Einfärbung blau-transparent.
- Wichtige Kaltluftströme. Dunkelblaue Pfeile.
- Wichtige Kaltluftströme vorwiegend im Überdachniveau. Hellblaue Pfeile.
- Empfehlung 1: Bei Überplanung sollten die Auswirkungen der Planung auf das Kaltluftströmungsgeschehen und damit auf die Belüftungsfunktionen in Form einer fachgutachterlichen Stellungnahme wenigstens auf Basis vorliegender Erkenntnisse abgeschätzt werden. Orange Schraffur.
- Empfehlung 2: Bei Überplanung sollten die Auswirkungen der Planung auf das Kaltluftströmungsgeschehen und damit auf die Belüftungsfunktionen in Form einer rechnergestützten, hochauflösenden Detailuntersuchung quantitativ ermittelt werden. Magenta Schraffur.

Die Planungshinweiskarte ist für diesen Bericht in der folgenden Abb. 3-1 aufgenommen. Sie wurde der Stadt Tübingen auch als hochauflösende, DIN A 2 große PDF-Datei zur Verfügung gestellt.



**Abb. 3-1:** Planungshinweiskarte für die Kaltluftströmungen und deren Belüftungsfunktionen auf Basis der Erkenntnisse aus der gesamtstädtischen Kaltluftuntersuchung. (Karten-Datengrundlage: LGL, [www.lgl-bw.de](http://www.lgl-bw.de)).

Gerlingen, den 25. Juli 2019

***„Dieses Dokument ist eine elektronisch erstellte Kopie und besitzt daher keine Unterschriften. Original-Unterschriften befinden sich auf dem/den gedruckten Exemplar(en).“***

Dr. Jost Nielinger

Dipl. Meteorologe

Anerkannter Beratender Meteorologe  
der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V.  
Ausbreitung von Luftbeimengungen  
Stadt- und Regionalklima

Dr. Markus Hasel

Dipl.- Meteorologe

## 4 Literatur

- /1/ Groß, G., 1991: Anwendungsmöglichkeiten mesoskaliger Simulationsmodelle, dargestellt am Beispiel Darmstadt. Teil I: Wind- und Temperaturfelder. Meteorol. Rdsch. 43, 97-112.
- /2/ Groß, G., 1993: Numerical Simulations of Canopy Flow. Springer Verlag, Heidelberg, Springer Series in Physical Environment 12, 167 pp.
- /3/ Nielinger, J. 1994: Instationäre Ausbreitung von Luftbeimengungen in komplexem Gelände - Numerische Simulationen. Diplomarbeit am Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover, 139 S.
- /4/ Nielinger, J., 1998: Kopplung numerischer Simulationsmodelle zur Regionalisierung von Ergebnissen globaler Klimaszenarienrechnungen. Dissertation Fachbereich Physik, Universität Hannover. Berichte des Institutes für Meteorologie und Klimatologie Band 57.
- /5/ Nielinger, Jost and Werner-Jürgen Kost 2001: Simulation of realistic location-related wind distributions with the mesoscale model FITNAH. Meteorol. Zeitschr. 10, No. 4, 235-238.
- /6/ Meyers kleines Lexikon Meteorologie. Meyers Lexikonverlag 1987.
- /7/ Vogt, J., 1993: Erläuterungen zur Karte der bodennahen Luftbewegungen im Stadtgebiet von Tübingen bei austauscharmen Strahlungswetterlagen in den unteren 80 m der Atmosphäre. 4 S., mit Karte.