

Stadtklimasimulation Oberstadt+ in Baden

Modellierungen, Analysen und Schlussfolgerungen

Kurzfassung Kanton Aargau

29. November 2022

Im Auftrag von:

Kanton Aargau - Departement Bau, Verkehr und Umwelt - Abteilung Landschaft und Gewässer

Impressum

Kurzfassung Kanton Aargau

Stadtklimasimulation Oberstadt+ in Baden Modellierungen, Analysen und Schlussfolgerungen

Auftraggeber: Kanton Aargau und Stadt Baden
Projektverantwortliche Kanton Aargau: Nana von Felten
Projektverantwortliche Stadt Baden: Monika Greber

Auftragnehmer: GEO Partner AG, Basel
Projektleitung: Dr. Andreas Wicki
Fachbearbeitung: Dr. Andreas Wicki, Michèle Schnetzler, Lisa Zumbrunn
Qualitätssicherung: Regula Winzeler

Wenn nicht anders vermerkt, stammen die Abbildungen und Simulationsresultate von GEO Partner AG.

Grundlage für die Simulation der künftigen Variante bildet das (nicht konsolidierte) Zielbild für die Stadt Baden (im Folgenden 'Zielbild' genannt), erarbeitet wurde es von ETH Wohnforum – ETH CASE (Dr. Sibylle Wälty, Edvardas Bukota) CONT-S GmbH (Sabrina Contratto)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage und Projektziel	4
2	Methode, Daten und Varianten	6
2.1	Vorgehen	6
2.2	Modelle	6
2.2.1	ENVI-met	6
2.2.2	KLAM	6
2.2.3	Beschreibung der Modellvarianten	7
3	Ergebnisse Projekt Oberstadt+ in Baden	8
3.1	Erkenntnisse aus den Simulationen	8
3.2	Optimierungsvorschläge und Massnahmen für die Hitzeminderung ..	12
4	Vorgehen bei einer Mikroklimasimulation	15
4.1	Allgemeines	15
4.2	Skalenbereich	15
4.3	Grössenordnung für Fragestellung	16
4.3.1	Hitzestress Tag	16
4.3.2	Auskühlung Nacht	16
4.3.3	Kaltluftabfluss	17
Anhang		18
A.1	Zitierte Grundlagen	18
A.2	Modellumgebungen	19
A.3	Karten Hitzestress am Tag (PET)	20
A.4	Karten Lufttemperatur in der Nacht	22
A.5	Karten Kaltluftabfluss in der Nacht	24

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Projektziel

Neben einer wachsenden Bevölkerung wird für die Stadt Baden auch ein starkes Wirtschaftswachstum prognostiziert. Für das Transformationsgebiet Oberstadt (6 ha) sollen deshalb - bei einer zukünftig angenommenen Verdichtung mit einer angemessenen Bebauungs- und Freiraumstruktur - die Rahmenbedingungen für eine hohe urbane Wohnumfeldqualität geschaffen werden. Durch die gegenwärtige und zukünftige Zunahme von Hitzewellen gewinnen auch Massnahmen zum Erhalt eines angenehmen Stadtklimas an Bedeutung. Im Raumentwicklungskonzept «REK Stadt Baden 2040» bringt der Stadtrat zum Ausdruck, dass ein nachhaltiges Wachstum in der Regionalstadt Baden befürwortet und mit einer aktiv gesteuerten Stadtentwicklung eine qualitativ hochwertige Entwicklung angestrebt wird. Areale, welche das grösste Potenzial zur Innenentwicklung aufweisen, werden im REK als Transformationsgebiete ausgeschieden. Dazu gehört auch die Oberstadt.

Oberstadt

Im Rahmen des Projektes Oberstadt+ (46 ha) hat das ETH Wohnforum – ETH CASE und CONT-S GmbH - unter Einbezug angrenzender Quartiere (Burghalde, Ländli, teilweise Meierhof) - ein (nicht konsolidiertes) Zielbild entworfen. Dieses bildet die Grundlage für die vorliegende Stadtklimasimulation.

Oberstadt+

In das dreidimensionale und langfristig ausgelegte Zielbild für den Perimeter Oberstadt+ werden ökologische, gesellschaftliche und ökonomische Parameter miteinbezogen. Dazu gehören der Erhalt von Identitätsmerkmalen, die Sicherstellung und Entwicklung öffentlicher Räume, das Angebot öffentlich zugänglicher Nutzungen, Fusswegverbindungen sowie Massnahmen zum Erhalt eines angenehmen Stadtklimas und nachhaltiger Energieversorgung.

Stadtklima

Ziel des Projektes Stadtklimasimulation Oberstadt+ ist die Schaffung von hochaufgelösten stadtklimatischen Grundlagendaten mit einem grösseren Detaillierungsgrad, ergänzend zu den kantonalen [Klimakarten](#). Der vorliegende Bericht soll als Argumentarium für die Planung von qualitativ guten Freiräumen dienen. Ausserdem sollen Erfahrungen ausgewertet und daraus Grundsätze abgeleitet werden, die auch in weiteren (Transformations-)Gebieten der Stadt Baden und anderen Städten und Gemeinden des Kantons Aargau für solche vertieften Studien genutzt werden können.

Projektziel Stadtklimasimulation

Die Stadtklimasimulation soll folgende Fragestellungen beantworten:

Fragestellungen

1. Wie wirkt sich die Verdichtung der Oberstadt+ auf das Stadtklima aus?
2. Wie kann Verdichtung so erfolgen, dass weiterhin ein angenehmes Stadtklima (Tag und Nacht, für Bewohnende und Arbeitende) gegeben ist?
3. Was muss beim Planungsprozess beachtet werden?

Im Rahmen der vorliegenden Kurzfassung der Simulationsergebnisse für den Kanton Aargau wird in einem separaten Kapitel die Notwendigkeit und das Vorgehen bei einer Mikroklimasimulation im Allgemeinen behandelt.

Vorgehen bei einer Mikroklimasimulation

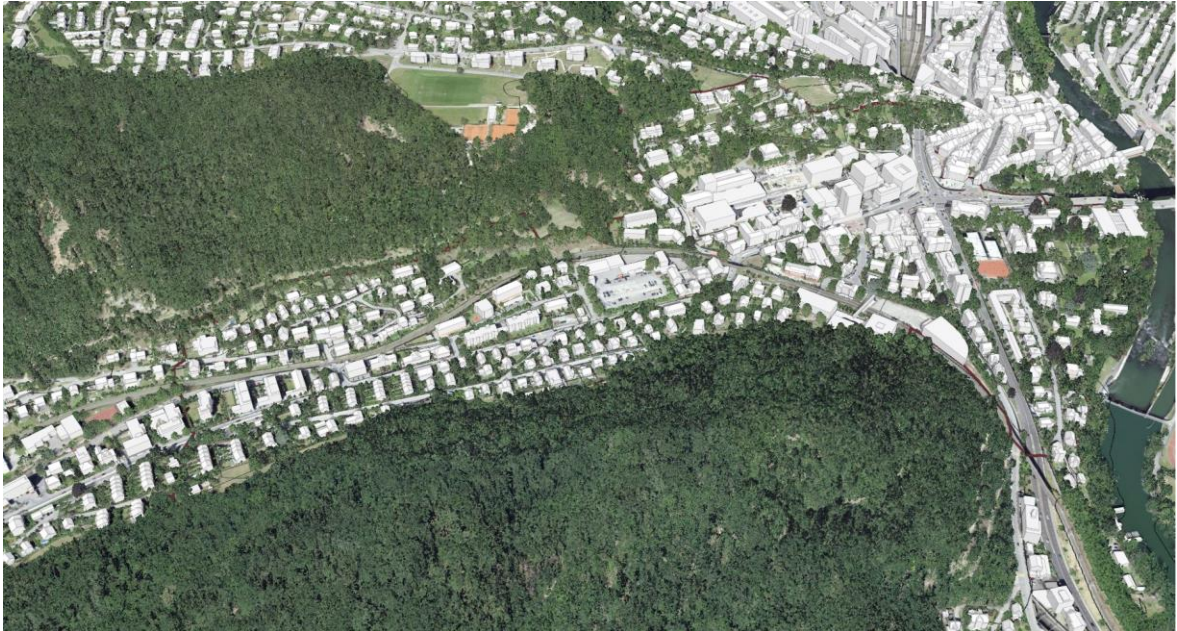


Abbildung 1: Transformationsgebiet Oberstadt+ im Ist-Zustand (Quelle: ETH Wohnforum – ETH CASE, CONT-S GmbH).



Abbildung 2: Transformationsgebiet Oberstadt+ im vorliegenden Zielbild (Quelle: ETH Wohnforum – ETH CASE, CONT-S GmbH).

2 Methode, Daten und Varianten

2.1 Vorgehen

Um die mikroklimatische Situation des städtebaulichen Zielbildes quantitativ zu beurteilen, sind numerische Simulationen notwendig. Der vorliegende Zielzustand wurde für typische meteorologische Situationen simuliert und mit dem aktuellen Zustand (Ist-Zustand) verglichen.

Vorgehen Simulation

Für die Analysen wurden Geodaten des Kantons und Plandatensätze der amtlichen Vermessung, extrahierte Daten aus dem 3D-Modell Kanton Aargau sowie Vektorpläne des ETH Wohnforums – ETH CASE verwendet. Zur Beurteilung der mikroklimatischen Ausgangssituation wurde der bestehende Datensatz der kantonalen Klimakarten berücksichtigt.

Ausgangsdaten

Simuliert wurden der Ist-Zustand anhand aktueller Geodaten und das Zielbild, im Mikroklimamodell in Form von zwei Varianten (V1 und V2, siehe Kapitel 2.2.3). Um die Umgebung höher aufgelöst simulieren zu können, wurden zwei Perimeter definiert (S1 Meierhof im Westen und S2 Oberstadt im Osten).

**Ist-Zustand und zwei Varianten
Zielbild**

2.2 Modelle

2.2.1 ENVI-met

Für die Simulation von Hitzestress, dreidimensionalem Windfeld und nächtlicher Auskühlung wurde das Modell ENVI-met verwendet. ENVI-met ist speziell dafür konzipiert, Varianten und Veränderungen in der Mikroskala zu simulieren. Gerechnet wird jeweils mit 24 Stunden Modelllaufzeit und Start um 5 Uhr für einen beliebigen Sommertag (hier 27. Juli 2020). Der Tag ist dabei für die Sonneneinstrahlung relevant, Veränderungen durch die Klimaerwärmung werden mit dem Temperaturverlauf berücksichtigt. Die Grösse der Gitterzellen in ENVI-met - und damit die Auflösung des Modells - betragen 2 m horizontal und vertikal.

Modell ENVI-met

2.2.2 KLAM

Der Abfluss von nächtlicher Kaltluft der umliegenden Hänge wurde mit KLAM_21, einer bewährten Modellsoftware des Deutschen Wetterdienstes, berechnet. Der Perimeter der Modellierungen umfasst im Kerngebiet das gesamte Areal von Oberstadt+ inklusive die angrenzenden Hügel und Stadtteile mit einer Auflösung von 5 m. Zudem wurde der Einfluss der umliegenden Hänge auf das Kerngebiet berücksichtigt. Dieses Einflussgebiet ist 18.5 km x 15.4 km gross und wird gröber aufgelöst (25 m).

Kaltluftabfluss mit KLAM

2.2.3 Beschreibung der Modellvarianten

Im Ist-Zustand wurde die aktuell vorherrschende Bebauungssituation anhand der Geodaten im Modell in einer Raster-Auflösung von $2 \times 2 \text{ m}^2$ nachgebaut (Anhang [1], S1 Ist und S2 Ist).

Ist-Zustand

Das Zielbild beschreibt einen möglichen zukünftigen Bebauungsbestand, ausgearbeitet durch das ETH Wohnforum – ETH CASE und CONT-S GmbH (Abbildung 3). Dieser dient als Grundlage für die Modellumgebung der Varianten in Form von Vektorplänen mit eingezeichneten Baumstandorten und definierter Oberflächenbeschaffenheit. Die Gebäude sind deutlich höher, breiter und tiefer als im Ist-Zustand und zum Teil als Blöcke realisiert. Im Gegensatz zum Ist-Zustand ist die Umgebungsgestaltung als mehrheitlich unversiegelt dargestellt und entsprechend berechnet. Die Feinerschliessung zu den Bauten wurde nicht berücksichtigt. Die Bäume wurden sehr dicht gesetzt. Angenommen wurden mittel-grosse Bäume mit einem Kronendurchmesser von 5-8 m.

Zielbild

In Variante 1 des Zielbilds wurden im Modell (Anhang [1], S1 V1 und S2 V1) drei Höfe nördlich des Schadenmühleplatzes in unterschiedlicher Ausführung simuliert (versiegelt = *HV1*, unversiegelt mit Bäumen = *HB* und unversiegelt = *HU*).

Variante 1

Mit Variante 2 (Anhang [1], S1 V2 und S2 V2) wurde untersucht, welche Auswirkungen eine Reduktion des Baumbestands an der Mellingerstrasse West (*MW*) und entlang der Neuenhoferstrasse (*NH*) hat. Gleichermassen wurden in Variante 2 zwei Innenhöfe entlang der Neuenhoferstrasse versiegelt gerechnet (*HV2-3*). Damit kann gezeigt werden, wie sich die Versiegelung von Höfen an unterschiedlichen Standorten und bei unterschiedlicher Hofgrösse auswirkt. Der Schadenmühleplatz wurde zudem in Variante 2 als Grünfläche mit zusätzlicher Baumreihe im südlichen Bereich gerechnet (*SMP*).

Variante 2



Abbildung 3: Plandatensatz mit den Veränderungen im Zielzustand (Datenquelle: ETH Wohnforum – ETH CASE, CONT-S GmbH, Darstellung: GEO Partner AG). Die übrigen Flächen wurden entsprechend der amtlichen Vermessung belassen.

3 Ergebnisse Projekt Oberstadt+ in Baden

Die Resultatkarten zu den Simulationen sind im Anhang zu finden. In der Folge werden die wichtigsten Erkenntnisse der Simulationen zusammengefasst. In Kapitel 3.2 sind spezifische Optimierungsvorschläge und Massnahmen formuliert.

3.1 Erkenntnisse aus den Simulationen

Damit der Hitzestress im Zielzustand erträglich ist, muss die Versiegelung um die Blöcke minimal gehalten und der Strassenraum durchwegs – insbesondere durch Bäume – beschattet werden (Beispiel: Mellingerstrasse West in Abbildung 4, Zielzustand rechts mit guter Beschattung). Fehlt die Beschattung und/oder wird ein dominanter Teil der Umgebung versiegelt, entstehen bezüglich Hitzestress und nächtlicher Auskühlung problematische Situationen.

Zielzustand dank starker Beschattung und Begrünung mit geringerem Hitzestress

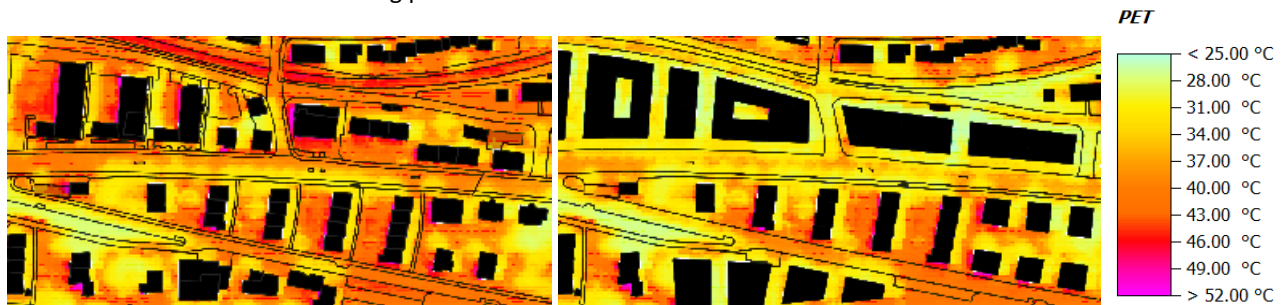


Abbildung 4: Hitzestress am Tag (PET) im Ist-Zustand (links) und im Zielzustand mit starker Beschattung durch Bäume und Gebäude entlang der Mellingerstrasse West.

Unversiegelte und begrünte Höfe kühlen besonders nachts deutlich besser aus. Für die Verbesserung der Tagsituation müssen grosskronige Bäume gepflanzt werden. Unbeschattete Bereiche, besonders in nordöstlichen Ecken, sind in Höfen aufgrund der üblicherweise geringen Windgeschwindigkeiten sehr problematisch, da sie tagsüber heiss sind und nachts schlechter auskühlen (Beispiel: Blöcke östlich Neuenhoferstrasse in Abbildung 5).

Bessere Auskühlung begrünter Höfe

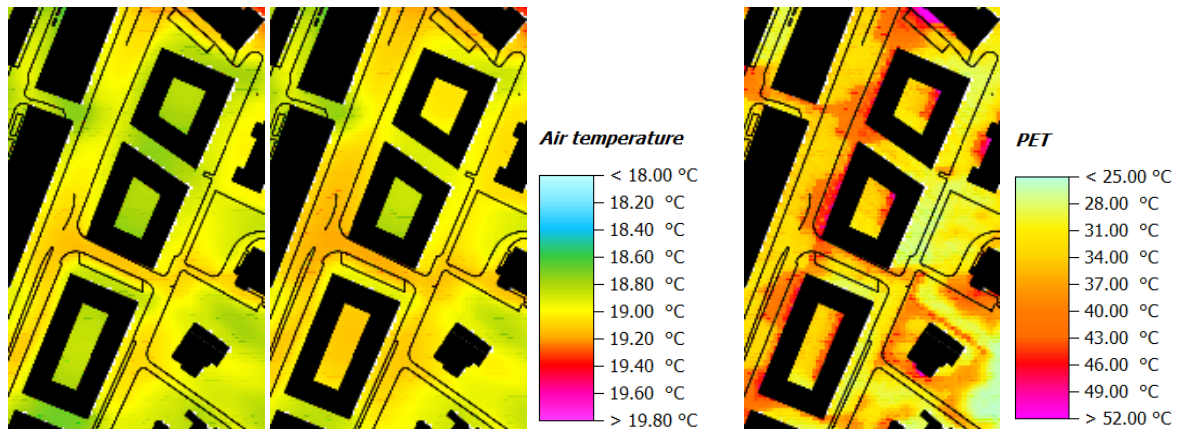


Abbildung 5: Nächtliche Auskühlung im Zielzustand mit unversiegelten (links) und versiegelten Höfen (Mitte, nur oberer und unterer Hof versiegelt) sowie Hitzestress am Tag (PET) in den versiegelten Höfen (rechts).

Bäume müssen so gesetzt werden, dass sie diejenigen Bereiche, welche am Nachmittag nicht durch Gebäude verschattet werden, thermisch entlasten und den Hitzestress damit reduzieren. Mittels Schattenanalysen können die idealen Standorte für Bäume ermittelt werden. Grundsätzlich sollen Bäume südlich bis südwestlich von stark besonnten Fassaden oder sonnenexponierten Wegen platziert werden (Beispiel: Gebäude nördlich Mellingerstrasse in Abbildung 6).

Bäume vor südlichen bis südwestlichen Fassaden pflanzen

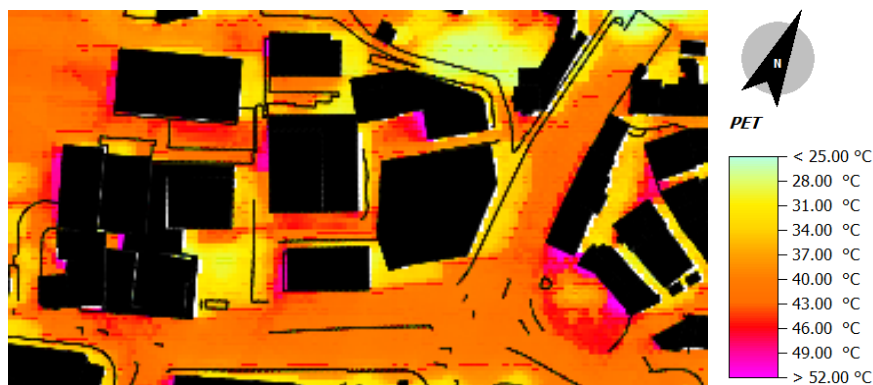


Abbildung 6: Hitzestress am Tag (PET) nördlich der Mellingerstrasse Ost an bestehenden Gebäuden, insbesondere an den südwestlichen Fassaden stark ausgeprägt.

Bäume sollen entlang von Strassen den Gehweg beschatten. Bei breiten Strassen müssen deshalb Bäume zwischen Fahrbahn und Gehweg gepflanzt werden. Auch sollte der Standort der Bäume längerfristig gesichert sein, da diese ihre volle Wirkung erst ab einer gewissen Grösse entfalten können. Gerade ein älterer Baumbestand leistet einen wertvollen Beitrag zum klimatischen Ausgleich und muss bei der Siedlungsentwicklung nach innen bestmöglich mitberücksichtigt werden. Die Schattenwirkung - und damit die Reduktion des Hitzestresses - durch eine Baumreihe wirkt sehr lokal. Der Hitzestress einer nahegelegenen

Bäume zur Beschattung von Wegen

Kreuzung oder der übernächsten Strasse wird dadurch nicht markant reduziert. Dies zeigt, dass nur eine flächendeckende Begrünung den Hitzestress im gesamten Gebiet effektiv reduzieren kann (Beispiel: Baumreihen an der Neuenhoferstrasse in Abbildung 7).

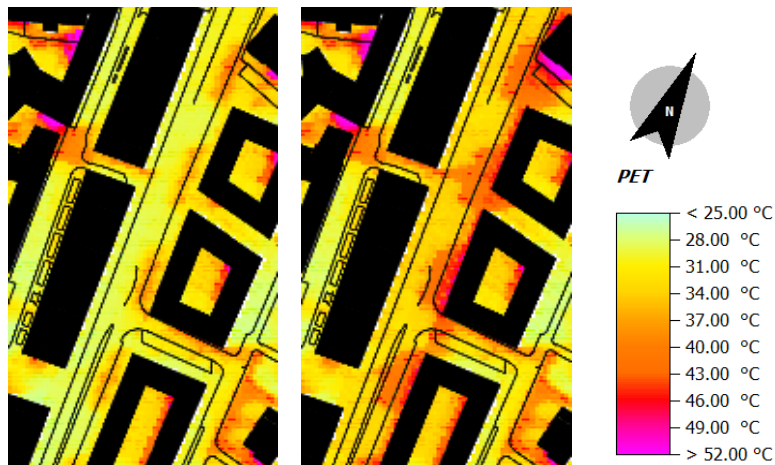


Abbildung 7: Neuenhoferstrasse im Zielzustand mit Baumreihen (links) und ohne Baumreihen (rechts). Im westlichen Bereich hilft noch der Gebäudeschatten, östlich der Strasse entsteht jedoch starker Hitzestress.

Um nachts einen spürbaren Kühleffekt auf die Umgebung zu erreichen, müssen Parkanlagen und Entlastungsräume eine Mindestgrösse haben (ca. 0.5 ha, d.h. z.B. 50 m x 100 m) und unversiegelt sowie begrünt sein. Durch die Vernetzung von Grünflächen mit Gebieten niedriger Bebauung können diese als Trittsteine für Kaltluft dienen und daher auch nachts einen wertvollen Beitrag leisten, um dichte Stadtquartiere abzukühlen (Beispiel nächtliche Abkühlung der näheren Umgebung dank Entsiegelung Schadenmühleplatz in Abbildung 8). Für die Aufenthaltsqualität am Tag spielt die bodennahe Oberflächengestaltung eine untergeordnete Rolle. Unversiegelte Flächen mit Bewuchs (Rasen/Wiesen) oder Kies sind versiegelten Flächen vorzuziehen.

**Grössere Parkanlagen können
Umgebung abkühlen**



Abbildung 8: Lufttemperaturunterschied im Zielzustand aufgrund der Umgestaltung des Schadenmühleplatzes zu einer Grünanlage mit ca. 1/3 Baumbedeckung.

Insgesamt nimmt der nächtliche Kaltluftvolumenstrom im Zielzustand durch die dichtere Bebauung ab. Die hohen und dichten Gebäude, welche bis zu den frühen Morgenstunden teilweise nicht überströmt werden können, können die Kaltluft stauen und stören den Windfluss (Beispiel schlechtere Durchlüftung zentrale Bereiche, Ausgleichströmung auf der Mellingerstrasse in Abbildung 9).

Kaltluftvolumenstrom nimmt ab

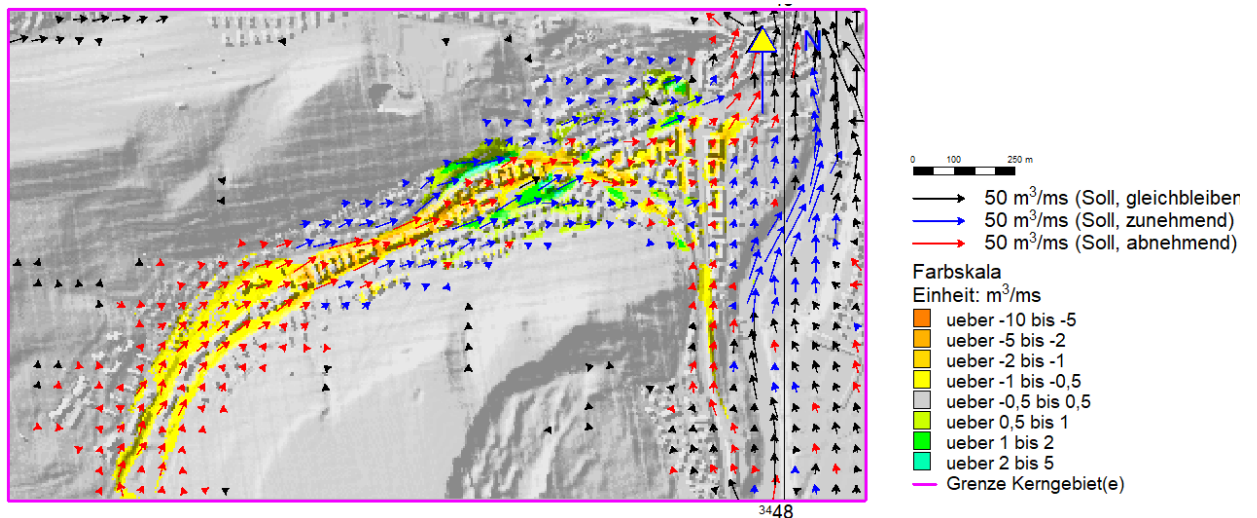


Abbildung 9: Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen dem Ist-Zustand und dem Zielzustand. Gelb/orange Farbtöne bedeuten eine Abnahme, grün/blau Töne eine Zunahme. Die Pfeile zeigen die Windrichtung im Zielzustand an, die Farbe, ob die Geschwindigkeit zu (blau), abnehmend (rot) oder gleichbleibend (schwarz) ist.

Da die hohen und dichten Gebäude, welche das Windfeld einschränken, im Zentrum des Tals entlang der Talachse geplant sind, kann bis dorthin auch künftig von beiden Seiten Kaltluft einfließen. Dies ist deutlich besser, als wenn diese hangseitig oder talquerend geplant wären (Beispiel Mellingerstrasse in Abbildung 10).

Hohe und dichte Gebäude längs der Talachse besser

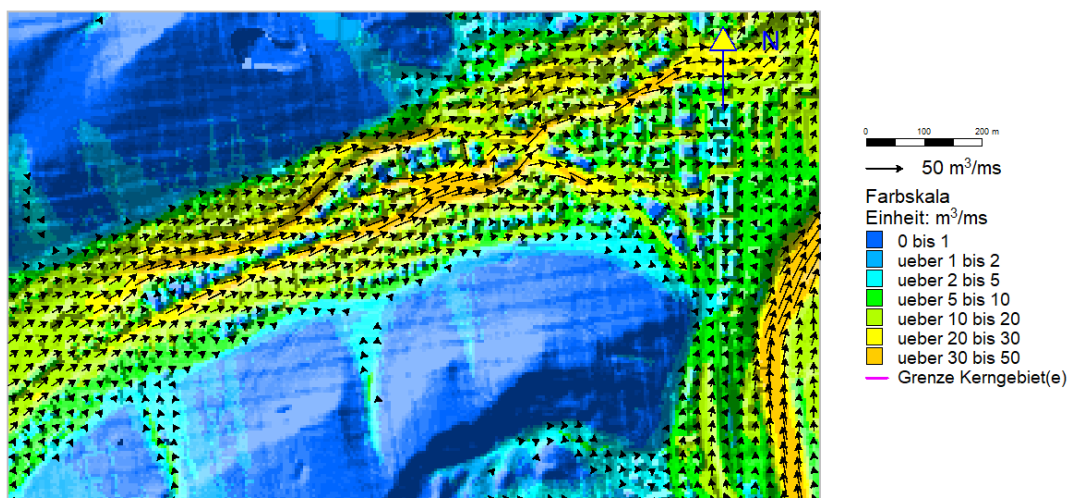


Abbildung 10: Kaltluftvolumenstrom und dessen Richtung (Pfeile) im Zielzustand.

3.2 Optimierungsvorschläge und Massnahmen für die Hitzeminderung

Aufgrund der Simulation des Zielzustandes wurde der grösste Handlungsbedarf bei der Versorgung mit nächtlicher Kaltluft geortet. Deshalb müssen wichtige Frischluftkorridore definiert werden. Diese sollten idealerweise unverbaut bleiben und als Grünräume ausgestaltet werden. Ist die Bebauung solcher Gebiete unumgänglich, soll diese nicht zu hoch und dicht ausfallen (vgl. nächster Abschnitt). Zur Definition dieser Eintrittspfade können die simulierten Kaltluftflüsse im Ist-Zustand berücksichtigt werden (siehe Abbildung 11 und Anhang A.5). Je nach Entfernung zur Kaltluftquelle ist dabei die Kaltluflthöhe zu einem früheren Zeitpunkt (z.B. im Siedlungssaum nahe der Quelle) oder zu einem späteren Zeitpunkt relevant (z.B. im Talboden, wo sich die Kaltluft erstmals sammelt und länger braucht, um anzukommen).

Nächtlichen Kaltluftabfluss beachten und Eintrittspfade für die Kaltluft definieren sowie erhalten

Voll ausgebildet ist der Kaltluftsee in der Talsohle im Gebiet Meierhof/Oberstadt in Baden etwa 30-40 m tief. Am frühen Abend beträgt die Kaltluftmächtigkeit im Tal meist 10-20 m. Am Hang beträgt die Tiefe des Kaltluftsees auch frühmorgens nicht mehr als 15 m, wobei im Saumbereich kaum 10 m Kaltluflthöhe erreicht werden (bodennaher Abfluss). Gebäude mit einer Höhe von etwa 10-15 m stellen somit jeweils ein markantes Hindernis im Kaltluftstrom dar.

Kaltluftmächtigkeit für Gebäudehöhe beachten

Die Höhe der Gebäude für einen optimalen Kaltluftfluss hängt somit vom Standort und vom Zeitpunkt im Tagesverlauf ab:

- In Hanglagen (bodennaher Kaltluftabfluss, bereits am frühen Abend) sollte die Bebauungshöhe unter 10 m liegen und offen ausfallen. Besonders in Siedlungssaumgebieten soll flach und offen gebaut werden.
- In Tallagen kann bis 20 m hoch gebaut werden, jedoch nicht talquerend.
- Kaltluftschneisen sollten gar nicht oder nur niedrig (max. 10 m) bebaut werden.

Hangbebauung niedrig halten, Kaltluftschneisen freihalten, in Tallagen nicht querend und max. 20 m hoch bauen

Abbildung 11 deutet eine mögliche Einteilung der Durchlüftungspfade im Untersuchungsgebiet an. Die Einteilung erfolgt qualitativ aufgrund des Kaltluftvolumenstroms und der bodennahen Windgeschwindigkeiten in der Kaltluftabflussmodellierung im Ist-Zustand. Die Durchströmung der Bereiche entlang der Talachse soll bestmöglich erhalten bleiben. Die Ausgestaltung des Siedlungssaums ist sehr wichtig für die Kaltluftversorgung, besonders in den frühen Abendstunden. Hier soll ein bestmöglicher Kaltluftabfluss entlang des Gefälles sichergestellt werden. Hangparallele Riegelbauten sind deshalb zu vermeiden.

Qualitative Einteilung Durchlüftungspfade

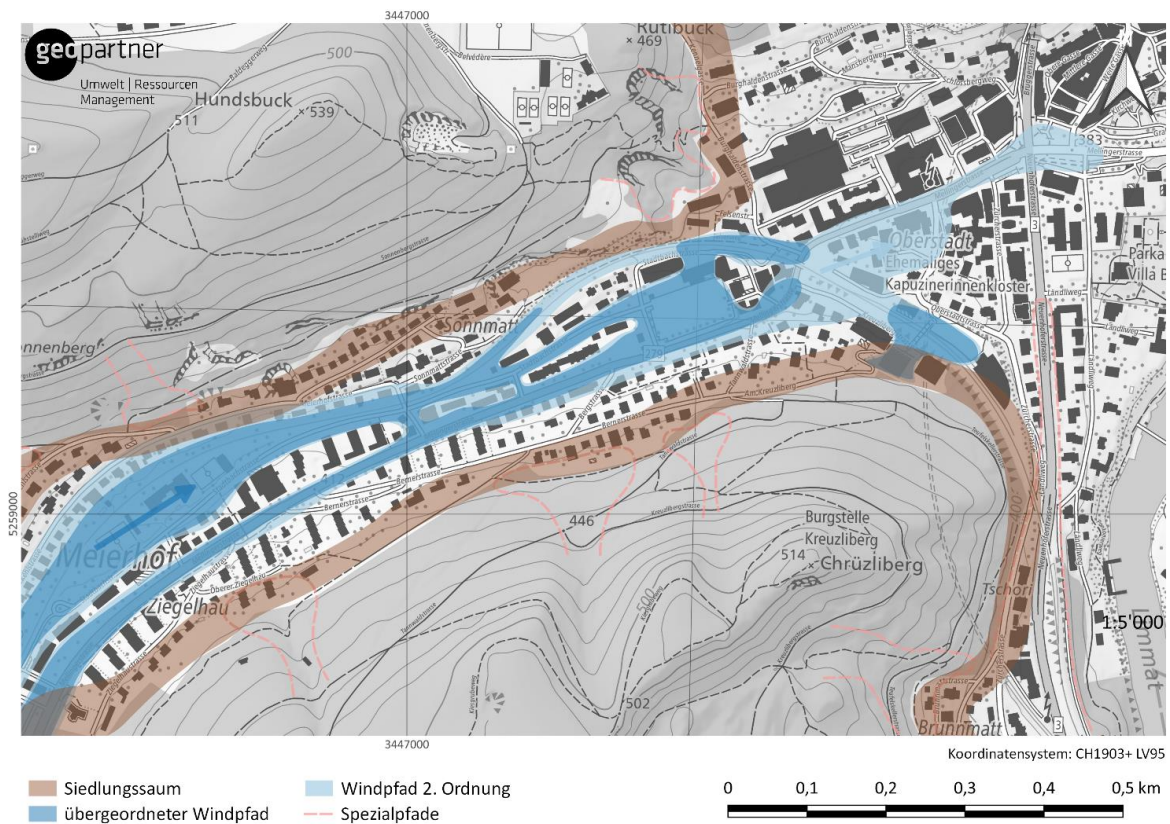


Abbildung 11: Qualitative Einordnung der Durchlüftung im Ist-Zustand im Bereich Oberstadt und Meierhof. Übergeordnete Windpfade weisen im Ist-Zustand im ganzen Verlauf der Nacht hohe Volumenströme auf. Windpfade 2. Ordnung weisen zu gewissen Zeitpunkten in der Nacht hohe Volumenströme auf. Der Siedlungssaum umfasst die Randbereiche des Siedlungsgebiets zum angrenzenden Wald. Rosa eingezeichnete Spezialpfade sind Bereiche gebündelter Kaltluft.

Der Wert von Baumpflanzungen, besonders für die Minderung von Hitzestress tagsüber, wird anhand der beiden Zielzustands-Varianten V1 und V2 deutlich. Die darin simulierte Bäume sind jedoch bereits recht gross. Um ihre volle Wirkung zur Hitzeminderung zu entfalten, brauchen Bäume Jahrzehnte. Es soll daher in der Planung zwingend darauf geachtet werden, dass bestehende Bäume erhalten bleiben und neu gepflanzte Bäume mit ausreichend Wurzelraum so rasch wie möglich gesetzt werden oder bei der Pflanzung schon älter sind. Wird der Strassenraum nur mit jungen Bäumen gesäumt, wird der Hitzestress während der ersten 10-20 Jahre erst wenig gemindert.

Wachstum der Bäume beachten, bestehende Bäume erhalten, neue Bäume früh pflanzen, Übergangslösungen suchen

Bäume müssen ausreichend Wurzelraum zur Verfügung haben, ansonsten erreichen sie nicht die in Zielzustand V1 simulierte Wirkung, und der Zielzustand resultiert in einem mehrheitlich problematischen Mikroklima. Ein sicherer langfristiger Standort muss gewährleistet sein, so dass bei baulichen Veränderungen oder Sanierungen keine Bäume gefällt werden müssen (Distanz zu Gebäuden).

Ausreichend Wurzelraum für Bäume, sicherer langfristiger Standort gewährleisten

Bei den Baumpflanzungen sollen Gebäudeschatten und Sonnenexposition berücksichtigt werden. Bäume sollen so platziert werden, dass sie den Gebäudeschatten ergänzen und Gebiete entlasten, welche nicht von Gebäudeschatten profitieren. Dies gilt besonders für schwachwindige Bereiche, z.B. in Höfen oder in Gebäude-Innenecken. Auch entlang der Neuenhoferstrasse soll der Schattenwurf von Gebäuden für die Baumsetzungen berücksichtigt werden.

Schattenwurf Gebäude beachten

Bei den Massnahmen und der Aufwertung soll auch berücksichtigt werden, wo wie viele und welche Menschen leben. Insbesondere ältere und kranke Personen (Altersheime, Alterswohnungen, Spitäler) sowie Kleinkinder (Kita, Kindergarten) sollten ein klimaoptimiertes Wegenetz zur nächsten Entlastungsfläche (Grünfläche, Parkanlage) vorfinden. Sensitive Personen, welche tagsüber keine entfernte Entlastungsfläche aufsuchen können (z.B. Schulkinder oder immobile Personen) sollen vor Ort Entlastungsflächen vorfinden (auf dem Areal von Schulen, Kindergärten oder Altersheimen). Dichte Stadtquartiere brauchen grössere Grünflächen, um allen Personen einen beschatteten Platz zu bieten.

Vulnerabilität Personen beachten

4 Vorgehen bei einer Mikroklimasimulation

4.1 Allgemeines

Es hat sich in mehreren Projekten mit Mikroklimasimulationen gezeigt, dass sinnvollerweise die gleichen Parameter wie in den kantonalen Klimaaanalysen untersucht werden sollten. Dies sind PET (Hitzestress) am Tag, Lufttemperatur in der Nacht und Kaltluftvolumenstrom in der Nacht. So können die einzelnen, wichtigen Parameter mit den Ausgangsdaten verglichen werden.

Gleiche Parameter wie in regionaler Klimaaanalyse verwenden

Die Auflösung einer solchen Detailanalyse soll für die Parameter PET und Lufttemperatur 2-4 m betragen, um die Situation in einzelnen Strassenzügen oder engen Gassen einer Altstadt (dann u.U. eher mit 2 m) aufzeigen zu können. Für die Kaltluftvolumenströme sollte die weitere Umgebung («Einflussgebiet», entspricht quasi dem Einzugsgebiet bezüglich Kaltluft) mitberücksichtigt und die Bebauung aufgelöst werden. Für solche Simulationen ist eine Auflösung von 5 m ausreichend, um die Strömungsveränderungen im Detail zu beurteilen.

Räumliche Auflösung

Es empfiehlt sich, zu Beginn eines Projektes die wichtigsten Fragestellungen zu definieren. Pläne von Landschaftsarchitekt/innen oder Planenden zeigen oft ein idealisiertes Bild mit etablierter Vegetation, was z.B. bei Bäumen einem Alter von ca. 20-30 Jahren entspricht. Zu Beginn muss daher festgelegt werden, ob der Idealzustand mit ausgewachsener Vegetation oder ein Zustand kurz nach Umsetzung simuliert werden soll. Möglich sind auch mehrere Zustände (z.B. Ist, Soll neu, Soll ideal). Die Modelle reagieren bei gewissen Anpassungen, z.B. Versiegelung oder Baumsetzungen, sehr stark. Diese Hebelwirkung muss berücksichtigt und die Ausgestaltung der Modellumgebung entsprechend angepasst werden.

Fragestellung zu Beginn definieren, sich Hebelwirkung von Ausgestaltung bewusst sein

4.2 Skalenbereich

Das Mikroklima beschreibt per Definition einen Skalenbereich mit einer horizontalen Ausdehnung bis mehrere hundert Meter. Mit *Mikroklima* ist damit das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftschichten ausbildet und von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z.B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist [1].

Definition Mikroklima

Da das Mikroklima den kleinsten Skalenbereich der Meteorologie/Klimatologie beschreibt, ist eine Abgrenzung gegen unten nicht ganz einfach, resp. liegt diese im Zentimeterbereich. Für das anwendungsorientierte Stadtklima muss somit eine eigene Abgrenzung definiert werden, welche wiederum von der Umge-

Abgrenzung gegen unten

bung, der Fragestellung und den beurteilten Parametern abhängt. Diese Einteilung erfolgt daher eher anhand von qualitativen und empirischen Beurteilungsgrundlagen.

Gegen oben liegt die Abgrenzung laut Definition im Bereich «einiger hundert Meter». Da die verwendeten Rechenmodelle sehr komplex und aufwendig sind und da sich die benötigte Rechenleistung bei einer Vergrößerung der Umgebung in eine der Raumrichtungen quadriert, gibt es auch ein technisches Limit. Wenn man davon ausgeht, dass eine Umgebung mit bis zu 300 x 300 horizontalen Gitterzellen noch in sinnvoller Zeit mit einem leistungsstarken Rechner (kein Supercomputer) simuliert werden kann und die Auflösung 4 m nicht übersteigen soll, ergibt dies eine (maximale) Perimetergrösse von 1'200 m x 1'200 m. In einer Schweizer Stadt gibt es in einer solchen Fläche typischerweise bereits mehrere unterschiedliche Mikroklimata. Es empfiehlt sich daher für eine Mikroklimateanalyse eine Obergrenze von 500-800 m, maximal 1'000 m (Kantenlänge Untersuchungsgebiet). Einer lokalen Klimazone (vom englischen *local climate zone*) wird in der Fachliteratur [2] eine ähnliche Grössenordnung zugeteilt (400-1'000 m).

Abgrenzung gegen oben

4.3 Grössenordnung für Fragestellung

In der Folge werden für die unterschiedlichen Parameter Grössenordnungen definiert, innerhalb denen eine Mikroklimateanalyse Sinn macht. Grundsätzlich sollte die Tag- und die Nachtsituation simuliert werden, was bei vielen Modellen ohnehin standardmässig passiert. Bei der Auswertung kann der Fokus je nach Relevanz gesetzt werden. Kaltluftströmungen müssen nicht zwingend an jedem Ort separat analysiert werden. Die Grundlagendaten des Kantons können diesbezüglich Hinweise liefern [3].

Tag und Nacht sinnvollerweise beide analysieren

4.3.1 Hitzestress Tag

Die Betrachtung von Hitzestress am Tag (PET, siehe Anhang A.3) ist bereits für kleine Bauvorhaben sinnvoll, da diese Grösse direkt von der Beschattung und der Wärmestrahlung abhängig ist. Daher kann es vorkommen, dass z.B. für den Bau eines Altersheimes in einem kleinen Dorf eine Hitzestress-Simulation sinnvoll ist, um einen qualitativ guten Aussenraum zu garantieren. Eine erste Annäherung liefert dabei bereits eine Beschattungsanalyse, bei welcher die Vegetation berücksichtigt ist. Eine Analyse der PET ist somit bei einem Gebiet von 50-1'000 m sinnvoll und bereits auf Gebäudeebene aussagekräftig.

Simulation Hitzestress bereits auf Gebäudeebene aussagekräftig

4.3.2 Auskühlung Nacht

Die nächtliche Auskühlung (siehe Anhang A.4) ist von indirekten Prozessen abhängig. Sie zeigt keine scharfen Abgrenzungen wie der Hitzestress am Tag. Der

Simulation nächtliche Auskühlung ab Blockebene sinnvoll

Einflussbereich von Massnahmen kann je nach Windstärke bis zu mehreren Dekameter betragen. Ein Park hat nachts z.B. einen Einflussbereich auf seine Umgebung in der Grössenordnung seines Radius (siehe auch Anhang A.4, *Differenz Z2-Z1*). Kleinere Dörfer können in der Regel nachts gut auskühlen, wodurch die nächtliche Überwärmung dort eher ein untergeordnetes Problem darstellt. Die Analyse der nächtlichen Auskühlung ist eher ab einem grösseren Dorf, resp. einer kleinen Stadt, und mind. für einen Häuserblock mit den angrenzenden Strassenzügen sinnvoll. Dies entspricht z.B. einer Arealumnutzung in einer typischen Kleinstadt, nicht aber dem Bau eines Mehrfamilienhauses auf dem Land. Als Grössenordnung kann ein Perimeter von 200-1'000 m Durchmesser angenommen werden.

4.3.3 Kaltluftabfluss

Kaltluftflüsse (siehe Anhang A.5) sind meist von der weiteren Umgebung abhängig. Einzig in dichten Stadtquartieren können lokale Kaltlufteinflüsse (z.B. Parkanlagen) dominierend sein. Daher sollte zur Beurteilung der nächtlichen Kaltluftflüsse auch das Regionalklima berücksichtigt werden. Dieses umschliesst je nach Gebiet eine Umgebung von 5-15 km Grösse. Im Kerngebiet, welches üblicherweise höher aufgelöst werden kann, ist eine Umgebungsgrösse von 500-1'000 m sinnvoll. Den Einfluss auf Kaltluftströme zu simulieren, macht erst bei grösseren Überbauungen oder Arealumnutzungen Sinn. Ausnahmen sind breite, hohe und talquerende Blöcke, welche wichtige Kaltluftströme beeinflussen können. Allgemein kann aufgrund der regionalklimatischen Analysen (z.B. Klimaaanalyse Kanton Aargau [3]) relativ gut beurteilt werden, in welchen Gebieten die Simulation von Kaltluftströmen sinnvoll ist (dort wo funktionierende Kaltluftsysteme vorhanden sind). Wie oben beschrieben, sind Kaltluftströmungen in sehr dichten Stadtquartieren ohnehin eingeschränkt. Hier macht es z.B. Sinn, den Effekt von neu geplanten Parkanlagen zu simulieren.

Simulation Kaltluftabflüsse ab Quartiersebene sinnvoll, im Einzelfall auch darunter

Anhang

A.1 Zitierte Grundlagen

- [1] <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101640&lv3=101778>
- [2] Stewart, I. and Oke T. (2012): Local Climate Zones for Urban Temperature Studies.
In: Bulletin of the American Meteorological Society.
- [3] GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2022): Endbericht Stadtklimaanalyse Kanton Aargau.
Öffentliche Version 2022.

A.2 Modellumgebungen

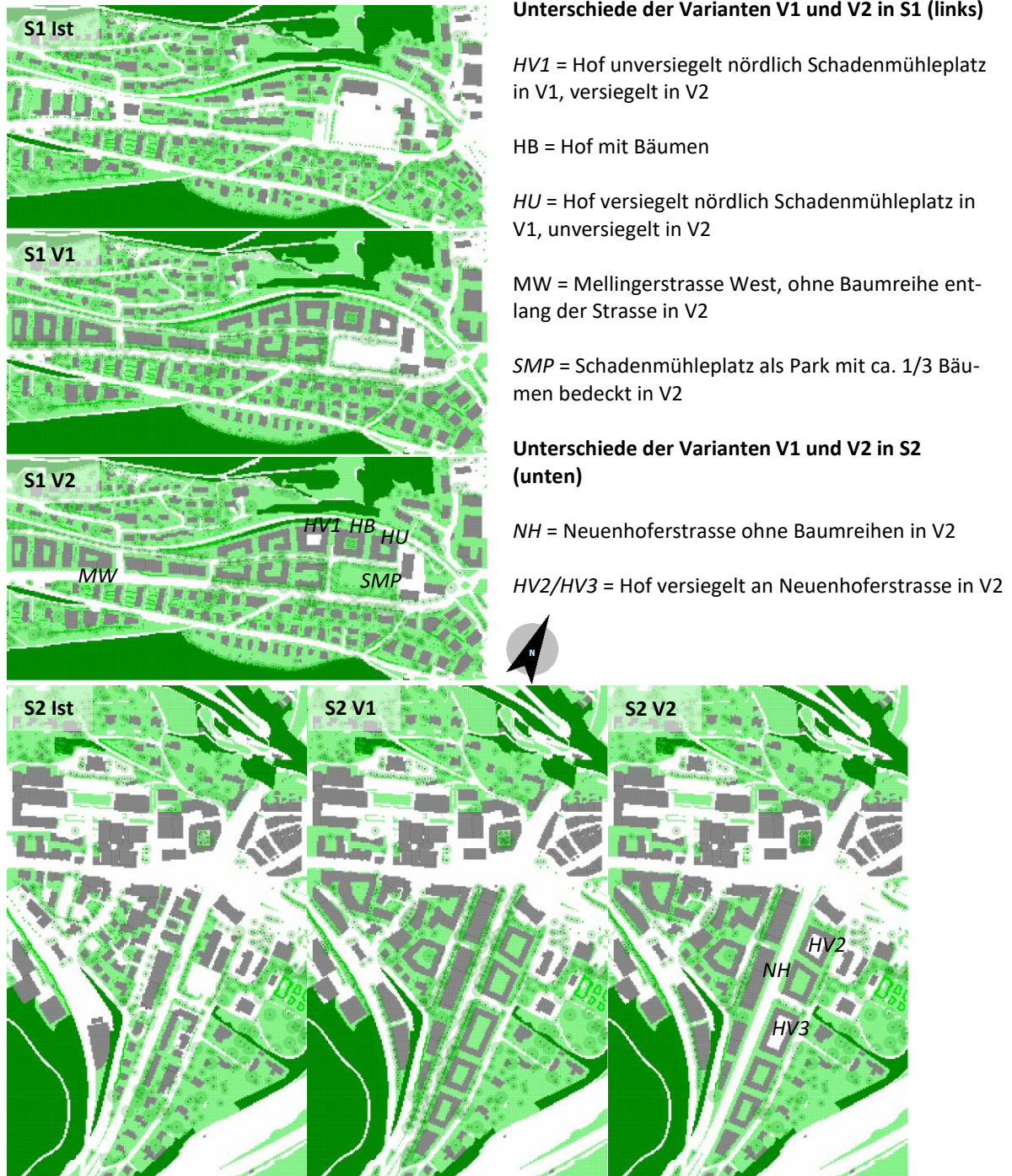


Abbildung 12: Perimeter S1 (Burghalde, Ländli, Meierhof) und S2 (Oberstadt) in der Modellsoftware ENVI-met.

A.3 Karten Hitzestress am Tag (PET)

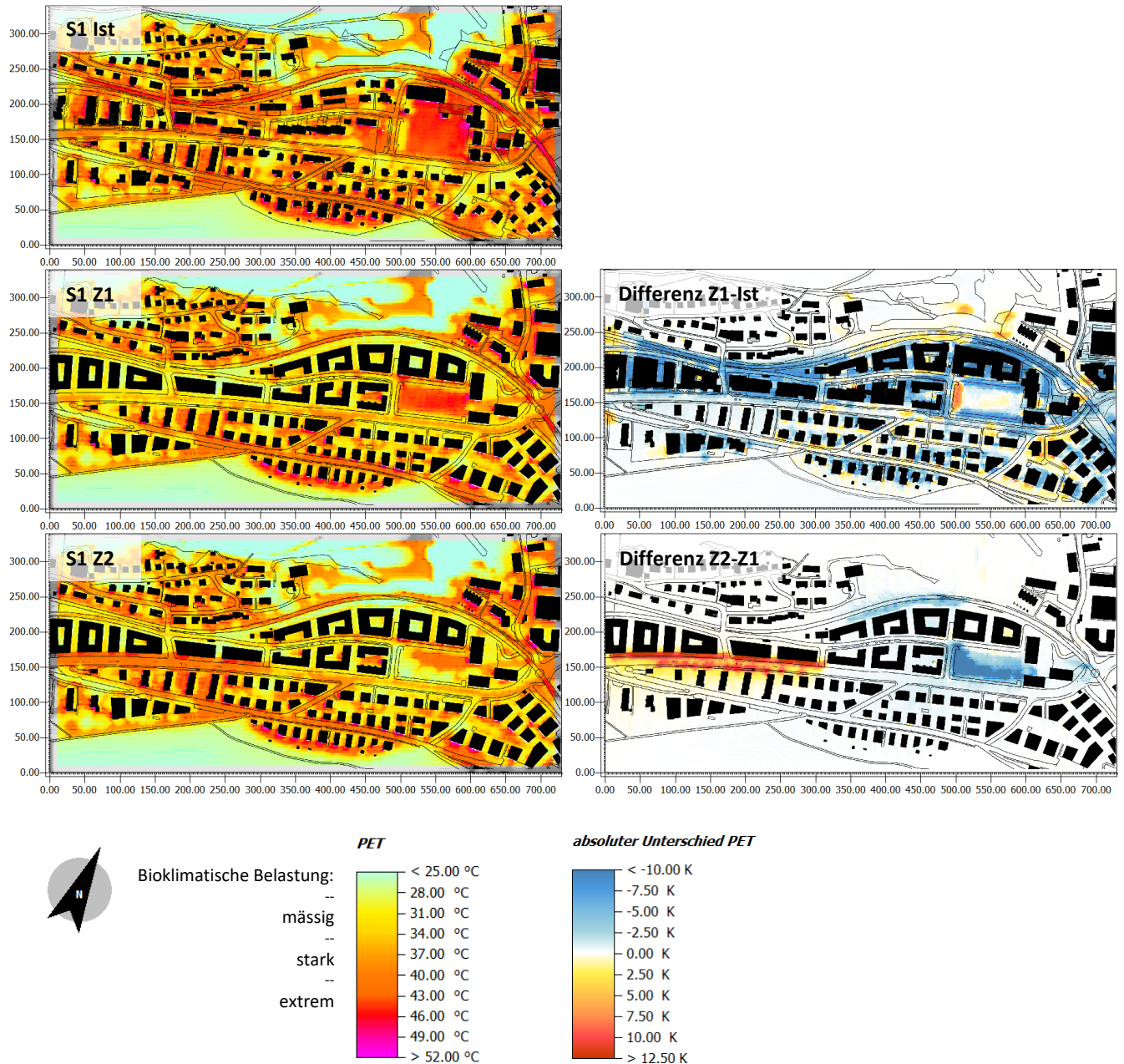
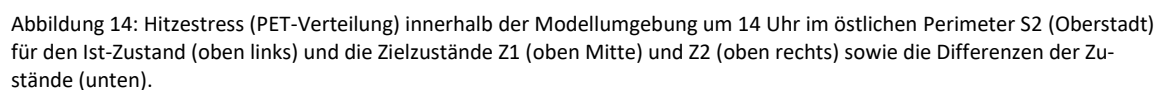


Abbildung 13: Hitzestress (PET-Verteilung) innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Perimeter S1 (Meierhof etc.) für den Ist-Zustand (oben) und die Zielzustände Z1 (Mitte) und Z2 (unten) sowie die Differenzen der Zustände (rechts).



A.4 Karten Lufttemperatur in der Nacht

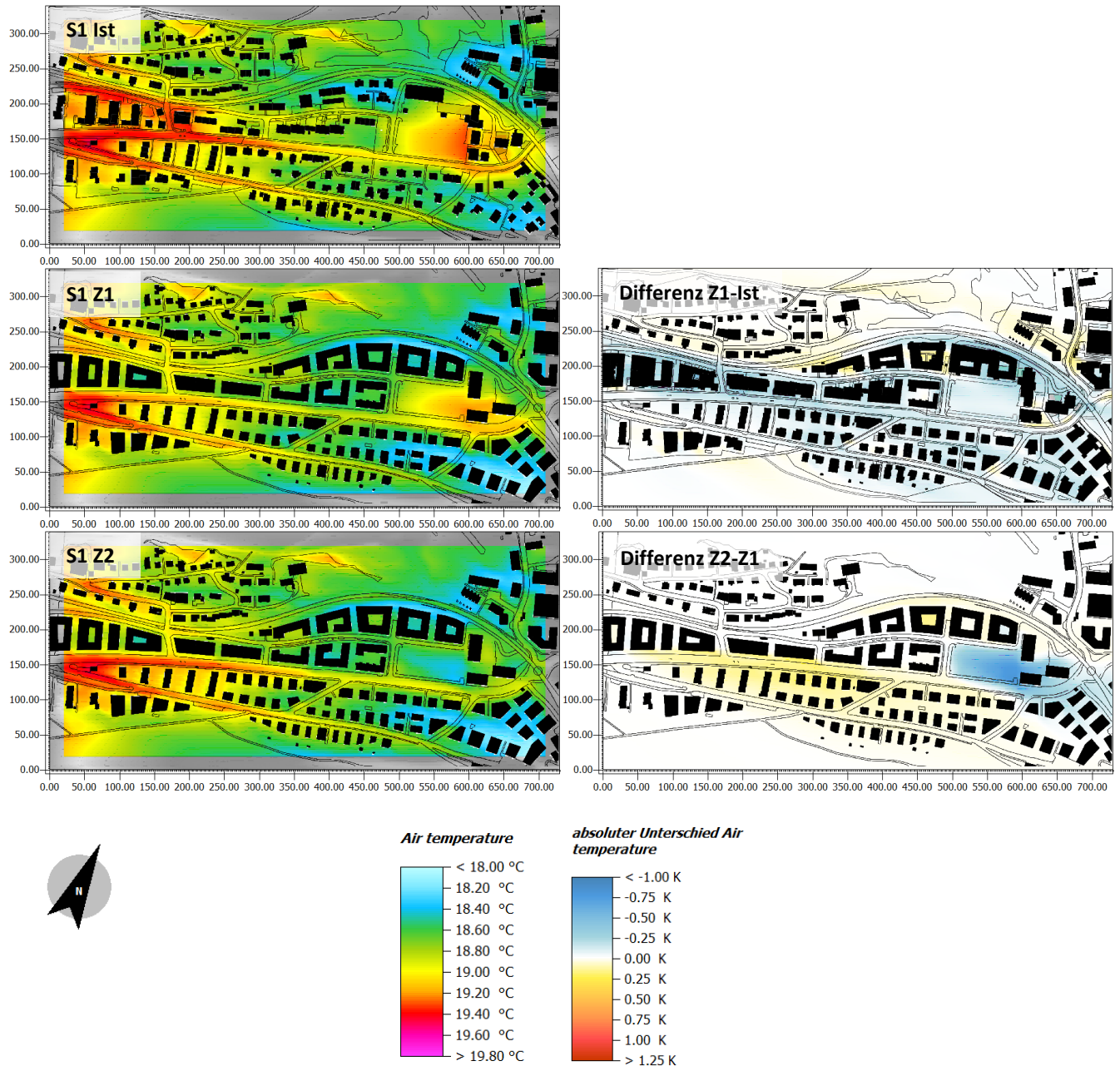


Abbildung 15: Hitzestress (PET-Verteilung) innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Perimeter S1 (Meierhof etc.) für den Ist-Zustand (oben) und die Zielzustände Z1 (Mitte) und Z2 (unten) sowie die Differenzen der Zustände (rechts).

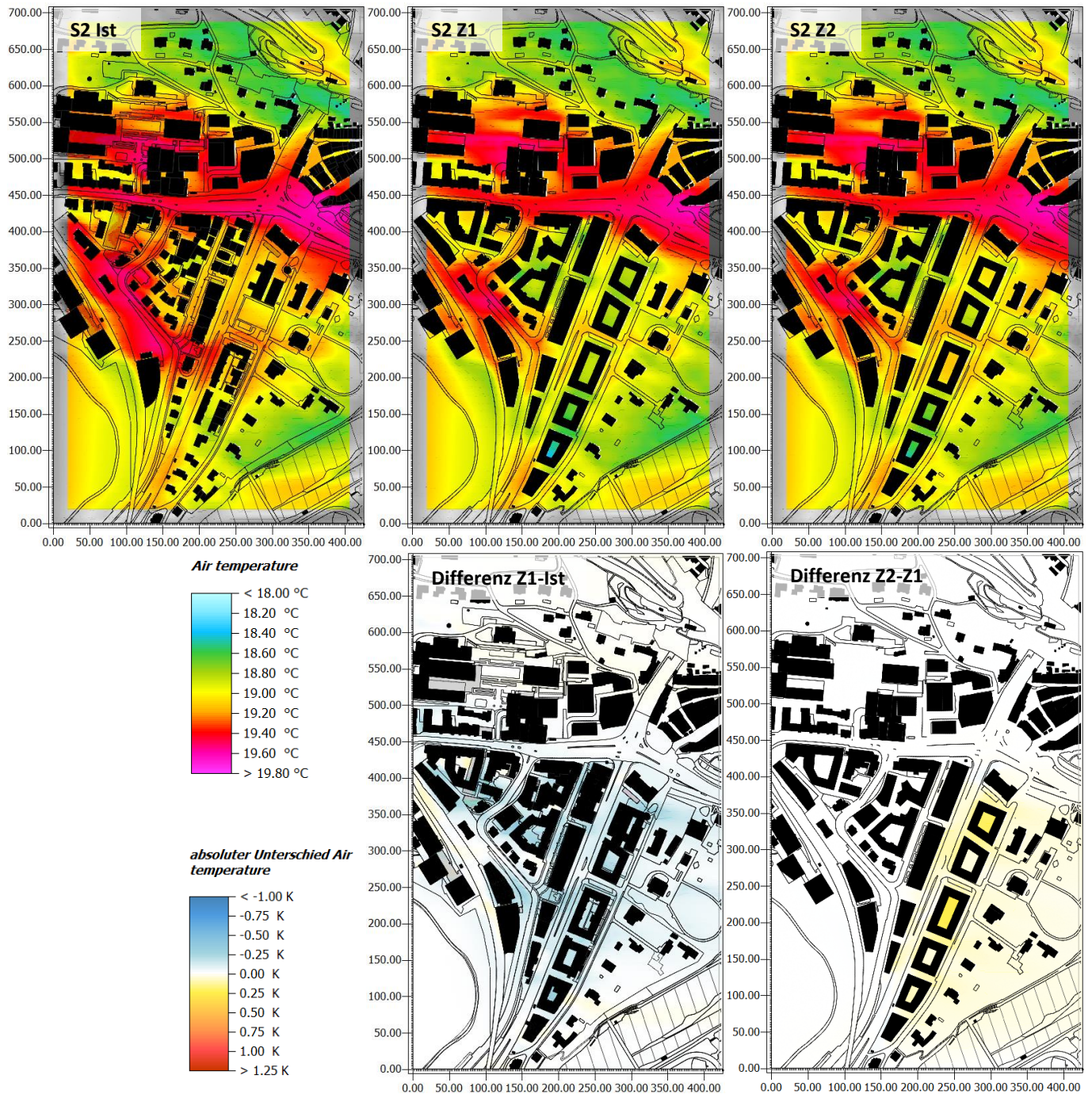


Abbildung 16: Lufttemperatur-Verteilung innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im östlichen Perimeter S2 (Oberstadt) für den Ist-Zustand (oben links) und die Zielzustände Z1 (oben Mitte) und Z2 (oben rechts) sowie die Differenzen der Zustände (unten).

A.5 Karten Kaltluftabfluss in der Nacht

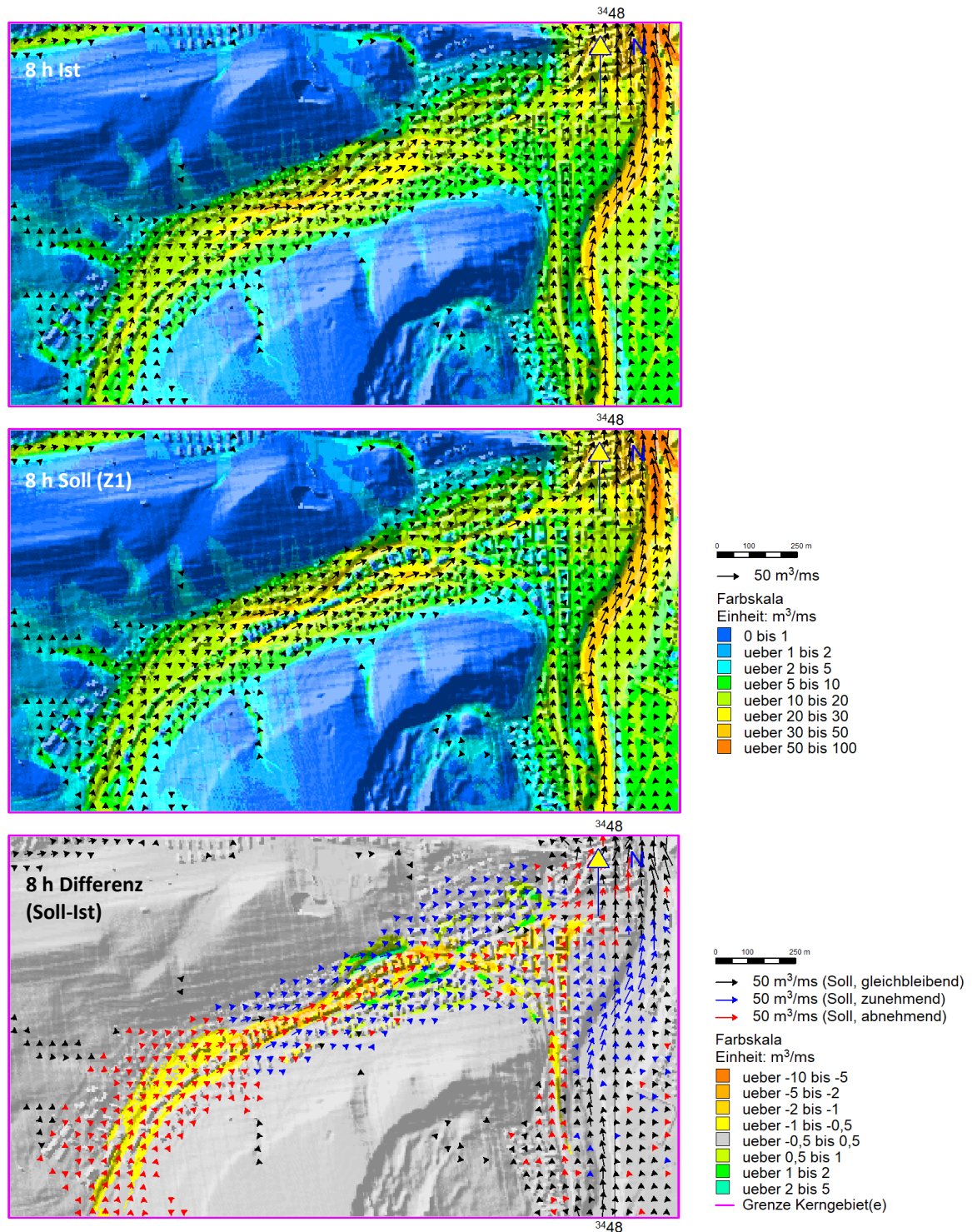


Abbildung 17: Ablauf des Einfließens nächtlicher Kaltluft aus der Umgebung in Kombination mit lokaler Kaltluftproduktion, dargestellt als Volumenstrom (Pfeile mit Richtung des Stroms). Die Zeitpunkte entsprechen von oben nach unten: 0.5 h, 4 h und 8 h nach Sonnenuntergang.