

Karlsruhe Zukunft Nord: Mikroklimasimulationen der Bauplanung im Bereich des Entwicklungsgebiets Zukunft Nord

**Projektbericht erstellt für die Stadt Karlsruhe, Umwelt- und
Arbeitsschutz**

Prof. Dr. Michael Bruse

Dezember 2016

**ENVI
_MET**

ENVI_MET GmbH Essen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Untersuchungsgegenstand	2
1.2	Bewertung durch numerische Simulation	2
2	Vorhandene klimaökologische Untersuchungen zum Planungsgebiet	3
2.1	FFH-Verträglichkeitsstudie (2011)	3
2.2	Ökologische Tragfähigkeitsstudie für den Raum Karlsruhe (2011)	3
2.3	ExWoSt- Modellvorhaben „Innenentwicklung versus Klimakomfort“ (2013)	3
2.4	„Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung: Anpassungskomplex Hitze“ (2015)	4
2.5	Zusammenfassung	5
3	Mikroklimasimulationen mit dem Modell ENVI-met	7
3.1	Das Modell ENVI-met 4.1 eXpert	7
3.2	Das Untersuchungsgebiet	8
3.3	Festlegung der Modellgebiete	8
3.4	Meteorologische Rahmenbedingungen für die Simulationsrechnung	12
3.4.1	Windrichtung und -geschwindigkeit	12
3.4.2	Lufttemperatur und -feuchte	13
3.4.3	Bodentemperatur und -feuchte	13
3.4.4	Zusammenfassung der meteorologischen Rahmenbedingungen	14
4	Simulationsergebnisse	15
4.1	Analyse des Strömungsverhaltens der Kaltluft (Nacht 02:00)	16
4.2	Windfeldberechnungen für die Bestandssituation und Planungsvariante	16
4.2.1	Windfeld Tagsituation 14:00	17
4.2.2	Windfeld Nachtsituation 04:00	17
4.3	Analyse der Lufttemperatur für die Bestandssituation und Planungsvariante	17
4.3.1	Lufttemperatur Tagsituation 14:00	18
4.3.2	Lufttemperatur Nachtsituation 04:00	18
4.3.3	Nächtliche Abkühlungsdynamik des Gebiets 22:00	19
4.4	Bioklimatologische Analyse	19
4.4.1	Funktionsweise von PET	20
4.4.2	Interpretation von PET	21
4.4.3	Analyse der bioklimatologischen Modellergebnisse	21
4.4.4	Biometeorologische Situation Tag (15:00 Uhr)	22
4.4.5	Biometeorologische Situation Abend (22:00 Uhr)	23
5	Zusammenfassung und Planungsempfehlungen	25
6	Literatur	27
7	Anhang: Abbildungstabellen	29

1 Einleitung

Die Stadt Karlsruhe plant unter der Bezeichnung „Zukunft Nord“ die städtebauliche Entwicklung des Areals zwischen dem NSG „Alter Flughafen Karlsruhe“ im Westen, der Nordweststadt im Norden, der Hardtwaldsiedlung im Süden und der Erzbergerstraße im Osten (vgl. Abbildung 1.1).

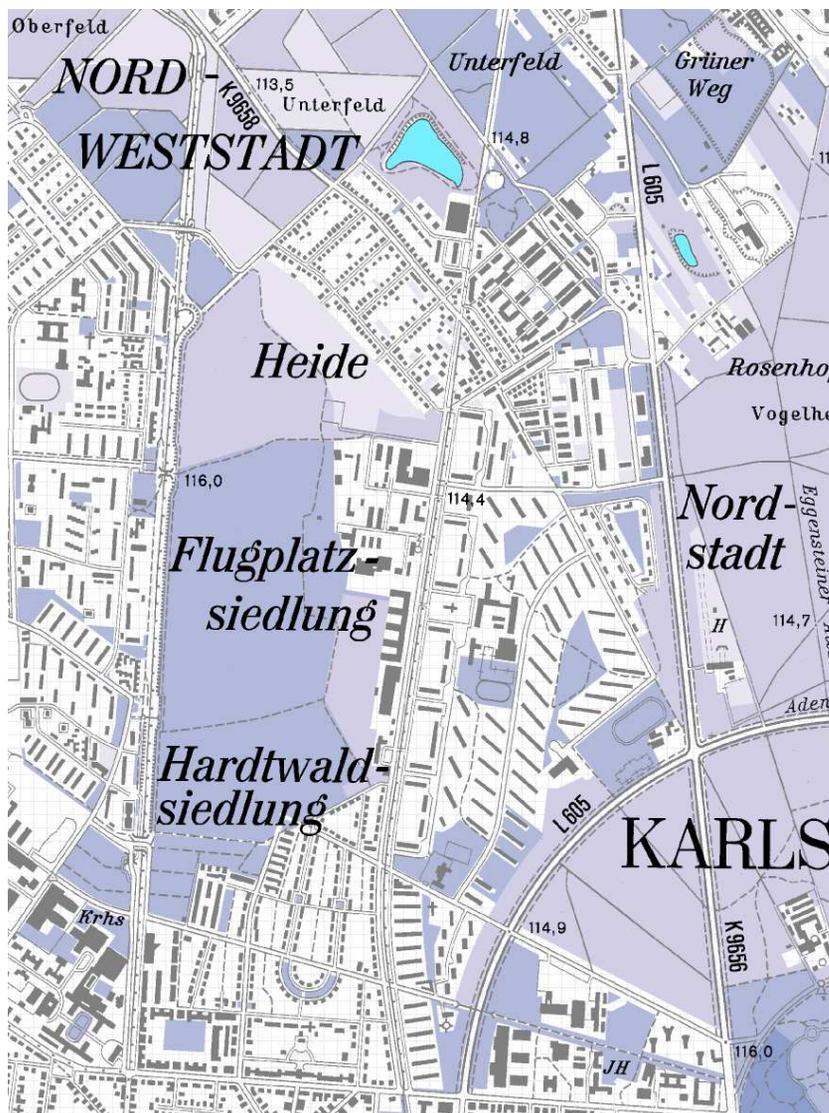


Abbildung 1.1: Umgebungsplan des Untersuchungsgebiets „Zukunft Nord“ (Quelle: Ökologische Tragfähigkeitsstudie der Stadt Karlsruhe, 2011).

Im Jahr 2015 wurde zur Entwicklung des Gebiets ein städtebaulicher Wettbewerb ausgeschrieben,

1 Einleitung

dessen überarbeiteter Siegerentwurf die Grundlage für den heute aktuellen und in diesem Gutachten betrachteten Bebauungsentwurf (Stand März 2016) bildet.

Der Siegerentwurf sieht eine Neubebauung des Gebietes unter der Beibehaltung und Integration einzelner Gebäude in das Planungskonzept vor. Hierbei reicht die Neubebauung weiter in das Freigebiet hinein und überbaut somit Teile der bisherigen Brachfläche des NSG „Alter Flughafen Karlsruhe“.

1.1 Untersuchungsgegenstand

Untersuchungsgegenstand des vorliegenden Gutachtens ist die numerische Modellierung des Mikroklimas (Wind, thermische Situation und Bioklima) für die Ist-Situation („Bestand“ hiernach) sowie die aktuelle Planungssituation („Plan“ hiernach) jeweils für die Tages- und die Nachtsituation. Hierbei wird ein typischer sommerlicher Tag mit einer austauscharmen Hochdruckwetterlage als Rahmenbedingung angenommen, da sich unter diesen Voraussetzungen die durch die Umweltgestaltung hervorgerufenen Eigenarten des Mikroklimas am deutlichsten ausprägen können.

1.2 Bewertung durch numerische Simulation

Eine klimaorientierte Stadtplanung von heute benötigt Informationen darüber, wie sich das System Stadt in Abhängigkeit von unterschiedlichen Planungsszenarien unter den heutigen sowie den zu erwartenden Klimabedingungen verhalten wird. Das Mikroklima einer Stadt ist dabei ebenso komplex wie das Klima der Erde selber oder die Wettervorhersage. Es gibt keine einfache Regel, um wie viel Grad ein Park die Lufttemperatur senkt oder ob das Schließen einer Baulücke eine wesentliche Veränderung des Mikroklimas verursachen wird. Den einzigen sinnvollen Weg zur Bewertung von Planungsszenarien bieten daher numerische Simulationen, die quasi einen „Wetterbericht“ für einen Stadtteil oder ein Quartier erstellen können. Mit Hilfe von Modellsimulationen lässt sich die Struktur der Stadt beliebig verändern, ohne dass ein einziges Haus in der Wirklichkeit abgerissen oder gebaut werden müsste. So lassen sich die verschiedensten Planungsszenarien „durchspielen“ und die beste Option kann ausgewählt werden.

Zur numerischen Bewertung von kleinskaligen klimatologischen Prozessen hat sich das Rechenmodell ENVI-met (www.envi-met.com) weltweit bewährt. Mit ENVI-met ist es möglich bei einer räumlichen Auflösung von üblicherweise 1 bis 5 Meter die Stadtstruktur mit den unterschiedlichen Objekten und Materialien detailliert nachzubauen und das hieraus resultierende Mikroklima zu simulieren.

Die Analyse der mikroklimatologischen Prozesse sowohl für die Bestandssituation, als auch für das Planungsszenario erfolgt in diesem Gutachten mit der aktuellen Version ENVI-met 4.1 eXpert der ENVI_MET GmbH, Essen.

2 Vorhandene klimaökologische Untersuchungen zum Planungsgebiet

2.1 FFH-Verträglichkeitsstudie (2011)

Im Rahmen der Entwicklung von „Zukunft Nord“ wurde 2011 eine FFH-Verträglichkeitsstudie, eine spezielle artenschutzrechtliche Prüfung sowie eine Eingriffs-/Ausgleichsbewertung durchgeführt (Breunig, 2011). Dieses Gutachten wurde allerdings in der damaligen Ermangelung eines konkreten Bebauungsszenarios unter der Annahme einer fiktiven Bebauungsstruktur durchgeführt. Da diese erheblich von der nunmehr festgelegten Struktur abweicht und das lokale Mikroklima sensibel auf kleine Detailveränderungen reagiert, ist diese Studie für den aktuellen Rahmenplan im Bereich der Klimatologie nicht anwendbar.

2.2 Ökologische Tragfähigkeitsstudie für den Raum Karlsruhe (2011)

Die „Ökologische Tragfähigkeitsstudie für den Raum Karlsruhe“ ebenfalls aus dem Jahre 2011 untersucht das Schutzgut Klima/Lufthygiene als eines von fünf relevanten Schutzgütern. Im Hinblick auf das Untersuchungsgebiet sind die Aussagen zu den Kaltluftströmungen und Belüftungsbahnen von Relevanz (siehe auch folgender Abschnitt). Die Betrachtungen zur Kaltluftproduktion sowie den Kaltluftabflüssen basieren auf mesoskaligen Modellrechnungen mit dem Modell FITNAH. Für das Gebiet „Alter Flughafen“ wird in dem Bericht S.73 eine mittlere Kaltluftproduktionsrate von 350-700 m³/s angegeben. Da dieser Wert ohne relativen Bezug zu einer Fläche und nicht differenziert angegeben ist, kann er nicht überprüft oder hinterfragt werden. Übliche flächenbezogene Kaltluftproduktionsraten für Freiflächen liegen im Bereich von 10-20 m³/m²s. Sicherlich richtig ist die Feststellung, das es sich bei dem ehemaligen Flughafengelände um eine Fläche mit mindestens mittlerem Kaltluftproduktionspotential handelt. Die FITNAH Modellrechnungen zum Kaltluftabfluß sind ebenfalls Grundlage für das im Anschluss betrachtete Projekt „ExWoSt“ und werden dort betrachtet.

2.3 ExWoSt- Modellvorhaben „Innenentwicklung versus Klimakomfort“ (2013)

Das ExWoSt- Modellvorhaben „Innenentwicklung versus Klimakomfort“ wurde von 2009-2012 als eine Projektstudie für den Nachbarschaftsverband Karlsruhe durchgeführt. Der Fokus dieser Studie lag in der Ausarbeitung möglicher Umgestaltungsvarianten für typische Stadtquartiere mit dem Ziel, auf die durch den Klimawandel hervorgerufene Zunahme von sommerlichen Hitzebelastungen städtebaulich zu reagieren. Wenngleich die in dem Bericht vorgeschlagenen Umgestaltungsmaßnahmen an sechs Gebieten im Raum Karlsruhe konkretisiert werden, so handelt es sich um generelle „Best-Practise“ Maßnahmen aus dem Bereich der Klimawandeladaptation.

2 Vorhandene klimaökologische Untersuchungen zum Planungsgebiet

Die hier vorgestellten Prinzipien und Wechselwirkungen werden im Rahmen der Analyse der Modellergebnisse in diesem Bericht ebenfalls berücksichtigt, wenngleich der Zielhorizont für die Simulationen nicht die Klimaprojektionen 2050, sondern die aktuelle Zeitphase ist.

Im Rahmen der Erläuterung der „Maßnahme 1“ wird auf das nächtliche Kaltluftströmungsfeld (auch) im Bereich des hier untersuchten Gebietes „Alter Flugplatz“ Bezug genommen. Die hier gezeigte Abbildung (vgl. Abbildung 2.1) ist etwas genauer als die in der oben genannten ökologischen Tragfähigkeitsstudie gezeigte Grafik.

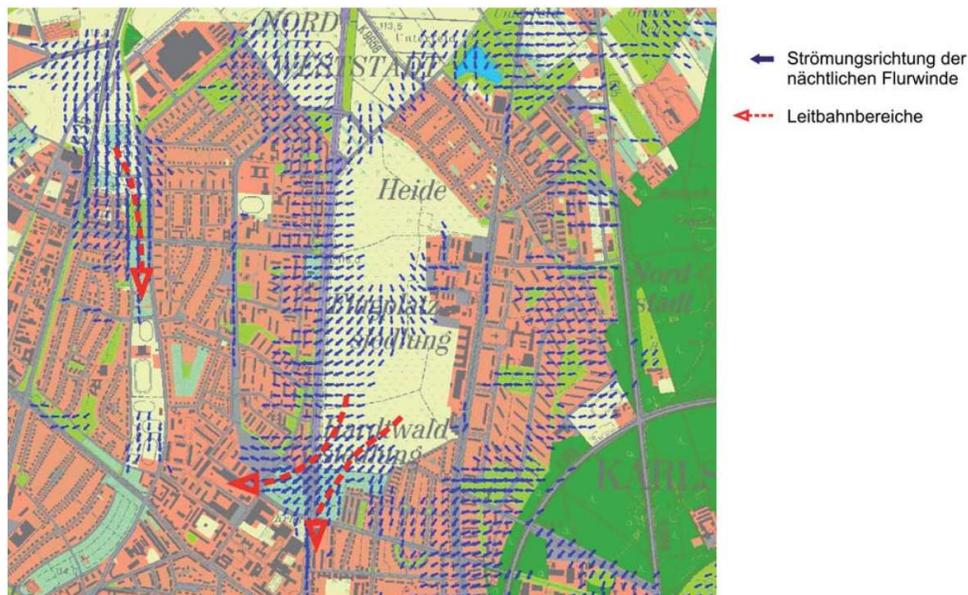


Abbildung 2.1: Kaltluftströmungen im Bereich des Untersuchungsgebiets „Zukunft Nord“ (Quelle: ExWoSt-Modellvorhaben, 2012)

Wenngleich die Fläche des alten Flughafens eine potentielle Kaltluftproduktionsfläche ist, kommt es aufgrund der Flächenneigung sowie der quasi komplett umschließenden Randbebauung zu keiner Ausformulierung von signifikanten Kaltluftströmen, die über das Gebiet selber von Bedeutung wären. Die in die westlich anschließenden Wohnviertel gerichtete Strömung wird sich in der dichten Bebauung nach kurzer Zeit auflösen, gleiches gilt für die leichte Ostkomponente der Strömung im mittleren Teil des Gebietes. Die ausgewiesenen Leitbahngebiete im Südwesten tragen keine Durchlüftungsfunktion, da sich die Leitbahn aufgrund der angrenzenden Bebauung nicht weiter fortsetzt. Um die Auswirkungen der geplanten Bebauung auf die Durchlüftungssituation genauer zu betrachten, wurden zwei zusätzliche Simulationen über das Gesamtgebiet durchgeführt (vgl. Abschnitt 4.1, Seite 16).

2.4 „Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung: Anpassungskomplex Hitze“ (2015)

Für die Studie „Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung: Anpassungskomplex Hitze“ herausgegeben vom Stadtplanungsamt der Stadt Karlsruhe im Jahr 2015 gelten im Wesentlichen die gleichen Aussagen wie zur ExWoSt-Studie: Auch hier werden generelle Prinzipien zur Reduzierung oder Vermeidung von innerstädtischen Hitzebelastungen auf einer allgemeinen Ebene mit einzelnen Fallbeispielen aus Karlsruhe vorgestellt und diskutiert.

2.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass einerseits grundsätzliche und großräumige Untersuchungen über das Klima im Bereich Stadt Karlsruhe sowie dem Umland existieren, andererseits Detailstudien zu Anpassungsmaßnahmen in ausgewählten Gebieten in Karlsruhe durchgeführt wurden. Mikroklimatologische Untersuchungen oder Sondermessungen im Bereich des Untersuchungsgebiets, speziell unter Verwendung der aktuellen Bebauungsplanung, konnten im Rahmen dieses Gutachtens nicht gefunden werden.

Aus den grundlegenden Studien lässt sich ein Potential zur Kaltluftbildung im Bereich des NSG „Alter Flughafen Karlsruhe“ feststellen, das quantitativ im üblichen Rahmen einer Freifläche mit wenig Baumbewuchs liegt. Allerdings fehlt im Gebiet eine einheitlich Hangneigung und durch die fast komplett umschließende Umbauung können sich keine Luftleitbahnen mit übergeordneter Bedeutung für entfernter liegende Bebauungsbereiche ausbilden.

3 Mikroklimasimulationen mit dem Modell ENVI-met

3.1 Das Modell ENVI-met 4.1 eXpert

Das Modell ENVI-met (siehe u.a. Bruse 2007, Bruse und Fler, 1998; www.envi-met.com) ist ein dreidimensionales nicht-stationäres Strömungs-Energiebilanzmodell zur Berechnung des Mikroklimas und der Luftschadstoffverteilung in komplexen Umweltsituationen, wie beispielsweise das städtische Umfeld. Die physikalischen Grundlagen des Modells basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik (nicht-hydrostatische Navier-Stokes Gleichungen), der Thermodynamik (Energiebilanz von Oberflächen sowie Energieerhaltung in der Atmosphäre) sowie weiteren spezifischen Teilmodulen wie z.B. des Strahlungstransfers, der Gebäudephysik oder der Biodynamik von Pflanzen.

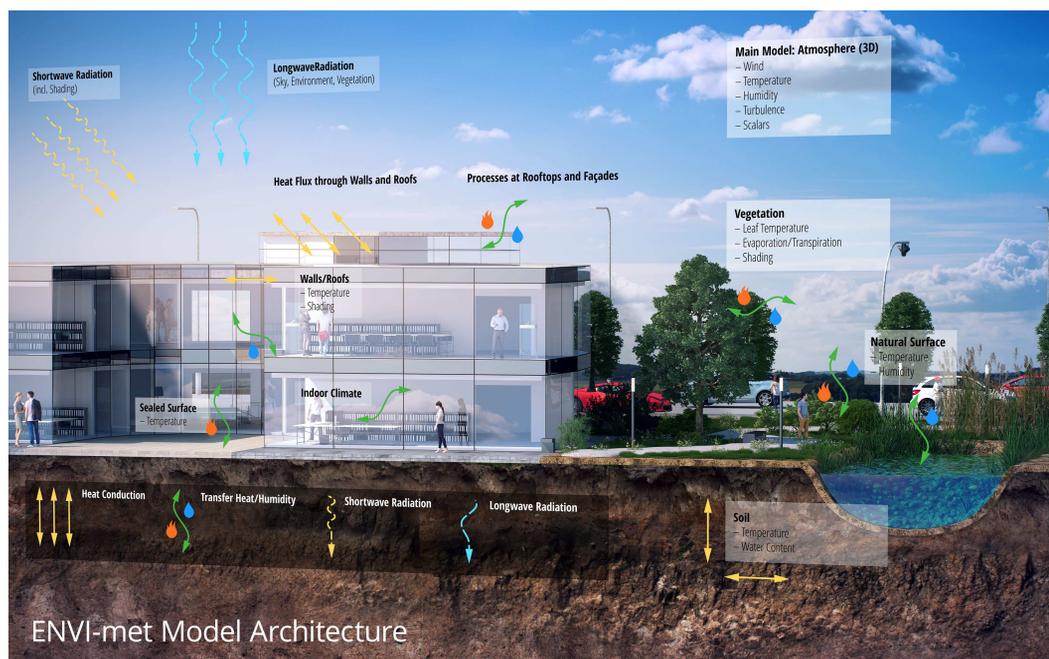


Abbildung 3.1: Grundkonzept des Mikroklimamodells ENVI-met

Mit einer typischen Auflösung von 1 bis 5 Metern im Raum und 1 bis 5 Sekunden in der Zeit liegt das Haupteinsatzgebiet von ENVI-met in der Simulation des Mikroklimas in Städten mit dem Fokus auf einzelnen Gebäude(-komplexen) oder Straßenzügen. Üblicherweise wird mit ENVI-met zumindest ein Zyklus von 24 Stunden Modellzeit simuliert, um ein realistisches Aufwärmen und Abkühlen der betrachteten Struktur sowie die Ausbildung der damit verbundenen Austauschprozesse zu ermöglichen. Die in diesem Projekt zum Einsatz gekommene Version 4.1

eXpert ist für die Simulation von komplexen Mikroklimasituationen in urbanen Räumen besonders geeignet, da sie folgende, zum Teil in der eXpert-Version exklusive, Fähigkeiten aufweist:

- Simulation des Wärmehaushalts der Gebäude mit 7 Berechnungspunkten in jedem Fassaden- und Dachsegment
- Neue, hochauflösende Bestimmung der Strahlungsflüsse
- Ein neues dreidimensionales Modell zur Berechnung und Analyse der Vegetationsvitalität unter Berücksichtigung des dreidimensionalen Bodenwasserhaushaltes

3.2 Das Untersuchungsgebiet

Zur Erstellung der ENVI-met Modellgebiete des Planungsgebietes und der angrenzenden Bebauung wurde im Wesentlichen auf die von der Stadt Karlsruhe im Shapefile-Format bereitgestellt Geodaten zurückgegriffen. Die Digitalisierung der Vegetationsbestände wurde mit Luftbildern von GoogleEarth abgeglichen und gegebenenfalls ergänzt.

Die Planungssituation zur „Zukunft Nord“ wurde von der Stadt als AutoCad DWG Datei bereitgestellt und übernommen. Die Höhen der geplanten Gebäude waren in den Planungsunterlagen nur stockwerksscharf angegeben. Die Planungsdaten unterschieden sich dabei in Details (z.B. Position der Bauwerke am Stadtteilplatz) von den Darstellungen in der bereitgestellten Vorlage *Ergebnispräsentation Planungsausschuß 12. Mail 2016*, wobei anzumerken ist, dass auch in dem letztgenannten Dokument nicht alle Abbildungen kongruent sind.

Die Verwaltung der Geodaten und die Erstellung der ENVI-met Modellgebiete erfolgte in dem Programm *ENVI-met Monde*. Abbildung 3.2 zeigt die Datenstruktur des Modells „Bestand“, Abbildung 3.3 das entsprechende Modell für den Planfall.

3.3 Festlegung der Modellgebiete

Mit ca. 700 × 1600 Metern ist das Planungsgebiet zu groß für eine hochauflösende mikroskalige Untersuchung. Daher wurden das Untersuchungsgebiet für die Detailuntersuchung in zwei Teilgebiete (Modellgebiet N / Modellgebiet S) unterteilt. Beide Modellgebiete überlappen sich einige Meter, um Übergangseffekte zu minimieren. Das Modellgebiet Groß wurde zur Untersuchung des Strömungsfeldes im Gesamtgebiet verwendet (vgl. Abbildung 3.4).

Insgesamt wurden die Modellgebiete wie folgt festgelegt:

Modellgebiet Groß (Übersicht) Größe: 675 × 1610 m, Auflösung Δ_{xy} : 6.0m , Gitterzahl: 113 × 269 Gitterpunkte

Modellgebiet N (Detail) Größe: 450 m × 600 m, Auflösung Δ_{xy} : 3.0 m , Gitterzahl: 151 × 200 Gitterpunkte

Modellgebiet S (Detail) Größe: 420 m × 660 m, Auflösung Δ_{xy} : 3.0 m , Gitterzahl: 141 × 221 Gitterpunkte

Die Lage und Auflösung der Modellgebiete für den Bestand- und den Plan- Zustand sind identisch. Der Überlappungsbereich zwischen den Modellgebieten N und S beträgt ca. 80 Meter. Zur verbesserten Darstellung des Planungsgebiets sind die Modellgebiete um 8° aus der Nordrichtung gedreht.

Abbildungstafeln 1 und 2 zeigen am Beispiel des Gesamtmodells die Verteilung der Gebäudehöhen.



Abbildung 3.2: Geodatenmodell BESTAND in ENVI-met Monde



Abbildung 3.3: Geodatenmodell PLAN in ENVI-met Monde



Abbildung 3.4: Übersicht über die Modellgebiete

3.4 Meteorologische Rahmenbedingungen für die Simulationsrechnung

In Rahmen des vorliegenden Gutachtens sollten die mikroklimatologischen Rahmenbedingungen für die Bestands- und Planungssituation für einen typischen warmen Sommertag untersucht werden.

3.4.1 Windrichtung und -geschwindigkeit

Bei der Auswahl der zu betrachtenden Windrichtung und -geschwindigkeit ist bei der Untersuchung sommerlicher Hochdrucklagen zwischen einer synoptischen Windströmung und einem potentiellen katabatischen Windsystem zu unterscheiden.

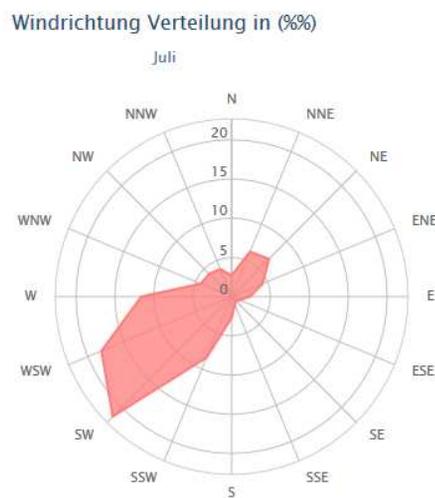


Abbildung 3.5: Mittlere Windrichtungsverteilung im Juli an der Station Rheinstetten (Quelle: www.windfinder.com)

Die **synoptische Windströmung** gibt als übergeordneter Höhenwind sowohl die Windrichtung als auch die Referenzwindgeschwindigkeit vor. Die Abnahme der Windschwindigkeit mit der Höhe erfolgt dann in Abhängigkeit von thermischer Schichtung und Bodenrauigkeit gemäß der logarithmischen Regel

$$u(z) = u_r \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \Phi_H$$

wobei z die betrachtete Höhe der Windgeschwindigkeit $u(z)$ ist, z_0 steht für die Rauigkeitslänge der Oberfläche, z_r ist die Referenzhöhe und u_r die Windgeschwindigkeit in dieser Höhe. Φ_H ist eine Skalierungsfunktion zur Berücksichtigung der thermischen Schichtung.

Katabatische Windsysteme hingegen basieren auf Temperatur- und Dichteunterschieden der bodennahen Luftmassen und sind unabhängig vom übergeordneten Windfeld. Voraussetzung für ihre Entstehung sind neben einer generellen austauscharmen Wetterlage signifikante Temperaturunterschiede zwischen der „kalten“ Luft und der Umgebungsluft und, im Fall der nächtlichen Kaltluftabflüsse, ein ausreichend starkes und einheitliches Gefälle der Bodenoberfläche.

Die Untersuchungen in diesem Gutachten gehen von dem Vorliegen einer schwachen, aber gerichteten synoptischen Windströmung mit einer für die Sommermonate typischen Windrichtung aus den Sektoren um Südwest aus (vgl. Abbildung 3.5).

Zusätzlich zu den allgemeinen Untersuchungen wurde die Auswirkung der Bebauungsmaßnahme auf das Strömungsfeld eines angenommenen südwärtsgerichteten Kaltluftabflusses (vgl. Abbildung 2.1) untersucht. Hierbei wurde das gesamte Planungsgebiet mit der Umgebung in einem großen Modellgebiet untersucht.

3.4.2 Lufttemperatur und -feuchte

Die Festlegung der Lufttemperatur und relativen Feuchte am Modelleinströmrand ist, soweit keine Extremwerte angenommen werden, für die Simulation kein sensibler Parameter, da die Modellergebnisse über einen relativ breiten Wertebereich linear skalieren, das heißt, das Verhalten des Mikroklimasystems ist bei angenommenen 25°C nicht anders als bei 30°C, lediglich die Temperaturverteilung zeigt einen Offset von 5 Kelvin.

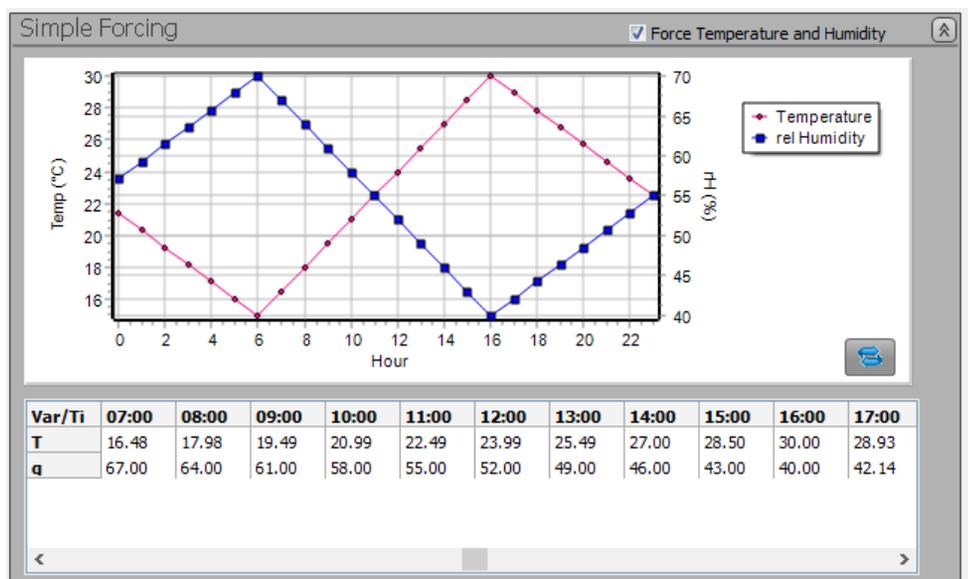


Abbildung 3.6: Tagesgang Lufttemperatur und relative Feuchte für die Modellsimulationen

Der Tagesgang der Lufttemperatur und Luftfeuchte wurde mittels des sogenannten Simple-Forcings auf Stundenbasis für das 2 Meter Niveau im Modelllauf vorgegeben (vgl. Abbildung 3.6).

3.4.3 Bodentemperatur und -feuchte

Für die Verteilung der Bodentemperatur und -feuchte wurden mittlere Werte einer typischen Sommersituation angenommen. Für die Bodentemperatur wurde eine einheitliche Temperatur von 19,85°C und für die Bodenfeuchte eine nutzbare Feldkapazität η_u von 50 % in der obersten Bodenschicht und von 60 % in allen anderen Bodenschichten angenommen.

Die nutzbare Feldkapazität ist vereinbarungsgemäß definiert als:

$$\eta_u = \eta_{fc} - \eta_{wilt}$$

wobei η_{fc} der Wassergehalt des jeweiligen Bodenmaterials bei Feldkapazität ist (maximale Sättigung bevor Wasser in untere Bodenschichten abgegeben wird) und η_{wilt} der minimale Wassergehalt des Bodens ist, den Pflanzen benötigen, um den Bodenporen über die Wurzeln Wasser entziehen zu können.

Beide Werte reagieren im Modellauf schnell auf die jeweiligen Standortbedingungen. Durch die Auswahl einer mittleren Bodenfeuchte entsprechen die Simulationsergebnisse einer sommerlichen Witterungslage mit vereinzelt Niederschlägen in den vergangenen Wochen. Zur Simulation des Mikroklimas unter der Annahme einer längeren Hitze- und Dürreperiode sind sie jedoch nicht geeignet.

3.4.4 Zusammenfassung der meteorologischen Rahmenbedingungen

Datum: 20.07.

Bewölkung: keine

Windgeschwindigkeit und -richtung: Hauptanalysen: 1.5 m/s aus Südwest in 10 m über flachem Gelände, Kaltluftanalyse: 0.8 m/s aus Nord in 10 m

Lufttemperatur: Maximum 30.00 °C um 16:00 Uhr, Minimum 14.98 °C um 06:00 Uhr in 2 m Höhe

Relative Luftfeuchte: Maximum 70.00% um 06:00 Uhr, Minimum 40.00% um 16:00 Uhr in 2m Höhe

Bodenbedingungen: Bodentemperatur: 19.85 °C in allen Schichten, Relative Bodenfeuchte: 50% (0–20 cm), 60% (alle anderen Schichten)

4 Simulationsergebnisse

In den nachfolgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Untersuchungsaspekte der Simulationsrechnungen zu „Zukunft Nord“ vorgestellt.

Die Referenzen zu den Abbildungen beziehen sich hierbei auf die ganzseitigen Abbildungstabeln im Anhang. Die Abbildungen mit dem Index „a“ zeigen dabei jeweils den nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets, während die Abbildungen mit dem Index „b“ analog den südlichen Teil darstellen.

Da das Untersuchungsgebiet in zwei Teilgebiete zerlegt werden musste, sollten der untere Randbereich des nördlichen Modellgebiets nicht interpretiert werden, da hier der Einschwingbereich des Modells liegt. Die Planungsbereiche in diesem Rand sind im südlichen Modellgebiet ebenfalls vorhanden und können dort interpretiert werden.

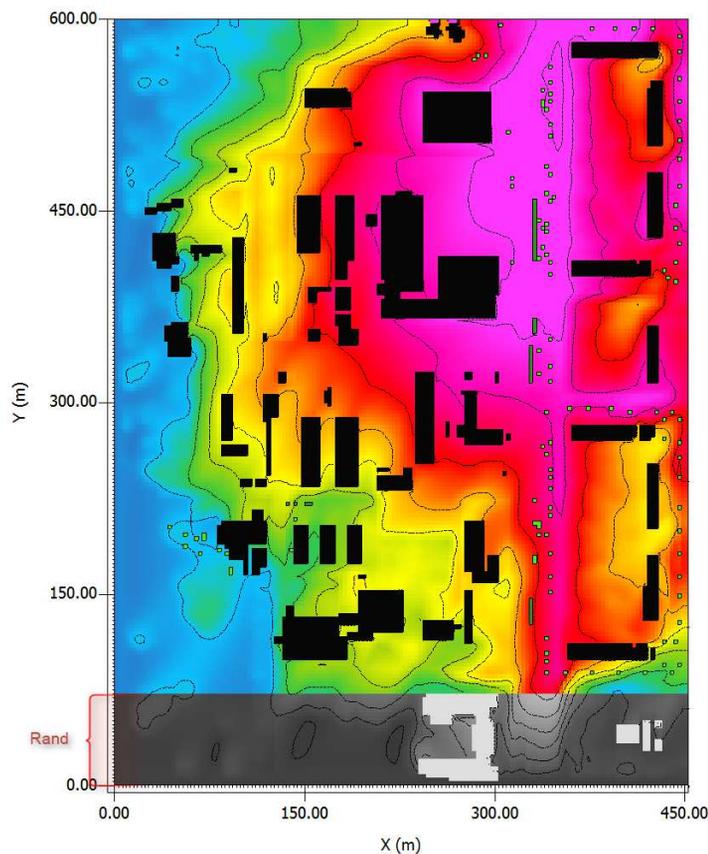


Abbildung 4.1: Randbereich des nördlichen Modellgebiets (grau), der nicht interpretiert werden sollte.

4.1 Analyse des Strömungsverhaltens der Kaltluft (Nacht 02:00)

Unter Verwendung des großen Modellgebietes wurde untersucht, inwieweit die beabsichtigte Bebauung einen potentiellen Kaltluftabfluss aus nördlicher Richtung beeinflusst. Hierbei wird die Kaltluftströmung modelltechnisch als eine langsame synoptische Windströmung angenommen, so dass Produktions- und Auflösungseffekte nicht abgebildet werden können. Die Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit sowie eventuelle Umleitungseffekte können jedoch hiermit analysiert werden.

Bestand **Abbildungstafel 3** zeigt das Strömungsfeld für den Bestandsfall, hier angenommen für den Zeitpunkt 02:00¹.

Die Einzelbebauung im Norden ist bereits ein signifikantes Hindernis für eine von Norden herangetragene Kaltluft, dass weit über die West-Ost Ausdehnung des Untersuchungsgebiets hinausreicht. Diese Baustruktur macht es unwahrscheinlich, dass Kaltluftvolumina, die außerhalb des Untersuchungsgebiets produziert wurden, über eine Luftleitbahn in das Gebiet hinein transportiert werden. Lediglich in der Mitte des Untersuchungsgebiets, in der Verlängerung der Achse Erzbergerstraße sowie in der Erzbergerstraße selber, ist das Potential einer schmalen durchgängigen Luftleitbahn erkennbar.

Somit verbleibt als Kaltluftquelle das Untersuchungsgebiet selber, genauer, die Freifläche des alten Flugplatzes. Im Bestandsfall wird die Kaltluftproduktionsfläche durch die Bestandsbebauung im nördlichen Teil sowie entlang der Erzbergerstraße reduziert. Durch die südwärtsgerichtete Komponente der Kaltluft einerseits und durch die riegelhafte Bebauung entlang der Erzbergerstraße kommt es zu keinen Austauschprozessen zwischen der Freifläche des alten Flugplatzes und der Bebauung im Osten. Ein relevantes Eindringen der Kaltluft in bebaute Gebiete kann daher nur am südlichen Ende des NSG beobachtet werden.

Plan In **Abbildungstafel 4** ist analog das Strömungsfeld der Kaltluftströmung für den Planungsfall dargestellt. Durch die Erweiterung der Bebauung in das Gebiet des alten Flugplatzes hinein, wird innerhalb der neuen Bebauung die südwärtsgerichtete Strömung modifiziert. Durch die Baustruktur kommt es jedoch zu keiner grundlegenden Veränderung der Strömungsrichtung, weder auf dem Gebiet des NSG, noch im Bereich der Erzbergerstraße oder der nach Osten anschließenden Bebauung. Das Eindringen der Strömung in die südlich anschließenden Gebiete wird durch die Maßnahme nicht modifiziert, die Veränderungen beschränken sich auf das eigentliche Planungsgebiet.

Veränderung **Tafel 5** zeigt vergleichend die Differenzen der Windgeschwindigkeit in 1.8 Meter über Grund. Hier wird nochmals deutlich, dass sich die Veränderung im Strömungsverhalten auf den eigentlichen Planungsbereich beschränken.

4.2 Windfeldberechnungen für die Bestandssituation und Planungsvariante

Die hochauflösenden Windfeldberechnungen für den Bestand und die Planungsvariante gehen von einer synoptisch induzierten Windströmung aus Südwest mit einer Windgeschwindigkeit von 1.5 m/s über freiem Grund aus. Die Untersuchungen wurden jeweils für die Tagsituation (14:00 Uhr) und die Nachtsituation (04:00 Uhr) durchgeführt.

¹Da in dieser Modellierung keine Produktion oder Auflösung von Kaltluft explizit modelliert wurde ist die Uhrzeit der Betrachtung im Prinzip irrelevant

4.2.1 Windfeld Tagsituation 14:00

In **Abbildungstafel 6 a/b** ist das Strömungsfeld in der Bestandsbebauung um 14:00 Uhr Mittags dargestellt. Die Bebauungsstruktur im nördlichen Randbereich des alten Flugfeldes ist aerodynamisch undifferenziert und lässt die nordostwärts gerichtete Strömung mit nur geringen Modifikationen passieren. An den Gebäuderändern kommt es teilweise zu Düsenwirkungen, die sich allerdings auf den Nahbereich des Gebäudes beschränken.

Bestand

Die Riegelbebauung im Bereich der DHBW Hochschule sowie das angrenzende Aircraft-Phillip Gebäude blockieren die Strömung. Es kommt zu windschwachen Zonen insbesondere in den Hofbereichen der Hochschule sowie zu starken Düseneffekten zwischen den beiden Gebäuden und an den Kanten der Hochschule.

Abbildungstafel 7 a/b zeigt die Ergebnisse der Windfeldsimulation für den Planungszustand um 14:00 Uhr. Generell ist die Windströmung innerhalb der geplanten Bebauung stark reduziert mit Werten um 0.5–0.6 m/s, was 50 bis 60% der ursprünglichen Windgeschwindigkeit entspricht. Eindeutige Belüftungssachsen lassen sich in der geplanten Struktur nicht identifizieren. Die hierfür potentiell geeigneten *Parkfenster* kommen dieser Funktion bei der angenommenen südwestlichen Anströmung nicht nach, da ihre Achsen West-Ost ausgerichtet sind und durch die aufgelockerte Bebauung am Rand keine Umlenkung des Windes erfolgt. Teilweise kommt es bei der geplanten Bebauung zu Düseneffekten an den Gebäudekanten. Insbesondere bei den Zugängen zum geplanten Stadtteilplatz sind diese Effekte zu beobachten.

Planung

Größere Problembereiche, die verändert werden sollten, lassen sich in der vorliegenden Windfeldstudie nicht erkennen. Die Thematik der Durchlüftung des Planungsgebiets wird bei der Analyse der Lufttemperatur nochmals aufgenommen.

4.2.2 Windfeld Nachtsituation 04:00

Bei einem synoptisch angetriebenen Windfeld besteht der wesentliche Unterschied zu dem Tageswindfeld in der veränderten Stabilität der Atmosphäre. Durch eine weniger labile beziehungsweise im bodennahen Bereich gegebenenfalls stabile Schichtung ist der vertikale Austausch reduziert, was sich in etwas geringeren Windgeschwindigkeiten als während des Tages bemerkbar macht. Die generelle Struktur des Windfeldes hinsichtlich der Windrichtung und der relativen Verteilung der Windgeschwindigkeit ist jedoch gleich.

Die **Abbildungstafeln 8 a/b** sowie **9 a/b** zeigen das Windfeld für die Bestandssituation und das Planungsszenario für 04:00 Uhr. Die Analysen und Aussagen für die Nachtsituation sind aufgrund der obenstehenden Rahmenbedingungen analog zur Tagesituation.

4.3 Analyse der Lufttemperatur für die Bestandssituation und Planungsvariante

Analog zu der Analyse des Windfeldes erfolgt die Betrachtung der bodennahen Lufttemperatur für die Tagessituation (14:00 Uhr) sowie für die Nachtsituation (04:00 Uhr).

Die vertikale Verteilung der Lufttemperatur am Einströmrand (hier: links und unten) wird durch eine eindimensionale Lösung der Temperaturgleichungen erzeugt, wobei als Bodentemperatur eine über alle Zellen des Modellgebiets gemittelte Temperatur verwendet wird. Die Temperatur der einströmenden Luft hängt hierdurch zu Teilen von dem Modellgebiet selber ab, wodurch Änderung im Modell auch Änderungen in der einströmenden Lufttemperatur zur Folge haben. Daher sollten einerseits die Zellen direkt an den Einströmändern nicht interpretiert werden, da sich dort die Temperaturverteilung an die lokalen Modellgegebenheiten anpasst. Andererseits kann es sein, dass bei einem direkten Vergleich der Lufttemperaturen ein gegebenenfalls vorhandener Offset der Einströmtemperatur korrigiert werden muss.

4.3.1 Lufttemperatur Tagsituation 14:00

Bestand **Abbildungstafel 10 a/b** zeigt die Verteilung der Lufttemperatur in 1.8 m Höhe um 14:00 Uhr für die Bestandssituation. Der vorgegebene großskalige Referenzwert für 14:00 Uhr war mit 27°C in 2 m Höhe ü.G. angesetzt. Im Bereich der Freifläche des NSG „Alter Flughafen“ entspricht diese angenommene Temperatur auch der sich einstellenden Gleichgewichtstemperatur, dichte Baumbestände reduzieren die Lufttemperatur lokal um -0.5 bis -0.8 K.

Im südlichen Teilgebiet liegen die wärmsten Zonen im Bereich der Erzbergerstraße und in der Nähe des Aircraft-Phillip Gebäudes (um die 28°C). Die halboffenen Hofbereiche der östlichen Randbebauung zeigen sich hingegen mit 26 bis 26.5°C etwas kühler.

Im nördlichen Teilgebiet wird die Verteilung der Lufttemperatur stark durch die Bestandsbebauung, Bodenversiegelung sowie fehlende Vegetation am östlichen Rand des alten Flugfeldes beeinflusst. Die warmen Bereiche zwischen den Gebäuden zeigen Werte von 28°C, wobei durch die Bestandsvegetation immer wieder kühlere Bereiche eingestreut werden. Durch die Windströmung aus Südwest wird erwärmte Luft auf den nördlichen Teil der Erzbergerstraße transportiert, so dass hier die Lufttemperatur generell höher liegt als im südlichen Bereich des Straßenzuges. Die Randbebauung im Osten zeigt analog zum südlichen Teilgebiet das gleiche Verteilungsmuster mit etwas kühleren Bereichen in den halboffenen Hofzonen.

Plan In der **Abbildungstafel 11 a/b** ist die Verteilung der Lufttemperaturen um 14:00 Uhr für den Planungsfall dargestellt. Im Bereich der verbliebenen Freifläche des alten Flughafens zeigen sich die Temperaturen unverändert, wobei sich die geplanten Bäume und Grünflächen entlang des Parksaums und des Parkfensters durch Verringerungen der Lufttemperatur um -0.5K bemerkbar machen.

Innerhalb der geplanten Bebauung macht sich die aufgelockerte Bebauung mit den gestreuten Schattenmustern sowie der großzügige Einsatz von Vegetation positiv durch ausgeglichene Temperaturen um die 27°C bemerkbar. Vereinzelt finden sich Bereiche mit etwas höheren Lufttemperaturen, beispielsweise südwestlich des Jugendclubs, die Zusammen mit der biometeorologischen Bewertung betrachtet werden sollten.

Die Lufttemperatur im nördlichen Bereich der Erzbergerstraße ist im Vergleich zur Bestandssituation weniger warm, da der Zustrom erwärmter Luft aus dem versiegelten Teil der Bestandsbebauung durch die Vielzahl von Bäumen reduziert wird.

4.3.2 Lufttemperatur Nachtsituation 04:00

Die Verteilung der Lufttemperatur während der Nacht ist eine Konsequenz aus den unterschiedlichen Energieeinträgen während des Tages, den verwendeten Materialien sowie der Durchlüftung des Gebiets. Die Zeit um 04:00 Uhr kann hierbei repräsentativ für die Verteilungsmuster in der Nacht angesehen werden, wobei die lokalen Abkühlungsraten im nachfolgenden Abschnitt nochmals einzeln betrachtet werden. Die angenommene Referenztemperatur für die Anströmung wurde mit 17.13°C festgesetzt.

Bestand In der Bestandssituation (**Abbildungstafel 12 a/b**) lässt sich deutlich der Temperaturunterschied zwischen dem freien Gelände des NSG „Alter Flughafen“ und der versiegelten Bereiche erkennen. Über der Freifläche beträgt die Lufttemperatur um die 17.5°C während sie im nördlichen Teil der Bebauung auf Werte bis zu 20°C ansteigt. Die Wärmefahnen der Oberflächen folgen der Windrichtung und erwärmen sich beim Überstreichen weiterer warmer Oberflächen weiter. Im unteren Teil des nördlichen Modellgebiets wird daher dieser advective Effekt entlang der Straßenachse etwas unterschätzt.

Während der relativ große Abstand zwischen den Baukörpern der Bestandsbebauung auf dem alten Flugfeld während des Tages zu einer hohen Strahlungssumme und somit hohen Temperaturen führte, ist er in den Nachtstunden günstig. Zwar ist das Bestandsgebiet wärmer als die Freifläche, aber durch die gute Durchströmbarkeit der Bebauung sind deutliche Abkühlungseffekte

durch die kühle Frischluft erkennbar. Lediglich im nördlichsten Abschnitt der Erzbergerstraße und den Bestandsgebäuden staut sich die Wärme mit Lufttemperaturen bis zu 20°C (+2.5K Erwärmung).

Die thermische Situation für den Planungsfall (**Abbildungstafel 13 a/b**) stellt sich deutlich anders dar als die Bestandssituation. Wie bereits in Abschnitt 4.2, S. 16, dargestellt, sind in der geplanten Bebauung keine klaren Durchlüftungachsen erkennbar, insbesondere nicht für die hier betrachtete südwestliche Windrichtung. Daher kommt es zu einer Anstauung der Wärme im gesamten Planungsgebiet mit Ausnahme der westlichen äußeren Bebauungsreihen. Die Lufttemperatur im Planungsgebiet liegt zwischen 19.5 und 20°C und somit +2 bis +2.5K über der Temperatur der anströmenden Luft (vgl. ebenfalls **Abbildungstafeln 14 a/b**). Der großflächige Besatz mit Straßenbäumen verstärkt diesen Effekt weiter, da durch den Kronenraum die langwellige Ausstrahlung der Oberflächen reduziert wird.

Die veränderte Bebauungssituation beeinflusst ebenfalls die Riegelbebauung östlich von der Erzbergerstraße. In den bereits erwähnten halboffenen Höfen steigt die Temperatur in der Folge der Advektion wärmerer Luft um bis zu +0.5K

Plan

4

4.3.3 Nächtliche Abkühlungsdynamik des Gebiets 22:00

Während die vorangehenden Abschnitte die räumlichen Verteilung der Lufttemperatur zu einem Zeitpunkt betrachtet haben, erlaubt die Analyse der Abkühlungsraten (**Abbildungstafeln 15 a/b sowie 16 a/b**) einen Einblick in die zeitliche Dynamik der Lufttemperatur. Dargestellt ist jeweils die Abkühlungsrate der Lufttemperatur um 22:00 Uhr in Kelvin pro Stunde. Der Zeitpunkt von 22:00 Uhr ist interessant für die Beurteilung, da hier für viele Menschen der Nachtschlaf beginnt und sie somit besonders sensibel gegenüber erhöhten Lufttemperaturen reagieren.

Generell sind die Muster von Lufttemperatur und Abkühlungsrate zwar ähnlich, die Abkühlungsrate lässt aber die Wirkung von kühlender Frischluft bzw. deren Fehlen noch deutlicher erkennen. So kann man beispielsweise für den Bestandsfall sehr gut das Eindringen und die kühlende Wirkung der Frischluft vom alten Flugfeld in die Bebauung erkennen und dessen Reichweite abschätzen. Für den Fall der Planungsvariante lässt sich so eine Eindringtiefe und Kühlwirkung der Frischluft von maximal ca. 100 m erkennen, danach nähert sich die Abkühlungsrate dem Wert von -0.7 K/h an, der um 22:00 Uhr in den verdichteten Bereichen vorherrscht.

4.4 Bioklimatologische Analyse

Das Ziel einer bioklimatologischen Analyse ist es, das Zusammenwirken der verschiedenen klimatologischen Parameter (Sonnenstrahlung, Lufttemperatur, Wind, Feuchte) auf den menschlichen Organismus und das daraus resultierende thermische Empfinden zu quantifizieren. Dieser Prozess ist allerdings komplex, da einerseits die unterschiedlichen Klimaparameter gleichzeitig auf den Menschen einwirken und sich verstärken oder aber neutralisieren. Andererseits lässt die rein physikalische Bewertung von Energieflüssen nur bedingt Rückschlüsse über die hieraus resultierende thermische Wahrnehmung des Menschen zu.

In der Humanklimatologie oder Bioklimatologie wird deshalb versucht, die Zusammenhänge zwischen den physikalischen Prozessen an der Schnittstelle Mensch-Umwelt und dem subjektiven Wohlbefinden zu parametrisieren. Hierzu sind in der Vergangenheit verschiedene mehr oder minder komplexe Indikatoren entwickelt worden, mit deren Hilfe eine Bewertung des Mikroklimas vereinfacht werden soll (vgl. z.B. VDI 3787).

Wenngleich fast alle komplexeren Methoden auf dem gleichen Grundschemata basieren, nämlich der Berechnung der Energiebilanz des Menschen ausgedrückt durch seine Hauttemperatur und

4 Simulationsergebnisse

Körperkerntemperatur, so gibt es dennoch eine ganze Reihe miteinander konkurrierender Parameter. Die Diskussion, welcher Indikator am besten geeignet ist für eine bioklimatologische Analyse wird oft kontrovers geführt, obwohl bei objektiver Betrachtung die berechneten Ergebnisse zwar in ihrer Einheit differieren, aber nur wenig in ihrem Aussagegehalt.

Für diese Untersuchung wurde der Parameter **PET („Physiologische Äquivalenttemperatur“)** für die Bewertung verwendet (vgl. VDI 3787). PET ist bei der Bewertung des Außenklimas nicht nur der weltweit am häufigsten eingesetzte Indikator, er ist zudem sehr transparent und physikalisch analog zu den etablierten Verfahren zur Bestimmung der Energiebilanz des Menschen in Innenräumen. Generell ist PET definiert als die Lufttemperatur eines (theoretischen) typischen Innenraums, die zu der gleichen stationären Haut- und Kerntemperatur führen würde wie die betrachtete Außensituation.

4.4.1 Funktionsweise von PET

PET ist ein statischer bioklimatologischer Indikator für das Temperaturempfinden des Menschen. „Statisch“ bedeutet hierbei, dass angenommen wird, dass sich der Organismus des Menschen in einem stationären energetischen Gleichgewichtszustand hinsichtlich der Kernparameter Hauttemperatur, Kerntemperatur und Schweißrate befindet.

Bis sich ein solcher stationärer Endzustand einstellt, können 5 bis 20 Minuten vergehen, je nachdem wie stark die Ausgangsverfassung des jeweiligen Menschen und das Mikroklima, dem er ausgesetzt ist, differiert. PET ist somit vor allem geeignet, um das thermische Empfinden von Menschen zu bewerten, die eine gewisse Zeit an einem Ort verweilen. Für sich bewegende Menschen ist PET nicht geeignet, da der Einfluss des Mikroklimas am jeweiligen Ort überschätzt wird. Die Bewertung von sich bewegenden Personen ist erheblich komplexer, da hier nicht nur die Eigenschaften des lokalen Mikroklimas berücksichtigt werden müssen, sondern auch die instationären Vorgänge am einzelnen Menschen und seine Bewegungsmuster durch das Untersuchungsgebiet.

In diesem Projekt wurde die Implementierung von PET in ENVI-met BioMet 1.0 verwendet, die gegenüber der Originalversion nach Höpfe (1999) aus VDI 3787 einige Fehlerkorrekturen aufweist.

Zur Bestimmung von PET wird zunächst die Energiebilanzgleichung des Menschen für die Außensituation gelöst. Als Ergebnis erhält man als relevante Kennwerte für den thermischen Zustand des Menschen unter anderem

- die mittlere Hauttemperatur
- die Körperkerntemperatur
- die aktuelle Schweißrate

Die zu bewertende Außensituation wird über die Parameter

- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Strahlungstemperatur

definiert.

Die Strahlungstemperatur ist eine theoretische Temperatur, die den Einfluss von Sonnenstrahlung und Wärmestrahlung auf das thermische Empfinden des Menschen parametrisiert. Zur Tageszeit ist die Strahlungstemperatur der wichtigste Parameter bei der Bestimmung von PET, alle anderen Faktoren treten weit in den Hintergrund.

Der Mensch selber wird durch seine Köpereigenschaften, sein Geschlecht, seine Aktivität sowie seine Bekleidung definiert. Letztere wird über den clo-Wert parametrisiert, der einem thermischen Widerstandswert entspricht. Für die Simulationen in diesem Projekt wurde von einer leichten Sommerbekleidung (tagsüber clo= 0.5, abends clo=0.9) ausgegangen. Die übrigen Einstellungen entsprechen den Standardannahmen nach VDI 3787 bzw. ISO 7730 und sind nachfolgend dargestellt.

Abbildung 4.2: Einstellungen zur Definition der persönlichen Parameter für die PET Berechnung in ENVI-met BioMet

Nachdem der thermische Zustand des Modellmenschens für die Außensituation bestimmt ist, wird der so definierte Mensch in eine standardisierte Innenraumsituation mit 0.1 m/s Wind und keiner Sonnenstrahlung übertragen. In einem nächsten Rechenprozess wird nun jene Innenraumtemperatur iterativ gesucht, bei der sich die gleiche Hauttemperatur und Kerntemperatur einstellen würde, wie sie für den Außenbereich bestimmt wurde. Das Ergebnis dieses iterativen Verfahrens – die theoretische Innenraumtemperatur – ist der PET-Wert.

4.4.2 Interpretation von PET

Der PET-Wert ist, wie viele andere Indikatoren (z.B. Wind-Chill, Gefühlte Temperatur), der Versuch eine komplexe Außenraumbedingung in eine verständlichere Innenraumsituation zu transferieren. Abbildung 4.3 veranschaulicht eine typische Klassifizierung von PET und dem Wärmeempfinden des Menschen für einen mitteleuropäischen Menschen.

Die hier eingetragenen PET-Grenzwerte sind jedoch nur als Orientierung zu verstehen. Sie variieren über die Sommersaison und sie unterscheiden sich regional. Zudem ist die PET Skala nach oben und unten offen und kann durch weitere Attribute wie „extrem heiß“ oder „extrem kalt“ frei erweitert werden. Wie bei allen Modellergebnissen ist vor allem die räumliche Verteilung der Werte und deren Veränderungen durch Planungsmaßnahmen relevanter als der exakte numerische Wert von PET.

4.4.3 Analyse der bioklimatologischen Modellergebnisse

Die Analyse der bioklimatologischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet erfolgt für die Uhrzeiten 15:00 Uhr und 22:00 Uhr. Die 15:00 Uhr Werte repräsentieren die Hitzebelastung während des Tages, wobei die Uhrzeit einen Kompromiss zwischen maximalem Sonneneintrag (13:00 Uhr) und maximaler Lufttemperatur (16:00 Uhr) darstellt.

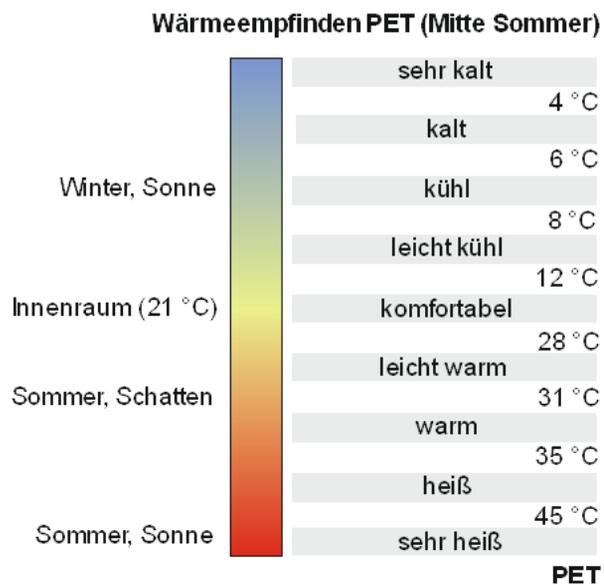


Abbildung 4.3: Wärmeempfinden in der PET Skala

Die abendliche Situation wird durch den 22:00 Uhr Wert repräsentiert. Dieses ist die Uhrzeit, ab der im allgemeinen die Nutzung des Außenraums stark abnimmt und die gut die Verhältnisse nach Sonnenuntergang bis zum Ende der angenommenen Außenraumnutzung repräsentiert.

4.4.4 Biometeorologische Situation Tag (15:00 Uhr)

Bestand **Abbildungstafel 17 a/b** zeigt die Verteilung der PET für die Bestandbebauung um 15:00 Uhr. Hierbei differenzieren sich die durch Gebäude und Bäume beschatteten Bereiche (PET um 30°C, *Empfinden leicht warm*) von denen, die unbeschattet sind (PET im Mittel 44 bis 48°C, *Empfinden heiß bis sehr heiß*). Innerhalb dieser Zonen sind feinere Differenzierungen durch die Windströmung und die Lufttemperatur zu beobachten.

Deutlich erkennen lassen sich die baumbestandenen halboffenen Höfe der Riegelbebauung im Osten der Erzbergerstraße, die bereits bei der Diskussion der Lufttemperatur als kühlere Zonen herausgestellt wurden.

Im Bereich des südlichen Abschnittes des alten Flugfeldes liegen die PET Werte durchweg im *heiß*en Bereich, da hier quasi keine Bäume als Schattenspende existieren. Im nördlichen Bereich des Flugfeldes existieren zwar mehr Bäume, aber die heißen Bereiche dominieren auch hier. In der Nähe von Gebäuden, insbesondere im Bereich der DHBW Hochschule sind aufgrund von fehlendem Luftaustausch und Reflektionen von den Gebäudewänden *sehr heiße* Zonen zu finden.

Plan In der Planungssituation (**Abbildungstafel 18 a/b**) wird durch die Schattenbereiche die große Zahl und gleichmäßige Verteilung von Bäumen (Feldhorn) über das Planungsgebiet deutlich.²

Größere Bereiche mit starker Hitzebelastung sind im Planungsgebiet nicht zu erkennen. Allerdings weist die Abbildung einzelne Stellen aus, bei denen durch leichte Veränderungen der Baumplatzierungen Verbesserungen erreicht werden könnten. Ungünstige Bereiche sind auch hier die westlichen Gebäudebereiche der Hochschule, da hier keine Planungsänderungen vorgenommen wurden.

²Allerdings geht diese Verteilung von einer Baumgröße von 12 Metern aus, die im Allgemeinen erst nach einigen Jahren erreicht sein wird

Der Bereich um den Jugendclub weist zwar leicht erhöhte Lufttemperaturen auf, wird aber durch die Schattenwirkung der Bäume geschützt, so dass auch hier die PET in den meisten Bereichen im *warmen* Bereich liegt.

4.4.5 Biometeorologische Situation Abend (22:00 Uhr)

Die Verteilung von PET nach Sonnenuntergang ist wesentlich sensibler gegenüber kleineren Veränderungen der Umwelt als während der Tagesstunden. Ab dem Untergang der Sonne dominiert neben der Lufttemperatur und der Windströmung vor allem die lokale langwellige Strahlungsbilanz die Verteilung von PET. Insbesondere großkronige Bäume oder dicht beieinander stehende Bäume können die langwellige Ausstrahlung des Bodens reduzieren und die Wärme so unter dem Kronendach halten (Biergarteneffekt).

Die Verteilung der PET-Werte **Abbildungstafel 19 a/b** um 22:00 Uhr zeigt, dass alle Werte innerhalb der sehr großen PET Klasse „komfortabel“ liegen. Allerdings kann diese Klasse nur bedingt die Aufenthaltsqualität im Freiraum abbilden, insbesondere nicht in den Sommermonaten, in denen man die Außenbereiche in den Abendstunden bei nur mäßiger oder keiner Bewegung nutzen möchte.

Bestand

Daher können die PET-Werte für die Abendsituation dahingehend interpretiert werden, dass PET Werte um ca. 21°C eine Nutzung des Außenraums ohne oder mit nur leichter zusätzlicher Bekleidung (Jacke, Pullover) zulassen und positiv zu bewerten sind. Werte unter 20°C können hingegen vor allem auf längere Dauer als zu kühl empfunden werden.

Im Falle der Bestandsbebauung fallen insbesondere wieder die halboffenen Höfe der östlichen Bauung der Erzberger Straße auf. Durch den Baumbestand wird hier ein angenehmes Bioklima mit leichten Variationsmöglichkeiten geschaffen. Des Weiteren zeichnet sich der Mittelstreifen der Straße durch seinen dichten Baumbestand als angenehm temperiert aus, wenngleich eine Aufenthaltsfunktion dort unwahrscheinlich ist.

Die Bestandsbebauung im nördlichen Teil des alten Flugfeldes zeigt tendenziell kühlere PET-Werte, wobei sich hier vereinzelte Baumeffekte oder Fassadenwärmestrahlung lokal bemerkbar machen. Die bereits erwähnte gute Durchströmbarkeit und damit Abkühlung des Gebiets resultiert hier letztendlich in kühleren Bedingungen.

Im Planungsfall (**Abbildungstafel 20 a/b**) lässt sich wiederum die großflächige Verteilung der Bäume und deren Effekt auf den Strahlungshaushalt der Oberfläche und damit Erhöhung der PET-Werte erkennen. Lediglich in den Bereichen der Parkfenster wird es durch die eindringende Frischluft etwas kühler mit PET-Werten um und unter 19°C.

Plan

Die bereits diskutierte reduzierte Abkühlung des Gebietes, hervorgerufen durch die geringe Durchströmbarkeit und in den Nachtstunden durch die Abschirmung durch den Baumbestand, führt hier letztendlich zu einer im Außenbereich thermisch angenehmeren Situation. Hiervon profitieren allerdings nur jene Menschen, die planen, sich um diese Uhrzeit im Außenbereich aufzuhalten.

5 Zusammenfassung und Planungsempfehlungen

Das vorliegende Gutachten untersucht die mikroklimatologischen Bedingungen im Bereich des städtebaulichen Entwicklungsprojekts „Karlsruhe Zukunft Nord“ durch numerische Modellrechnungen mit dem Modell ENVI-met 4.1 eXpert. Hierzu wurde einerseits die Bestandssituation (2016) analysiert, andererseits wurden die Auswirkungen der beabsichtigten Bebauung des Gebiets auf der Basis des aktuellen Rahmenplans untersucht.

Im Hinblick auf die Kaltluftproduktion und Kaltluftleitung kann festgestellt werden, dass das Untersuchungsgebiet selber durch die offene Fläche des NSG „Alter Flugplatz“ ein mindestens mittleres Kaltluftbildungspotential hat, diese Kaltluft aber durch eine fehlende klare Flächenneigung sowie die fast durchgängig geschlossene Randbebauung nicht transportiert werden kann. Potentielle Kaltluftströmungen aus nördlichen Richtungen werden durch die geplante Bebauung nicht signifikant gestört, da bereits in der Bestandssituation durchgängige Luftleitbahnen fehlen.

Durch den relative großen Gebäudeabstand der Bestandsbebauung am Rande des alten Flugfeldes ist der Bereich westlich der Erzbergerstraße gut belüftet. Allerdings führt der große Abstand und der spärliche Vegetationsbestand auch zu einer starken Erwärmung während des Tages.

Durch die geplante Bebauung verändert sich vor allem die Belüftungssituation innerhalb der neuen Bebauung selber. Hier fehlen durchgängige Luftleitbahnen für die vorherrschende sommerliche Windrichtung aus Südwesten.

Durch die zahlreichen Bäume und deren Schattenwurf ist die Hitzebelastung während des Tages innerhalb der neuen Bebauung reduziert. Während der Nachtstunden macht sich die fehlende Luftdurchlässigkeit in einer Überwärmung des Plangebietes bemerkbar. Hieran ändern auch die geplanten Parkfenster, zumindest bei der hier untersuchten Windrichtung, nichts. Die Eindringtiefe der kühleren Luft vom NSG „Alter Flugplatz“ in das Plangebiet ist fast überall unter 100 Meter.

Die Wärmespeicherung in der Bauungsstruktur führt, verstärkt durch den großzügigen Baumbestand, zu positiven bioklimatologischen Effekten für den Aufenthalt im Freien in den Abend- und Nachtstunden. Hier wäre in Abhängigkeit von der geplanten Nutzungsstruktur abzuwägen, ob der Aufenthaltfunktion oder dem Schlafkomfort der Bewohner eine höhere Wichtigkeit zugeordnet wird.

Planungsempfehlungen

In dem Gebiet sind zahlreiche Baumpflanzungen geplant, hierdurch entsteht im Mittel eine deutliche Reduzierung von Hitzestress. Allerdings verbleiben immer einzelne kritische Punkte, an denen es unangenehm heiß werden kann. Hier wären, auch im Hinblick auf die Abkühlungsfunktion, alternative Begrünungsmaßnahmen (Fassadenbegrünung, Pergolas etc) möglicherweise die elegantere Lösung.

In Abhängigkeit von der geplanten Nutzungsstruktur des neuen Quartiers sollte der Aspekt der Windleitbahnen berücksichtigt werden. Die Nähe des alten Flugplatzes bietet die seltene Gelegenheit, sommerliche Hitzesituationen durch das Einleiten von kühlen, lokalen Luftmassen zu

5 Zusammenfassung und Planungsempfehlungen

entschärfen. Die aktuelle Planung des Gebiets macht von dieser Möglichkeit keinen Gebrauch. Zwar wurde das Konzept der Parkfenster definiert, diese tragen jedoch keine sonderliche klimatologische Funktion. Der größte Teil der Bebauung ist in westlicher Richtung zum alten Flugfeld abgeschottet und bietet der Frischluft keine Durchlüftungsbahnen.

Essen, im Dezember 2016
Prof. Dr. Michael Bruse

6 Literatur

Breunig, Th. (2011): Gutachten Bebauungspläne „New-York-, New-Jersey-, Delaware-Straße“ und „Flugplatz Ost“, FFH-Verträglichkeitsstudie, spezielle Artenschutzprüfung, Eingriffs-/Ausgleichsbewertung, unveröffentlichtes Gutachten, Stadt Karlsruhe

Bruse, M., Fler, H. (1998): Simulating Surface–Plant–Air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model, *Environmental Software and Modelling*, (13), S. 373–384.

ExWoSt-Modellvorhaben Innenentwicklung versus Klimakomfort (2013), Projektstudie 2009-2012 im Auftrag des Nachbarschaftsverband Karlsruhe

Ökologische Tragfähigkeitsstudie für den Raum Karlsruhe (2011), Herausgeber: Nachbarschaftsverband Karlsruhe

Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature - A universal index for the biometeorological assessment, *Int J. Biometeorol.*, (43), S.71–75

Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung- Anpassungskomplex Hitze (2015), Herausgeber: Stadtplanungsamt Karlsruhe

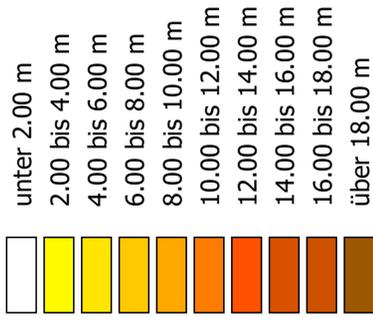
7 Anhang: Abbildungstafeln

7 Anhang: Abbildungstabeln

Abbildung 1: Zukunft Nord Bestand

Vogelperspektive aus k=13 (z=19.0000 m)

Gebäudehöhe



Min: 0.00 m
Max: 12.00 m

Vegetation

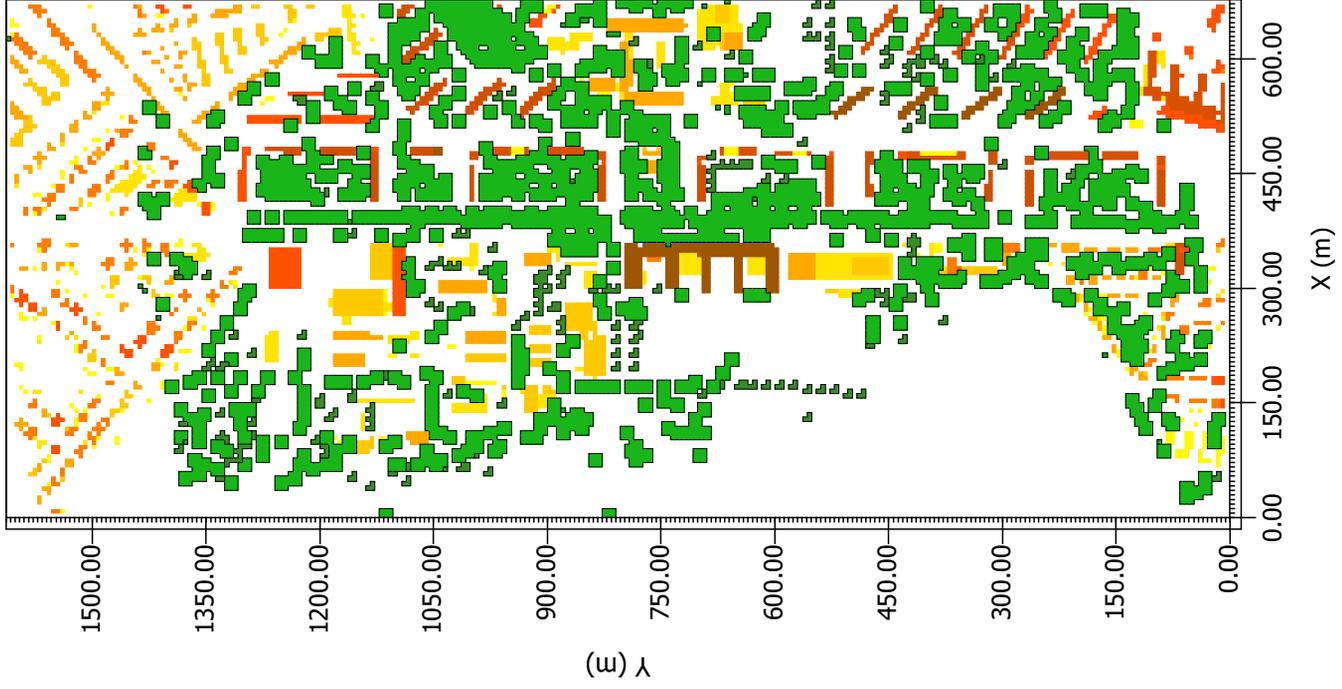
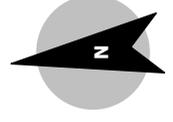
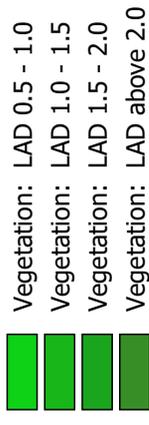
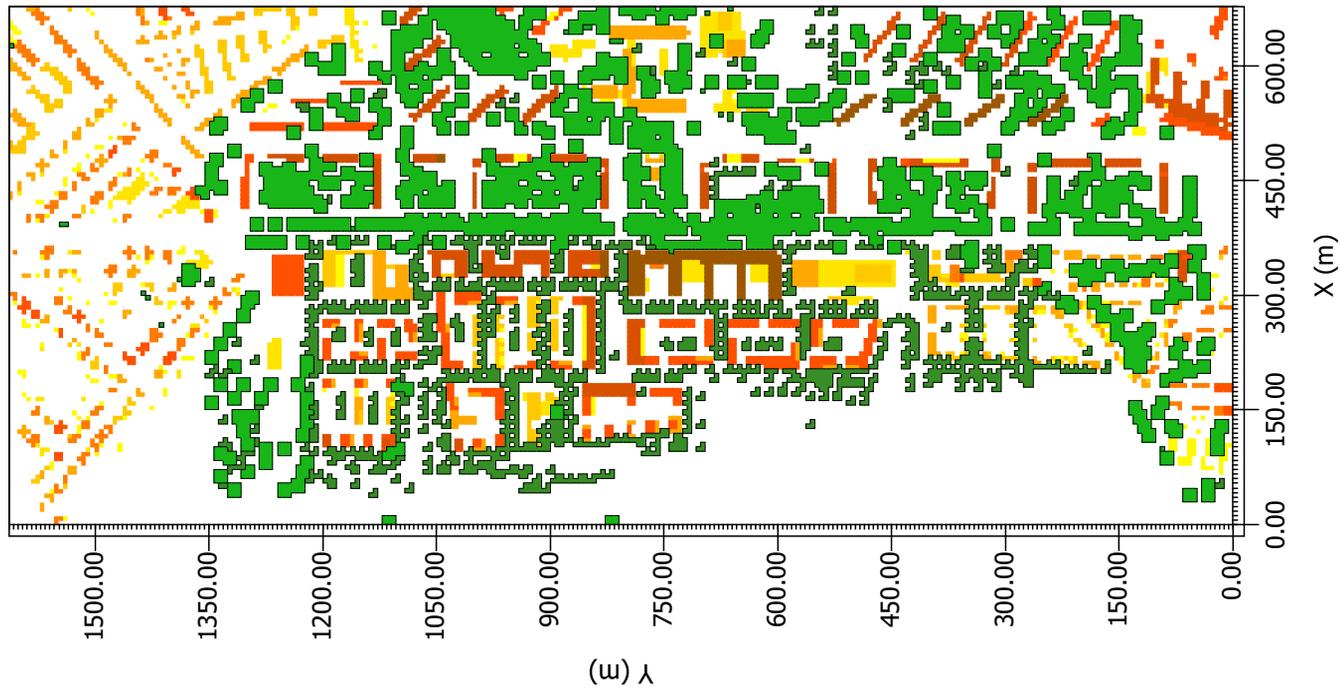


Abbildung 2: Zukunft Nord Plan



Gebäudehöhe

- unter 2.00 m
- 2.00 bis 4.00 m
- 4.00 bis 6.00 m
- 6.00 bis 8.00 m
- 8.00 bis 10.00 m
- 10.00 bis 12.00 m
- 12.00 bis 14.00 m
- 14.00 bis 16.00 m
- 16.00 bis 18.00 m
- über 18.00 m

Min: 0.00 m
Max: 12.00 m

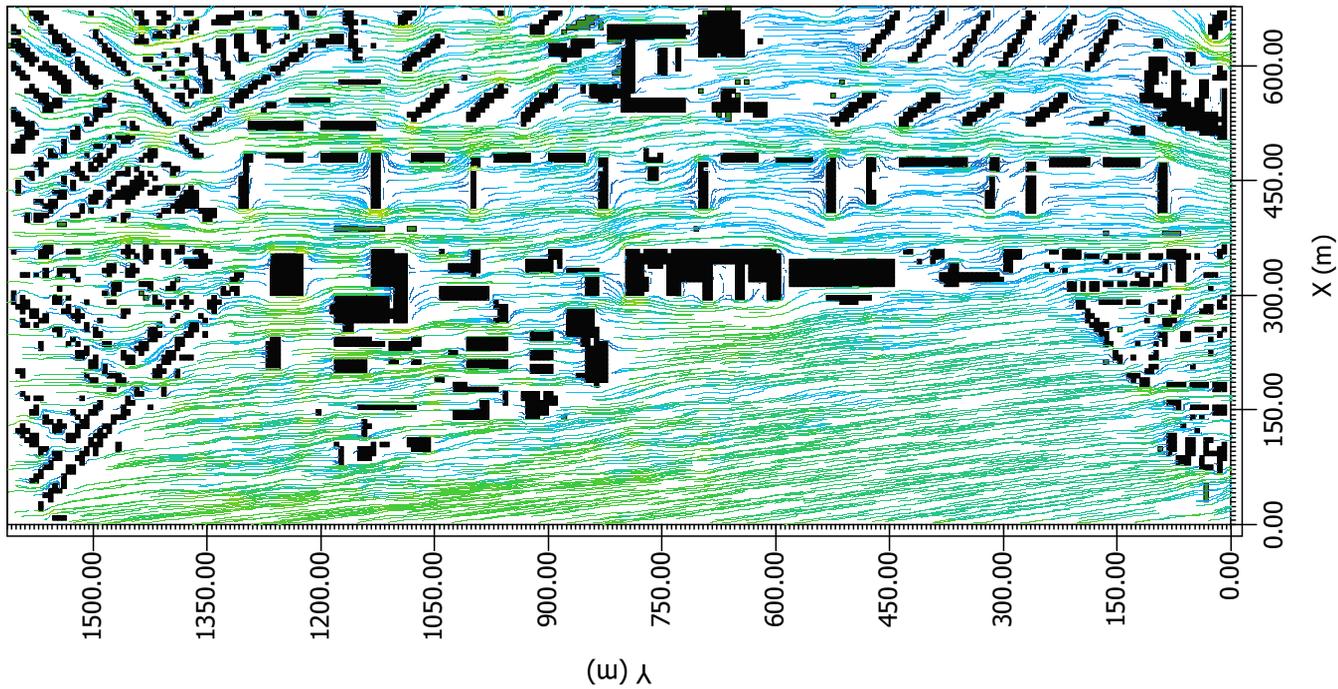
Vegetation

- Vegetation: LAD 0.5 - 1.0
- Vegetation: LAD 1.0 - 1.5
- Vegetation: LAD 1.5 - 2.0
- Vegetation: LAD above 2.0

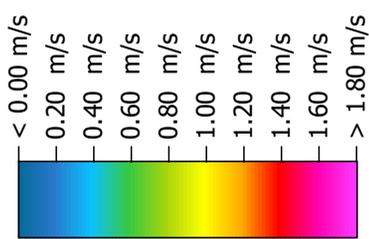


Abbildung 3: Zukunft Nord
Bestand 02:00

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Windgeschwindigkeit

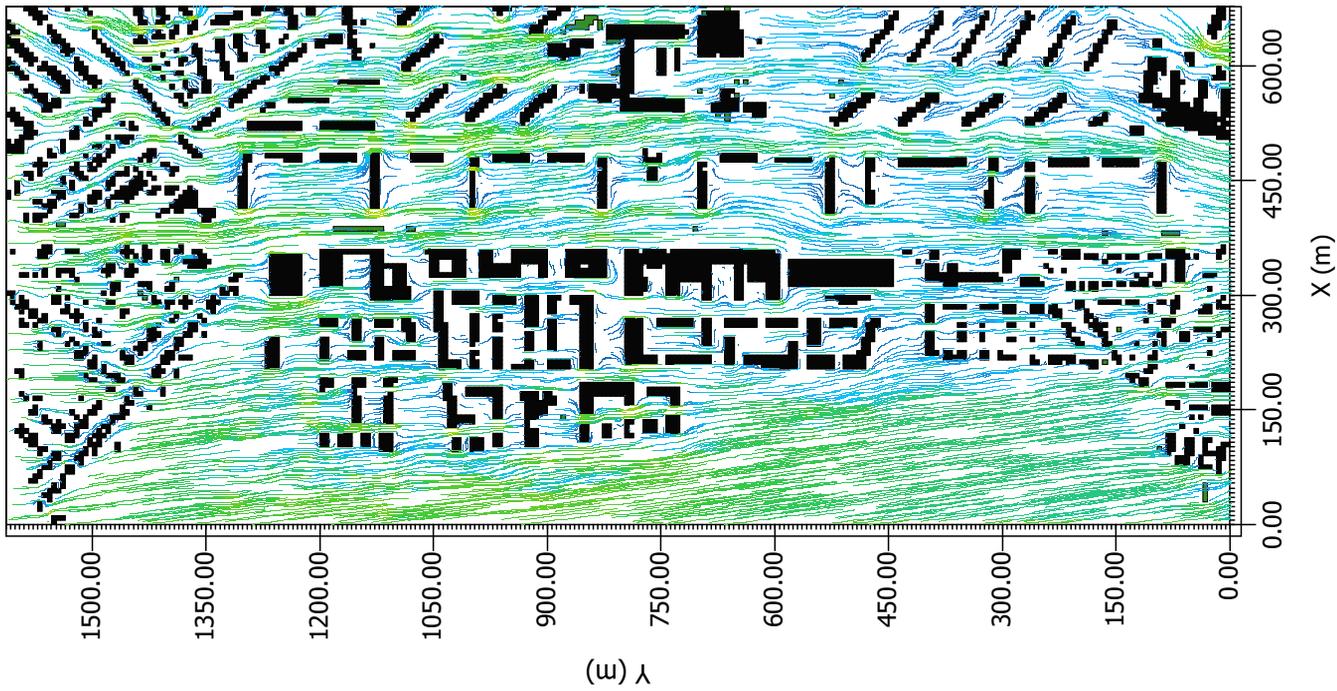


Min: 0.00 m/s
Max: 0.85 m/s

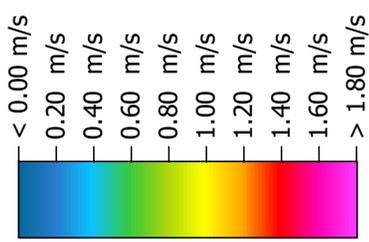


Abbildung 4: Zukunft Nord
Plan 02:00

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Windgeschwindigkeit

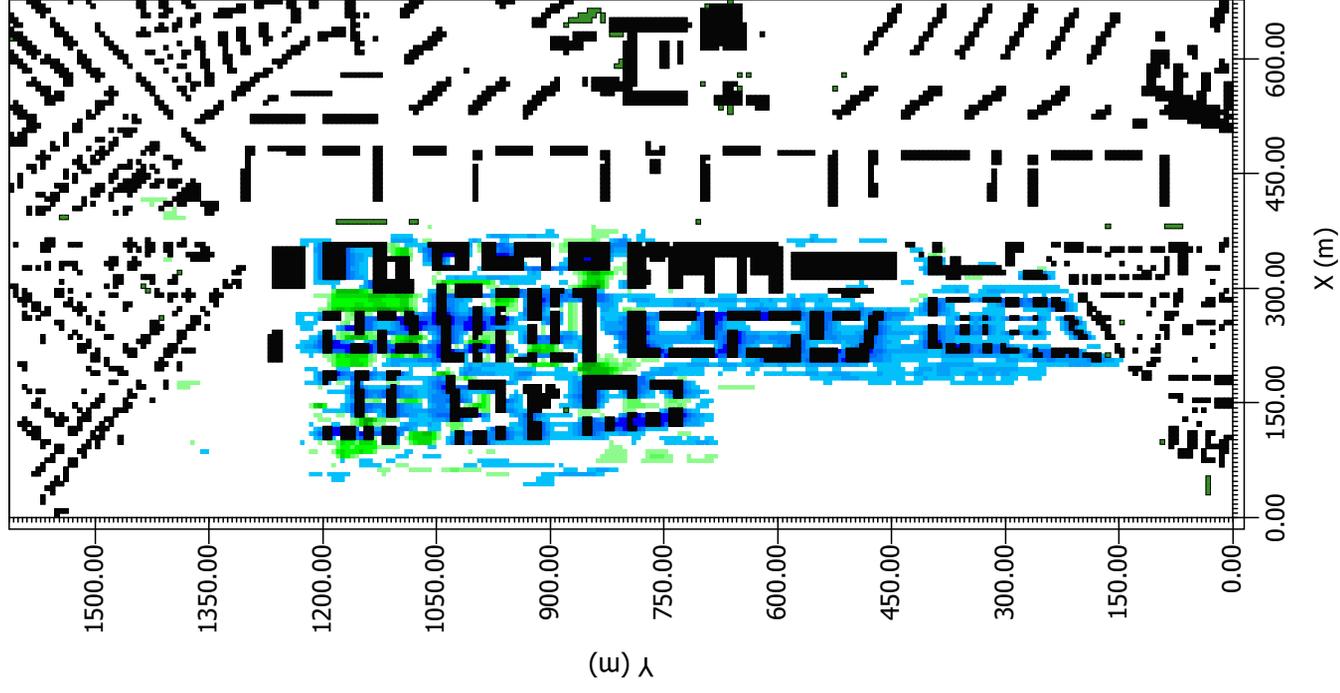


Min: 0.00 m/s
Max: 0.85 m/s

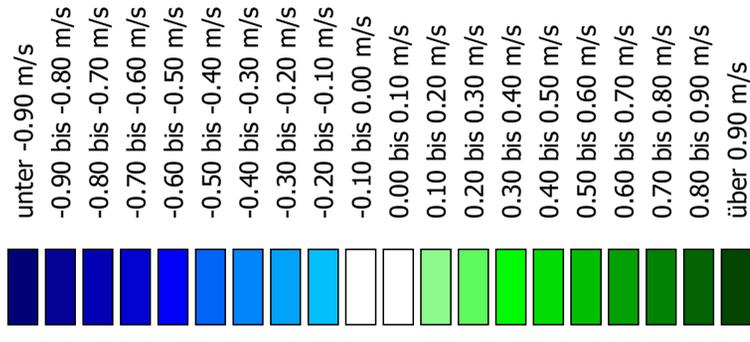


Abbildung 5: Vergleich
Zukunft Nord Plan - Bestand
02:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



**absoluter Unterschied
Windgeschwindigkeit**

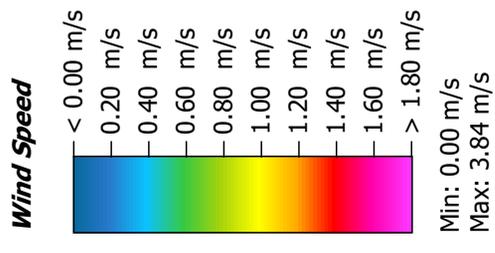
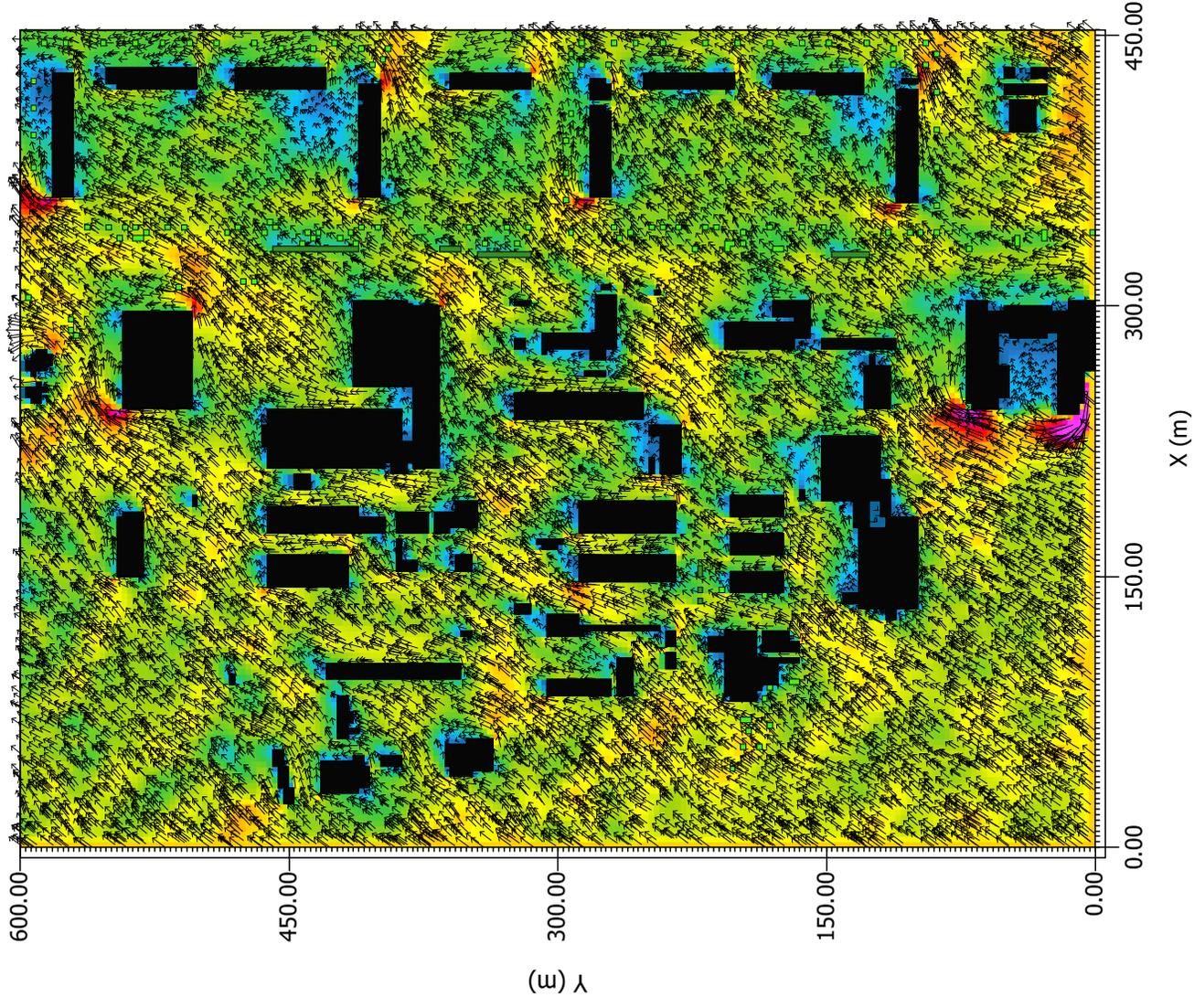


Min: -0.66 m/s
Max: 0.74 m/s



Abbildung 6a: Zukunft Nord
Bestand 14:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



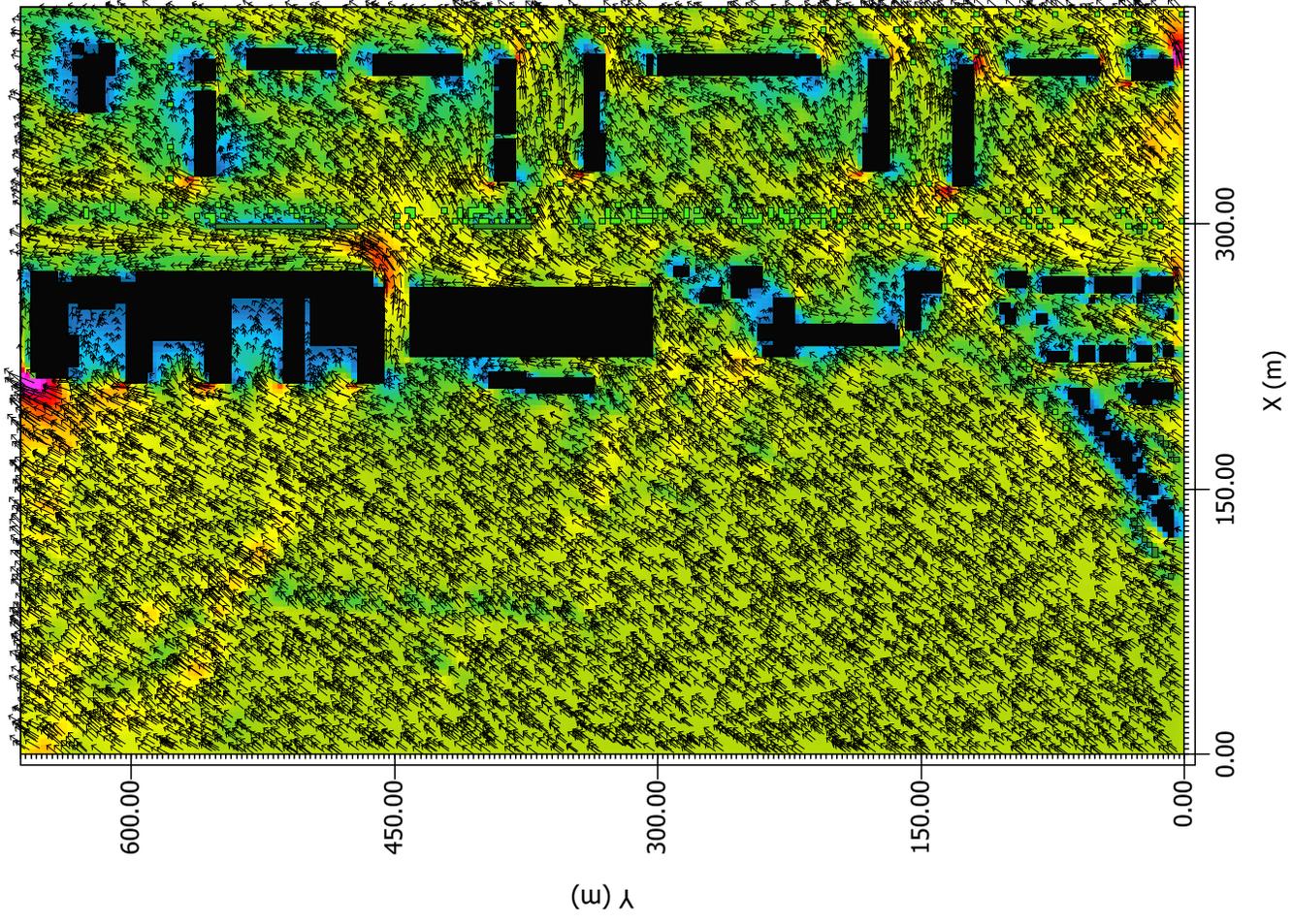


Abbildung 6b: Zukunft Nord
 Bestand S 14:001 20.07.
 x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

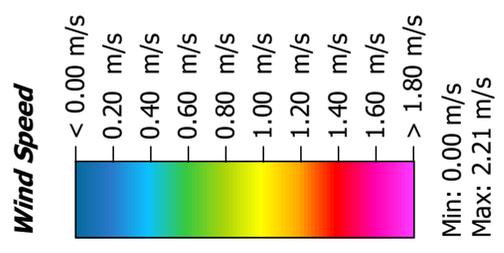
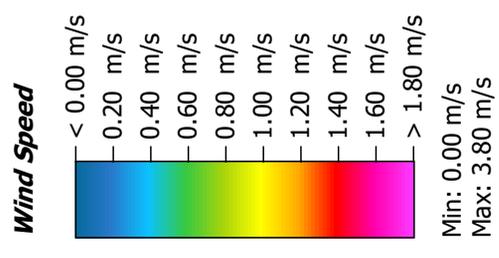
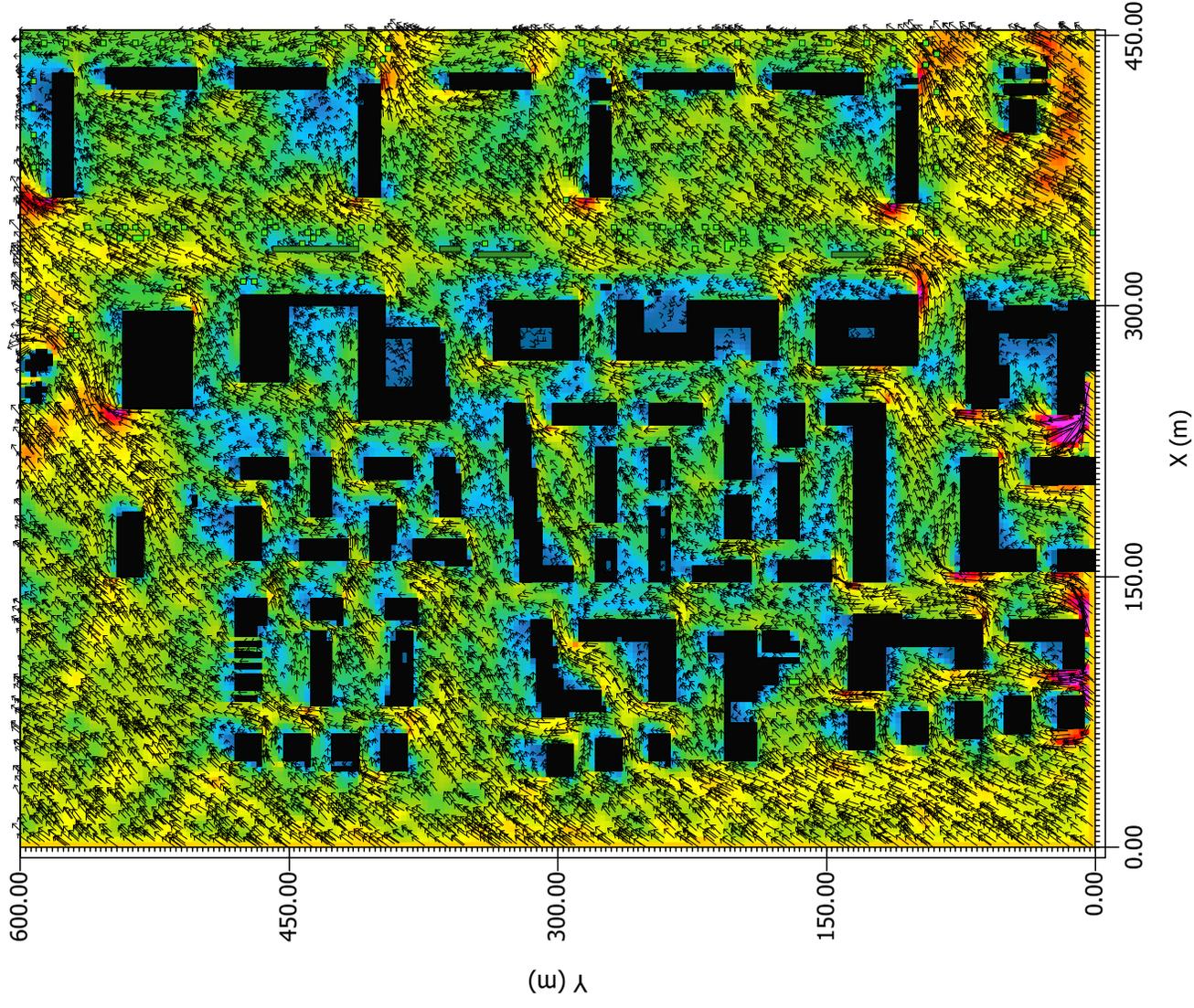


Abbildung 7a: Zukunft Nord
Plan N 14:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



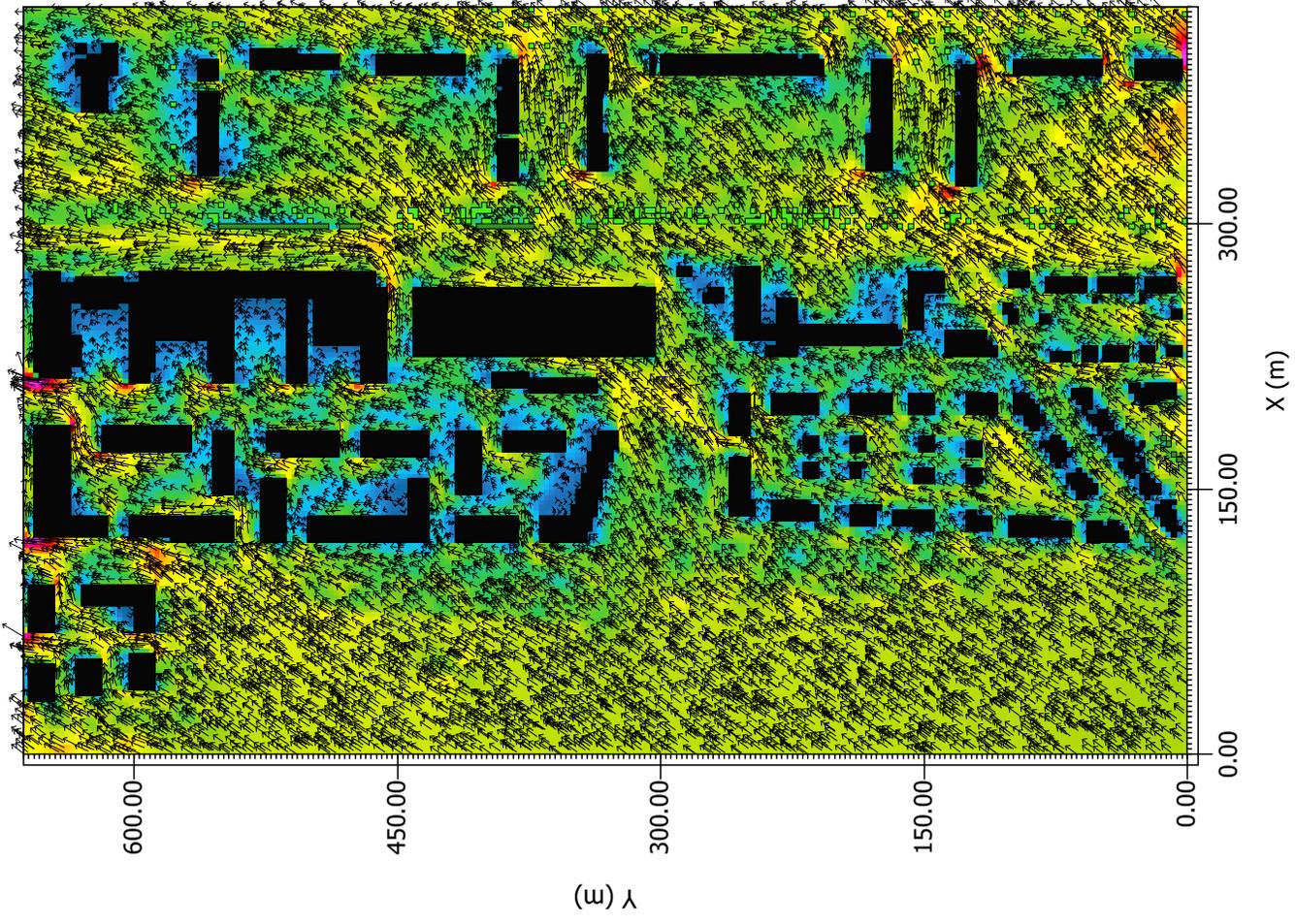


Abbildung 7b: Zukunft Nord
 Plan S 14:00 20.07.
 x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

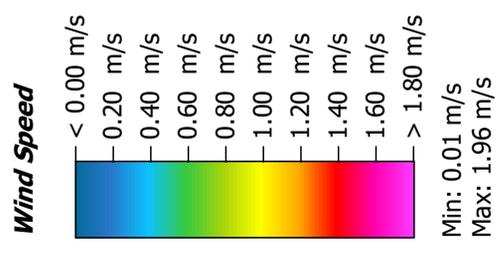
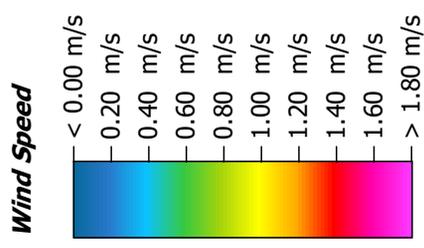
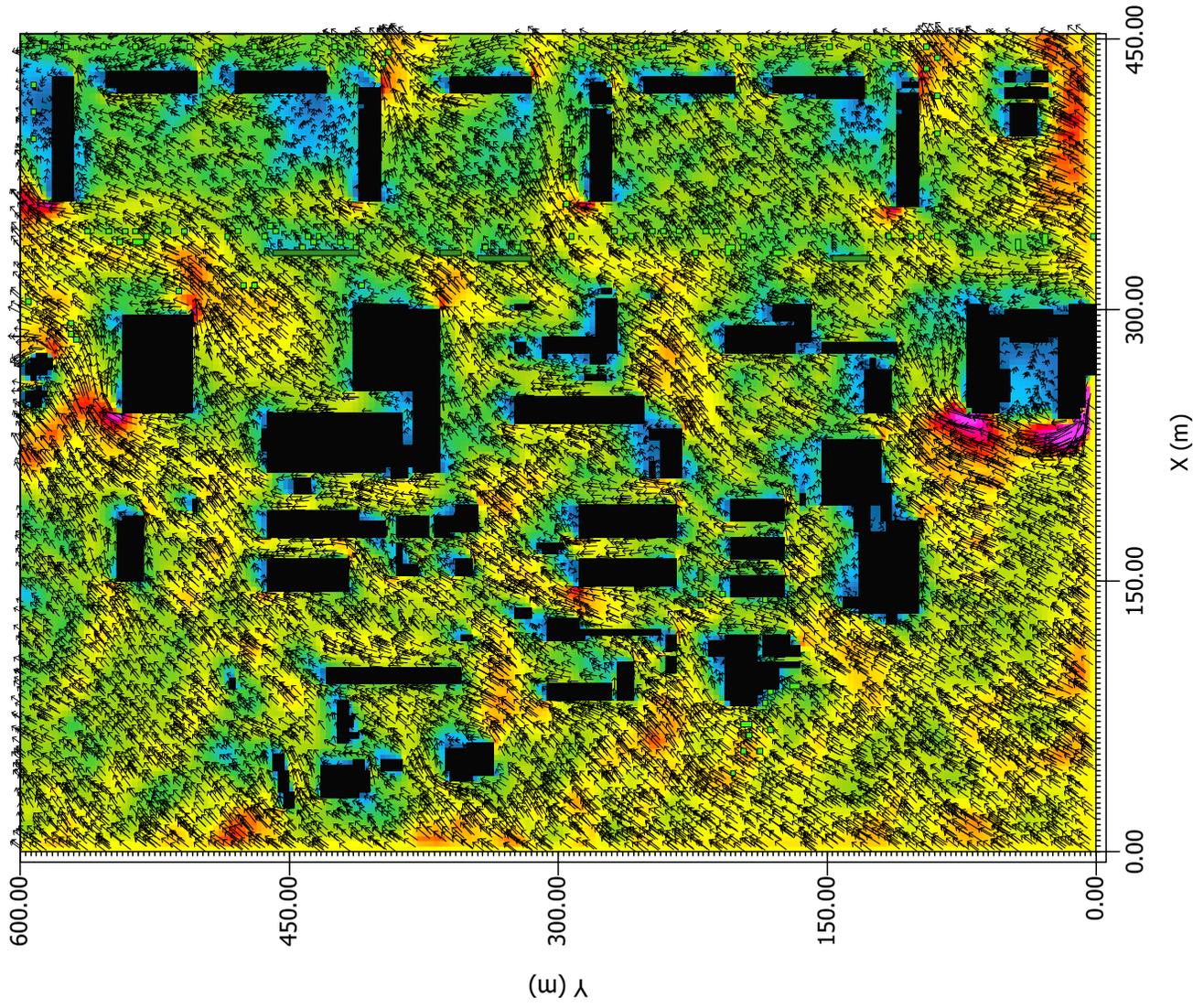


Abbildung 8a: Zukunft Nord
Bestand N 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Min: 0.00 m/s
Max: 3.94 m/s



Abbildung 8b b: Zukunft Nord
Bestand S 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

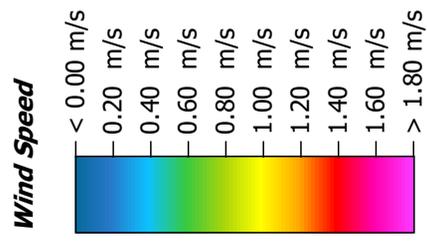
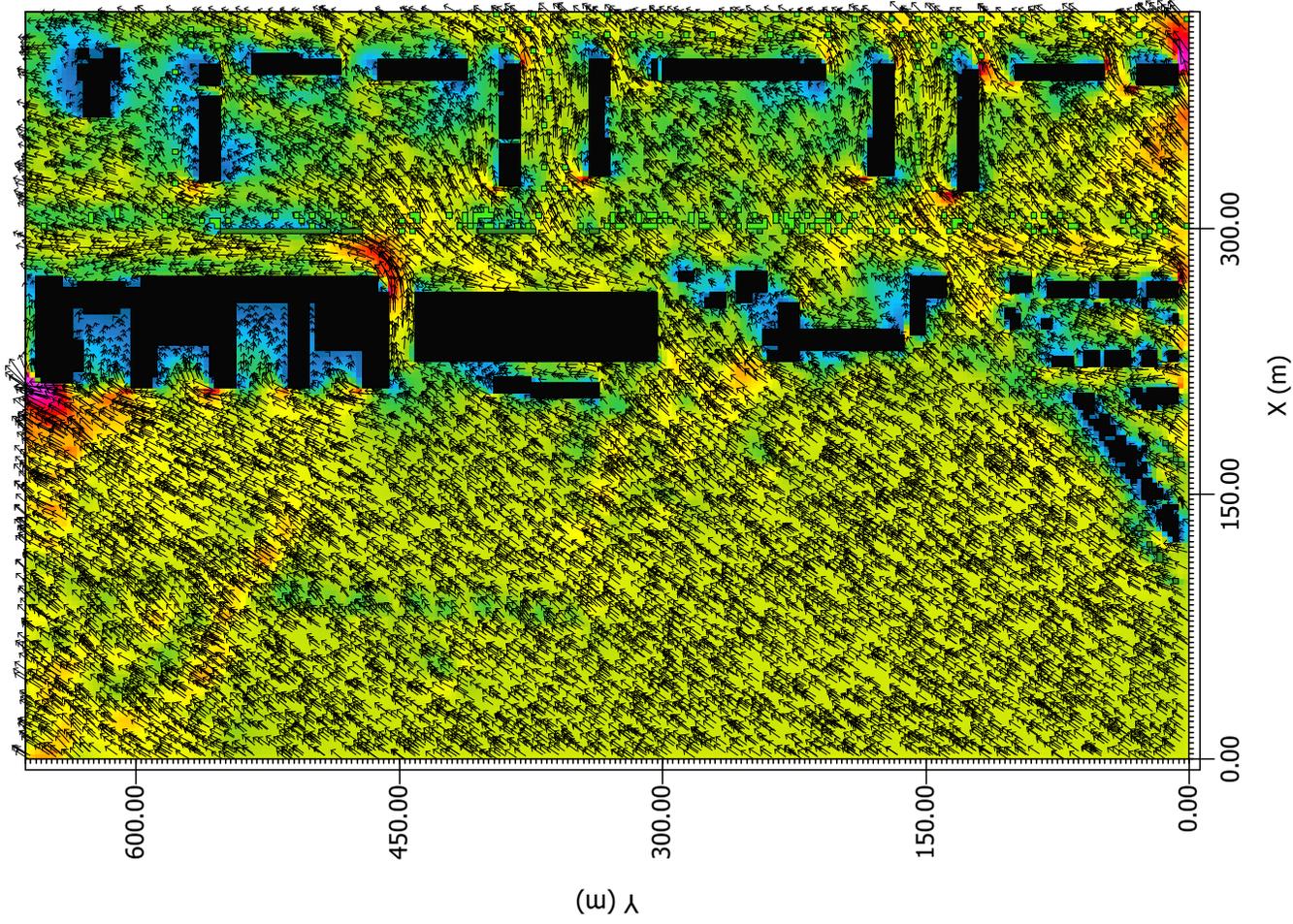


Abbildung 9a: Zukunft Nord
Plan N 04:00 20.07.
x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

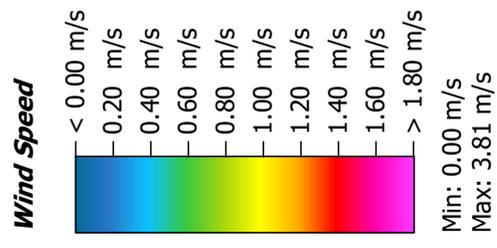
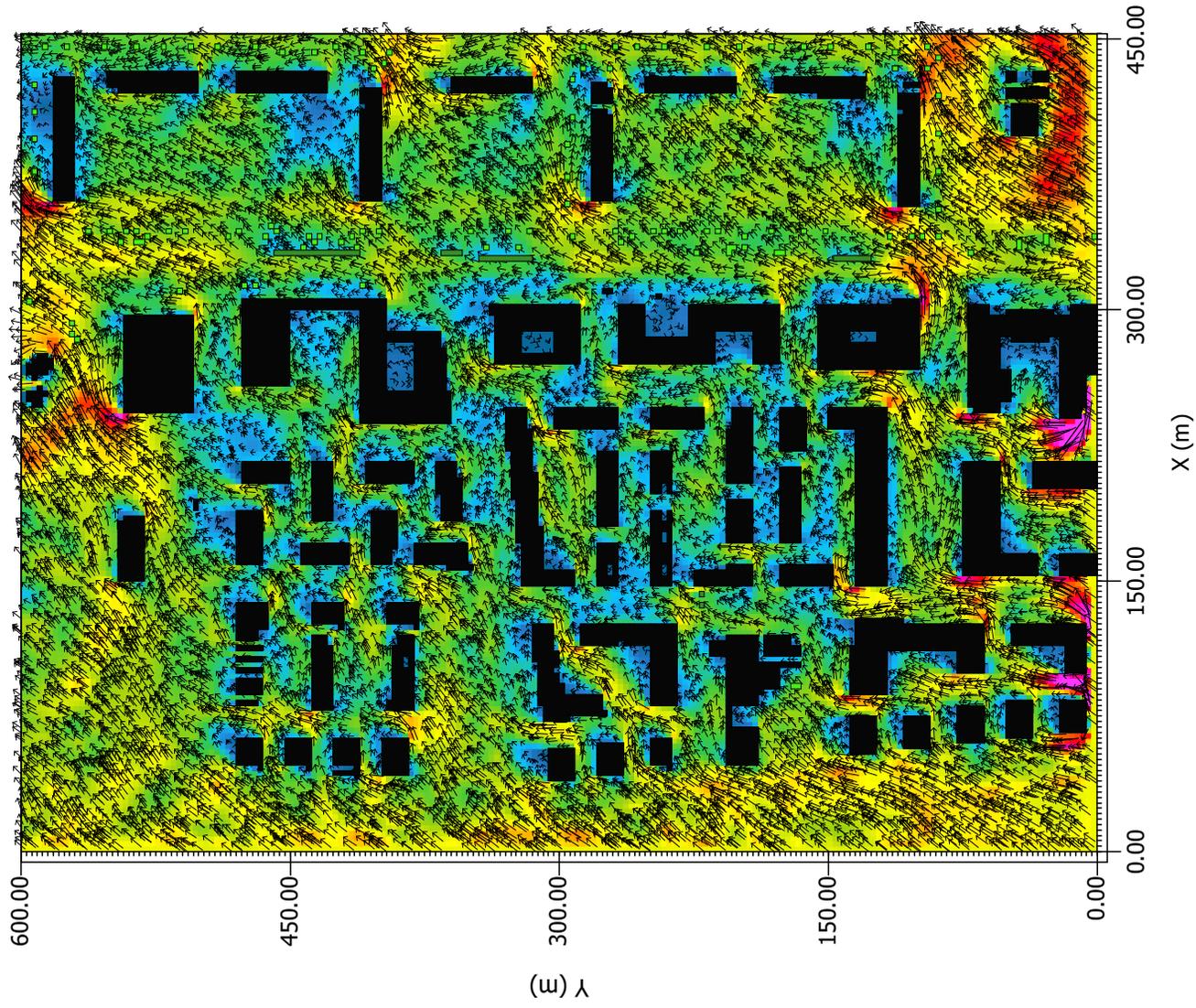


Abbildung 9b: Zukunft Nord
Plan S 04:00 20.07.
x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

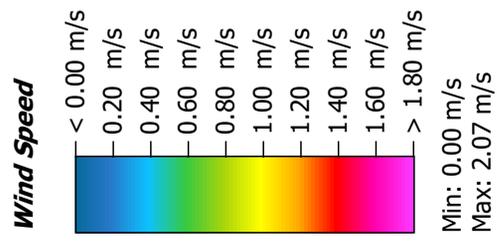
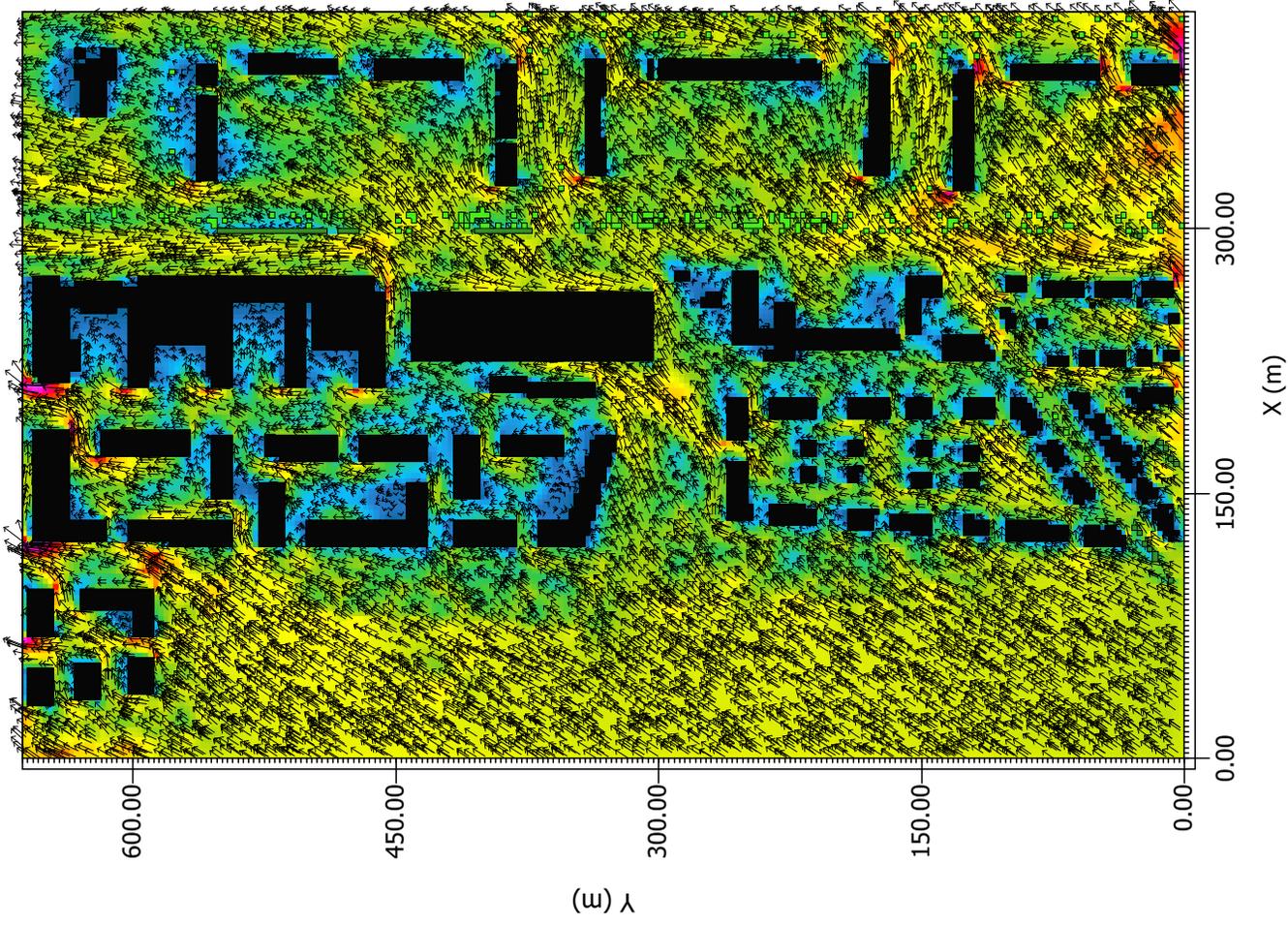
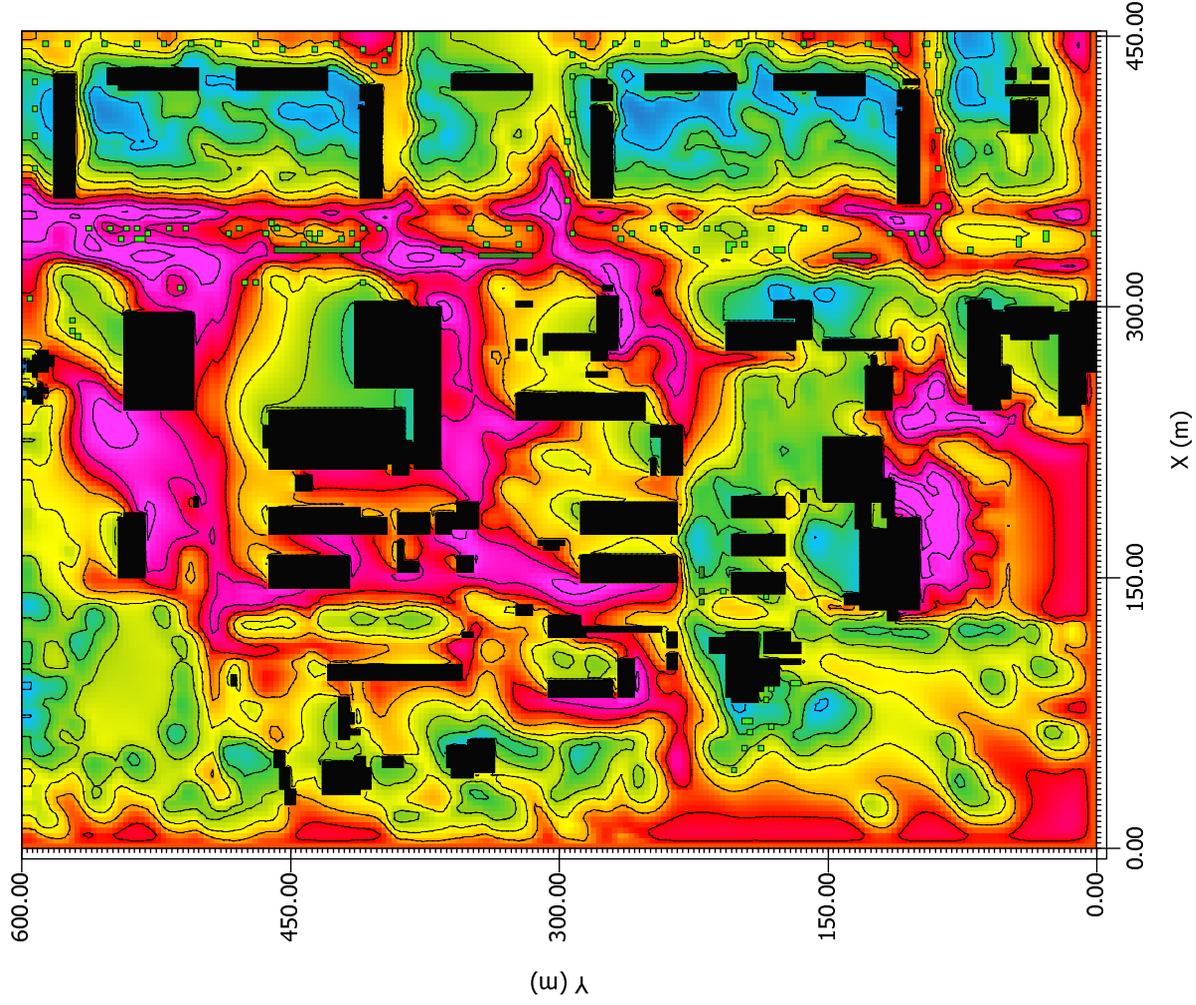
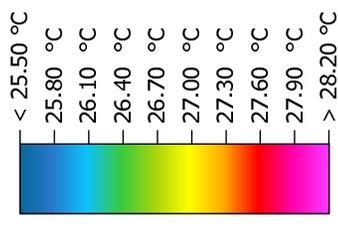


Abbildung 10a a: Zukunft Nord
Bestand N 14:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)



Air Temperature

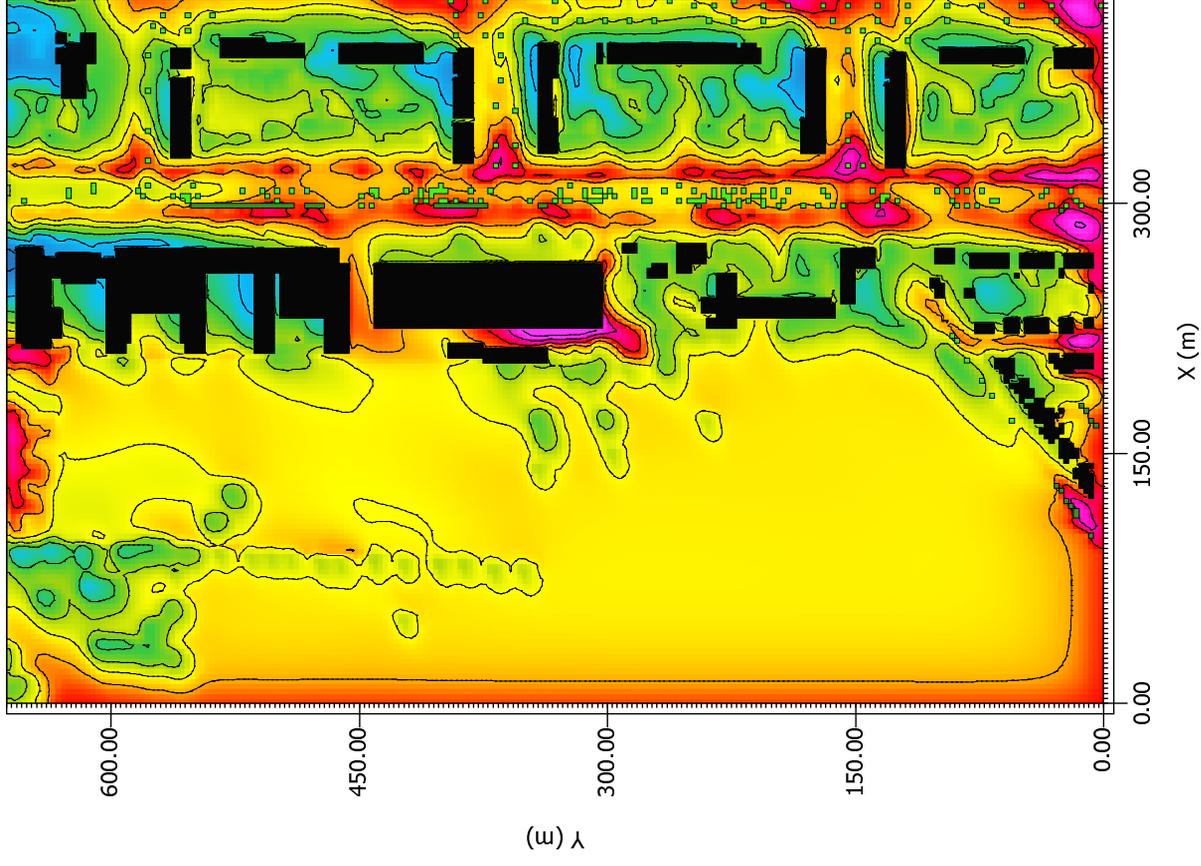


Min: 25.68 °C
Max: 28.71 °C

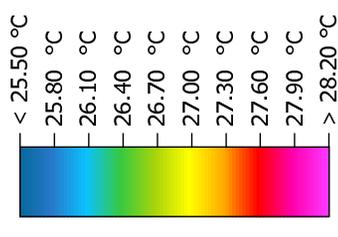


Abbildung 10b: Zukunft Nord
Bestand S 14:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Air Temperature

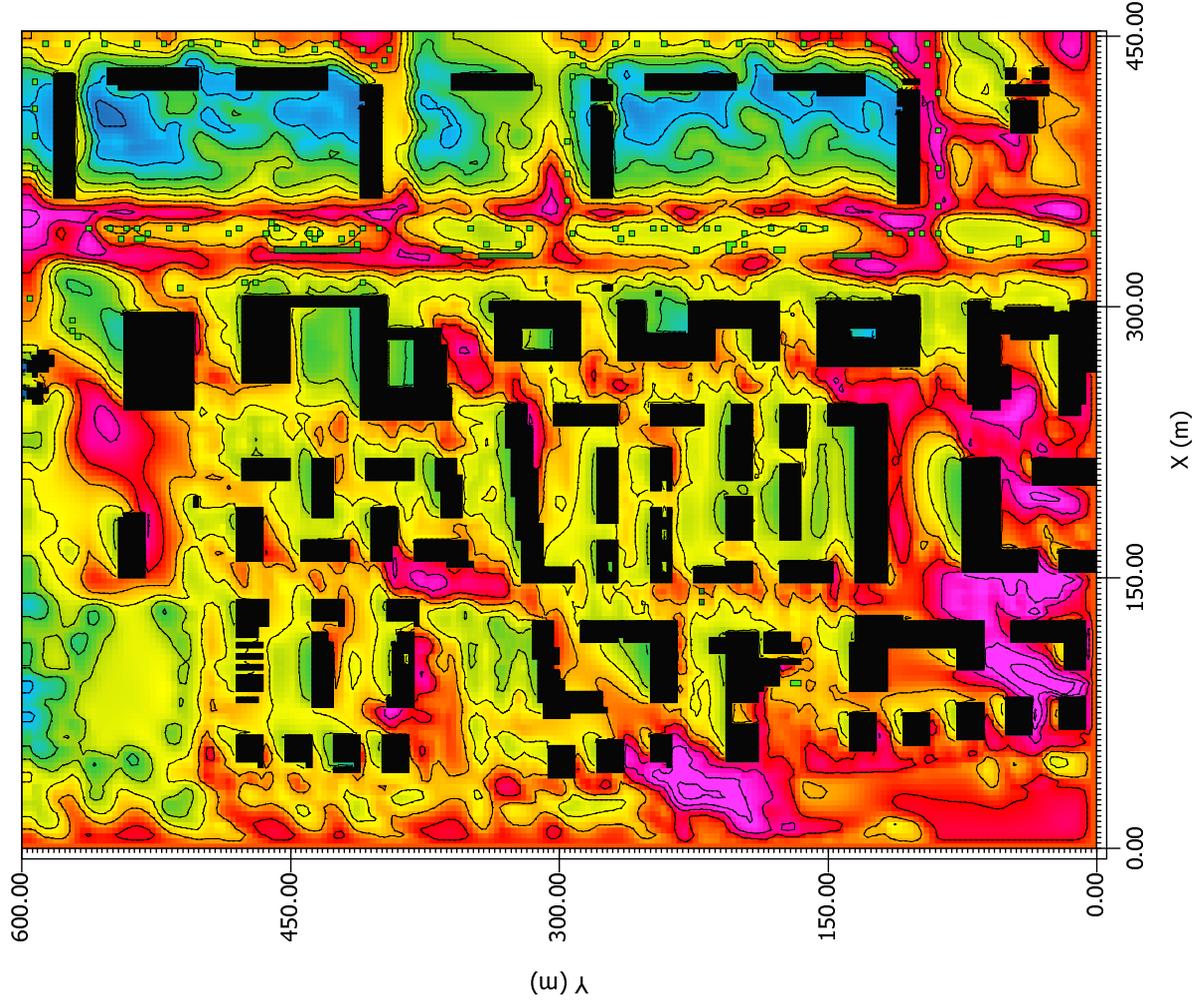


Min: 25.76 °C
Max: 28.43 °C

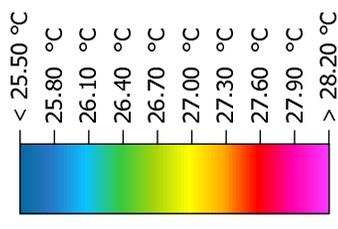


Abbildung 11a: Zukunft Nord
Plan N 14:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)



Air Temperature

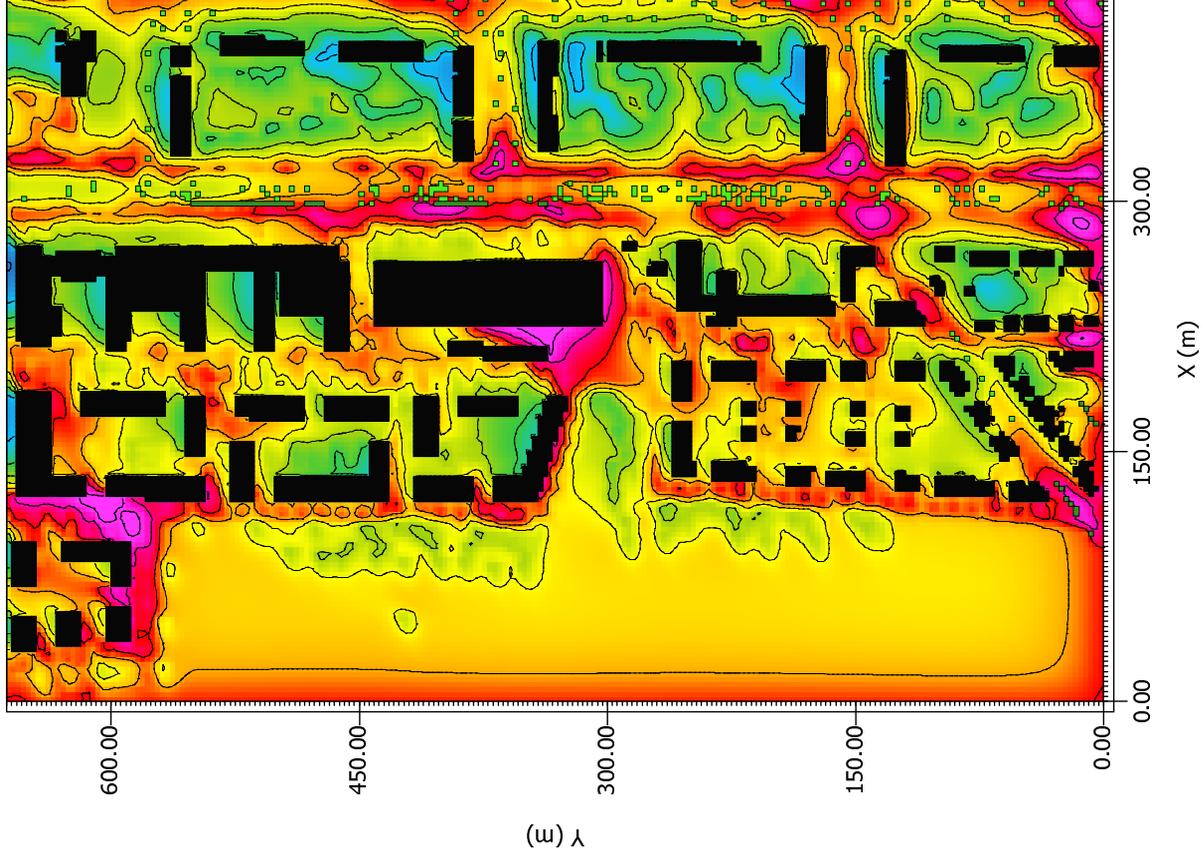


Min: 25.57 °C
Max: 28.78 °C

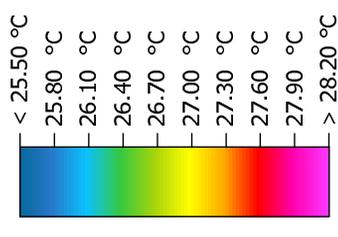


Abbildung 11b: Zukunft Nord
Plan S 14:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Air Temperature

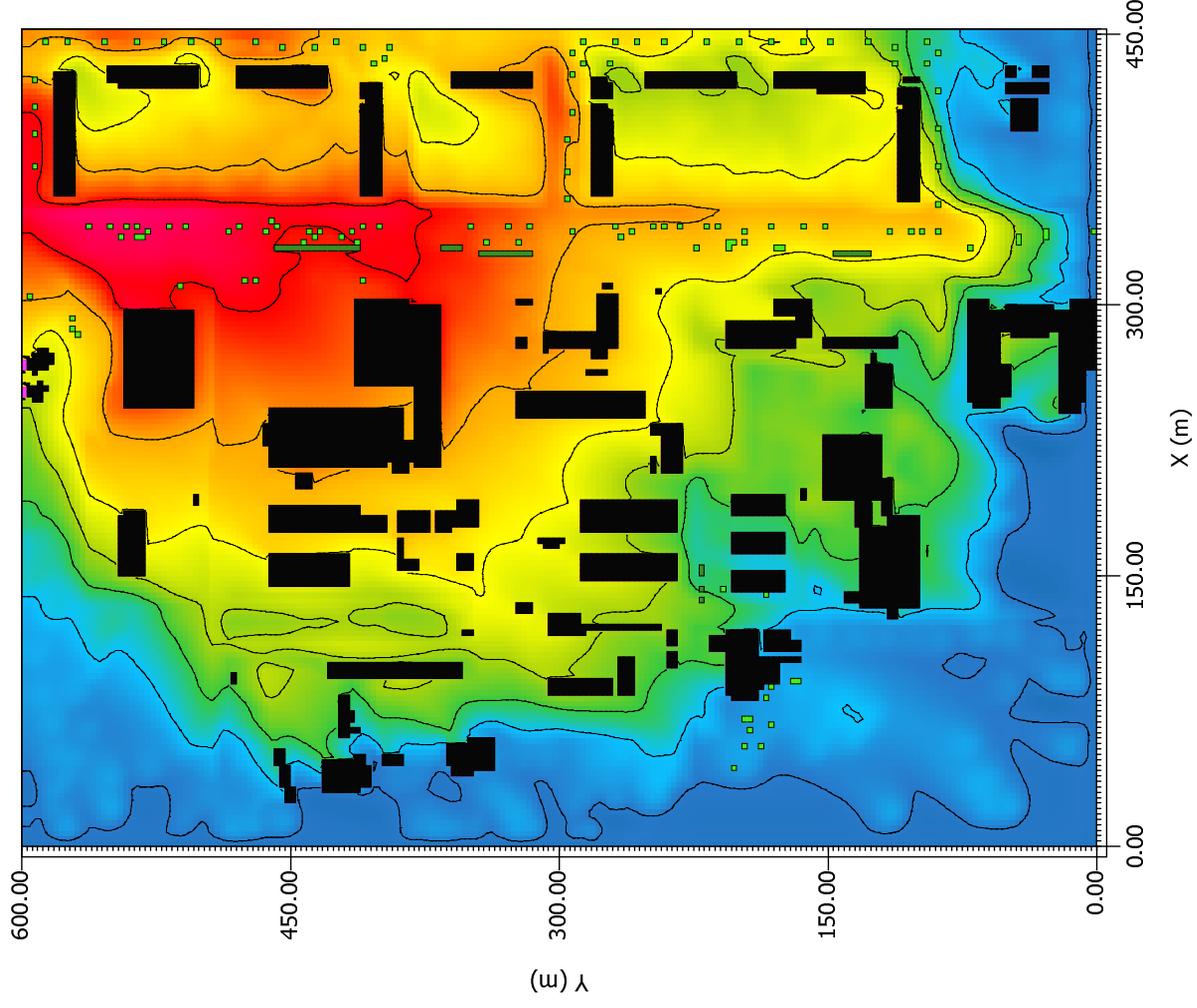


Min: 25.79 °C
Max: 28.49 °C

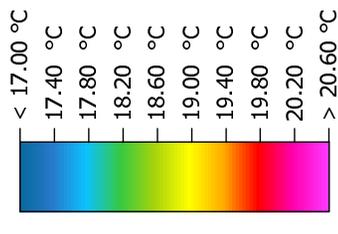


Abbildung 12a: Zukunft Nord
Bestand N 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Air Temperature

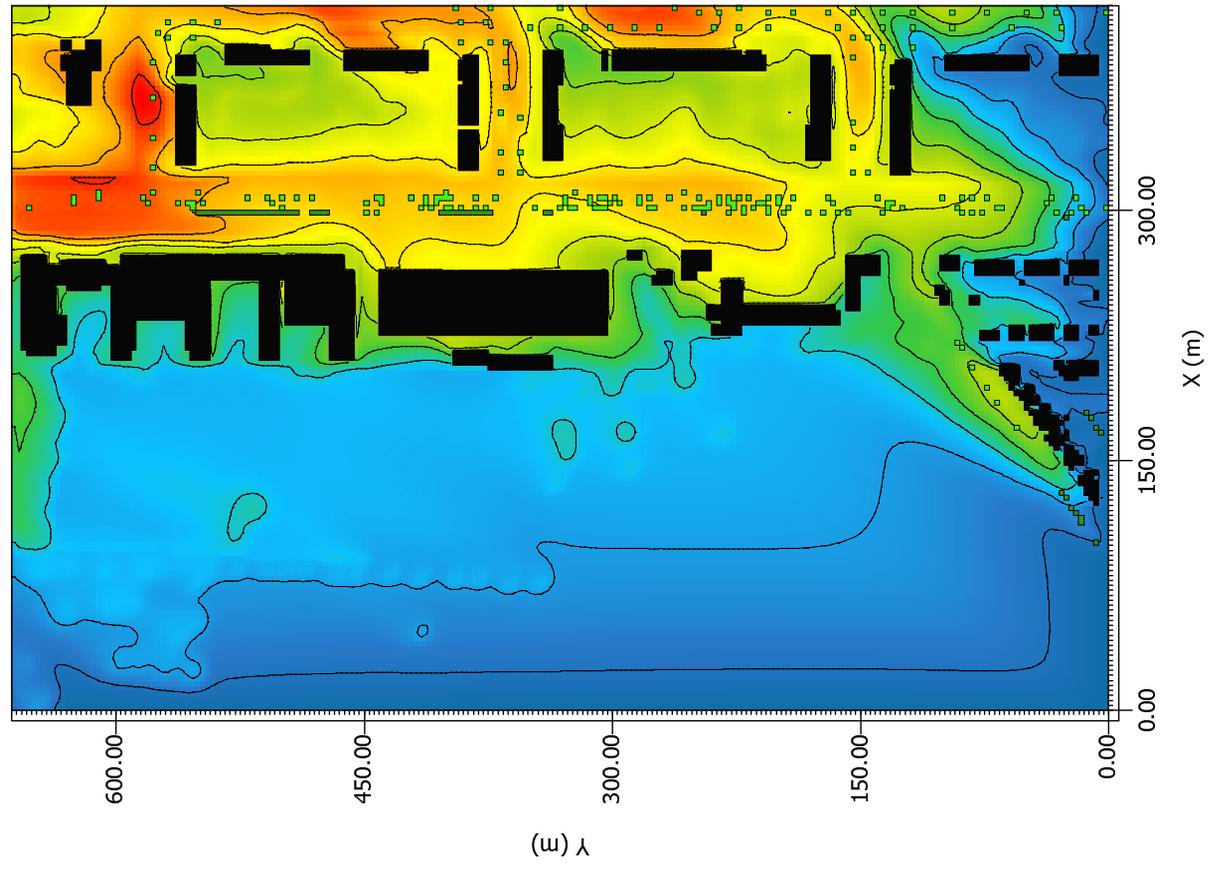


Min: 17.25 °C
Max: 27.76 °C

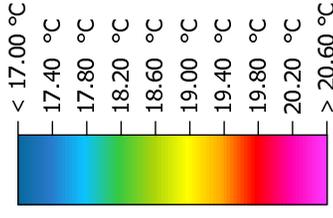


Abbildung 12b: Zukunft Nord
Bestand S 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



Air Temperature



Min: 17.10 °C
Max: 19.80 °C

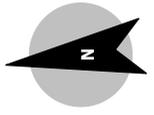


Abbildung 13a: Zukunft Nord
Plan N 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)

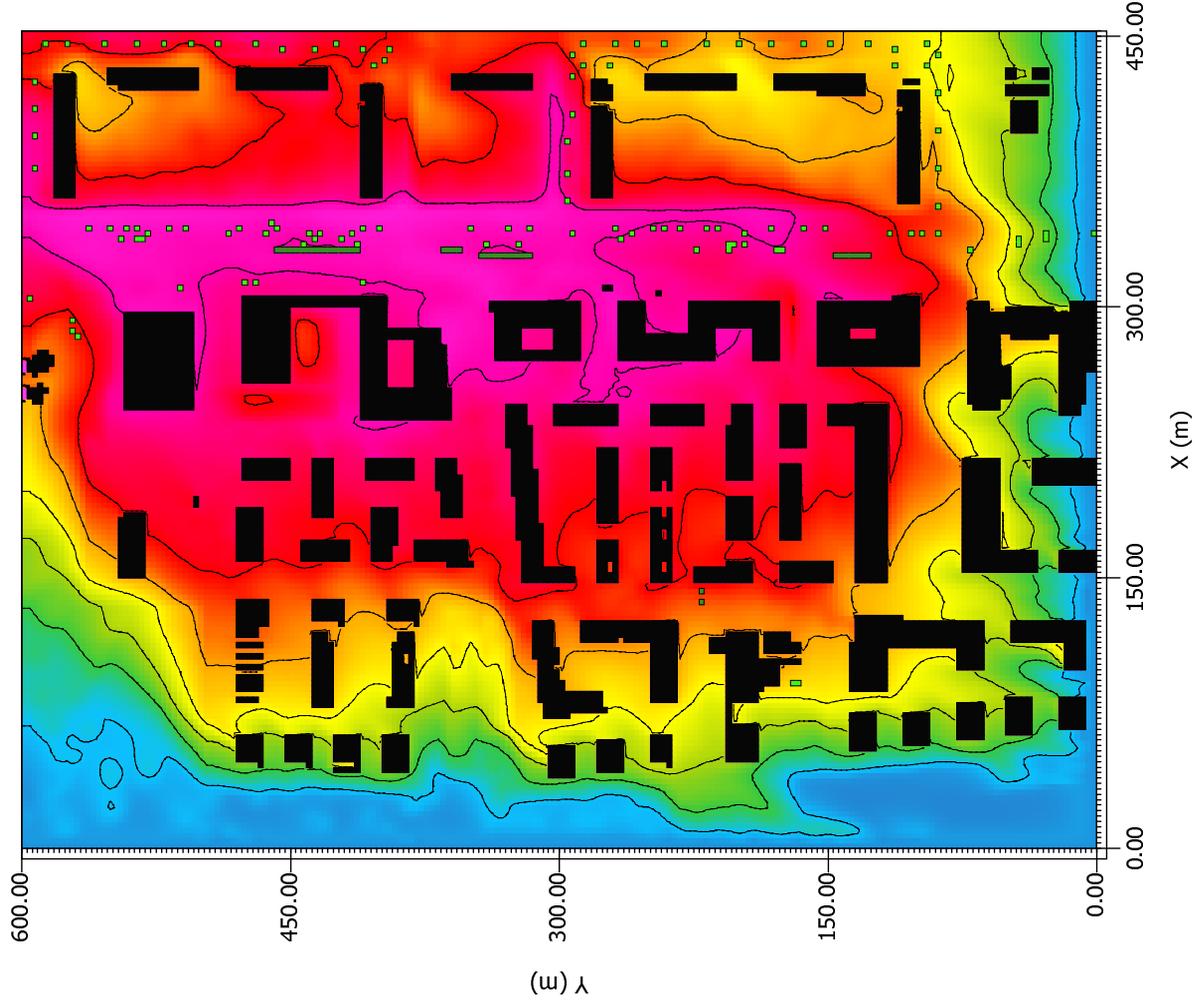
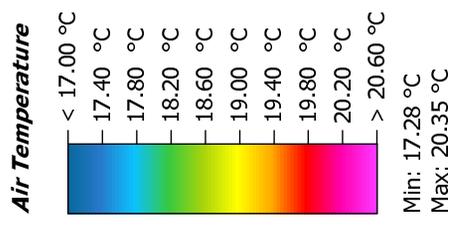
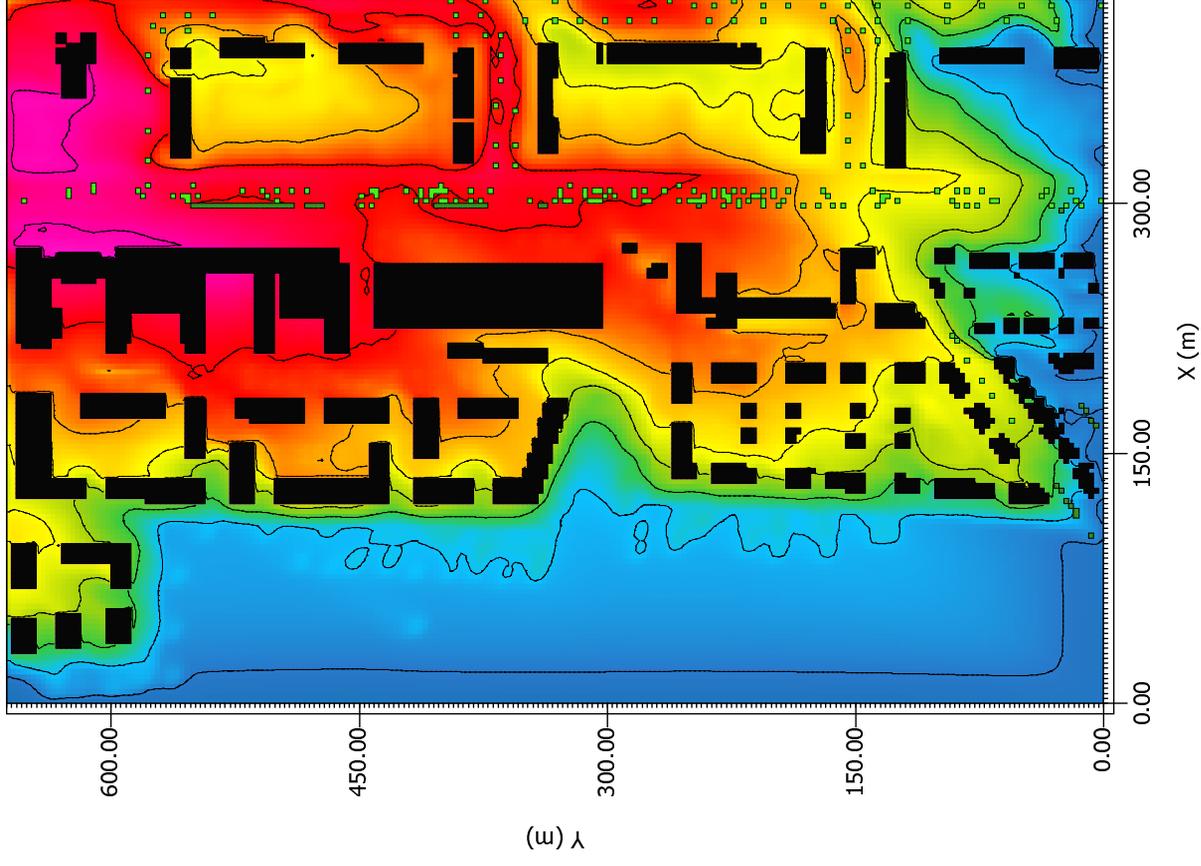


Abbildung 13b: Zukunft Nord
Plan S 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)



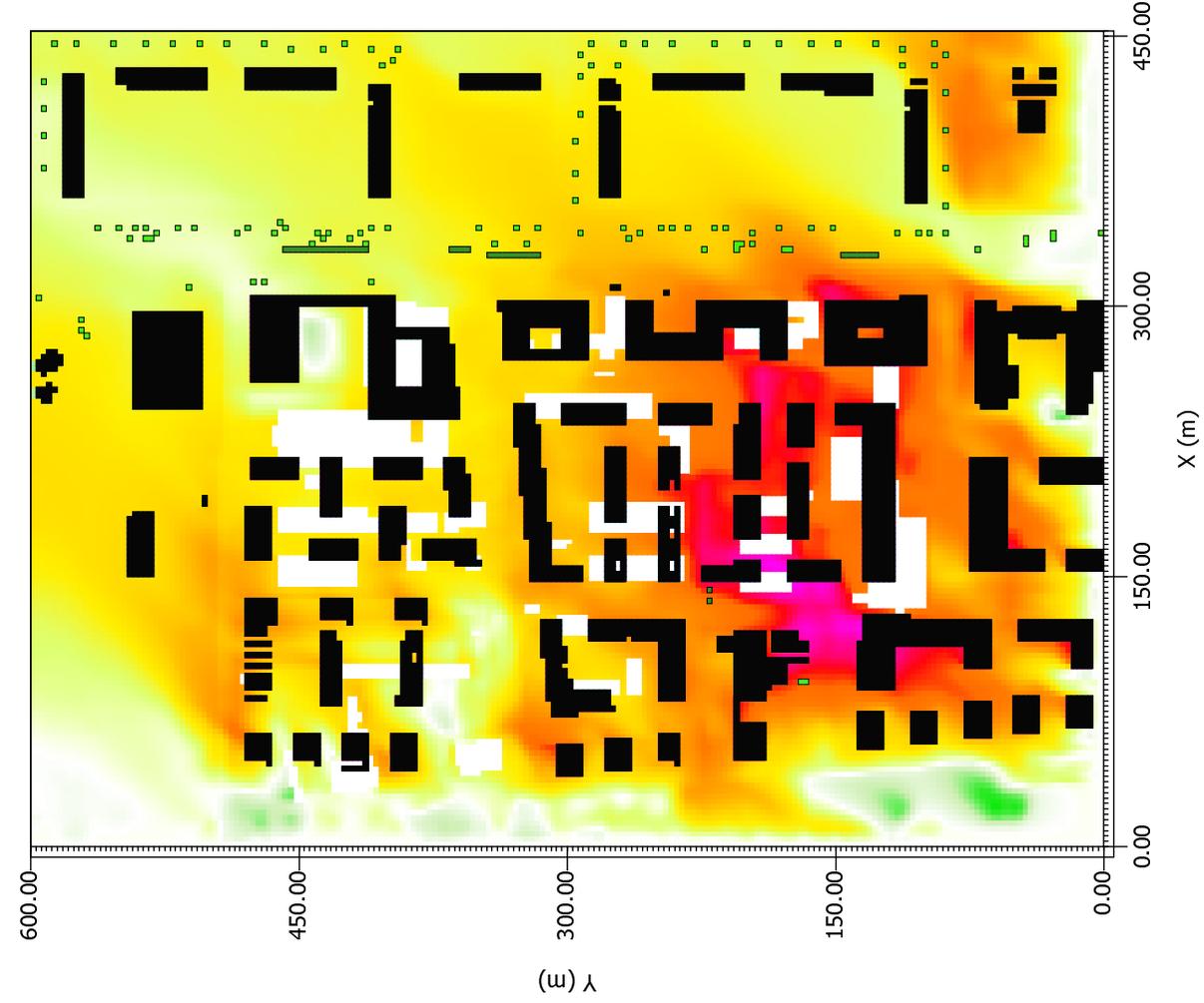
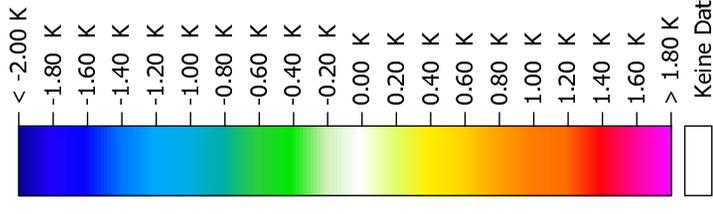


Abbildung 14a:
 Vergleich Zukunft Nord Plan -
 Bestand 04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

**Vergleich Lufttemperatur Plan
 - Bestand**



Min: -0.39 K
 Max: 1.78 K

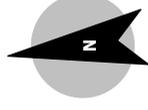
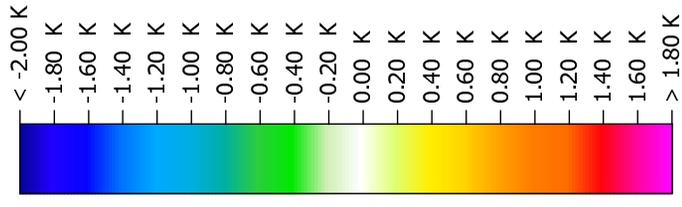


Abbildung 14b: Vergleich
Zukunft Nord Plan - Bestand
04:00 21.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

**Vergleich Lufttemperatur Plan
- Bestand**



Min: -8.96 K
Max: 1.88 K

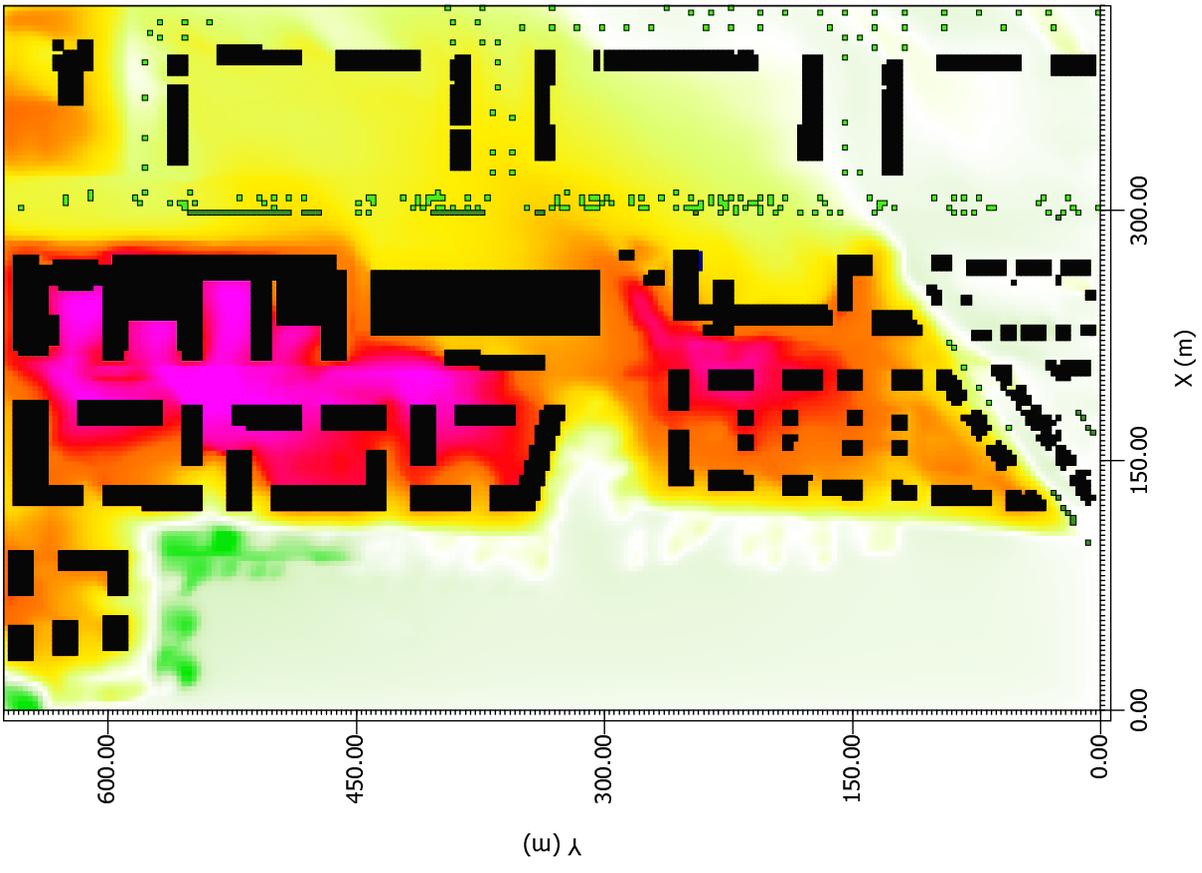
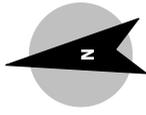
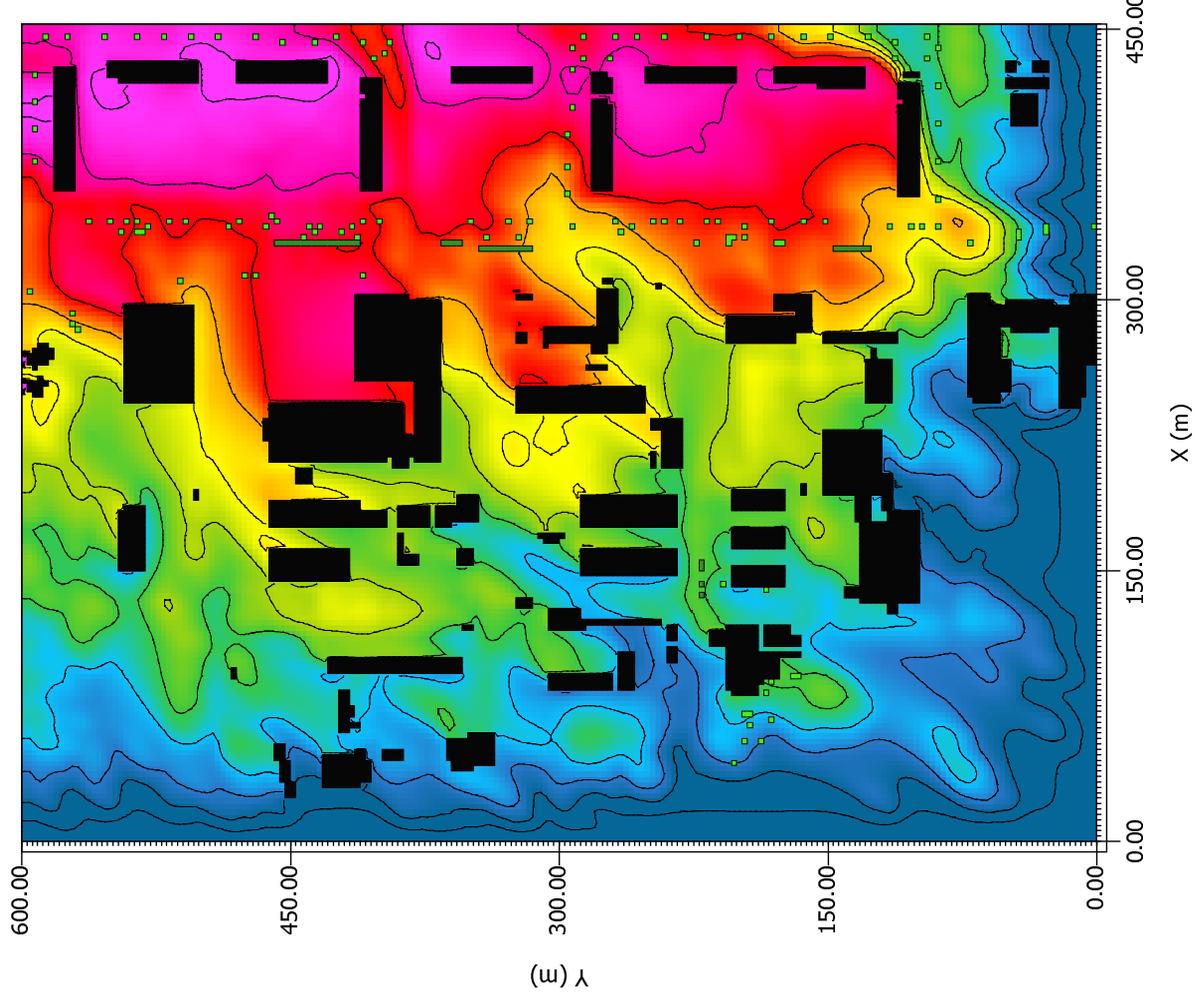
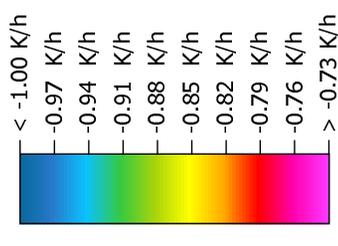


Abbildung 15a: Zukunft Nord
Bestand N 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)



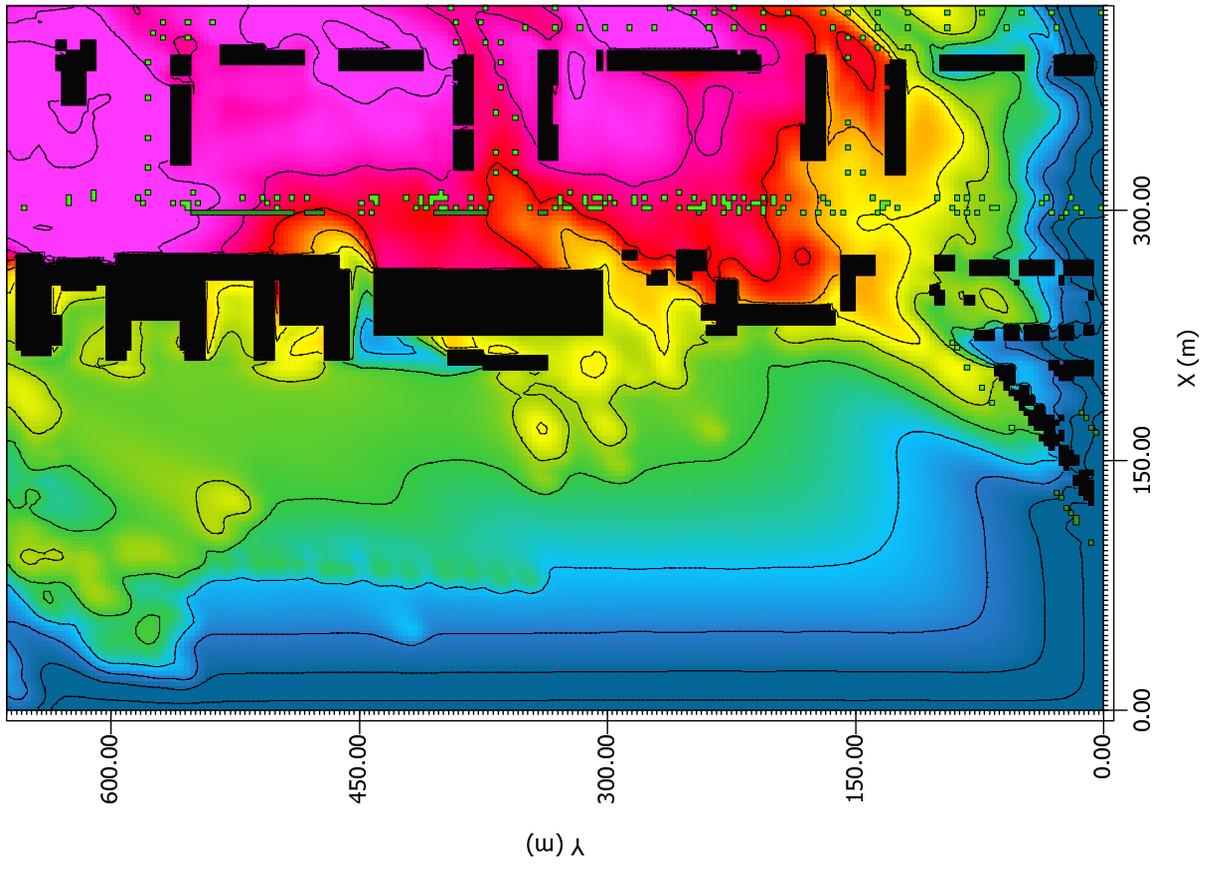
Abkühlungsrate Luft



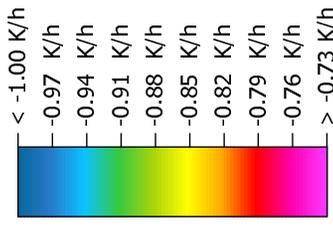
Min: -1.06 K/h
Max: -0.51 K/h

Abbildung 15b: Zukunft Nord
Bestand S 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)



Abkühlungsrate Luft



Min: -1.06 K/h
Max: -0.69 K/h

Abbildung 16a: Zukunft Nord
Plan N 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)

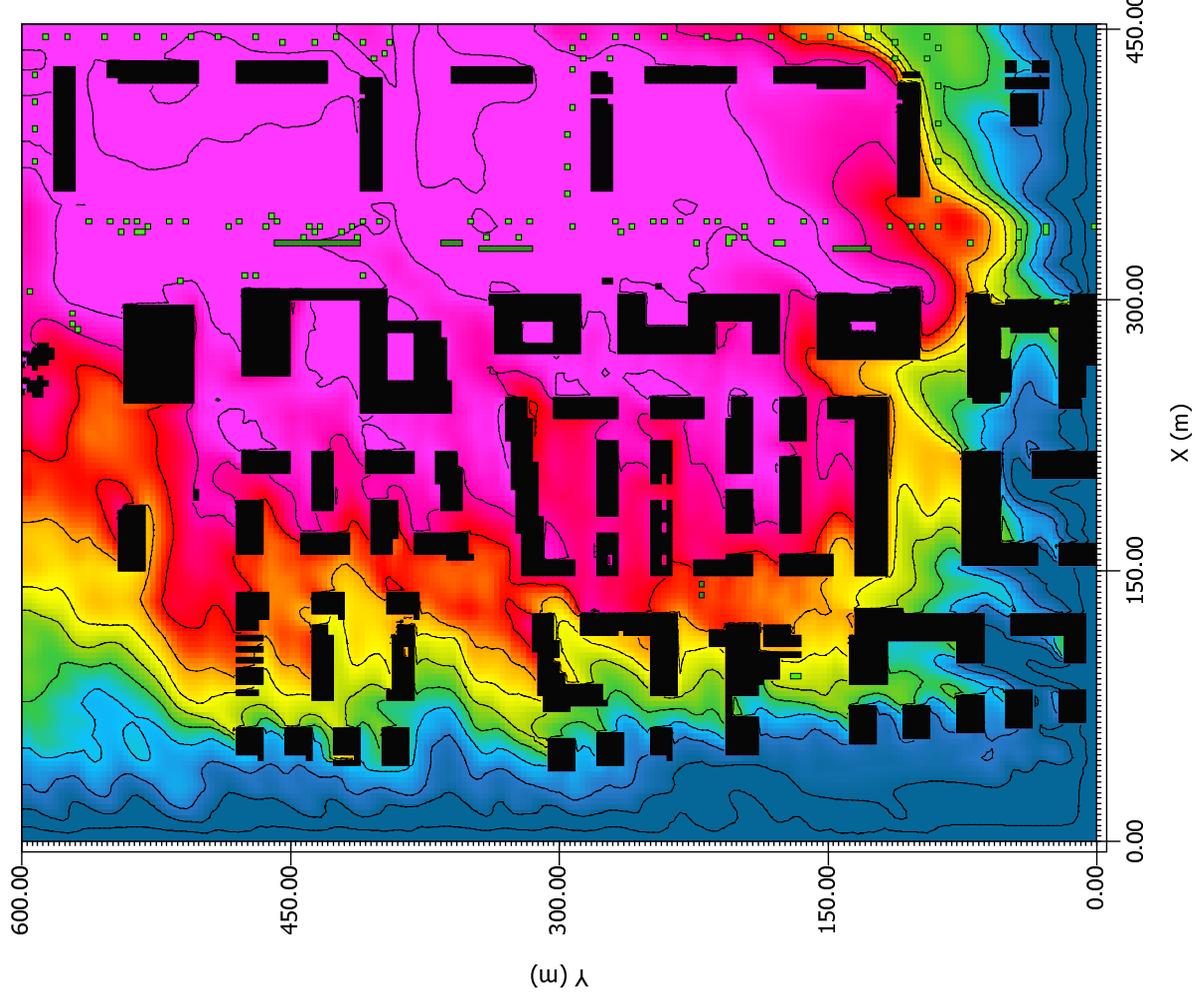
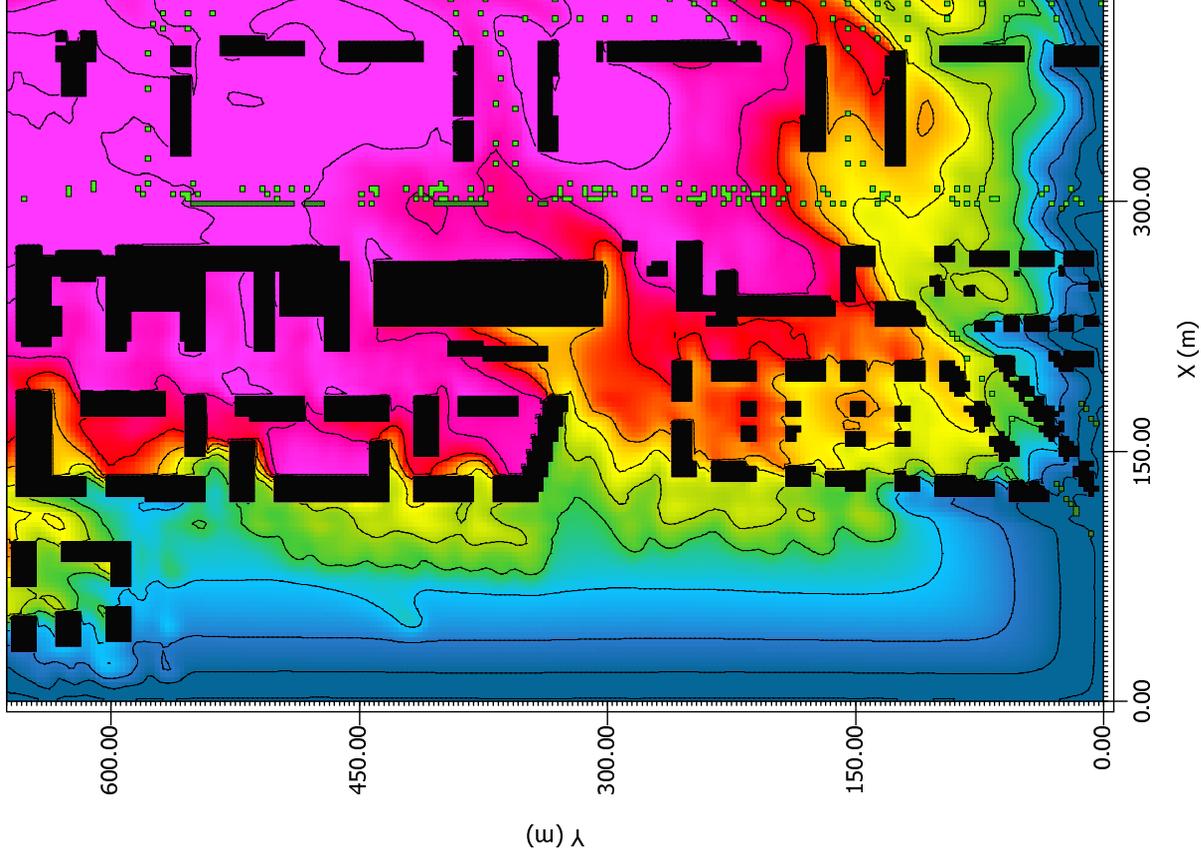
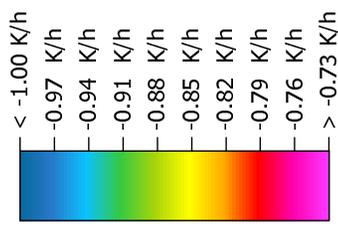


Abbildung 17b: Zukunft Nord
Plan S 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1,8000 m)



Abkühlungsrate Luft



Min: -1.05 K/h
Max: -0.67 K/h



Abbildung 17a: Zukunft Nord
Bestand N 15:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

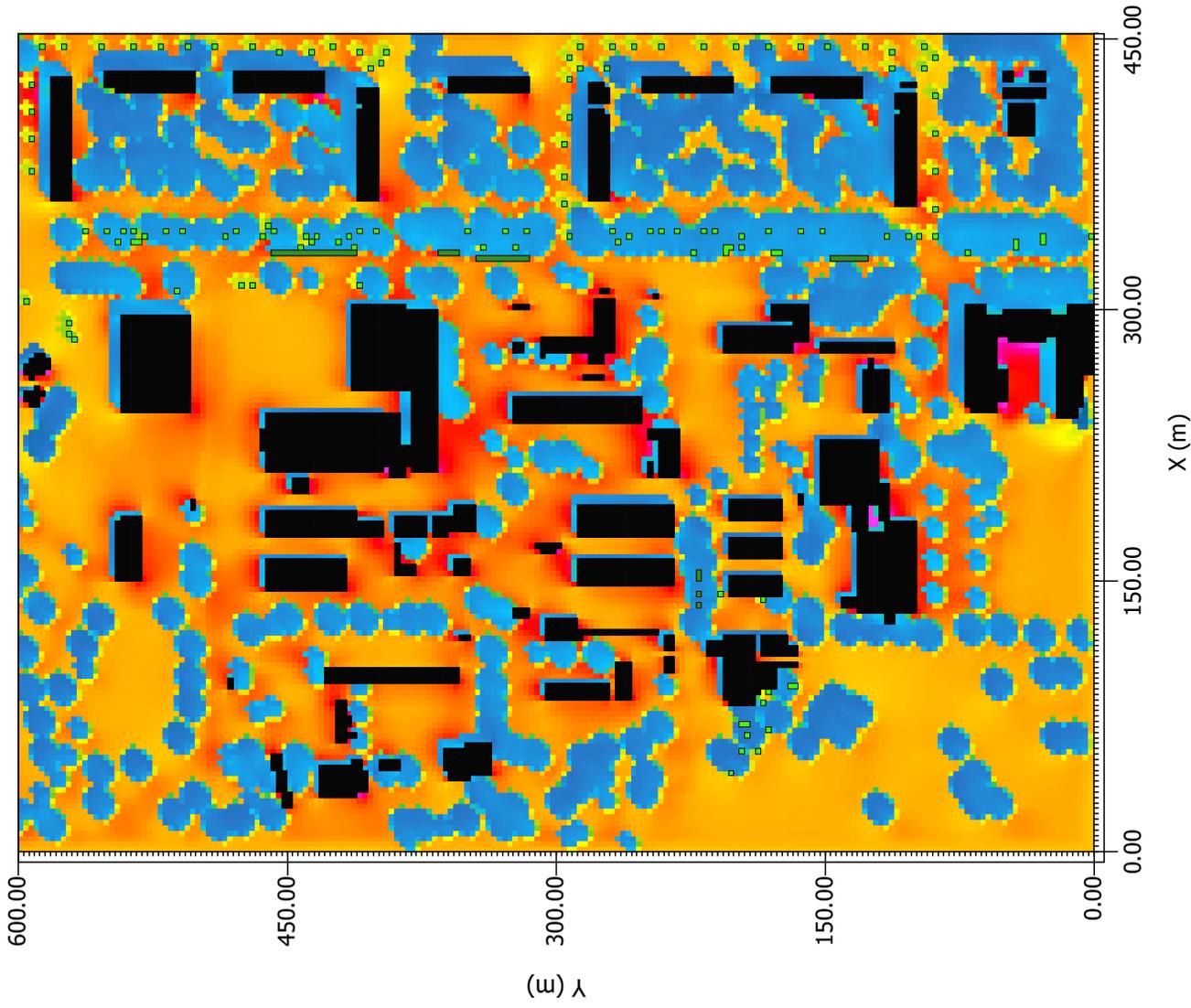
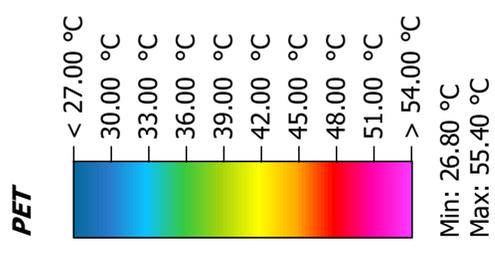


Abbildung 17b: Zukunft Nord
Bestand S 15:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

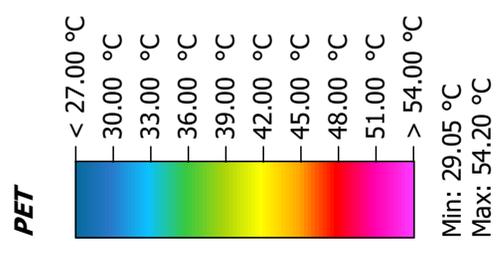
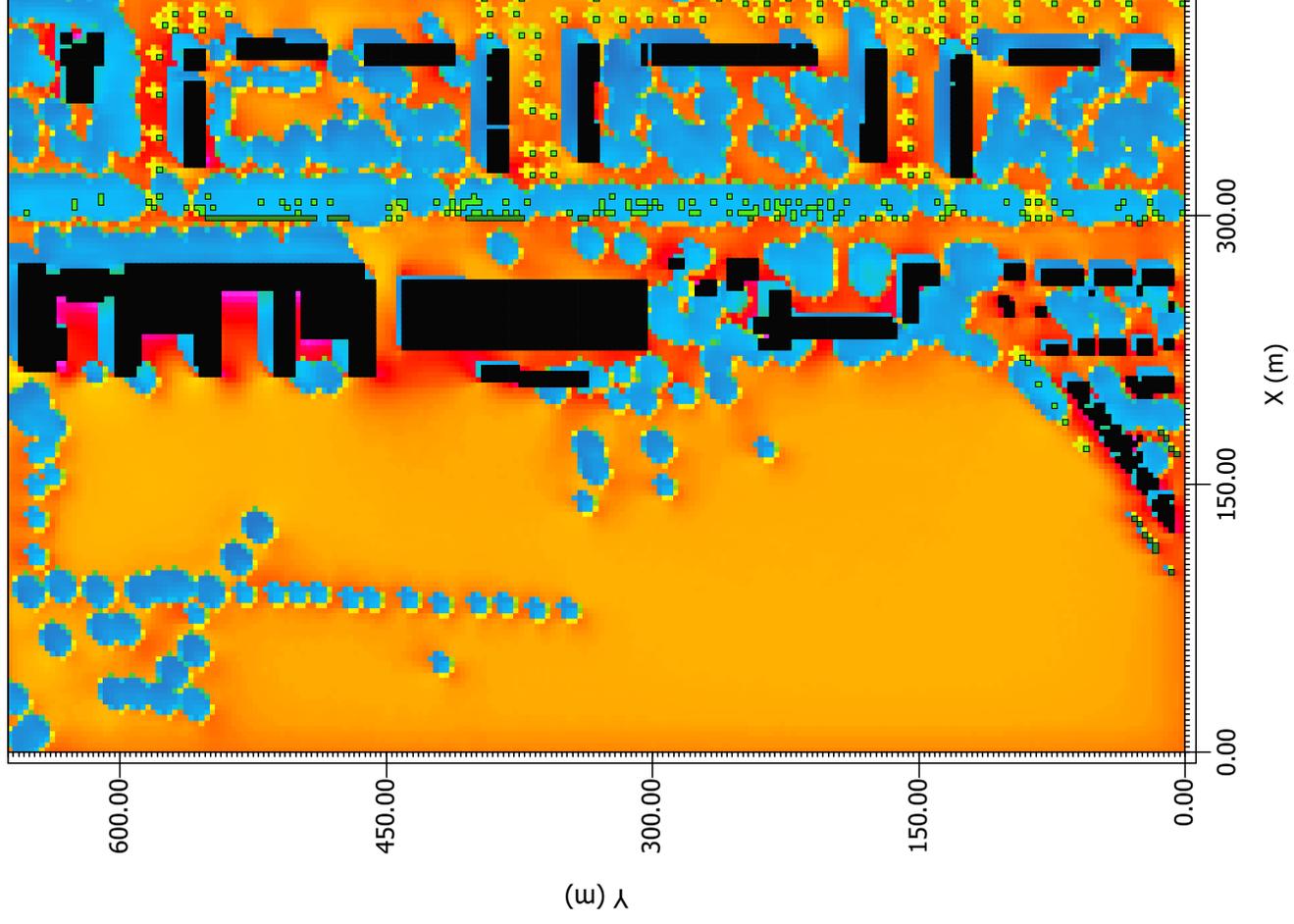


Abbildung 18a: Zukunft Nord
Plan N 15:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

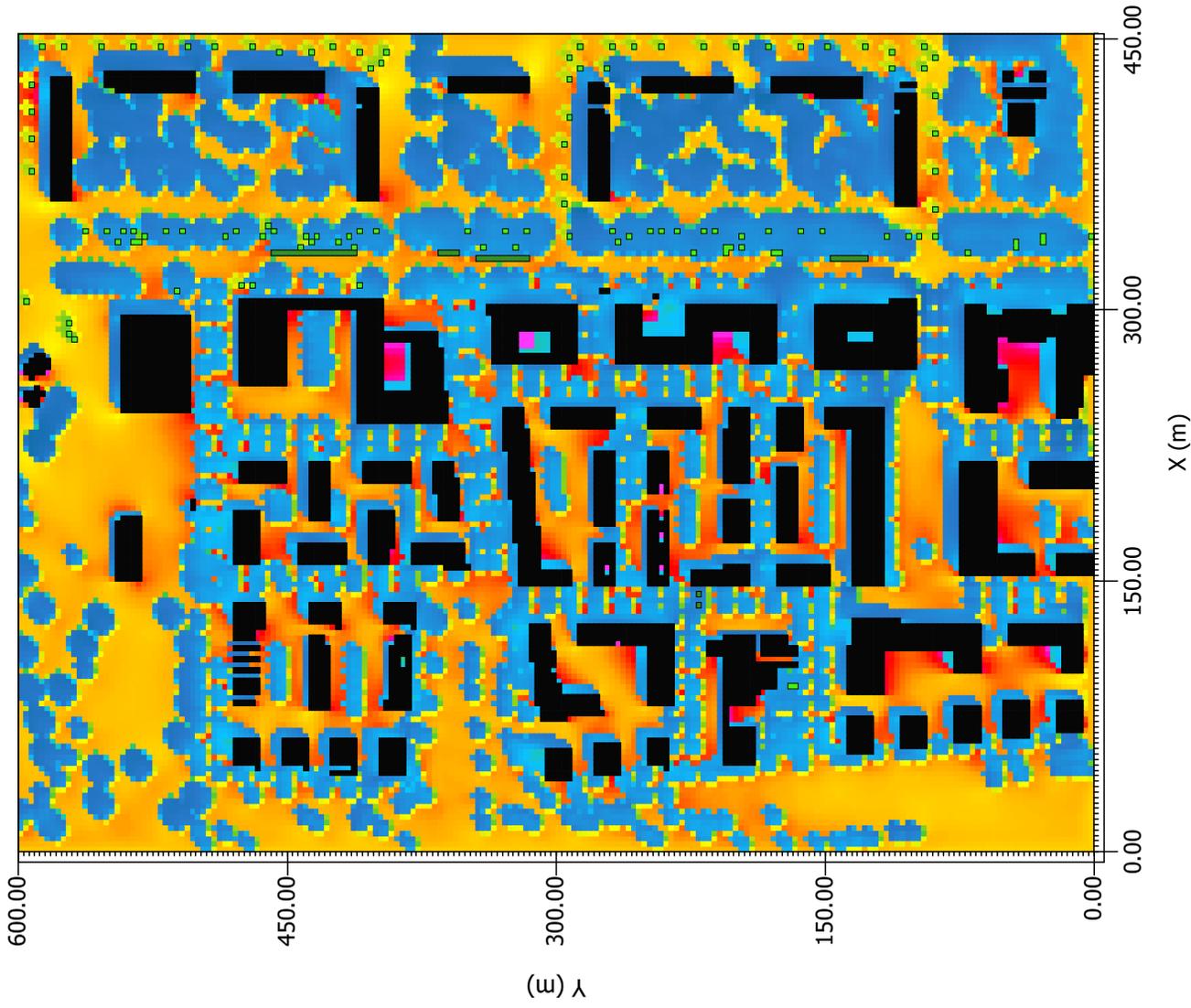
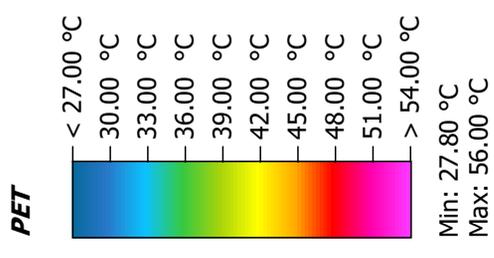


Abbildung 18b: Zukunft Nord
Plan S 15:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

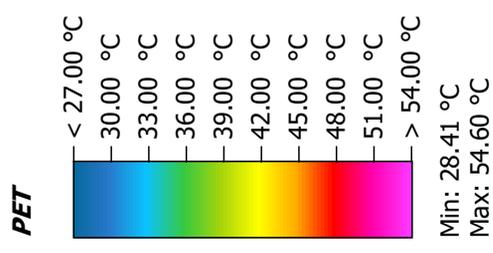
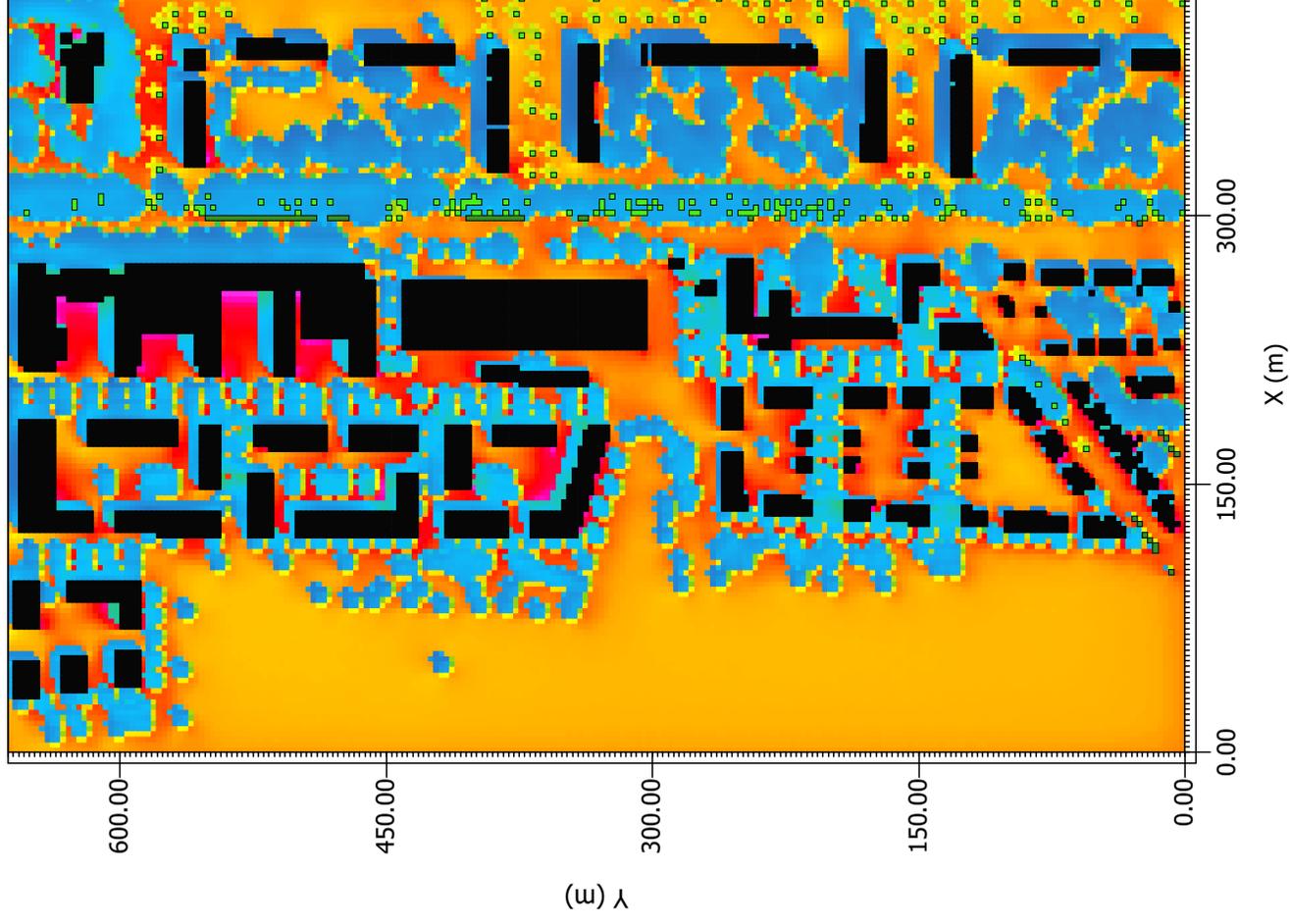
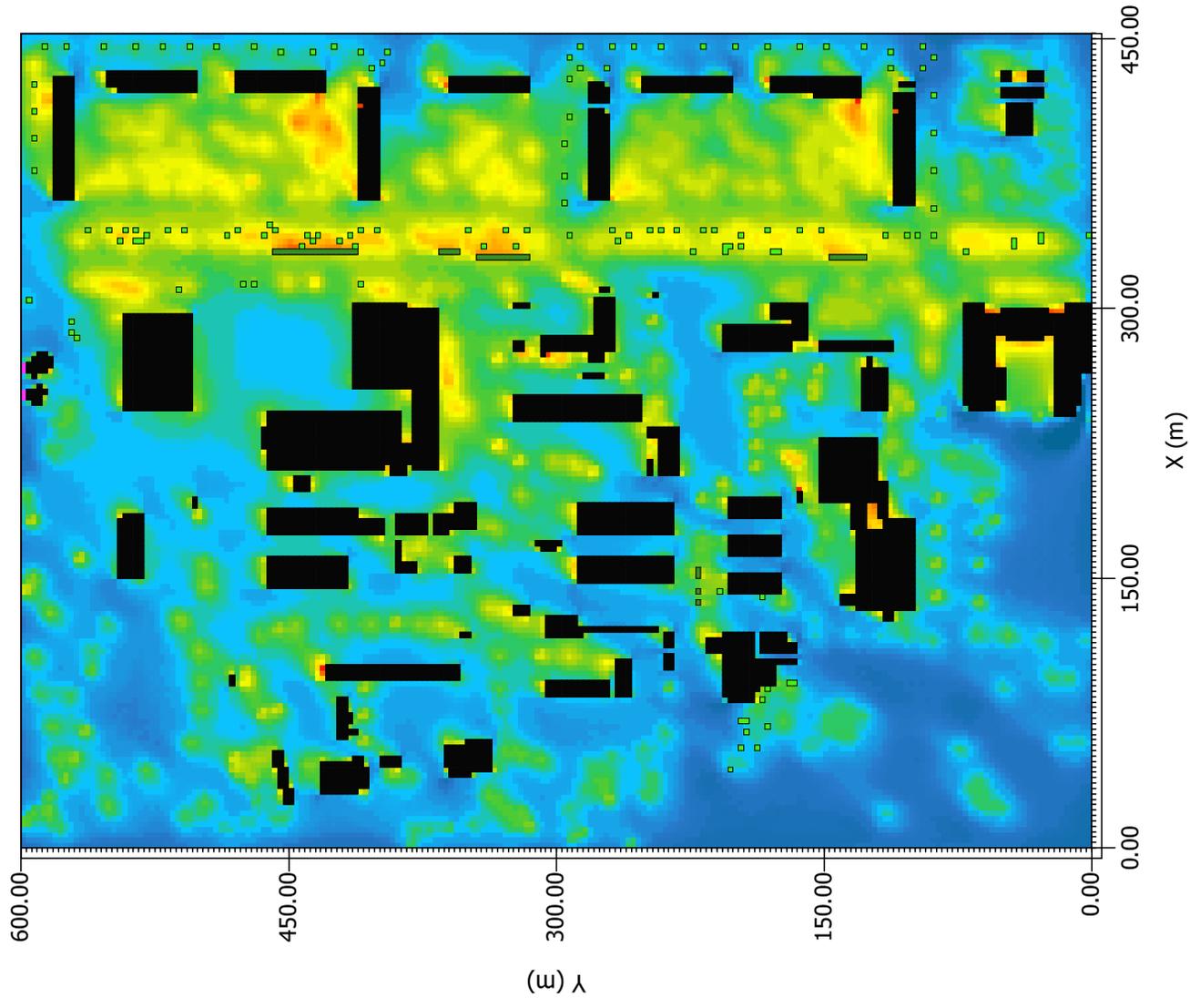
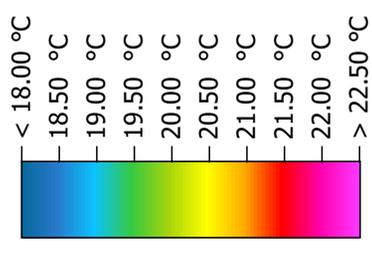


Abbildung 19a: Zukunft Nord
Bestand N 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



PET



Min: 17.40 °C
Max: 24.19 °C

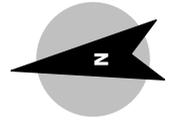


Abbildung 19b: Zukunft Nord
Bestand S 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

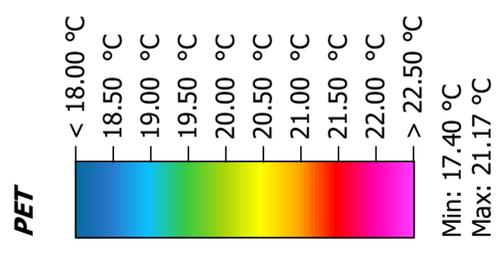
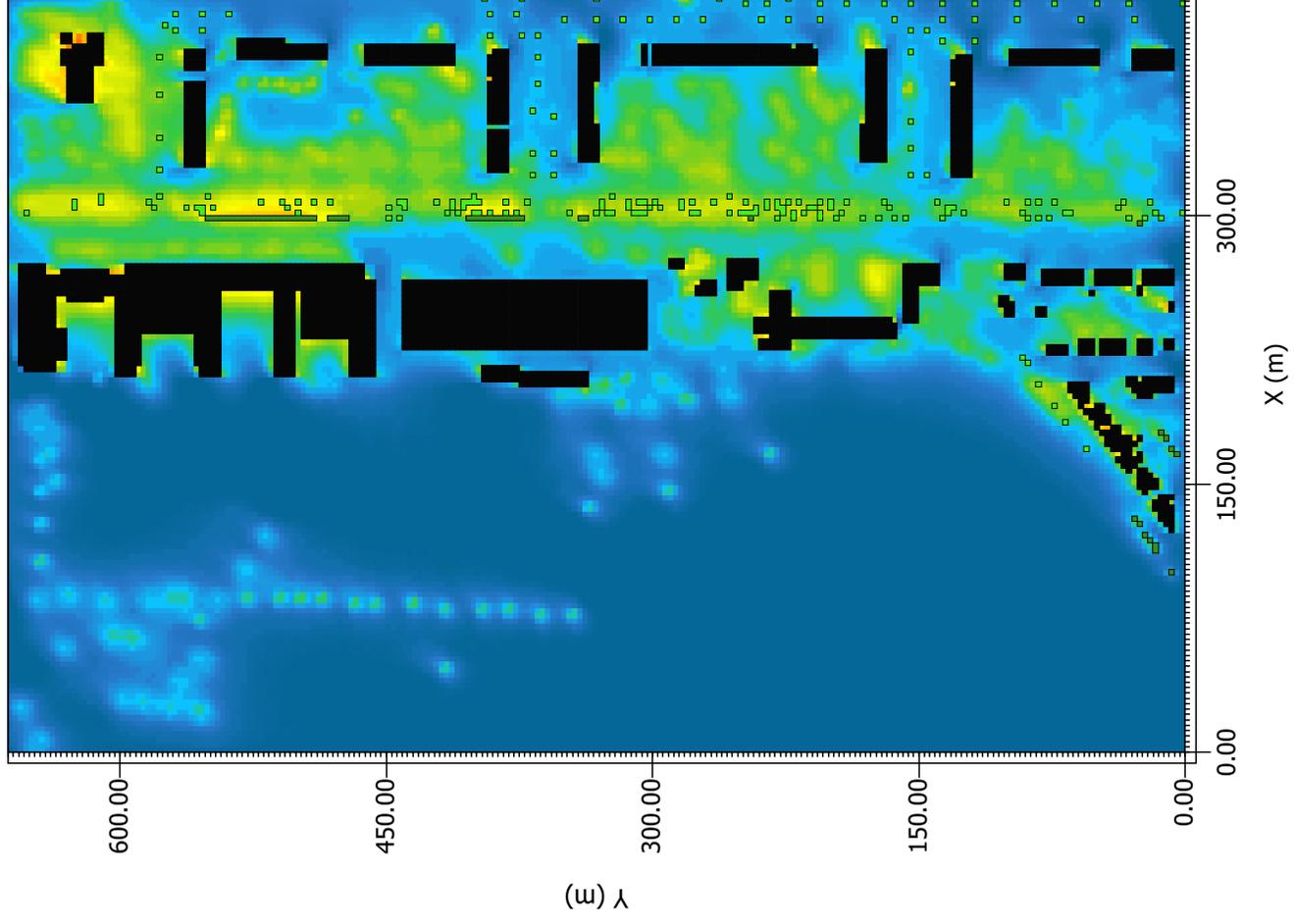
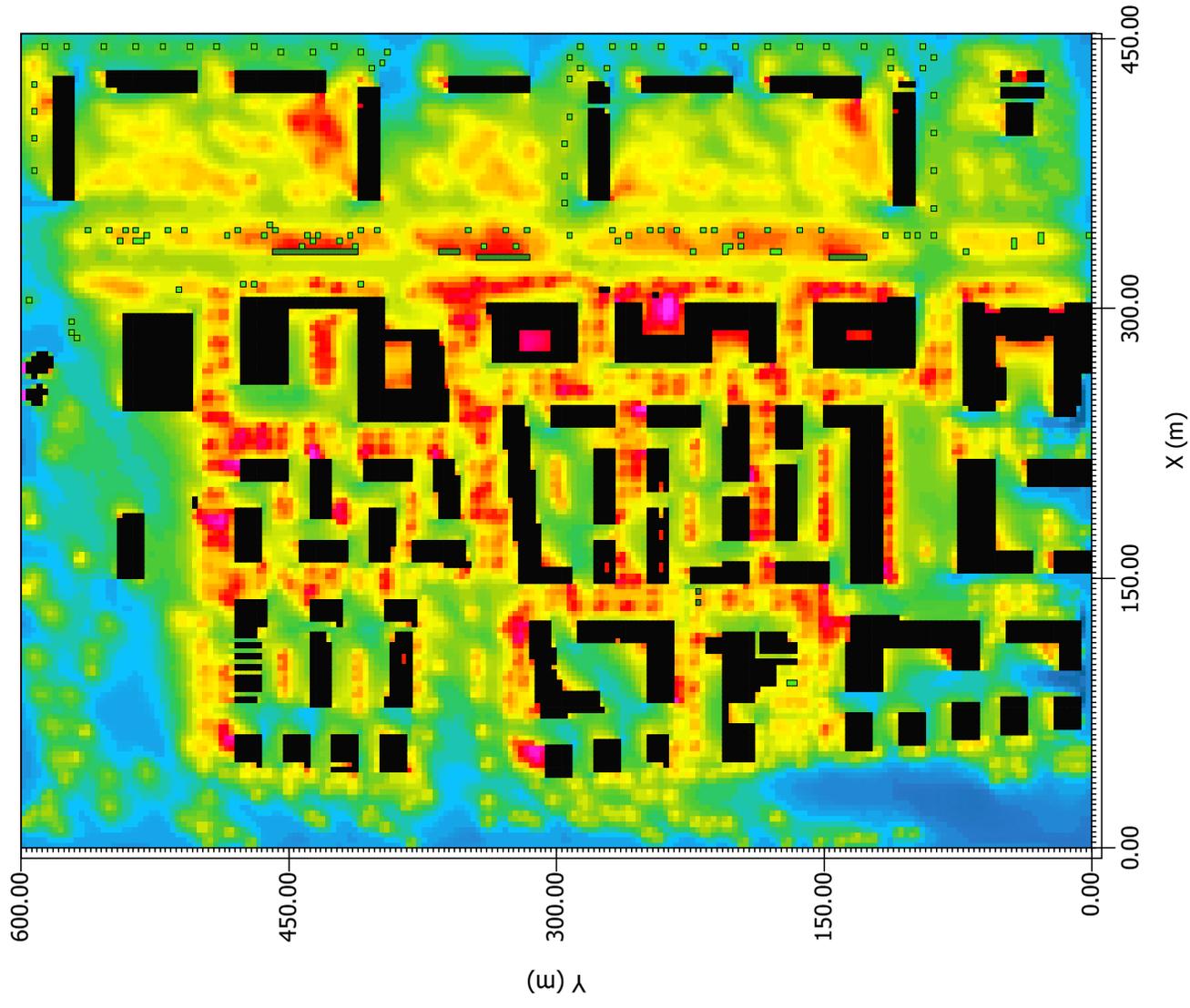
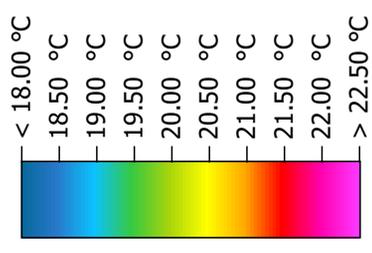


Abbildung 20a: Zukunft Nord
Plan N 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)



PET



Min: 17.60 °C
Max: 24.36 °C

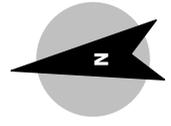


Abbildung 20b: Zukunft Nord
Plan S 22:00 20.07.

x/y Schnitt bei k=4 (z=1.8000 m)

