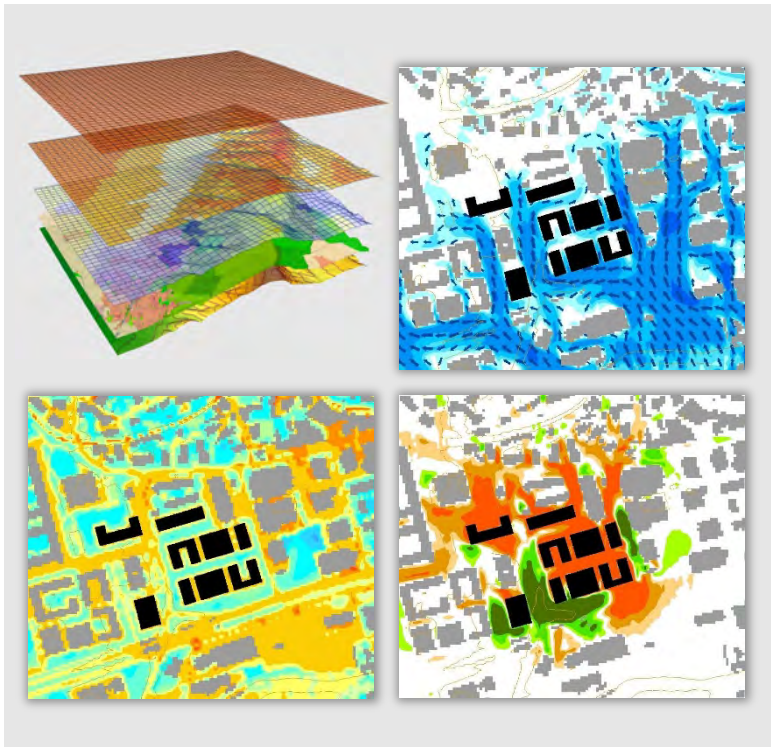


Klimaökologische Begleitung der Nutzungsänderung im Bereich Ohrbühlstrasse in Winterthur

Modellgestützte Analyse zum Einfluss der beabsichtigten Nutzungsänderung
auf das Schutzgut Klima



Auftraggeber:
Stadt Winterthur
Departement Bau
Amt für Städtebau
Pionierstrasse 7
8403 Winterthur



GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Grosse Pfahlstrasse 5a
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200
FAX (0511) 3887201

www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim



Inhaltsverzeichnis

Seite:

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	II

Inhaltsverzeichnis	I
1. Aufgabenstellung	1
2. Methode	3
2.1 Datengrundlage und Modellrechnung	3
2.2 Synoptische Rahmenbedingungen	3
3. Ergebnisse	5
3.1 Lufttemperatur.....	5
3.2 Kaltluftströmungsfeld.....	11
3.3 Kaltluftvolumenstrom	17
4 Fazit	22
5 Allgemeine Planungshinweise	24
6 Literatur	26



Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage	1
Abb. 1.2: Flächenkulisse Planfall mit den geplanten Gebäuden und dem potenziellen Leitbahnbereich	2
Abb. 2.1: Jährliche Anzahl von Hitzetagen und Jahresmaximumtemperatur an der Messtation Stampfenbachstrasse.....	4
Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)	8
Abb. 3.2: Nächtliches Temperaturfeld Planfall (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	9
Abb. 3.3: Differenz der Lufttemperatur zwischen Planfall und Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	10
Abb. 3.4: Prinzipskizze Flurwind	11
Abb. 3.5: Nächtliches Windfeld im Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	14
Abb. 3.6: Nächtliches Windfeld im Planfall (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	15
Abb. 3.7 Differenz der Strömungsgeschwindigkeit zwischen Planfall und Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund).....	16
Abb. 3.8: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom.....	17
Abb. 3.9: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Basisszenario (4:00 Uhr).....	19
Abb. 3.10: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Planfall (4:00 Uhr)	20
Abb. 3.11: Differenz Kaltluftvolumenstrom zwischen Planfall und Basisszenario (4:00 Uhr)	21
Abb. 4.1: Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Basisszenario und dem Planfall in Prozentpunkten	22
Abb. 5.1: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen	24

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms	17
---	----

1. Aufgabenstellung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen sind nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt sich die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Aspekte sind somit durch den Menschen beeinflussbar und daher feste Bestandteile der räumlichen Planung. Im Winterthurer Quartier Hegi soll der Frage nachgegangen werden, in wieweit hier eine bauliche Entwicklung auf gegenwärtig zumeist landwirtschaftlich genutzten Flächen aus stadtklimatischer Sicht möglich ist. Dahingehend wird ein städtebaulicher Entwurf näher beleuchtet.

Auf dieser Ausgangsbasis erfolgt die Klärung, ob und in welchem Masse die bauliche Umgestaltung eine Hinderniswirkung auf nächtliche Kalt-/Frischluftströmungen ausübt und möglicherweise der lokale Luftaustausch und damit die bioklimatische Situation in angrenzenden Siedlungsräumen während windschwacher Sommernächte negativ beeinflusst wird. Dies ist vor allem hinsichtlich der möglichen Betroffenheit des Bestands aber auch empfindlicher Nutzungen von Interesse. Im Auftrag des Amtes für Städtebau der Stadt Winterthur wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschliesslich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können.

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes durch das zusätzliche Baufeld gelegt. Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht.

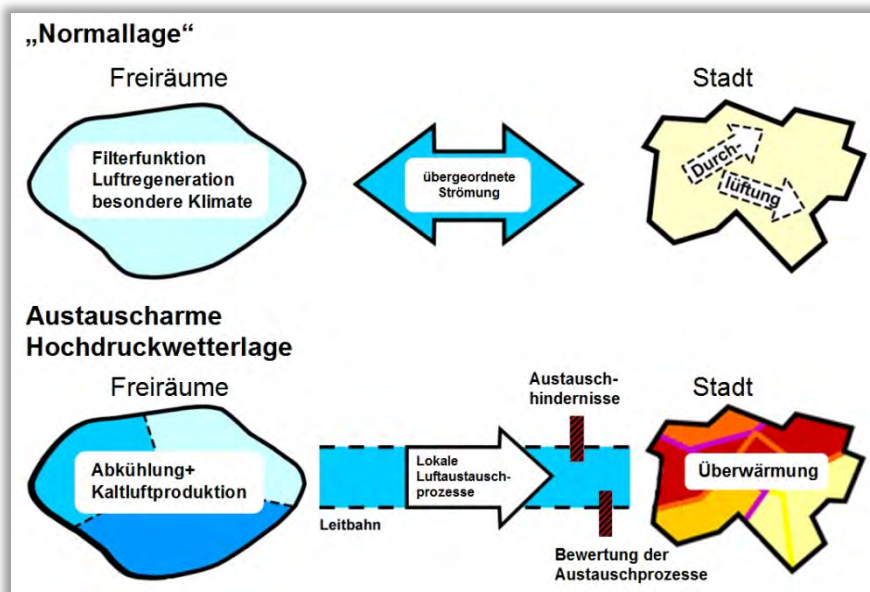


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar (**Abb. 1.1**). Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum

Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Es zeigt sich, dass im Stadtgebiet Winterthur aufgrund der Reliefgegebenheiten Hangabwind- und Talabwindssysteme dominieren

(GEO-NET 2018). In der kantonalen Klimaanalyse werden auch die überplanten und bislang unbebauten Flächen entlang der Ohrbühlstrasse im Verbund mit dem sich nördlich anschliessenden Eulachpark als Kaltluftleitbahn ausgewiesen. Allerdings bildet der darin eingeflossene Datenstand 2016 nicht die zwischenzeitlich erfolgte bauliche Entwicklung im Umfeld der Sulzerallee ab. Aus der Bedeutung dieses Bereiches für die angrenzenden Quartiere ergibt sich die Relevanz für eine vertiefende Untersuchung.

Die im Planfall vorgesehenen Gebäude weisen Höhen von 5 m bis 23 m auf, wobei nördlich der Sulzerallee auch ein Hochpunkt mit 60 m vorgesehen ist. Ein Einzelgebäude ist zudem im Bereich Seenerstrasse/Sulzerallee lokalisiert. Zusammen mit dem Istzustand als Basisszenario wurden somit zwei Modellsimulationen durchgeführt. Die in **Abb. 1.2** dargestellte Lage der Gebäude wird den Kaltluftabfluss im näheren Umfeld beeinflussen. Der Verlauf der potenziellen Kaltluftleitbahn wird über die Pfeilsignatur gekennzeichnet. Über numerische Simulationen lassen sich die räumlichen Reichweiten der Beeinflussung ermitteln.

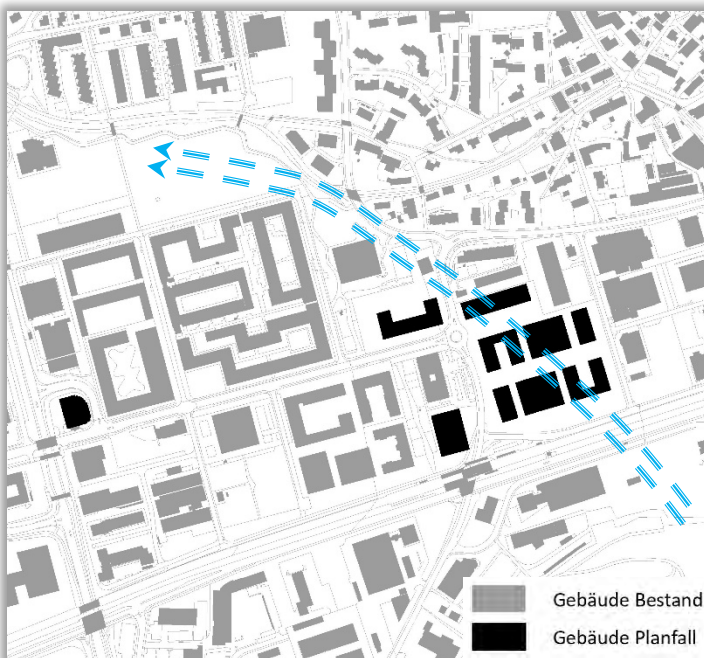


Abb. 1.2: Flächenkulisse Planfall mit den geplanten Gebäuden und dem potenziellen Leitbahnbereich

Im Folgenden werden die zugrunde liegende Methodik sowie die Ergebnisse erläutert. Ziel soll sein, in den Nachtstunden eine ausreichende Kalt-/Frischlufthversorgung in den angrenzenden Quartieren aufrecht zu erhalten. Diese Prozesse sind für eine solche Wetterlage mit dem numerischen Klima- und Strömungsmodell FITNAH simuliert worden.



2. Methode

2.1 Datengrundlage und Modellrechnung

Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH durchgeführt. Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. So wird beispielsweise auch der Einfluss des Stammraums in einem Waldbestand auf die bodennahe Kaltluftströmung berücksichtigt. Die dafür erforderlichen Geodaten wurden von der Stadt Winterthur bereitgestellt. Das Untersuchungsgebiet hat eine Fläche von ca. 10 km², wobei die Modellierung der meteorologischen Parameter mit einer Zellengrösse von 5 m x 5 m erfolgte. Zur Aufbereitung der Nutzungsstrukturen wurden die Daten zur Bodenbedeckung sowie Gebäude- und Vegetationshöhe verwendet. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde die Nutzungsklassifizierung der Strukturtypenkartierung zu einem 9-klassigen Nutzungsschlüssel aggregiert. Eine wichtige Modelleingangsgrösse stellt zudem die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen massgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Auf dieser Grundlage wurde den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m ist es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden.

2.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den durchgeführten numerischen Simulationen wurden die grossräumigen Rahmenbedingungen für eine sommerliche austauscharme Wetterlage wie folgt festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- 20°C Lufttemperatur über Freiland zum Zeitpunkt 21 Uhr,
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. In dieser Studie wird eine sommerliche austauscharme Wetterlage herangezogen, da bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden können. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und zu einem Abbau der Belastungen beitragen. Im Rahmen der kantonalen Klimaanalyse (GEO-NET 2018) wurden u.a. die Station Zürich-Stampfenbachstrasse als urbane Referenzstation für die Validierung der Modellergebnisse ausgewertet. **Abbildung 2.1** zeigt die jährliche Anzahl von Hitzetagen sowie das dazugehörige Jahresmaximum der Temperatur an der Station



Stampfenbachstrasse. Für den ausgewerteten Zeitraum 1993 bis 2015 kann festgehalten werden, dass seit der Jahrtausendwende beide Parameter einen Trend in der Zunahme aufweisen. Dabei treten vor allem die Jahre 2003 und 2015 hervor.

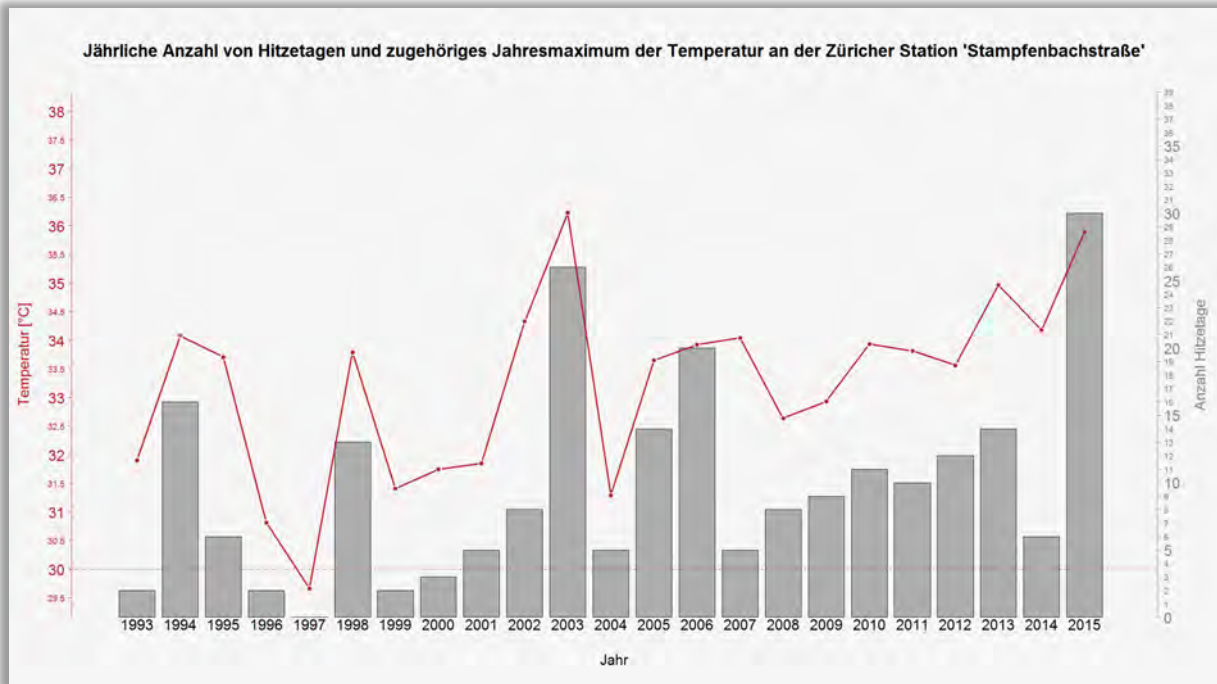


Abb. 2.1: Jährliche Anzahl von Hitzetagen und Jahresmaximumtemperatur an der Messtation Stampfenbachstrasse

Während die absolute Anzahl an Hitzetagen mit 30 im Jahr 2003 zu beobachten ist, tritt im Jahr 2015 mit mehr als 36 °C die höchste Maximaltemperatur auf. Allerdings muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Werte über einem Freilandstandort von diesem urbanen Standort abweichen können. Gleichwohl wird deutlich, dass in Zürich eine belastende sommerliche Wettersituation, wie sie im Modell simuliert wurde, im Mittel an mehr als 20 Tagen im Jahr auftreten kann.



3. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit und Kaltluftvolumenstrom erläutert. Der 4 Uhr Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse zwischen dem Umland und den Siedlungsflächen zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben.

3.1 Lufttemperatur

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmass der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – grosse Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8 K Temperaturabweichung einstellen kann. Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören:

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrösserte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion

Damit ist das Ausmass der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Grösse der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüneprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt.

Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald-, Gehölz- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem grossen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Grössere Waldgebiete haben eine klimatische Ausgleichsfunktion und filtern zudem Luftschadstoffe. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts in 2 m Höhe, im



Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage kühlerer Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen. Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Basisszenario

Das sich um 4:00 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 14.2 °C und Maximalwerten von 20.6 °C eine Spannweite von etwa 6,4 Kelvin (K). Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei etwa 17.2 °C. Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbebauung, Verkehrsanlagen sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. **Abbildung 3.1** zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4:00 Uhr für den derzeitigen Zustand als Basisszenario. Die höchsten Temperaturen von mehr als 19,0 °C treten kleinräumig im Umfeld der Rümikerstrasse und flächenhaft im Bereich der gewerblich genutzten Bebauung vor allem westlich der Seenerstrasse auf (Dunkelorange). Dies geht mit dem überdurchschnittlichen Bauvolumen und der hohen Oberflächenversiegelung einher, da hier die nächtliche Abkühlung durch die Wärme speichernden Materialien wie Beton und Stein deutlich reduziert wird. Werte von 18,0 °C bis 19,0 °C sind noch in mehreren Strassenräumen zu beobachten (Gelb/Orange).

Ein mit 15,0 °C bis 17,5 °C deutlich niedrigeres Temperaturniveau liegt dagegen in einem Grossteil der Wohnbebauung vor, was neben der Nähe zu Kaltluft produzierenden Grünflächen wie dem Hangbereich nördlich des alten Ortskerns von Hegi auch auf den vergleichsweise geringen Überbauungsgrad und den hohen Grünflächenanteil der hier vorliegenden Siedlungstypologien zurückzuführen ist. Zudem kann auch innerhalb von grösseren Hausgärten und Abstandsflächen die Temperatur auf bis zu 15,0 °C absinken. Die für eine Bebauung vorgesehenen Flächen im Bereich der Ohrbühlstrasse weisen ähnliche Werte auf. Die durch Wiese geprägten Areale weisen mit weniger als 14,5 °C die niedrigsten Temperaturen auf, da hier eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Damit liegt im direkten Umfeld des Planareals eine vorwiegend geringe nächtliche Überwärmung und damit ein bioklimatisch günstiges Temperaturniveau vor.

Planszenario

Das Temperaturfeld in 2 m Höhe für das Planszenario ist in **Abb. 3.2** dargestellt. Durch die geplante Überbauung steigen im Planszenario die nächtlichen Temperaturwerte um 0,5 °C bis über 2 °C im Nahbereich zukünftiger Gebäude an. Eine lokale Erhöhung von etwa 1 °C wird voraussichtlich auf das direkt nördlich angrenzende Bestandsgebäude (Ohrbühlstrasse 34/36) einwirken. Das Temperaturniveau verbleibt hier mit ca. 17.5 °C aber auf einem bioklimatisch unbedenklichen Niveau. Weitere thermische Wechselwirkungen zu den benachbarten Nutzungen sind nicht zu beobachten. Insgesamt gesehen entspricht die Temperatursituation derer in den angrenzenden Bestandsflächen.

Differenzen

Die Abweichungen zwischen den Bebauungsvarianten und dem Istzustand als Basisszenario sind in **Abb. 3.3** als Absolutwerte dargestellt. Dabei werden die Nutzungsänderungen als Zunahmen (rote Farben) sichtbar,



wobei sich die geplanten Gebäude in der Differenzenabbildung abzeichnen. Die Zunahmen der Lufttemperatur sind insgesamt ähnlich ausgeprägt und betragen bis zu 3.9 Kelvin (K). Dabei lässt sich die beschriebene leichte Zunahme in der direkt nördlich angrenzenden Bestandsbebauung im Übergang von Ohrbühlstrasse zu Rümikerstrasse beobachten. Eine lokale Abnahme der Lufttemperatur ist im Bereich Stäffelistrasse/Hofackerstrasse festzustellen, was auf einen Stau der Kaltluft zurückzuführen ist. Es zeigt sich aber, dass der Einfluss der Planungen auf die Lufttemperatur generell nur geringfügig über die eigentliche Planfläche hinausgeht. Das Temperaturniveau in den übrigen Bestandsflächen wird nicht nachteilig beeinflusst.

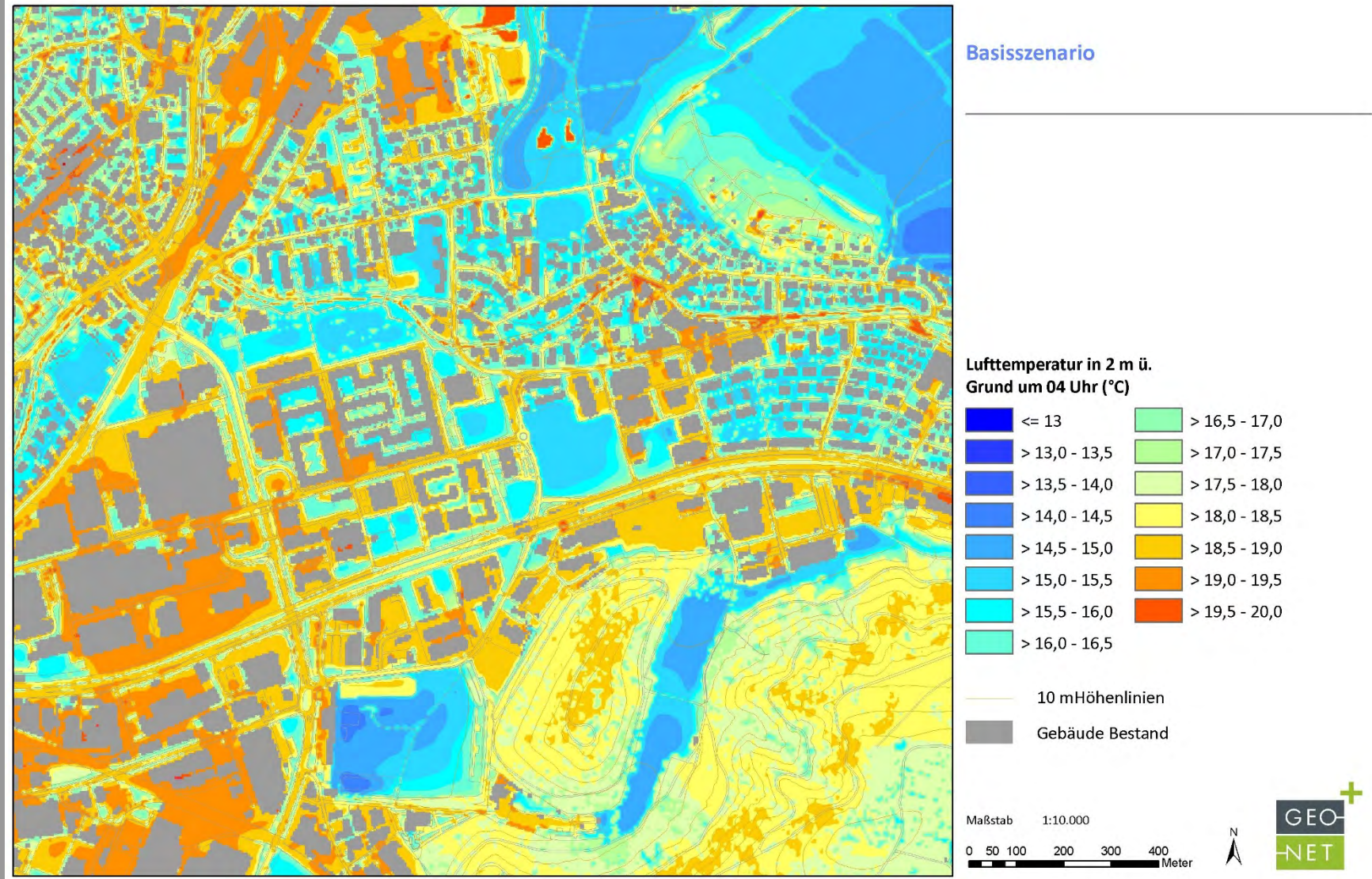


Abb. 3.1: Nächtliches Temperaturfeld Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

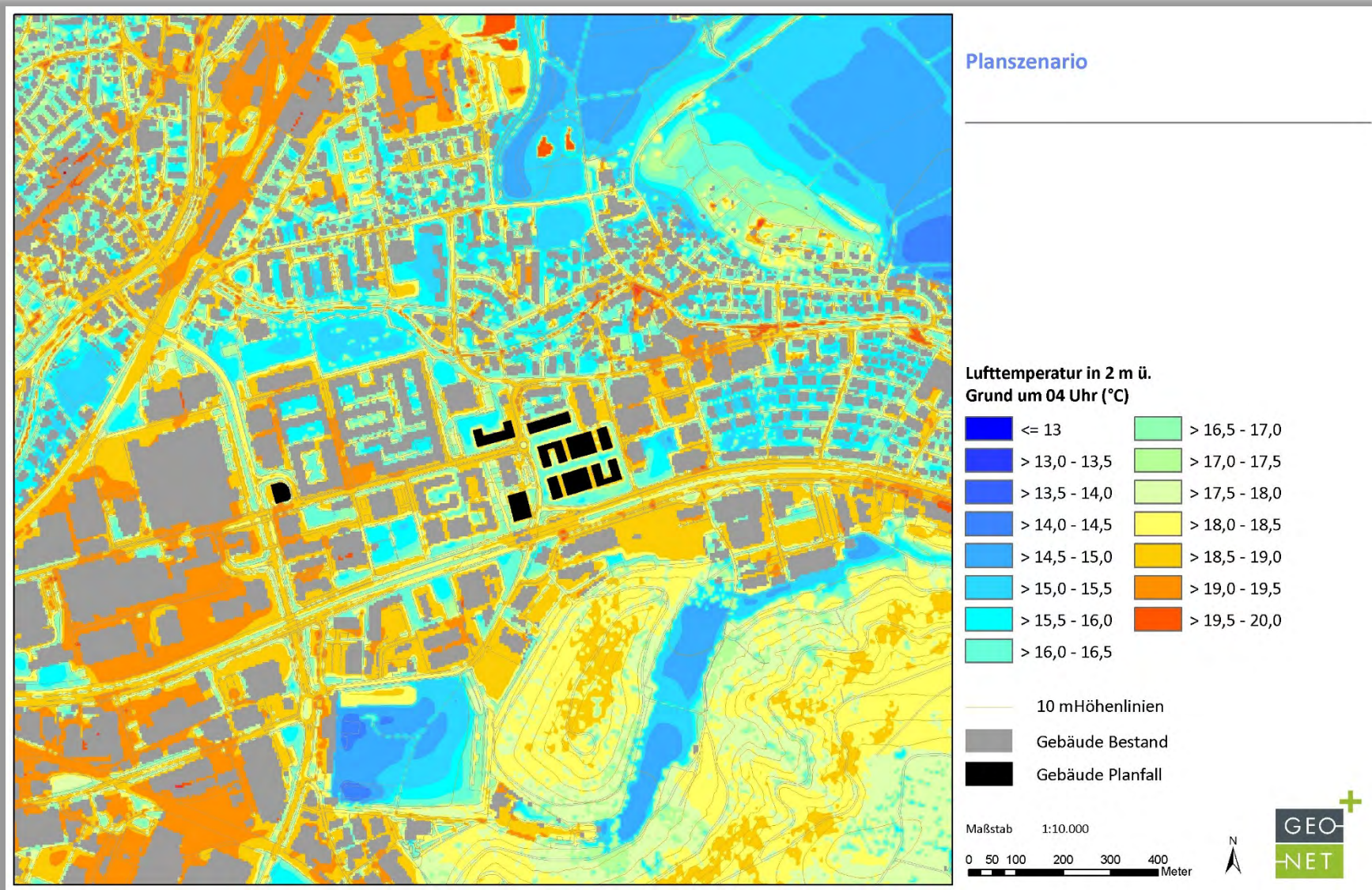


Abb. 3.2: Nächtliches Temperaturfeld Planfall (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

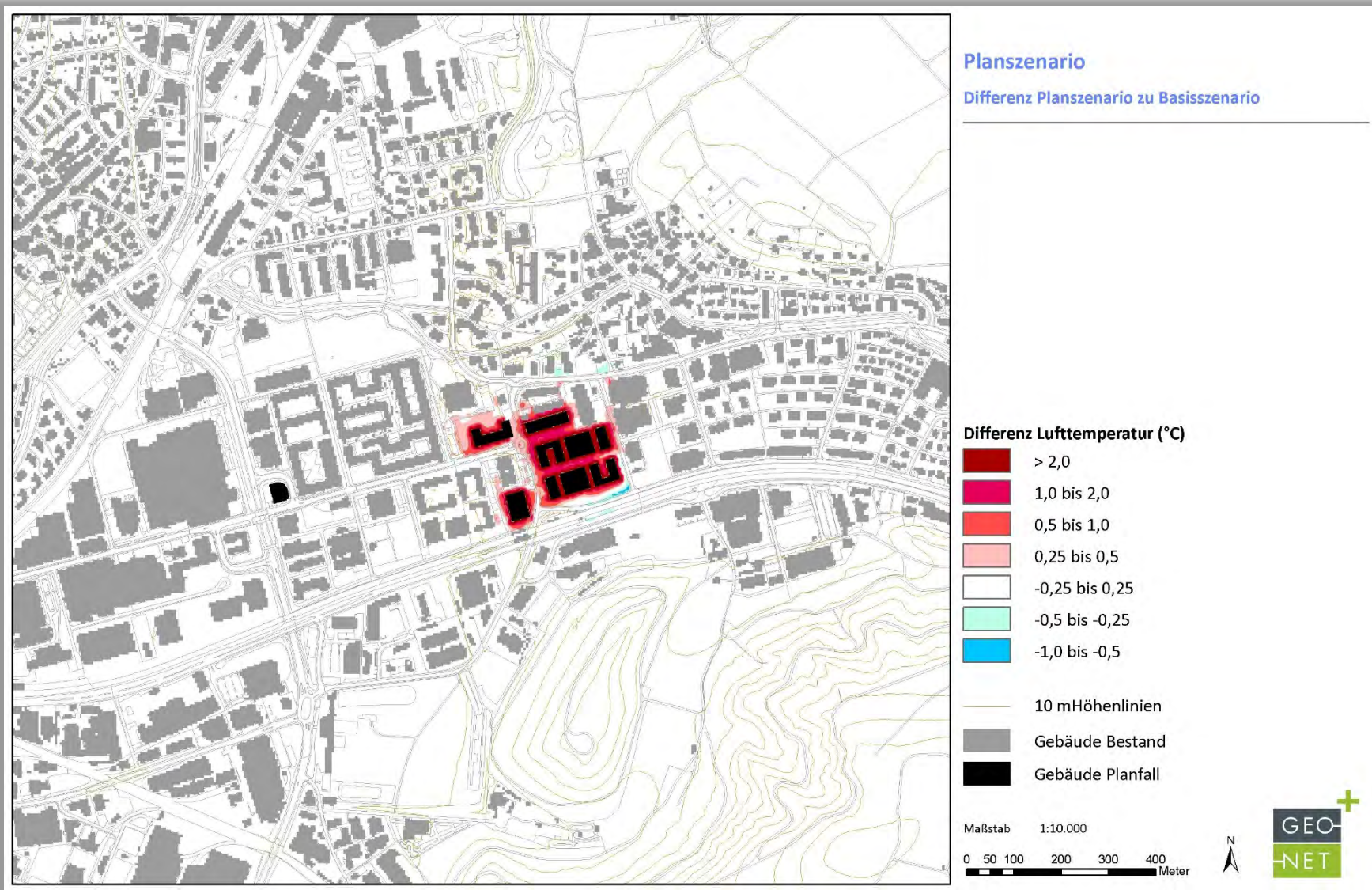


Abb. 3.3: Differenz der Lufttemperatur zwischen Planfall und Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

3.2 Kaltluftströmungsfeld

Allgemeines

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (**Abb. 3.4**). An den geneigten Flächen setzt sich ausserdem abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So können z.B. an Hängen nächtliche Kaltluftabflüsse entstehen (u.a. Mosimann et al. 1999).

Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft bestimmt und durch eine vorhandene Neigung des Geländes $> 1^\circ$ verstärkt. Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. KIESE et al. 1992). Dieser Prozess ist im Betrachtungsraum allerdings nicht anzutreffen.

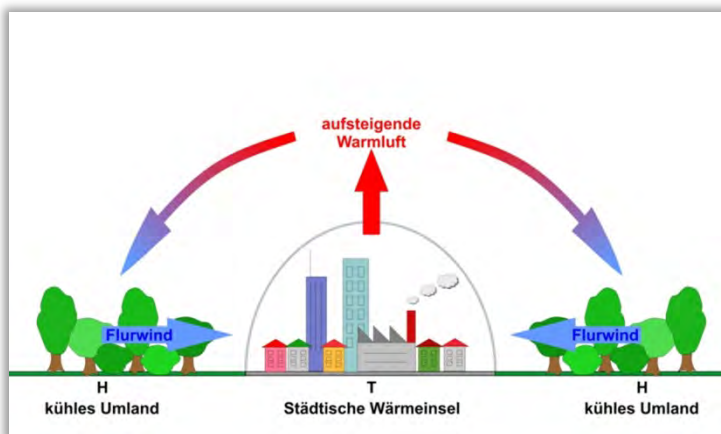


Abb. 3.4: Prinzipskizze Flurwind

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bäume und Bauten abgebremst wird. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die grossräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können.

Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden, je nach lokalen Bedingungen, im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den grossen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Ergebniskarten stellen das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 25 m aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen Rasters, für die aufgrund einer modellierten



Mindestwindgeschwindigkeit von $\geq 0,1$ m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Basisszenario

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, in wie weit sich die geplante Bebauung auf den lokalen Luftaustausch auswirken wird. **Abbildung 3.5** (S. 14) zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für den Istzustand als Basisszenario, das sich während einer sommerlichen, windstillen Strahlungswetternacht eigenbütig ausbildet. Dabei entstehen auf der Abdachung der Hegibergs Hangabwinde, welche flächendeckend nach Nordwesten hin in die Bebauung einwirken. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen 0,5 m/s bis 1,0 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Überdurchschnittlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 1,0 m/s treten vor allem über den durch Rasen geprägten Flächenanteilen östlich der Schiessanlage Ohrbühl auf. Zudem treten umfangreiche Kaltluftabflüsse nördlich des alten Ortskerns Hegi auf. Auch das zum Grossteil unbebaute Planareal wird von Kaltluft überströmt, wobei die Strömungsgeschwindigkeiten lokal über 1,0 m/s hinausgehen. Es zeichnet sich somit als lokaler Durchlüftungsbereich ab und begünstigt das Einwirken von Kaltluft in Richtung Hofackerstrasse/Rümikerstrasse. Es zeichnet sich allerdings keine funktionale Verbindung mit dem Eulachpark ab. Vielmehr kommt es hier zu einer eigenbütigen Kaltluftentstehung, wobei diese nach Westen hin in Richtung Seenerstrasse hin abfließt.

Die Eindringtiefe in die Siedlungsräume ist insgesamt stark ausgeprägt und kann bei den günstigen strukturellen Bedingungen ausgehend vom Siedlungsrand über 500 m hinausgehen. Mit zunehmender Entfernung von den Kaltluftquellgebieten verringert sich in den dichter bebauten Bereichen aufgrund der Oberflächenrauigkeit die Strömungsgeschwindigkeit auf weniger als 0,1 m/s, wobei das höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung zusätzlich abschwächt. Gleichzeitig lässt sich auch die Hinderniswirkung grösserer Baukörper beobachten, welche z.B. von ausgeprägter Zeilen- und Blockbebauung ausgeht. Kleinere Gebäude wie eine Einzelhausbebauung werden dagegen von der Kaltluft um- bzw. auch überströmt und wirken sich vergleichsweise wenig abschwächend auf die Strömung aus.

Planszenario

Das nächtliche Strömungsfeld für den Planfall zeigt **Abb. 3.6** (S. 18). Dabei zeichnen sich die geplanten Gebäude als Strömungshindernisse ab, das Bauvolumen resultiert in einer deutlichen Hinderniswirkung für den nach Norden hin in Richtung Rümikerstrasse einwirkenden Kaltluftstrom. Während im Basisszenario die Kaltluft noch bis zum Reismühlenweg vordringt, nimmt deren Einwirktiefe um etwa 100 m ab und geht nun kaum noch über die Rümikerstrasse hinaus. Die thermische Situation bleibt davon aber unberührt, da die durchgrünte Siedlungstypologie im alten Ortskern eine gute flächeninterne Abkühlung aufweist und der „Bedarf“ an klimatisch ausgleichender Kaltluft vergleichsweise niedrig ist.

Differenzen

Die Differenzenabbildung macht die Beeinflussung des Kaltluftströmungsfeldes noch besser sichtbar (**Abb. 3.7**). Braun und Orange kennzeichnen eine Abnahme der Geschwindigkeit gegenüber der gegenwärtigen Situation, die grünen Farben eine Zunahme. Die geplante Bebauung führt zu einer örtlichen Abwandlung der bodennahen Windgeschwindigkeiten um signifikante Werte über 0,1 m/s. Im Bereich der Baufelder sowie nördlich davon kommt es erwartungsgemäß zu den stärksten Reduktionen um mehr als 0,2 m/s. Es zeigt sich, dass die Abschwächung des Kaltluftstroms etwa bis zum Reismühlenweg abgeklungen ist.



Den Abnahmen stehen lokale Zunahmen der Werte von mehr als 0,2 m/s gegenüber (grüne Farbe), was auf die Kanalisierung der Kaltluft durch die zusätzlichen Baukörper zurückzuführen ist. Dieser Effekt tritt vor allem im Bereich Ohrbühlstrasse/Hofackerstrasse auf. Es kann festgehalten werden, dass keine Abnahmen im Bereich des Eulachparks anzutreffen sind, was die angenommene klimafunktionale Entkoppelung von Planareal und Grünzug unterstreicht.

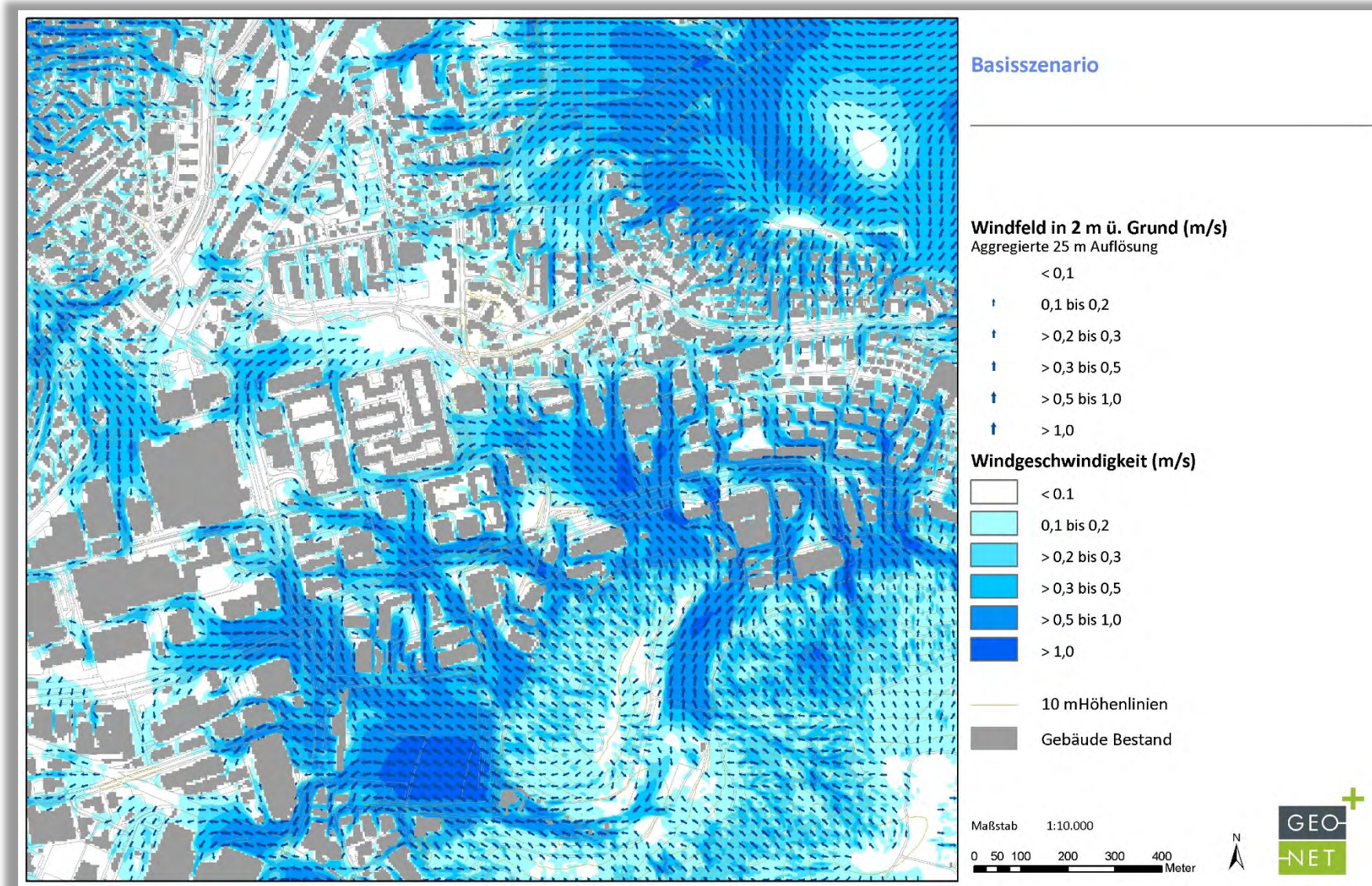


Abb. 3.5: Nächtliches Windfeld im Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

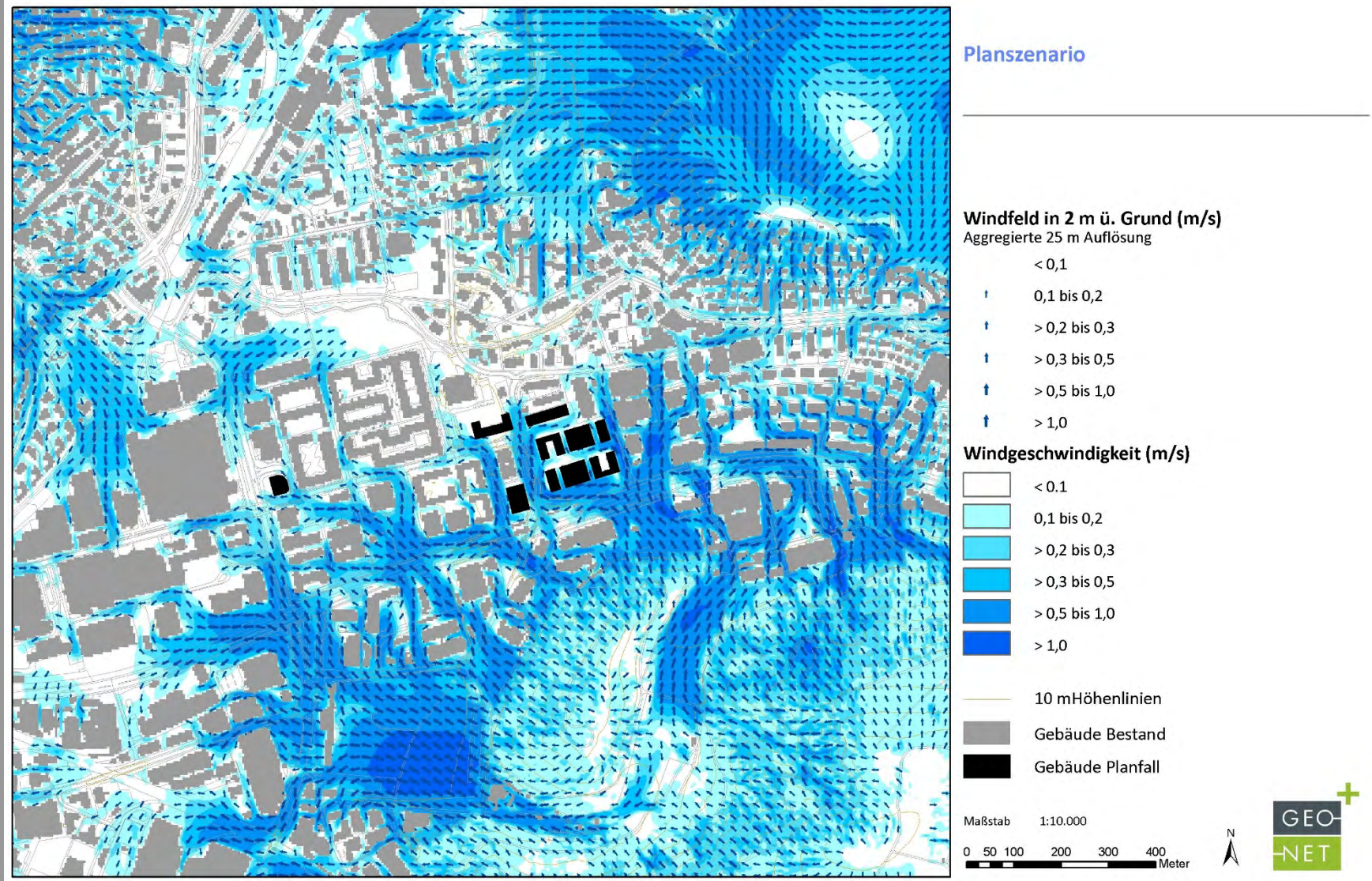


Abb. 3.6: Nächtliches Windfeld im Planfall (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

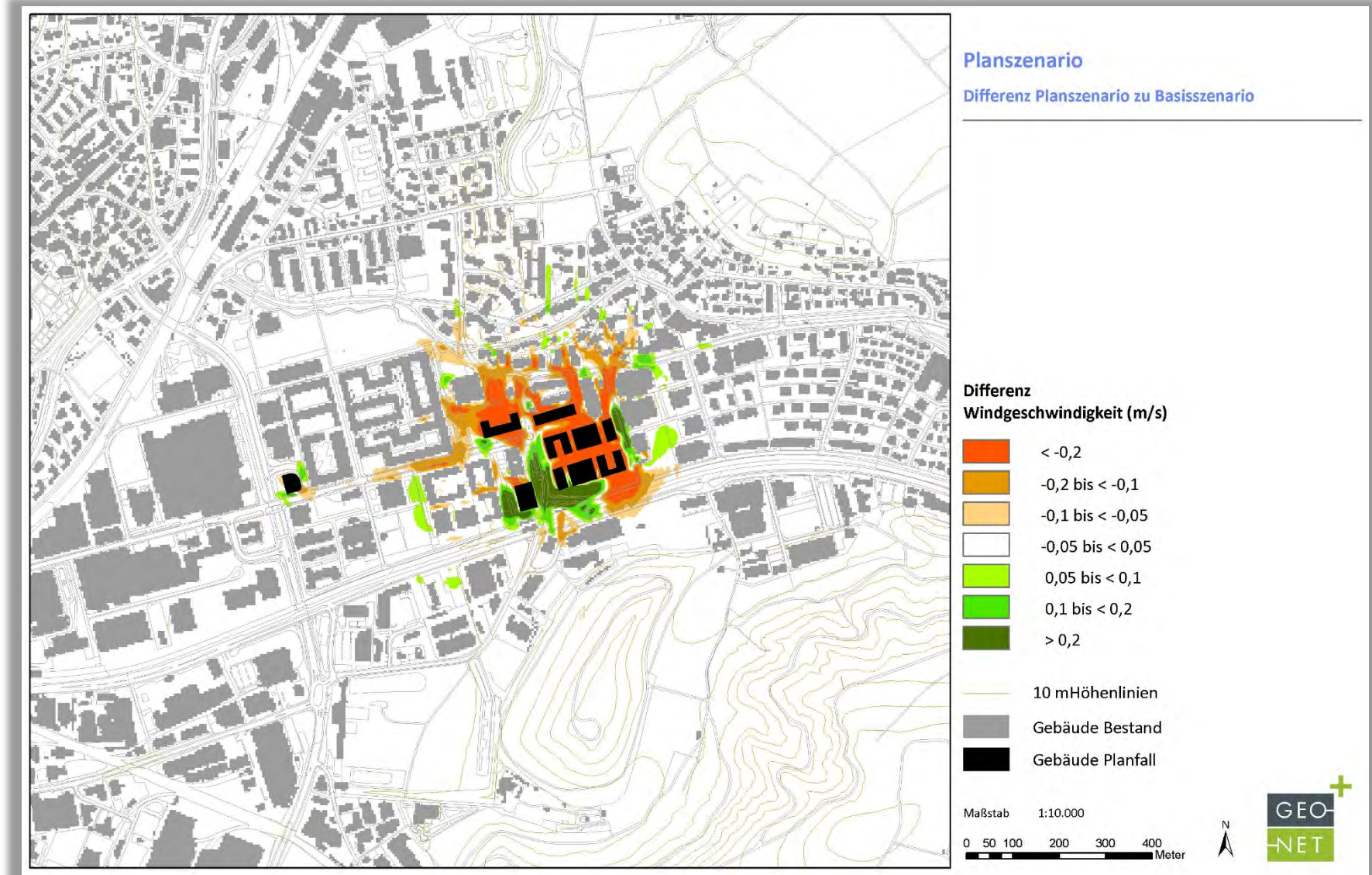


Abb. 3.7 Differenz der Strömungsgeschwindigkeit zwischen Planfall und Basisszenario (4:00 Uhr, 2 m über Grund)

3.3 Kaltluftvolumenstrom

Allgemeines: Wie bereits im Vorkapitel zum autochthonen Windfeld eingehender erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen grösserer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die *Höhe* der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Bewertung der Grünflächen ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom.

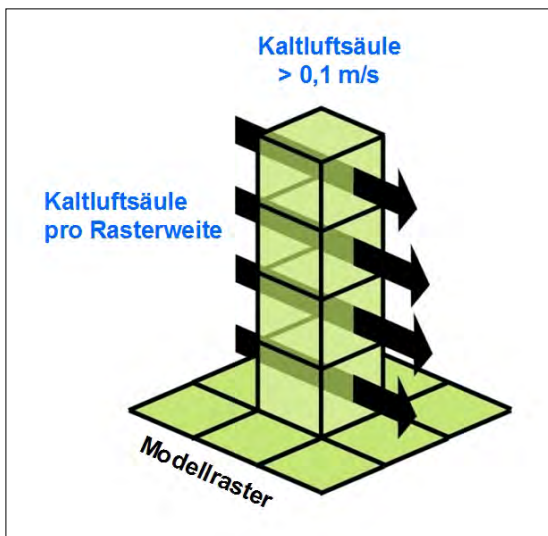


Abb. 3.8: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für dargestellten Ergebnisse bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite (hier 10 m), ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als

Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Diesen Wert kann man sich veranschaulichen, indem man sich ein 10 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte (Abb. 3.8). Der Volumenstrom ist damit ein Mass für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Grössenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes. Die qualitative Bewertung dieser meteorologischen Grösse, die sich im vorliegenden Fall auf die Breite einer Rasterzelle bezieht, zeigt Tab. 3.1:

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m^3/s
Sehr hoch	> 450
Hoch	> 100 bis 450
Mässig	> 50 bis 100
Gering	≤ 50

Tab. 3.1: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend vom der statistischen Analyse des Kaltluftvolumenstrom (s. Kap. 2.3, S. 5) wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als $50 \text{ m}^3/\text{s}$ angenommen.



Istzustand

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. **Abbildung 3.9** (S. 23) zeigt den Kaltluftstrom für die Basisszenario in einer quantitativen und qualitativen Abstufung. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte östlich der Schiessanlage Ohrbühl sowie über den unbebauten Flächen des für eine Bebauung vorgesehenen Areals auf (Dunkelgrün). Der das Plangebiet überstreichende Kaltluftstrom hat seinen Ursprung im Bereich einer Tiefenlinie auf der Nordwestabdachung des Hegibergs und folgt dem Verlauf der Hegibergstrasse. Die übrigen und von den Kaltluft produzierenden Hangbereichen ausgehenden Kaltluftvolumina wirken mit hoher Intensität – ausgehend vom Siedlungsrand – bis zu 800 m in die Bebauung ein, wobei die Kaltluftabflüsse des Hegibergs insgesamt am stärksten ausgeprägt sind (Mittelgrün). Der Kaltluftvolumenstrom setzt sich weiter in Richtung Neuhegi fort und wird im Umfeld grösserer Baukörper auf ein mässiges Niveau abgeschwächt (Hellgrün). Westlich einer Linie Hegistrasse/Bahnhof Oberwinterthur werden hingegen die vom Lindberg ausgehenden Kaltluftabflüsse sichtbar.

Planvarianten

Die Situation für den Planfall ist in **Abb. 3.10** dargestellt. Diese macht die räumliche Reichweite des vorhabenbedingten Einflusses deutlich. Mit Umsetzung der Nutzungsänderung lassen sich die für das Windfeld beschriebenen Veränderungen erkennen, die durch die geplanten Gebäude als Strömungshindernisse ausgelöst werden. Das Wertenniveau auf der vom Wind abgewandten Seite (Lee) des Schulhauses sinkt nördlich der Rümikerstrasse gegenüber dem Basisszenario lokal um eine Wertestufe von Hoch auf nun Mässig ab. Die Abschwächung des Kaltluftvolumens wirkt kaum bis in den Eulachpark ein.

Differenzen

In **Abb. 3.11** wird der Einfluss der Bebauung auf den Kaltluftstrom als Abweichung in Prozentpunkten gegenüber dem Istzustand als Basisszenario dargestellt. Von den geplanten Gebäuden geht mit bis zu 25 Prozentpunkten ein Abschwächungseffekt aus, welcher sich auf der windabgewandten Seite (Lee) nördlich aber auch westlich fortsetzt. Die räumlichen Wirkungen dieser Effekte betragen - ausgehend vom Baufeld - nicht mehr als 300 m.

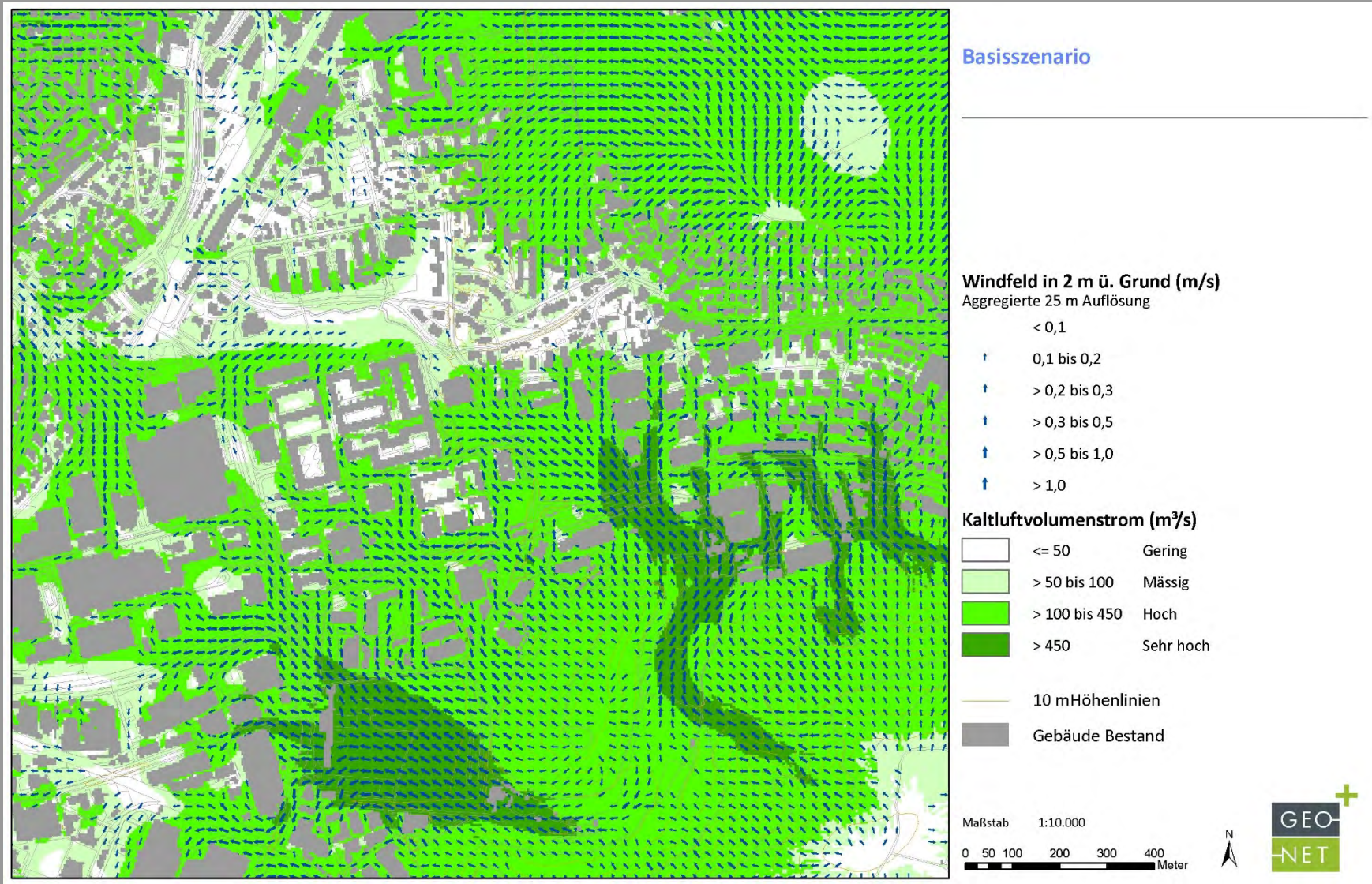


Abb. 3.9: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Basisszenario (4:00 Uhr)

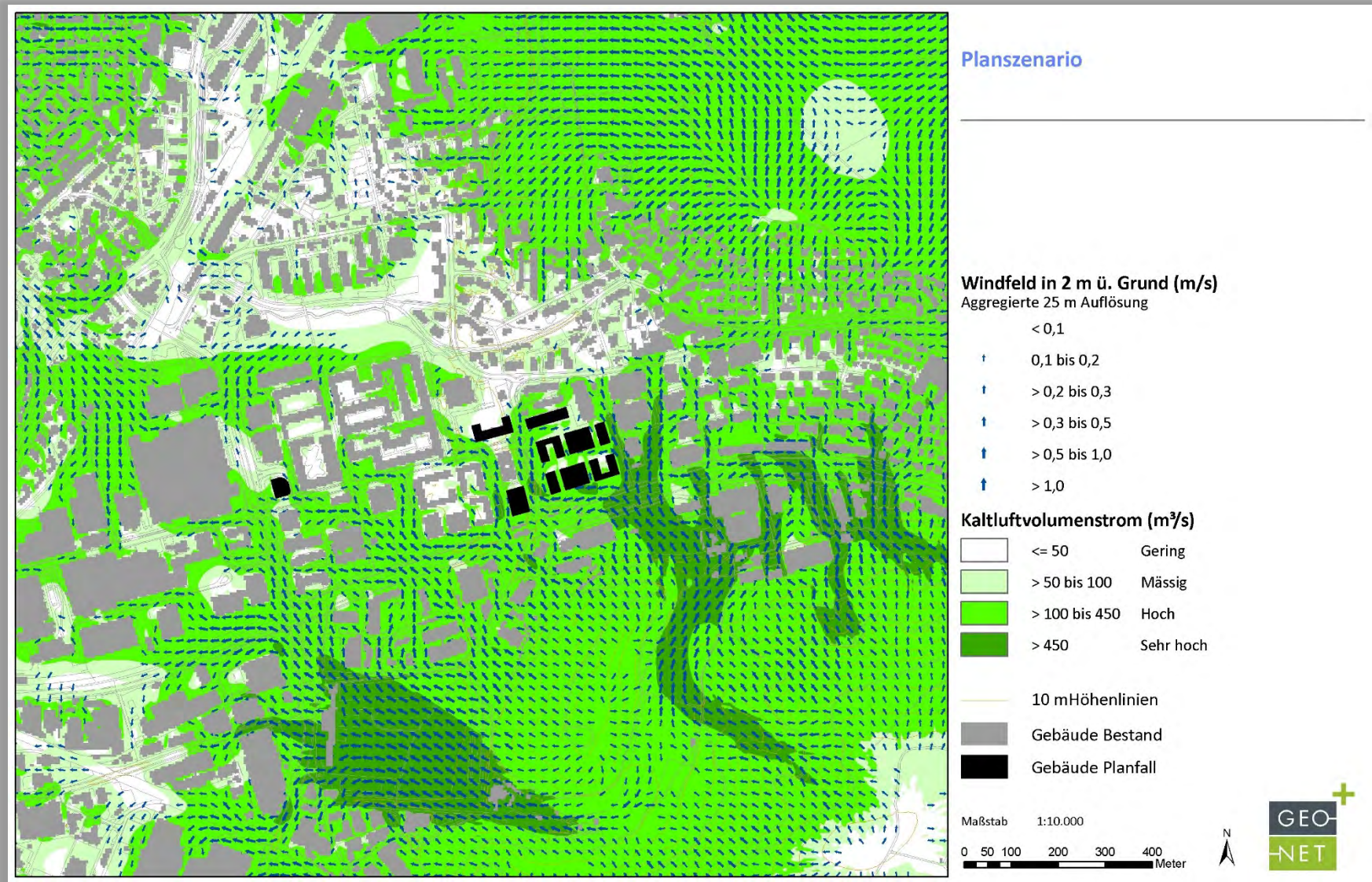


Abb. 3.10: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom im Planfall (4:00 Uhr)

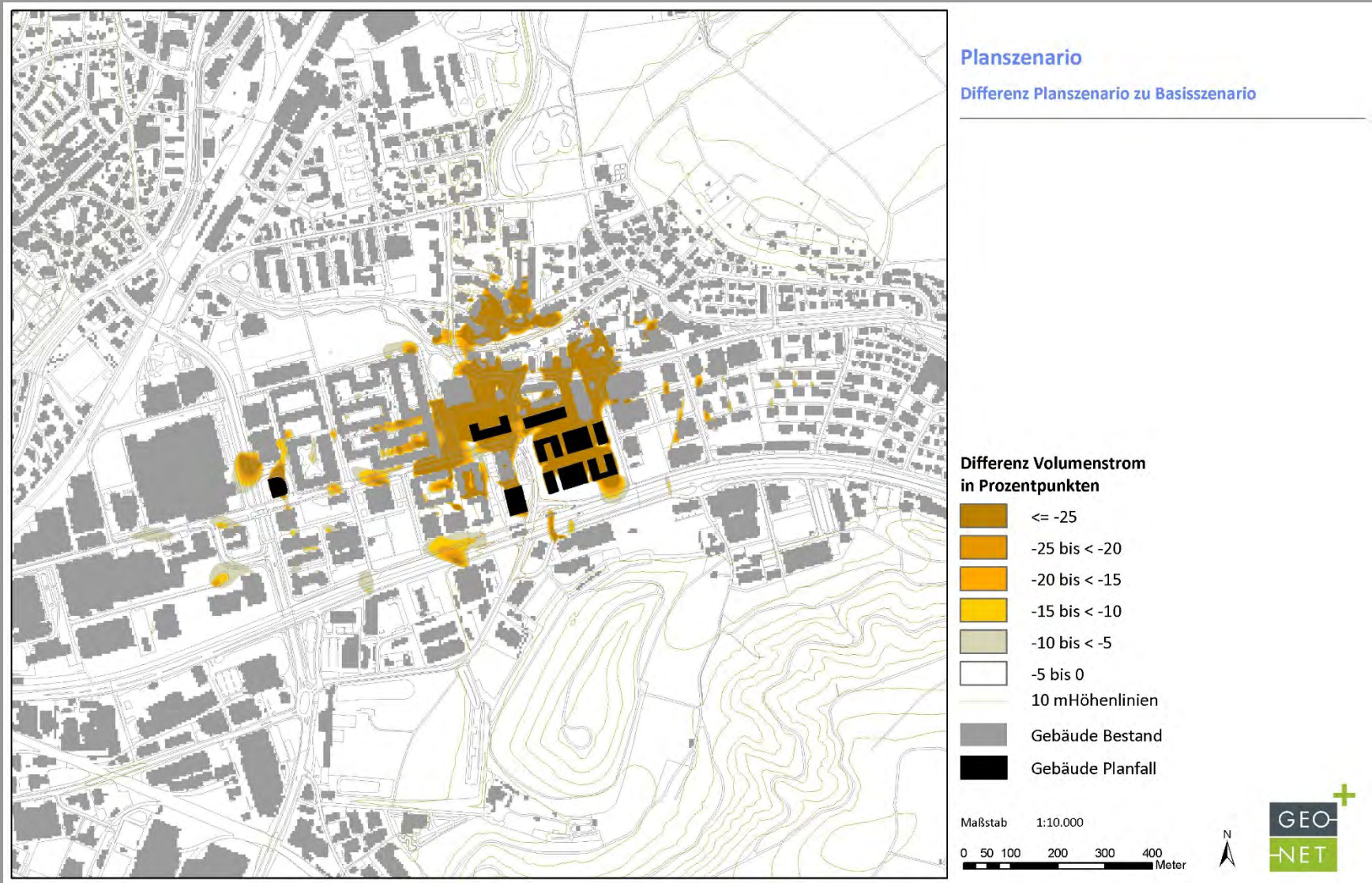


Abb. 3.11: Differenz Kaltluftvolumenstrom zwischen Planfall und Basisszenario (4:00 Uhr)

4 Fazit

Zur Ermittlung der klimaökologischen Auswirkungen einer Gewerbebebauung im Bereich Ohrbühlstrasse in Winterthur wurden mit dem Klimamodell FITNAH-3D für eine windschwache Sommernacht verschiedene meteorologische Parameter zum Kaltlufthaushalt simuliert. Es zeigt sich, dass für die angrenzenden Bestandsflächen keine signifikante Zunahme der nächtlichen Lufttemperatur zu erwarten ist. Gleichwohl führt die Zunahme der Baumassen zu einer lokalen Beeinflussung der Kaltluftabflüsse.

Anders als bei Belastungen durch Luftschadstoffe oder Verkehrslärm, für die in Verordnungen konkrete Grenz- oder Richtwerte genannt werden, gibt es für die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes keine allgemeingültigen Bewertungsmaßstäbe. Lediglich in der deutschen VDI-Richtlinie 3787 Blatt 5 (VDI 2003) wird ein quantitatives „Mass der Beeinflussung“ vorgeschlagen, das eine Reduktion der Abflussvolumina um mehr als 10 Prozent im Umfeld von bioklimatisch belasteten Siedlungsgebieten als „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ ausweist. Eine Verringerung um 5-10 Prozent wird als „mässige Auswirkung“ eingestuft, unterhalb von 5 Prozent wird die Auswirkung einer Volumenstromverringerung als „geringfügig“ angesehen. Da der Schwellenwert von 10 Prozentpunkten deutlich überschritten wird, ist gemäss der VDI-Richtlinie eine „hohe vorhabenbedingte Auswirkung“ festzustellen. Gegenwärtig kann dieser nur als Orientierung dienen, die Frage nach einer Definition der Erheblichkeitsschwelle und die Übertragbarkeit auf die Bedingungen im Raum Zürich konnte auch in der vorangegangenen Kaltluftstudie für die Stadt Zürich nicht abschliessend beantwortet werden (GEO-NET 2019).

Abbildung 4.1 zeigt die im Umfeld der geplanten Bebauung (Schwarz) betroffenen Siedlungsflächen mit den jeweiligen planbedingten Veränderungen des Kaltluftvolumenstroms in Prozentpunkten gegenüber dem Istzustand auf. Die für den Kaltlufthaushalt in Kap. 3 beschriebenen Auswirkungen spiegeln sich auch in der flächenhaften Bilanzierung wieder. Dabei tritt die relativ gesehen stärkste Verminderung des Kaltluftvolumens mit minus 60.3 Prozentpunkten über den zukünftig bebauten Flächen selbst auf. Im direkt angrenzenden Bestand im Bereich Rümikerstrasse ist die Abnahme mit bis zu 60.0 Prozentpunkte ähnlich ausgeprägt.

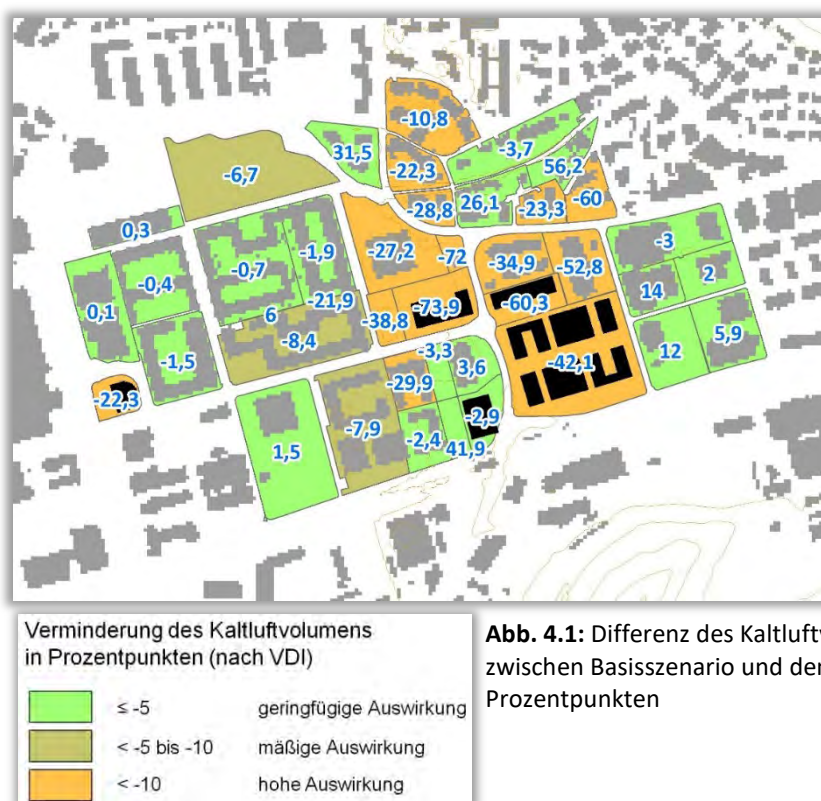


Abb. 4.1: Differenz des Kaltluftvolumenstroms zwischen Basisszenario und dem Planfall in Prozentpunkten



Gleichzeitig führt die Verlagerung des Kaltluftstroms zu Zunahmen um bis zu 56.2 Prozentpunkte. Eine mit der Planung einhergehende signifikante Zunahme der bodennahen Lufttemperatur wurde allerdings nicht festgestellt. Dies ist auf den zumeist hohen Grünanteil der Bebauungstypologien sowie die periphere Lage und das damit im Vergleich zur Kernstadt niedrigere Temperaturniveau zurückzuführen. Wenngleich eine Beeinflussung des lokalen Luftaustausches sichtbar wird, sind die geplanten baulichen Veränderungen nicht groß genug, um eine nennenswerte Verschlechterung der klimaökologischen Situation in der umliegenden, bestehenden Wohnbebauung während windschwacher Sommernächte auszulösen. In der Gesamtbilanz ist die planbedingte Wirkung insbesondere auf vorhandene Wohnnutzungen quantitativ gesehen zwar als lokal begrenzt hohe Abschwächung einzuordnen. Mit Blick auf die geringe thermische Vorbelastung während sommerlicher Wetterlagen, die weiterhin vorhandene Durchlüftung sowie die gute flächeninterne nächtliche Abkühlung im Umfeld der geplanten Bebauung ist das qualitative und räumliche Ausmaß der Wirkungen insbesondere auf vorhandene Wohnnutzungen als mäßig bzw. vertretbar anzusehen.

Die in der kantonalen Klimaanalyse ausgewiesene Kaltluftleitbahn, welche sich aus dem Verbund von Eulachpark sowie der bislang unbebauten Planflächen zusammensetzt, konnte in der vorliegenden feinskaligen Klimasimulation nicht bestätigt werden. Dies ist auf den Datenstand der in die kantonale Untersuchung eingegangenen Bebauungskulisse zurückzuführen (Stand 2016), welcher die mittlerweile vorhandene Bebauung nicht umfasste. Eine unmittelbare klimafunktionale Verbindung zwischen Planareal und Eulachpark als Kaltluftleitbahn kann für das Basisszenario nicht mehr abgeleitet werden. Eine Auswirkung auf den Luftaustausch innerhalb des Eulachparks durch die geplante Bebauung konnte für das Planszenario nicht festgestellt werden.

5 Allgemeine Planungshinweise

Im Folgenden werden weitere Hinweise zur Verringerung der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen sowie zur Aufenthaltsqualität im Freien gegeben.

Grünflächen und Aufenthaltsbereiche im Freien

Eine intensive Begrünung des Straßenraums und die Aufwertung der Bebauung mit Bäumen steigern die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Damit wird das Gehen/Radfahren im Schatten ermöglicht. Innerhalb der Abstandsflächen sollte allerdings auf dichte Vegetationselemente wie Gehölze und Hecken verzichtet werden, da diese die bodennahe Kaltluftströmung beeinträchtigen können. Ein Baumanteil von etwa 30 % sollte nicht überschritten werden. Ein weiteres klimaausgleichendes Gestaltungselement können Brunnenanlagen in Platzbereichen bzw. Freiflächen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen können kleinräumig durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden und die Aufenthaltsqualität im Freien verbessern. Für die strukturelle Ausgestaltung von Grünanlagen lassen sich die folgenden Hinweise geben.

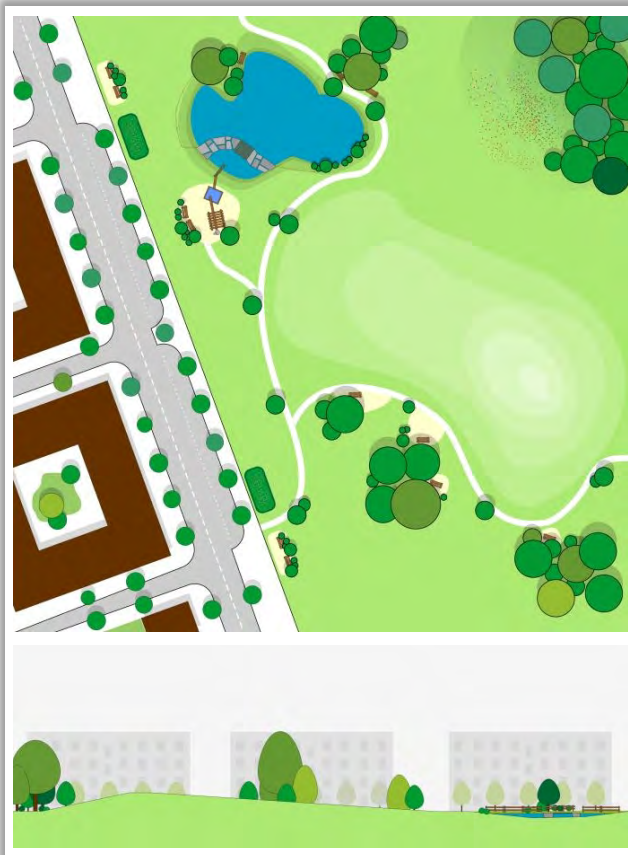


Abb. 5.1: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen

Städtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen, wobei als Leitbild der erweiterte „Savannentyp“ dienen kann (KUTTLER 2013). Er besteht zu einem großen Anteil aus gut wasserversorgten Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügel-landschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind (**Abb. 5.1**). Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedliche Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen. Durch diese heterogene Anordnung wird sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Abkühlung der Luft als auch der Aufenthalt am Tage für alle Zielgruppen optimiert ist.

Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

Während am Tage die direkte, kurzwellige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse



gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben.
2_21_065_Winterthur_Ohrbühlstrasse_Klima_Rev00

Neben einer hohen Grünausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.

Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählen Dach- und Fassadenbegrünung. Letztere wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden. Die Möglichkeiten bei der Realisierung einer Fassadenbegrünung werden allerdings entscheidend von der baulichen Ausgangssituation mitbestimmt. Eine positive Wirkung kann auch durch die Verschattung der Südfassaden durch Bäume erbracht werden.

Bei einer Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegender Räume. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es bei einer hohen Traufhöhe von Gebäuden zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 4-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinausgehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird. Weiter Hinweise können beispielsweise aus der Fachplanung Hitzeminderung der Stadt Zürich entnommen werden (Stadt Zürich 2020).



6 Literatur

- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2018): Analyse der klimaökologischen Funktionen und Prozesse für das Gebiet des Kantons Zürich.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2019): Kaltluftstudie Stadt Zürich.
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- KANTON ZH (2020): Daten zur Bodenbedeckung und Vegetationshöhe.
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- STADT ZÜRICH (2020): Fachplanung Hitzeminderung. Zürich, 2020.
- VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2008): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.