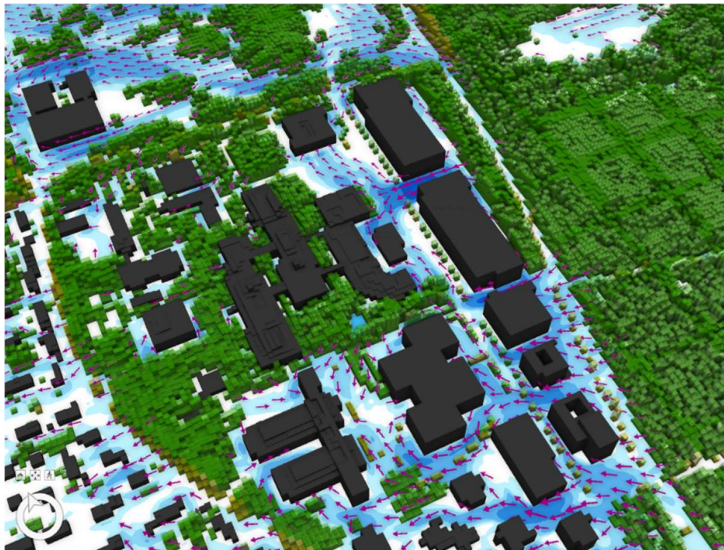


# Vorentwurf Klimaökologisches Gutachten B-Plan Entwurf Nr. 467 „Erweiterung Uni-Südgelände Ost“ der FAU in Erlangen

---



## **Auftraggeber:**

Staatliches Bauamt  
Erlangen - Nürnberg  
Bohlenplatz 18  
91054 Erlangen



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover  
Tel. (0511) 388 7200  
[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Methodik .....</b>	<b>5</b>
2.1 Datengrundlage und Modellrechnung.....	5
2.2 Synoptische Rahmenbedingungen.....	8
2.3 Beobachteter und zu erwartender Klimawandel.....	9
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>12</b>
3.1. Lufttemperatur in der Nacht.....	12
3.2. Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht .....	17
3.3. Wärmebelastung am Tag.....	28
<b>4. Schlussfolgerung .....</b>	<b>33</b>
<b>5. Allgemeine Planungshinweise .....</b>	<b>34</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>37</b>



## Abbildungsverzeichnis

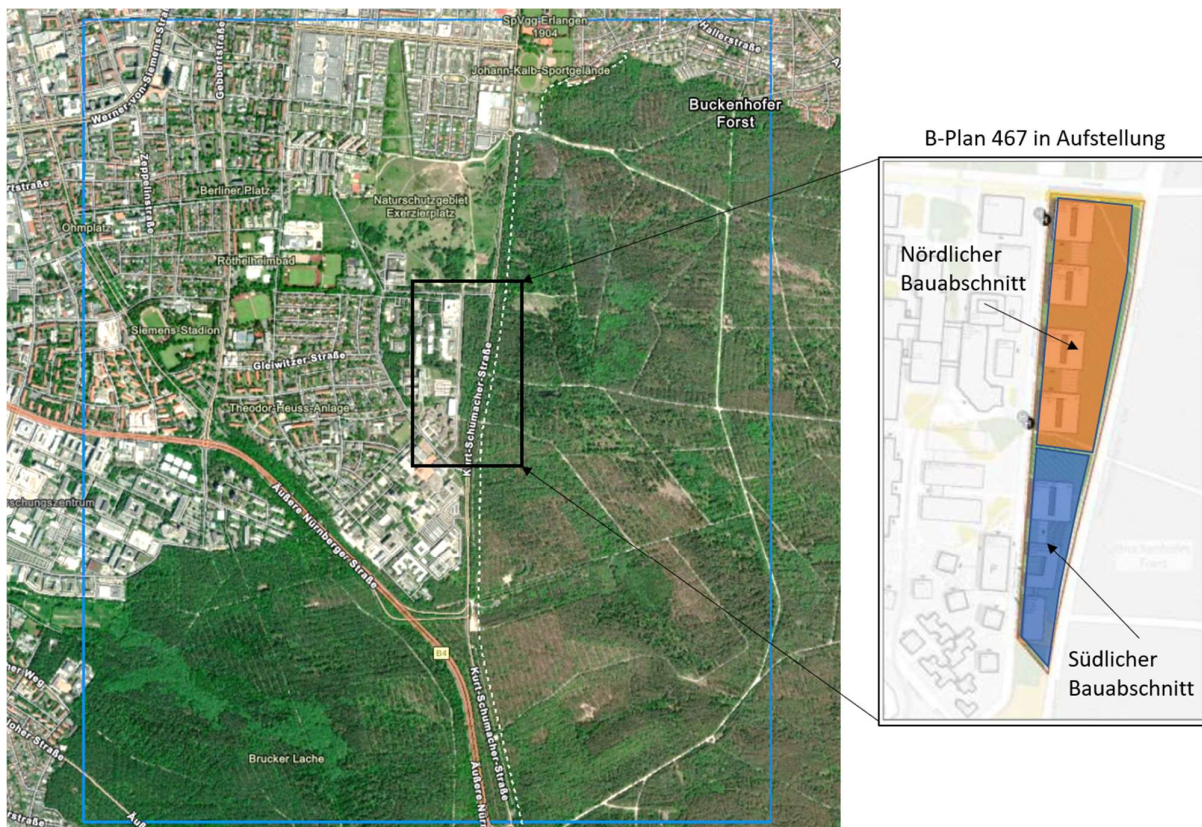
Abbildung 1: Lage des B-Plangebietes und des gesamten Untersuchungsgebietes im Bereich des Universitätscampus am östlichen Stadtrand von Erlangen .....	3
Abbildung 2: Planentwurf des Bauvorhabens zur Beschreibung des Plan-Zustandes in der Modellrechnung.....	4
Abbildung 3: Eingangsdaten der Modellrechnung für Ist-Zustand und beispielhafter Plan-Zustand - Dreidimensionale Darstellung .....	5
Abbildung 4: Eingangsdaten der Modellrechnung für Ist-Zustand und beispielhafter Plan-Zustand - Bodennutzung .....	6
Abbildung 5: Eingangsdaten der Modellrechnung für Ist-Zustand und beispielhafter Plan-Zustand - Strukturhöhe.....	7
Abbildung 6: Skizze Prinzip der autochthonen Ausgleichströmungen .....	8
Abbildung 7: Tendenz der Anzahl an Sommertagen mit $T_{max} > 25\text{ °C}$ .....	10
Abbildung 8: Tendenz der Anzahl an Heißen Tagen mit $T_{max} > 30\text{ °C}$ .....	10
Abbildung 9: Auszug aus dem Klimaanpassungskonzept der Stadt Erlangen zum erwarteten Klimawandel.....	11
Abbildung 10: Lufttemperatur in der Nacht für den Ist-Zustand .....	14
Abbildung 11: Lufttemperatur in der Nacht für den beispielhaften Plan-Zustand.....	15
Abbildung 12: Differenz der Lufttemperatur in der Nacht beispielhafter Plan-Zustand und Ist- Zustand .....	16
Abbildung 13: Skizze Flurwindprinzip.....	17
Abbildung 14: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den Ist-Zustand .....	19
Abbildung 15: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den beispielhaften Plan-Zustand .....	20
Abbildung 16: Differenz Strömungsfeldes und der Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht beispielhafter Plan-Zustand und Ist-Zustand .....	21
Abbildung 17: Skizze des Prinzips des Kaltluftvolumenstroms.....	22
Abbildung 18: Kaltluftvolumenstromdichte und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den Ist- Zustand .....	23
Abbildung 19: Kaltluftvolumenstromdichte und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den Plan-Zustand.....	24
Abbildung 20: Differenz (absolut) der Kaltluftvolumenstromdichte in der Nacht zwischen beispielhaften Plan-Zustand und Ist-Zustand .....	25
Abbildung 21: Differenz (prozentual) der Kaltluftvolumenstromdichte in der Nacht zwischen beispielhaften Plan-Zustand und Ist-Zustand .....	26
Abbildung 22: Einordnung der abgeänderten nächtlichen Kaltluftströmungen in die Stadtklimaanalyse für Erlangen von 2019 .....	27
Abbildung 23: Schema umweltklimatische Einflussgrößen auf den Menschen .....	28
Abbildung 24: Wärmebelastung am Tag für den Ist-Zustand.....	30
Abbildung 25: Wärmebelastung am Tag für den beispielhafter Plan-Zustand.....	31
Abbildung 26: Differenz der Wärmebelastung am Tag zwischen beispielhaften Plan-Zustand und Ist-Zustand .....	32
Abbildung 27: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen .....	34
Abbildung 28: Maßnahmen zur Optimierung der klimaökologischen Verhältnisse bei der Umsetzung von Bauvorhaben (Quelle: MUST Städtebau).....	36



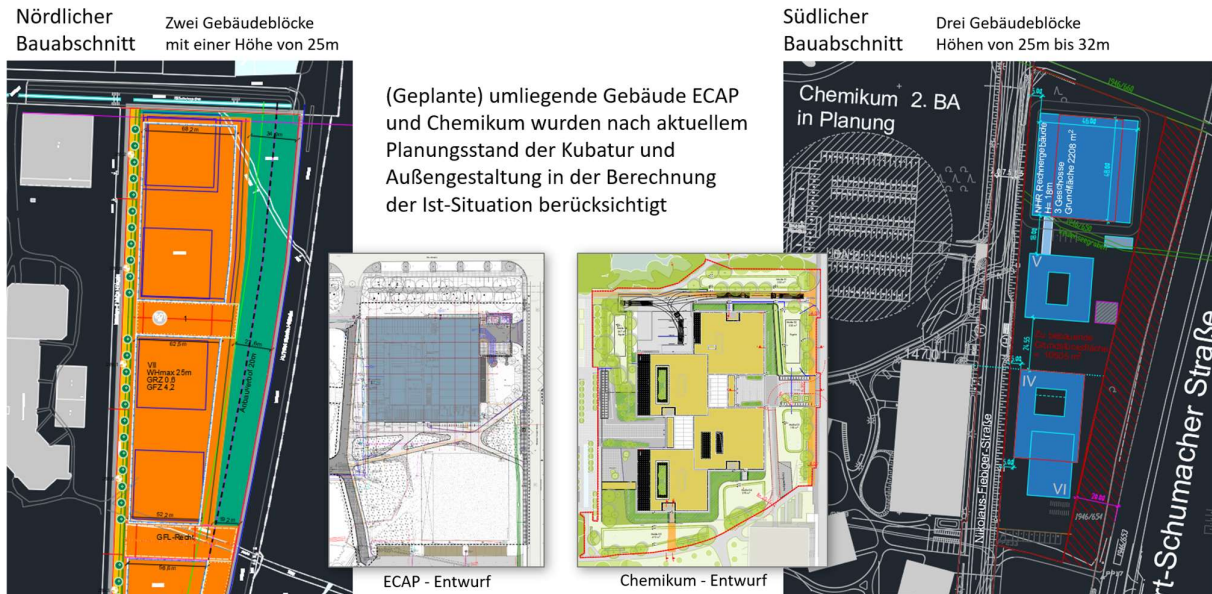
## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Das Staatliche Bauamt Erlangen-Nürnberg plant im Osten des Stadtgebietes von Erlangen eine Erweiterung des Südgeländes der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Im vorliegenden Fachgutachten wird die aktuelle klimaökologische Situation im B-Plangebiet bewertet und die Auswirkungen der Masterplanung auf die klimaökologischen Funktionen mithilfe von Modellrechnungen untersucht und beurteilt. Weiterhin werden Planungshinweise gegeben, die eine klimaangepasste Gestaltung unterstützen können.

Bei dem rd. 5 ha großen Plangebiet handelt es sich um eine aktuell vorwiegend von Wald bewachsene Fläche im Bereich der östlichen Stadtgrenze Erlangens, angrenzend an die bestehenden Gebäude des Universitätscampus (siehe Abbildung 1). Zu beachten ist, dass es sich noch um einen in der Bearbeitung befindlichen Bebauungsplan handelt.



**Abbildung 1: Lage des B-Plangebietes und des gesamten Untersuchungsgebietes im Bereich des Universitätscampus am östlichen Stadtrand von Erlangen**



**Abbildung 2: Planentwurf des Bauvorhabens zur Beschreibung des Plan-Zustandes in der Modellrechnung**

Das B-Plangebiet ist bisher hauptsächlich durch Wald- und Gehölzflächen geprägt. Im Norden der Planfläche befinden sich die Frei- und Gehölzflächen des Exerzierplatzes, während sich östlich die ausgedehnten Waldflächen des Buckenhofer Forstes anschließen, die nur durch die Kurt-Schumacher-Straßen vom Plangebiet abgetrennt werden. Südlich und im direkten Umfeld westlich liegt das Gelände der Universität mit zum Teil relativ großräumigen Gebäudestrukturen, sowie teilweise größeren Baumbeständen und einer kleinen Wasserfläche in den Freiflächen. Ca. 350 m weiter westlich befinden sich die Wohngebiete der Sebaldussiedlung. Grundsätzlich ist zu beobachten, dass sich das B-Plangebiet am Stadtrand befindet, welcher sich durch eine Bebauung in Richtung des Buckenhofer Forstes verschiebt.

Für die vorliegende Analyse wurden zwei Modellläufe durchgeführt, welche in den nachfolgenden Darstellungen zunächst getrennt und dann die Veränderung zwischen beiden Zuständen betrachtet wird:

- Ist-Zustand = Derzeitiger Gebäudebestand, Bodennutzung und Geländehöhe
- Plan-Zustand = Geplante Gebäude und Bodennutzungsänderung zusätzlich zum Ist-Zustand

Für die modelltechnische Umsetzung des Plan-Zustandes dient der Vorentwurf „B-Plan 467 Uni Erweiterung Vorentwurf 220623“ vom 23.06.2022 für den nördlichen Bauabschnitt, sowie der Entwurf „NHR-Stufe 2 Standort A – V-8“ mit Stand vom 05.05.2022“ für den südlichen Bauabschnitt (siehe Abbildung 1 und 2). Zudem wurden umliegende Bauvorhaben auf dem Universitätscampus (Chemikum, ECAP) in der aktuellen Planung, bzw. Umsetzung auf Basis aktueller Entwürfe für den Ist-Zustand bei der Klimamodellierung berücksichtigt.



## 2. Methodik

### 2.1 Datengrundlage und Modellrechnung

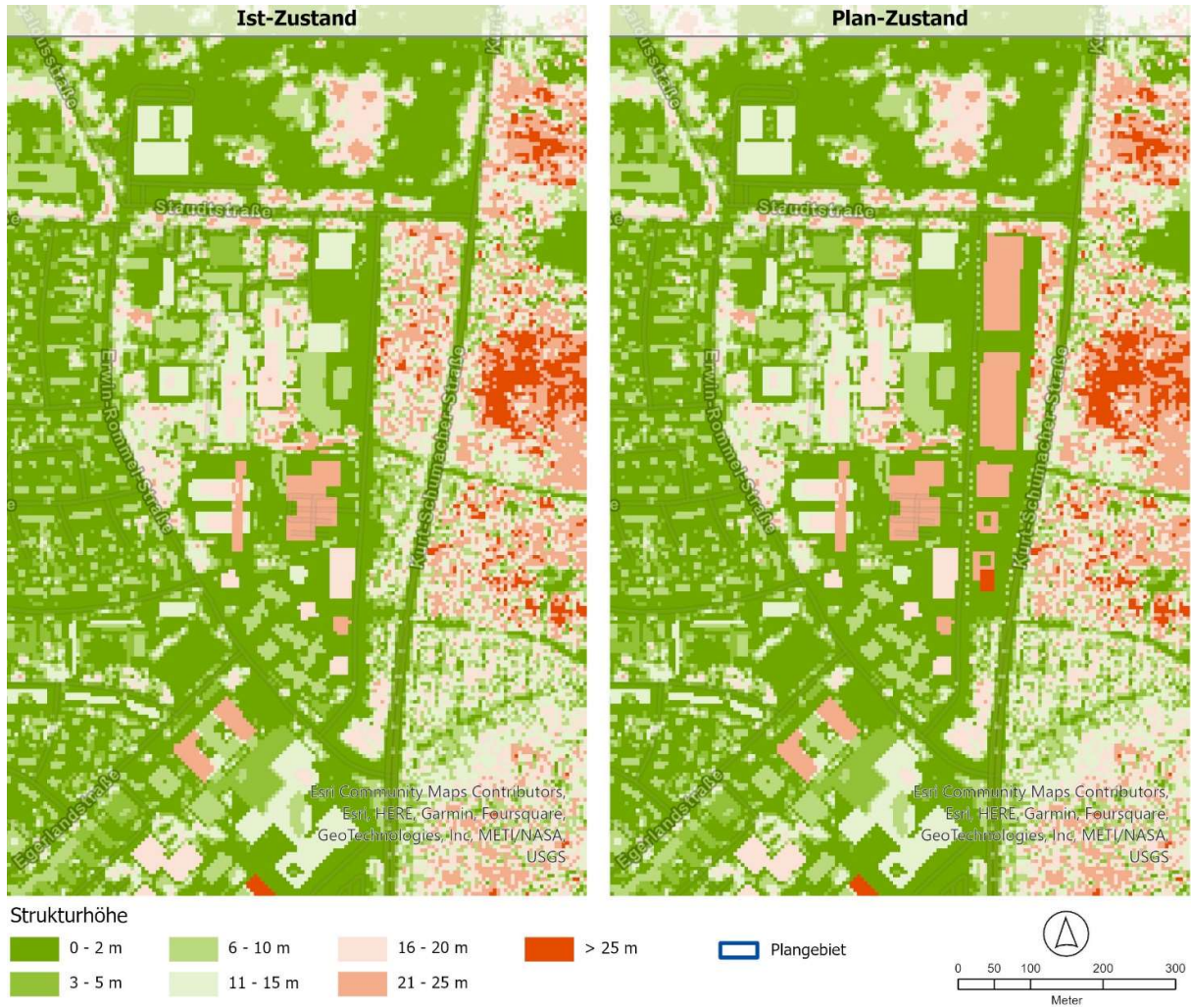
Die Modellrechnungen wurden mit dem Strömungs- und Klimamodell FITNAH für den Ist-Zustand (der für die Modellierung auch die Planungen für das Chemikum II und des NHR enthält), sowie für einen Plan-Zustand (auf Basis der Ist Bebauung für das Bestandsareal und auf Basis der beispielhaften Planung angelehnt an die Masterplanung für das B-Plan-Areal) durchgeführt, um darauf aufbauend die klimaökologischen Auswirkungen des Planvorhabens auszuwerten und beurteilen zu können. Das gesamte Untersuchungsgebiet umfasst bei einer Abmessung von 3 km x 3,5 km eine Fläche von etwa 10,5 km<sup>2</sup>. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 5 m x 5 m ist es möglich, die Gebäude- und die Bodennutzungsstrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den Luftaustausch abzubilden. Die Bodennutzung und die Geländehöhe, sowie die Strukturhöhe (Höhe über Grund von Gebäuden und Vegetation) sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Bodennutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Für die Modellrechnung wurden der Ist-Zustand und der Plan-Zustand auf Grundlage der vom Auftraggeber übermittelten Planinformationen, sowie aktueller Geodaten (Geländemodell DGM1, Oberflächenmodell DOM, infrarot Luftbilder, LoD Gebäudedaten) aufbereitet (Abbildungen 3, 4 und 5).



**Abbildung 3: Eingangsdaten der Modellrechnung für Ist-Zustand und beispielhafter Plan-Zustand - Dreidimensionale Darstellung**



**Abbildung 4: Eingangsdaten der Modellrechnung für Ist-Zustand und beispielhafter Plan-Zustand - Bodennutzung**



**Abbildung 5: Eingangsdaten der Modellrechnung für Ist-Zustand und beispielhafter Plan-Zustand - Strukturhöhe**





## 2.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten besonders gut ausprägen, da es nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch einen wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen, überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen werden die großräumigen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Warmer Sommertag mit maximaler Temperatur  $> 25\text{ °C}$
- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind
- Relative Feuchte der Luftmasse 50%

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger, starker Wärmeentwicklung in den Siedlungsflächen (Wohnnutzung, Mischnutzung, gewerbliche Nutzung) können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wettersituation stellt also ein „Worst-Case“-Szenario dar, welches in Regel nur an wenigen Tagen im Jahr eintritt. 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.

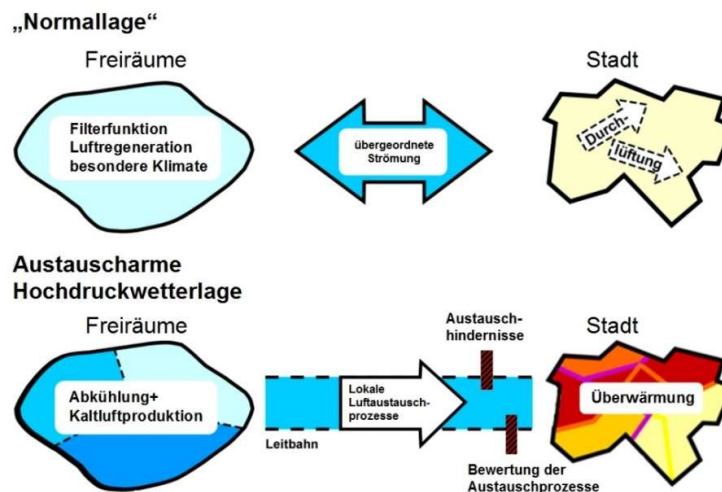


Abbildung 6: Skizze Prinzip der autochthonen Ausgleichsströmungen



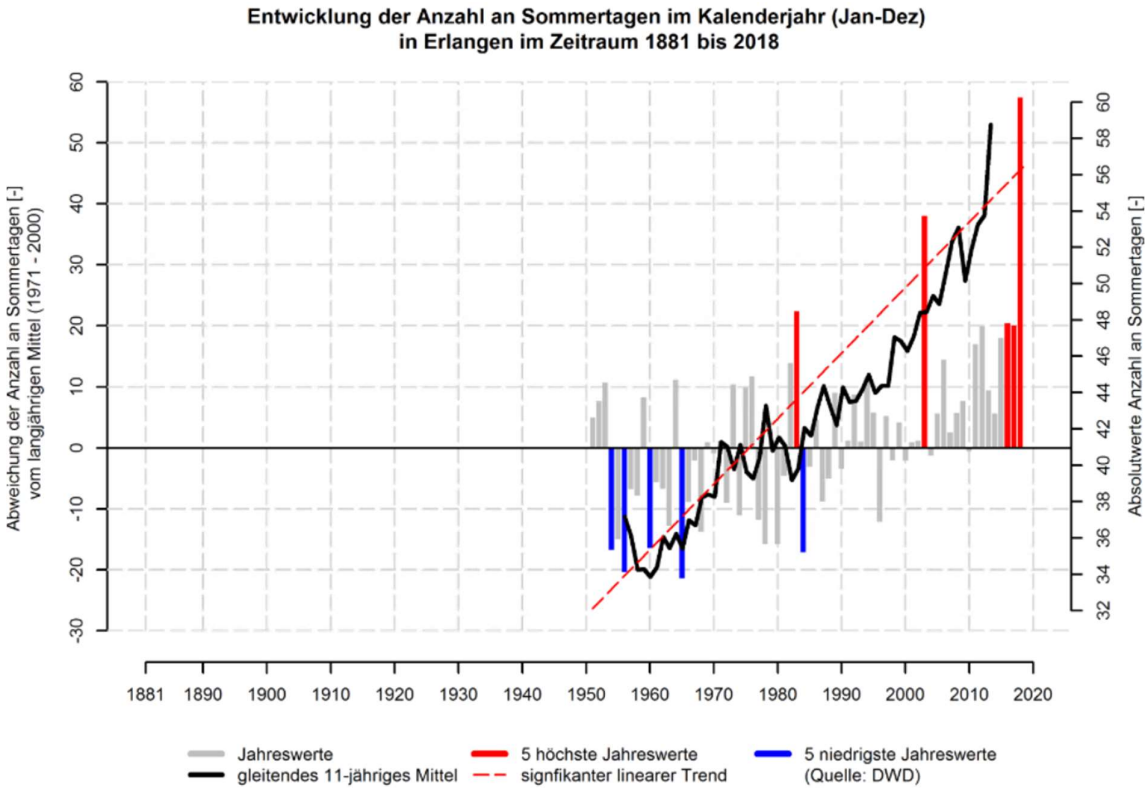
Je nach Größe des zu modellierenden Gebietes ist es erforderlich das sich aus den autochthonen Vorgaben entwickelnde Windfeld mittels einer „übergeordneten“ Strömung anzutreiben. Die Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass regionale Gegebenheiten, die die Kaltluftströmung beeinflussen, jedoch außerhalb des Modellgebietes liegen, nicht abgebildet werden können. Um dies zu berücksichtigen, wurden mesoskalige Rechnungen für Deutschland mit FITNAH unter autochthonen Bedingungen durchgeführt. Aus den daraus vorliegenden Modellergebnissen wurden die Antriebsdaten extrahiert und entsprechend der Auflösung und den Gebietsgrenzen des zu modellierenden Gebietes interpoliert und an FITNAH übergeben. Über vorgegebene Randbedingungen und Dämpfungsfaktoren wird die lokale Strömung mit dem übergeordneten Antrieb gewichtet. Somit werden Strömungen bspw. von Kaltluftbahnen, die außerhalb der Gebietsgrenzen ihren Ursprung haben, ebenso im Modellgebiet berücksichtigt, wie lokale Strömungen und Flurwinde, die sich aufgrund der entsprechenden Nutzung ausbilden.

Für das vorliegende Gutachten wurden die Daten des Deutschen Wetterdienstes (Quelle: DWD, EuroCordex) auf das Vorkommen bestimmter Wetterlagen ausgewertet und die Anzahl hitzebezogener Kenntage (Sommertage, heiße Tage) bestimmt. Für den Zeitraum von 1971-2000 (offizieller Referenzzeitraum, UBA) treten im Mittel 41 Tage pro Jahr auf an denen die maximale Temperatur 25 °C (Sommertag) übersteigt, während an durchschnittlich 8 Tagen im Jahr die Maximaltemperatur über 30 °C (Heißer Tag) liegt. Die Anzahl an Tagen mit autochthonen Wetterbedingungen liegt derzeit bei durchschnittlich 70 Tagen pro Jahr.

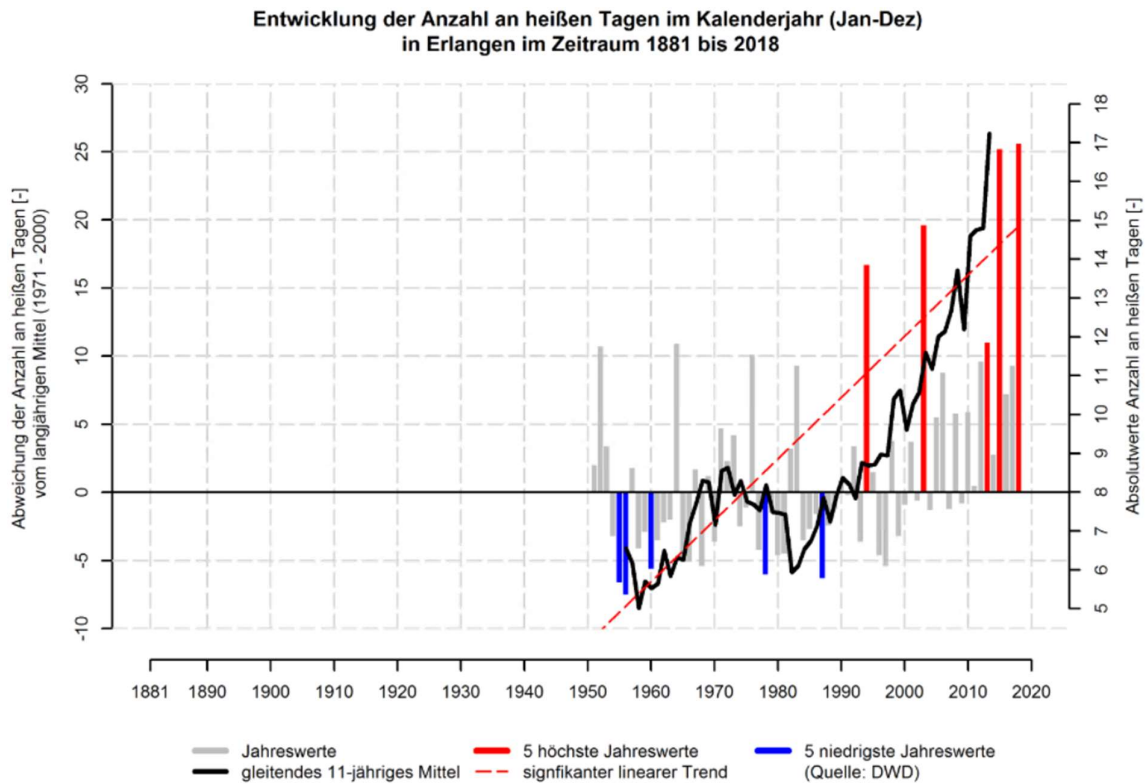
### **2.3 Beobachteter und zu erwartender Klimawandel**

Der zu beobachtende Klimawandel hat bereits einen deutlichen Anstieg der Temperaturen zur Folge. Dies lässt sich auch aus der Zunahme der Sommertage mit Maximaltemperaturen größer 25 °C (Abbildung 7), sowie einer Zunahme der heißen Tage mit Maximaltemperaturen > 30 °C ablesen (Abbildung 8) (Quelle: DWD, EuroCordex). Daraus lässt sich folgern, dass die für die klimaökologische Modellierung zugrunde gelegten Wetterlagen mit hoher Hitzebelastung in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat. Die Informationen zum zukünftigen Klimawandel wurden dem Klimaanpassungskonzept der Stadt Erlangen von 2019 entnommen.

Auf Grund des fortschreitenden Klimawandels ist davon auszugehen, dass sich die Hitzebelastung weiterhin deutlich erhöht und die Anzahl an heißen Sommertagen auf ca. 25 - 41 Tage durchschnittlich pro Jahr bis zum Jahr 2100 ansteigen wird (Quelle: DWD, EuroCordex) (Abbildung 9).



**Abbildung 7: Tendenz der Anzahl an Sommertagen mit  $T_{max} > 25 \text{ }^\circ\text{C}$**



**Abbildung 8: Tendenz der Anzahl an heißen Tagen mit  $T_{max} > 30 \text{ }^\circ\text{C}$**



## Erwartete Klimaveränderungen

### Indikatoren



#### Temperaturzunahme und Hitze

- × Zunahme der Jahresmitteltemperaturen
- Anstieg der Jahresmitteltemperaturen um 1,0 K bis 1,6 K bei Szenario RCP 2.6 und um 3,1 K bis 4,6 K bei Szenario RCP 8.5 (2071-2100)
- × Mehr Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte
- Anstieg der Heißen Tage pro Jahr von derzeit 8 auf ca. 25 bis 41 in der fernen Zukunft (RCP 8.5, 2071-2100)
- × Häufigere und länger andauernde Hitzeperioden
- × Abnahme von Frost- und Eistagen
- Rückgang der Eistage pro Jahr von 18 auf ca. 2 (RCP 8.5, 2071-2100)



#### Niederschlagsverschiebung und Trockenheit

- × Zunahme der Jahresniederschlagsmenge
- Zunahme um bis zu 12 % (RCP 8.5, 2071-2100)
- × Trockenere Sommer, feuchtere Winter
- Zunahme der Winterniederschläge um bis zu +27 % (RCP 8.5, 2071-2100)
- Abnahme der Sommerniederschläge um bis zu -7 % (RCP 8.5, 2071-2100)
- × Längere Trockenperioden im Sommer
- × Abnahme der klimatischen Wasserbilanz im Sommer



#### Starkregen

- × Zunahme des Anteils von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlag
- × Zunahme der Niederschlagsintensität
- Zunahme der Tage mit Niederschlag  $\geq 20$  mm/d und  $< 30$  mm/d von derzeit ca. 4 auf ca. 6 bis 9 Tage pro Jahr in der fernen Zukunft (RCP 8.5, 2071 – 2100)

Abbildung 9: Auszug aus dem Klimaanpassungskonzept der Stadt Erlangen zum erwarteten Klimawandel



### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Klimasimulation repräsentieren die Nachtsituation um 4 Uhr morgens sowie die Tagsituation um 14 Uhr. Bei den modellierten Parametern handelt es sich um die bodennahe Lufttemperatur in 2 m Höhe, das bodennahe Kaltluftströmungsfeld in 2 m Höhe und den Kaltluftvolumenstrom (jeweils Nachtsituation), sowie die physiologisch äquivalente Temperatur (PET) als Maß für die Wärmebelastung am Tage.

Die Modellergebnisse werden je Parameter für den Ist-Zustand und den beispielhaften Plan-Zustand, sowie als Differenz zwischen beiden Zuständen betrachtet.

#### 3.1. Lufttemperatur in der Nacht

In der Nacht steht weniger der Aufenthalt im Freien, sondern bioklimatisch angenehme nächtliche Bedingungen im Innenraum im Vordergrund. Nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 besteht ein Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft, so dass die Temperatur der Außenluft die entscheidende Größe für die Beurteilung der Nachtsituation darstellt (VDI 2008). Als optimale nächtliche Bedingungen werden gemeinhin 16 bis 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur  $\geq 20$  °C als besonders belastend gelten.

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 sein 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 °C Temperaturabweichung zwischen den abgekühlten Grün- und Freiflächen sowie den wärmeren Siedlungsflächen (Wohn- und Gewerbeflächen) einstellen kann. Die in bebauten Gebieten 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 Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche.
- Die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder den Vorfluter.
- 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.

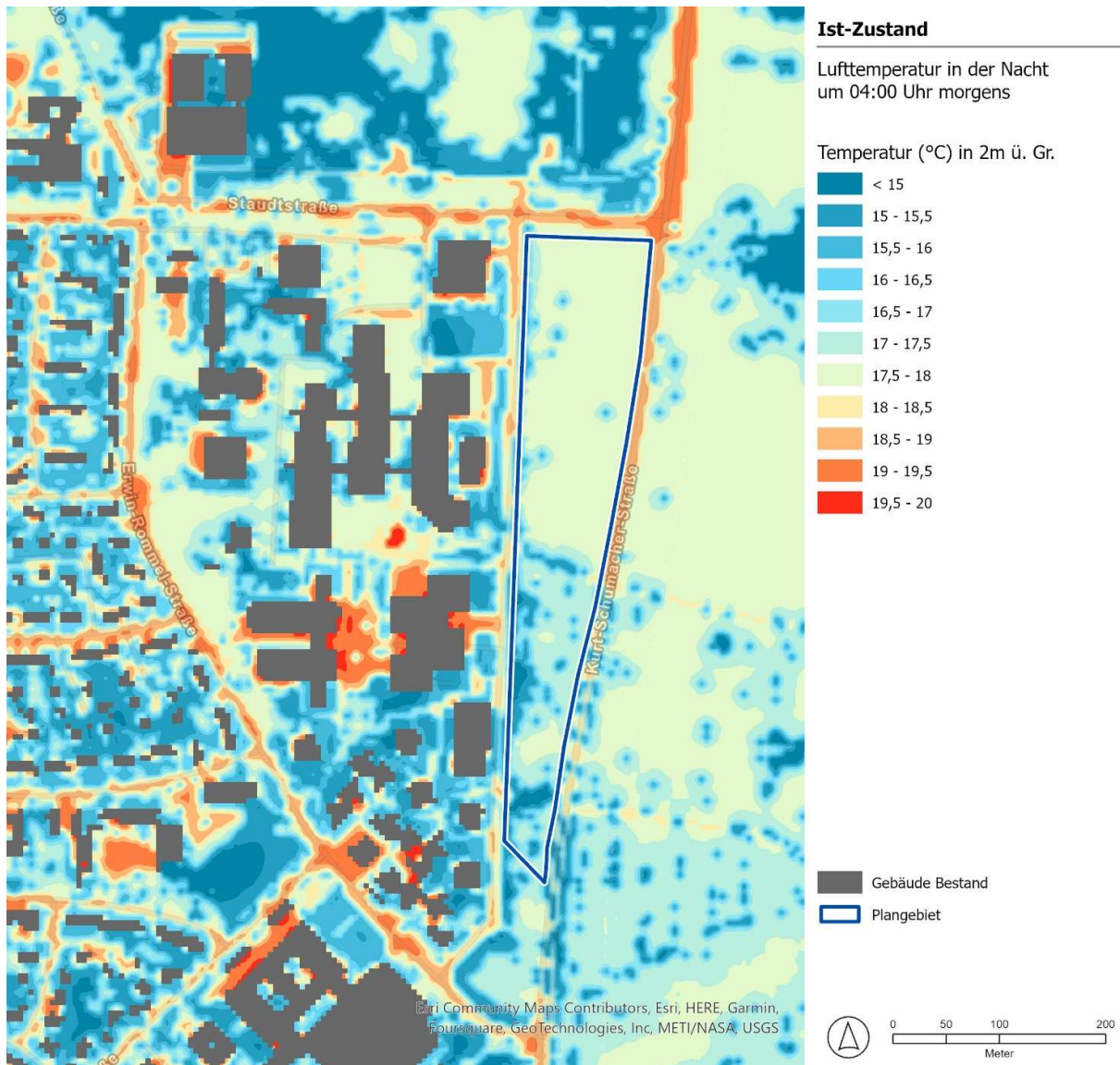
Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüngerprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf.

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.

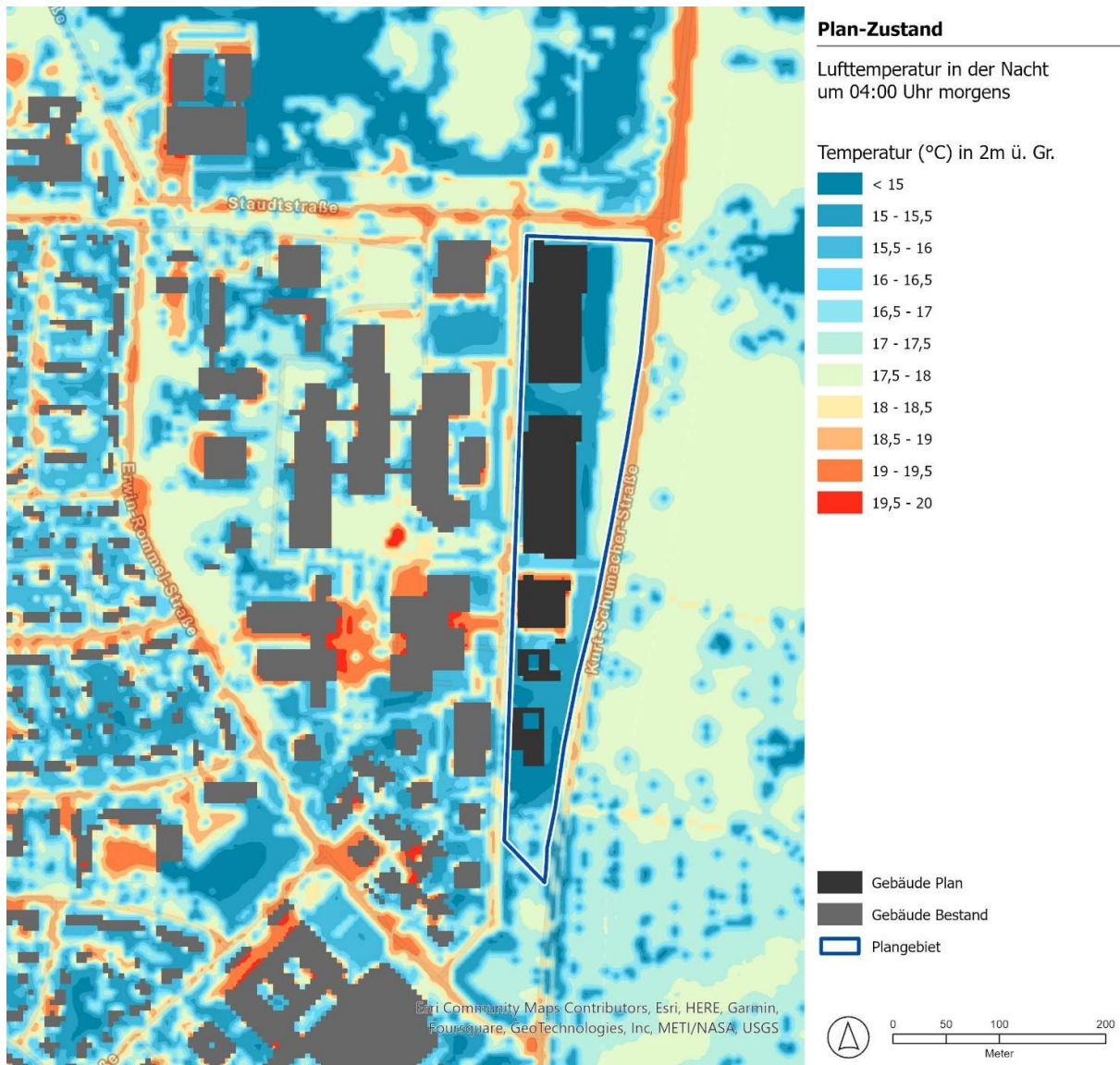
Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, überwärmte Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten von Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Da die klimatischen Verhältnisse im Innenraum nachts in der Regel nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas in den Nachtstunden weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Zur beachten ist in diesem Zusammenhang ebenfalls die geplante Nutzung. Während bei Wohnbebauung die bioklimatischen Bedingungen in der Nacht besonders wichtig sind, ist bei einer Nutzung tagsüber (wie im vorliegenden Fall einer Bildungseinrichtung) die Aufenthaltsqualität in der Tagsituation von höherer Bedeutung.



**Abbildung 10: Lufttemperatur in der Nacht für den Ist-Zustand**

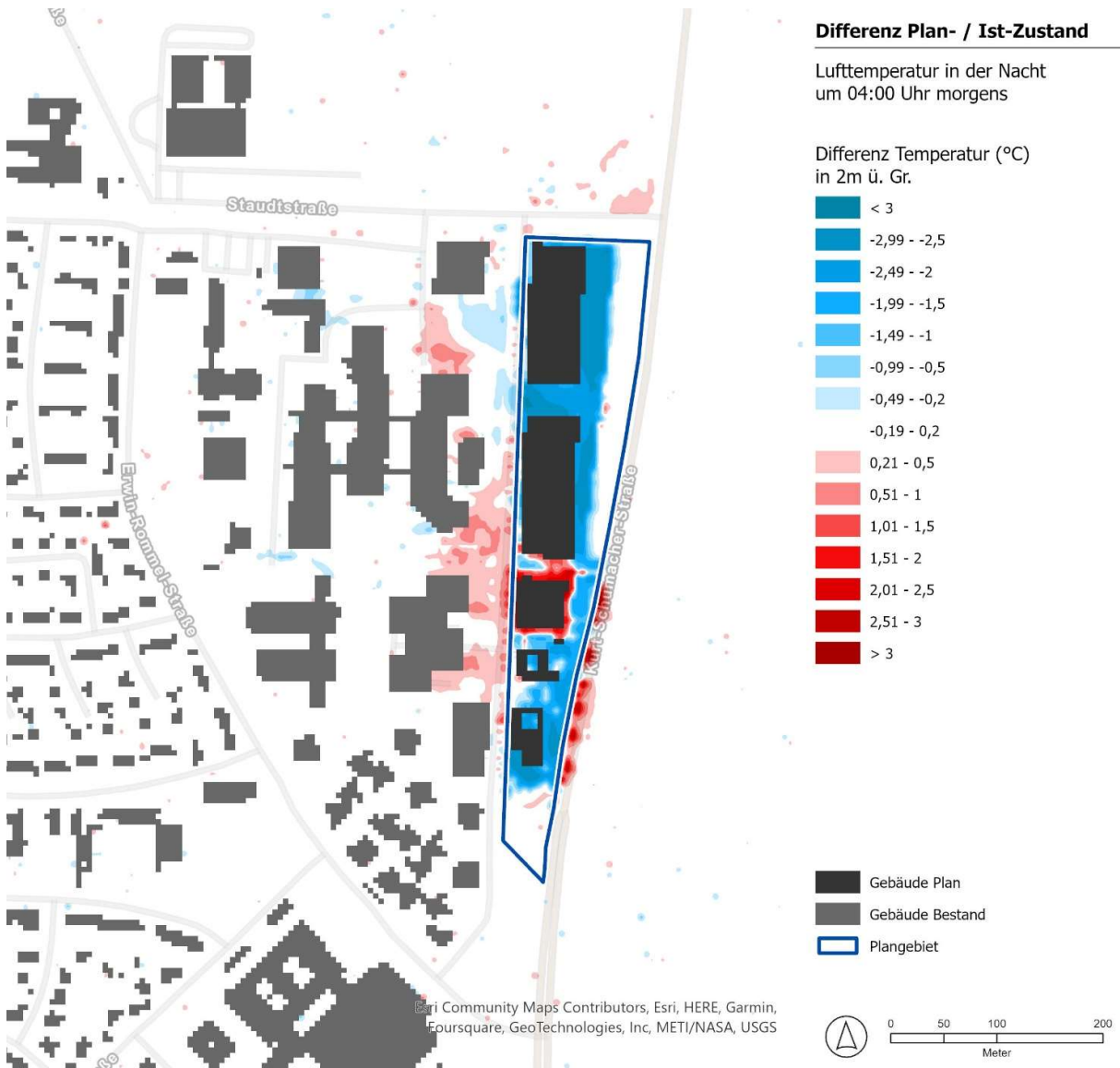
Abbildung 10 zeigt das Temperaturfeld um 04 Uhr nachts in einer Höhe von 2 m über Grund. Im gegenwärtigen Zustand zeigt sich im beispielhaften Plangebiet eine Temperaturverteilung von ca. 15 °C im Bereich der kleinen Freiflächen im südlichen Bereich und bis ca. 18 °C im Bereich der Waldflächen. Im Umfeld sind es besonders die Freiflächen des Exerzierplatzes im Norden, welche in der Simulation eine hohe nächtliche Auskühlung mit Werten von unter 15 °C aufweisen, während stark versiegelte Flächen im Bereich der Gebäude Chemikums hohe Werte von fast 20 °C Lufttemperatur in der Nacht aufweisen. Die Wohngebiete im westlichen Umfeld heizen sich wegen der relativ lockeren Bebauungsstruktur und zahlreicher privater Grünflächen mit Werten bis ca. 19 °C nur wenig auf. Das gesamte Gebiet wird durch die Stadtrandlage klimaökologisch begünstigt.



**Abbildung 11: Lufttemperatur in der Nacht für den beispielhaften Plan-Zustand**

Abbildung 11 zeigt die nächtliche Temperatur des beispielhaften Plan-Zustandes im Untersuchungsgebietes und Abbildung 12 die modellierten Veränderungen im Vergleich zum Ist-Zustand. Im B-Plangebiet ist durch Bodennutzungsänderung von Waldflächen zu Grünflächen eine Erhöhung der nächtlichen Ausstrahlung und damit einhergehend eine stärkere Auskühlung zu erwarten. Dies trifft nicht auf Bereiche zu, in denen es zu einer verstärkten Versiegelung durch die geplante Anlegung von Straßen und Wegen kommt. In diesen Bereichen erhöht sich die nächtliche Lufttemperatur gem. Simulation um bis zu 3 °C. Es ist zu erwarten, dass durch die geplanten Gebäudestrukturen die Durchlüftung mit Kaltluft in den westlichen gelegenen Gebäudebestand des Universitätscampus verringert ist, und sich infolgedessen die Temperatur in diesem Bereich um bis ca. 1 °C erhöht.





**Abbildung 12: Differenz der Lufttemperatur in der Nacht beispielhafter Plan-Zustand und Ist-Zustand**



### 3.2. Kaltluftprozessgeschehen in der Nacht

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieser Prozesse sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen (Wohn- und Gewerbeflächen) und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen (Abbildung 10). An den geeigneten 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 durch die Geländeform 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).

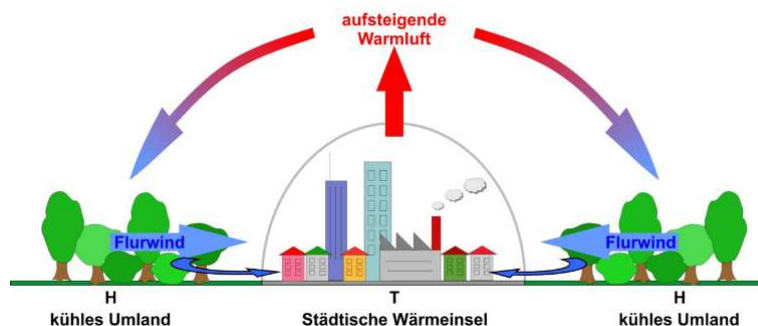


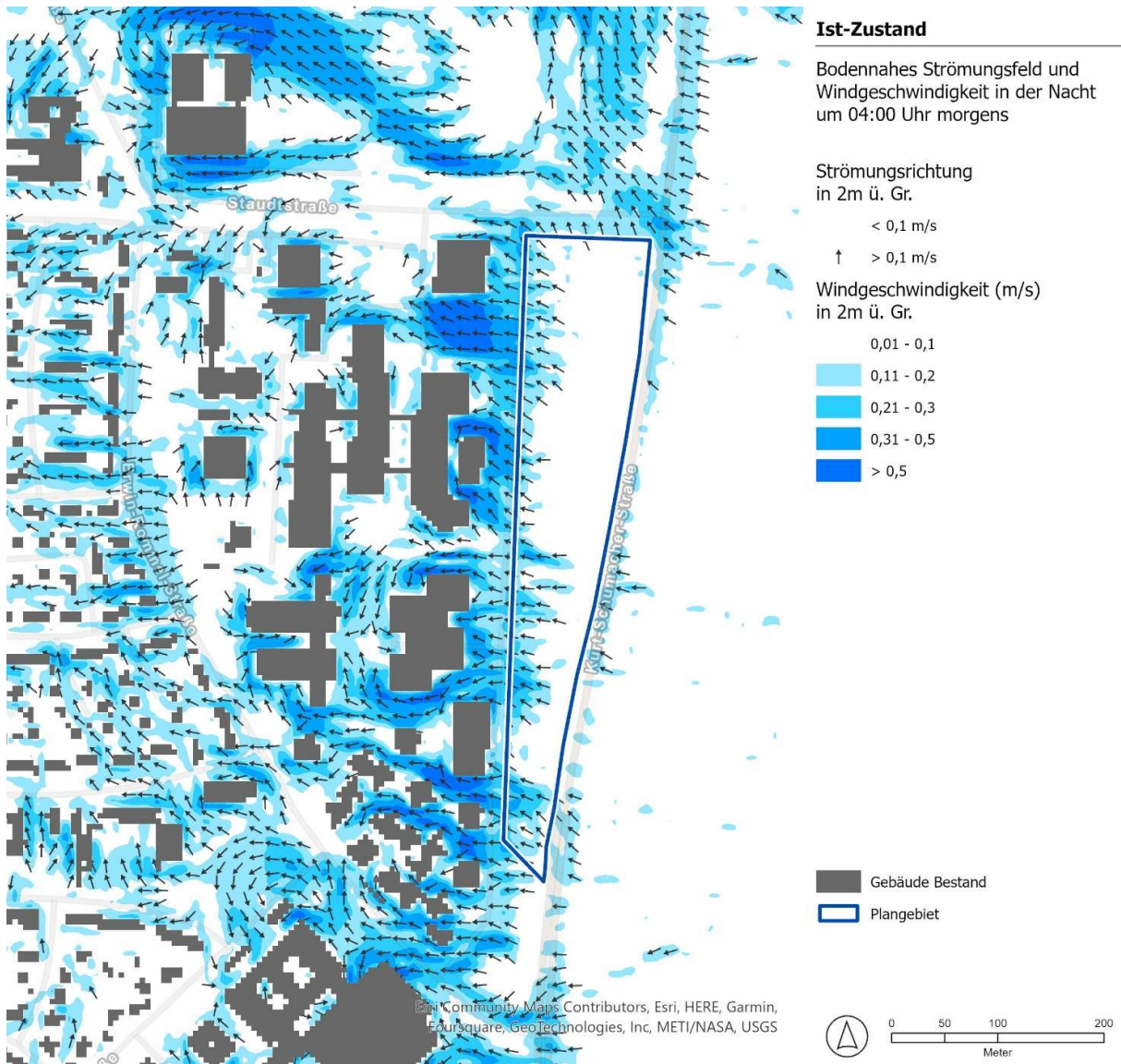
Abbildung 13: Skizze Flurwindprinzip

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie dichte Baumbestände 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



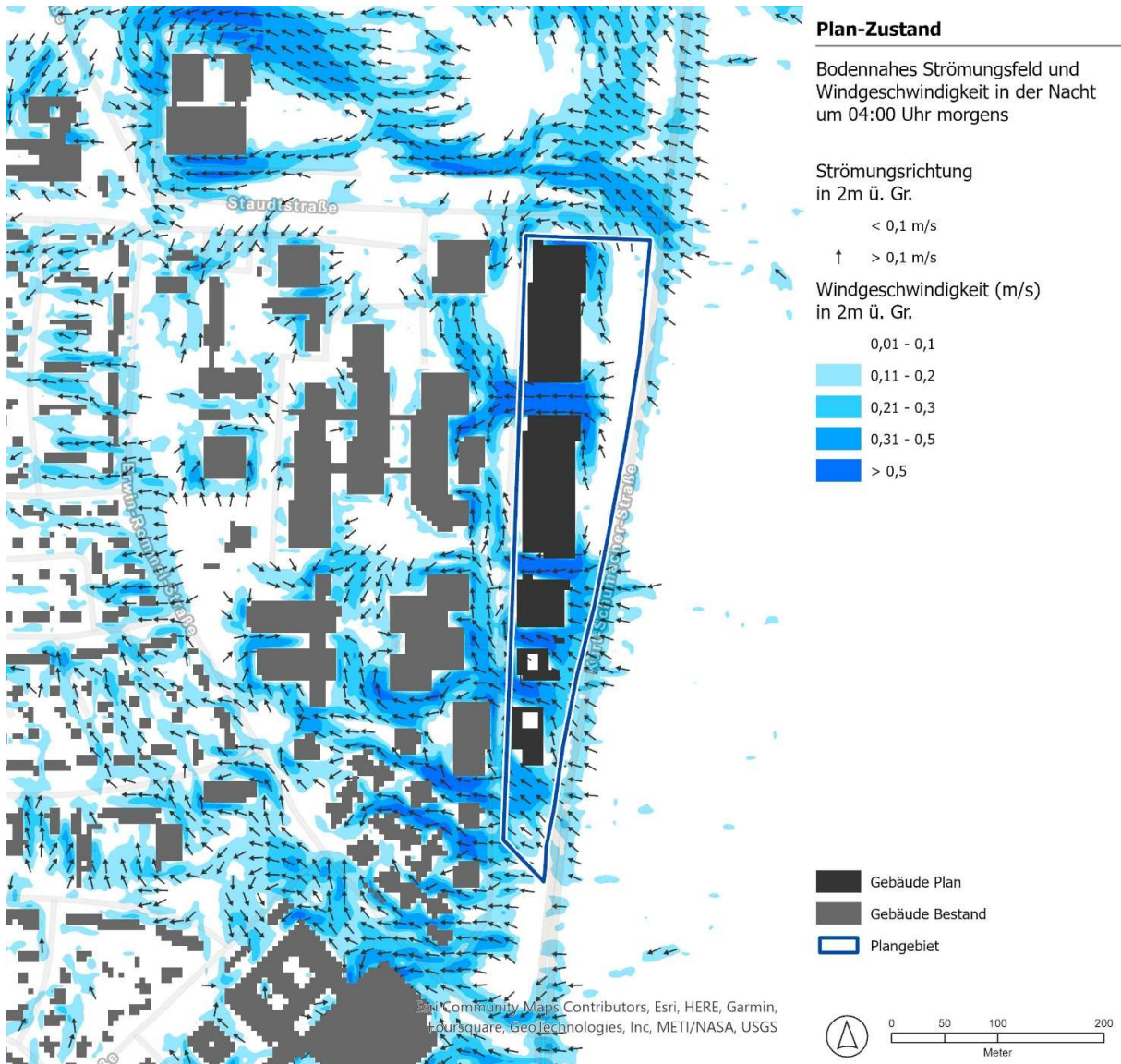
der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen.

Die Ergebniskarten stellen das zum nächtlichen Analysezeitpunkt 04:00 Uhr 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 einen Abstand von 30 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.



**Abbildung 14: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den Ist-Zustand**

Im Ist-Zustand (Abbildung 14) strömt die Kaltluft unter autochthonen Wetterbedingungen prinzipiell aus östlicher Richtung mit bis zu ca. 0,3 bis 0,5 m/s heran und folgt damit prinzipiell als Ausgleichsströmung dem Temperaturunterschied auf die Wärmeinsel der Stadt Erlangen zu. Waldgebiete verlangsamen die nächtlichen Luftströmungen stark, während Gebäudestrukturen umströmt werden. Dadurch zeigen sich insbesondere im Bereich des bestehenden Unicampus erhöhte Windgeschwindigkeiten von über 0,5 m/s durch Kanalisierungseffekte, sowie Verwirbelungen auf der Leeseite. Die relativ freie Anströmung auf den Freiflächen des Exerzierplatzes im Norden funktioniert klimaökologisch als Kaltluftleitbahn und begünstigt die Durchlüftung bis in stärker bebaute Stadtgebiete weiter westlich.



**Abbildung 15: Strömungsfeld und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den beispielhaften Plan-Zustand**

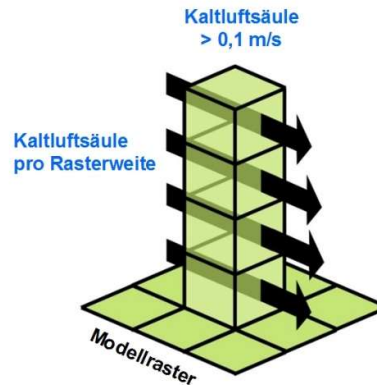
Im beispielhaften Plan-Zustand zeigen sich durch die geplante Bebauung deutliche Änderung der lokalen autochthonen Windströmungsverhältnisse (siehe Abbildungen 15 und 16). Durch die quer zur Hauptströmungsrichtung verlaufenden geplanten Gebäudestrukturen kommt es generell zu einem verringerten Luftmassenaustausch in Ost-West-Richtung. So lässt sich deutlich eine Luv-Situation auf der Ostseite und ein Lee-Effekt an der Westseite der geplanten Bebauung erkennen. Als Konsequenz verringert sich auf den westlich angrenzenden Flächen deutlich die nächtliche Windgeschwindigkeit, während sie durch Kanalisierungseffekte in den neu entstehenden Gebäudezwischenräumen zum Teil stark beschleunigt wird. Der Effekt der verringerten Windgeschwindigkeit reicht lokal bis ca. 200 m weit in das Campusgelände und betrifft nicht die weiter westlich liegenden Wohngebiete.



**Abbildung 16: Differenz Strömungsfeldes und der Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht beispielhafter Plan-Zustand und Ist-Zustand**

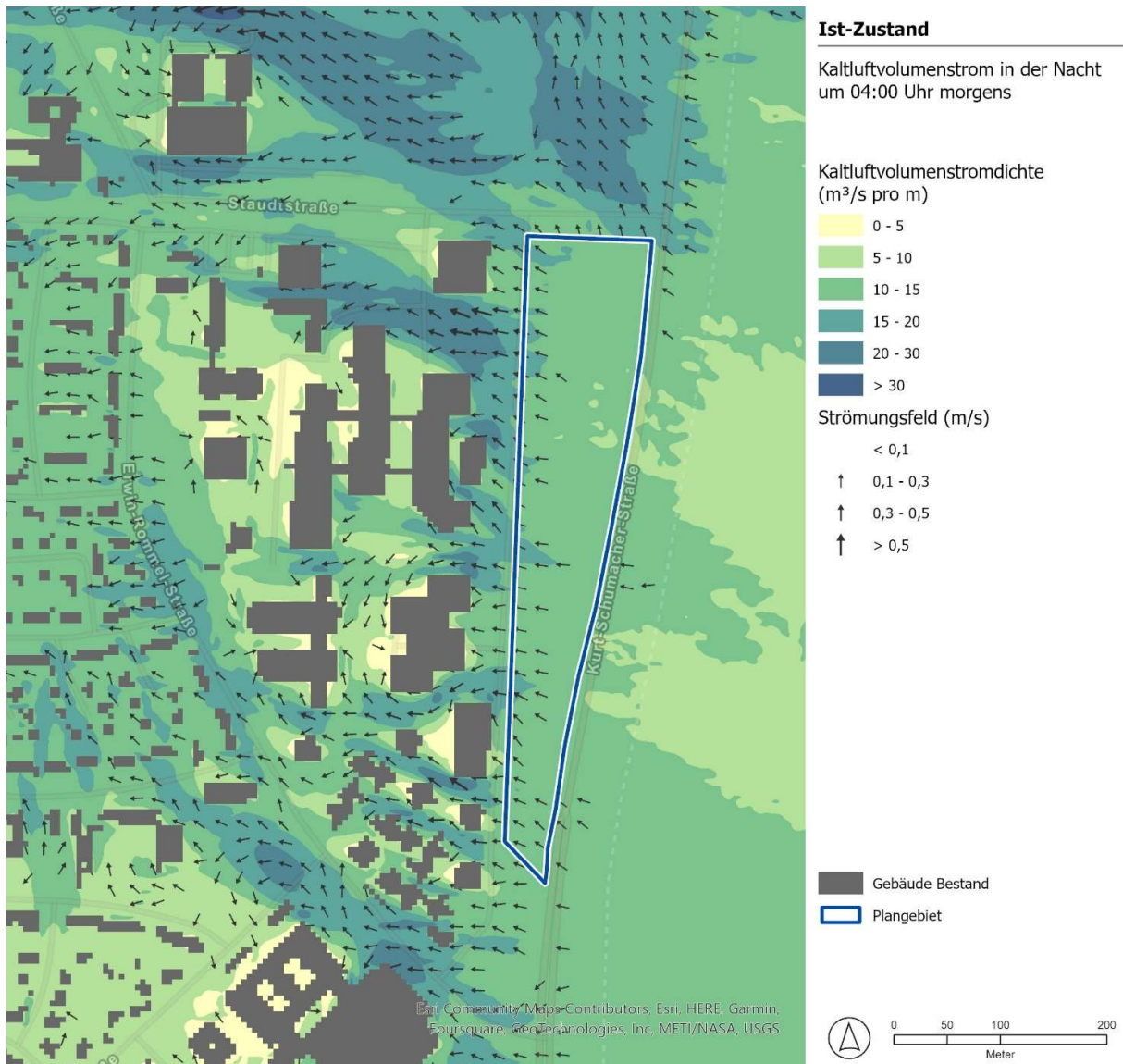


Wie bereits zuvor zum autochthonen Windfeld eingehender erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von „natürlichen“ Wärme- und Luftschadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht 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.



**Abbildung 17: Skizze des Prinzips des Kaltluftvolumenstroms**

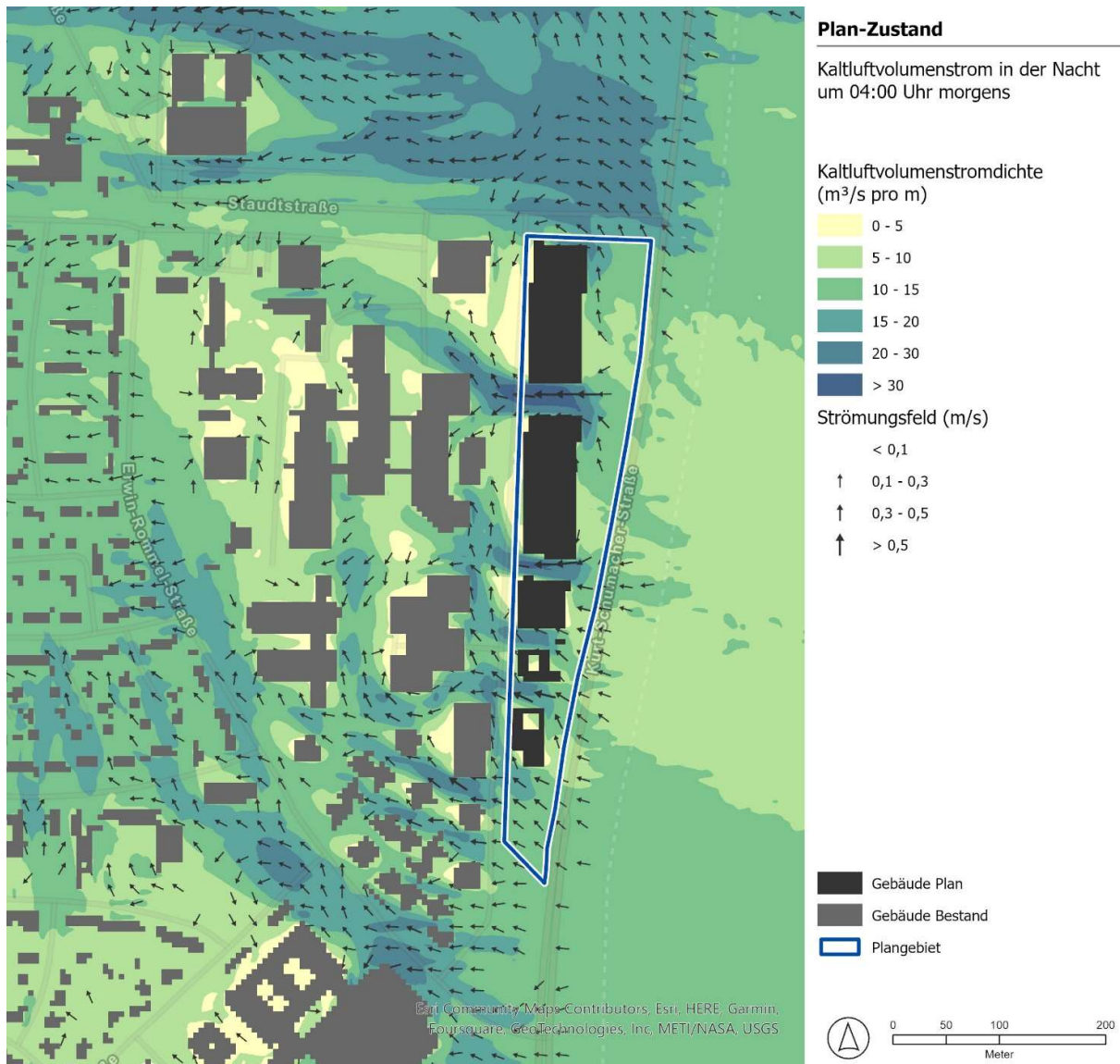
Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch einen Querschnitt von einem Meter beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Im Gegensatz zu vorangegangenen Untersuchungen ist der Kaltluftvolumenstrom somit als normalisiertes Maß ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) pro durchströmten Meter dargestellt, wodurch die Vergleichbarkeit von Ergebnissen unterschiedlicher Projekte und Modellrechnungen, unabhängig von der berechneten Rastergröße ermöglicht wird.



**Abbildung 18: Kaltluftvolumenstromdichte und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den Ist-Zustand**

Der Kaltluftvolumenstrom im Ist-Zustand (Abbildung 18) zeigt, dass das Plangebiet auf Grund des umfangreichen Wald- und Gehölzbestandes, die grundsätzlich als Strömungshemmnisse zu betrachten sind nur mittlere Kaltluftvolumenstromdichten aufweist. Die wichtigsten Kaltluftströmungen sind im Bereich der Freiflächen des Exerzierplatzes, sowie in kleinerem Maß in Freiräumen in Bereichen des Unicampus zu finden. Es ist zu beachten, dass, obwohl Waldflächen in der Nachtsituation eine geringere Auskühlung und höhere Temperaturen aufweisen, als Freiflächen, sie dennoch eine wichtige Funktion für die Kaltluftproduktion übernehmen. Es fällt auf, dass der Gebäudebestand im Bereich des Unicampus eine Nord-Südausrichtung aufweist, welche die quer dazu verlaufenden Kaltluftströmungen deutlich abändert und in Gebäudezwischenräumen kanalisiert.





**Abbildung 19: Kaltluftvolumenstromdichte und Strömungsgeschwindigkeit in der Nacht für den Plan-Zustand**

Durch die geplante Bebauung zeigt sich im beispielhaften Plan-Zustand eine deutliche Änderung der Kaltluftprozesse (Abbildung 19 und Abbildung 20). Die Ausrichtung in Nord-Süd-Richtung der geplanten Gebäude verstärkt die Verringerung der Kaltluftvolumenstromdichte, was eine geringere Eindringtiefe der Kaltluft in den Gebäudebestand und somit eine verringerte Durchlüftung in den westlichen angrenzenden Campusbereichen zur Folge hat. Es zeigt sich, dass insbesondere im nördlichen Bereich der westlich an das Plangebiet angrenzenden Universitätsgebäude die Durchlüftung mit Kaltluft stark verringert wird. Die Beschleunigung des Kaltluftaustauschs im Bereich der neuen Gebäudezwischenräume ist nur lokal positiv zu verzeichnen und wirkt sich nicht weiter positiv aus.



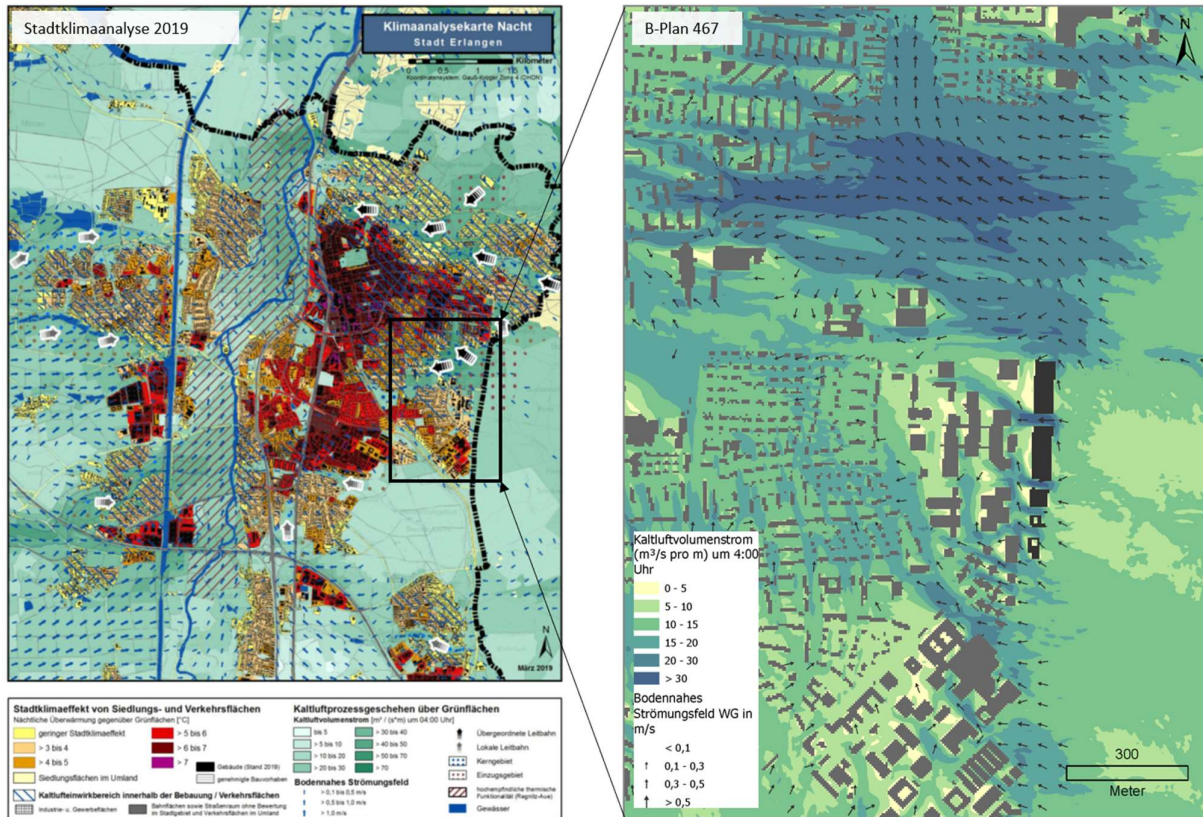
**Abbildung 20: Differenz (absolut) der Kaltluftvolumenstromdichte in der Nacht zwischen beispielhaften Plan-Zustand und Ist-Zustand**

Die in Abbildung 20 dargestellten Änderungen sind absolute Differenzen der Kaltluftvolumenstromdichte zwischen dem beispielhaften Plan- und dem Ist-Zustand. Abbildung 21 betrachtet die Veränderungen prozentual auf Grundlage der VDI Norm 3787 Blatt 5 zur lokalen Kaltluft. Diese Bewertung ist in Zusammenhang mit den absolut vorhandenen Ausgangswerten des Ist-Zustandes aus Abbildung 18 zu interpretieren, da sich bereits kleine Änderungen in bereits gering ausgeprägten Kaltluftvolumenstromdichten prozentual deutlich herausstellen können.



**Abbildung 21: Differenz (prozentual) der Kaltluftvolumenstromdichte in der Nacht zwischen beispielhaften Plan-Zustand und Ist-Zustand**

Aus der prozentualen Differenz der Kaltluftvolumenstromdichte zwischen dem Ist- und dem beispielhaften Plan-Zustand lässt sich ablesen, dass die Verringerung der nächtlichen Durchlüftung ca. 400 m weit bis in die nordöstlichen Bereiche der Sebaldussiedlung hereinreicht. Hier sind leichte (-5 bis -10 %) bis mäßige (-10 bis -15%) Verringerungen der nächtlichen Durchlüftung mit Kaltluft zu erwarten. Dabei ist zu beachten, dass sich die nächtliche Lufttemperatur in diesem Bereich nicht erhöht (Abbildung 12). Im bestehenden Universitätscampusbereich, westlich des B-Plangebietes äußern sich die Strömungshindernisse der geplanten Gebäudestrukturen in einer bis zu 50% verringerter Durchlüftung mit Kaltluft. Grundsätzlich ist es von Bedeutung, dass alle Parameter der Nachtsituation (Nächtliche Lufttemperatur, nächtliche Windgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstromdichte) zur Betrachtung herangezogen werden um zu einer gesamtheitlichen Bewertung zu gelangen.

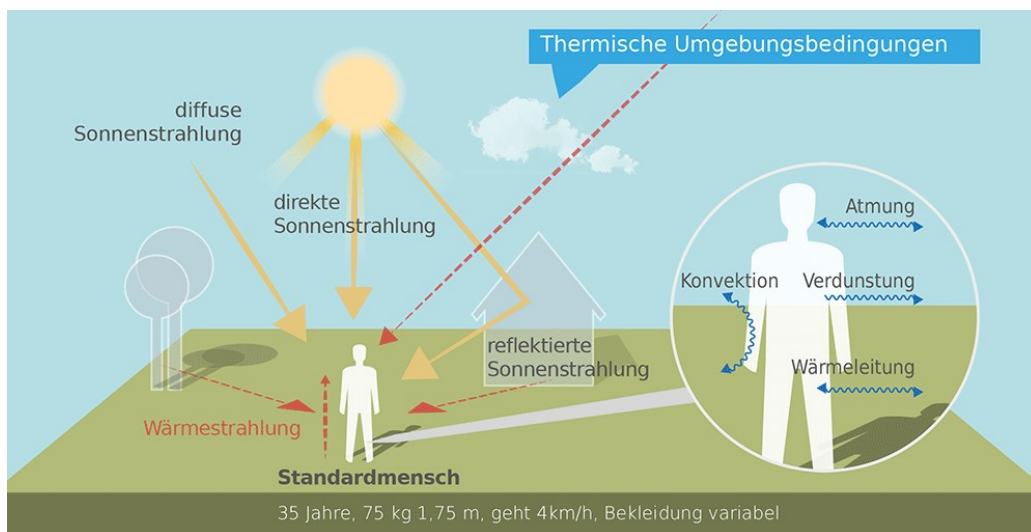


**Abbildung 22: Einordnung der abgeänderten nächtlichen Kaltluftströmungen in die Stadtklimaanalyse für Erlangen von 2019**

Da es sich bei dem Exerzierplatz nördlich des Plangebietes um eine größere Freifläche mit wesentlicher Bedeutung als Kaltluftleitbahn für das Stadtklima von Erlangen handelt (Abbildung 22), wurde dieser Bereich bei den Modellierungen gesondert betrachtet. Als Referenz gilt dabei die Stadtklimaanalyse von 2019. Die aktualisierten und mit erhöhter Auflösung durchgeführten Modellierung aus dem vorliegenden Gutachten haben ergeben, dass zwar leichte Abänderungen im südlichen Bereich des Exerzierplatzes zu verzeichnen sind, diese jedoch keine wesentliche Auswirkung auf die stadtklimatisch bedeutende Funktion dieser Freifläche als Kaltluftleitbahn haben, da die stärksten Ausgleichsprozesse weiter nördlich auf dieser Fläche zu finden.

### 3.3. Wärmebelastung am Tag

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen. Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt sind dabei bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m<sup>2</sup> Körperoberfläche, männlich, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990) (Abbildung 23). Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index).



**Abbildung 23: Schema umweltklimatische Einflussgrößen auf den Menschen**

Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr MEZ an einem wolkenlosen Sommertag herangezogen (vgl. Höppe und Mayer 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse mit denen anderer Städte in Deutschland vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar und kann als die tatsächlich empfundene Temperatur angesehen werden.



Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 4.1; VDI 2004).

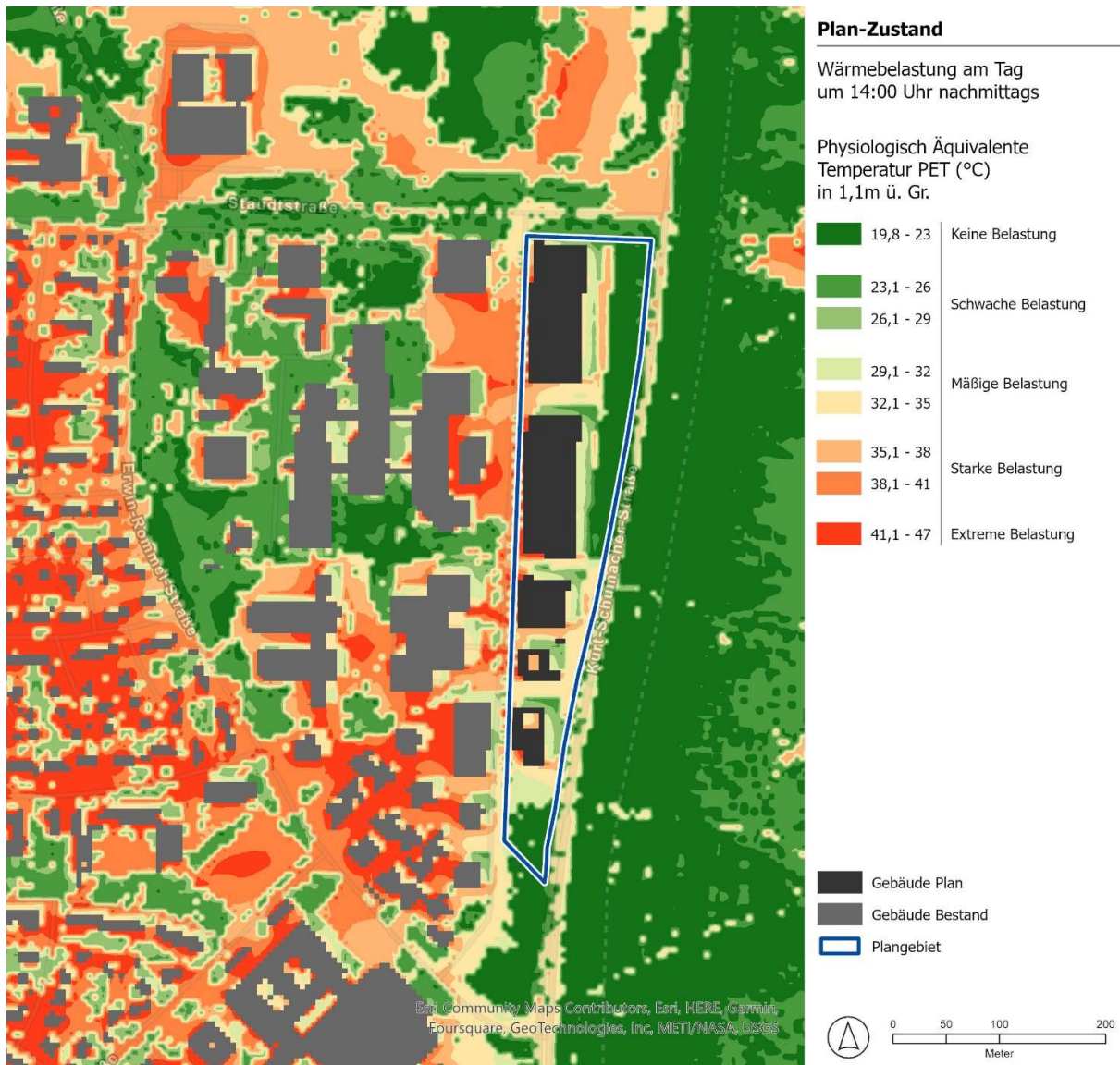
PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwache Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

**Tab. 1: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI-RL 3787)**



**Abbildung 24: Wärmebelastung am Tag für den Ist-Zustand**

Im Ist-Zustand (Abbildung 24) treten die höchsten Wärmebelastungen am Tag mit Werten von über 41 °C PET in stark versiegelten Bereichen mit geringem Baumbestand auf. Im Bereich des B-Plangebietes ist die Wärmebelastung im Ist-Zustand auf Grund der starken Verschattung durch den Waldbestand sehr gering. Die gute Kühlleistung durch Verschattung und Verdunstung lässt sich ebenso im Bereich des Baumbestandes im nördlichen Campusbereich, sowie im Bereich der kleinen Oberflächengewässer erkennen.



**Abbildung 25: Wärmebelastung am Tag für den beispielhafter Plan-Zustand**

Im beispielhaften Plan-Zustand (Abbildung 25) wirkt sich insbesondere die Umwandlung von Wald- und Baumbeständen in Freiflächen deutlich negativ auf die Wärmebelastung am Tag aus. Obwohl es sich lokal um Erhöhungen der Wärmbelastung PET um bis über 10 °C handelt, wirkt sich die Waldnähe am Stadtrand weiterhin positiv auf das B-Plangebiet aus und verhindert somit weitgehend extreme Wärmebelastungen im Außenbereich der geplanten Gebäude. Zu beachten ist allerdings, dass die geplanten Gebäude auch am Tag durch ihre quer zur Strömungsrichtung verlaufenden Struktur, die Durchlüftung der westlich angrenzenden Flächen verringert. Dieser Effekt reicht bis zu etwa 100 m in die bestehende Bebauung des Universitätsgeländes rein und verursacht dort Erhöhungen der Wärmbelastung um ca. 4 bis 6 °C PET (Abbildung 26).





**Abbildung 26: Differenz der Wärmebelastung am Tag zwischen beispielhaften Plan-Zustand und Ist-Zustand**



## 4. Schlussfolgerung

Die Untersuchung der beispielhaften Bauvorhaben auf dem B-Plangebiet Nr. 467 „Erweiterung Uni-Südgelände Ost“ der FAU Erlangen im Vergleich zum Ist-Zustand hat ergeben, dass eine Veränderung der klimaökologischen Bedingungen zu erwarten ist. Die baulichen Änderungen des vorliegenden B-Planentwurfs bewirken insbesondere deutliche Änderungen des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens, sowie der Wärmebelastung am Tag. Zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung liegen bereits optimierte Planungsentwürfe auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse zur Klimaökologie vor.

Die beispielhaft geplanten Gebäudestrukturen weisen eine Nord-Südausrichtung auf, die quer zur allgemeinen Kaltluftströmung von Ost nach West verläuft. Dadurch ergibt sich ein Strömungshindernis, das die Durchlüftung mit Kaltluft in der Nachtsituation in weiter westlich gelegene Bereiche bis ca. 400 Eindringtiefe zum Teil wesentlich verringert. Diese Auswirkungen sind in geringem Maß im weiter westlichen gelegenen Wohngebiet der Sealdussiedlung zu beobachten, wo die Kaltluftvolumenstromdichte stellenweise bis zu 15% abnimmt. Diese Werte sind dabei nicht als kritisch zu betrachten, da sich in diesem Bereich die nächtliche Lufttemperatur gleichzeitig nicht wesentlich erhöht. Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse wurden von Seiten der Auftraggeberin bereits neue Planentwürfe mit offeneren Gebäudestrukturen zur Optimierung entwickelt.

Die für das Stadtklima bedeutende Kaltluftleitbahn auf dem Exerzierplatz bleibt in ihrer Funktion erhalten und wird nur im südlichen Randbereich unwesentlich beeinflusst. Positiv ist in der Nachtsituation die verstärkte Auskühlung auf den neu geplanten Freiflächen zu betrachten, obwohl hierbei zu beachten ist, dass bei der Ausgestaltung dieser Freiflächen eine möglichst geringe Versiegelung empfehlenswert ist.

In der Tagsituation macht sich besonders die Umwandlung des Baumbestandes in Freiflächen negativ auf die Wärmebelastung und die Aufenthaltsqualität im Bereich des Plangebietes bemerkbar. Im B-Plan Vorentwurf ist erkennbar, dass bei der Gestaltung der Außenflächen besonders auf einen sinnvollen Kompromiss zwischen Beschattungs- und Verdunstungskühlung am Tag und einer möglichst geringen Einschränkung der Kaltluftströmungsbedingungen in der Nacht geachtet wird. Diese Maßnahmen könnten auch die Wärmebelastung am Tag und in der Nacht in den direkt westlich angrenzenden Campusbereichen durch die Auswirkungen der beispielhaft geplanten Bebauung weniger stark ansteigen lassen. Grundsätzlich ist auch die Art der Nutzung der bestehenden und geplanten Flächen zu beachten. Handelt es sich um tagsüber genutzte Bildungseinrichtungen, wie in diesem Fall, ist die Wärmebelastung bzw. Aufenthaltsqualität am Tag der wichtigere Faktor.

Aufbauend auf den im Klimaanpassungskonzept der Stadt Erlangen dargestellten Maßnahmenkatalogs können individuelle und standortangepasste Maßnahmen für eine verbesserte Hitzeanpassung im B-Plangebiet entwickelt werden.



## 5. Allgemeine Planungshinweise

### Gebäudestruktur

Durch die optimierende Ausrichtung der Gebäudestrukturen (wie bereits in aktuelleren Planungsständen berücksichtigt) an bestehende Windströmungsverhältnisse kann das Kaltluftprozessgeschehen im Umfeld des Plangebietes beeinflusst werden. Parallel zu der generell von Ost nach West ausgerichteten Kaltluftströmung gestaltete Gebäudestrukturen und größtmögliche Gebäudeabstände können den Erhalt der bestehenden Durchlüftung angrenzender Gebiete positiv beeinflussen.

### 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. 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.



Städtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikrokimate 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. Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedlichen 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.

**Abbildung 27: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen**



## Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum

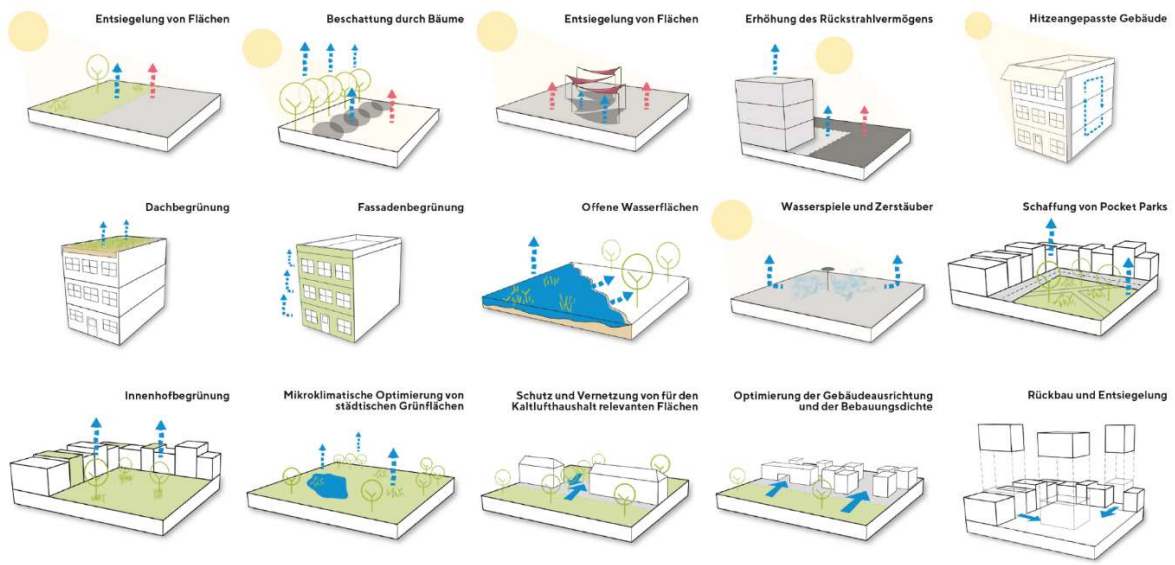
Während am Tage die direkte, kurzweilige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben.

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, sowie 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 darunterliegender 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.



**Abbildung 28: Maßnahmen zur Optimierung der klimaökologischen Verhältnisse bei der Umsetzung von Bauvorhaben (Quelle: MUST Städtebau)**



## Literatur

- Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.: DGNB-Kriterium SOC1.1, Thermischer Komfort im Freiraum
- Gross, G. (2010): Numerical simulation of the diurnal variation of wakes behind wind turbines. Meteorologische Zeitschrift, Vol.19.
- Gross, G. (2011): Validierung von ASMUS. Werkstattbericht. Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leib-niz Universität Hannover
- Gross, G. (2014): On the estimation of wind comfort in a building environment by microscale simulation, Meteorol. Zeitschrift, Vol. 23.
- Lohmeyer et al. (1992): Frankfurt Main Center, Klima- und Immissionsgutachten, Auftraggeber: Deutsche Grundbesitz Investmentgesellschaft mbH, Frankfurt.
- Matzarakis, A. und Mayer, H. (1996): Another kind of environmental stress: Thermal Stress. WHO Newsletter No. 18: 7 – 10.
- Kuttler, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).
- VDI 3783 Blatt 9 (2005): Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung, Beuth Verlag, Berlin.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2008): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2020): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 4. Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bedeutung.