

Auslage 6G  
Zur Mag.-Vorl. Nr. ....

**BEBAUUNGSPLAN NR. 653**  
**„Innovationscampus**  
**(ehem. Farbwerke)“**

**Klimagutachten**

**ENTWURF**

**STAND 13.08.2024**

Offenbach  
am Main

**OF**



# Gutachten zu den klimatischen Auswirkungen für das Industrie- und Gewerbegebiet „Innovationscampus“ in Offenbach am Main

---

## Endbericht

an die  
Stadtwerke Offenbach Unternehmensgruppe - Geschäftsfeld Immobilien  
OPG Offenbacher Projektentwicklungsgesellschaft mbH  
Senefelderstraße 162  
63069 Offenbach am Main



K.PLAN Klima.Umwelt&Planung GmbH  
Firmensitz: Bochum  
Steinring 55 | 44789 Bochum  
Tel: 0234 | 966 48 166  
E-Mail: [info@stadtklima.ruhr](mailto:info@stadtklima.ruhr)  
[www.K.Plan.ruhr](http://www.K.Plan.ruhr)

## INHALTSVERZEICHNIS

1.	ZIELSETZUNG	1
2.	ZUSAMMENSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER VORHANDENEN INFORMATIONEN UND KARTEN	2
3.	MESOSKALIGE SIMULATIONEN DES KALTLUFTFLUSSES	3
3.1	MODELLBESCHREIBUNG	3
3.2	ERGEBNISSE DER KALTLUFTSIMULATIONEN FÜR IST UND PLAN	7
3.3	FAZIT AUS DEN KALTLUFTSIMULATIONEN	12
4.	MIKROKLIMATISCHE MODELLRECHNUNGEN VON IST UND PLAN	12
4.1	DIE MIKROKLIMATISCHE SITUATION DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHE IM IST-ZUSTAND	14
4.2	DIE MIKROKLIMATISCHE SITUATION DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHE IM WORST-CASE PLAN-SZENARIO	19
4.3	DIE MIKROKLIMATISCHE SITUATION DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHE IM BEGRÜNTEN PLAN-SZENARIO	26
4.4	FAZIT AUS DEN MIKROKLIMATISCHEN SIMULATIONEN	30
5.	ZUSAMMENSTELLUNG VON ZIELVORGABEN UND ANPASSUNGSMAßNAHMEN	32

## 1. ZIELSETZUNG

Freiflächen stellen häufig klimatische Ausgleichsfunktionen zur Verfügung. Auch industrielle Brachflächen im Stadtgebiet können klimatische Ausgleichsfunktionen zur Verfügung stellen. Neben der lokal begrenzten klimatischen Bedeutung können Flächen aufgrund ihrer Lage, der geringen Oberflächenrauigkeit bzw. des geringen Strömungswiderstandes und der Ausrichtung im Stadtgebiet zu einer wirkungsvollen klimatischen Verbesserung beitragen. Auf der anderen Seite sollte eine Neuplanung auch vor Ort für die zukünftigen Nutzer keine klimatischen Belastungen unter den Bedingungen des Klimawandels aufweisen. Planungen sind hier nur sinnvoll unter Berücksichtigung wirkungsvoller Anpassungsmaßnahmen.

Auf der Grundlage der aktuellen Untersuchungen zur Klimafunktionskarte und zur Planungshinweiskarte für die Stadt Offenbach sollen durch klimatische Modellierungen die aktuelle Bedeutung der Flächen und die Auswirkungen des Bauvorhabens auf dem im Nordosten zwischen Main und Mühlheimer Straße gelegenen Innovationscampus in Offenbach ermittelt und bewertet werden. Lokal werden Vorschläge für Klimaanpassungsmaßnahmen zur Abmilderung von zukünftigen Auswirkungen auf das Stadtklima erarbeitet.

Sinnvoll ist eine Begutachtung in 2 Stufen, die sich nach dem Detaillierungsgrad der vorliegenden Planungsunterlagen richten. Im ersten Schritt werden die Auswirkungen einer Bebauung der Fläche bezüglich des Kaltluftverhaltens und der Belüftungsfunktion im Umfeld des Untersuchungsgebietes untersucht. Hierzu wird der IST-Zustand mit dem Entwurf der vorgesehenen Bebauungen verglichen, die als Strömungshindernis und durch Aufheizungen das bestehende Kaltluftsystem verändern können. In diesem Bearbeitungsschritt werden durch Kaltluftsimulationen die Bedeutung der Flächen für die Innenstadtbelüftung im IST-Zustand und die möglichen Veränderungen durch den Planentwurf im Bereich der Offenbacher Innenstadt betrachtet. In einer zweiten Stufe werden anschließend detailliertere Pläne mit Angaben zu Materialien der Gebäude und der Oberflächen und zu konkreten Verkehrsflächen-, Freiflächen- und Begrünungsplänen auf ihre klimatischen Auswirkungen hin untersucht werden. Durch mikroskalige Modellierungen werden die klimatischen Auswirkungen von Bauvorhaben simuliert und untereinander verglichen. Es gilt zu untersuchen, welche klimatischen Auswirkungen das Vorhaben vor Ort haben wird und wie weit diese Veränderungen des Kleinklimas in die Umgebung hineinwirken.

Die Abbildung 1 zeigt eine Zusammenfassung der Handlungsnotwendigkeiten bezüglich des Klimawandels bei allen Planungen mit Raumbezug.

### Warum ist Klimaanpassung wichtig?

Das Klima wandelt sich, uns erwarten mehr Extreme:

- Hitze – Hitzeinseln (z.B. Sommer 2018)
- Stürme – Sturmschäden (z.B. Kyrill)
- Starkregen – Schäden durch Überflutung



Abb. 1 Handlungsnotwendigkeiten für Planungen unter den Bedingungen des Klimawandels

## 2. ZUSAMMENSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER VORHANDENEN INFORMATIONEN UND KARTEN

Die lokalen Ausprägungen des Klimas werden in erster Linie von den verschiedenen Flächennutzungen bestimmt. Bei austauscharmen Wetterlagen, beispielsweise bei sommerlichen Hitzewetterlagen, treten die mikroklimatischen Unterschiede zwischen unterschiedlichen Flächennutzungen am stärksten hervor. Zur Beschreibung der klimatischen Eigenschaften von Flächen werden sogenannte „Klimatope“ benutzt. Unter dem Begriff Klimatop sind Flächen mit vergleichbaren mikroklimatischen Verhältnissen zu verstehen. Freiland-, Wald-, Gewässer-, Parkklimatope sowie Gewerbe- und Industrieflächen werden auf Grund ihrer inhaltlichen Definition ausschließlich mit Hilfe der Daten der Nutzungsstruktur abgegrenzt. Für Bereiche mit Bebauung ist die Einteilung in Klimatope jedoch nicht so einfach durchführbar, da diese Gebiete ausgesprochen heterogene Strukturen bilden. Um die Zuordnung zu einem der Vorstadt-, Siedlungs-, Stadt- oder Innenstadtklimatope zu klären, ist es notwendig, die thermische Situation des jeweiligen Ortes zu berücksichtigen. Insbesondere aufgrund der Unterschiede im thermischen Verhalten der Bebauungsflächen und der Ausgleichsräume kann es in Offenbach bei sommerlichen Strahlungswetterlagen zu signifikanten klimatischen Unterschieden zwischen der Innenstadt, den Industrie- und Gewerbegebieten und dem unbebauten Umland kommen.

Die gesamtstädtische Klimaanalyse (Offenbach am Main, 2021) bildet die Grundlage für die folgenden detaillierten Untersuchungen zum Klima des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“. Die **gesamtstädtische Klimafunktionskarte** (Abb. 2) zeigt, dass das Untersuchungsgebiet im IST-Zustand als Siedlungsklimatop dargestellt ist, da es sich um eine gewerbliche Brachfläche mit einzelnen Gebäuden und großflächiger Versiegelung handelt. Es handelt sich hierbei um Flächen, die hinsichtlich des Bioklimas durch eine mittlere Wärmebelastung und merkbliche Veränderung des Luftaustausches gekennzeichnet sind. Eine bauliche Verdichtung in diesen Bereichen kann eine Entwicklung hin zu den stärker bioklimatisch belasteten Stadt- oder Innenstadtklimatopen verursachen.

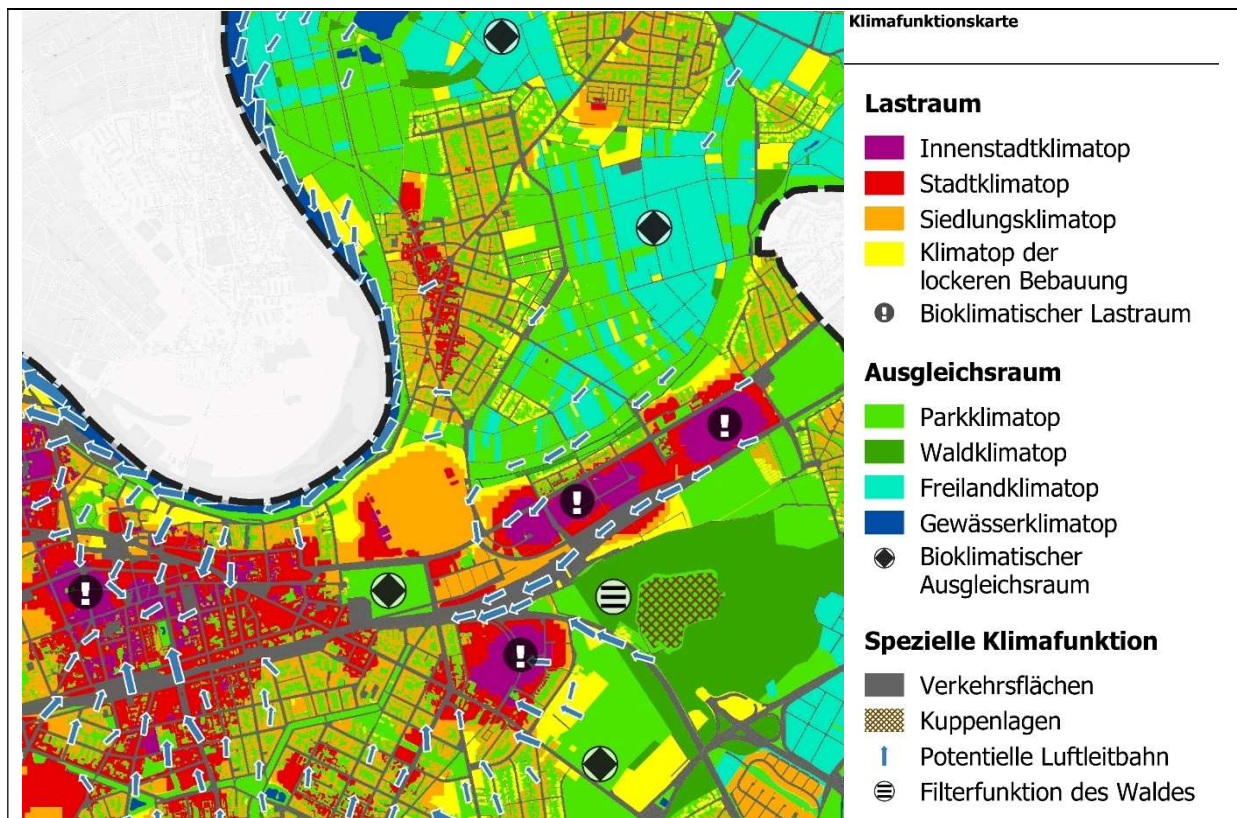


Abb. 2 Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte der Stadt Offenbach am Main (2021)

Freiflächen dagegen kühlen nachts sehr schnell ab und haben niedrige Oberflächentemperaturen. Diese kühlen die darüber liegenden Luftschichten und führen zu einer nächtlichen Kaltluftbildung auf den Flächen. Bei austauscharmen Wetterlagen mit geringen Windgeschwindigkeiten können die entsprechend der Geländeneigung abfließenden Kaltluftmassen einen erheblichen Betrag zur Belüftung und Kühlung von erwärmten Stadtgebieten leisten. Ausgedehnte Kaltluftflächen sind nordöstlich des Untersuchungsgebietes zu erkennen.

Die stadtklimarelevanten Luftbewegungen des autochthonen Windfeldes aus der gesamtstädtischen Kaltluftsimulation sind in die Klimafunktionskarte übernommen. Entlang dieser mit Pfeilen gekennzeichneten Bereiche findet bei Schwachwindlagen eine Belüftung des überwärmten Bereichs durch Kaltluftzufluss oder Flurwinde statt. Kaltluftströme sind empfindlich gegenüber Störungen wie Hindernisse. Bauliche Eingriffe in diese Bereiche können zu Einschränkungen der lokalen thermisch induzierten Windsysteme führen. Die Folgen wären eine geringere Abkühlung in heißen Sommernächten und ein verringerter Luftaustausch.

Das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ liegt im Bereich der von Osten auf die Offenbacher Innenstadt treffenden Kaltluftströme und ist deshalb als sehr sensibel gegenüber baulichen Veränderungen einzustufen. Deshalb wird im Folgenden durch eine hoch aufgelöste Kaltluftsimulation und durch mikroskalige Modellierungen für die Industrie- und Gewerbeflächen untersucht, welche Kühlungseffekte und Durchströmbarekeiten auf den Untersuchungsflächen vorhanden sind und wie groß die Reichweite ist. Die für das Untersuchungsgebiet relevante Kaltluftsystematik wird dazu im Kapitel 3 genauer untersucht, die Ergebnisse der mikroskaligen Klimamodellierungen sind im Kapitel 4 dargestellt.

### **3. MESOSKALIGE SIMULATIONEN DES KALTLUFTFLUSSES**

Da insbesondere bei austauscharmen sommerlichen Hitzewetterlagen lokale Windsysteme für die Belüftungsverhältnisse von Bedeutung sind, werden diese durch den Einsatz eines Kaltluftabflußmodells sehr detailliert in hoher Rasterauflösung und mit Berücksichtigung der vorhandenen und der zukünftig möglichen Gebäudestrukturen betrachtet. Durch die Kaltluftsimulationen werden qualitative und quantitative Aussagen für den Luftaustausch und den Kaltluftfluss erarbeitet. Die Modellsimulation wird mit dem Kaltluftabflußmodell KLAM\_21 des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. KLAM\_21 ist ein zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen und Kaltluftansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände (Sievers, U., 2005. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 227, Offenbach am Main).

#### **3.1 MODELLBESCHREIBUNG**

Das Kaltluftmodell KLAM\_21 ist in der Lage, Kaltluftbewegungen in ihrer Dynamik und zeitlichen Entwicklung flächendeckend wiederzugeben. Die physikalische Basis des Modells bildet eine vereinfachte Bewegungsgleichung und eine Energiebilanzgleichung, mit der der Energieverlust und damit der „Kälteinhalt“ der Kaltluftschicht bestimmt wird. Aus dem Kälteinhalt einer jeden Säule wird dann (unter der Annahme einer bestimmten Höhenabhängigkeit der Abkühlung) die Kaltluflhöhe errechnet. Als Ergebnis erhält man die flächenhafte Verteilung der Kaltluflhöhe und ihrer mittleren Fließgeschwindigkeit oder der Volumenströme zu beliebig abgreifbaren Simulationszeitpunkten.

Das Modell simuliert die Entwicklung von Kaltluftflüssen und die Ansammlung von Kaltluft in einem auswählbaren, rechteckig begrenzten Untersuchungsgebiet. Über diese Fläche wird ein numerisches Gitter

gelegt. Jedem Gitterpunkt werden eine Flächennutzung (standardmäßig schematisiert in 8 Nutzungsklassen) sowie eine Geländehöhe zugeordnet. Jeder Landnutzungsklasse wiederum entspricht eine fest vorgegebene Kälteproduktionsrate und eine Rauigkeit als Maß für den aerodynamischen Widerstand. Für die vorliegende Untersuchung wurden die in der Tabelle 1 aufgeführten Landnutzungsklassen mit ihren im Rechenmodell hinterlegten Eigenschaften verwendet, die sich hinsichtlich ihrer dynamischen und thermischen Oberflächeneigenschaften wie z. B. Oberflächenrauigkeit, Verdrängungsschichtdicke, Versiegelungsgrad und Kaltluftproduktivität unterscheiden.

Tab.1 Landnutzungsklassen im KLAM\_21

Nutzungen	z0g	grz	hg	wai	bg	hv	xlai	a
Siedlung (dicht)	0,1	0,6	15,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Siedlung (locker)	0,1	0,4	8,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,28
Wald	0,4	0,0	0,0	0,0	0,9	20,0	6,0	0,56
Halb vers. Flächen (z. B. Bahnanlagen)	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,64
Park	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	20,0	6,0	1,0
Unversiegelte Freiflächen	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
Versiegelte Flächen	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,28
Wasser	0,001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

mit:

- z0g Rauigkeitslänge des Bodens in m ohne Beachtung explizit spezifizierter Bebauung oder Bewaldung
- grz Grundflächenzahl, Anteil der bebauten Fläche an der Gesamtfläche
- hg mittlere Gebäudehöhe in m
- wai Wandflächenindex, mittleres Verhältnis der Wandfläche eines Gebäudes zu dessen Grundfläche
- bg mittlerer Bedeckungsgrad des Bodens mit Bäumen
- hv mittlere Baumhöhe in m
- xlai Blattflächenindex, über die Höhe aufsummierte einseitige Blattfläche eines Baumes im Verhältnis zu seiner Kronenquerschnittsfläche
- a relativer Wirkungsgrad der effektiven Ausstrahlung im Vergleich zu einer optimalen Abkühlungsfläche

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark von der Landnutzung ab: Freilandflächen weisen die höchsten Kaltluftproduktionsraten (zwischen 10 und 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h) auf, für Waldflächen schwanken die Literaturangaben sehr stark (zwischen 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h in ebenem Gelände und 30– 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h am Hang). Besiedelte, versiegelte Gebiete verhalten sich bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) und können zufließende Kaltluft auflösen.

Voraussetzung für Kaltluftflüsse ist eine optimale Situation, d.h. eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung, ausgehend vom Ruhezustand (keine Strömung) bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Die Kaltluftflüsse hängen in erster Linie von den orographischen Gegebenheiten ab. Sowohl die Daten der Flächennutzungen wie auch die Geländehöhen wurden weiträumig um das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ herum in die Simulation aufgenommen, damit die Kaltluftströmungen auch in den Randbereichen entsprechend den topographischen Gegebenheiten der umliegenden Bereiche erfasst werden können.

Die Mächtigkeit einer Kaltluftschicht kann in Abhängigkeit des Nachtzeitpunktes, der Größe des Kaltluftinzugsgebietes sowie den meteorologischen Rahmenbedingungen stark schwanken. Im Allgemeinen



beträgt sie zwischen 1 und 50 m. Staut sich der Kaltluftabfluss an Hindernissen oder in Senken, bildet sich ein sogenannter Kaltluftsee, in dem die Kaltluft zum Stehen kommt. In solchen Kaltluftseen kann die Kaltluftschichtdicke auch deutlich größere Mächtigkeiten annehmen. Die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb eines Kaltluftabflusses liegen typischerweise in einer Größenordnung von 0,2 bis 3 m/s. Aufgrund der oftmals nur sehr flachen Ausprägung und den geringen Strömungsgeschwindigkeiten sind Kaltluftabflüsse sehr störanfällig, sodass Hindernisse wie Gebäude, Wälle oder Lärmschutzwände unter gewissen Randbedingungen zu einem Strömungsabbruch führen können. Unter Umweltgesichtspunkten hat Kaltluft eine doppelte Bedeutung: zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Für die Stadtplanung ist es daher von großer Bedeutung, Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können.

Für die Berechnungen wurde eine sommerliche Strahlungsnacht mit einem schwachen Regionalwind aus ENE angenommen, um die Dynamik der in der gesamtstädtischen Analyse festgestellten übergeordneten Kaltluftbahn aus dieser Richtung zu simulieren. Der Start der Simulation liegt kurz vor Sonnenuntergang. Zu diesem Zeitpunkt wird eine Atmosphäre vorausgesetzt, in der keine horizontalen Gradienten der Lufttemperatur und der Luftdichte vorhanden sind. Es werden während der gesamten Nacht gleichbleibend gute Ausstrahlungsbedingungen, d. h. eine geringe Bewölkung, angenommen.

Das Kaltluftmodell wurde zur Einbeziehung der großräumigen Kaltluftströme für ein 4 km x 3 km großes Gebiet mit einer Auflösung von 3 m Rasterweite gerechnet. Die Abbildung 3 zeigt die Modell-Eingangsdaten der Geländehöhen im Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ für die Kaltluftsimulation im IST-Zustand.

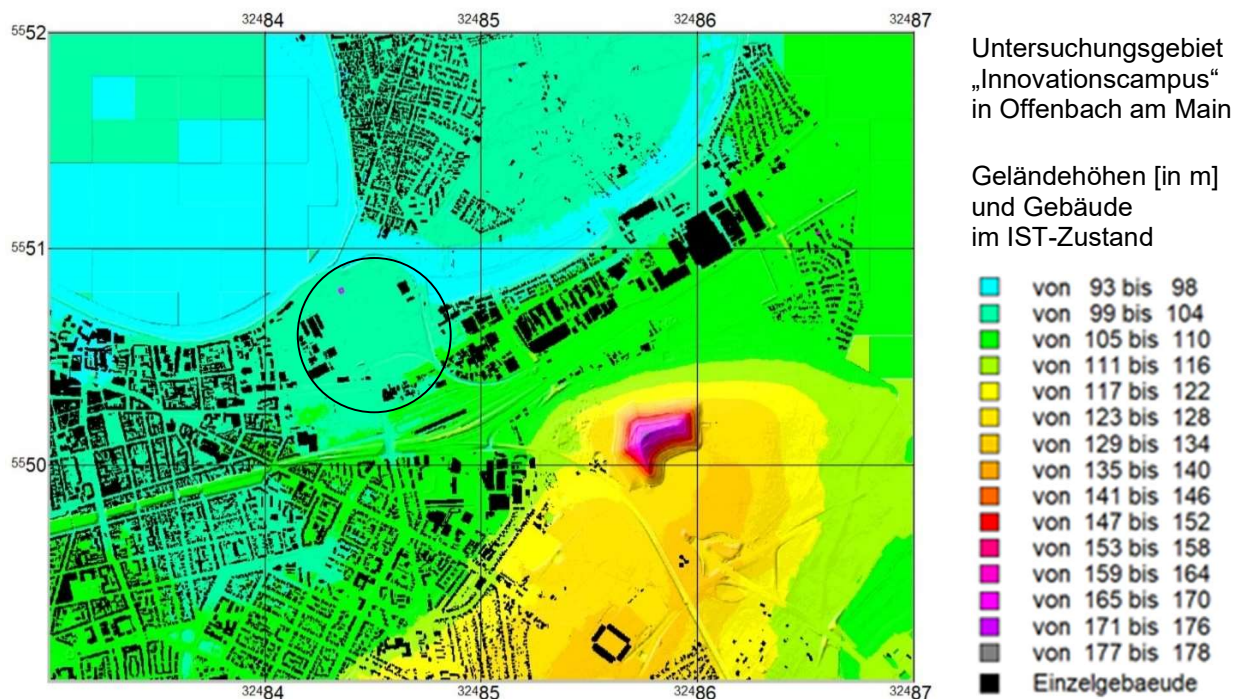


Abb. 3 Geländehöhen in einer 4 km x 3 km Umgebung des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“ für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei im IST-Zustand

Das Gelände des Untersuchungsgebietes ist relativ flach. Einen merklichen Anstieg gibt es erst südöstlich der Untersuchungsfläche. Von Nordosten Richtung Innenstadt gibt es einen Talverlauf, der zu einer

für die Offenbacher Innenstadt wichtigen Kaltluftzufuhr aus Osten führt. Die Nutzungsstruktur sowie die Vegetation des Modellgebietes sind über die Flächennutzung aufgelöst. Zusätzlich wurden alle Bauungsstrukturen als Einzelhindernisse in das Modell für den IST-Zustand (Abb. 4) und für das Plan-Szenario (Abb. 5) eingegeben. Die Ergebnisse dieser beiden Varianten werden anschließend verglichen. Dadurch erhält man einen großräumigen Überblick auf die aktuelle klimatische Funktion der Untersuchungsfläche des Innovationscampus und über die möglichen klimatischen Auswirkungen auf die Kaltluftsystematik der Flächen.

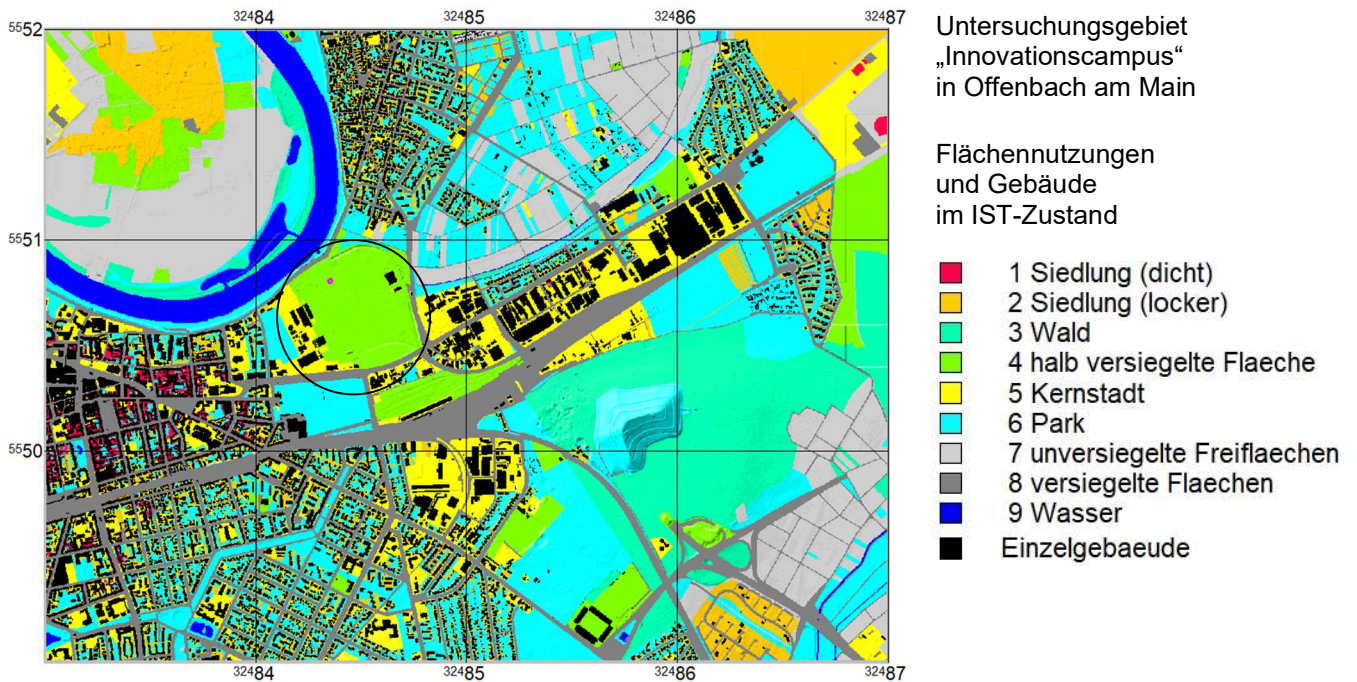


Abb. 4 Landnutzungsklassen und Gebäudestruktur in einer 4 km x 3 km Umgebung des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“ für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei im IST-Zustand

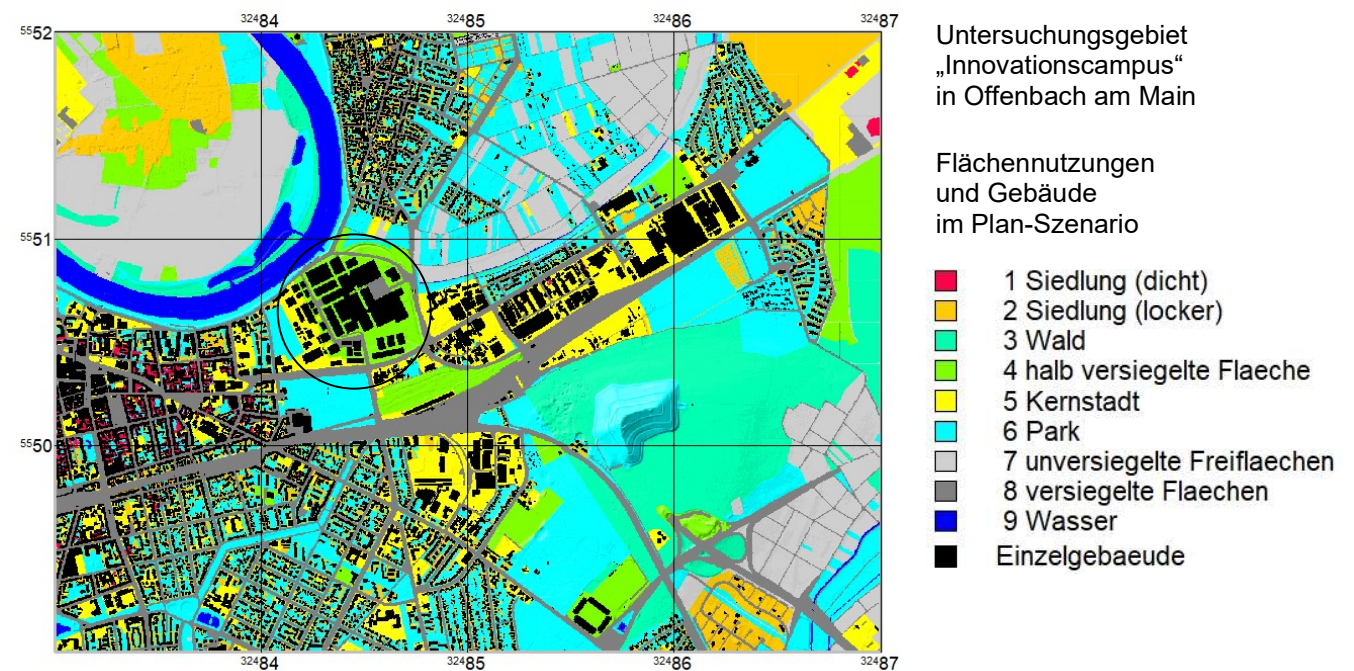


Abb. 5 Landnutzungsklassen und Gebäudestruktur in einer 4 km x 3 km Umgebung des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“ für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei im Plan-Szenario (Anfang 2022)

### 3.2 ERGEBNISSE DER KALTLUFTSIMULATIONEN FÜR IST UND PLAN

Zur Verdeutlichung des Kaltluftgeschehens innerhalb und im Umfeld des Untersuchungsgebietes werden im Folgenden die simulierten Kaltluftmächtigkeiten und die Kaltluftbewegungen vier Stunden nach Sonnenuntergang für den IST-Zustand und für das Plan-Szenario dargestellt. Die Kaltluftverteilung über dem Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ ist in den Karten zur Kaltluftmächtigkeit visualisiert, die die Schichtmächtigkeit nach vier Stunden Kaltluftbildung (Abb. 6 und 7) infolge ungehinderter nächtlicher Kaltluftentwicklung bei autochthonen Wetterlagen, d.h. bei Strahlungswetter (wolkenfrei und windstill) zeigen. Dargestellt in den Ergebniskarten für die Nacht sind die Höhen der angestauten Kaltluft in verschiedenen Blautönen und die Fließrichtungen und -geschwindigkeiten der Kaltluft mittels roter Pfeile. Die Kaltluft sammelt sich entsprechend der Geländeneigungen in den Tallagen und dringt über den östlichen Rand in die Bebauung der Innenstadt ein. Hier wird die zugeführte kalte Luft schnell erwärmt und die Kaltluftschicht löst sich auf.

Die Hauptzufuhr der Kaltluft erfolgt von Ost nach West Richtung Innenstadt. Der Hauptstrom liegt etwas südlich des Untersuchungsgebietes. Insgesamt hat dieser Kaltluftfluss eine Bedeutung für die überwärmte Innenstadt von Offenbach, da sie randlich in die bebauten Bereiche eindringt.

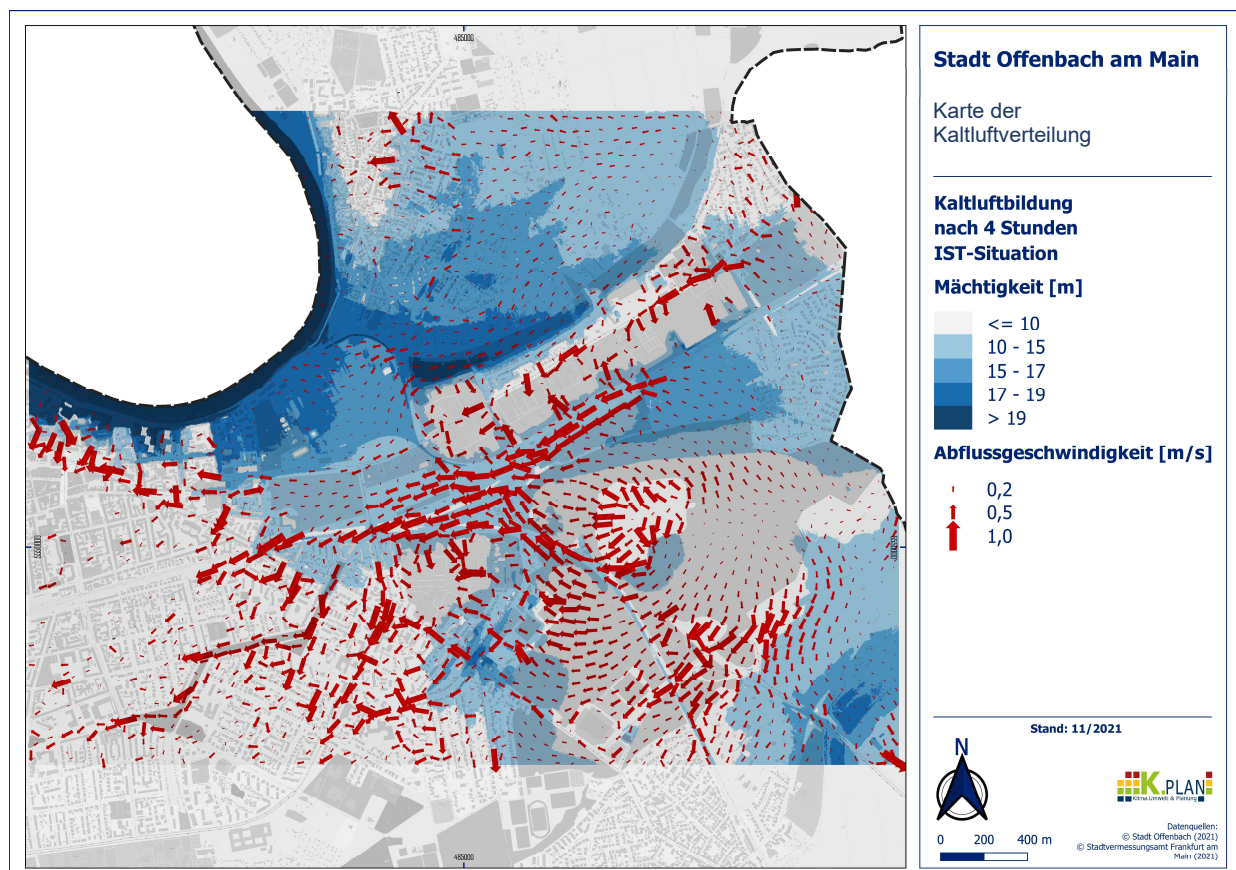


Abb. 6 Ergebnis der Kaltluftsimulation für das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ im IST-Zustand Kaltluflhöhe 4 Stunden nach Sonnenuntergang

Im IST-Zustand sammelt sich eine große Menge an Kaltluft, die überwiegend von Nordosten zufließt, auf der Brachfläche des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“ (Abb. 6). Nur sehr wenig Kaltluft wird über die Fläche weiter nach Westen, Richtung Stadt transportiert. Die für den Stadtbereich von Offenbach, insbesondere für das Mathildenviertel, für Lindenfeld und Buchhügel, relevante Kaltluft strömt südlich der Mühlheimer Straße entlang der Bahnlinie nach Westen. Sobald die Kaltluft auf die bebauten Randbereiche dieser Stadtviertel trifft, erwärmt sie sich. In das Mathildenviertel dringt im IST-Zustand,

abgesehen vom östlichen Rand, keine Kaltluft in die bebauten Bereiche ein. Relevante Luftbewegungen in den Stadtteilen, anhand der roten Pfeile erkennbar, nutzen hindernisarme Wege wie breite Straßen und insbesondere den Landgrafenring, um nach Westen in die Bebauung einzudringen. Davon profitiert fast nur der Stadtteil Buchhügel.

Im Plan-Szenario sammelt sich deutlich weniger Kaltluft über den Gelände des Innovationscampus (Abb. 7), da die Gebäudestruktur kaum ein Eindringen der kalten Luft aus Osten ermöglicht. Daher nimmt die Kaltluftmächtigkeit im Lee der neuen Bebauung, also westlich des Innovationscampus leicht ab. Insgesamt bleibt der Ost-West Kaltluftfluss insbesondere über die Bahnlinie und den Landgrafenring erhalten.

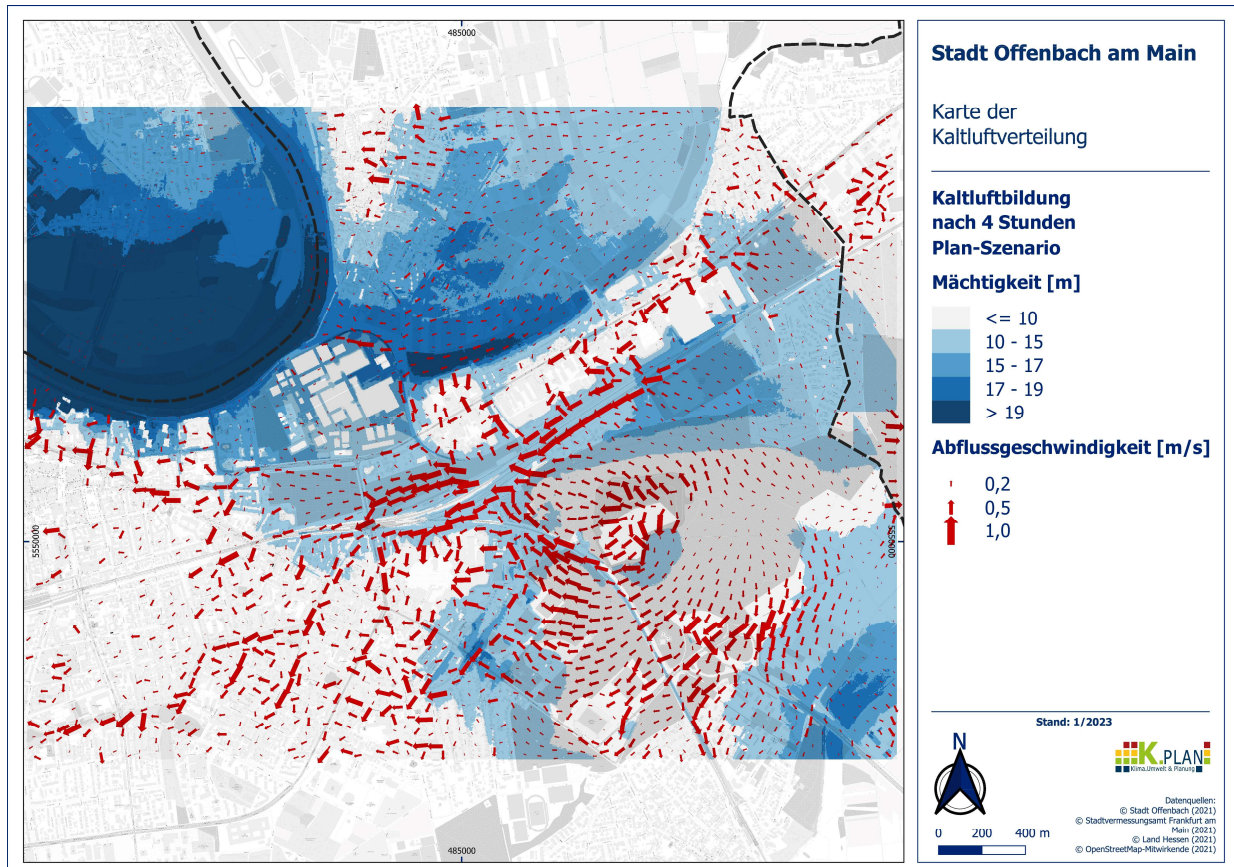


Abb. 7 Ergebnis der Kaltluftsimulation für das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ im Plan-Szenario 4 Stunden nach Sonnenuntergang

Wichtig ist die genaue Betrachtung des Eindringens der Kaltluft in die bebauten Randbereiche der Innenstadt. Hier können die Unterschiede besser über Differenzkarten sichtbar gemacht werden. Abbildung 8 zeigt die Veränderungen der Kaltluftmächtigkeit im Plan-Szenario im Vergleich zum IST-Zustand. Deutlich ist der Rückgang der Mächtigkeit der Kaltluftschicht auf der Untersuchungsfläche „Innovationscampus“ nur im Bereich der neuen Gebäude zu erkennen. Nördlich und östlich des Plangebietes kommt es überwiegend zu einer Zunahme der Kaltlufthöhe (grüne bis blaue Bereiche), da es zu einem leichten Rückstau vor dem Innovationscampus-Gelände kommt als Folge der schlechteren Durchströmbarkeit. Im weiteren Verlauf Richtung Innenstadt kommt es zu einer größeren Abnahme der Kaltluftmächtigkeit (orange bis rote Bereiche) nur in den Randbereichen nördlich der Mathildenstraße und Berliner Straße. Hier fließt aber weiterhin kühle Luft aus Norden, vom Main her, zu. Im südlich davon gelegenen Mathildenviertel und in den Stadtteilen Lindenfeld und Buchhügel halten sich die Zunahmen und die Abnahmen der Kaltlufthöhen in der Bebauung die Waage.

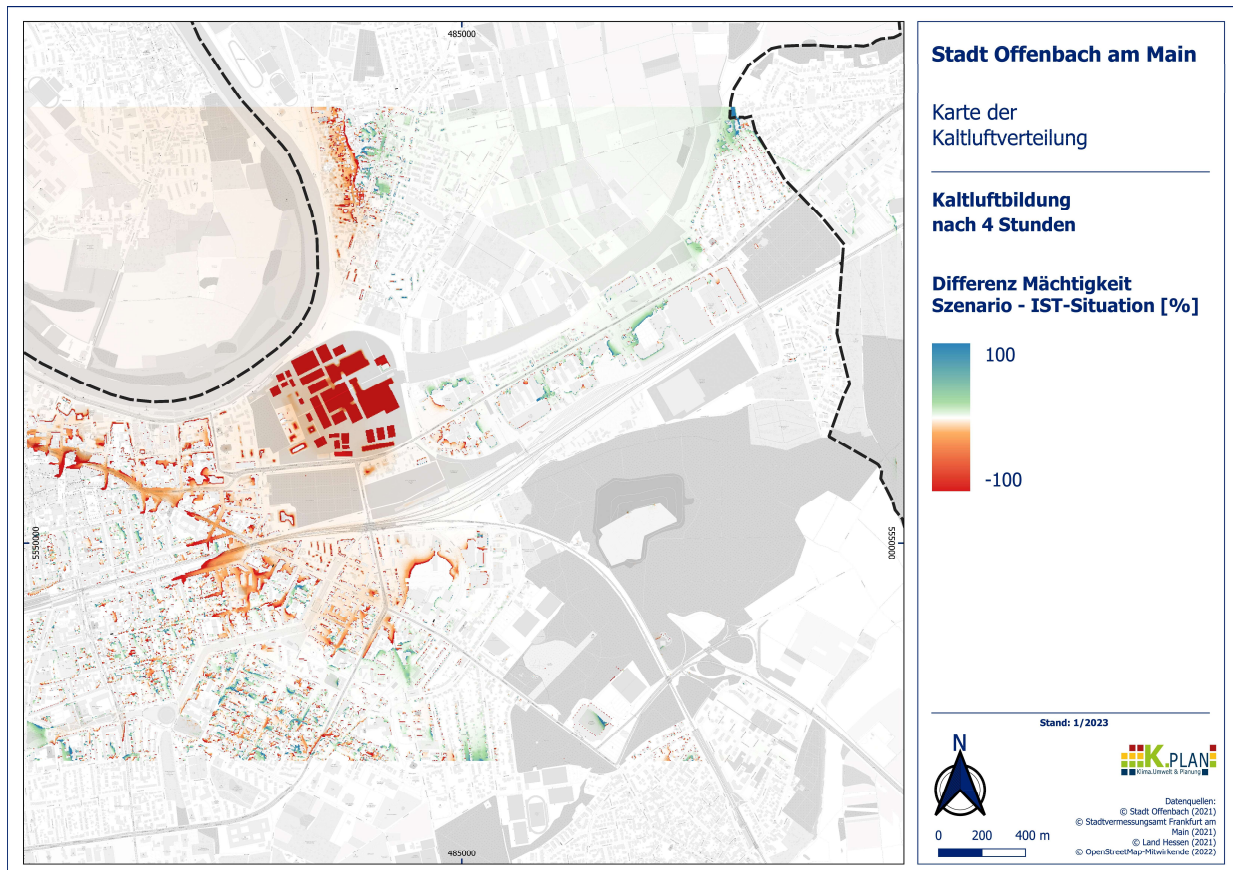


Abb. 8 Vergleich der Ergebnisse der Kaltluftsimulation für das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“: Kaltluflhöhe Plan-Szenario minus IST-Zustand 4 Stunden nach Sonnenuntergang

Zur Quantifizierung von Kaltluftabflüssen wird in der Regel der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Der Kaltluftvolumenstrom ist das Produkt aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Kaltluftsäule sowie der Kaltluftschichtdicke und gibt an, wie viel Kaltluft in einer definierten Zeit (z. B. 1 s) durch einen 1 m breiten Querschnitt strömt. Der Kaltluftvolumenstrom ist somit für die Messung, die Bewertung und die Modellrechnung sehr gut geeignet. Anhand der Karten zum Kaltluftvolumenstrom (Abb. 9 und 10) lassen sich Luftleitbahnen in Offenbach deutlich ausweisen. Die Karten zu den Volumenströmen zeigen ein deutlich differenzierteres Bild als die reinen Kaltluftmächtigkeiten. So werden konkrete Kaltluftabflusslinien und Luftleitbahnen für die Stadt erkennbar. Die Verbindungen zwischen den Kaltluftentstehungsgebieten, beispielsweise große Freiflächen, und den Wirkgebieten der Kaltluft werden durch die Darstellung des Kaltluftvolumenstroms sichtbar.

In den beiden Szenarien (IST in der Abb. 9 und Plan in der Abb. 10) wird die von Osten auf das Untersuchungsgebiet treffende Kaltluft deutlich. Im IST-Zustand fließt die Kaltluft nahezu ungehindert auf die Brachfläche des Innovationscampus, wird dort aber durch die teilweise versiegelten und unbegrünten Oberflächen erwärmt. Es ist kein deutlicher Ausfluss von Kaltluft Richtung Westen erkennbar. Der Haupt-Kaltluftstrom fließt südlich des Innovationscampus über die Bahnlinie und den Alten Friedhof in Richtung der bebauten Stadtviertel. Im Plan-Szenario fehlt der Kaltluft-Volumenstrom direkt auf dem Untersuchungsgelände. Stattdessen wird die von Osten kommende Kaltluft durch die geplanten Bebauungen nach Norden und Süden umgelenkt. Das führt zu einer Verstärkung der südlich gelegenen Hauptluftleitbahn.

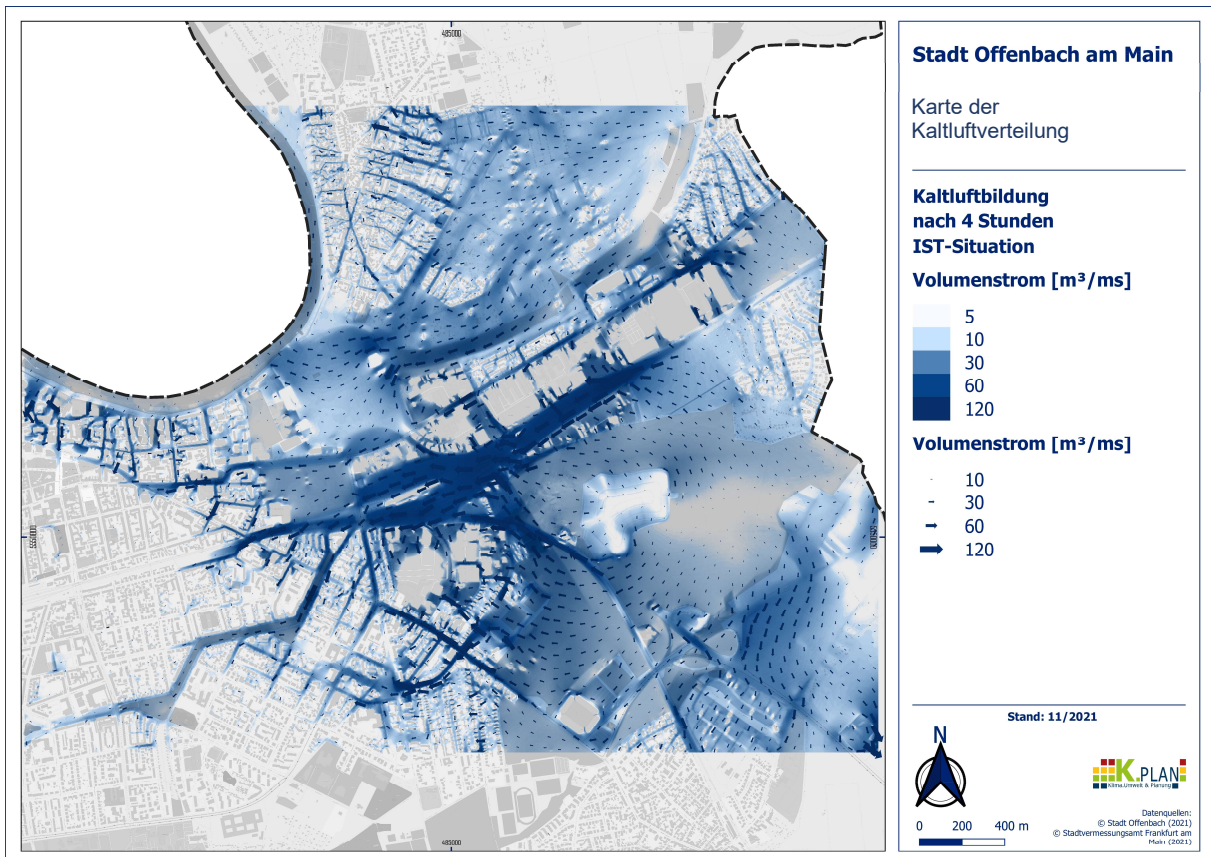


Abb. 9 Ergebnis der Kaltluftsimulation für das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ im IST-Zustand Volumenstrom 4 Stunden nach Sonnenuntergang

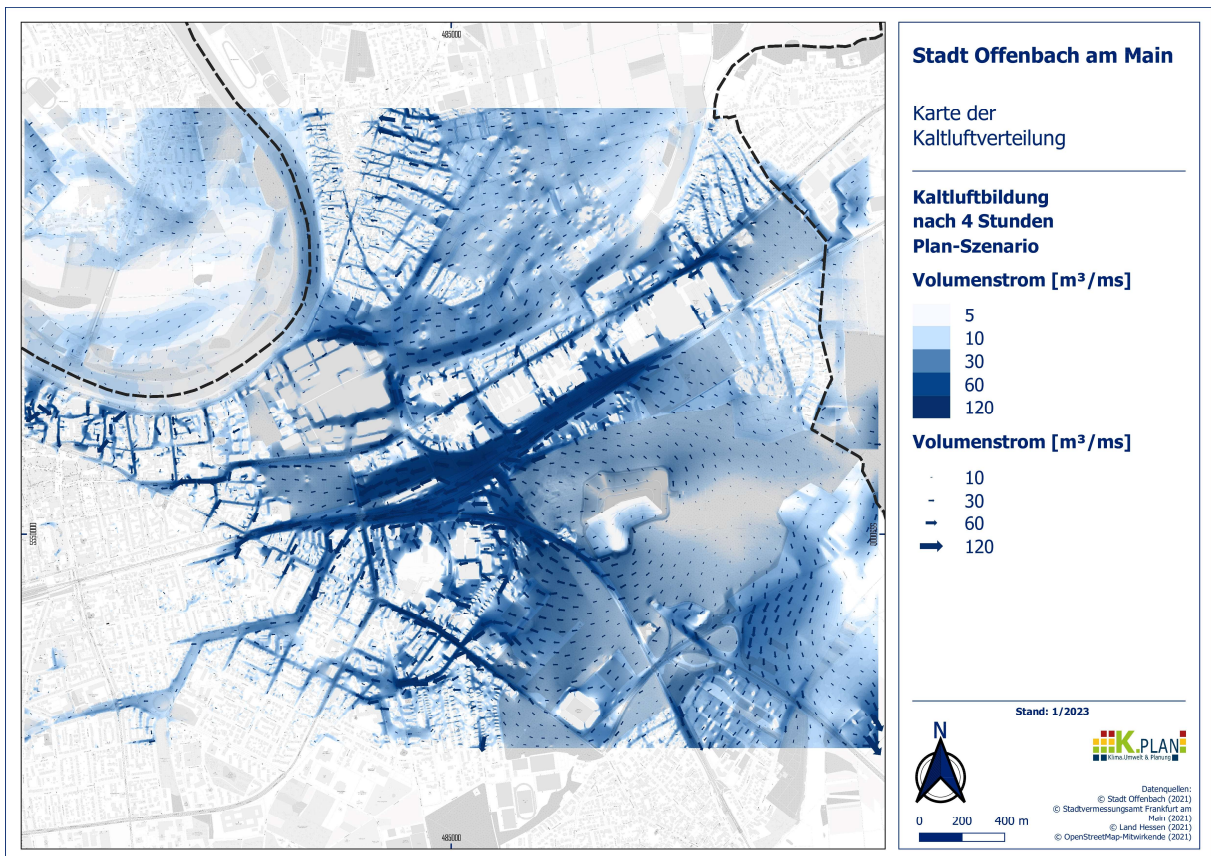


Abb. 10 Ergebnis der Kaltluftsimulation für das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“ im Plan-Szenario Volumenstrom 4 Stunden nach Sonnenuntergang

Deutlicher werden die Unterschiede wieder bei der Betrachtung der Differenzen-Karte „Plan-Szenario minus IST-Zustand“ (Abb. 11). Die Volumenströme ändern sich im Plan-Szenario kleinräumig sehr stark. Es kommt auf dem Gelände des „Innovationscampus“ zu einem völligen Erliegen des Volumenstroms. Dadurch wird deutlich mehr Kaltluft nördlich und südlich um das Gebiet herumgeführt als im IST-Zustand (grüne bis blaue Bereiche). Die südlich gelegenen Stadtviertel Lindenfeld und Buchhügel profitieren teilweise davon (grüne Bereiche), teilweise verringert sich der Volumenstrom etwas (rot-orange Bereiche). Das gleiche gilt für die Bebauungen nördlich der Mathildenstraße und Berliner Straße. Im Mathildenviertel selbst ändert sich fast nichts durch das Plan-Szenario auf dem Innovationscampus-Gelände.

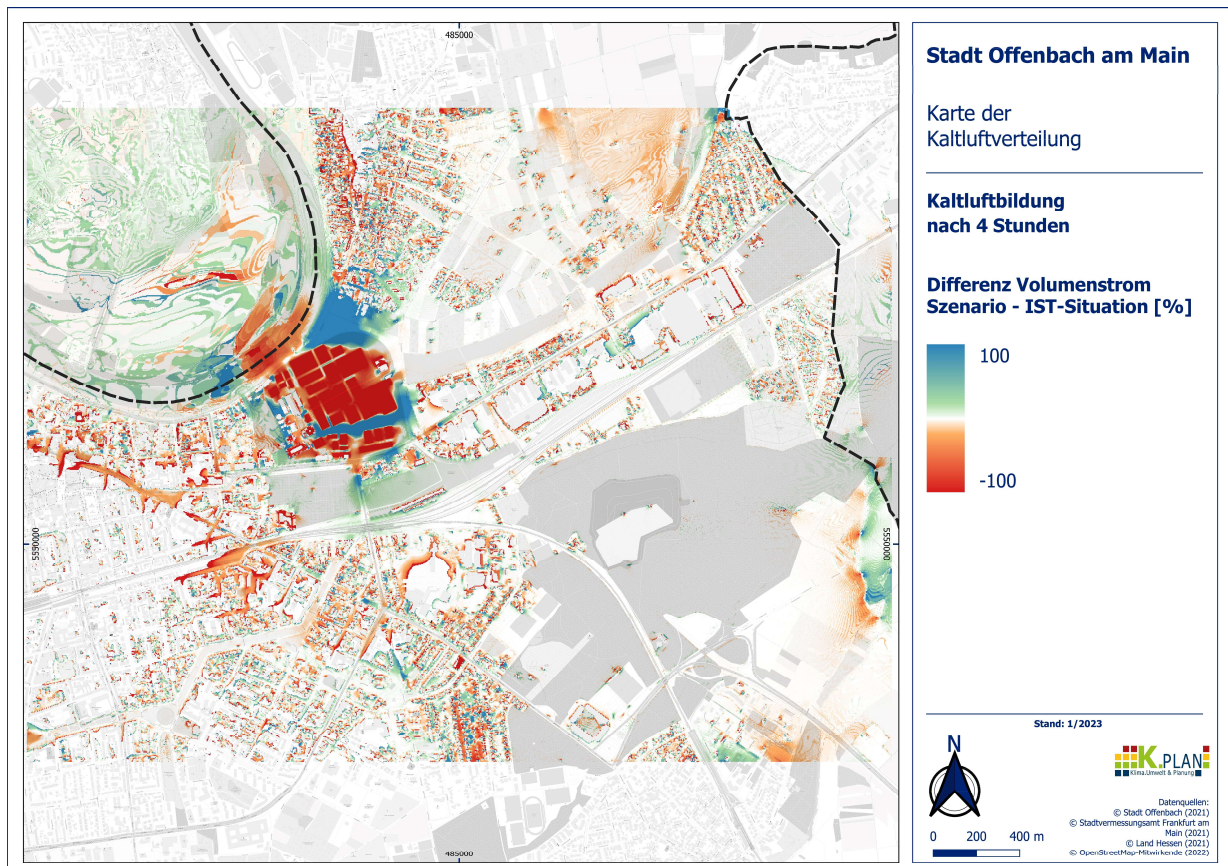


Abb. 11 Vergleich der Ergebnisse der Kaltluftsimulation für das Untersuchungsgebiet „Innovationscampus“: Volumenstrom Plan-Szenario minus IST-Zustand 4 Stunden nach Sonnenuntergang

### 3.3 FAZIT AUS DEN KALTLUFTSIMULATIONEN

Nur ein geringer Anteil der aus Osten zugeführten Kaltluft dringt in die westlich und südlich gelegenen Stadtviertel Mathildenviertel, Lindenfeld und Buchhügel ein. Hierbei erfolgt der Kaltluftzufluss überwiegend über die Bahnlinie und den Landgrafenring weiter in die Bebauungen hinein. Daran ändert sich auch bei der geplanten Bebauung des Innovationscampus-Geländes kaum etwas. Die über das Gelände des „Innovationscampus“ geführte Kaltluft wird schon im IST-Zustand durch die Flächenversiegelungen und unbegrünten Flächen erwärmt und teilweise aufgelöst. Dies verstärkt sich zwar deutlich im Plan-Szenario, wirkt sich aber nicht negativ auf die südlich des Untersuchungsgebietes verlaufende Haupt-Kaltluftströmung aus. Die verstärkte Umströmung der geplanten Bebauungen verursacht eine leichte Veränderung der Kaltluftzufuhr in den sich westlich und südlich anschließenden Stadtteilen mit geringen positiven und negativen Effekten zu etwa gleichen Anteilen. Es bleibt auch im Plan-Szenario ausreichend Kaltluft für das randliche Eindringen in die Bestandsbebauung erhalten.

#### 4. MIKROKLIMATISCHE MODELLRECHNUNGEN VON IST UND PLAN

Um eine Beurteilung der klimatischen Auswirkungen von Bauvorhaben zu ermöglichen, ist der Einsatz eines mikroskaligen Klimamodells erforderlich. Hierzu wird das Modell ENVI-met eingesetzt (ENVI-met Website: [www.envi-met.com](http://www.envi-met.com), ENVI-met GmbH). ENVI-met ist ein dreidimensionales prognostisches numerisches Strömungs-Energiebilanzmodell. Die physikalischen Grundlagen basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik, der Thermodynamik und der Atmosphärenphysik. Das Modell dient zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Es werden Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung einbezogen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten sowie die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien (spezifische Wärme, Reflexionseigenschaften, ...) entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tages unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme mehr oder minder stark an die Luft abgeben.

ENVI-met versetzt Planer in die Lage, die klimatischen Auswirkungen von Bauvorhaben zu simulieren und mit dem Istzustand zu vergleichen, ohne dass das untersuchte Gebiet bzw. die Planungsmaßnahmen in der Realität existieren müssen. Es gilt zu untersuchen, wie weit diese Veränderungen des Kleinklimas in die Umgebung hineinwirken. Hauptaugenmerk muss hierbei auf die möglichen Veränderungen der Luftströmungen und Aufheizungen der bebauten Flächen gelegt werden.

Simuliert wird jeweils ein sommerlicher Strahlungstag über 24 Stunden, um eine maximale Erwärmung im Modellgebiet zu erreichen. Neben der Gebäude-, Vegetations- und Oberflächenstruktur des Modellgebietes können meteorologische Parameter für eine mikroskalige Modellierung des Ist-Zustandes sowie der Planentwürfe festgelegt werden. Diese Werte entsprechen den typischen Ausgangsbedingungen einer sommerlichen Strahlungswetterlage mit Hitzebelastung. Sommerliche Strahlungstage sind in der Regel Schwachwindwetterlagen. Bei einer solchen Wetterlage treten lokalklimatische Effekte am deutlichsten hervor und die Auswirkungen der geplanten Bebauung auf das Kleinklima können gezeigt werden.

Im Folgenden werden die durchgeführten Modellrechnungen und deren Ergebnisse dargestellt. Die Kartierungsmethodik zur Aufnahme des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“ in Offenbach wurde in drei Schritten vollzogen: die Aufnahme der Bauwerksstrukturen (Form und Höhe), die Aufnahme der Straßen und Fußwege (Bodenbelag) sowie die Aufnahme der Vegetation – hauptsächlich Bäume (Gestalt und Höhe). Die Kartierungen erfolgten auf der Grundlage von zur Verfügung gestellten Plänen und Luftbildern. Die aufgenommenen Daten der drei Kartierungen wurden dann im nächsten Schritt in das Programm ENVI-met übertragen und dort für eine virtuelle Modellierung des Planszenarios verwendet.

Um die möglichen Belastungen einer sommerlichen Hitzewetterlage betrachten zu können, wurde zum Modellstart eine hohe Lufttemperatur und ein schwacher Wind gewählt. Das Modell wurde entsprechend der Belüftungssituation und der möglichen Luftströmungen bei Hitzewetterlagen mit einer Anströmung aus Ostnordost gerechnet. Es werden für die Tag- und für die Nachtsituation die Lufttemperaturen und die Windverhältnisse betrachtet. Die Ergebnisse der Szenarien aus den Planvarianten werden im direkten Vergleich durch die Berechnung der Differenzen für die Größen Windgeschwindigkeit, Oberflächentemperaturen und Lufttemperaturen dargestellt. Ergänzend werden die bioklimatischen Situationen mit Hilfe der PMV-Werte untersucht.

Hierbei werden lokale Effekte und auch mögliche Wirkgebiete in angrenzenden Bereichen untersucht. Aus den berechneten Unterschieden der mikroklimatischen Ausprägungen der Modelle werden Rückschlüsse auf die Notwendigkeit von verschiedenen Anpassungsmaßnahmen gezogen. Es wurden die folgenden drei Modellvarianten untersucht:



### 1. Modell der IST-Situation:

Gewerbebrache mit Bestandsbebauung und teilweise versiegelten Flächen am Standort der ehemaligen Bebauungen, weitgehend unverschattete Brachflächen, Bestandsvegetation (Modell für die Klimasimulation siehe Abb. 12).

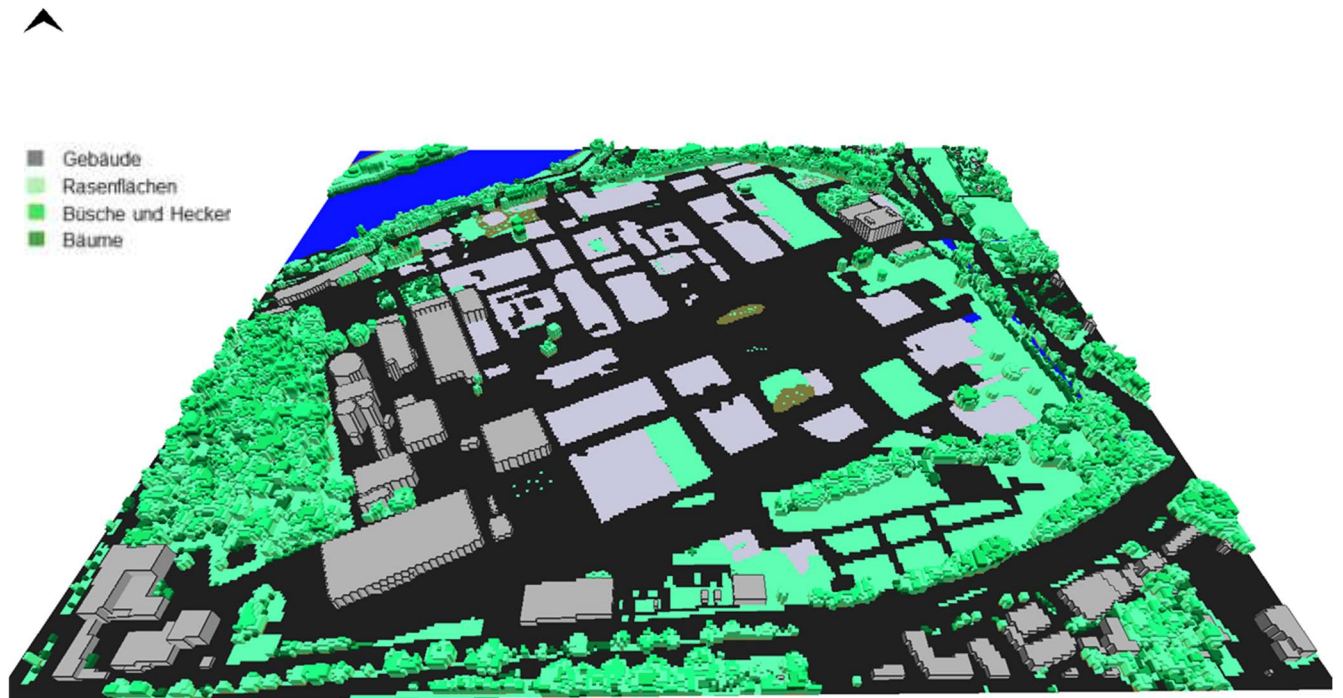


Abb. 12 Modellgebiet im IST-Zustand für die mikroklimatischen Simulationen

### 2. Modell des Plan-Szenarios im Worst-Case:

Industrie- und Gewerbefläche mit den geplanten Gebäuden und Wegeverbindungen, minimale Begrünung, weitgehender Erhalt des Bestandsgrüns, keine Dachbegrünungen (Modell für die Klimasimulation siehe Abb. 13).

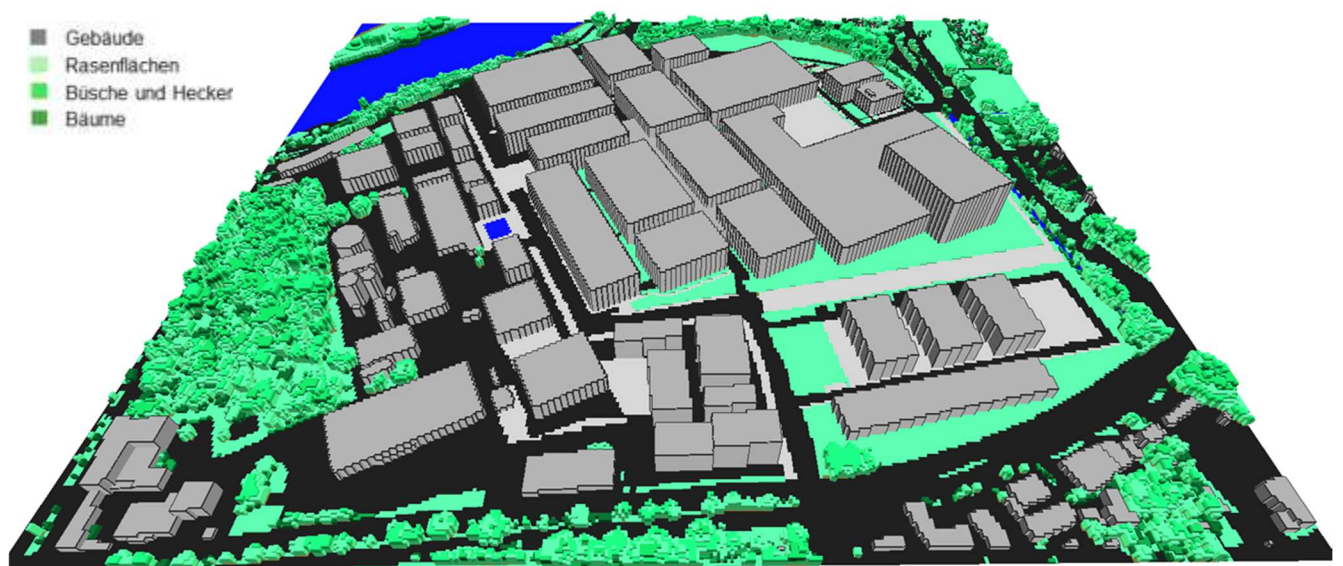


Abb. 13 Modellgebiet im Worst-Case Plan-Szenario für die mikroklimatischen Simulationen

### 3. Modell des begrünten Plan-Szenarios:

Industrie- und Gewerbefläche mit den geplanten Gebäuden und Wegeverbindungen, weitreichende zusätzliche Begrünung der Straßenräume und des Gebäudeumfeldes, maximal mögliche Begrünung von Dachflächen, weitgehender Erhalt des Bestandsgrüns, Aufforstung von Lichtungen im Bestand der Parkanlage zwischen Industrie- und Gewerbegebiet und Friedhofstraße (Modell für die Klimasimulation siehe Abb. 14).

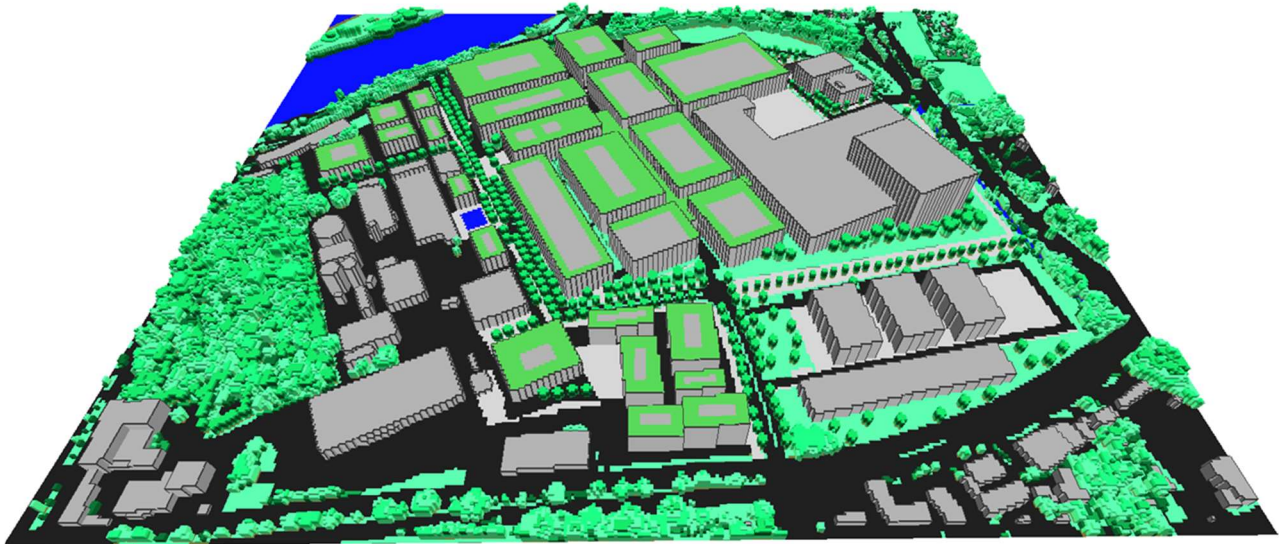


Abb. 14 Modellgebiet im begrünten Plan-Szenario für die mikroklimatischen Simulationen

Der Vergleich des Plan-Szenarios mit dem IST-Zustand ermöglicht die Beurteilung der bestehenden klimatische Eigenschaften und die durch eine Umgestaltung der Flächen entstehenden Veränderungen. Um deutlich herausarbeiten zu können, welche Effekte durch die geplanten Begrünungen sowohl des Umfeldes der Gebäude wie auch der Gebäude selbst erreicht werden können, wurden zwei verschiedene Plan-Szenarien gerechnet. Im Worst-Case Szenario beschränkt sich die Begrünung im Modell weitgehend auf das Bestandsgrün. Eine optimale Grünausstattung mit Baumalleen, Begrünungen des Gebäudeumfeldes und der Dächer, dort wo es technisch möglich ist, zeigt im Vergleich zum Worst-Case Szenario die möglichen klimatischen Verbesserungen.

#### 4.1 DIE MIKROKLIMATISCHE SITUATION DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHE IM IST-ZUSTAND

Während tagsüber die direkte Sonneneinstrahlung die größte Belastung für den Menschen darstellt, sind in der Nacht die Belüftung und die Absenkung der Lufttemperaturen die entscheidenden Faktoren zur Beurteilung der Hitzebelastung. Zur Beurteilung der Belüftung werden die **Windströmungen** um 15 Uhr MEZ in 10 m Höhe betrachtet (Abb. 15).

Im IST-Zustand wird die unbebaute Brachfläche bei einem vorgegebenen Ausgangswind von 1,5 m/s aus Ostnordost, entsprechend der Anströmung bei einer Hitzewetterlage, erwartungsgemäß sehr gut überströmt. Schon das Pelletwerk bremst im IST-Zustand die Windgeschwindigkeit deutlich auf unter 0,5 m/s ab. In dem sich westlich anschließenden Wäldchen im Lee der Bestandsgebäude herrscht nahezu Windstille. Für die Offenbacher Innenstadtrandbereiche relevante Luftströme von Ost nach West gibt es entlang des Mains und am südlichen Rand des Innovationscampus im Bereich der Mühlheimer Straße.

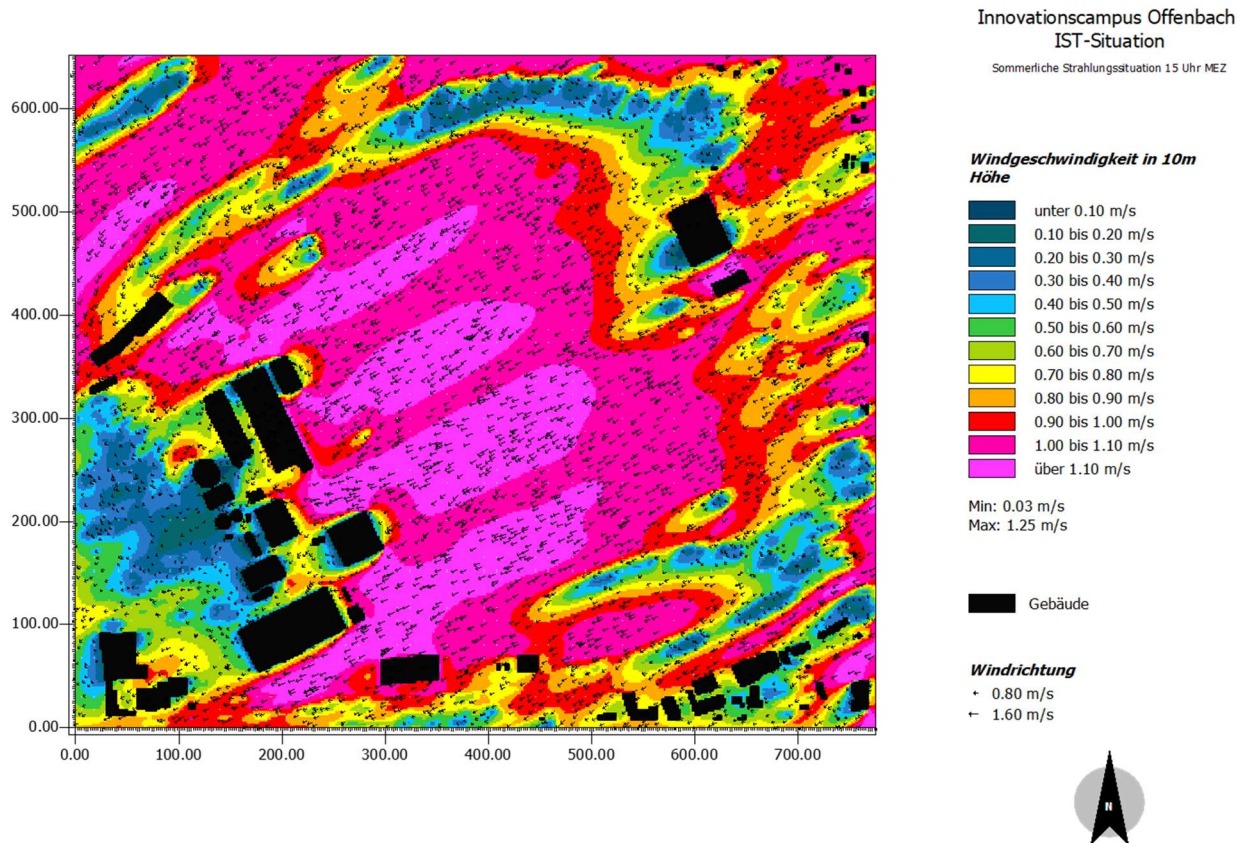


Abb. 15 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im IST-Zustand: Windströmung in 10 m Höhe bei Anströmung aus Ostnordost

Ausgangspunkt für eine mögliche Überwärmung eines Gebietes sind die **Temperaturen der Oberflächen**. Diese heizen sich je nach Material und Farbe tagsüber bei Sonneneinstrahlung mehr oder weniger stark auf und geben die Energie an die darüber liegenden Luftschichten ab. Unversiegelte, feuchte oder beschattete Flächen erreichen deutlich geringere Oberflächentemperaturen.

Am kältesten mit unter 22 °C bleiben im Modellgebiet die Oberflächentemperaturen des Mains (Abb. 16). Auf den unbeschatteten und größtenteils versiegelten Flächen der Industriebrache im IST-Zustand und auf den asphaltierten Verkehrsflächen der Straßen im Bestand steigen die Oberflächentemperaturen tagsüber auf bis zu 42 °C. Durch Gebäude beschattete Flächen sind rund 8 Grad kühler und in den Bereichen mit ausgedehnter Vegetationsverschattung liegen die Werte bei nur 26 °C bis 32 °C. Unversiegelte Freiflächen ohne Beschattung, wie das Vitrinen-Grundstück nördlich der Mühlheimer Straße im IST-Zustand und einige wenige Flächen auf der Brache des Innovationscampus-Gelände, weisen Oberflächentemperaturen von rund 30 °C bis 34 °C auf.

Insgesamt ist die Untersuchungsfläche im IST-Zustand tagsüber sehr stark aufgeheizt. Positiv zu sehen sind nur randliche Bereiche mit Beschattungen durch Baumbestand.

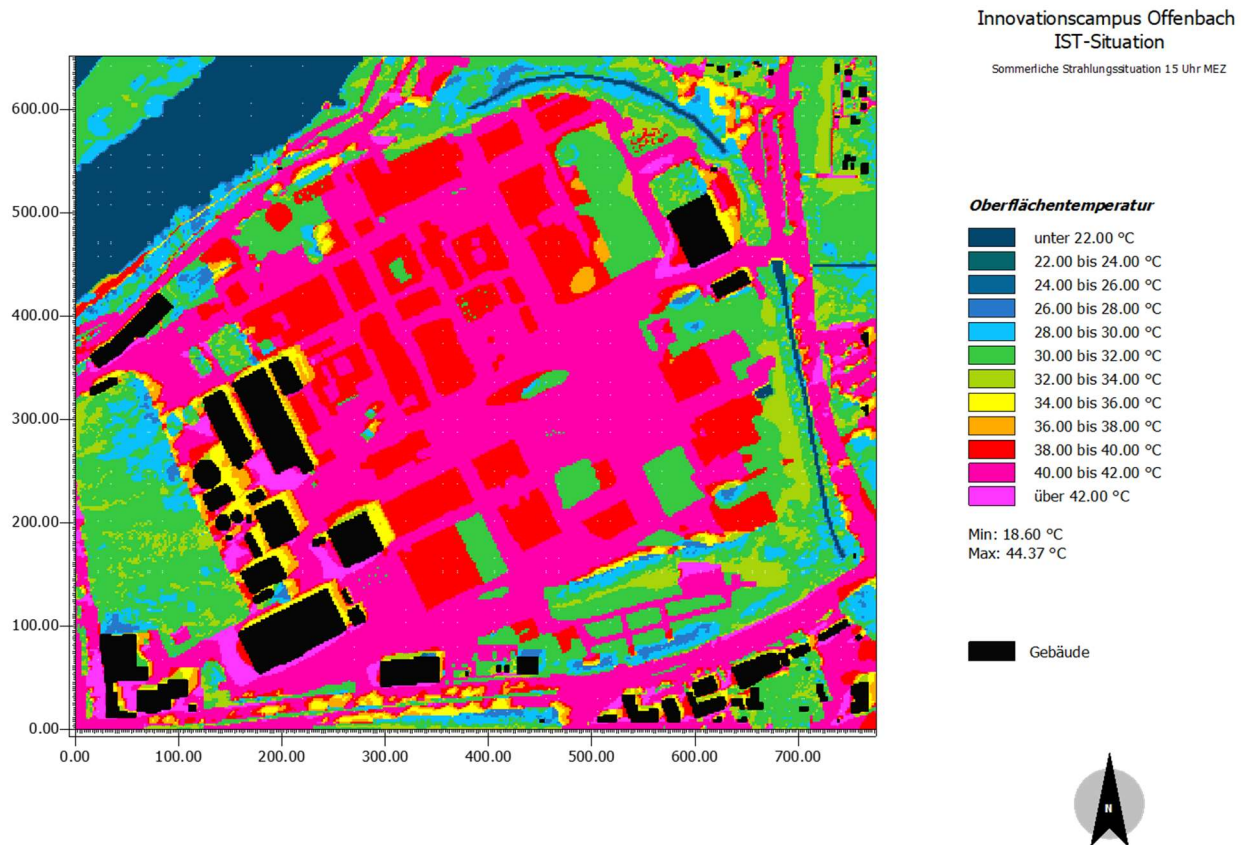


Abb. 16 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im IST-Zustand: Oberflächentemperaturen um 15 Uhr

Das Zusammenspiel von Oberflächentemperaturen, Sonnenenergiespeicherung in den Materialien und Belüftung bildet die Grundlage für die Ausprägungen der **Lufttemperaturen** tagsüber und in der Nacht.

Im gesamten Untersuchungsgebiet treten die höchsten Werte für die Lufttemperaturen in 2 m Höhe im IST-Zustand um 15 Uhr MEZ (Abb. 17) im Bereich der asphaltierten Flächen auf der Industriebrache auf. Trotz guter Durchlüftung heizt sich die Luft über den sehr heißen Oberflächen (siehe Abb. 16) auf über 33 °C auf (orange bis lila Bereiche in der Abb. 17). Über der gesamten unbebauten Brachfläche liegen die Lufttemperaturen an einem heißen Sommertag über 32 °C. Die von Osten über das Gelände des Innovationscampus strömenden Luftschichten werden entsprechend aufgeheizt und haben am Westrand keine Kühlfunktion mehr.

Tagsüber werden auch über unversiegelten Freiflächen durch die ungehinderte Sonneneinstrahlung hohe Lufttemperaturwerte erreicht. Nur über den im IST-Zustand vorhandenen Vegetationsflächen mit Baumbestand liegen die Lufttemperaturen um bis zu 2 Grad niedriger. Am kühlfsten mit Lufttemperaturen unter 30 °C ist nur der Bereich des Mainlaufes. Hier bleibt die Kühlfunktion der Belüftung aus Osten erhalten.

Nachts (Abb. 18) bleibt das Muster der Lufttemperaturen weitgehend gleich bei insgesamt niedrigeren Temperaturen und geringeren absoluten Temperaturunterschieden zwischen den verschiedenen Flächen. Die Parkanlage westlich der Industrie- und Gewerbefläche hat im Vergleich zu anderen Flächen mit Bäumen eine etwas höhere Lufttemperatur, da die über der Brachfläche aufgeheizte Luft mit der Strömung aus Ostnordost in diesen Bereich hinein wirkt. Damit muss diesem Bereich eine wichtige Pufferfunktion für die sich westlich anschließende Bebauung zugesprochen werden. Die aus dem Industrie- und Gewerbegebiet ausströmende warme Luft wird hier zurückgehalten und abgekühlt.

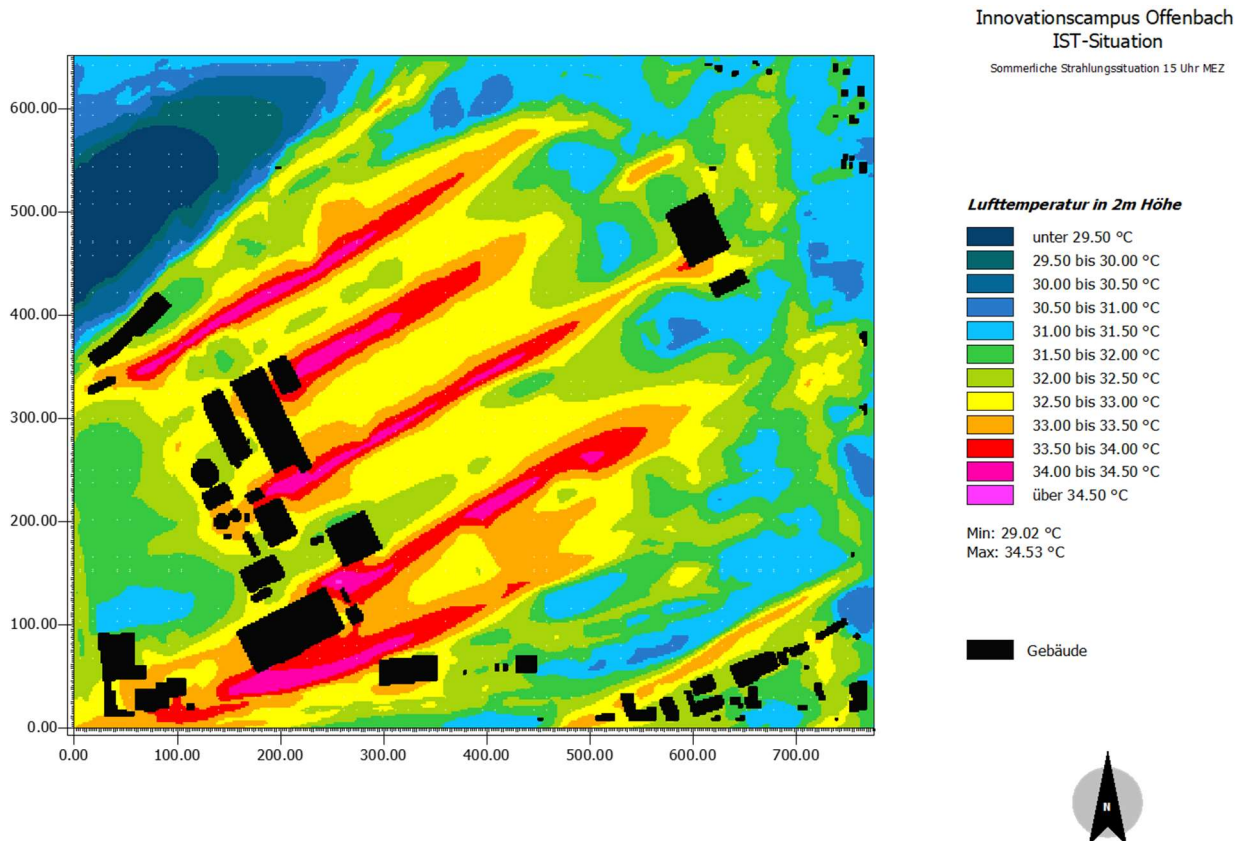


Abb. 17 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im IST-Zustand: Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 15 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost

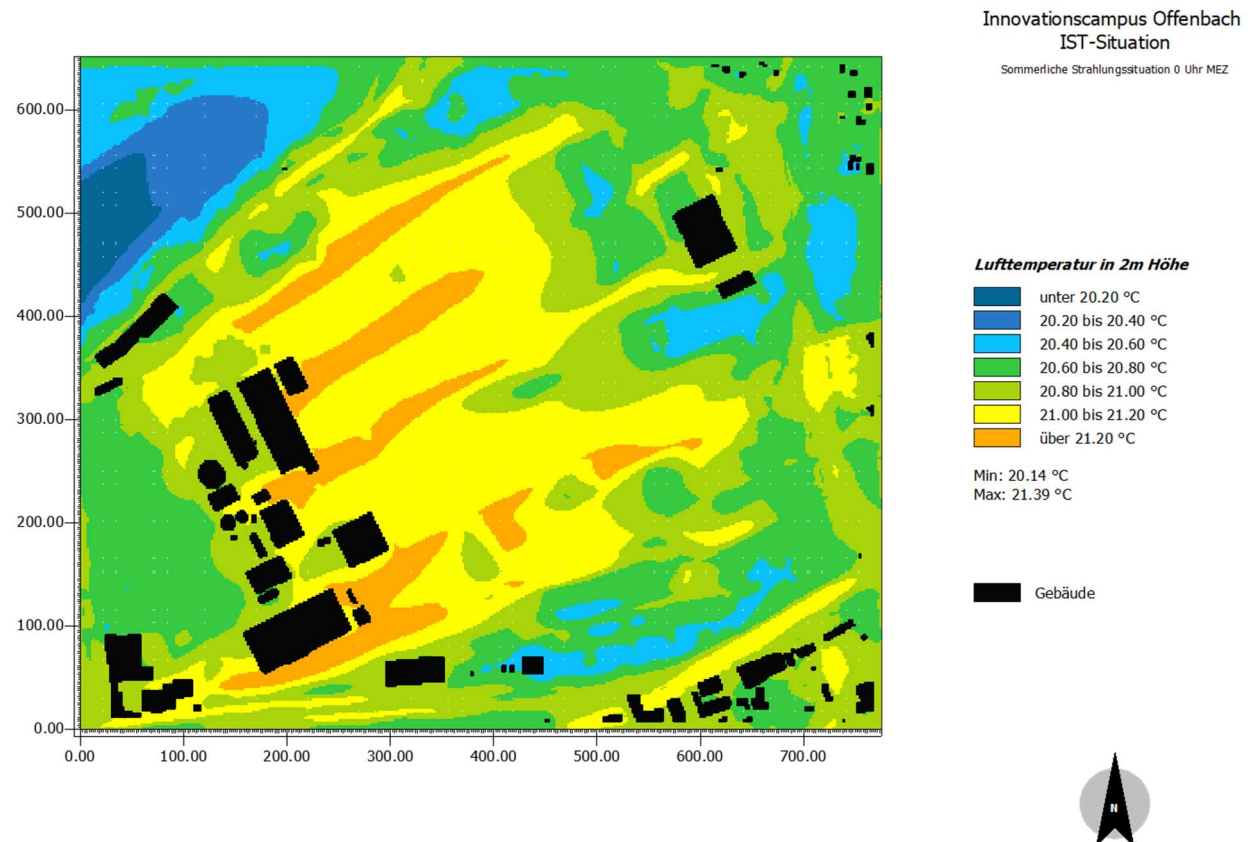


Abb. 18 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im IST-Zustand: Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost

Zur Beurteilung des **Bioklimas** in einem städtischen Umfeld wurde der PMV-Index herangezogen. PMV, 1972 vom dänischen Wissenschaftler Ole Fanger entwickelt, steht für „predicted mean vote“ (durchschnittliche erwartete Empfindung) und ist ein bioklimatischer Index, der die thermische Behaglichkeit oder Unbehaglichkeit eines Menschen widerspiegelt. Der Bioklima-Index ist sinnvoll, da die vom Menschen empfundene Wärmebelastung bzw. die wetterbedingte Belastung des Organismus nicht allein von der Lufttemperatur abhängt, sondern auch von anderen Einflussgrößen innerhalb des thermischen Wirkungskomplexes. Die wichtigsten Einflussgrößen, die zur Berechnung des PMV herangezogen werden, sind: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und die mittlere Strahlungstemperatur. Hinzu kommen noch die körperliche Aktivität des Menschen und der Wärmeleitwiderstand der Kleidung.

Der PMV-Wert reicht von -4 bis +4. Der Wert -4 wird als sehr kalt empfunden und der Wert +4 als sehr heiß mit einer extremen Belastung für den Organismus. Ein neutraler thermischer Komfort entspricht dem PMV-Wert 0. Dabei ist zu beachten, dass in diesem Kontext thermische Ausdrücke, wie etwa kühl, warm oder heiß in Verbindung mit dem entsprechenden PMV-Wert stehen und nicht allein mit der Lufttemperatur gleichzusetzen sind, sondern in diesem Falle eine Einordnung des Behaglichkeitsempfindens des Menschen auf der PMV-Skala darstellen.

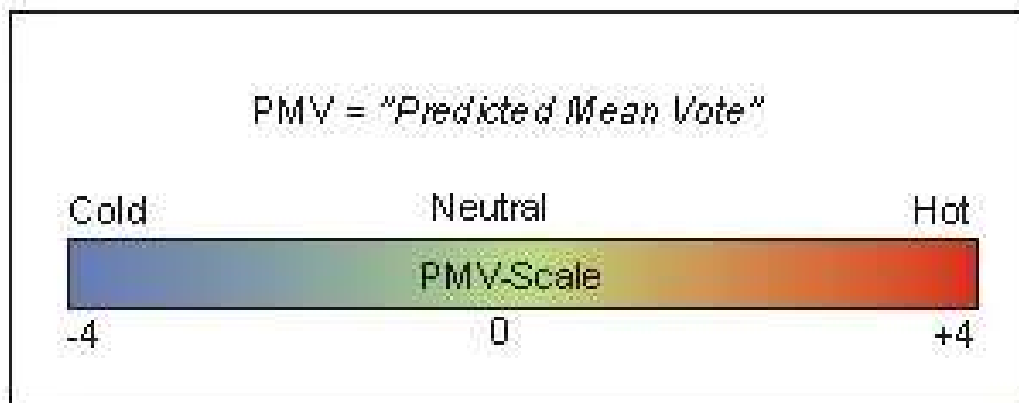


Abb. 19 Werteskala der PMV Grobeinteilung

Über den versiegelten Flächen sowie den weitläufigen Grünflächen ohne Verschattung werden in der IST-Situation (Abb. 20) sehr hohe bioklimatischen Belastungen mit PMV-Werten von über 3,8 (orange/rote Bereiche) erreicht. Diese Flächen stellen nach der PMV-Skala eine extreme Wärmebelastung dar. Die bioklimatische Situation der Planfläche im IST-Zustand ist aufgrund der weitgehend fehlenden Verschattung und der starken Besonnung durch eine durchgehend hohe bioklimatische Belastung mit PMV-Werten über 3 gekennzeichnet.

Nur im Bereich der baumbestandenen Flächen wird die Sonneneinstrahlung, aber auch die Durchlüftung verringert. Damit sind auch hier starke Wärmebelastungen mit PMV-Werten von 3 bis 3.5 festzustellen.

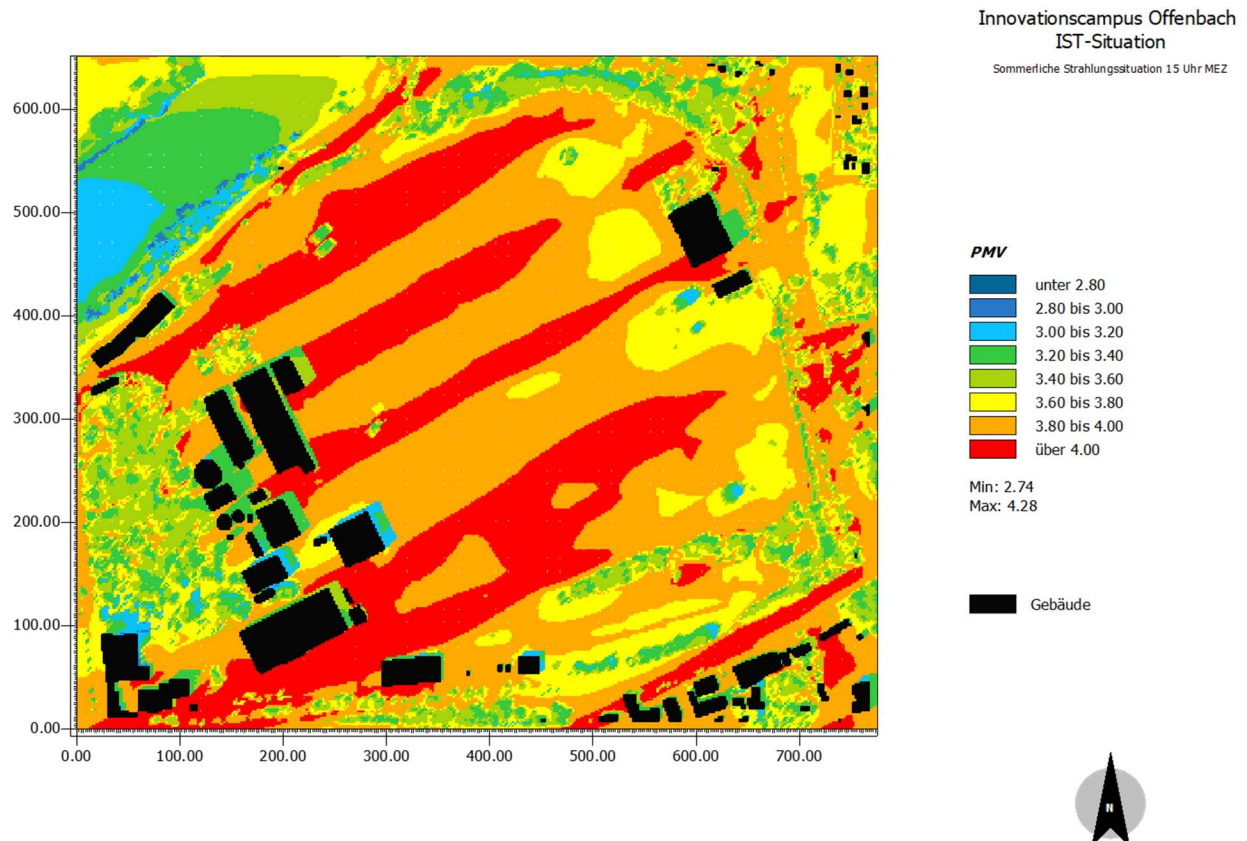


Abb. 20 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im IST-Zustand: PMV-Bioklimaindex um 15 Uhr

#### 4.2 DIE MIKROKLIMATISCHE SITUATION DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHE IM WORST-CASE PLAN-SZENARIO

Im Worst-Case Szenario wurden im Simulationsmodell die Industrie- und Gewerbeflächen mit den geplanten Gebäuden und Wegeverbindungen versehen. Die Begrünung im Modell beschränkt sich weitgehend auf das Bestandsgrün. Es wurden keine Dachbegrünungen vorgenommen. Das Modell ist in der Abbildung 13 auf Seite 13 dargestellt.

Durch die neuen Gebäude im Worst-Case Plan-Szenario (Abb. 21) wird die **Belüftung** innerhalb des Gebäudekomplexes stark reduziert und erreicht in den schmalen Zwischenräumen fast Windstille. Im Vergleich zwischen IST-Zustand und Worst-Case Plan-Szenario (Abb. 22) werden die Windgeschwindigkeiten innerhalb der Neubebauung um bis zu 1,2 m/s verringert. Im Lee der neuen Gebäude reicht die Verringerung der Windgeschwindigkeiten um rund 0,4 m/s bis zu 100 m in den Gebäudebestand am Westrand des Innovationscampus hinein. Aber schon im sich westlich anschließenden Wäldchen treten keine Veränderungen der Windgeschwindigkeiten mehr auf.

Die Südumströmungen des Innovationscampus-Geländes, die schon im IST-Zustand eine wichtige Belüftungsfunktion für die sich westlich und südwestlich anschließenden Offenbacher Stadtquartiere Lindenfeld und Buchhügel haben, werden durch Kanalisierungen nördlich und südlich des Gebäudekomplexes auf dem Vitrinen-Gelände lokal leicht verstärkt.

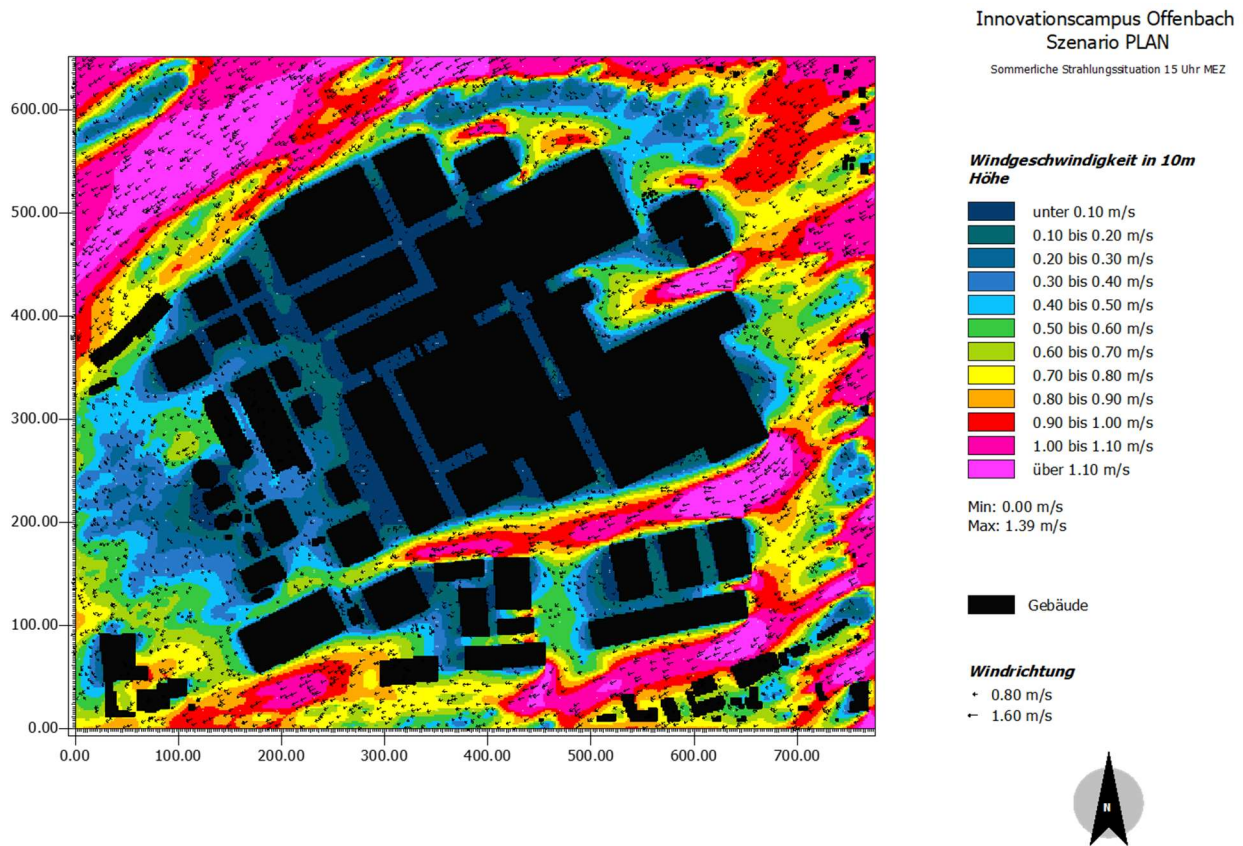


Abb. 21 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im Worst-Case Plan-Szenario: Windströmung in 10 m Höhe bei Anströmung aus Ostnordost

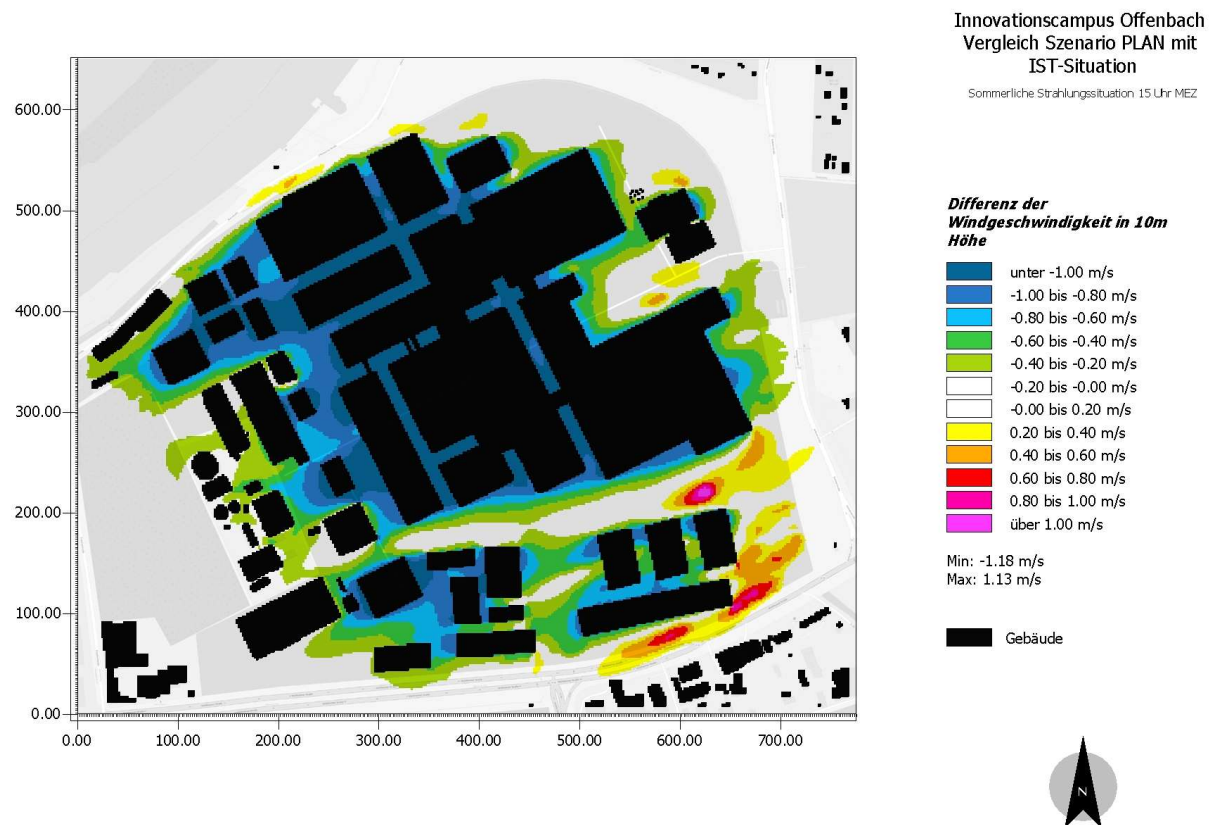


Abb. 22 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand bei Anströmung aus Ostnordost



Die Flächen im Untersuchungsgebiet erreichen tagsüber zum Teil sehr hohe **Oberflächentemperaturen** (Abb. 23) von über 40 °C auf den asphaltierten Verkehrsflächen. Durch Vegetation und Gebäude beschattete Flächen sind um rund 10 bis 14 Grad kühler. Die schmalen Gassen zwischen den neu geplanten Gebäuden auf dem Innovationscampus führen zu einer fast durchgehenden Verschattung der Wegeverbindungen im Laufe des Tages. Die neu geplante breite Straße, über die eine Nord-Süd-Verbindung von der Mainstraße zur Mühlheimer Straße erfolgt, heizt sich im Worst-Case Plan-Szenario stark auf, da die Sonne ungehindert auf die Oberflächen treffen kann. Hier ist eine Abschattung durch Baumalleen (siehe begrüntes Szenario, Kapitel 4.3) besonders wirkungsvoll.

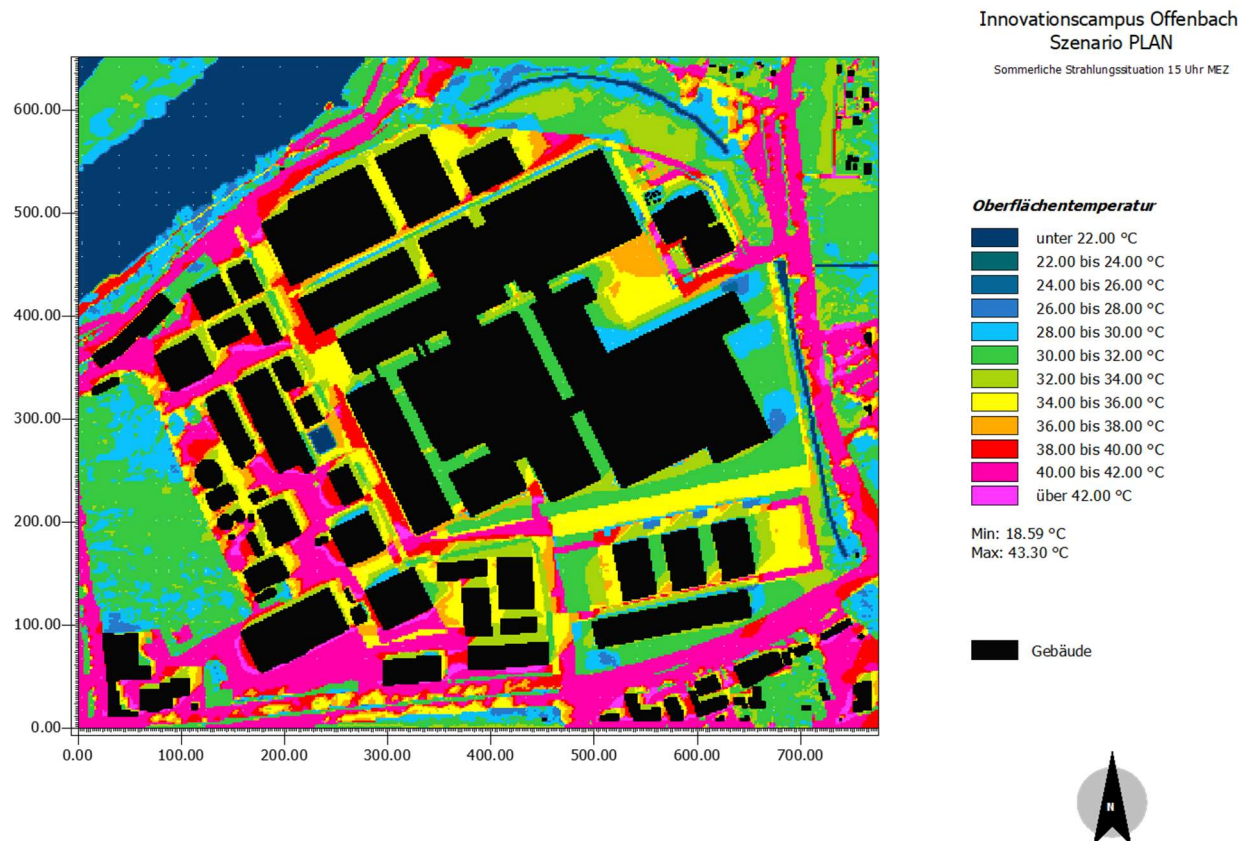


Abb. 23 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im Worst-Case Plan-Szenario: Oberflächentemperaturen um 15 Uhr

Die Differenzen des Worst-Case Plan-Szenarios zum IST-Zustand sind in der Abbildung 24 dargestellt. Durch die zusätzlichen Versiegelungen auf der bisherigen Brachfläche nehmen die Oberflächentemperaturen in diesen Bereichen an einem sonnigen Tag um bis zu 14 Grad zu. Die Mehrzahl der Flächen wird aber durch die vorgesehenen Bebauungen verschattet und hat weitgehend 5 bis 10 Grad niedrigere Oberflächentemperaturen (grüne Bereiche in der Abb. 24). Unbeschattete und schon im IST-Zustand auf der Brache versiegelte Flächen bleiben im Vergleich unverändert heiß.

Da heiße Oberflächen den Ausgangspunkt für eine Hitzebelastung bilden, sollte hier die Ausgangssituation durch geeignete Materialien wie hellere Oberflächen und durch eine Baumverschattung verbessert werden.

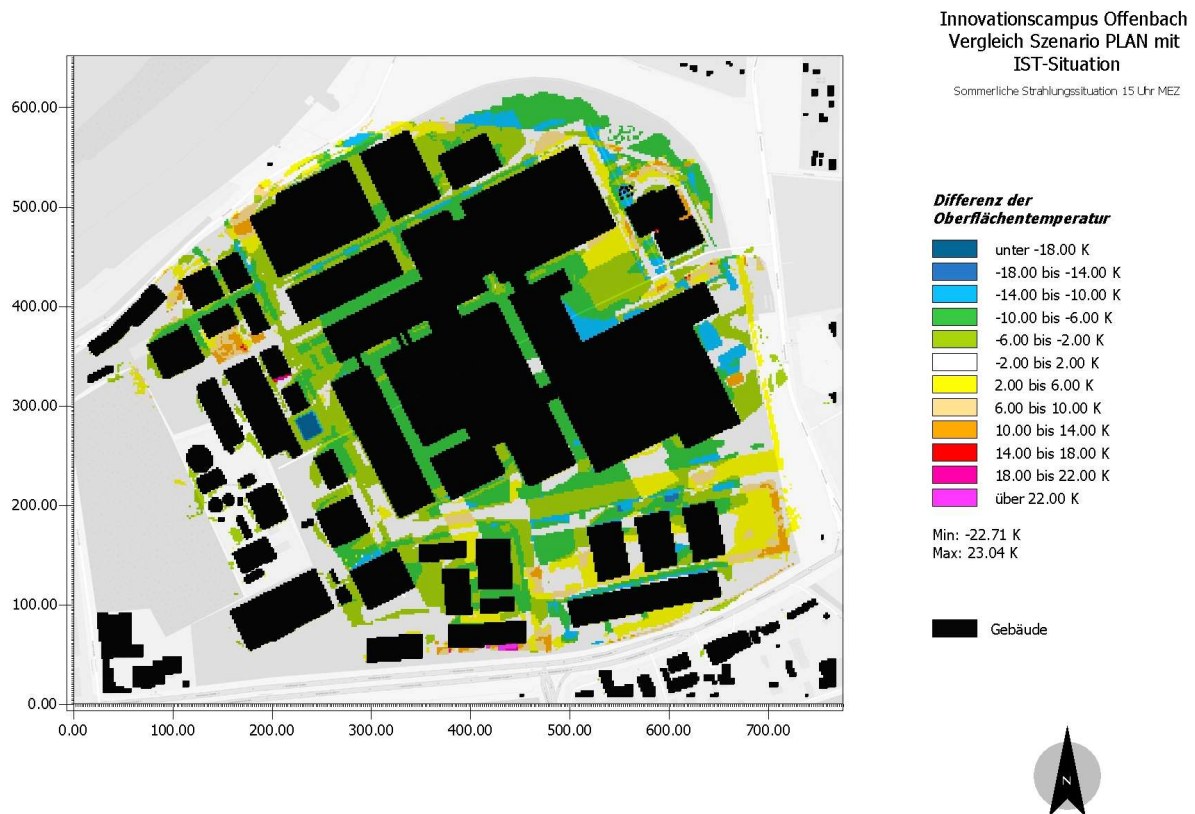


Abb. 24 Differenzen der Oberflächentemperaturen um 15 Uhr: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand

Die **Lufttemperaturen** tagsüber im Worst-Case Plan-Szenario und die Veränderungen zum IST-Zustand am Tag und nachts sind in den Abbildungen 25 bis 27 dargestellt. Im Bereich der geplanten Bebauung liegen die Lufttemperaturen weitgehend zwischen 31 und 32 °CC tagsüber (Abb. 25) und deutlich über 20 °C nachts. Besonnte Verkehrsflächen erreichen noch höhere Temperaturen. Insgesamt zeigt sich das gesamte Untersuchungsgebiet sowohl tagsüber wie auch nachts deutlich überwärmt. Durch Schattenwurf der Gebäude sind die Wegeverbindungen innerhalb der Gebäude etwas kühler, aber durch die Enge auch schlecht durchlüftet.

Die Differenzen zum IST-Zustand zeigen sowohl für den Tag (Abb. 26) als auch für die Nacht (Abb. 27) für weite Teile des Untersuchungsgebietes eine Verbesserung der thermischen Situation. Selbst im Worst-Case Plan-Szenario verringern sich die Lufttemperaturen am Tag im Umfeld der neu geplanten Bebauungen um rund zwei Grad, nachts noch um rund 0,5 Grad. Die Veränderungen der nächtlichen Lufttemperaturen (Abb. 27) sind aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung geringer und beruhen nur noch auf der Wärmespeicherung der unterschiedlichen Flächennutzungen. Das Temperaturniveau in der Neubebauung liegt durch die weitreichenden Verschattungen der Flächen deutlich unter dem der Brachfläche des IST-Zustandes. Die kühlere Luft wird durch die Windströmung aus Ostnordost über das neu bebaute Gebiet hinaus bis in die sich westlich anschließende Parkanlage und weiter in die Bestandsbebauung getragen. Hier liegen die Lufttemperaturen am Tag noch um rund ein Grad niedriger als im IST-Zustand. Nachts ist der Abkühleffekt mit rund 0,3 Grad geringer und er reicht nicht mehr so weit in den Bestand nach Osten hinein.

Eine Erwärmung um bis zu einem Grad findet nur in den offenen, besonnten Bereichen statt. Das betrifft die große versiegelte Funktionsfläche am östlichen Rand des Innovationscampus und die Bereiche auf dem Vitrienen-Grundstück, die im IST-Zustand eine gute Bestandsvegetation hatten. Insbesondere über dem südlich des Vitrienen-Grundstücks liegenden Abschnitt der Mühlheimer Straße erwärmt sich die Luft tagsüber um bis zu 1,2 Grad. Allerdings lagen für diesen Bereich noch keine detaillierten Planungen vor, sodass durch Begrünungen auch an dieser Stelle die Erwärmung zurückgefahren werden könnte.

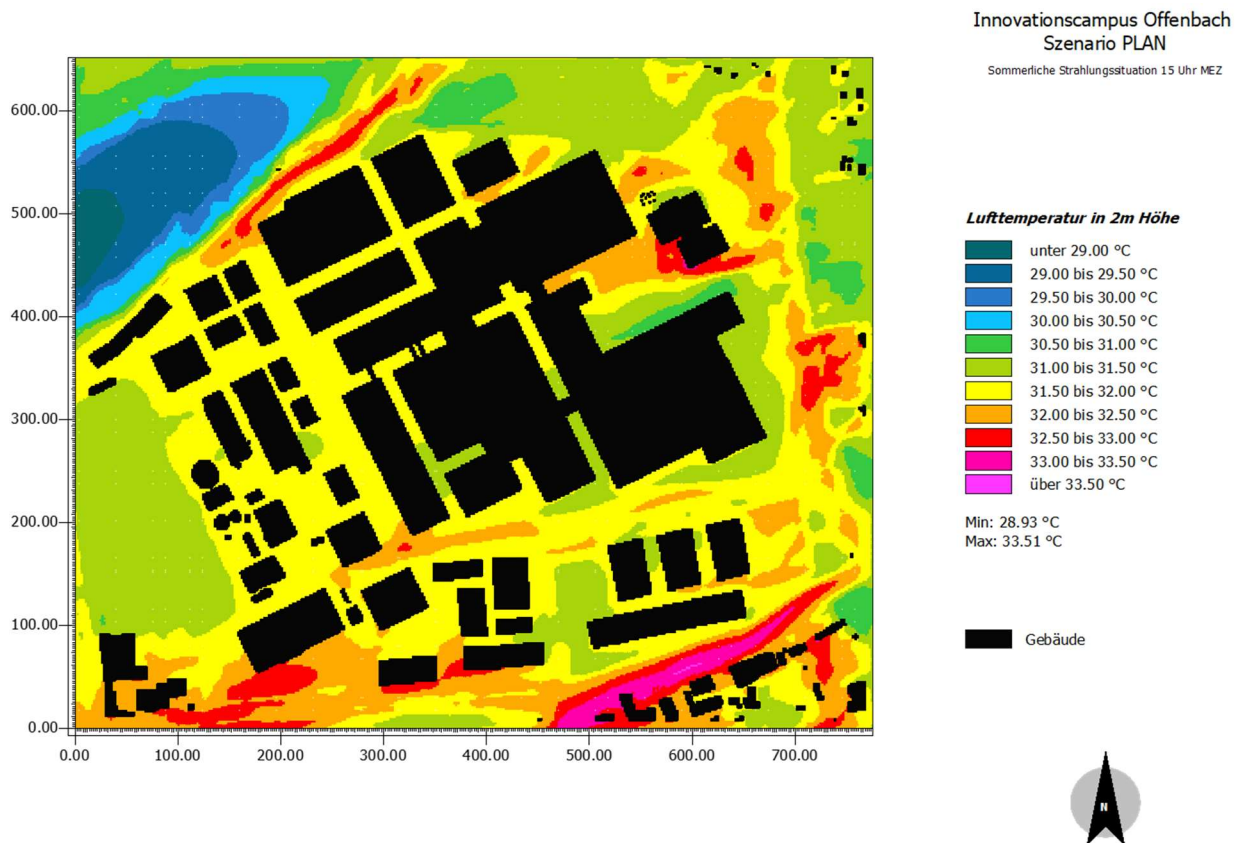


Abb. 25 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im Worst-Case Plan-Szenario: Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 15 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost

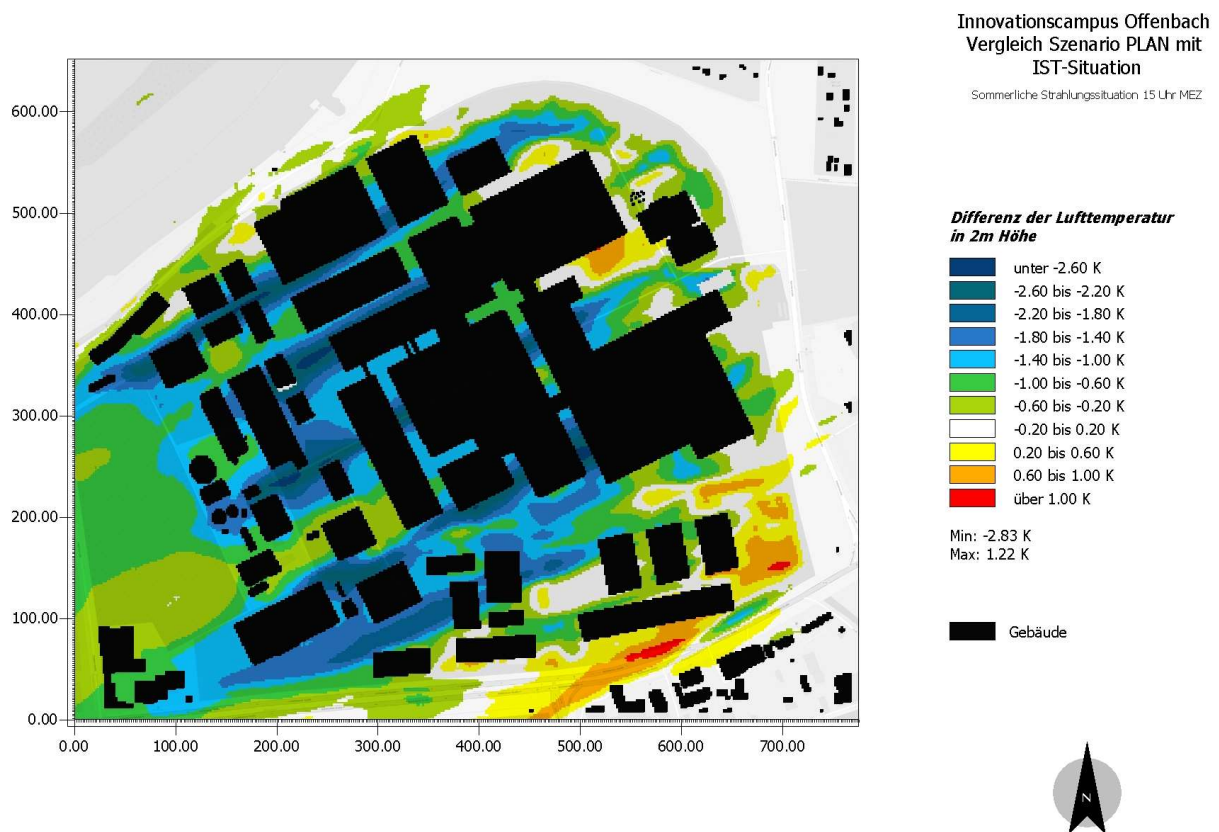


Abb. 26 Differenzen der Lufttemperaturen um 15 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand

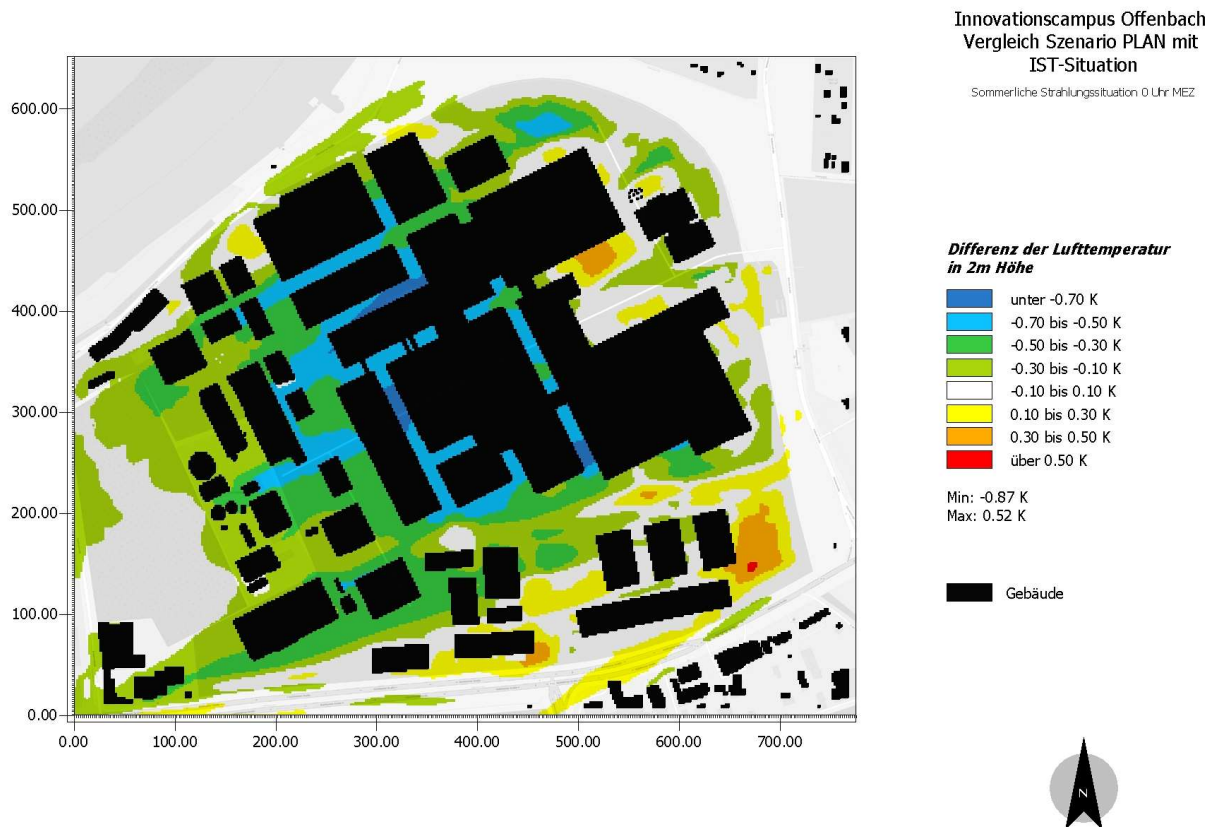


Abb. 27 Differenzen der Lufttemperaturen um 0 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand

Der hohe Anteil an versiegelten Flächen und die starke Sonneneinstrahlung führen zu einer sehr hohen bioklimatischen Belastung im Straßenraum und auf den verbliebenen Freiflächen mit **PMV-Werten** von über 3,6 (gelbe bis rote Bereiche in der Abb. 28). Diese Flächen stellen nach der PMV-Skala eine sehr starke bis extreme Wärmebelastung dar. Die verschatteten Flächen zwischen den Gebäuden weisen leicht reduzierte PMV-Werte zwischen 2,7 und 3 auf, welches noch immer einer starken Wärmebelastung entspricht und vom Menschen als heiß empfunden wird. In den Bereichen mit Baumbestand werden aufgrund der lückenhaften Bepflanzung auch noch PMV-Werte über 3 erreicht.

Auf den durch die neuen Gebäude verschatteten Flächen im Plan-Szenario verringern sich die PMV-Werte um bis zu 1,3 im Vergleich zum IST-Zustand (Abb. 29). Nur die Südostecke des Modellgebietes zeigt eine leichte Erhöhung der PMV-Werte, bedingt durch die Veränderung der Bestandsvegetation aus dem IST-Zustand. Da die Abschwächung der Hitzebelastung am Tag in erster Linie durch eine Beschattung erreicht wird, wird die Situation im bebauten Zustand immer in den Bereichen mit Hausverschattung verbessert und in den Bereichen mit Reduzierung der Vegetation des IST-Zustandes verschlechtert.

Nachts macht sich bei der Betrachtung der PMV-Wert-Differenzen (Abb. 30) die durch die Bebauung verringerte nächtliche Abkühlung bemerkbar. Fast flächendeckend steigen die PMV-Werte zwischen den neuen Gebäuden leicht um bis zu 0,3 an. Die nächtliche bioklimatische Belastung spielt aber für Industrie- und Gewerbeflächen im Gegensatz zu Wohnvierteln keine Rolle. Zudem haben die Auswertungen der Belüftung und der Lufttemperaturen gezeigt, dass die Wärme nicht aus dem Industrie- und Gewerbegebiet in die weitere Umgebung herausgetragen wird.

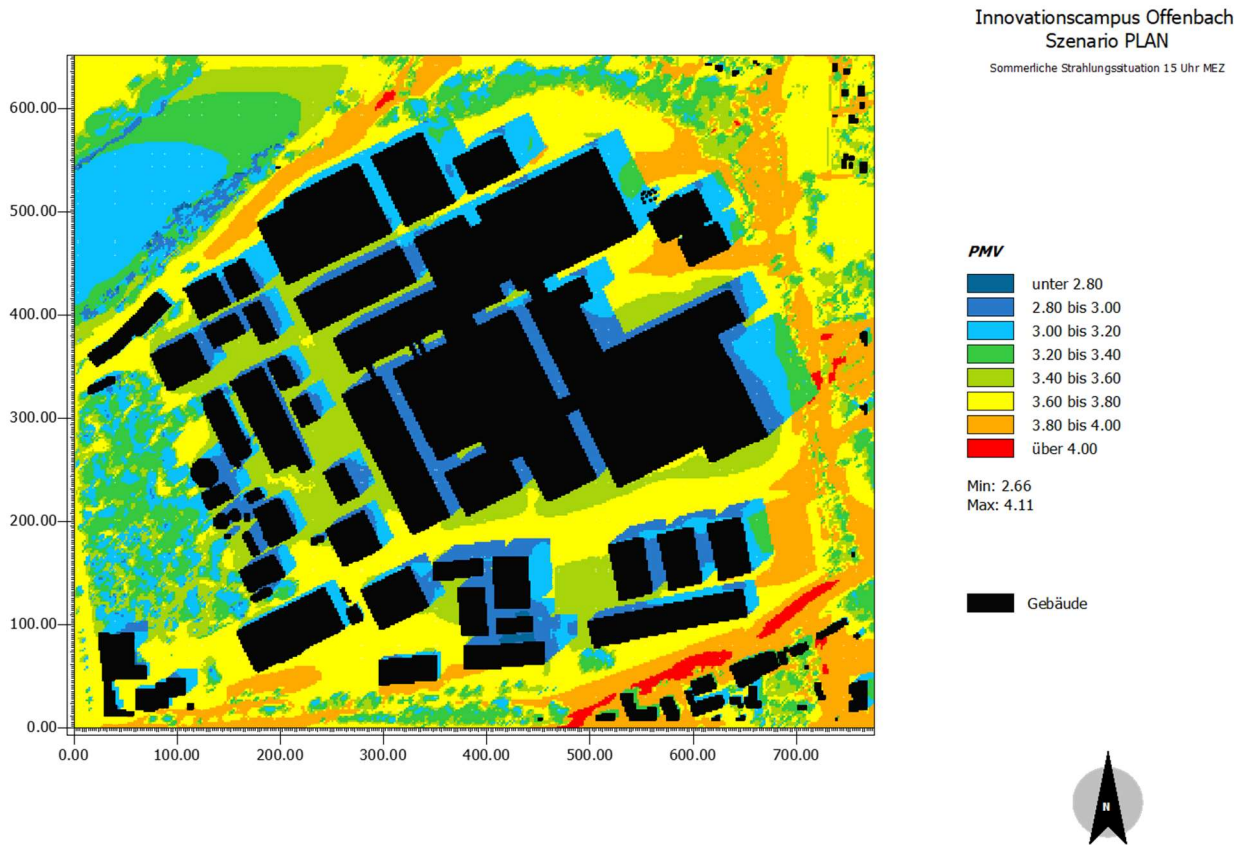


Abb. 28 Ergebnis der Berechnungen für die mikroklimatische Situation im Worst-Case Plan-Szenario: PMV-Bioklimaindex um 15 Uhr

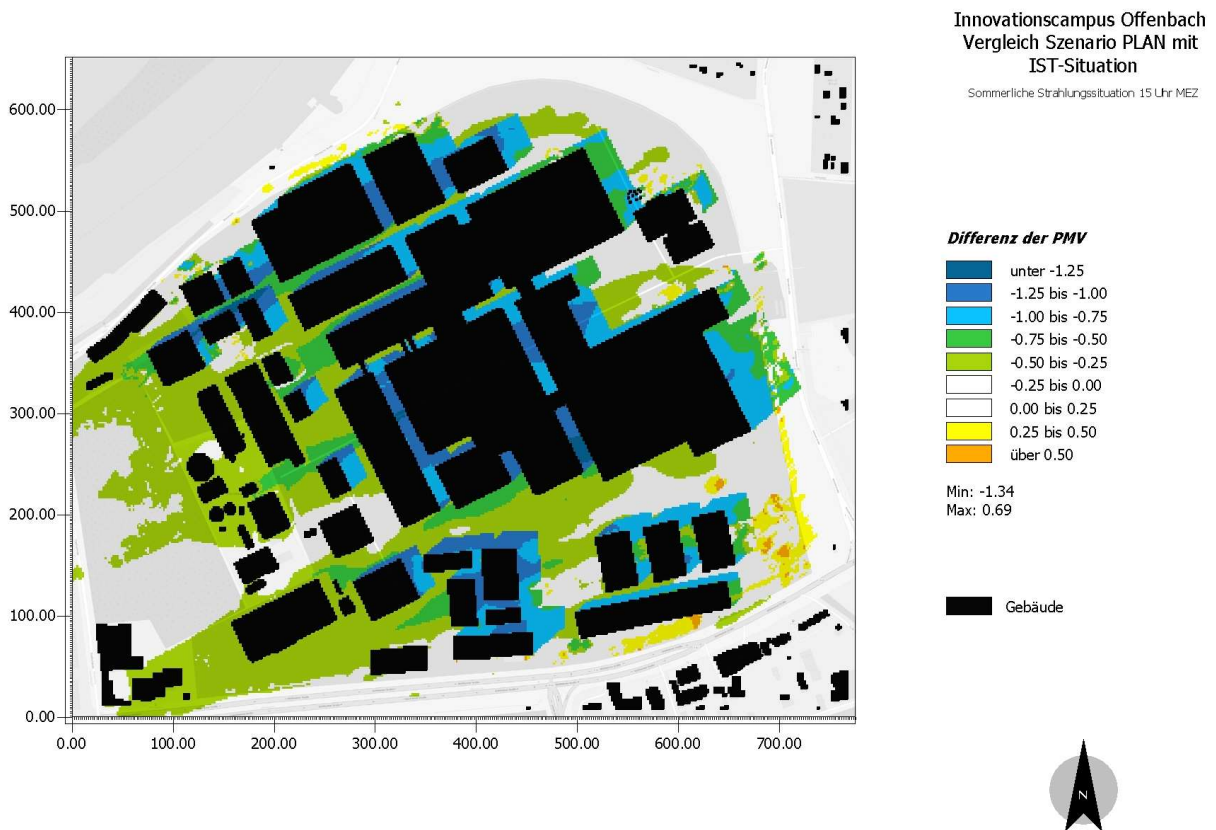


Abb. 29 Differenzen des PMV-Bioklimaindex um 15 Uhr: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand

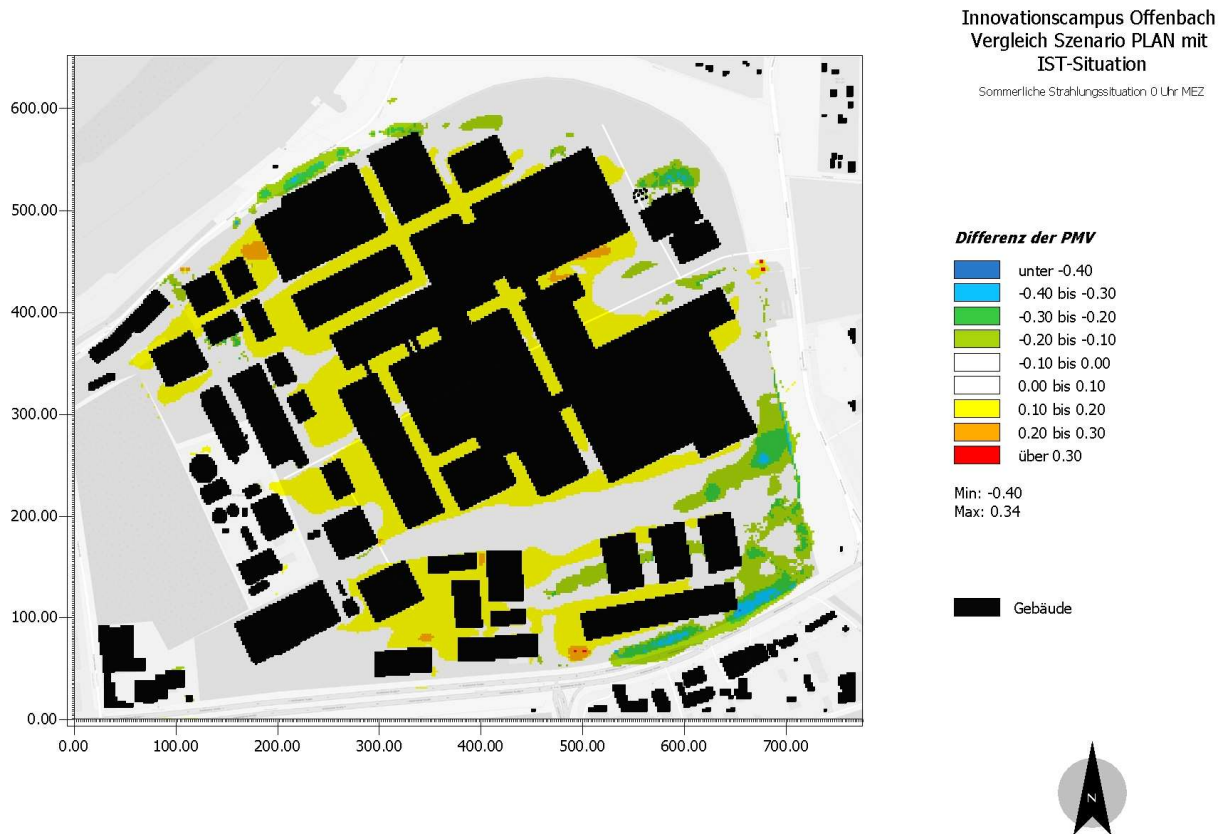


Abb. 30 Differenzen des PMV-Bioklimaindex um 0 Uhr: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand

### 4.3 DIE MIKROKLIMATISCHE SITUATION DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHE IM BEGRÜNTEM PLAN-SZENARIO

Um deutlich herausarbeiten zu können, welche Effekte durch die geplanten Begrünungen sowohl des Umfeldes der Gebäude wie auch der Gebäude selbst erreicht werden können, wurde ein begrüntes Plan-Szenario gerechnet. Hierzu wurde wie im Worst-Case Plan-Szenario die Industrie- und Gewerbe- fläche mit den geplanten Gebäuden und Wegeverbindungen in die IST-Situation eingebaut. Zusätzlich wurden weitreichende Begrünungen der Straßenräume und des Gebäudeumfeldes, maximal mögliche Begrünung von Dachflächen, weitgehender Erhalt des Bestandsgrüns, und eine Aufforstung von Lich- tungen im Bestand der Parkanlage zwischen Industrie- und Gewerbegebiet und Friedhofstraße vorge- nommen. Das Modell für die Klimasimulation ist in der Abbildung 14 auf Seite 14 dargestellt.

Die Veränderungen der **Windverhältnisse** durch die eingefügten Begrünungen, insbesondere durch Baumalleen, werden in der Höhe von 2 m besonders deutlich (Abb. 31). Entlang der Ost-West verlau- fenden Straßen werden die Windgeschwindigkeiten deutlich herabgesenkt. Auch im Bereich der virtuell vorgenommenen Aufforstungen in der Parkanlage westlich des Industrie- und Gewerbegebietes verrin- gern sich die Windgeschwindigkeiten etwas. Die durch Baumpflanzungen reduzierte Belüftung ist aber nur lokal begrenzt wirksam und beeinflusst die Geschwindigkeiten der über das Gebiet hinweggehen- den Luftströmungen nicht.

Die stark durch Bäume begrünte Nord-Süd verlaufende Straße zeigt dagegen keine Reduzierung des Luftaustausches. Dies ist ein wichtiger Hinweis, da gerade hier durch die Sonneneinstrahlung von Süden im unbegrünten Zustand eine hohe Aufheizung erfolgt.

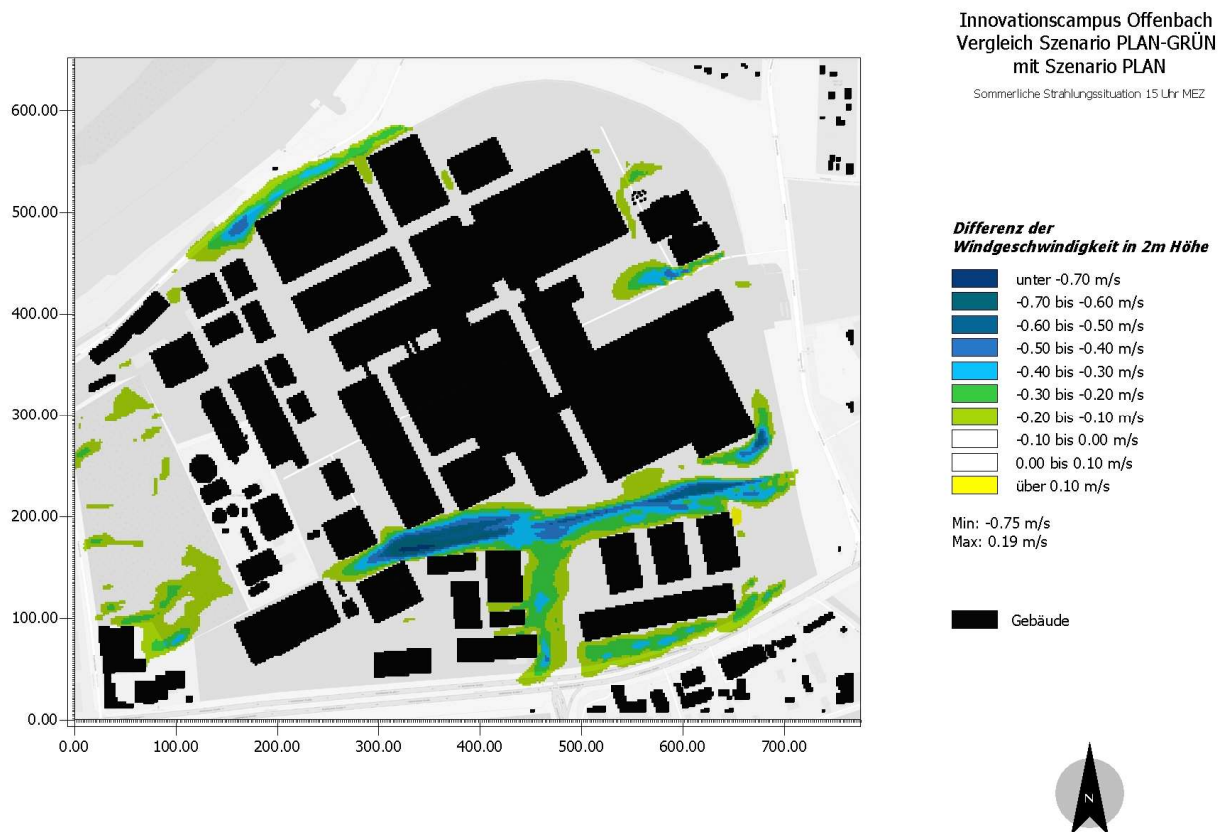


Abb. 31 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 2 m Höhe bei Anströmung aus Ostnordost: begrüntes Plan-Szenario minus Worst-Case Plan-Szenario

Die Differenzen der **Oberflächentemperaturen** im begrüntem Szenario im Vergleich zum Worst-Case Plan-Szenario sind in der Abbildung 32 dargestellt. Versiegelte und jetzt durch Bäume beschattete (Straßen-)Räume heizen sich deutlich, um bis zu 12 Grad weniger auf. Insbesondere die neu geplante breite Straße, über die eine Nord-Süd-Verbindung von der Mainstraße zur Mühlheimer Straße erfolgt, zeigt sehr viel geringere Oberflächentemperaturen, da die Sonne nicht mehr ungehindert auf die Oberflächen treffen kann. Hier ist eine Abschattung durch Baumalleen besonders wirkungsvoll, da auch die Belüftung nicht durch die Bäume eingeschränkt wird (siehe auch Abb. 31) und kaum Abschattungen durch Gebäude stattfindet.

Die Funktionsfläche am östlichen Rand des Gebäudekomplexes weist unverändert hohe Oberflächentemperaturen auf, da hier aus Gründen der Nutzungsanforderungen keine Begrünungen vorgesehen sind.

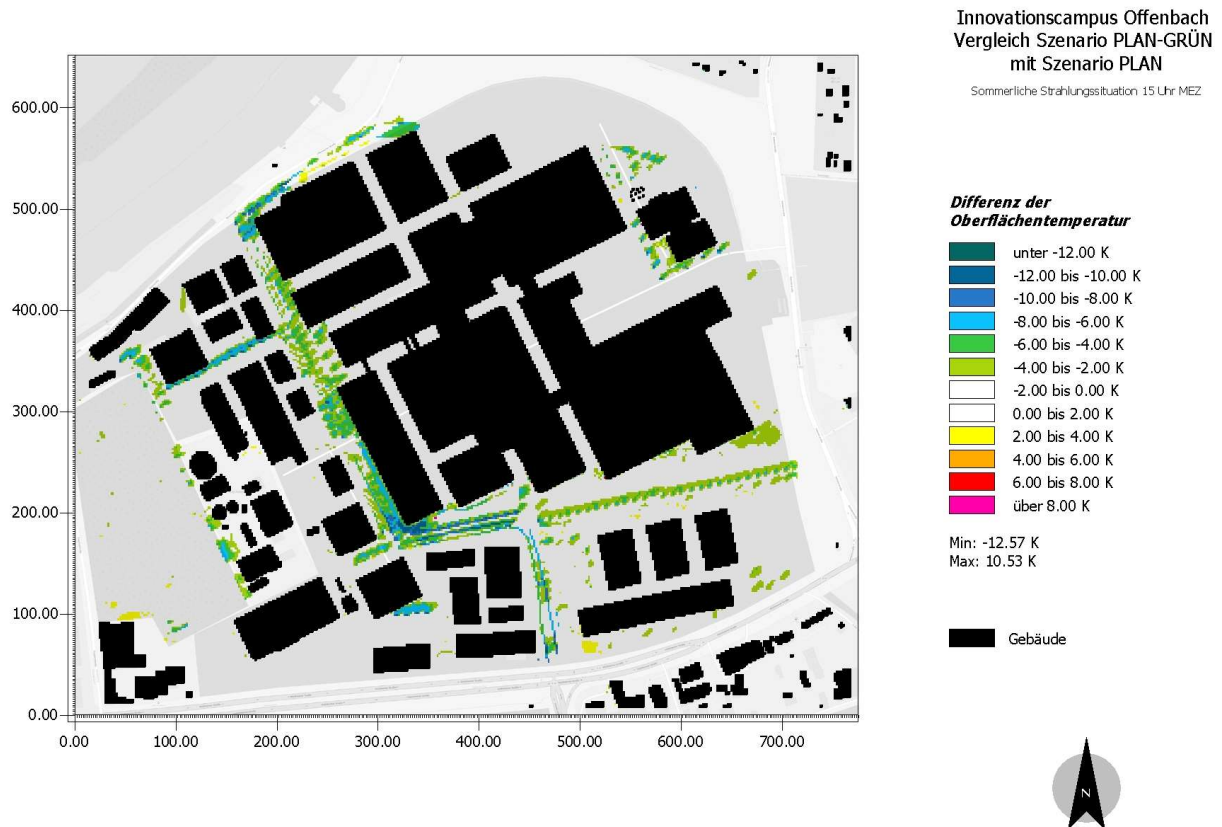


Abb. 32 Differenzen der Oberflächentemperaturen um 15 Uhr: begrüntes Plan-Szenario minus Worst-Case Plan-Szenario

Die verminderte Aufheizung der Oberflächen führt in Folge auch zu deutlich niedrigeren **Lufttemperaturen** im Untersuchungsgebiet (Abb. 33). Tagsüber können durch Begrünungen, insbesondere durch Bäume im Straßenraum, die Lufttemperaturen um bis zu 1,2 Grad abgesenkt werden. In Strömungsrichtung ist eine kühle Luftfahne erkennbar, die teilweise sogar über die westliche Parkanlage hinaus wirksam ist. Besonders positiv wirkt sich die Verschattung durch Vegetation aus, da hier zusätzlich zur Verschattung, die auch Gebäude erreichen, eine Abkühlung durch die Evapotranspiration der Pflanzen und durch eine bessere Belüftung erfolgen kann.

Die positive Wirkung der Dachbegrünungen kann an einem Temperaturschnitt knapp über dem mittleren Dachniveau, auf 27 m Höhe, gezeigt werden (Abb. 34). Über den mit mindestens 60 % begrünten Dachflächen bildet sich ein Kaltluftsee aus, hier ist die Luft um rund ein halbes Grad kühler als über den unbegrüneten Dachflächen. Aufgrund der Höhe und der hier etwas höheren Windgeschwindigkeiten wird diese kühlere Luft nach Westen weit über den Modellrand hinaus in den Bestand hinein wirksam.

Insgesamt wirken die vorgesehenen Durchgrünungen der neuen Grundstücke, des Straßenraums und der Hausdächer einer stärkeren Aufheizung durch die Bebauungen entgegen. Das Temperaturniveau im begrüneten Plan-Szenario liegt deshalb tagsüber um bis zu einem Grad unter dem des Worst-Case Plan-Szenarios und um teilweise über 3 Grad unter dem des IST-Zustandes.



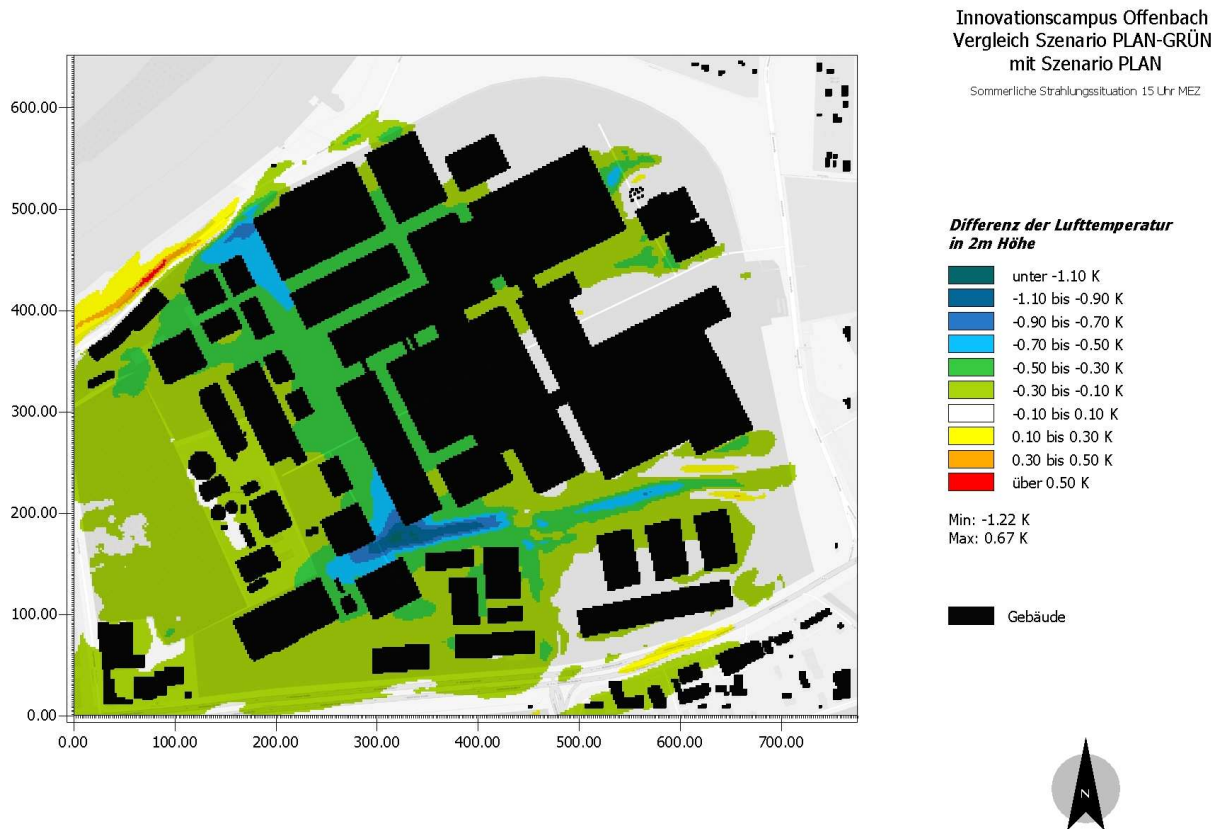


Abb. 33 Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 15 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost: begrüntes Plan-Szenario minus Worst-Case Plan-Szenario

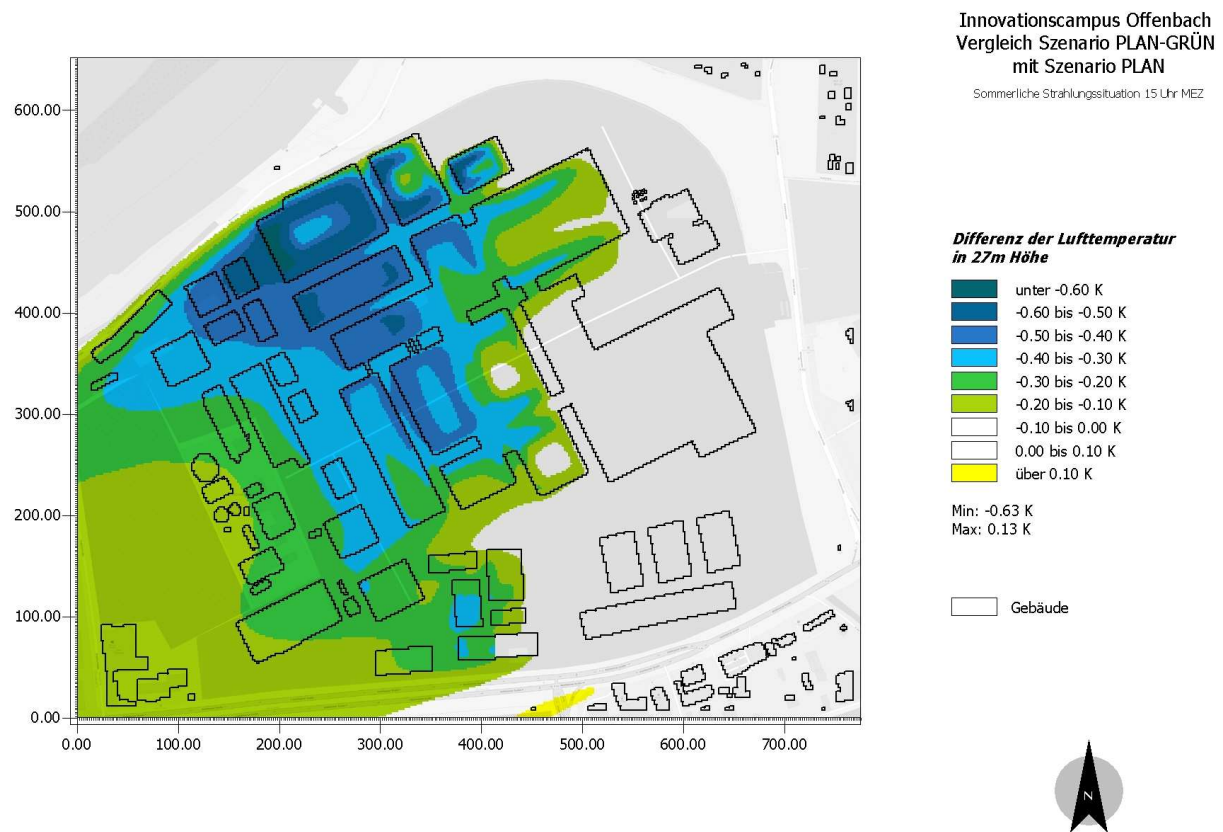


Abb. 34 Differenzen der Lufttemperaturen in 27 m Höhe um 15 Uhr bei Anströmung aus Ostnordost: begrüntes Plan-Szenario minus Worst-Case Plan-Szenario

Neben der Absenkung der PMV-Werte und damit der bioklimatischen Belastungen für den Menschen durch die schattenwerfenden Gebäude schon im Worst-Case Plan-Szenario kommt im begrünten Plan-Szenario nochmal eine Absenkung der PMV-Werte im Straßenraum durch den Schattenwurf der geplanten Bäume dazu. Hier werden die PMV-Werte auf unter 3 abgesenkt und die Hitzebelastung gilt nur noch als mäßig.

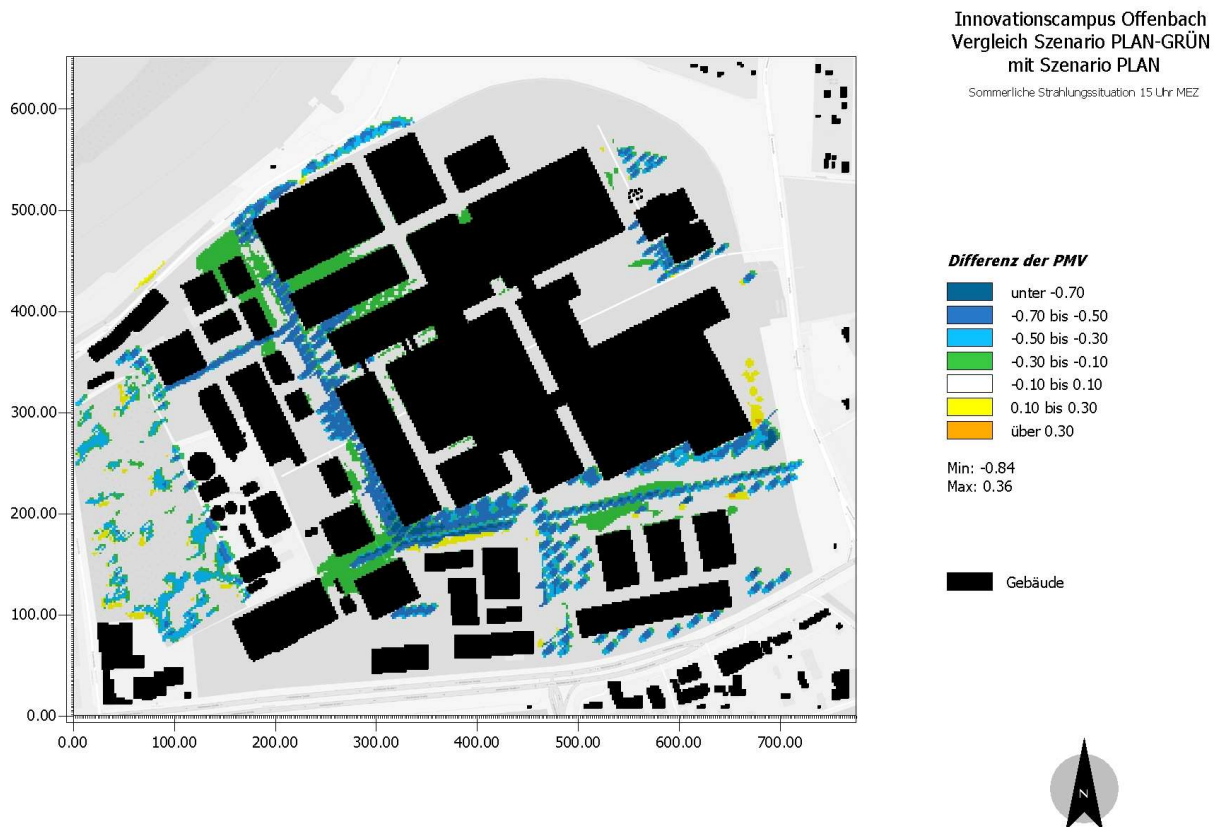


Abb. 35 Differenzen des PMV-Bioklimaindex um 15 Uhr: Worst-Case Plan-Szenario minus IST-Zustand

#### 4.4 FAZIT AUS DEN MIKROKLIMATISCHEN SIMULATIONEN

Schon im IST-Zustand zeigt sich das Untersuchungsgebiet auf der unbeschatteten Brachfläche sehr stark überwärmt. Die für die Offenbacher Innenstadtrandbereiche relevanten kühlen Luftströme aus Osten führen überwiegend nördlich entlang des Mains und südlich im Bereich der Mühlheimer Straße um das Industrie- und Gewerbegebiet herum. Die Parkanlage westlich der Industrie- und Gewerbefläche hat im Vergleich zu anderen Flächen mit Bäumen eine etwas höhere Lufttemperatur, da die über der Brachfläche aufgeheizte Luft mit der Strömung aus Ostnordost in diesen Bereich hinein wirkt. Damit muss diesem Bereich eine wichtige Pufferfunktion für die sich westlich anschließende Bebauung zugesprochen werden. Die aus dem Industrie- und Gewerbegebiet ausströmende warme Luft wird hier zurückgehalten und abgekühlt. Eine Verdichtung durch Baumpflanzungen auf den aktuell vorhandenen Lichtungen ist deshalb sehr sinnvoll.

Durch die neuen Gebäude im Plan-Szenario wird die Belüftung innerhalb des Gebietes selbst stark reduziert. Andererseits wird aber die Südumströmung des Innovationscampus-Geländes, die schon im IST-Zustand eine wichtige Belüpfungsfunktion für die sich westlich und südwestlich anschließenden

Offenbacher Stadtquartiere Lindenfeld und Buchhügel hat, durch Kanalisierungen nördlich und südlich des Gebäudekomplexes auf dem Vitriren-Gelände lokal leicht verstärkt. Die Belüftungssituation verschlechtert sich also nur direkt in den schmalen Gassen zwischen den geplanten Gebäuden, ohne dass die übergeordnete Belüftung für Offenbach beeinflusst wird. Diese lokale Verschlechterung der Belüftung innerhalb der Neuplanungen wird aber durch eine Verbesserung durch die Verschattung in den schmalen Gassen wieder ausgeglichen. Auch die durch Baumpflanzungen reduzierte Belüftung ist nur lokal begrenzt wirksam und beeinflusst die Geschwindigkeiten der über das Gebiet hinweggehenden Luftströmungen nicht.

Durch die zusätzlichen Bebauungen sowie die Begrünungen insbesondere durch Bäume nehmen die Oberflächentemperaturen und in Folge auch die Lufttemperaturen an einem sonnigen Tag weitgehend ab. Dies wirkt sich in Folge auch auf die Lufttemperaturen bis in die Nachtstunden aus. In Strömungsrichtung ist eine kühle Luftfahne erkennbar, die teilweise sogar über die westliche Parkanlage hinaus wirksam ist. Eine Erwärmung um bis zu einem Grad findet nur in den offenen, besonnten Bereichen statt. Das betrifft die große versiegelte Funktionsfläche am östlichen Rand des Innovationscampus und die Bereiche auf dem Vitriren-Gelände, die im IST-Zustand eine gute Bestandsvegetation hatten. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens lag für diesen Bereich keine vollständige Planung vor. Eine Bepflanzung des Gebäudeumfeldes mit Bäumen würde die thermischen Situation auf dieser Fläche deutlich verbessern im Vergleich zum Worst-Case-Szenario.

Die im begrünten Plan-Szenario vorgesehenen Begrünungen der Planfläche durch Baumalleen und Einzelbäume, der Anteil an entsiegelten Flächen mit Vegetation und die extensive Dachbegrünung für die neuen Gebäude führen dazu, dass der Neubaubereich klimatisch günstiger ausfällt als die Brachfläche im IST-Zustand. Besonders stark positiv wirkt sich die Begrünung der Nord-Süd verlaufenden Planstraße aus.

Um weitere Erwärmungen zu vermeiden, sollte die extensive Dachbegrünung für die neuen Gebäude unbedingt durchgeführt werden und die Begrünung der Planfläche durch einzelne Baumgruppen sowie der Anteil an entsiegelten Flächen mit Vegetation sollte intensiviert werden. Die im Szenario nur mit Gras simulierten Grundstücksflächen sollten zur Verbesserung des Bioklimas zusätzlich mit geeigneter Vegetation für die Verschattung und Verdunstung erweitert werden. Hohe Bäume mit blattfreiem Stamm und ausgeprägten Baumkronen, haben für die Aufenthaltsqualität während des Tages lokal begrenzt einen starken positiven Effekt auf die mikroklimatische Situation.

## 5. ZUSAMMENSTELLUNG VON ZIELVORGABEN UND ANPASSUNGSMABNAHMEN

Die klimatische Beurteilung der Untersuchungsfläche „Innovationscampus“ wurde unter zwei Gesichtspunkten durchgeführt:

- Beurteilt wurde die Bedeutung der Fläche in ihrem jetzigen Zustand auf das Lokalklima der direkten und erweiterten Umgebung. Dabei wurde ein Schwerpunkt auf die Kaltluftbildung gelegt und abgeleitet, wie sich die Situation bei einer Nutzungsveränderung entwickeln könnte.
- Durch eine Nutzungsänderung wird es auch zu einer klimatischen Veränderung auf den Flächen selbst kommen. Diese wurde durch mikroklimatische Modellrechnungen dargestellt und beurteilt.

Da das Lokalklima in einem direkten Zusammenhang zur Gestaltung der Umwelt steht, kann durch Veränderungen der Flächennutzung das lokale Klima sowohl zum Positiven als auch zum Negativen verändert werden. Generell können sich städtebauliche Nachverdichtungen auf das Temperatur- und Belüftungsverhältnis in den umliegenden Stadtvierteln auswirken. Relevant sind dabei für die Beeinflussung der weiteren Umgebung die Gebäudedichte und insbesondere die Gebäudestellungen und für die klimatischen Veränderungen auf der Fläche selbst der Versiegelungsgrad sowie die Grünflächengestaltung. Durch eine optimierte Gestaltung der Gebäudearchitektur kann eine Verminderung der zukünftigen Belastungen durch die Folgen der geplanten Nutzungsveränderungen erreicht werden. Dies hat unter den Gegebenheiten des Klimawandels einen hohen Stellenwert in der Planung.

Die Ergebnisse der großräumigen Kaltluftsimulationen wurden in einer folgenden Arbeitsstufe vertieft und auf die mikroklimatische Ebene verfeinert. Zur genaueren Betrachtung der Belüftung und der Hitzeentwicklung im Untersuchungsgebiet wurden für zwei Plan-Szenarien mikroskalige Modellierungen durchgeführt. Ziele einer klimaangepassten Bebauung des Untersuchungsgebietes „Innovationscampus“ in Offenbach sind:

1. Erhalt der wichtigen Belüftungsbahnen für die östlichen Randbereiche der Offenbacher Innenstadt
2. Minimierung der sommerlichen Hitzeentwicklung vor Ort

### **Anpassungsmaßnahmen zum Ziel 1 (Belüftung):**

Die wesentlichen Kaltluftbewegungen in der weiteren Umgebung der Planfläche finden südlich und nördlich des Gebietes statt. Die Brachfläche im IST-Zustand wird zwar gut überströmt, hat aber schon im IST-Zustand keine Belüpfungsfunktion für die Umgebung. Der Kaltluftzufluss erfolgt überwiegend über die Bahnlinie und den Landgrafenring weiter in die Bebauungen hinein. Daran ändert sich auch bei der geplanten Bebauung des Innovationscampus-Geländes kaum etwas. Die über das Gelände des „Innovationscampus“ geführte Kaltluft wird schon im IST-Zustand durch die Flächenversiegelungen und unbegrünten Flächen erwärmt und teilweise aufgelöst. Dies verstärkt sich zwar deutlich im Plan-Szenario, wirkt sich aber nicht negativ auf die südlich des Untersuchungsgebietes verlaufende Haupt-Kaltluftströmung aus. Die verstärkte Umströmung der geplanten Bebauungen verursacht eine leichte Veränderung der Kaltluftzufuhr in den sich westlich und südlich anschließenden Stadtteilen mit geringen positiven und negativen Effekten zu etwa gleichen Anteilen. Es bleibt auch im Plan-Szenario ausreichend Kaltluft für das randliche Eindringen in die Bestandsbebauung erhalten.

Der neu geplante Gebäudekomplex selbst wird nur noch schlecht durchströmt. Als Ausgleich für die Kühlung durch eine gute Durchlüftung zeigen die engen Durchlässe zwischen den Gebäuden aber eine gute Abschattung und damit deutlich geringere Aufheizung.

Die westlich gelegene Parkanlage bremst die ausströmende Luft aus dem Industrie- und Gewerbegebiet aus und kühlt sie ab. Hier ist die Durchströmbarkeit deutlich weniger wichtig als die Pufferfunktion für die sich westlich anschließende Bebauung. Eine Verdichtung durch Baumpflanzungen auf den aktuell vorhandenen Lichtungen ist deshalb sehr sinnvoll.

Zur Unterstützung der Kaltluftbildung und des Kaltluftflusses sowohl über die Untersuchungsfläche als auch in die Umgebung hinein sollten insgesamt im Innovationscampus-Gebiet die folgenden z.T. schon vorgesehenen Maßnahmen umgesetzt werden:

- Die Versiegelung sollte möglichst gering gehalten werden soweit nicht wichtigere Gründe dagegen sprechen (Bezug zum Rahmensanierungsplan)
- Die neuen Straßenzüge im Plangebiet des Innovationscampus sollten möglich stark begrünt werden.
- Dachflächen sollten soweit wie möglich begrünt werden, um die darüber streichende Luft nicht aufzuheizen.

Im Umfeld des Untersuchungsgebietes gilt es, die südlich verlaufende Hauptluftleitbahn von Osten Richtung Innenstadt unbedingt zu erhalten.

### **Anpassungsmaßnahmen zum Ziel 2 (Minimierung der Hitzeentwicklung):**

Für die Ausbildung einer Hitzebelastung spielen in erster Linie die Bebauung und Versiegelung eines Gebietes eine Rolle. Variationen ergeben sich durch den Einsatz verschiedener Materialien (je dunkler, desto stärker erwärmen sich Oberflächen) und durch den Durchgrünungsgrad. Da erhöhte Oberflächentemperaturen zu einer Erwärmung der Luft und damit einer erhöhten Hitzebelastung beitragen, kann hier durch Verschattungen, z. B. mit Bäumen, und Änderung der Bodenversiegelung Abhilfe geschaffen werden. Vegetation kann durch Schattenwurf und Verdunstung erheblich zur Temperaturabsenkung beitragen. Auf Gebäudeebene können Dach- und Fassadenbegrünungen, Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien als Maßnahmen eingesetzt werden.

Viele Verkehrsflächen leisten aufgrund ihrer dunklen Farbe und Materialien einen großen Beitrag zur Aufheizung von Stadtgebieten. Verschattungen oder hellere Farben können hier einen Beitrag sowohl zur Hitzevermeidung am Tag wie auch zur Verringerung der nächtlichen Überwärmung leisten. Wie viel Wärme in welcher Zeit bei zunehmenden Temperaturen von einer Verkehrsfläche aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Asphaltierte oder gepflasterte Verkehrsflächen erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Da Straßen und Verkehrswege in Städten rund 20 % der Fläche ausmachen, können sie erheblich zum Erwärmungseffekt beitragen. Zur Verringerung von Bodenerwärmungen ist daher der gezielte Einsatz von Materialien mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Helle Beläge auf Verkehrsflächen reflektieren im Gegensatz zu dunklem Asphalt einen größeren Anteil der eingestrahlten Sonnenenergie sofort wieder (Albedo) und können damit das Aufheizen der Luft erheblich verringern. Die folgende Abbildung 36 zeigt die Auswirkungen von verschiedenen Bodenoberflächen auf die Oberflächentemperaturen (eigene Berechnungen).

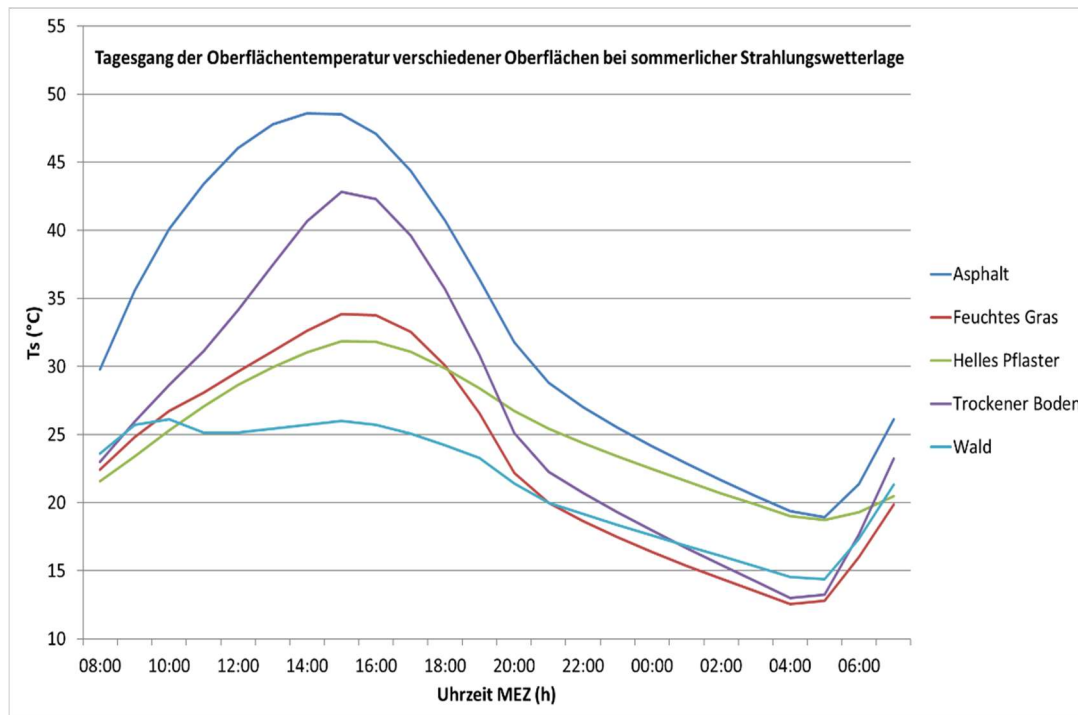


Abb. 36 Tagesgang der Oberflächentemperaturen verschiedener Oberflächen

Während die Asphaltflächen um die Mittagszeit Temperaturen von fast 50 °C aufweisen, verhält sich helles Pflaster tagsüber ähnlich wie feuchtes Gras und erwärmt sich nur auf gut 30 °C. Nachts kühlen die natürlichen Oberflächen stärker aus. Trockener unversiegelter Boden kann zwar tagsüber mit über 40 °C sehr warm werden, hält die Wärme aber in den Nachstunden nicht. Zur nächtlichen Wärmeinsel tragen unabhängig von den Oberflächentemperaturen am Tag nur die technischen Bodenbeläge wie Asphalt und Pflaster bei. Großflächige Anpassungen z.B. durch hellere Oberflächen wirken stark in die Fläche, sollten aber nach Möglichkeit zusätzlich beschattet werden. Verschattungen durch einzelne Bäume wirken hier lokal nur kleinräumig, können aber beim weitgehenden Erhalt der Durchlüftung in der Summe das Temperaturniveau während einer Hitzewelle niedrig halten. Eine Bepflanzung (Beete, Gras) der Baumscheiben vermindert die Erwärmung im unversiegelten Bereich.

Ziel der Quartiersplanung soll sein, dass sowohl beim Gebäude- als auch beim Verkehrswegebau eine flächensparende Bauweise gewählt wird. Es ist in Abstimmung mit dem Rahmensanierungsplan so wenig wie möglich an Außenflächen zu versiegeln. Dort, wo es aufgrund der Ausgangssituation des Bodens möglich ist, können Bodenversiegelungen durch den Einsatz von durchlässigen Oberflächenbefestigungen vermieden bzw. reduziert werden und zwar vor allem dann, wenn die Nutzungsform der Flächen nicht unbedingt hochresistente Beläge wie Beton oder Asphalt voraussetzt. Geeignete durchlässige Materialien zur Befestigung von Oberflächen sind mittlerweile für viele Anwendungsbereiche verfügbar. Zu beachten ist allerdings, dass auch der Unterbau und der Untergrund eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen müssen. Durch un- oder teilversiegelte Flächen ergeben sich neben der Reduktion der Aufheizung auch Synergien zur Regenwasserversickerung.

Im Industrie- und Gewerbegebiet ist die Wärmebelastung am Tag für die dort arbeitenden Menschen besonders negativ. Eine Aufheizung der Luft kann, wie im begrünten Plan-Szenario vorgesehen, durch Begrünung mit Bäumen und Sträuchern vermindert werden. Der Schattenwurf der Vegetation sowie Verdunstung und Transpiration der Pflanzen reduzieren die Aufheizung der versiegelten Bereiche. Ein zu empfehlendes Beispiel ist die Möglichkeit zur besseren Versorgung von städtischen Straßenbäumen mit Wasser durch die Kombination des Wurzelraums mit einer Rigole. Diese nimmt das aus dem

Straßenraum abfließende Regenwasser auf (Synergie mit der Regenwasserbewirtschaftung) und dient als Speicher für den Wasservorrat des Baumes.

Begrünte Dächer oder Fassaden stellen die kleinsten Grünflächen im Stadtgebiet dar. Sie haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Erst in einem größeren Verbund ergeben sich Auswirkungen auf das Mikroklima eines Stadtviertels. Die über das Gelände des „Innovationscampus“ fließenden Kaltluftströme sollten möglichst wenig aufgeheizt werden. Dies kann auch durch eine konsequente Begrünung aller Dachflächen der neu geplanten Gebäude im Verbund verbessert werden. Die thermischen Effekte von einzelnen Dach- und Fassadenbegrünungen liegen hauptsächlich in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen im Sommer und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Ein weiterer positiver Effekt von Dachbegrünungen ist die Auswirkung auf den Wasserhaushalt. 70% bis 100% der normalen Niederschläge werden in der Vegetationsschicht aufgefangen und durch Verdunstung wieder an die Stadtluft abgegeben. Dies reduziert den Feuchtemangel und trägt zur Abkühlung der Luft in versiegelten Bereichen bei. Bei Starkniederschlägen werden die Spitzenbelastungen abgefangen und zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben.

Durch zunehmenden Hitzestress im Sommer kommt der Kühlung von Gebäuden in Zukunft eine steigende Bedeutung zu. Die Nutzung konventioneller Klimaanlage ließe den Energieverbrauch im Sommer stark ansteigen und hätte damit negative Auswirkungen auf den Klimaschutz. Der Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage und vor allem die Passivkühlung – beispielsweise über Erdwärmetauscher – können solche Zielkonflikte verhindern. Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz neben der Gebäudeausrichtung auch durch eine Hauswandverschattung mittels Vegetation, durch angebaute Verschattungselemente, sonnenstandgesteuerte Außenrollos - beispielsweise an Bürogebäuden - und mittels Wärmedämmung erreicht werden. Verschattungen, beispielsweise durch eine im Süden des Gebäudes angebrachte Pergola, führen im Sommer bei hochstehender Sonne um die Mittagszeit zur Verschattung, in den Morgen- und Abendstunden und im Winter erreicht die tief stehende Sonne das Haus. Im Gebiet des Innovationscampus wird eine weitgehende Verschattung durch die eng angelegten Gassen zwischen den Gebäuden erreicht. Die negativen Auswirkungen der dadurch herabgesetzten Belüftung werden durch die positiven Effekte der Abschattung mehr als ausgeglichen.

Die Verdunstung von Wasser bietet eine Möglichkeit, auf relativ kleinem Raum eine sehr hohe Reichweite für die Abkühlung der Lufttemperatur zu erreichen. Für den Rückhalt von Niederschlagswasser bei Starkregen können neben der Dachbegrünung auch Versickerungsmulden in geeigneten oberirdischen Bereichen der Grasfläche eingerichtet werden. Neben der zeitverzögerten Versickerung kann hier das Wasser auch verdunsten und für eine zusätzliche Abkühlung der Lufttemperatur sorgen.

Zusammengefasst sollten die folgenden Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastungen umgesetzt werden:

- Flächensparende Bauweise, Vermeidung von Bodenversiegelungen bei Verkehrsflächen
- Material- und Farbauswahl unter den Gesichtspunkten der minimalen Aufheizung treffen
- Begrünung von Straßenzügen, Plätzen, Gebäudeumfeld mit möglichst großkronigen Bäumen
- Dach- und Fassadenbegrünungen
- Gebäudeverschattungen

Teilweise sind diese schon im begrünten Plan-Szenario vorgesehen und führen im Modellergebnis zu den weitgehend positiven klimatischen Auswirkungen im Plangebiet des Innovationscampus.