geopartner

Umwelt | Ressourcen Management

Stadtklimasimulation Oberstadt+

Modellierungen, Analysen und Schlussfolgerungen

Technischer Bericht

20. Oktober 2022

Im Auftrag von:
Kanton Aargau - Departement Bau, Verkehr und Umwelt - Abteilung Landschaft und Gewässer
Stadt Baden - Stadtentwicklung

www.geopartner.ch

Baumackerstrasse 24
8050 Zürich
044 311 27 28

Dornacherstrasse 210
4053 Basel
061 683 20 24

Impressum

Stadtklimasimulation Oberstadt+
Modellierungen, Analysen und Schlussfolgerungen

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

Grundlage unkonsolidiertes Zielbild (im Folgenden als 'Zielbild' beschrieben):
ETH Wohnforum – ETH CASE (Dr. Sibylle Wälty, Edvardas Bukota) CONT-S GmbH (Sabrina Contratto)

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.

geopartner
Umwelt | Ressourcen Management

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4
1.1 Ausgangslage und Projektziel 4
1.2 Hitzewellen und Klimawandel 5
1.3 Stadtklima 5
2 Grundlagen Klimaanalyse Kt. Aargau 2021 7
2.1 Ist-Situation 14:00 Uhr am Tag 7
2.2 Ist-Situation 4:00 Uhr am Morgen 9
3 Methode, Daten und Varianten 12
3.1 Vorgehen 12
3.2 Modelle 12
3.2.1 ENVI-met 12
3.2.2 Beschreibung der Modellvarianten 14
3.2.3 Umsetzung der Varianten in der Modellsoftware 15
3.2.4 KLAM_21 17
3.3 Randbedingungen Mikroklimamodell 19
3.4 Auswertung 19
4 Resultate 20
4.1 Ist-Zustand 20
4.1.1 Hitzestress Tag 20
4.1.2 Windzirkulation Tag 22
4.1.3 Auskühlung Nacht 23
4.1.4 Kaltluftabfluss Nacht 24
4.2 Zielbild Variante 1 28
4.2.1 Hitzestress Tag 28
4.2.2 Windzirkulation Tag 30
4.2.3 Auskühlung Nacht 31
4.2.4 Kaltluftabfluss Nacht 33
4.3 Zielbild Variante 2 37
4.3.1 Hitzestress Tag 37
4.3.2 Auskühlung Nacht 39
4.4 Differenzkarten 40
4.4.1 Hitzestress Tag 40
4.4.2 Auskühlung Nacht 43
4.4.3 Kaltluftabfluss Ist-Zustand zu Zielbild V1 46
5 Schlussfolgerungen 49
5.1 Erkenntnisse aus den Simulationen 49
5.2 Optimierungsvorschläge und Massnahmen für die Hitzeminderung 51
Anhang 54
A.1 Zitierte Grundlagen 54
A.2 Topographische Karte und Strassenbeschriftung 55
A.3 Details zu den Modellen 56
A.3.1 Mikroklimamodell ENVI-met 56
A.3.2 Kaltluftabflussmodell KLAM_21 58

geopartner
Umwelt | Ressourcen
Management

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Projektziel

Oberstadt

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 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 qualitätsvolle 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) wurde unter Einbezug angrenzender Quartiere (Burghalde, Ländli, tw. Meierhof) durch das ETH Wohnforum – ETH CASE und CONT-S GmbH das dieser Modellierung zugrunde liegende unkonsoldierte Zielbild erarbeitet.

Stadtklima relevant für Zielbild

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.

Projektziel

Ziel des Projektes 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 gesammelt und Grundsätze abgeleitet werden, die auch in weiteren Badener (Transformations-)Gebieten und Aargauer Städten und Gemeinden für solche vertiefte Modellierungen nutzbar sind.

Fragestellungen

Die Klimaanalyse soll unter anderem helfen, folgende Fragestellungen zu beantworten:
1. Wie wirkt sich die Verdichtung der Oberstadt+ auf das Stadtklima aus?
2. Wie kann Verdichtung erfolgen, damit weiterhin ein angenehmes Stadtklima (Tag und Nacht, für Bewohnende und Arbeitende) vorherrscht?
3. Was muss beachtet werden?

1.2 Hitzewellen und Klimawandel

Markante Häufung von Hitzewellen

Bereits heute zeigen sich die Auswirkungen des globalen Klimawandels in der Schweiz mit einer markanten Häufung von Hitzewellen in den letzten 20 Jahren. In den Jahren 2003, 2015, 2018, 2019 und 2022 erlebten wir in der Schweiz Hitzeperioden in einer Häufung und mit Extremwerten, wie sie noch Mitte des 20. Jahrhunderts sehr unwahrscheinlich waren [1]. Extremsommer werden zur Norm und langanhaltende Hitzephasen zu einem Ereignis, welches mehrmals jährlich erwartet werden kann [2]. Bis 2060 wird anhand der Klimaszenarien für die Schweiz (CH-2018 [3]) mit einer Verdopplung der Anzahl an Hitzetagen (Maximaltemperatur über 30 °C) im Vergleich zum Referenzzeitraum 1981-2010 gerechnet (von 10.5 auf 23.8 im Mittel pro Jahr, Abbildung 1). Dies jedoch nur, wenn die technische und politische Entwicklung bis Mitte des 21. Jahrhunderts zu einem schrittweisen Rückgang der Treibhausgasemissionen führt (RCP4.5-Szenario) und diese sich stabilisieren [4]. Andernfalls würde die Anzahl erwarteter Hitzetage noch höher liegen.

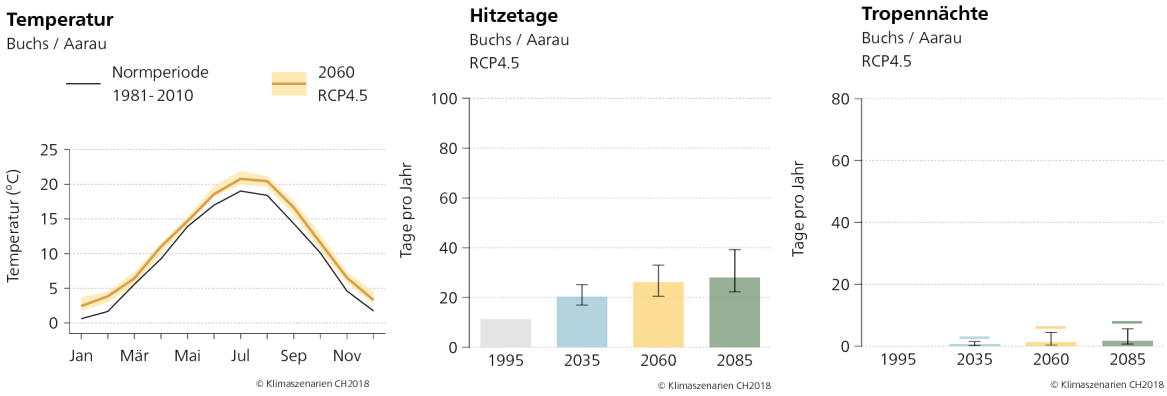


Abbildung 1: Jahresgang der Temperatur für das Jahr 2060 (links), Anzahl Hitzetage (Mitte) und Anzahl Tropennächte (rechts, inkl. Balken mit geschätztem Wärmeinseleffekt) für das RCP4.5-Szenario mit jeweiligem Variationsbereich der Modelle [5].

1.3 Stadtklima

Städtische Wärmeinsel, hohe Lufttemperaturen nachts

Besonders im urbanen Raum, welcher nach WHO-Prognosen bis 2050 von ungefähr 85% der Schweizer Bevölkerung bewohnt sein wird, können Hitzewellen zur gesundheitlichen Gefährdung und zur Last werden. Aufgrund der dichten Bebauungsstruktur, der starken Versiegelung und fehlender Grünflächen ist die Stadt nachts stets einige Grad wärmer als ihr rurales Umland. Besonders deutlich prägt sich dies in den frühen Abendstunden und während sommerlichen Hitzephasen aus.

Gründe für städtische Wärmeinsel

Die Gründe dafür liegen in der Energiebilanz an der Oberfläche. Während auf dem Land ein Grossteil der Energie für die Verdunstung aufgewendet wird, wird im städtischen Raum viel Energie in der Bausubstanz gespeichert. Nachts, wenn der solare Strahlungsantrieb für die Erwärmung fehlt, kühlt die bodennahe

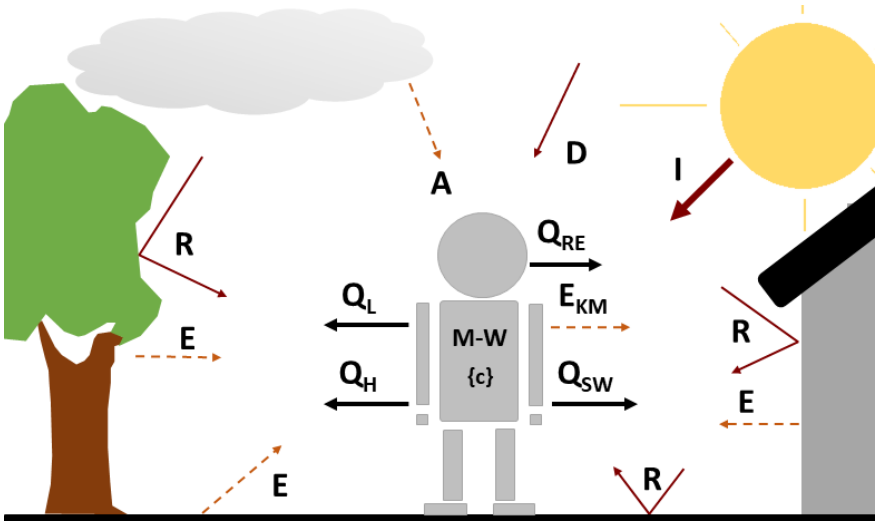
Luftschicht aus. Diese Abkühlung wird durch die gespeicherte Energie aus der Bausubstanz im Stadtgefüge abgeschwächt. Zudem absorbieren und emittieren die Fassadenelemente in einer Strassenschlucht Wärmestrahlung, was diesen Effekt verstärkt.

Hitzestress tagsüber, bioklimatische Belastung

Tagsüber erleben die Bewohnenden während Hitzewellen starken Hitzestress, besonders wenn sie sich an besonnten und windschwachen Orten aufhalten. Das Wärmeempfinden des Menschen ist dabei nicht nur von der Lufttemperatur abhängig. Die Berechnung der bioklimatischen Belastung als PET (von engl. *physiological equivalent temperature* [7]) ermöglicht durch die Kombination von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen eine Einschätzung der Wärmebelastung für die Menschen (Abbildung 2) [6]. Die berechneten Werte lassen sich wiederum in Klassen einteilen (Tabelle 1). Auch in den Klimakarten des Kantons Aargau ist die PET dargestellt (siehe Kapitel 2.1).

Temperatur Nacht

In der Nacht nimmt die Bedeutung der Lufttemperatur für das thermische Wohlbefinden jedoch wieder zu. Dies besonders aufgrund der fehlenden solaren Einstrahlung. Ausserdem sind die Windgeschwindigkeiten, abgesehen von Kaltluftabflussgebieten, nachts üblicherweise geringer.



Legende:
I direkte Sonneneinstrahlung
D diffuse Sonneneinstrahlung
R reflektierte Sonneneinstrahlung
A Wärmestrahlung Atmosphäre
E Wärmestrahlung Oberfläche
EKM Wärmestrahlung Mensch
M-W Wärmeproduktion durch Energiestoffwechsel
{c} Kleidung des Menschen

QH, QSW, QL und QRE entsprechen den menschlichen Wärmeverlustgrössen, beispielsweise durch Schwitzen oder Atmen.

Abbildung 2: Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit eines Individuums (nach dwd.de).

Tabelle 1: Einordnung der PET-Werte nach Empfinden und bioklimatischer Belastung.

Ab 29 °C	Warm	Mässige Wärmebelastung
Ab 35 °C	Heiss	Starke Wärmebelastung
Ab 41 °C	Sehr heiss	Extreme Wärmebelastung

2 Grundlagen Klimaanalyse Kt. Aargau 2021

2.1 Ist-Situation 14:00 Uhr am Tag

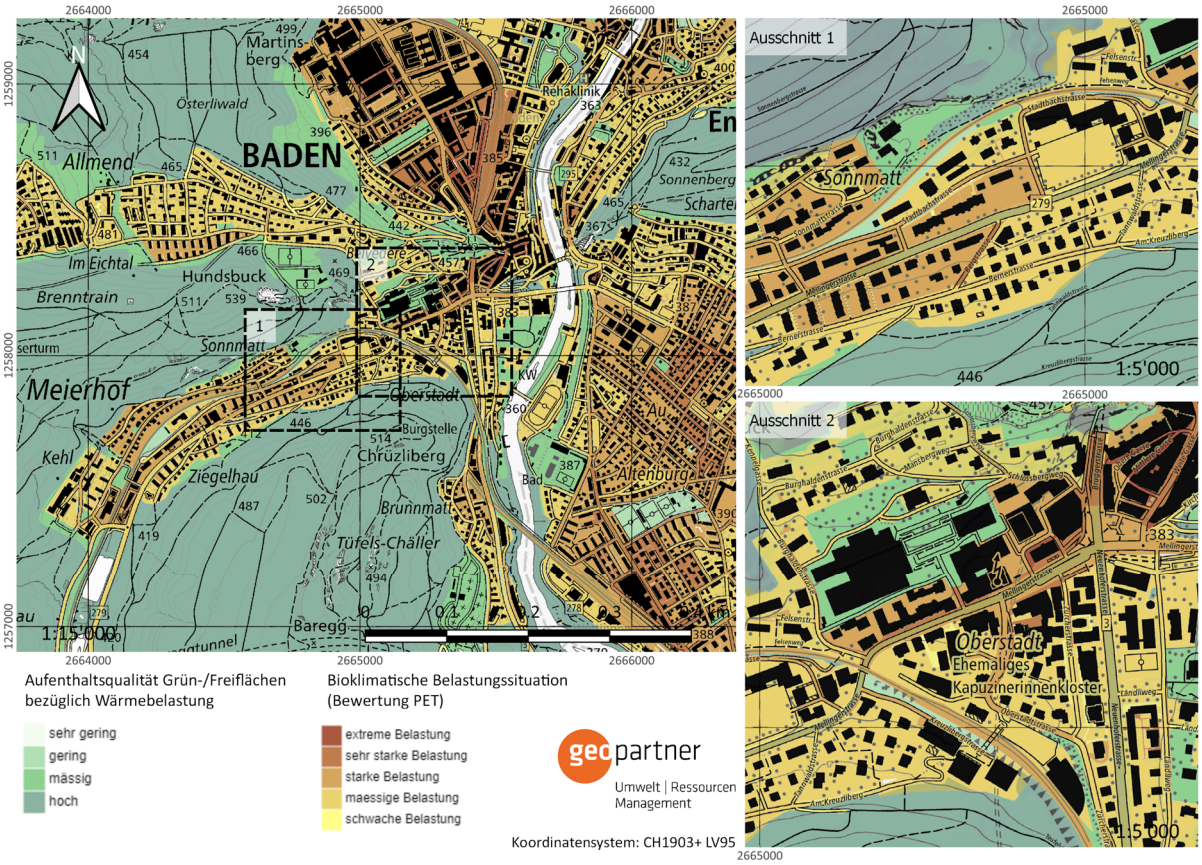


Abbildung 3: Bioklimatische Belastungssituation tagsüber um 14 Uhr eingeteilt in Bewertungsstufen für das Siedlungsgebiet und Grün-/Freiflächen (Quelle: Geodaten Kanton Aargau).

Weniger günstige Situation am Tag

Die bioklimatische Belastungssituation tagsüber wird in fünf Bewertungsstufen von «schwache Belastung» bis zu «extreme Belastung» eingeteilt. Bei bioklimatisch günstigen Bedingungen sind diese zu erhalten, im Falle von ungünstigen Bedingungen sind diese zu verbessern. Wie in Abbildung 3 ersichtlich ist, ist im gesamten Untersuchungsgebiet Oberstadt+ eine mässige bis starke bioklimatische Belastung vorherrschend. Es werden auch sehr starke oder extreme Belastungen simuliert, welche sich auf einzelne Wohnblöcke beschränken. Besonders entlang und nördlich der Mellingerstrasse ist die Belastung stark.

Grünräume

Unmittelbar angrenzend an das Gebiet sind grössere Grünräume vorhanden. Im westlichen Teil sind dies die nördlich und südlich angrenzenden Wälder. Im östlichen Teil sind die Parkanlage Villa Boveri und die begrünten Wege entlang der Limmat willkommene Entlastungsflächen. Die um die Schule Burghalde eingeteilte Grünfläche muss als Fehlklassifikation gewertet werden, wobei nördlich

der Schule in Richtung Ruine Stein wiederum einige Grünflächen vorzufinden sind. Die Versorgung mit Grünflächen ist insgesamt gut und soll möglichst erhalten bleiben.

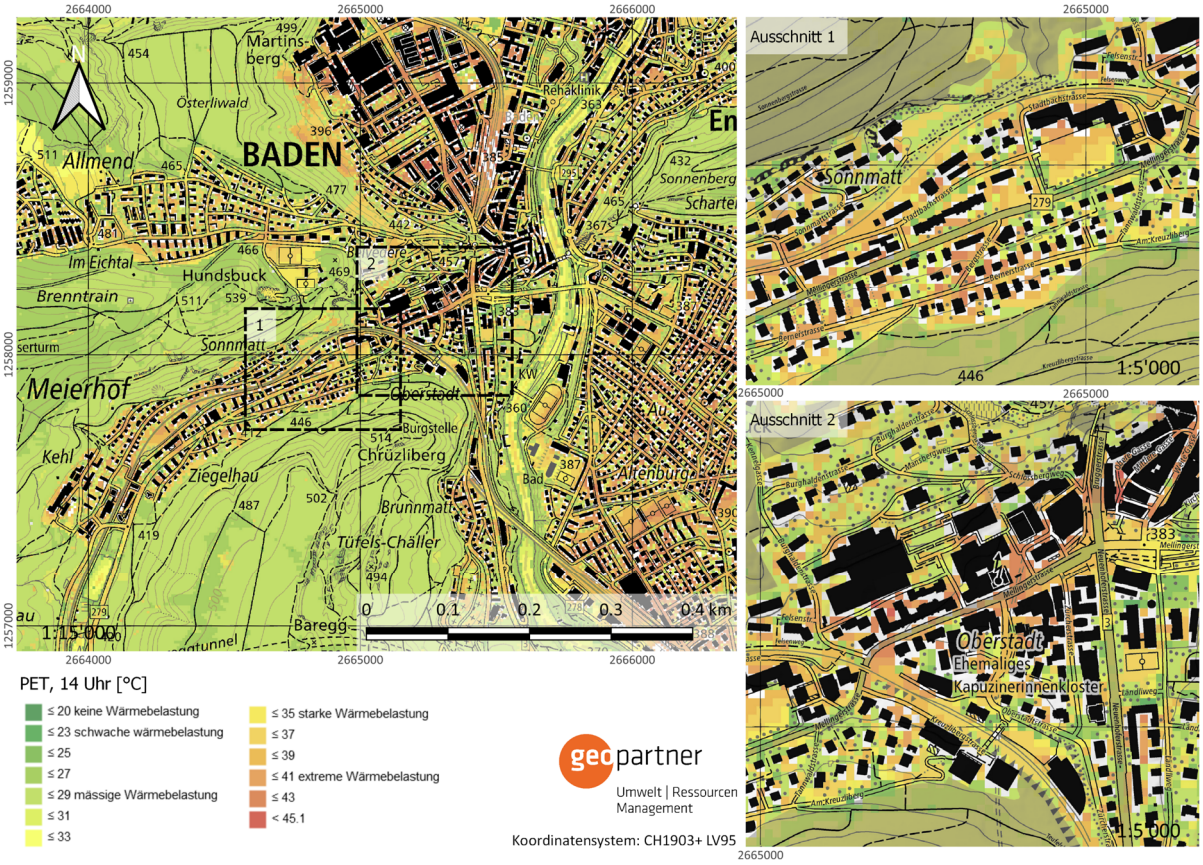


Abbildung 4: Bioklimatische Belastungssituation als PET (Grundlage für Abbildung 2) tagsüber um 14 Uhr in 10 m Gitterweite (Quelle: Geodaten Kanton Aargau).

Detaillierte Betrachtung

Die detaillierte Verteilung der bioklimatische Belastung in Abbildung 4 zeigt, dass im Ist-Zustand am Tag besonders die stark versiegelten und schlecht beschatteten Flächen eine hohe bioklimatische Belastung aufweisen. Da die Simulation mit einem Raster von 10x10 m^2 grob ausfällt, sind kleinteilige Schattenwürfe und angenehm kühle Gassen nicht ersichtlich. In Kapitel 4.1.1 werden solche Tendenzen in 2 m Auflösung dargestellt, wobei die Verteilung ähnlich ist, jedoch mehr Details erkennbar werden.

Fazit und Massnahmen Tag

Auf einzelnen Teilflächen innerhalb des Gebiets können thermisch belastende Situationen auftreten, besonders im östlichen Teil. Massnahmen zur Verbesserung sind daher sinnvoll, z.B. in Form von Verschattungselementen, Entsiegelung und zusätzlicher Begrünung. Richtung Schulhausplatz muss die Situation verbessert werden. Die vielen nahen Ausgleichsräume sollten zu Fuss durchgehend beschattet erreichbar sein. Weitere Massnahmen sind in Kapitel 5.2 beschrieben.

2.2 Ist-Situation 4:00 Uhr am Morgen

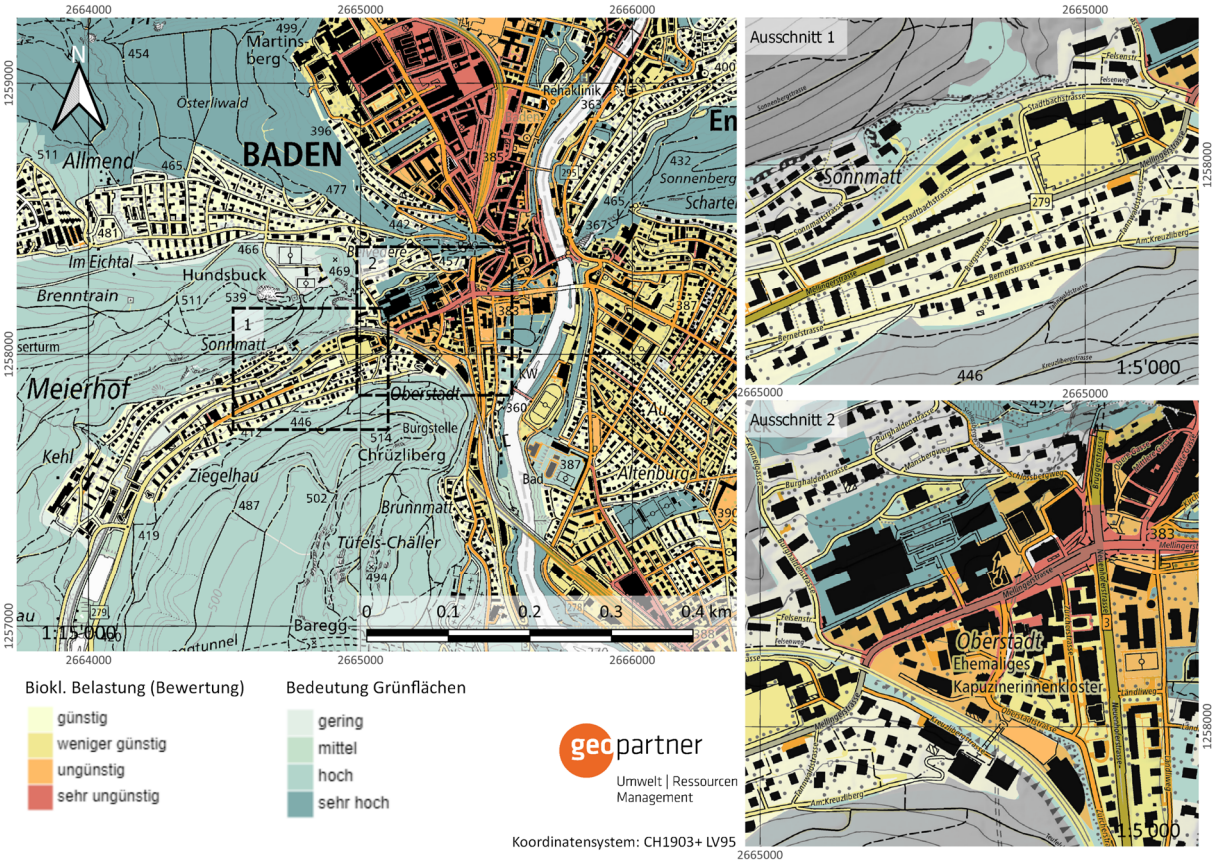


Abbildung 5: Bioklimatische Belastung nachts um 4 Uhr eingeteilt in Bewertungsstufen für das Siedlungsgebiet und Grün-/Freiflächen (Quelle: Geodaten Kanton Aargau).

Hohe Wärmebelastung in der Nacht

Wie in Abbildung 5 ersichtlich ist, befindet sich der westliche Teil der Oberstadt+ in einem bioklimatisch günstigen Gebiet, mit Ausnahme eines Teils der Mellingerstrasse. Der östliche Teil hingegen ist mehrheitlich ungünstig eingestuft und weist nachts entlang der Mellingerstrasse in Richtung Schulhausplatz gar sehr ungünstige Bedingungen auf. Verantwortlich dafür ist der dominante Anteil an bebauten und versiegelten Flächen, welche tagsüber viel Energie speichern, was nachts die Abkühlung reduziert. Neben der Bebauung selbst ist dafür auch die direkte Umgebung mitverantwortlich. Im westlichen Teil wirken sich der Einfluss der umliegenden Hänge (Kaltluftzufuhr), der geringe Versiegelungsgrad, die kleinen Gebäudevolumina sowie die geringe Siedlungsdichte positiv auf die Auskühlung aus.

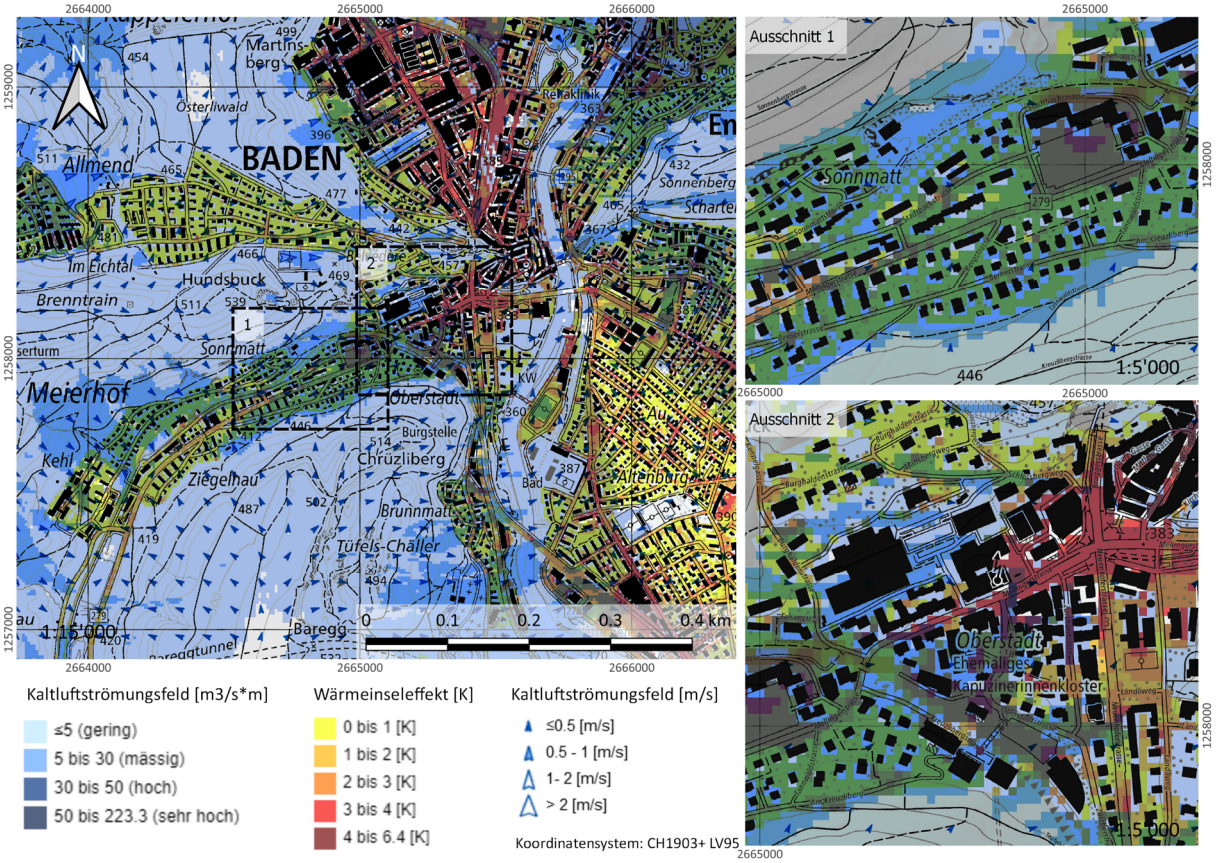


Abbildung 6: Bioklimatische Belastung nachts um 4 Uhr als Wärmeinseleffekt (Temperaturdifferenz zum Umland) für das Siedlungsgebiet kombiniert mit dem Kaltluftströmungsfeld. Die blauen Windpfeile zeigen die Geschwindigkeit der Kaltluftströmung nachts (Quelle: Geodaten Kanton Aargau).

Wärmeinsel Baden Nacht

Die städtische Wärmeinsel lässt sich sehr gut aus der Bebauungsstruktur und der Nähe zu den umliegenden Hängen ableiten. Somit sind die industriell geprägten Gebiete im Norden der Stadt entlang der Bruggerstrasse nachts die wärmsten Gebiete. Auch die Altstadt und der östliche Teil der Mellingerstrasse sind Teil dieses Kerns der Wärmeinsel von Baden. Die umliegenden Gebiete mit dominantem Wohnanteil weisen ebenfalls höhere Temperaturen gegenüber dem Umland auf, es ist jedoch ein klarer Gradient zur dichteren und stärker versiegelten Innenstadt zu erkennen. Im Untersuchungsgebiet Oberstadt+ lassen sich wiederum klare Ost-West-Unterschiede erkennen. Innerhalb des östlichen Teils ist die Mellingerstrasse das Zentrum der nächtlichen Überwärmung. Im westlichen Teil fällt diese zwar geringer aus, der komplett versiegelte Schadenmühleplatz und ein Teil der Mellingerstrasse treten jedoch als leicht überwärmte Gebiete hervor.

Massnahmen Nacht

Die sehr ungünstige nächtliche Situation im östlichen Teil der Oberstadt sollte zwingend verbessert werden. Dies kann mittels Entsiegelung und Erhöhung des Baumbestands erreicht werden. Zudem soll die Vernetzung der Grünräume mit den umliegenden Grünanlagen (Grünanlage Villa Boveri, Limmatraum, Wälder

etc.) angestrebt werden. Die günstige Situation im westlichen Teil sollte erhalten bleiben und kann punktuell verbessert werden, z.B. im Bereich des Schadenmühleplatzes. Weitere Massnahmen sind in Kapitel 5.2 beschrieben.

Relation Klimawandel

Es ist davon auszugehen, dass die bioklimatische Belastung am Tag und auch die nächtliche Lufttemperatur aufgrund des Klimawandels zunehmen werden. Seit Juli 2022 gibt es bei den kantonalen Klimakarten auch Zukunftsszenarien, welche die Wärmebelastung im Jahr 2035 modellieren. Es wird eine Erhöhung der durchschnittlichen Temperatur von ca. 1.3°C erwartet (Emissionsszenario RCP4.5). Generell geht man davon aus, dass sich die statistische Verteilung des Wetters durch den Klimawandel in Richtung mehr Extreme verschiebt, wodurch die Witterungslagen, für welche diese Simulationen durchgeführt werden, in ihrer Anzahl und Ausprägung zunehmen werden.

Kaltluftvolumenstrom nachts

Das Gebiet kann aufgrund seiner Lage - umgeben von bewaldeten Hügeln - von nächtlichen Kaltluftströmen profitieren. Dies gilt besonders für den westlichen Perimeterteil (Meierhof), da hier auch eine relativ offene Bebauung vorherrscht. Der dichter bebaute und weiter von den Hängen entfernte östliche Teil (Oberstadt) kann nur noch teilweise von nächtlicher Kaltluft durchströmt werden. Detailliertere Kaltluftabflussberechnungen mit aufgelöster Bebauung sind in Kapitel 4.1.4 zu finden.

3 Methode, Daten und Varianten

3.1 Vorgehen

Vorgehen Simulation

Um die mikroklimatische Situation des Zielbildes quantitativ zu beurteilen, sind numerische Simulationen notwendig. Der vorliegende Zwischenstand wurde für typische meteorologische Situationen simuliert und mit dem aktuellen Zustand verglichen (siehe Randbedingungen, Kapitel 3.3). Die Modellresultate dienen dazu, stadtklimatische Problemstellen (Hitzestress, Flächen mit beeinträchtigter Durchlüftung etc.) zu ermitteln.

Ausgangsdaten

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 Ausgangsituation wurden die bestehenden Stadtklimadaten des Kantons berücksichtigt.

Ist-Zustand und zwei Varianten Zielbild

Simuliert wurde der Ist-Zustand anhand aktueller Geodaten und das Zielbild, im Mikroklimamodell in Form von zwei Varianten (V1 und V2, siehe Kapitel 3.2.2).

3.2 Modelle

3.2.1 ENVI-met

Modell ENVI-met

Für die Mikroklimasimulationen wurde das Modell ENVI-met verwendet (Anhang A.3.1). ENVI-met hat sich in vielen Stadtklimastudien für kleinräumige Analysen bewährt. Es ist speziell dafür konzipiert, Varianten und Veränderungen zu simulieren. Gerechnet wurde jeweils mit 24 Stunden Modelllaufzeit und Start um 5 Uhr für den 27. Juli 2020. Der Tag ist dabei für die Sonneneinstrahlung relevant, Veränderungen durch die Klimaerwärmung werden mit dem Temperaturverlauf berücksichtigt.

Perimeter

Die Modellierung beinhaltet das gesamte Areal der Oberstadt+ und wurde in zwei Bereiche aufgeteilt, um in einer höheren Auflösung simulieren zu können (Abbildung 7). Insgesamt umfassen die Perimeter 730 m x 340 m im westlichen Teil (S1; Burghalde, Ländli, Meierhof, Schadenmühleplatz etc.) sowie 626 m x 708 m im östlichen Teil (S2; Oberstadt, Mellingerstrasse Ost, Schulhausplatz etc.) für die Mikroklimasimulationen.

Modellauflösung ENVI-met

Die Grösse der Gitterzellen in ENVI-met - und damit die Auflösung des Modells - wurde auf 2 m horizontal und vertikal gesetzt. Dies ist für Klimamodelle sehr hoch und reicht, um schmale Gassen oder Häuser aufzulösen. Bei der vorliegenden Grösse der Modellumgebung ergibt dies 365 x 170 (S1) sowie 313 x 354 (S2) Gitterzellen (horizontal). Vertikal ist das Modell aus 20 Gitterzellen aufgebaut, wobei ab einer Höhe von 20 m die Zellgrösse zunimmt (siehe Kapitel 3.2.3).

Grundlagen aus kantonalen Geodaten

Grundlegend für den Aufbau der Modellumgebung sind die Gebäudehöhe, welche anhand eines Oberflächenmodells berechnet wurde, und die Oberflächenbedeckung, welche aus Daten der amtlichen Vermessung abgeleitet wurde. Zudem sind für das Stadtklima, besonders bezüglich Hitzestress am Tag, Bäume von grosser Bedeutung. Für die vorliegende Studie wurde das Baumkataster der Stadt Baden verwendet. Da dieses Baumkataster bei weitem nicht alle vorkommenden Bäume abdeckt, wurden weitere Bäume digitalisiert. Um den Baumbestand in Klassen unterschiedlicher Grösse zu unterteilen, wurde zudem ein Geodatensatz des Kantons mit der Vegetationshöhe, welche den Baumstandorten zugewiesen wurde, verwendet (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: Übersicht mit den Modellperimetern als rote Rechtecke und dem Perimeter Oberstadt+ als orange Linie. Die Landnutzung wurde aus der amtlichen Vermessung Kanton Aargau abgeleitet und dient als Input für die Simulationen. Orange umrahmte Punkte = Bäume aus Baumkataster Stadt Baden (topogr. Karten in Anhang A.2).

3.2.2 Beschreibung der Modellvarianten



Abbildung 8: Transformationsgebiet Oberstadt+ im Ist-Zustand (Quelle: ETH Wohnforum – ETH CASE, CONT-S GmbH).



Abbildung 9: Transformationsgebiet Oberstadt+ im vorliegenden Zielbild (Quelle: ETH Wohnforum – ETH CASE, CONT-S GmbH).

Zielbild

Das Zielbild beschreibt einen möglichen zukünftigen Bebauungsbestand, ausgearbeitet durch das ETH Wohnforum – ETH CASE und CONT-S GmbH (Abbildung 9). Dieser dient als Grundlage für die Modellumgebung der Zielbildvarianten in Form von Vektorplänen mit eingezeichneten Baumstandorten und definierter Oberflächenbeschaffenheit (Abbildung 10). Die Gebäude sind dabei deutlich höher, breiter und tiefer als im Ist-Zustand und zum Teil als Blöcke realisiert. Die Gebäudehöhen betragen für die meisten Gebäude 13-22 m (niedriger in Hanglagen) sowie 34-38 m für die Hochpunkte. Im Gegensatz zum Ist-Zustand wurde 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 mittelgrosse Bäume mit einem Kronendurchmesser von 5-8 m.



Abbildung 10: Plandatensatz, welcher als Input für die Modellrechnung verwendet wurde (Datenquelle: ETH Wohnforum – ETH CASE, CONT-S GmbH; Darstellung: GEO Partner AG). Die übrigen Flächen entsprechen der amtlichen Vermessung (hier nicht abgebildet, siehe Abbildung 7).

3.2.3 Umsetzung der Varianten in der Modellsoftware

Ist-Zustand

Im Ist-Zustand wurde die aktuell vorherrschende Bebauungssituation anhand der Geodaten im Modell in einer Raster-Auflösung von 2 x 2 m^2 nachgebaut (Abbildung 11, S1 Ist und S2 Ist).

Variante 1

In Variante 1 des Zielbildes wurden im Modell (Abbildung 11, S1 V1 und S2 V1) drei Höfe nördlich des Schadenmühleplatzes in unterschiedlicher Ausführung simuliert (versiegelt = *HV1*, unversiegelt mit Bäumen = *HB* und unversiegelt = *HU*). In Variante 2 wurden der versiegelte und unversiegelte Hof getauscht, um den Effekt der Hofgrösse abschätzen zu können.

Variante 2

Mit Variante 2 (Abbildung 11, S1 V2 und S2 V2) wurde untersucht, was eine Reduktion des Baumbestands an der Mellingerstrasse West (*MW*) und entlang der Neuenhoferstrasse (*NH*) zur Folge hätte. Gleichermassen wurden in Variante 2 zwei Innenhöfe entlang der Neuenhoferstrasse versiegelt gerechnet (*HV2-3*). Es sollte gezeigt werden, wie sich die Versiegelung von Höfen an unterschiedlichen Standorten und bei unterschiedlicher Hofgrösse auswirkt. Der Schadenmühleplatz wurde zudem in Variante 2 als Parkfläche mit zusätzlicher Baumreihe im südlichen Bereich gerechnet (*SMP*).



Unterschiede der Varianten V1 und V2 in S1 (links)

HV1 = Hof unversiegelt nördlich Schadenmühleplatz in V1, versiegelt in V2

HB = Hof mit Bäumen

HU = Hof versiegelt nördlich Schadenmühleplatz in V1, unversiegelt in V2

MW = Mellingerstrasse West, ohne Baumreihe entlang der Strasse in V2

SMP = Schadenmühleplatz als Park mit ca. 1/3 Bäumen bedeckt in V2

Unterschiede der Varianten V1 und V2 in S2 (unten)

NH = Neuenhoferstrasse ohne Baumreihen in V2

HV2/HV3 = Hof versiegelt an Neuenhoferstrasse in V2

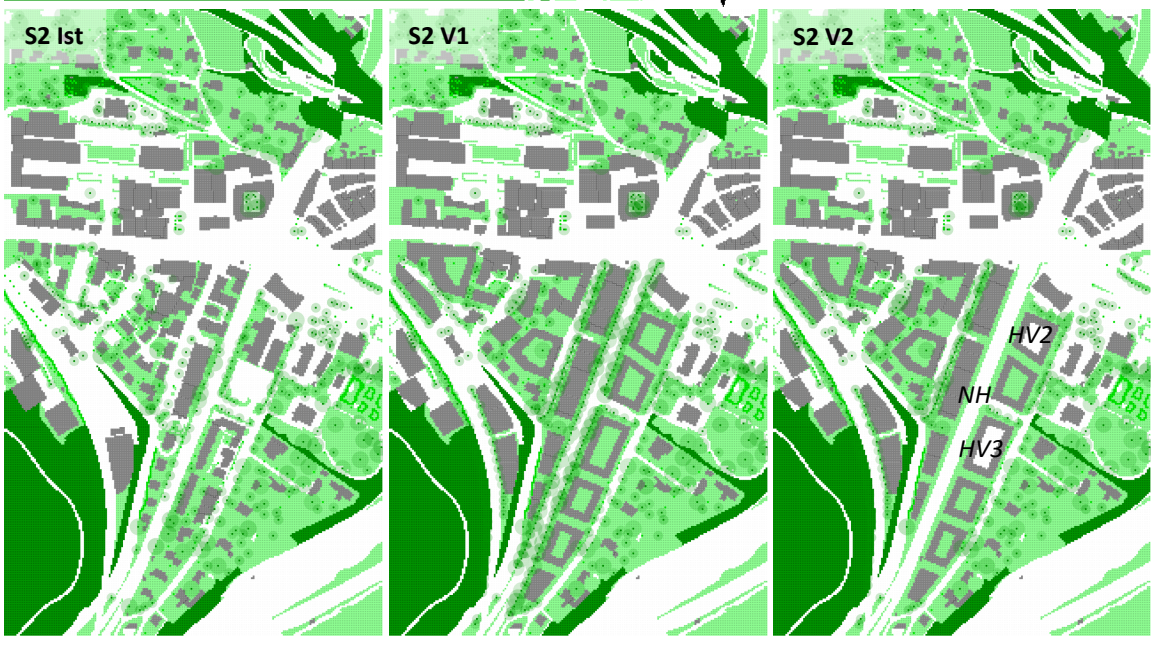


Abbildung 11: Perimeter S1 (Burghalde, Ländli, Meierhof; oben) und S2 (Oberstadt; unten) im Rastermodell ENVI-met.

3.2.4 KLAM_21

Modell KLAM_21

Für die Simulation von Kaltluftentstehung und Kaltluftabfluss wurde das Modell KLAM_21 verwendet (Anhang A.3.2). Mit KLAM lässt sich die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet simulieren. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Jede Landnutzungsklasse wiederum entspricht einer vorgegebenen Kälteproduktionsrate und einem aerodynamischen Widerstand. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrössen bestimmt das Entstehen, das Fliessen und die Ansammlung der Kaltluft. Der Start der Simulation liegt kurz nach Sonnenuntergang. Der maximale Simulationszeitraum (8 h) entspricht dabei dem Zeitpunkt der maximalen Auskühlung und kann mit dem Zustand der Klimaanalyse Kanton Aargau von 4 Uhr morgens verglichen werden [8].

Perimeter

Der Perimeter der Modellierungen umfasst im Kerngebiet das gesamte Areal der Oberstadt+ inklusive der angrenzenden Hügel und Stadtteile. Das ergibt für dieses Modell 2’100 m x 1’200 m im Kerngebiet. Um das Kerngebiet wurde zudem der Einfluss der umliegenden Hänge berücksichtigt. Dieses Einflussgebiet umfasst 18.5 km x 15.4 km (vgl. Abbildung 12 und Anhang A.3.2).

Modellauflösung KLAM_21, Nesting

In KLAM_21 wird üblicherweise mit einer gröberen Auflösung, dafür einer grösseren Modellumgebung gerechnet, sodass die relevanten Kaltluftflüsse der Umgebung berücksichtigt werden können. Im vorliegenden Fall wurde die Auflösung auf sehr hohe 5 m im Kerngebiet (Perimeter Oberstadt+) gesetzt.
KLAM_21 bietet die Möglichkeit eines sogenannten «Nestings». Dabei wird die Auflösung ausserhalb des Kerngebiets um den Faktor 5 reduziert. Nur dank diesem Nesting ist es überhaupt möglich, das gesamte Einzugs- und Einwirkgebiet zu berücksichtigen und gleichzeitig im Kerngebiet die Bebauung von Einzelgebäuden aufzulösen. Die Bebauung wird dabei als dem Gelände überprägte Objekthöhe, welcher die Landnutzung «versiegelt» zugewiesen wird, berücksichtigt. Verglichen wurde das Zielbild mit dem Ist-Zustand (keine Varianten des Zielbilds).

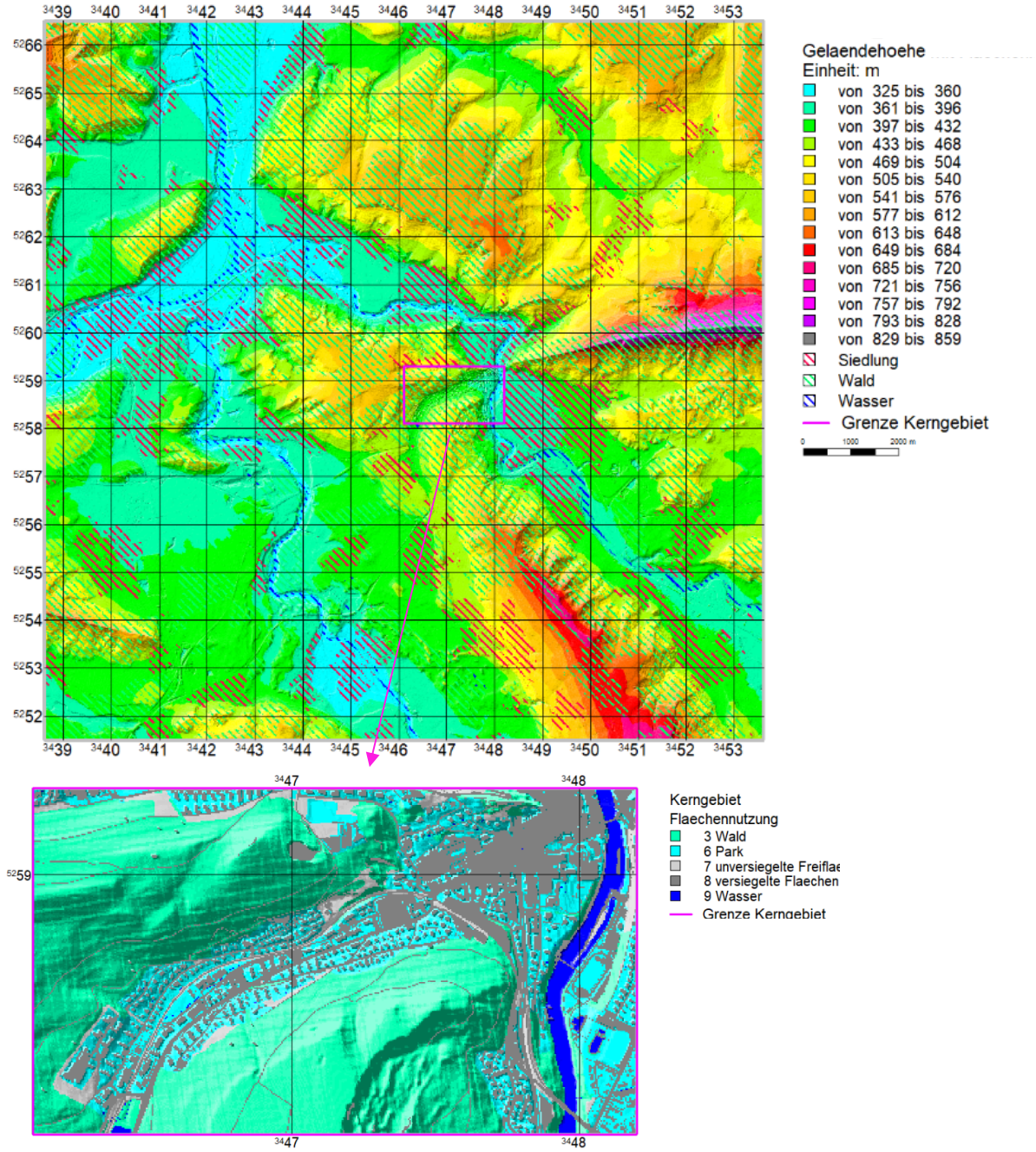


Abbildung 12: Topographie und Landnutzung des Einflussgebiets im Kaltluftabflussmodell KLAM_21 (oben) mit der detaillierten Landnutzung des Kerngebiets im Ist-Zustand Oberstadt+ (rosa Umrahmung, unten).

3.3 Randbedingungen Mikroklimamodell

Modelltag

Das Mikroklimamodell zeigt die Veränderung des Stadtklimas aufgrund der Setzung von Gebäuden und der Ausgestaltung von Grünräumen, basierend auf vordefinierten Randbedingungen wie z.B. Lufttemperatur und Windfeld. Für die Lufttemperatur wird ein typischer Sommertag, wie er in Zukunft mehrmals jährlich erwartet werden kann, angenommen. Dies ist zugleich auch die Relation zum Klimawandel, denn die Simulation repräsentiert eine Situation, welche in Zukunft eine wesentlich höhere Eintretenswahrscheinlichkeit hat als heute. Für das Modell ist vor allem der Zeitpunkt im Jahr entscheidend, da dadurch der Sonnenstand und somit die Einstrahlungsbedingungen definiert werden.

Temperatur, Luftfeuchte und Wind

Die Minimal- und Maximaltemperaturen liegen für die Randbedingungen der Modellläufe zwischen 19 und 32 °C. Für die Luftfeuchte wurde ein Standardverlauf gewählt (43-75 % im Tagesgang). Das Windfeld resultiert aus den Daten der Klimaanalyse Kanton Aargau und meteorologischen Annahmen.

Hang-/Talwindsystem

Im Untersuchungsgebiet bildet sich während austauscharmen Wetterlagen ein Hang-/Talwindsystem aus. Dies bedeutet, dass tagsüber Wind das Tal und die Hänge hoch weht und nachts die umgekehrte Richtung einschlägt. Die Windgeschwindigkeit wird auf 1-1.5 m/s gesetzt. Es handelt sich dabei um einen lauen Sommertag mit schwachen Winden in der Nacht.

3.4 Auswertung

Auswertung

Die Auswertung erfolgt in Form von zweidimensionalen Karten (in 1.8 und 2 m Höhe). Ausgewertet werden Hitzestress (als PET, physiologisch äquivalente Temperatur), Lufttemperatur und Wind für die Mikroklimasimulation sowie Kaltlufthöhe und Kaltluftvolumenstrom für die Kaltluftsimulation. Die Auswertung erfolgt - analog der Klimaanalyse Kanton Aargau - für die Zeitpunkte frühmorgens um 4 Uhr (maximale Auskühlung im Modell; Lufttemperatur, Kaltlufthöhe, Kaltluftvolumenstrom) und nachmittags um 14 Uhr (PET). Um 14 Uhr ist zwar noch nicht die Tageshöchsttemperatur erreicht, in Kombination mit dem Sonnenstand wird dann jedoch üblicherweise starker Hitzestress verspürt. Der Nachtzustand wird um 4 Uhr ermittelt, um die Vergleichbarkeit mit der Klimaanalyse sicherzustellen.

Simulierte Wirklichkeit

Die Modelle liefern eine Annäherung an die Wirklichkeit, kein perfektes Abbild. Die absoluten Werte können daher von empirischen Messungen abweichen und sind von den Randbedingungen abhängig. Bei der Interpretation der Resultate sollte das Augenmerk daher auf die entstehenden Muster und Tendenzen gelegt werden. Das Modell zeigt die Richtung auf, in die sich das Mikroklima bei entsprechenden Veränderungen entwickelt.

4 Resultate

4.1 Ist-Zustand

4.1.1 Hitzestress Tag

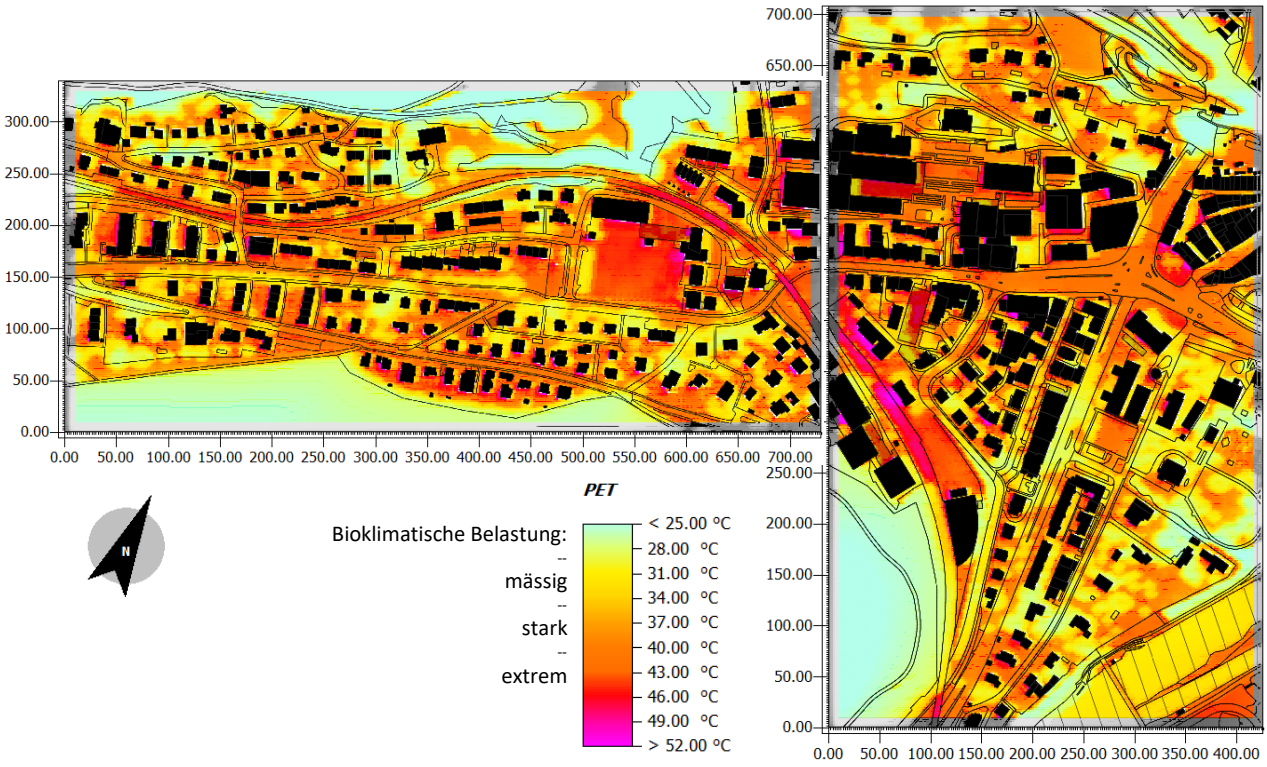


Abbildung 13: Hitzestress (PET-Verteilung) innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+.

Villa Boveri, Ruine Stein oder Waldgebiete angenehm

Die bioklimatische Belastungssituation (hier ausgedrückt mit dem Index PET) beschreibt den empfundenen Hitzestress am Tag und beinhaltet neben der direkten solaren Einstrahlung, der Lufttemperatur, dem Wind und der Luftfeuchte auch reflektierte und emittierte Strahlung. Bei der Darstellung der bioklimatischen Belastungssituation sind grosse Unterschiede über kurze Distanzen typisch, da die Beschattung den empfundenen Hitzestress stark steuert (Abbildung 13). Den niedrigsten Hitzestress weisen Gebiete mit ausreichender Beschattung und guter Durchlüftung auf, wie z.B. der Park Villa Boveri, die Umgebung der Ruine Stein oder die umliegenden Waldgebiete. Die Bäume, z.B. entlang der westlichen Mellingerstrasse, helfen an diesem Hitzetag, dass die bioklimatische Belastungssituation mässig ausfällt.

Höchstwerte vor Fassaden am Bahnhof Oberstadt, Schadenmühleplatz oder Kirchweg

Die höchsten Werte treten in schlecht durchlüfteten, stark versiegelten und unbeschatteten Gebieten auf. Dies sind z.B. die Gebäude am Bahnhof Oberstadt, am Schadenmühleplatz oder beim Eingang zur Altstadt am Kirchweg

(bioklimatische Belastung bis 50 °C). Stark versiegelte und unbeschattete Bereiche, welche jedoch gut durchströmt werden, weisen eine starke, aber keine extreme Wärmebelastung auf, wie z.B. der östliche Teil der Mellingerstrasse.

Entlastungsräume und deren Erreichbarkeit am Tag relevant, Baumreihen südlich von Trottoirs hilfreich

Am Tag haben mobile betroffene Bewohnende die Möglichkeit dem Hitzestress zu entfliehen. Entlang von Strassen können Baumreihen für einen angenehmen Transfer zur nächsten Entlastungsfläche sorgen. Vorausgesetzt, dass bei einer baulichen Verdichtung genügend Freiräume geschaffen wurden. Am effektivsten sind solche Baumreihen südlich bis südwestlich von Strassen und Trottoirs. Entlastungsräume sind, vor allem im westlichen Bereich, nahe und gut erreichbar (vgl. Kapitel 2).

Sensitive Einrichtungen

Schülerinnen und Schüler können während dem Unterricht oder den Pausen keine entfernten Entlastungsflächen erreichen. Zudem sind Klassenzimmer an Sommertagen meist stark aufgeheizt, weil oft gelüftet werden muss. Daher müssen in der nahen Umgebung oder auf dem Areal von sensitiven Einrichtungen, wie z.B. den Schulen / Kindergärten Tanegg, Ländli, Pfaffenkappe, Burghalde oder der Musikschule, Entlastungsräume geschaffen werden, resp. erhalten bleiben und aufgewertet werden.

4.1.2 Windzirkulation Tag

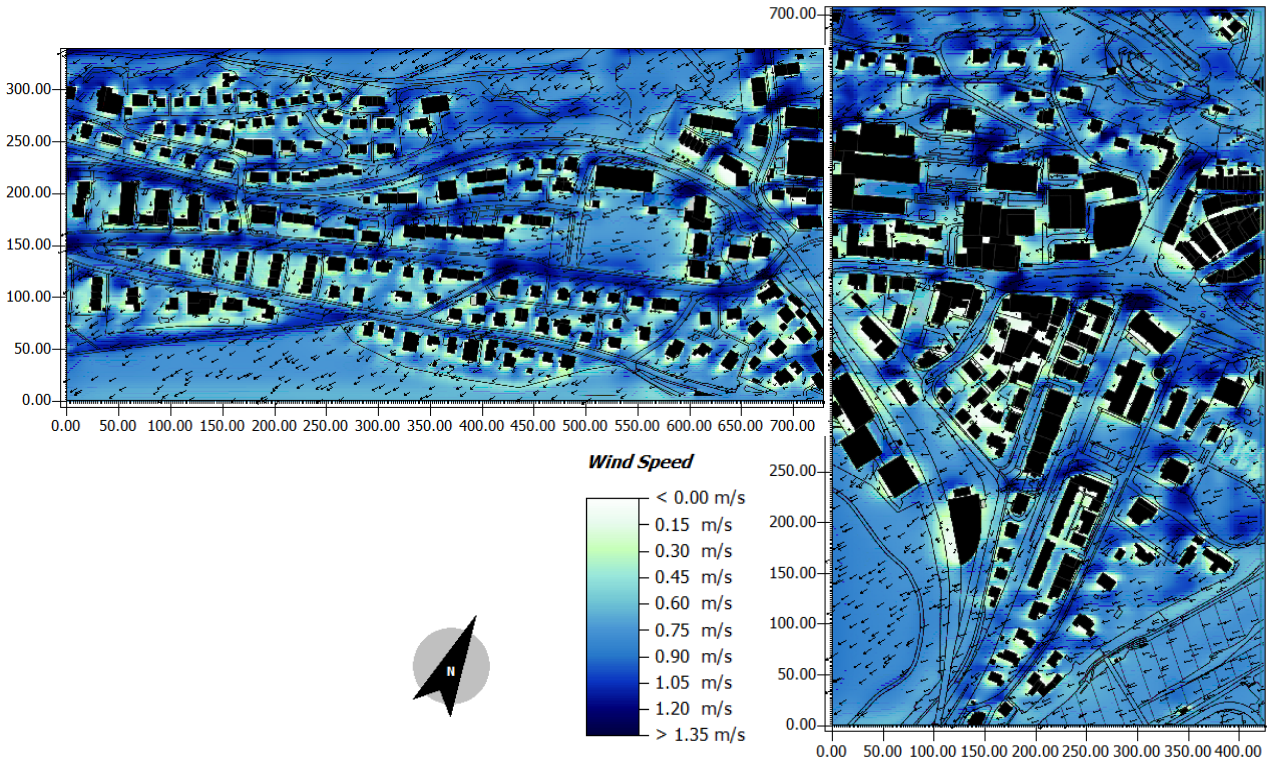


Abbildung 14: Windgeschwindigkeit und Windrichtung innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+.

Freiflächen und breite Strassen mit guter Durchströmung, wie Mellingerstrasse und Villa Boveri

Das Windfeld im Untersuchungsgebiet ist tageszeitlich variierend, sodass am Tag eher eine Nordost-Strömung und in der Nacht eine Südwestströmung vorherrscht. Die Windzirkulation ist ein wichtiger Parameter für die Berechnung der bioklimatischen Belastung. Ausserdem begünstigt eine gute Durchströmung die Auskühlung eines Gebiets abends und nachts. Im vorliegenden Untersuchungsraum sind besonders die längs dem Tal verlaufenden Strassenräume, wie z.B. die Mellingerstrasse, sowie Bahngleise gut durchströmt. Auch offene Freiflächen und Parkanlagen, wie z.B. die Villa Boveri, weisen eine gute Durchlüftung auf. Dichte Bebauungssituationen führen dazu, dass auf Bodenniveau annähernd Windstille herrscht, wie im Gebiet zwischen Oberstadtstrasse und Zürcherstrasse (zentral im Perimeter S2).

geopartner
Umwelt | Ressourcen Management

4.1.3 Auskühlung Nacht

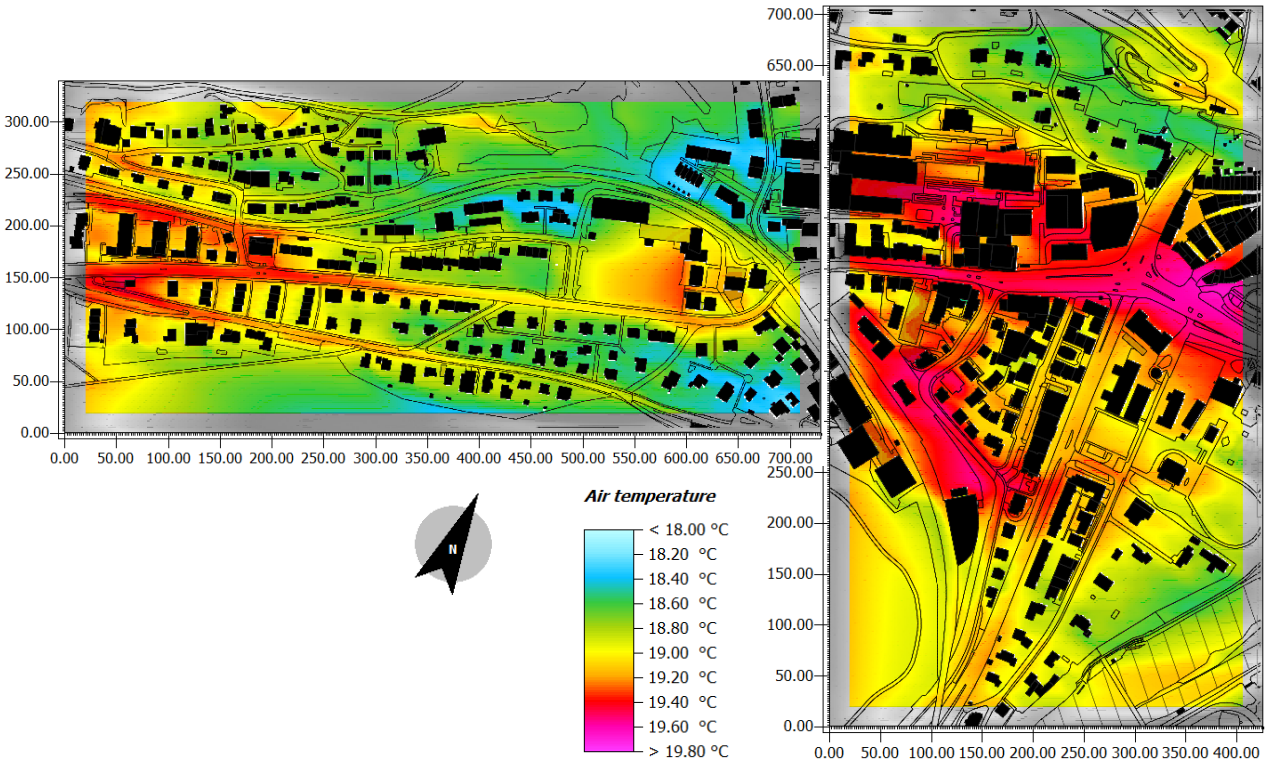


Abbildung 15: Lufttemperaturverteilung innerhalb der Modellumgebung um 04 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+.

Oberfläche steuert die Auskühlung

Die Auskühlung in der Nacht ist massgeblich davon abhängig, wie viel der ankommenden solaren Strahlung am Tag an der Oberfläche reflektiert oder absorbiert wird, wie viel Energie für die Verdunstung aufgewendet wird und wie effektiv die Energie nach Sonnenuntergang wieder abgegeben werden kann. Stark versiegelte Bereiche mit viel Fassadenfläche pro Grundfläche bleiben daher nachts wärmer als offene unversiegelte und begrünte Freiflächen.

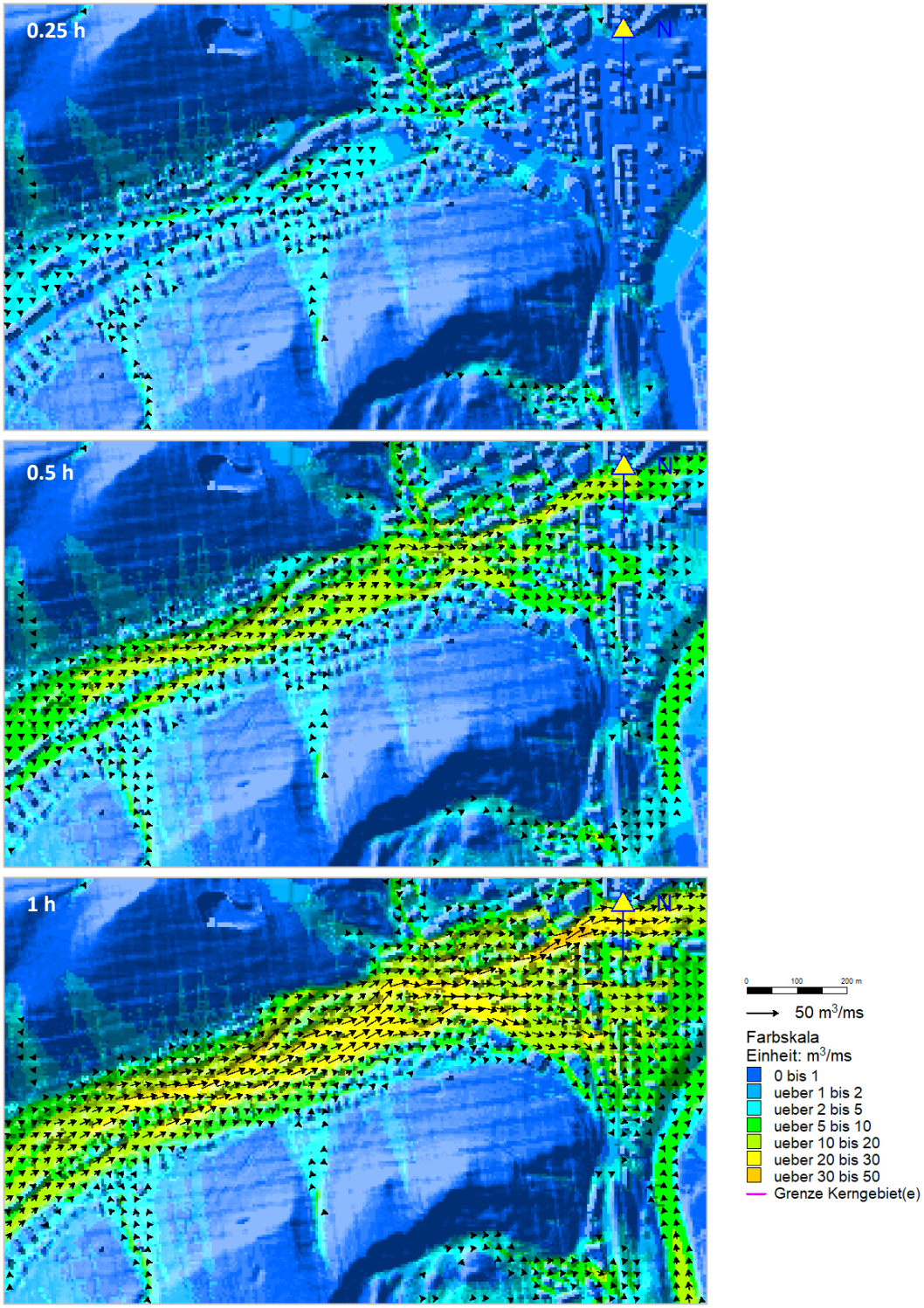
Stark begrünte Quartiere kühlen gut aus (Felsenstrasse, am Kreuzliberg, Stadtbachstrasse)

Ersichtlich ist dies ausserhalb des bebauten Gebiets, z.B. bei der Ruine Stein, oder in Quartieren mit starker Durchgrünung, z.B. an der Felsenstrasse, am Kreuzliberg (östlich in Perimeter S1) oder an der Stadtbachstrasse (westlich des Schadenmühleplatzes). Auch städtische Parkanlagen können nachts gut auskühlen, wie z.B. die Villa Boveri an der Limmat.

Höchste Werte bei stark versiegelten Flächen mit Randbebauung, z.B. Bahnhof Oberstadt oder Schulhausplatz

Die höchsten nächtlichen Temperaturwerte sind entlang der Mellingerstrasse (Ost und West), an den Bahngleisen, am Schadenmühleplatz und am Schulhausplatz zu finden. Bereiche mit offenerer Bebauung und mehr Grünflächen weisen deutlich tiefere Temperaturen auf. Auch Gassen, welche tagsüber mehrheitlich beschattet sind, weisen tiefere Temperaturen auf.

4.1.4 Kaltluftabfluss Nacht



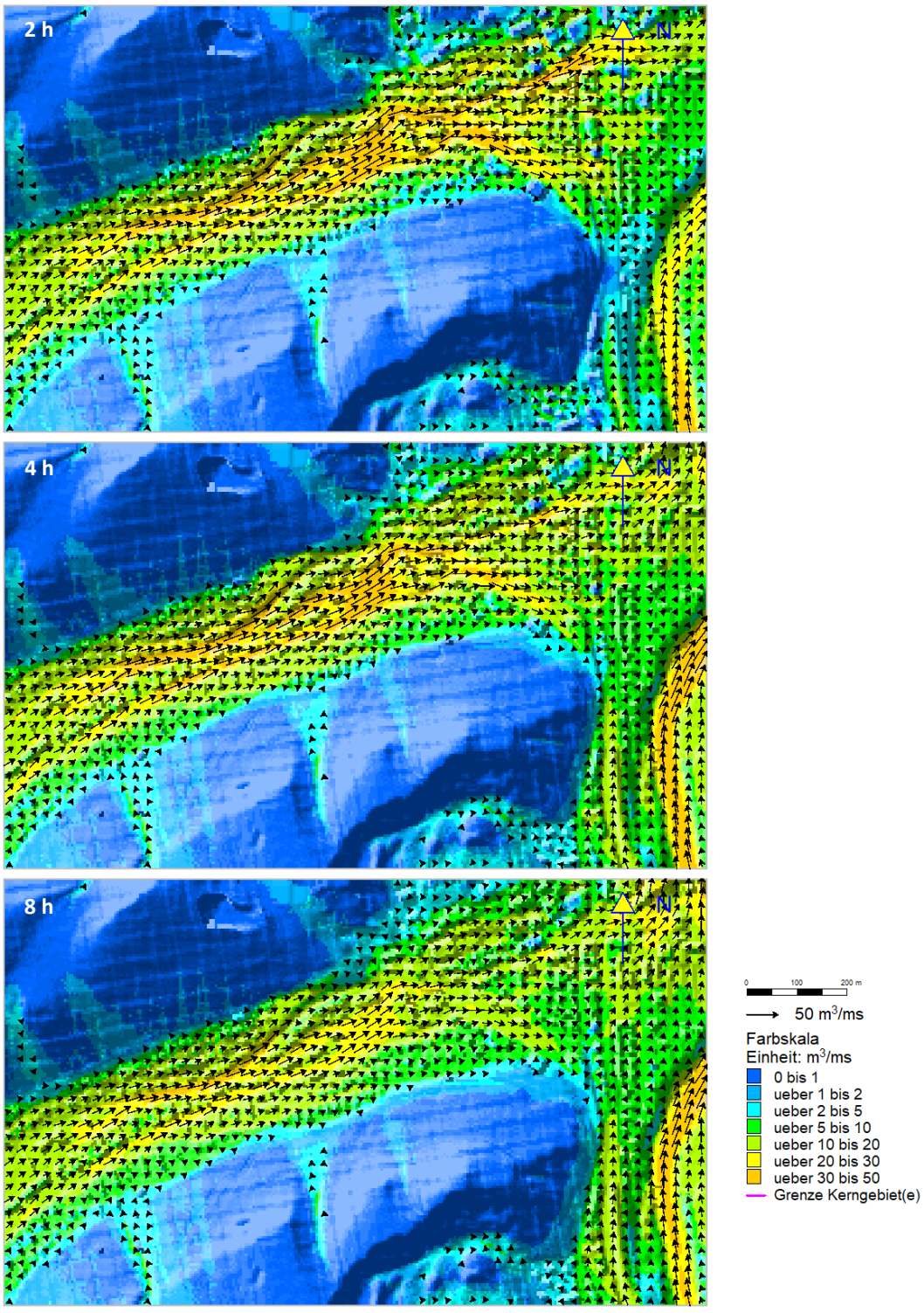


Abbildung 16: Ablauf des Einfliessens nächtlicher Kaltluft aus der Umgebung in Kombination mit lokaler Kaltluftproduktion, dargestellt als Volumenstrom (Pfeile mit Richtung des Stroms). Die Zeitpunkte entsprechen von oben nach unten: 0.25 h, 0.5 h, 1 h, 2 h, 4 h und 8 h nach Sonnenuntergang.

Kaltluftvolumenstrom zeigt Versorgung mit Kaltluft

Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt wie viel Kubikmeter Kaltluft, welche nach Sonnenuntergang ausserhalb der Siedlungsflächen produziert wird, pro Sekunde eine Gitterzelle passiert. Die Pfeile in Abbildung 16 zeigen dabei die Richtung und Stärke der Strömung. Der Kaltluftvolumenstrom hilft zu verstehen, welche Gebiete wie gut mit nächtlicher Kaltluft versorgt werden und wo sich wichtige Kaltluftschneisen befinden.

Höchste Werte bei gesammelter Kaltluft, welche fliessen kann, z.B. entlang Mellingerstrasse oder an Bahngleisen

Die höchsten Werte treten in Tallagen mit Abfluss auf. Ersichtlich ist dies z.B. entlang der Mellingerstrasse oder an den Bahngleisen. Steht die Kaltluft und wird sie gestaut, ist der Volumenstrom gering, z.B. in der Oberstadt. Gleiches gilt für Entstehungsgebiete mit stetigem Abfluss, wie Wälder in Hanglage (oberhalb Sonnmatt, Kehl und Ziegelhau oder der Tüfels-Chäller). Dort wird zwar viel Kaltluft produziert, diese fliesst aber rasch ab.

Anfangs sehr lokal z.B. im Bereich Meierhof oder Ziegelhau, zunehmender Einfluss des gesamten Einzugsgebiets entlang Limmat

Anfangs ist der Kaltluftvolumenstrom stark von den lokalen Kaltluftflüssen der umliegenden Hänge, wie z.B. entlang der Geländeeinschnitte am Sonnenberg oder Kreuzliberg, beeinflusst. Nach einiger Zeit nimmt der Einfluss der Kaltluftströmung des Einzugsgebiets der Limmat, besonders im östlichen Teil, zu.

Bodennahes Windfeld nicht gleich Kaltluftvolumenstrom, siehe Darstellung nächste Seite

Der Kaltluftvolumenstrom ist nicht mit dem bodennahen Windfeld gleichzusetzen. Die Windpfeile in Abbildung 17 helfen besser zu verstehen, wie sich das nächtliche Windfeld kleinräumig ausbildet (Geschwindigkeit und Richtung) und weist auf Gebiete mit stetigem Windfluss vom Hang ins besiedelte Gebiet aber kleinem Volumen, z.B. Waldränder wie am Fuss des Kreuzlibergs, hin.

Kaltlufthöhe zeigt Überströmen der Gebäude

Farblich dargestellt ist dabei auch die Kaltlufthöhe. Diese zeigt, welche Gebäude zu welchem Zeitpunkt in der Nacht von Kaltluft überströmt werden (rote Flächen werden nicht überströmt) und wo die Kaltluft die Bebauung durchströmt.

Anfangs dominiert Abfluss an den Hängen

Solange das Tal noch nicht mit Kaltluft gefüllt ist (z.B. nach 4 h ersichtlich in Abbildung 17), dominieren kleinräumige Strömungsmuster. Entlang den Hängen werden die offenen Einfamilienhaussiedlungen dabei sehr gut durchströmt (z.B. Bernerstrasse). Auf der Talsohle dominieren schon früh Strömungen entlang der Talachse und als Kaltluftpfad dienen z.B. die Mellingerstrasse und die Gleise. Mit zunehmendem Auffüllen des Tals mit Kaltluft dominiert auch an den Hängen die Strömung entlang der Talachse (Windpfeile in Abbildung 17).

Riegelbauten entlang Siedlungssaum vermeiden

Breitere Lücken können sehr wichtig sein für den Kaltluftabfluss von den Hängen. Ersichtlich ist dies z.B. beim Zentrum für Bildung entlang dem Gleisbogen (ungefähr Mitte rechts in Abbildung 17, erste und zweite Karte von oben). In Hanglagen, vor allem in solchen Siedlungssaumgebieten, sollten daher hohe hangparallele Riegelbauten vermieden werden. Auf der Talsohle sind für den Kaltluftabfluss im vorliegenden Fall Riegelbauten entlang der Talachse weniger problematisch, da sich hier die Strömung entlang der Strassen und Gleise ausbildet.

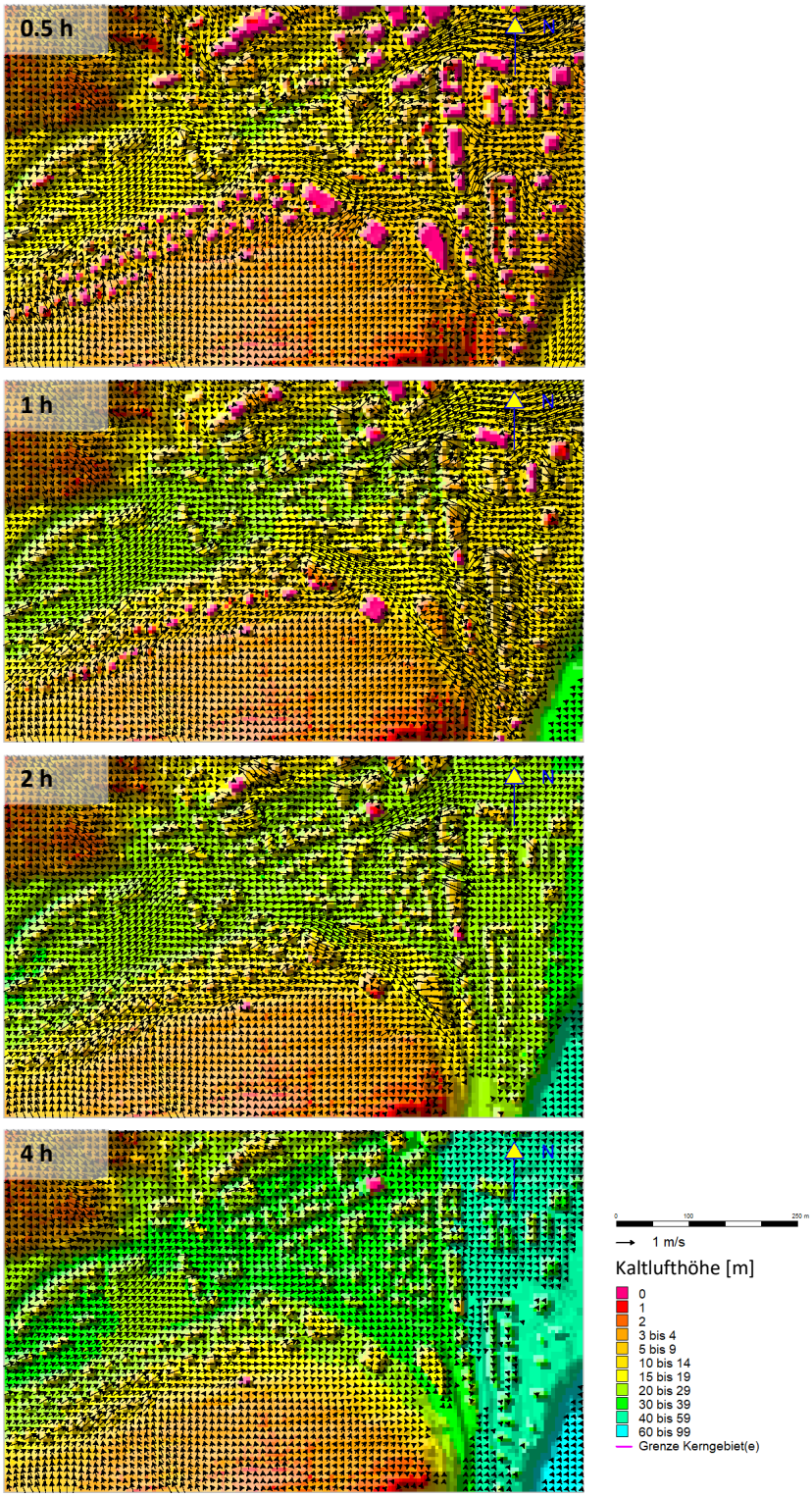


Abbildung 17: Kaltlufthöhe und Windströmung in 2 m über Grund 0.5 h, 1 h, 2 h und 4 h nach Sonnenuntergang (von oben nach unten).

geopartner
Umwelt | Ressourcen
Management

4.2 Zielbild Variante 1

4.2.1 Hitzestress Tag

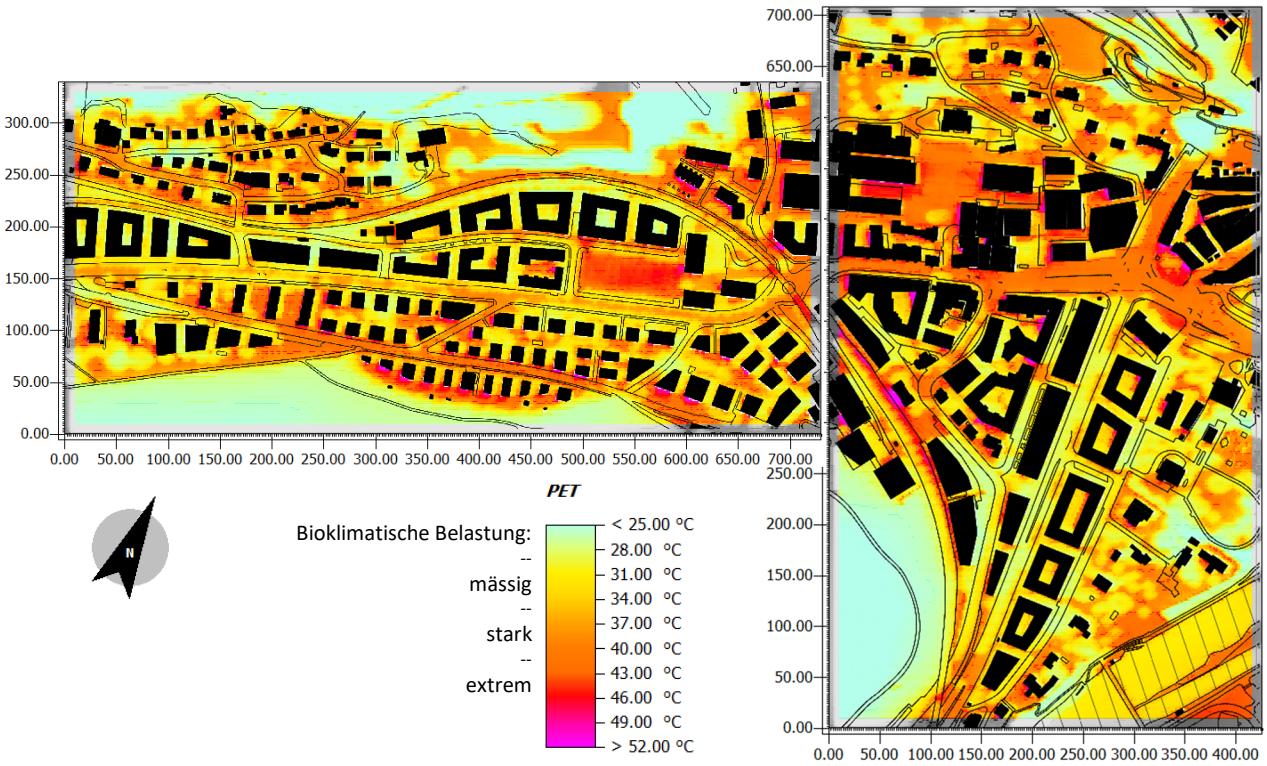


Abbildung 18: Hitzestress (PET-Verteilung) innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ im Zielbild.

Wie lässt sich trotz Verdichtung ein angenehmes Stadtklima erreichen?

Die Simulationen sollten zeigen, wie sich die Verdichtung der Oberstadt auf das Stadtklima auswirkt und die Frage beantworten, wie Verdichtung erfolgen kann, damit weiterhin ein angenehmes Stadtklima vorherrscht. Die Simulation basiert auf dem vom ETH Wohnforum – ETH CASE und CONT-S GmbH erarbeiteten Zielbild und zeigt eine bezüglich der Umgebungsgestaltung eine idealisierte Situation, bei der die markante Verdichtung mit einem minimalen Versiegelungsgrad und einem sehr dichten Baumbestand im Strassenraum kompensiert wird. Es muss davon ausgegangen werden. Daher stellt auch die resultierende Klimasituation ein idealisiertes Bild dar, da eine künftige Feinerschliessung zu den Bauten und realistische Baumabstände nicht berücksichtigt sind.

Dank Bäumen geringer Hitzestress an Mellinger- und Neuenhoferstrasse

Dank den Baumreihen (idealisierte Annahme Zielbild) und der minimalen Versiegelung (ohne Berücksichtigung Feinerschliessung auf den einzelnen Grundstücken) ist der Hitzestress entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse trotz dichterer Bebauung nur mässig ausgeprägt. Extremer Hitzestress entsteht, wie schon im Ist-Zustand, an besonnten und schlecht belüfteten Fassaden (Schadenmühleplatz, Bahnhof Oberstadt). Eine starke Wärmebelastung

herrscht über besonnten und versiegelten Flächen, welche gut durchströmt werden können (z.B. Mellingerstrasse Ost).

Innenhöfe funktionieren aus stadtklimatischer Sicht mehrheitlich gut dank guter Beschattung

Die Innenhöfe schneiden aufgrund der Beschattung durch die umliegenden Gebäude mehrheitlich gut ab. In den nordöstlichen Ecken, wo zum betrachteten Zeitraum keine Beschattung vorherrscht, entsteht jedoch extremer Hitzestress.

Innenhöfe mit Bäumen schneiden am besten ab

Der Vergleich von Innenhöfen mit Rasen, bzw. mit Rasen und Bäumen sowie von solchen mit versiegelter Flächen zeigt (Versuchsreihe nördlich Schadenmühleplatz mit drei Höfen, vgl. Abbildung 11), dass in den versiegelten Innenhöfen am meisten Hitzestress entsteht. Allerdings ist der Unterschied zu den unversiegelten Höfen mit Rasen gering, solange die Höfe nicht zu gross sind (Schatten). Die Höfe mit vier mittelgrossen Bäumen schneiden bezüglich thermischer Behaglichkeit deutlich besser ab als die übrigen Höfe. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Bäume mehrere Jahrzehnte brauchen, um die simulierte Grösse zu erreichen und den gesamten Innenhof zu beschatten.

4.2.2 Windzirkulation Tag

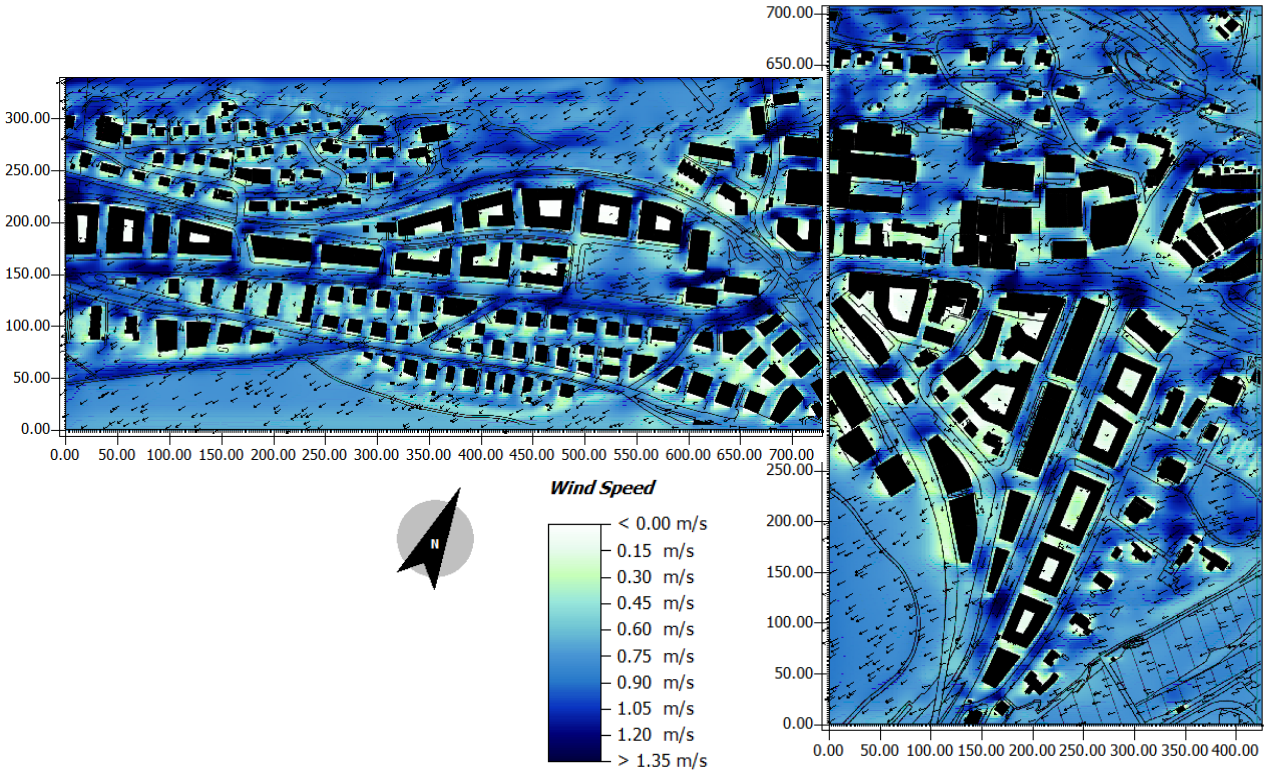


Abbildung 19: Windgeschwindigkeit und Windrichtung innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ im Zielbild.

Windzirkulation entlang von Strassen gut (solange nicht quer zum Windfeld), in den Innenhöfen nicht

Die Windzirkulation funktioniert vor allem entlang der breiten Strassen gut. In Innenhöfen werden praktisch windstille Bedingungen geschaffen, was den Hitzestress erhöht. Dies kann problematisch sein, wenn die Beschattung im Hof nicht ausreichend ist. Durch die grossen Volumen entstehen in den Durchgängen auch höhere Windgeschwindigkeiten, was unter gewissen Bedingungen das Wohlbefinden beeinträchtigen kann. Im Sommer sind diese Beschleunigungseffekte eher angenehm.

Gebiet um ehemaliges Kapuzinerkloster mit schlechter Durchströmung, was mit sehr guter Beschattung kompensiert werden kann.

Die eigentliche Oberstadt, eingeschlossen von Neuenhoferstrasse, Mellingerstrasse und Bahnlinie im Perimeter S2 (Umgebung ehemaliges Kapuzinerkloster) kann aufgrund der dichten und hohen Blockrandbebauung nicht gut durchströmt werden. Ausserdem ist das Gebiet auch in der weiteren Umgebung dicht bebaut. Die Durchlüftung könnte tagsüber über die Mellingerstrasse erfolgen, wenn die Blockrandbebauung aufgelöst würde. Die grossen Höfe innerhalb dieses Gebiets wären dann jedoch noch immer schlecht belüftet, solange nicht breite Lücken auf der windzugewandten und -abgewandten Seite erstellt werden. Wenn an der Blockrandbebauung festgehalten wird, muss sichergestellt werden, dass die windschwachen Gebiete (z.B. im Bereich ehemaliges Kapuzinerkloster, Ecke zwischen Mellingerstrasse und Bahngleise im Perimeter S2) sehr gut mit Bäumen beschattet sind.

4.2.3 Auskühlung Nacht

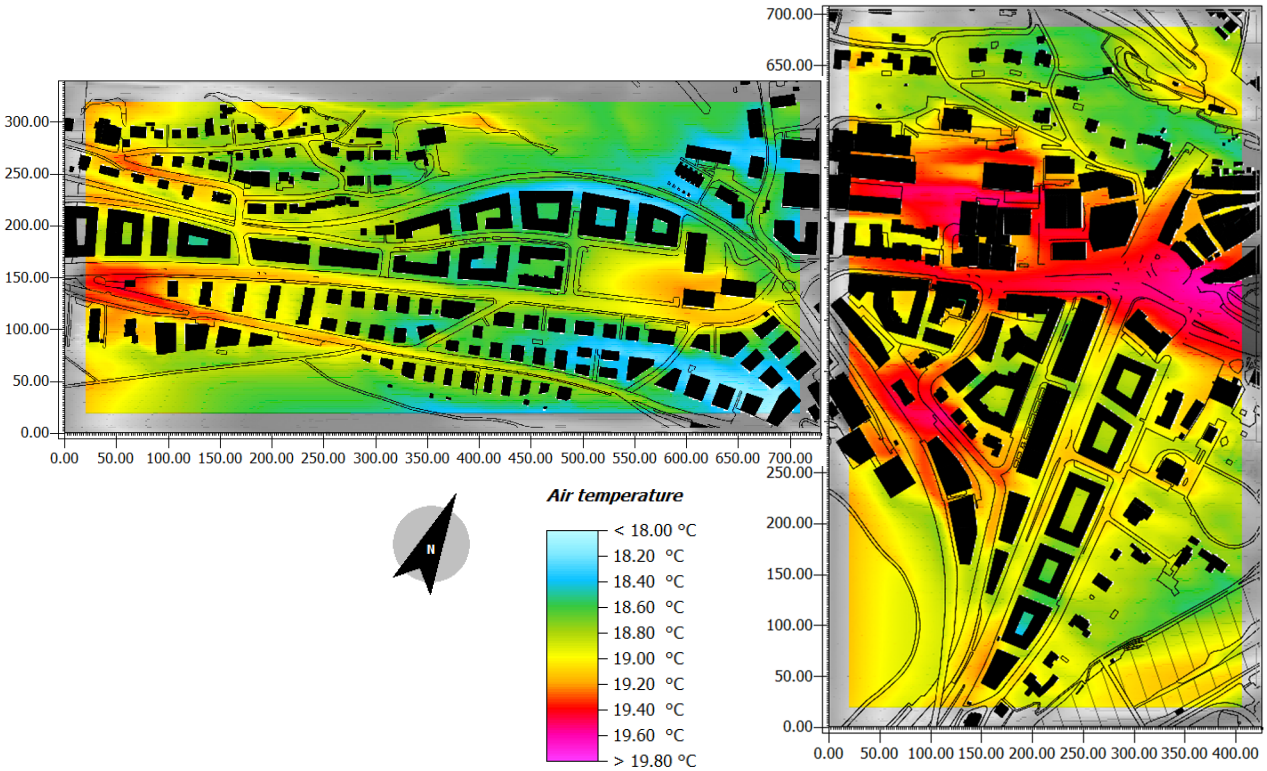


Abbildung 20: Lufttemperaturverteilung innerhalb der Modellumgebung um 04 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ im Zielbild.

Wie lässt sich trotz Verdichtung eine gute Auskühlung nachts erreichen?

Wie schon für den Hitzestress in Kapitel 4.2.1 beschreiben, sollte die Simulationen zeigen, wie sich die Verdichtung der Oberstadt auf das Stadtklima auswirkt und die Frage beantworten, wie die Verdichtung realisiert werden soll, damit nachts eine gute Auskühlung erfolgen kann. Die Simulation basiert auf dem vom ETH Wohnforum – ETH CASE und CONT-S GmbH erarbeiteten Zielbild und zeigt eine idealisierte Situation, bei der die markante Verdichtung mit einem minimalen Versiegelungsgrad und einem sehr dichten Baumbestand im Strassenraum kompensiert wird. Daher stellt auch die resultierende Klimasituation ein idealisiertes Bild dar, da eine künftige Feinerschliessung zu den Bauten und realistische Baumabstände nicht berücksichtigt sind.

Viele unversiegelte Flächen führen zu guter Auskühlung, trotz dichter Bebauung (nicht berücksichtigt ist eine zusätzliche Versiegelung durch die Feinerschliessung der einzelnen Grundstücke)

Die Auskühlung in der Nacht funktioniert in und um die Höfe mit minimaler Versiegelung gut. Würde die zusätzliche Versiegelung durch die Feinerschliessung der einzelnen Grundstücke berücksichtigt, wäre die Auskühlung um die neu gesetzten Gebäude eingeschränkt. Das standardisierte Tool INKAS des Deutschen Wetterdienstes [11] gibt für eine exemplarische Blockbebauung eine nächtliche Temperaturzunahme von 0.2 °C bei einer Zunahme des Versiegelungsgrads der Freiflächen von 10 % auf 20 % als Grössenordnung an. Bei einer Zunahme von 10 % auf 40 % würde die nächtliche Temperaturzunahme bis zu 0.5 °C betragen (bei 80 % Versiegelung bis 1 °C).

Stark überwärmte Gebiete – «Hotspots»

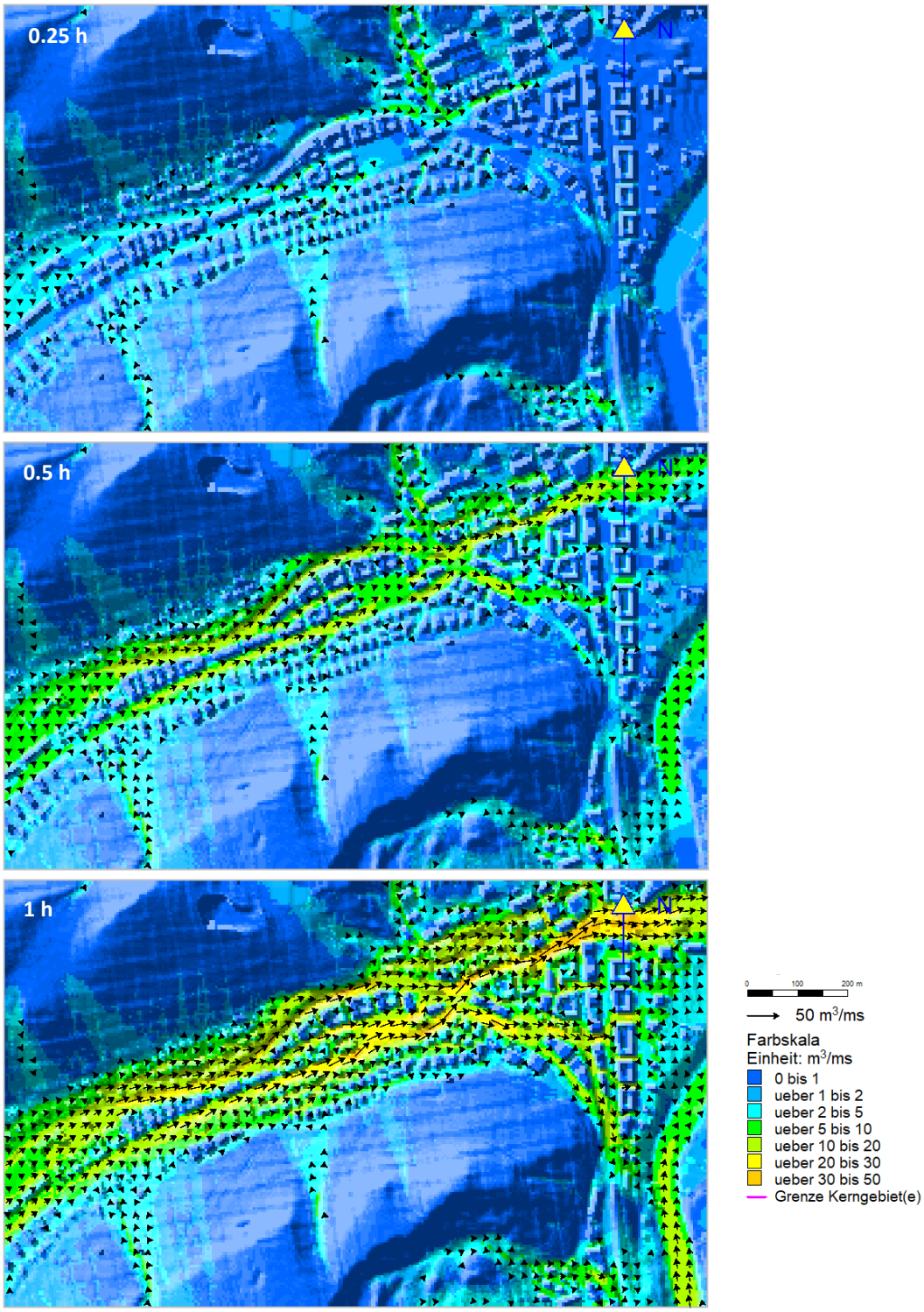
Die am stärksten überwärmten Gebiete sind in dieser Simulation von West nach Ost (Grund für Überwärmung in Klammer):

- Abzweigung Mellingerstrasse im Perimeter S1 (viel Strassenfläche pro Grundfläche)
- Mellingerstrasse nach dem Schadenmühleplatz im Perimeter S1 (viel Strassenfläche und sonstige versiegelte Fläche pro Grundfläche)
- Umgebung des Bahnhofs Oberstadt (viel versiegelte Platzfläche pro Grundfläche)
- Gebiet Burghalde (viele Gebäude und versiegelte Fläche in den Geodaten, evtl. etwas überschätzt)
- Schulhausplatz (starke Versiegelung und von Gebäuden umgeben)

Kaltlufteinfluss aus Umgebung Bahnhof Oberstadt

Die Umgebung des Bahnhofs Oberstadt kann im Verlauf der Nacht von Kaltluftabfluss entlang der umliegenden Hänge profitieren, sofern die hangseitige Bebauung nicht zu stark blockiert. Dies würde die Auskühlung nachts verbessern, was mit der Kaltluftabflusssimulation aufgezeigt wird (siehe Kapitel 4.1.4 und 4.2.4).

4.2.4 Kaltluftabfluss Nacht



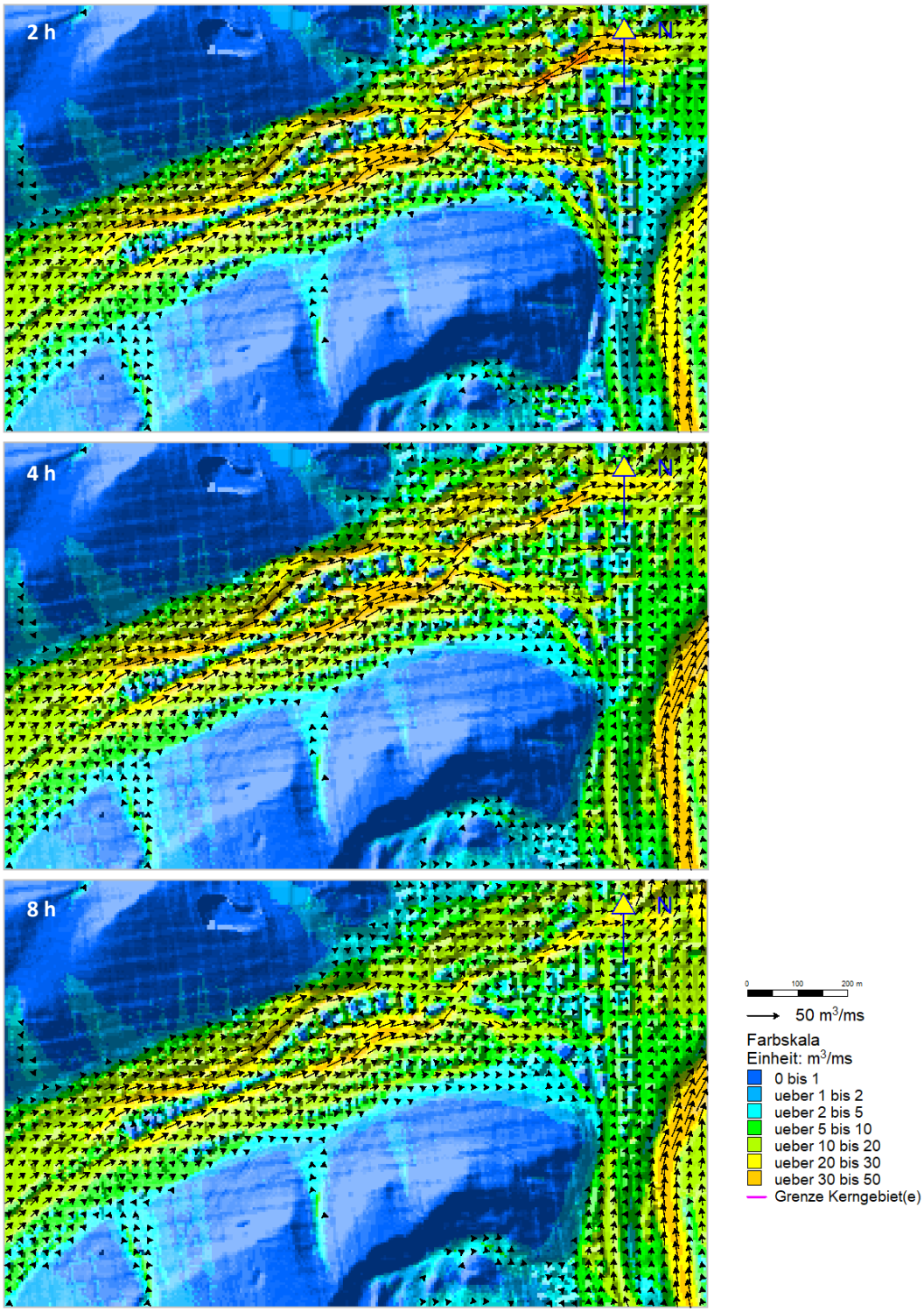


Abbildung 21: Ablauf des Einfliessens nächtlicher Kaltluft aus der Umgebung in Kombination mit lokaler Kaltluftproduktion, dargestellt als Volumenstrom (Pfeile mit Richtung des Stroms). Die Zeitpunkte entsprechen von oben nach unten: 0.25 h, 0.5 h, 1 h, 2 h, 4 h und 8 h nach Sonnenuntergang im Zielbild.

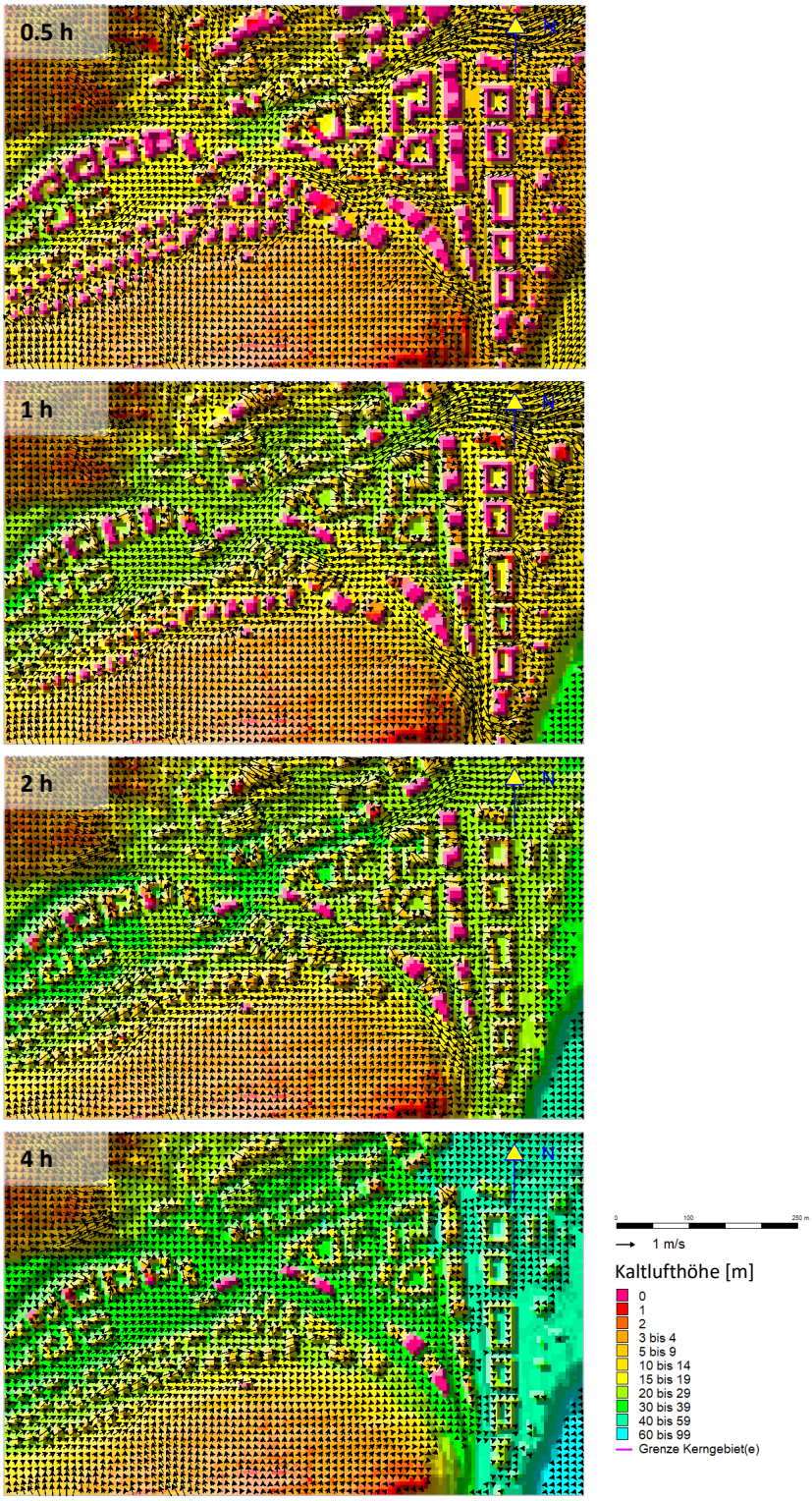


Abbildung 22: Kaltlufthöhe und Windströmung in 2 m über Grund 0.5 h, 1 h, 2 h und 4 h nach Sonnenuntergang (von oben nach unten) im Zielbild.

Kaltluftabfluss im Zielbild gestört und erreicht Wohngebiete / Häuser teilweise nicht mehr

Der im Ist-Zustand sehr gut funktionierende Kaltluftabfluss wird im Zustand Zielbild (entspricht Variante 1) in der Nacht aufgrund der grösseren und breiteren Gebäude im Allgemeinen erheblich gestört. Die Kaltluft gelangt im westlichen Teil jedoch noch immer gut zur Mellingerstrasse, sammelt sich auf dem Talboden und fliesst Richtung Innenstadt ab. Der Abfluss wird sich vermehrt auf die Strassenbereiche verschieben und auch etwas beschleunigen. Die Bereiche zwischen den Blöcken werden nicht gut durchströmt.

Rückstau führt zu geringeren Fliessgeschwindigkeiten

Im Modell wird sich im Verlaufe der Nacht durch zunehmendes Rückstauen die Fliessgeschwindigkeit im gesamten Talboden leicht verringern.

Neue Pfade für Kaltluftfluss

Markante Unterschiede zum Ist-Zustand sind z.B. nördlich vom Schadenmühleplatz zu beobachten. Hier kann die Kaltluft nicht mehr frei über und um den Platz strömen, sondern muss südlich und nördlich davon ausweichen. Die Folge sind verstärkte Volumenströme auf der Mellingerstrasse und nördlich entlang der Bahnlinie. Die Bebauung selbst wird auch hier zwischen den Blöcken nicht durchströmt. Die Wohngebiete profitieren somit weniger vom Kaltluftabfluss und die Gebiete kühlen sich weniger ab, was mehr Tropennächte zur Folge hat. Um dies zu verhindern, müssten die Gebäudeabstände grösser werden und die Bebauung auf die bestehenden Kaltluftschneisen ausgerichtet werden. Mittel, um die fehlende Kaltluft zu kompensieren, sind auch ein geringerer Versiegelungsgrad und mehr Grünräume in der Bebauung, da das Gebiet selbst dadurch besser auskühlt.

Ausweichen entlang der Waldränder

Es fällt zudem auf, dass an den Waldrändern nördlich und südlich der Bebauung eine Ausweichströmung simuliert wird, da sich die Kaltluft vor den Bauten rückstaut und diese grossräumig umströmt.

Oberstadt schlechter mit Kaltluft versorgt

Der Fluss entlang des Tals funktioniert bis kurz nach dem Schadenmühlenplatz noch gut, da die Luft auf die Strassen ausweichen kann. Im Bereich des ehemaligen Kapuzinerklosters (eigentliche Oberstadt) beginnt ein deutlicher Luftmassenstau, welcher durch die hohe und dichte Bebauung an der Neuenhoferstrasse verstärkt wird. Der Volumenstrom wird dadurch reduziert. Sobald der grossräumige Kaltluftabfluss im späteren Verlauf der Nacht entlang der Limmat einsetzt, können die Gebäude entlang der Neuenhoferstrasse davon leicht profitieren. Nahe der Parkanlage Villa Boveri entlang der Limmat kann von örtlich produzierter Kaltluft profitiert werden. Innerhalb der eigentlichen Oberstadt funktioniert die Kaltluft-Versorgung jedoch deutlich schlechter als im Ist-Zustand.

Gebäude ragen auch noch frühmorgens aus dem Kaltluftsee und werden auch in der späten Nacht in den oberen Bereichen nicht mit Kaltluft versorgt

Gut ersichtlich ist auch, dass im Zustand Zielbild auch noch nach Ausbildung des Kaltluftsees einige Gebäude über die Kaltluftschicht hinausragen. Diese beträgt in der Talsohle 30-39 m. Das bedeutet, dass auch zu einem späteren Zeitpunkt in der Nacht das Windfeld noch erheblich gestört wird, wohingegen im Ist-Zustand zu diesem Zeitpunkt die meisten Gebäude überströmt werden und das Windfeld dadurch weniger stark beeinflussen.

geopartner
Umwelt | Ressourcen
Management

4.3 Zielbild Variante 2

4.3.1 Hitzestress Tag

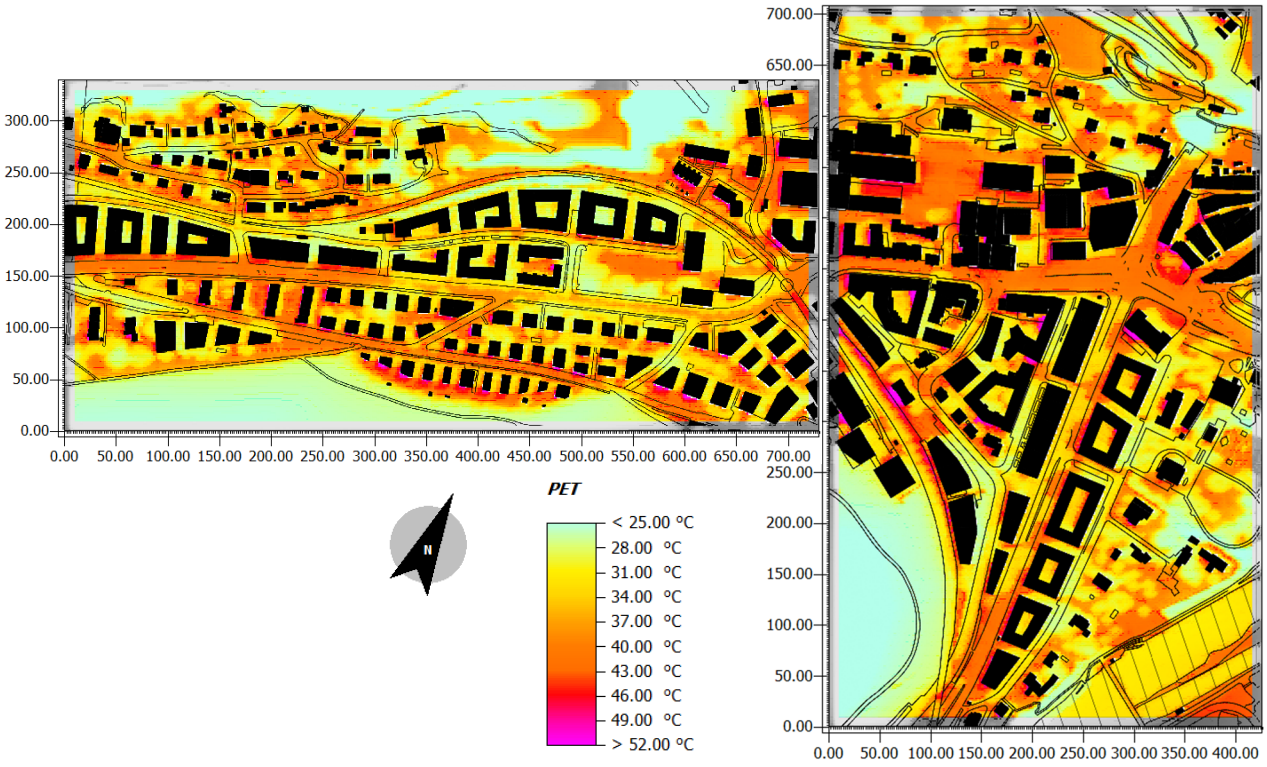


Abbildung 23: Hitzestress (PET-Verteilung) innerhalb der Modellumgebung um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ im Zielbild als Variante ohne Bäume entlang der Mellinger- und Neuenhoferstrasse sowie einem begrünten Schadenmühleplatz.

Weniger Baumreihen und unversiegelte Höfe

Im Vergleich zum Zielbild V1 wurden entlang der Mellingerstrasse West im Perimeter S1 und der Neuenhoferstrasse im Perimeter S2 die Baumreihen entfernt. Zudem wurde im Perimeter S1 ein anderer Block versuchsweise versiegelt, dafür wurde der versiegelte Block im Zielbild V2 mit einer Rasenfläche ausgestattet. Auch im Perimeter S2 wurden zwei Blöcke neu mit versiegelten Oberflächen gerechnet. Der Schadenmühleplatz wurde zudem als Parkanlage, welche ca. zur Hälfte mit Bäumen bedeckt ist, gerechnet. Ersichtlich sind die Veränderungen in Abbildung 11, S. 16.

Extremer Hitzestress entlang Mellingerstrasse ohne Bäume

Es wird deutlich, dass die Wegnahme der Bäume entlang der Mellingerstrasse den Hitzestress im Strassenbereich durch die mangelnde Beschattung extrem werden lässt (bioklimatische Belastung >41 °C, punktuell bis 50 °C; siehe auch Differenzkarten in Kapitel 4.4.1). Der hohe Versiegelungsgrad und die aufheizenden Fassaden tragen zusätzlich dazu bei. Dank der guten Windzirkulation entlang der Strasse steigt der Hitzestress im Modell nicht noch mehr an. Unter

vollständig windstillen Bedingungen könnte sich die Situation daher noch mehr verschlechtern.

Neuenhoferstrasse mit besserer Beschattung durch Gebäude

An der Neuenhoferstrasse fällt die Wegnahme der Bäume weniger stark ins Gewicht, da der westliche Teil durch die angrenzenden und vereinzelt hohen Gebäude am frühen Nachmittag verschattet wird. Hier herrscht im Strassenraum im Gebäudeschatten mässiger (30-34 °C PET), in der Sonne bei guter Belüftung starker (>35 °C PET) und vor Gebäuden an besonnten sowie schlecht belüfteten Fassaden extremer Hitzestress (>41 °C PET).

4.3.2 Auskühlung Nacht

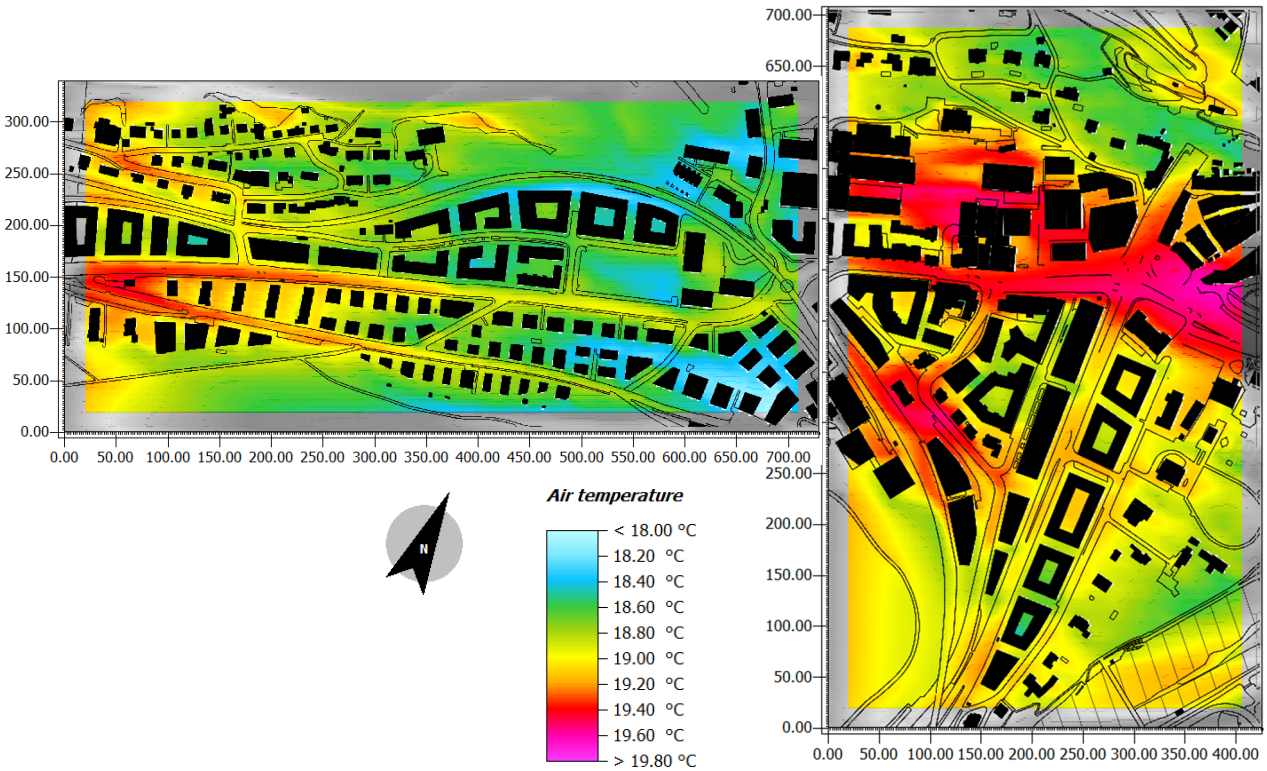


Abbildung 24: Lufttemperaturverteilung innerhalb der Modellumgebung um 04 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ im Zielbild als Variante ohne Bäume entlang der Mellinger- und Neuenhoferstrasse sowie einem begrünten Schadenmühleplatz.

Schlechtere Auskühlung aufgrund fehlender Bäume

Die Strassen, an denen Baumreihen entfernt wurden, kühlen weniger ab und bleiben daher wärmer (z.B. Knoten Mellingerstrasse/Bernerstrasse). Der Einfluss ist auch im Abstrombereich noch spürbar. In den Differenzkarten in 4.4.2 kann dies gut nachvollzogen werden.

Versiegelte Höfe kühlen deutlich schlechter ab und bleiben nachts wärmer

Die schlechtere Auskühlung der Höfe aufgrund der Versiegelung wird ebenfalls in den Differenzkarten in Kapitel 4.4.2 gut sichtbar. In Abbildung 24 kann die Tendenz zu schlechterer Auskühlung der versiegelten Höfe bereits erahnt werden, besonders in den Höfen entlang der Neuenhoferstrasse. Die dabei beobachteten Unterschiede mögen gering erscheinen, bei den kritischen nächtlichen Temperaturen haben aber schon Zehntelgrade einen grossen Einfluss auf das Wohlbefinden und die Schlafqualität.

geopartner
Umwelt | Ressourcen
Management

4.4 Differenzkarten

4.4.1 Hitzestress Tag

Ist zu V1

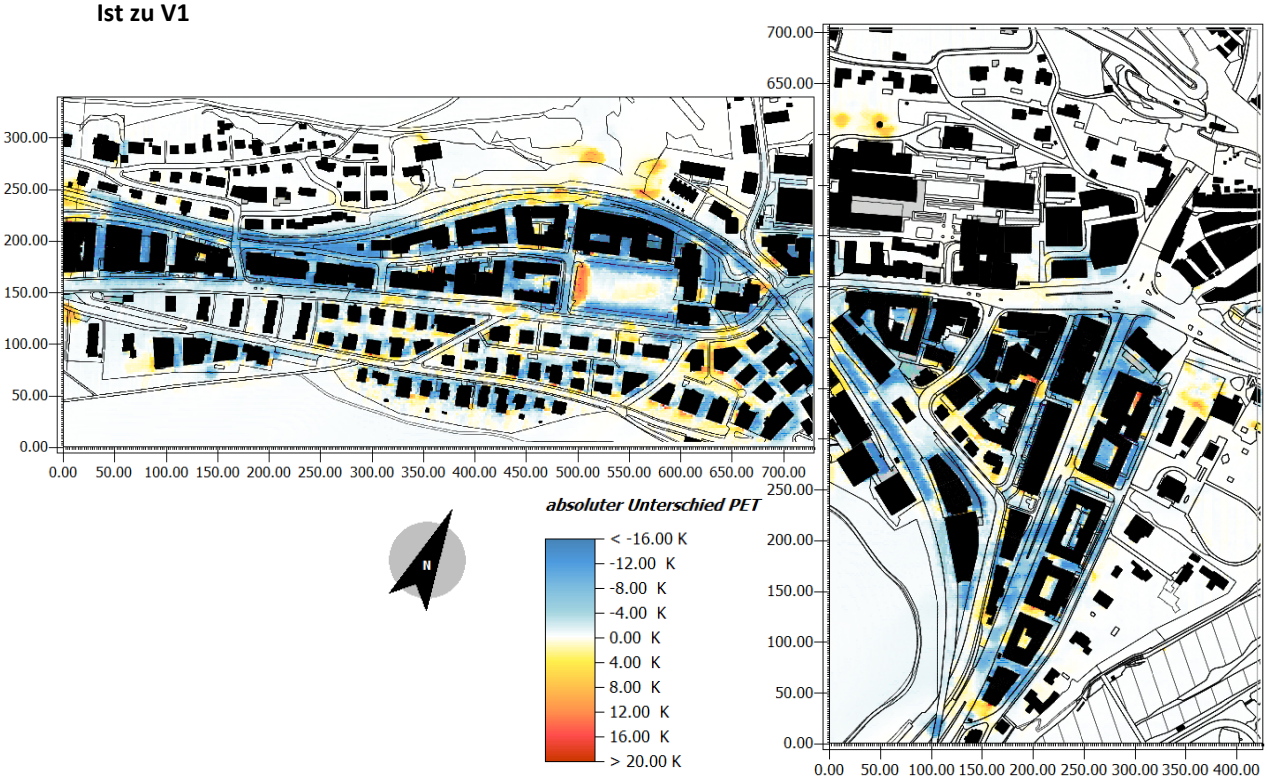


Abbildung 25: Differenz der Hitzestress-Verteilung zwischen dem Ist-Zustand und der Variante Zielbild V1 mit Bäumen entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ (V1 minus Ist).

Hitzestress geringer in V1 dank mehr Beschattung und geringerer Versiegelung

Die Differenzkarten in Abbildung 25 zeigen den verringerten Hitzestress in der Variante Zielbild V1 mit vielen Bäumen entlang der Mellinger- und Neuenhoferstrasse im Vergleich zum Ist-Zustand. Die neu viel grösseren Gebäude beschatten zudem den Strassenraum effektiv, was den Hitzestress reduziert. Die Strassen um die grossen Gebäude weisen im Zielbild durchgehende Baumreihen auf, welche den Hitzestress im Strassenraum ebenfalls deutlich reduzieren. Darüber hinaus wurde die Umgebung der Gebäude komplett unversiegelt simuliert, was den Hitzestress im Vergleich zum Ist-Zustand reduziert. Im Ist-Zustand wurden versiegelte Erschliessungen und Parkplätze auf den Freiflächen mitberechnet.

Nicht beschattete Fassaden heizen sich stark auf

Punktuell entsteht im Zielbild, trotz grösserem Baumbestand und geringerer Versiegelung der Freiflächen, auch mehr Hitzestress. Dies ist zum Beispiel im Quartier südlich der Mellingerstrasse zu sehen. Breite Fassaden können sich dabei stark aufheizen, sofern diese nicht beschattet sind.

Ist zu V2

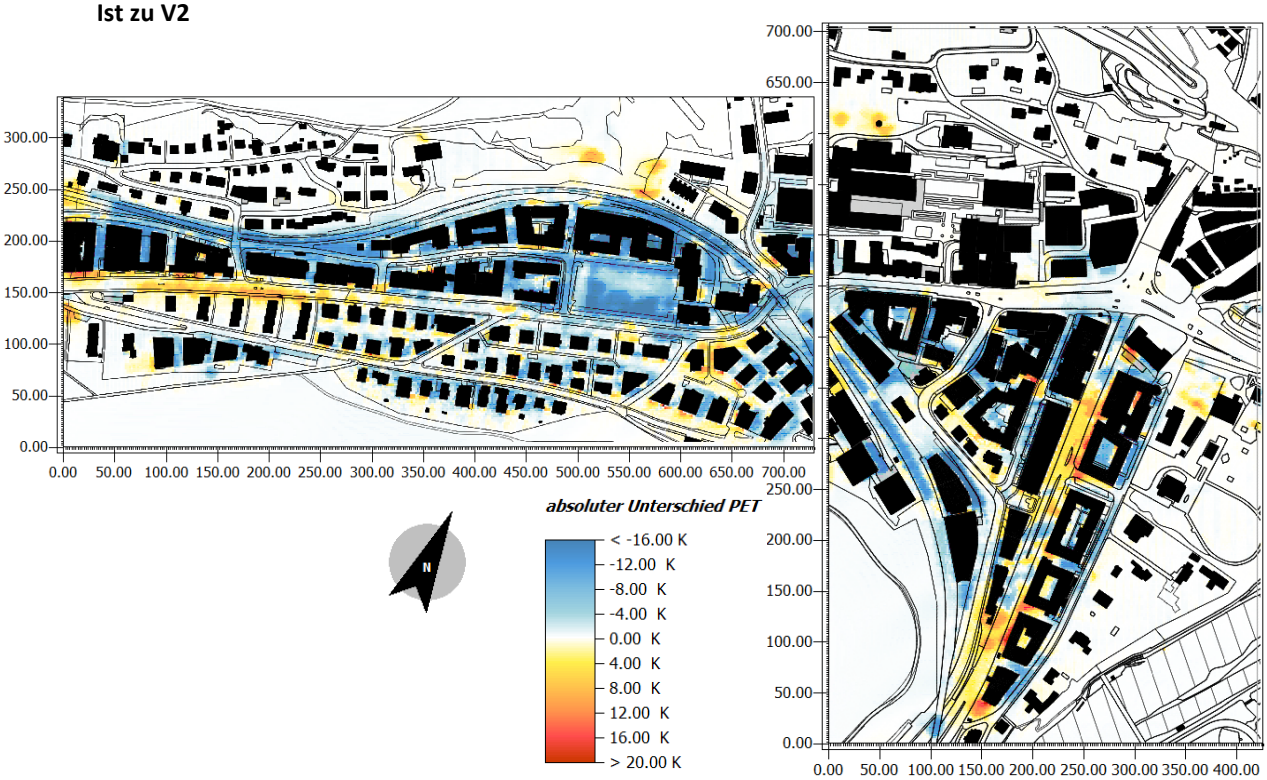


Abbildung 26: Differenz der Hitzestress-Verteilung zwischen dem Ist-Zustand und der Variante Zielbild V2 ohne Bäume entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse sowie einem begrünten Schadenmühleplatz um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ (V2 minus Ist).

Hitzestress deutlich höher an den Strassen ohne Bäume

Ohne Baumreihen entlang der Mellinger- und Neuenhoferstrasse entsteht im Zielbild in diesen Gebieten deutlich mehr Hitzestress. Die Wirkung des Gebäudeschattens, der übrigen Bäume und der unversiegelten Flächen bleibt jedoch bestehen.

Positiver Einfluss begrünter Schadenmühleplatz

Der Einfluss des begrünten Schadenmühleplatzes durch die starke Beschattung und Entsiegelung im Vergleich zum Ist-Zustand wird ebenfalls deutlich. Dieser wird auch durch die fehlende Baumreihe entlang der Mellingerstrasse West nicht negativ beeinflusst.

V1 zu V2

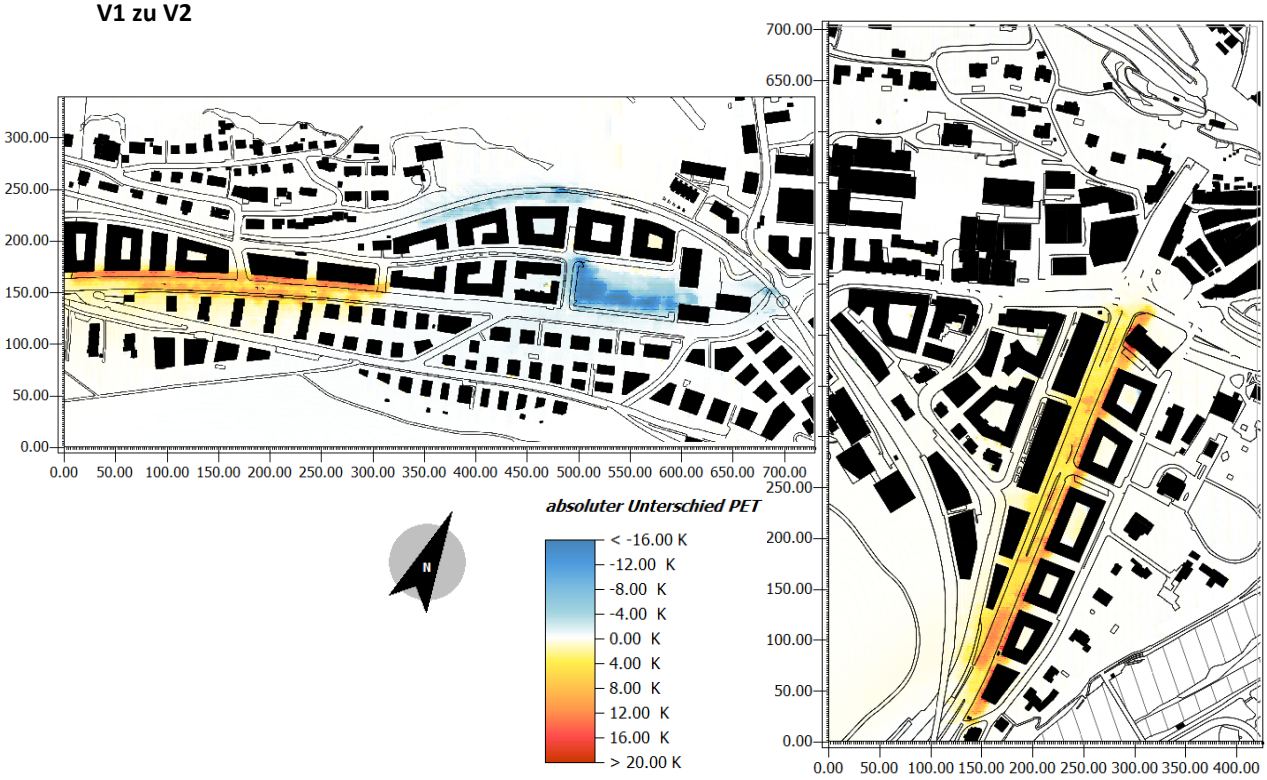


Abbildung 27: Differenz der Hitzestress-Verteilung der beiden Varianten des Zielbilds mit/ohne Bäume entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse sowie einem begrünten Schadenmühleplatz um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ (V2 minus V1).

Hitzestress sehr viel höher ohne Bäume, insbesondere an der Mellingerstrasse

Die Differenzkarten in Abbildung 25 zeigen die sehr viel höhere Hitzestress-Belastung aufgrund der fehlenden Bäume entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse. Neben der starken Erhöhung des Hitzestress um mehr als 10 K aufgrund der fehlenden Beschattung im Strassenraum weisen auch die angrenzenden Quartiere im Abstrombereich der Strassen leicht höheren Hitzestress auf. Entlang der Neuenhoferstrasse kann nachmittags, wie bereits in Kapitel 4.3.1 beschrieben wurde, vom vorhandenen Gebäudeschatten profitiert werden. Die Erhöhung des Hitzestress aufgrund der Wegnahme der Bäume fällt dadurch weniger stark aus.

4.4.2 Auskühlung Nacht

Ist zu V1

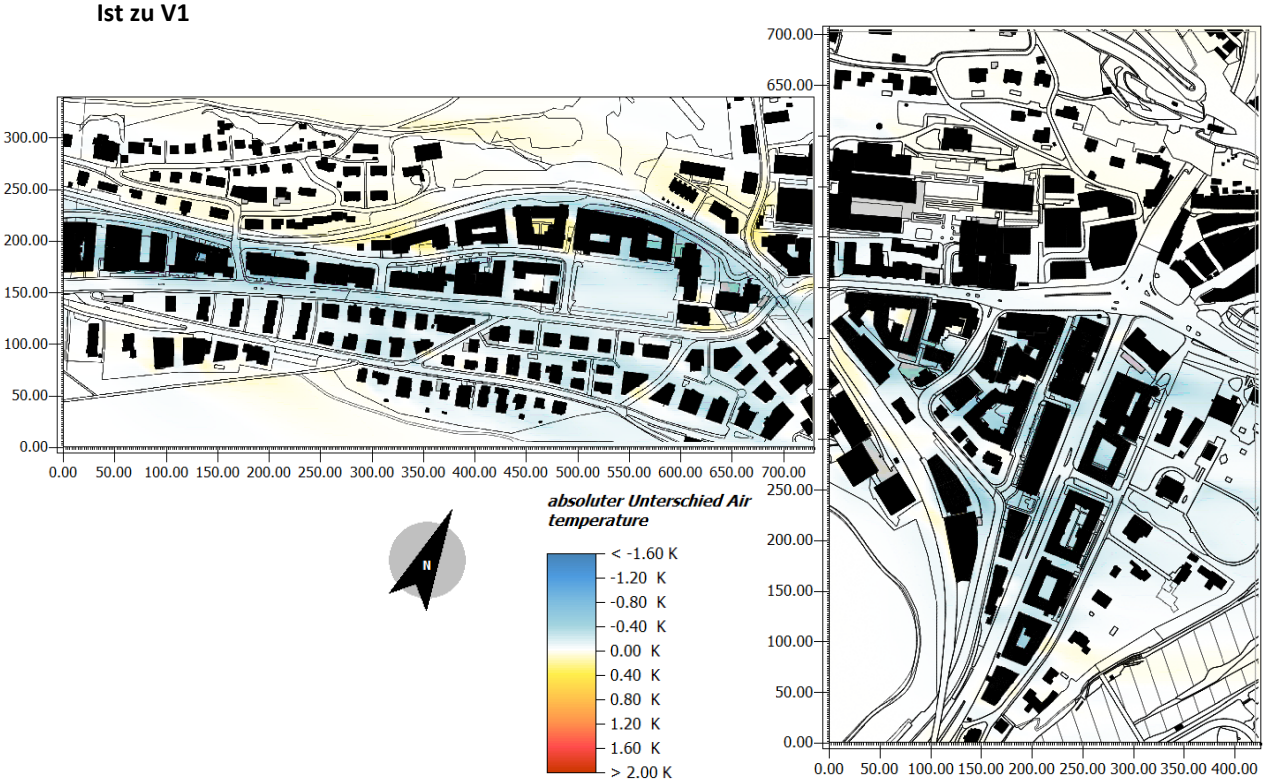


Abbildung 28: Differenz der Lufttemperatur-Verteilung zwischen dem Ist-Zustand und der Variante Zielbild V1 mit Bäumen entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ (V1 minus Ist).

Gute Auskühlung dank unversiegelter Umgebung und viel Schatten tagsüber

Obschon die neu grösseren Gebäudevolumina im Zielbild viel Energie tagsüber speichern und die Strassenräume nachts thermisch abschirmen, kühlt die Umgebung der Gebäude bodennah gut ab. Dies lässt sich vor allem durch die unversiegelte Umgebung der Gebäude erklären. In der gebäudenahen Umgebung wird kaum Energie gespeichert und das Gebiet kann gut auskühlen. Zudem wird mittels starker Beschattung durch Bäume und Gebäude tagsüber viel Strahlung von der Erdoberfläche weggehalten. Wo wenig Strahlung vom Tag ankommt und damit wenig Energie gespeichert wird, bleibt auch wenig Energie zur Aufrechterhaltung der nächtlichen Wärmeinsel übrig.

Einfluss grösserer Gebäudevolumen in der Nachbarschaft ersichtlich

Im nördlichen Bereich des Perimeters S1 (links) ist eine leichte Erwärmung ersichtlich, obschon hier keine Veränderung stattfindet. Dies zeigt, dass die tagsüber in der Gebäudemasse gespeicherte Energie einen Einfluss hat, dieser jedoch erst in der näheren Umgebung ersichtlich wird.

Ist zu V2

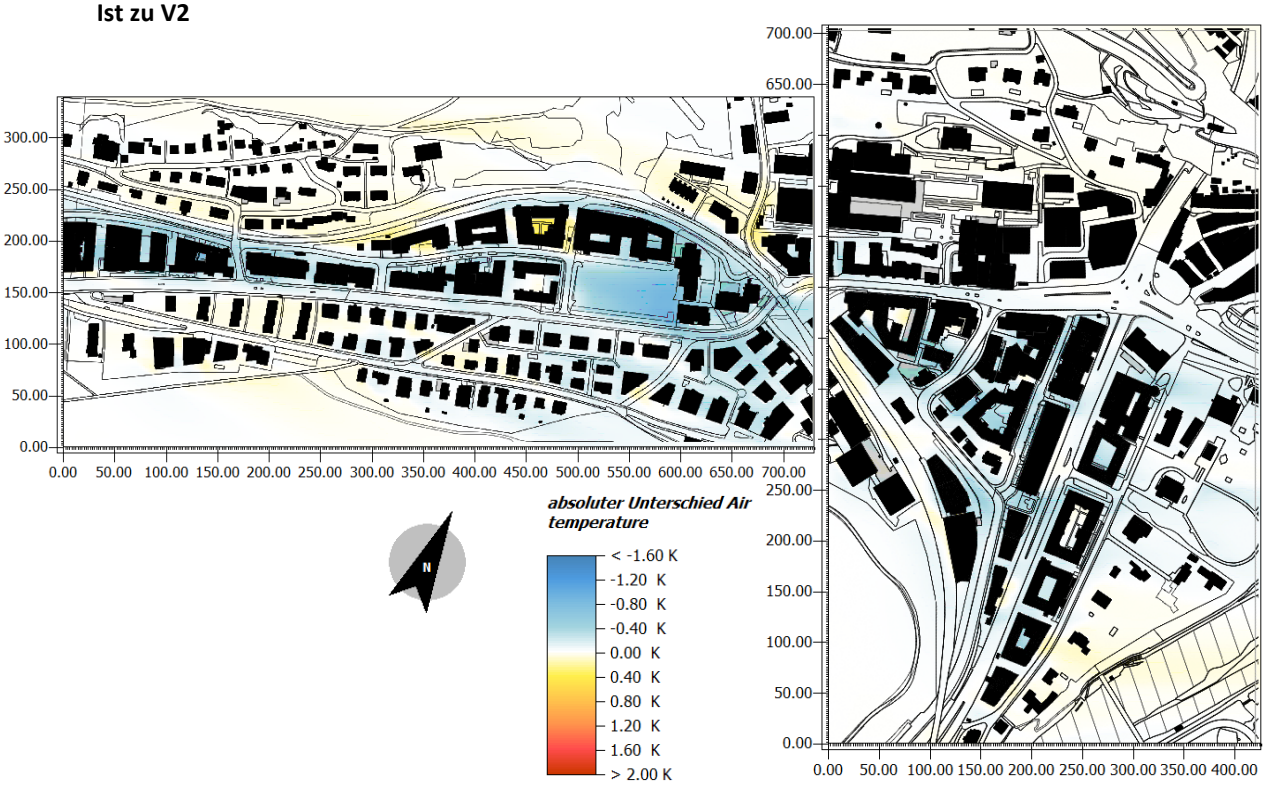


Abbildung 29: Differenz der Lufttemperatur-Verteilung zwischen dem Ist-Zustand und der Variante Zielbild V2 ohne Bäume entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse sowie einem begrünten Schadenmühleplatz um 14 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ (V2 minus Ist).

Auskühlung dank unversiegelter Umgebung

Die gute Auskühlung im Zielbild bleibt dank unversiegelter Umgebung auch ohne Baumreihen entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse bestehen. Entlang dieser Strassen fällt die Auskühlung jedoch leicht schwächer aus. Zudem können auch die südlich angrenzenden Quartiere entlang der Mellingerstrasse ohne Bäume weniger gut auskühlen.

Differenz V1 zu V2

Gut ersichtlich wird der Einfluss der fehlenden Baumreihen auch in der nachfolgenden Abbildung 30 mit der Differenz von V1 zu V2. Darin wird auch der Einfluss des neu begrünten Schadenmühleplatzes und der unversiegelten Innenhöfe deutlich sichtbar.

V1 zu V2

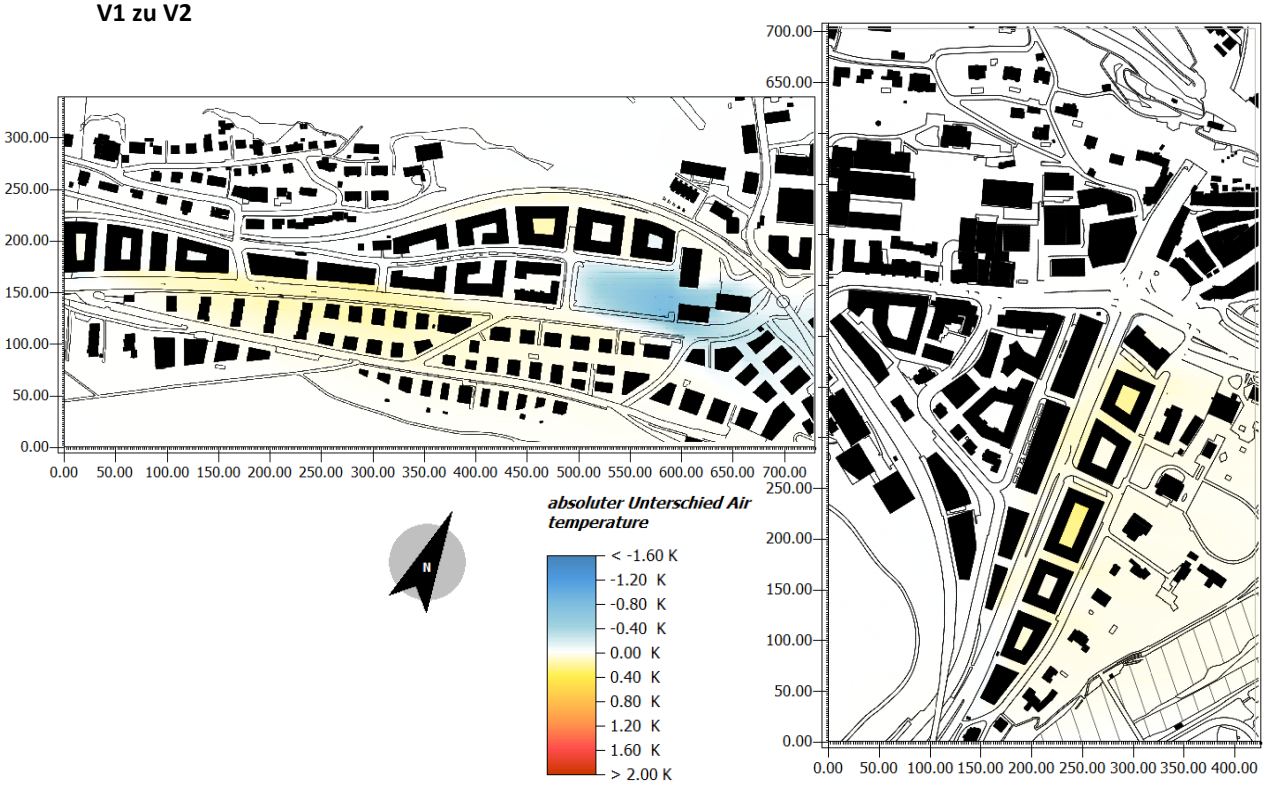


Abbildung 30: Differenz der Lufttemperatur-Verteilung der beiden Varianten des Zielbilds mit/ohne Bäume entlang der Mellinger- und der Neuenhoferstrasse sowie einem begrünten Schadenmühleplatz um 04 Uhr im westlichen Teil (S1, links) und östlichen Teil (S2, rechts) der Oberstadt+ (V2 minus V1).

Schadenmühleplatz als Park mit Bäumen kühlt Umgebung

In der Nacht wird deutlich, dass der Schadenmühleplatz als Parkanlage die Fähigkeit ausbilden kann, selbst Kaltluft zu produzieren und damit die angrenzenden Gebiete im Abstrombereich leicht abzukühlen. Gleichermassen zeigt die Simulation in Perimeter S1, dass die Wegnahme der Bäume auch einen Einfluss auf die angrenzenden Wohnquartiere hat.

Neuenhoferstrasse und Schulbereich kühlt besser aus mit Bäumen

Die Auskühlung entlang der Neuenhoferstrasse im östlichen Perimeter S2 funktioniert mit Bäumen besser als ohne Bäume. Der Einfluss ist gering, da der Strassenraum und die Gebäude nicht verändert wurden und der Boden und die Fassaden daher noch immer viel Energie aufnehmen. Die indirekte Wirkung der Bäume (Energie für Verdunstung, Beschattung des Bodens) hat trotzdem einen Einfluss auf die Lufttemperatur in der Nacht, und zwar nicht nur in der Neuenhoferstrasse selbst, sondern auch im Abstrombereich Richtung Limmat.

Höfe kühlen nachts deutlich besser ab, wenn sie unversiegelt sind

Einen noch stärkeren Effekt hat die Veränderung von unversiegeltem zu versiegeltem Boden in den beiden Höfen entlang der Neuenhoferstrasse. Hier liegt die nächtliche Lufttemperatur um 4 Uhr morgens bis zu 0.3 °C höher in den Höfen mit versiegeltem Boden. Ähnliches ist auch nördlich des Schadenmühleplatzes zu beobachten. Es zeigt sich, dass der Effekt bei grösseren Höfen, welche tagsüber mehr Sonnenenergie erhalten, markanter ist.

4.4.3 Kaltluftabfluss Ist-Zustand zu Zielbild V1

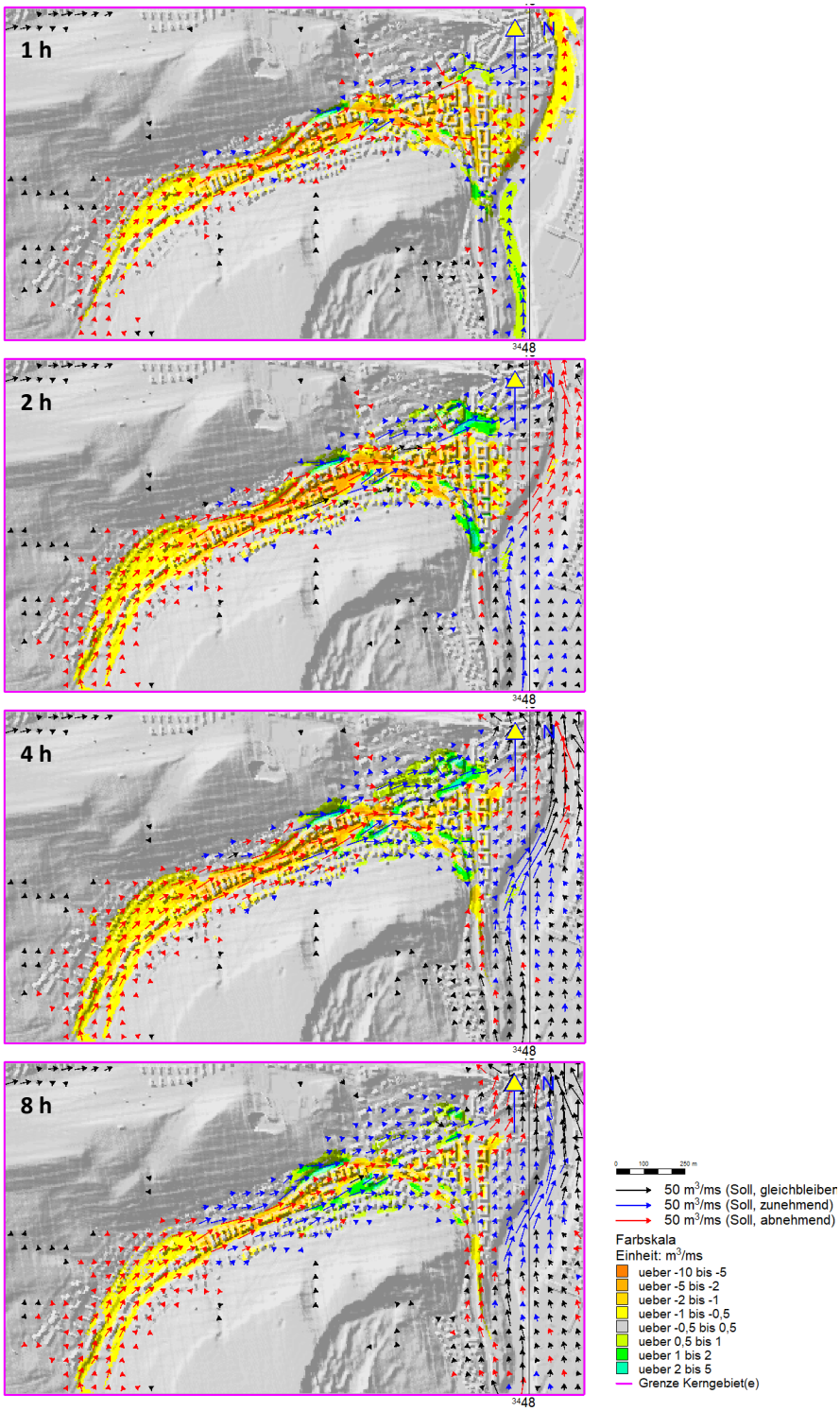


Abbildung 31: Differenz des Kaltluftvolumenstroms vom Ist-Zustand zum Zielbild (Ziel minus Ist). Die Zeitpunkte entsprechen von oben nach unten: 1 h, 2 h, 4 h und 8 h nach Sonnenuntergang.

Erläuterungen zu den Karten:

Farbgebung:

Gelb-orange: Abnahme des Volumenstroms im Soll-Zustand (Zielbild V1)

Grau: Geringer Unterschied zwischen -0.5 – 0.5 m³

Hellgrün-blaugrün: Zunahme des Volumenstroms im Soll-Zustand (Zielbild V1)

Pfeile:

Schwarze Pfeile: Volumenstrom und dessen Richtung im Soll-Zustand (Zielbild V1) angezeigt, verändert sich nicht zum Ist-Zustand

Blaue Pfeile: Volumenstrom und dessen Richtung im Soll-Zustand (Zielbild V1) angezeigt, nimmt zu im Vergleich zum Ist-Zustand

Rote Pfeile: Volumenstrom und dessen Richtung im Soll-Zustand (Zielbild V1) angezeigt, nimmt ab im Vergleich zum Ist-Zustand

Abnehmende Volumenströme im Zielbild V1, dadurch eine geringere Abkühlung in der Nacht

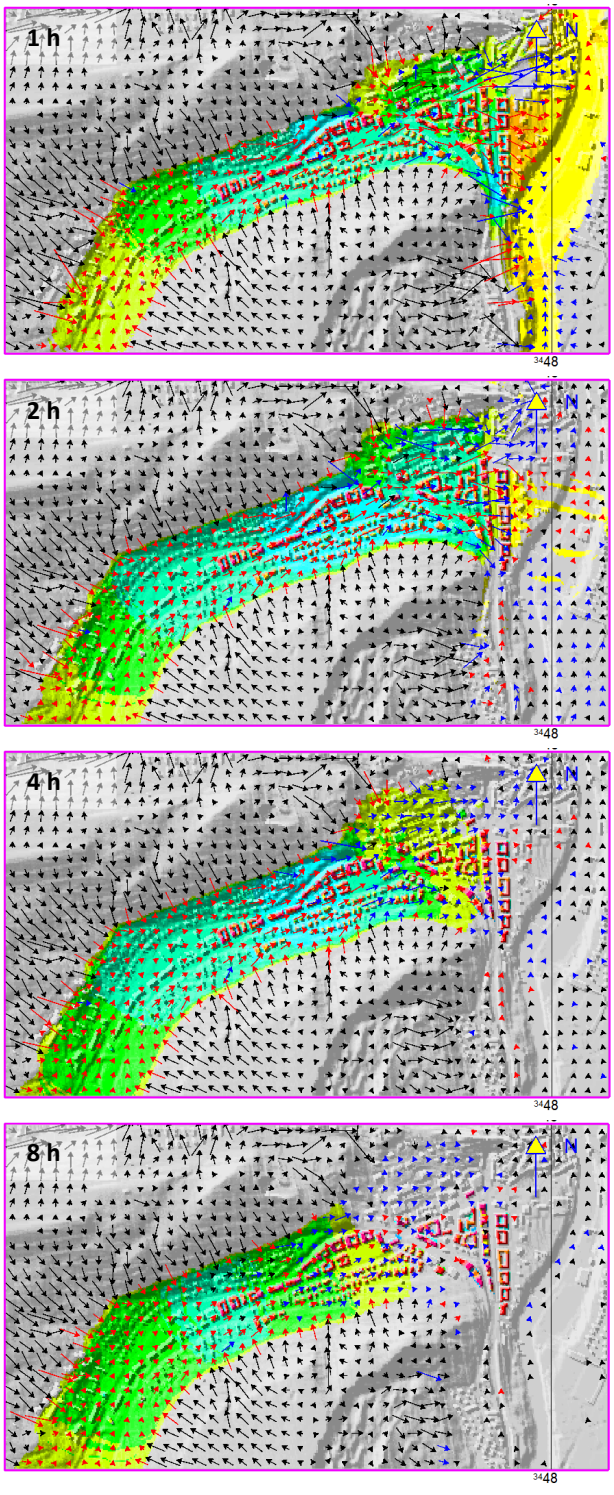
Die Volumenströme in Abbildung 31 nehmen im zentralen Bereich ab. Entlang der Bahnlinie und der Mellingerstrasse ist, besonders anfangs, eine leichte Zunahme zu beobachten. Auch nördlich und südlich der dichten Bebauung entlang der Mellingerstrasse sind anhand der blauen Pfeile Ausgleichsströmungen zu erkennen. Dies trifft besonders für den späten Nachtzustand (8 Stunden nach Sonnenuntergang) zu. Die eigentliche Oberstadt, eingeschlossen von Neuenhoferstrasse/Mellingerstrasse/Bahnlinie (ehemaliges Kapuzinerkloster), wird insgesamt deutlich schlechter durchströmt. Die schlecht mit Kaltluft versorgten Gebiete kühlen dadurch nachts weniger gut ab.

Kaltluft wird an dichter Bebauung gestaut und dringt dadurch weniger effektiv in den Siedlungsbereich vor

Die Differenzkarten der Kaltlufthöhe zeigen die Wirkung der neu viel dichteren Bebauung auf die nächtlichen Windströmungen im Tal. Die Kaltluft wird an der neuen Bebauung gestaut und kann sich nicht so leicht ausbreiten, wie das noch im Ist-Zustand der Fall ist.

Insgesamt eine Abnahme der nächtlichen Windzirkulation und Windgeschwindigkeit im zentralen Bereich der Oberstadt+

In den zentralen Bereichen entlang der Talachse nimmt die Windgeschwindigkeit zumeist ab. Vereinzelt kommt es zu Ausgleichsströmungen am Rand des Siedlungsgebiets (blaue Pfeile in Abbildung 32, z.B. südlich der Neuenhoferstrasse).



Erläuterungen zu den Karten:

Farbgebung:

Gelb-rot: Abnahme der Kaltluft-höhe im Soll-Zustand (Ziel-bild V1)

Grau: Geringer Unterschied zwi-schen -1 - 1 m

Hellgrün-blau: Zunahme der Kalt-lufthöhe im Soll-Zustand (Zielbild V1)

Pfeile:

Schwarze Pfeile: Windgeschwin-digkeit und -richtung im Soll-Zu-stand (Zielbild V1) angezeigt, ver-ändert sich nicht zum Ist-Zustand

Blaue Pfeile: Windgeschwindig-keit und -richtung im Soll-Zustand (Zielbild V1) angezeigt, nimmt zu im Vergleich zum Ist-Zustand

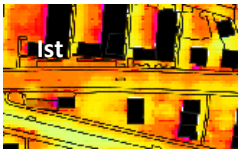
Rote Pfeile: Windgeschwindigkeit und -richtung im Soll-Zustand (Zielbild V1) angezeigt, nimmt ab im Vergleich zum Ist-Zustand

Abbildung 32: Differenz der Kaltlufthöhe und der Windgeschwindigkeit (Pfeile) vom Ist-Zustand zum Zielbild (Ziel minus Ist). Die Zeitpunkte entsprechen von oben nach unten: 1 h, 2 h, 4 h und 8 h nach Sonnenuntergang.

5 Schlussfolgerungen

5.1 Erkenntnisse aus den Simulationen

Wie im Zielbild vorgeschlagen muss die Versiegelung um die Blöcke minimal gehalten werden und der Strassenraum durchwegs – insbesondere durch Bäume – beschattet werden. Nur dann ist der Hitzestress im Zielbild erträglich.
Fehlt die Beschattung und/oder wird ein dominanter Teil der Umgebung versiegelt, entstehen bezüglich Hitzestress und nächtlicher Auskühlung problematische Situationen. Die Verschlechterung nimmt mit zusätzlicher Versiegelung nahezu linear zu, d.h. bereits eine geringe Erhöhung des Versiegelungsgrads um z.B. 10% hat einen spürbaren Effekt auf das Mikroklima (Beispiel rechts: Mellingerstrasse West).



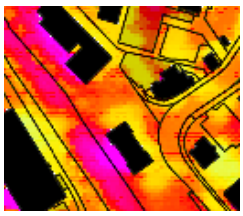


Unversiegelte und begrünte Höfe kühlen besonders nachts deutlich besser aus. Für die Verbesserung der Tagsituation müssen grosskronige Bäume gepflanzt werden. Unbeschattete Bereiche, besonders in nordöstlichen Ecken, sind in Höfen aufgrund der üblicherweise geringen Windgeschwindigkeiten sehr problematisch,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

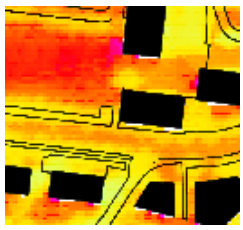




Bäume müssen so gesetzt werden, dass sie die Bereiche, welche am Nachmittag nicht durch Gebäude verschattet werden, thermisch entlasten und den Hitzestress damit reduzieren. Deshalb sollen Schattenanalysen durchgeführt werden, um die idealen Standorte für Bäume zu ermitteln. Grundsätzlich sollen Bäume südlich bis südwestlich von stark besonnten Fassaden oder sonnenexponierten Wegen geplant werden (Beispiel rechts: Bahnhof Oberstadt im Ist-Zustand).

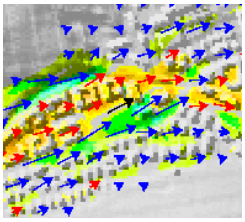


Bäume sollten entlang von Strassen den Gehweg beschatten. Für die Mellingerstrasse bedeutet dies, Bäume zwischen der Fahrbahn und den Gehweg zu pflanzen. Auch sollte auf einen längerfristig gesicherten Standort der Bäume geachtet werden, da diese ihre Wirkung erst mit einer gewissen Grösse überhaupt 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 beeinflusst lokal das thermische Wohlbefinden stark positiv. Der Hitzestress einer nahegelegenen Kreuzung oder der übernächsten Strasse wird dadurch jedoch nicht markant reduziert. Dies zeigt, dass nur eine flächendeckende Begründung effektiv den Hitzestress im gesamten Gebiet reduzieren kann (Beispiele rechts: Baumreihen am Schadenmühleplatz oder an der Neuenhoferstrasse).

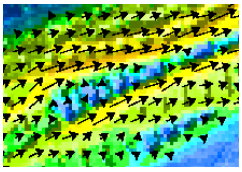




Insgesamt nimmt der Kaltluftvolumenstrom im Zielbild durch die dichtere Bebauung deutlich ab, da die hohen und dichten Gebäude, welche bis zu den frühen Morgenstunden teilweise nicht überströmt werden können, die Kaltluft stauen und den Windfluss stören (Beispiel rechts: Schlechtere Durchlüftung nördlich Schadenmühleplatz, Ausgleichströmung auf der Mellingerstrasse).



Da die hohen und dichten Gebäude, welche das Windfeld stark einschränken, im Zentrum des Tals und entlang der Talachse geplant sind, kann bis dahin von beiden Seiten noch immer Kaltluft einfliessen. Dies ist deutlich besser, als wenn diese hangseitig geplant wären (Beispiel: Mellingerstrasse West).



Um nachts einen merklichen 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 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 rechts: nächtliche Abkühlung der näheren Umgebung dank Entsiegelung Schadenmühleplatz). Für die Aufenthaltsqualität am Tag spielt die bodennahe Oberflächengestaltung eine untergeordnete Rolle. Unversiegelte Flächen wie Gras oder Kies sind jedoch versiegelten Flächen vorzuziehen.



5.2 Optimierungsvorschläge und Massnahmen für die Hitzeminderung

Nächtlichen Kaltluftabfluss beachten und Eintrittspfade für die Kaltluft definieren sowie erhalten

Wichtige Frischluftkorridore – idealerweise als Grünräume – müssen definiert werden. Diese sollten idealerweise unverbaut bleiben und als Grünraume ausgestaltet werden. Ist die Bebauung solcher Gebiete unumgänglich, soll diese nicht zu hoch und dicht ausfallen (z.B. maximal bis zur Hälfte der Höhe der Kaltluftsäule, vgl. Abbildung 17 und nächster Abschnitt). Zur Definition dieser Eintrittspfade können die simulierten Kaltluftflüsse im Ist-Zustand berücksichtigt werden (siehe z.B. Abbildung 16, Abbildung 17 oder Abbildung 33). Je nach Entfernung zur Kaltluftquelle, ist dabei die Kaltlufthöhe zu einem früheren (z.B. im Siedlungssaum nahe der Quelle) oder zu einem späteren Zeitpunkt (z.B. im Talboden, wo sich die Kaltluft erstmals sammelt und länger braucht, um anzukommen) relevant.

Kaltluftmächtigkeit für Gebäudehöhe beachten

Voll ausgebildet ist der Kaltluftsee in der Talsohle 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 Kaltlufthöhe erreicht werden (bodennaher Abfluss). Gebäude in dieser Grössenordnung stellen somit jeweils ein markantes Hindernis im Kaltluftstrom dar.

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

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
- In Tallagen kann bis 20 m hoch gebaut werden, jedoch nicht talquerend
- Kaltluftschneisen sollten gar nicht oder niedrig (max. 10 m) bebaut werden

Qualitative Einteilung Durchlüftungspfade

Abbildung 33 deutet eine mögliche Einteilung der Durchlüftungspfade im Untersuchungsgebiet an. Die Einteilung erfolgt qualitativ anhand des Kaltluftvolumenstroms und der bodennahen Windgeschwindigkeiten in der Kaltluftabflussmodellierung im Ist-Zustand (siehe Kapitel 4.1.4). Die Durchströmung der Bereiche entlang der Talachse soll bestmöglich erhalten bleiben. Der Siedlungssaum ist sehr wichtig für die Kaltluftversorgung, besonders in den frühen Abendstunden. Hier soll ein bestmöglicher Kaltluftabfluss entlang des Gefälles sichergestellt werden. Hangparallele Riegelbauten sind zu vermeiden.

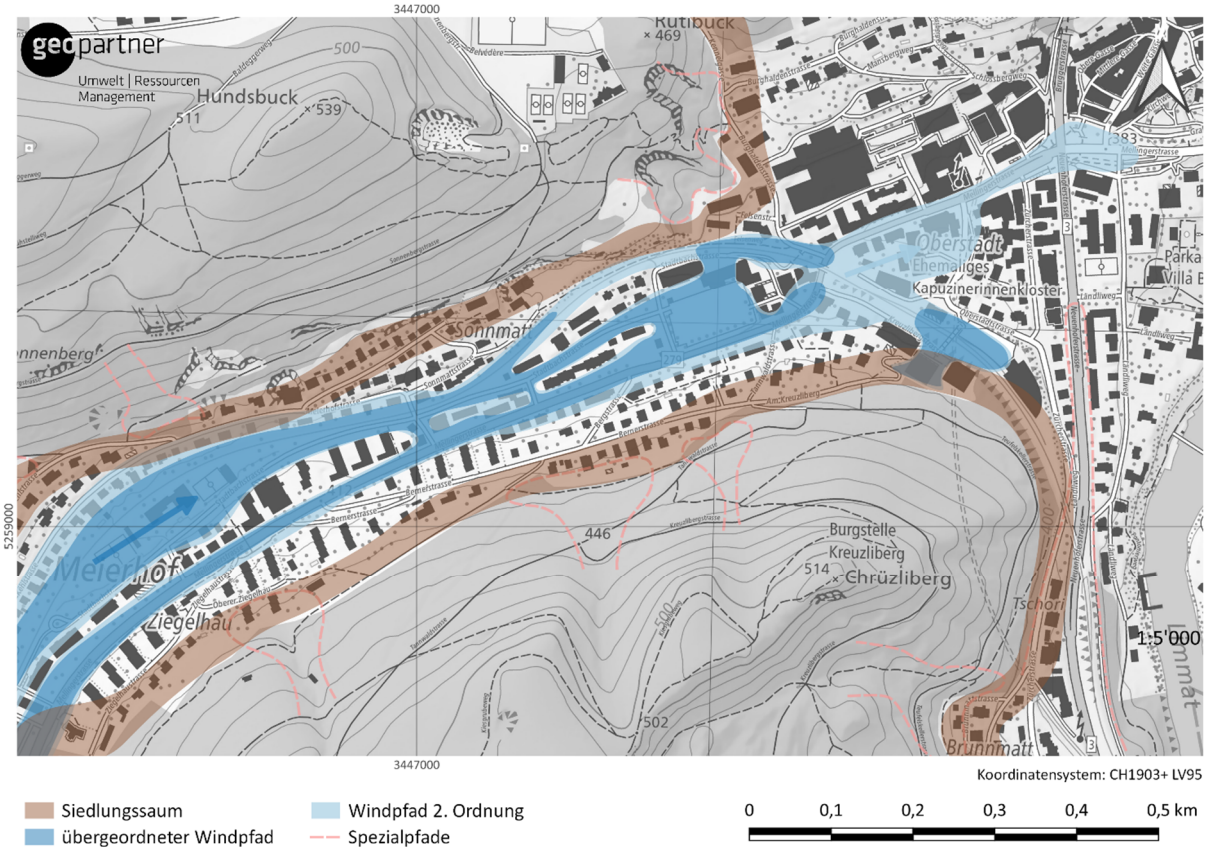


Abbildung 33: Qualitative Einordnung der Durchlüftung im Bereich Oberstadt und Meierhof. Übergeordneter Windpfad weisen im Ist-Zustand im ganzen Verlauf der Nacht hohe Volumenströme auf. Windpfade 2. Ordnung weisen zu gewissen Zeitpunkten in der Nacht hohe Volumenströme auf. Der Siedlungssaum umfasst die Randbereiche des Siedlungsgebiets zum angrenzenden Wald. Rosa eingezeichneten Spezialpfade sind Bereiche gebündelter Kaltluft.

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

Der Wert von Baumpflanzungen, besonders für den Hitzestress tagsüber, wird anhand der beiden Zielbildvarianten deutlich. Die darin simulierten 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 sehr hoch.

Ausreichend Wurzelraum für Bäume, sicherer langfristiger Standort gewährleisten

Bäume müssen ausreichend Wurzelraum zur Verfügung haben, ansonsten erreichen sie nicht die in Zielbild V1 simulierte Wirkung und das Zielbild 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).

Schattenwurf Gebäude beachten

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 beachtet werden.

Vulnerabilität Personen beachten

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

Anhang

A.1 Zitierte Grundlagen

[1] Bundesamt für Umwelt (2020): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2020-2025.

[2] Meehl, G. A. and Tebaldi, C. (2004): More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century. Science, 305(5686):994-997.

[3] CH2018 (2018), CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp. ISBN: 978-3-9525031-4-0

[4] Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., et al. (2013): Climate change 2013. The physical science basis. Working Group I contribution to the 5th assessment report of the intergovernmental panel on climate change-abstract for decision-makers. World Meteorological Organization.

[5] National Centre for Climate Services (2020): CH2018-Webatlas. https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html

[6] BVU (2021): Lesehilfe Klimakarten Kanton Aargau. Rev. 1.

[7] Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 43(2):71-75.

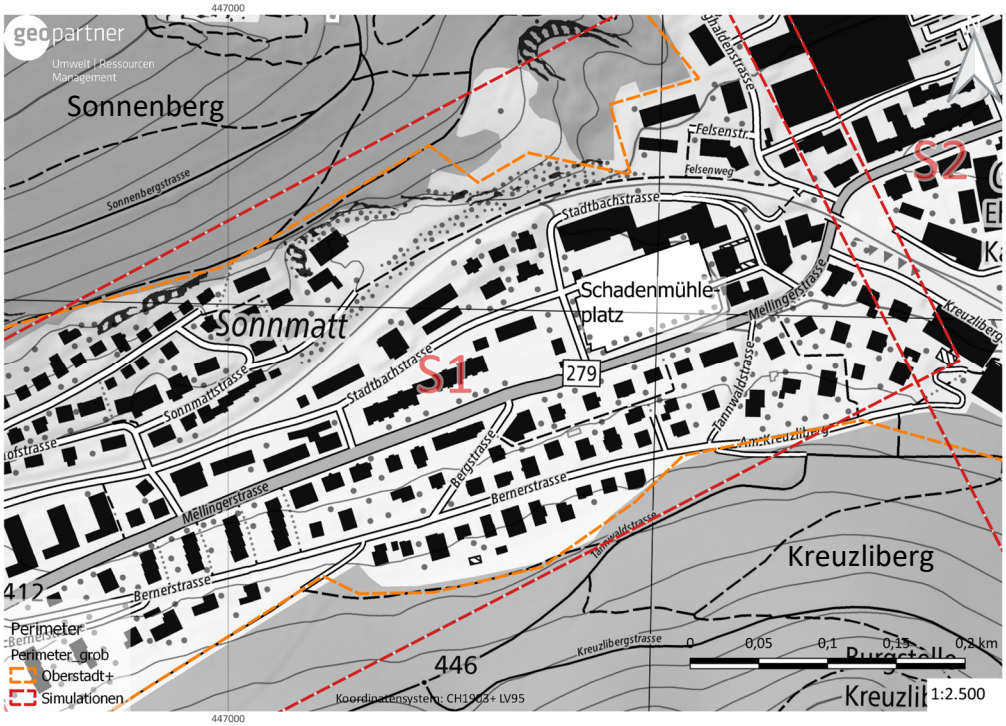
[8] Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. Berichte des DWD 227. Inkl. CD mit PC-Testversion.

[9] GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2022): Endbericht Stadtklimaanalyse Kanton Aargau. Öffentliche Version 2022.

[10] Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). Urban climates. Cambridge University Press. S. 93-94, 404.

[11] INKAS - Informationsportal Klimaanpassung in Städten: https://www.dwd.de/DE/leistungen/inkas/inkas-start.html;jsessionid=CCE8F5BEB9C0ADC5F5A24B3D5792D721.live11051?nn=350408

A.2 Topographische Karte und Strassenbeschriftung



Strassennamen Perimeter S1 (Daten: Swisstopo)



Strassennamen Perimeter S2 (Daten: Swisstopo)

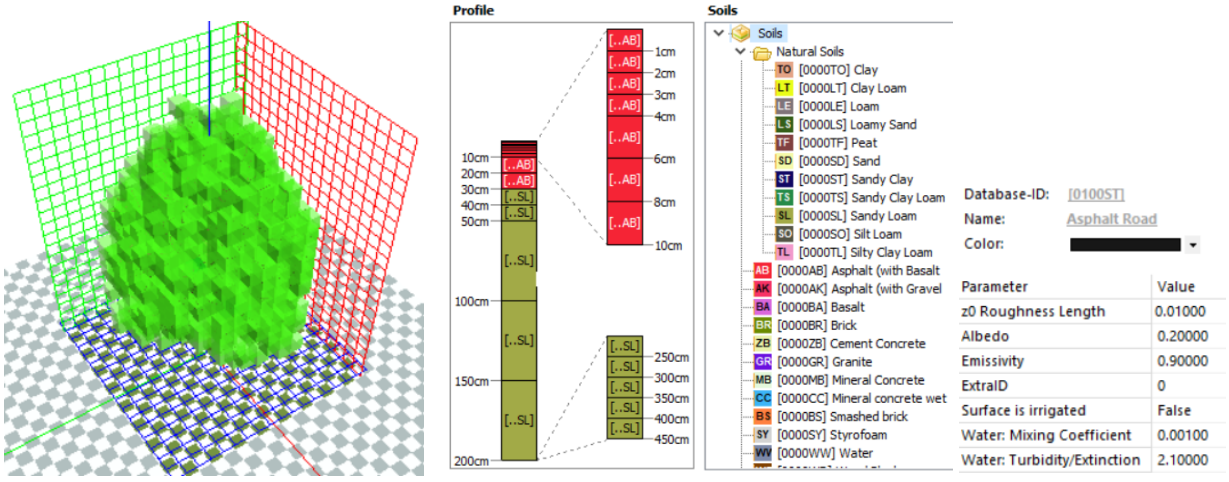
A.3 Details zu den Modellen

A.3.1 Mikroklimamodell ENVI-met

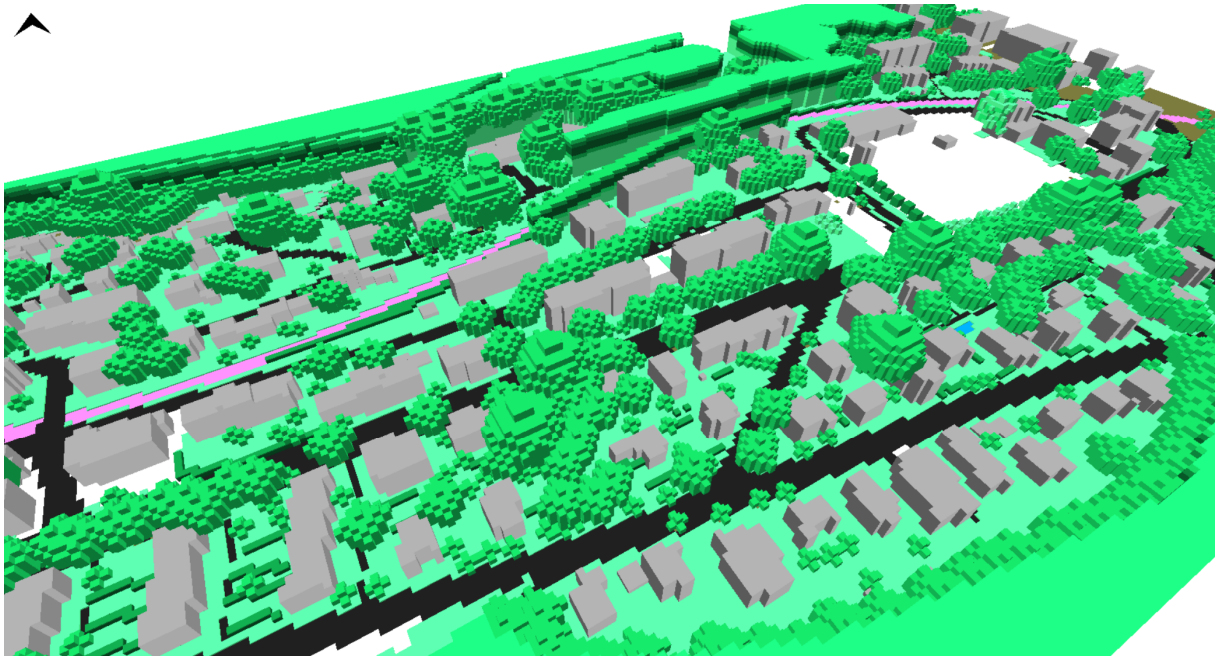
ENVI-met ist ein mikrometeorologisches Modell des Mainzer Professors Michael Bruse (www.envi-met.com). Das Modell simuliert das Mikroklima in einer urbanen Umgebung und berechnet das Zusammenspiel und die Effekte von Atmosphäre, Vegetation, Untergrund, Gebäudearchitektur und Materialien. Das Modell wurde vor über 20 Jahren entwickelt und seither stetig optimiert. Tausende Anwendungen sowie hunderte Publikationen und Städte, welche mit dem Modell arbeiten, zeugen von der Qualität und Robustheit der Modellergebnisse. ENVI-met ist somit das meistvalidierte Mikroklimamodell, welches verfügbar ist.

ENVI-met berücksichtigt die Platzierung und Stellung von Gebäuden in einer bestimmten geographischen Umgebung und damit deren Interaktion mit der einkommenden Sonnenstrahlung unter Berücksichtigung der meteorologischen Randbedingungen. Dabei werden auch Gebäudephysik und Wärmeströme im Boden sowie deren Einfluss auf die Lufttemperatur berücksichtigt. Zusätzlich werden unterschiedliche Baum- und Grünflächenarten unterschieden, welche ihrerseits wiederum einen unterschiedlichen Einfluss auf das Mikroklima und die Modelloutputs haben.

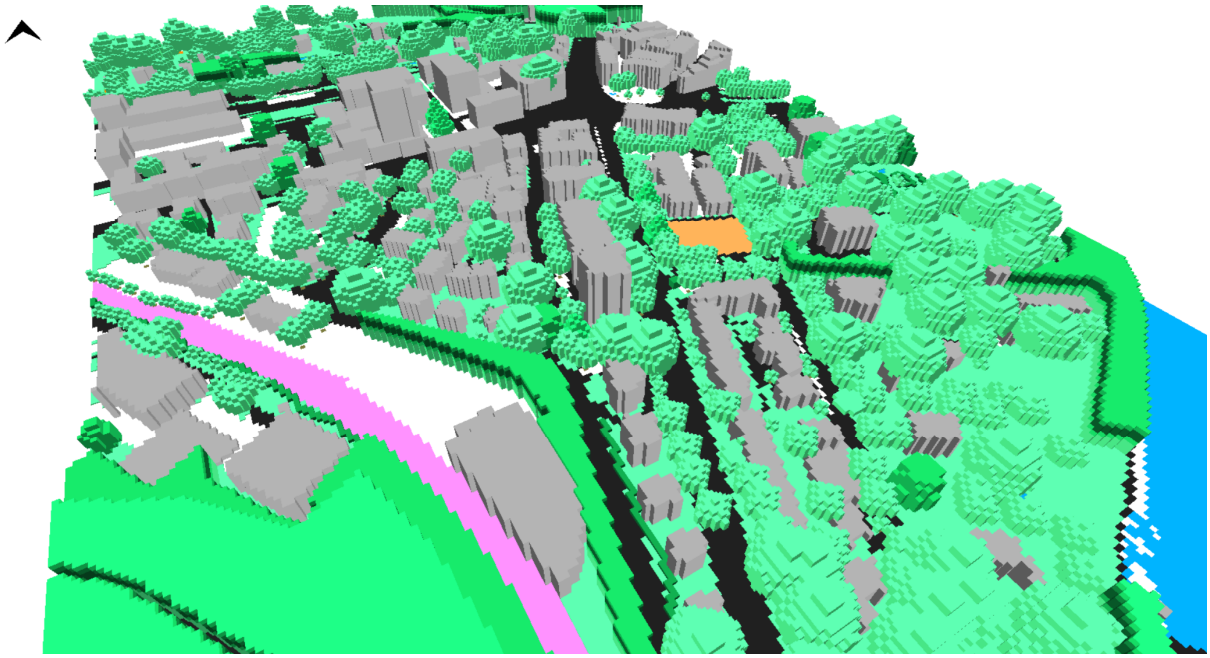
Die Orientierung und Dimensionierung der Gebäude beeinflusst ebenfalls das bodennahe Windfeld im Modell. Das Modell löst mit einem Zeitschritt von 2 Sekunden thermodynamische Gleichungen für jede Gitterzelle und nutzt die Inputs der umliegenden Zellen für den jeweils nächsten Rechenschritt, was entsprechend rechenaufwendig ist. Es werden bei dem Modell - anders als bei Gebäudemodellen wie üblicherweise in der Bauphysik verwendet - die für das Mikroklima elementaren Grundgleichungen der Energiebilanz respektiert und aufgelöst, wodurch eine möglichst realitätsgetreue Abbildung des Mikroklimas in allen Sphären erzeugt wird.



Beispiel von einem Feldahorn (ca. 20 m Höhe, Zellgrösse = 1 m; links) und Aufbau einer Asphaltfläche inkl. thermischer Eigenschaften im Modell (rechts).



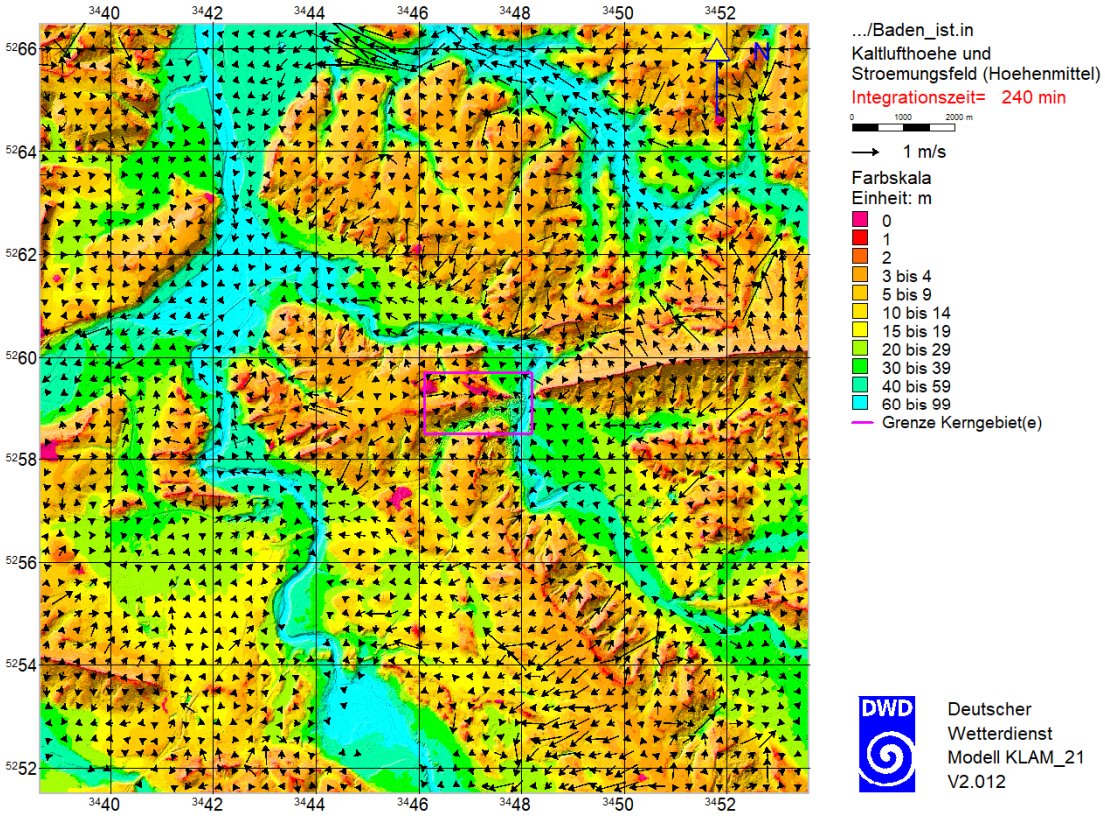
3D-Ansicht Ist-Zustand im Modell (S1, Schadenmühleplatz oben rechts weiss)



3D-Ansicht Ist-Zustand im Modell (S2, Blick entlang Neuenhoferstrasse Richtung Kreuzung Mellingerstrasse)

A.3.2 Kaltluftabflussmodell KLAM_21

KLAM_21 ist ein vom Deutschen Wetterdienst entwickeltes zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen in orographisch gegliedertem Gelände für Fragen der Standort-, Stadt- und Regionalplanung. Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter gelegt. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Jeder Landnutzungsklasse wiederum entspricht eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine “Rauigkeit” als Maß für den aerodynamischen Widerstand. Das Zusammenspiel dieser Einflussgrössen bestimmt das Entstehen, Fliessen und die Ansammlung der Kaltluft. Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu beliebig wählbaren Zeitpunkten können danach Resultatkarten erzeugt werden. Der maximale Simulationszeitraum (8 h oder 240 min) entspricht dabei dem Zeitpunkt der maximalen Auskühlung und kann mit dem Zustand von 4 Uhr morgens in der kantonalen Klimaanalyse verglichen werden [8].



Übersicht Simulation Kaltluftströmungen mit der Kaltlufthöhe nach 8 h im gesamten Einflussgebiet (rosa = Kerngebiet Oberstadt+).