

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

**BEBAUUNGSPLAN NR. 652B
„KAISERLEI NORDOST; ÖSTLICHER TEIL“**

KLIMAGUTACHTEN

– ENTWURF –

Stand 13.11.2024

Offenbach
am Main

OF



Lohmeyer

**BEBAUUNGSPLAN NR. 652B
„KAISERLEI NORDOST; ÖSTLICHER TEIL“**

KLIMAGUTACHTEN

Auftraggeber:

IPK Germany Property Mainpark Projektgesellschaft mbH
Bonifatiusstraße 17
63579 Freigericht

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH
Niederlassung Bochum

M.Sc. Geogr. L. van der Linden
Dr. techn. Patrick Hogan

Dr. rer. nat. R. Hagemann

August 2024
Projekt 30403-23-02
Berichtsumfang 75 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	3
1 ZUSAMMENFASSUNG	8
2 AUFGABENSTELLUNG	11
3 GRUNDLAGEN	13
3.1 Stadtklima/Wärmeinseleffekt	13
3.2 Thermischer Komfort	15
4 KLIMATISCHE BEDINGUNGEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET	18
5 VORGEHENSWEISE	20
5.1 Stadtklimamodell PALM-4U	20
6 EINGANGSDATEN	24
6.1 Lage und Relief des Untersuchungsgebiets	24
6.2 Landbedeckung	27
6.2.1 Oberflächen und Vegetation	27
6.2.2 Gebäude.....	32
6.3 Meteorologische Daten	35
7 ERGEBNISSE	38
7.1 Referenzszenario Bestand.....	39
7.1.1 Bioklimatische Situation am Tag.....	39
7.1.2 Bioklimatische Situation in der Nacht	48
7.2 Referenzszenario Hochhaus.....	53
7.2.1 Bioklimatische Situation am Tag.....	53
7.2.2 Bioklimatische Situation in der Nacht	61
8 FAZIT UND PLANUNGSHINWEISE	66
9 QUELLEN	69
9.1 Literatur.....	69

9.2 Materialien und Unterlagen	70
A1 KLIMATOLOGISCHE PARAMETER	72
A1.1 Windgeschwindigkeit und -richtung	72
A1.2 Lufttemperatur	72
A1.3 Gefühlte Temperatur (Bioklimatische Kenngröße)	73

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung der Lohmeyer GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Klima

Als Klima definiert man das langjährige Mittel und die Schwankungen des jährlichen Ablaufs der Witterung eines Gebietes, wobei unter Witterung der Wetterzustand einer Zeitspanne von mehreren Tagen verstanden wird (Scherhag et al., 1977). Der Wetterzustand wird beschrieben durch meteorologische Größen wie Wind, Temperatur, Feuchte, Sonnenscheindauer, Strahlungsmenge und Niederschlag.

Man unterscheidet das regionale Klima (mehrere 10 km) und das lokale Klima (ca. 100 m bis mehrere km). Wichtige Einflussgrößen für das regionale und lokale Klima sind, ausgehend von der geographischen Situation und der Verteilung der großräumigen Wetterlagen, die Topographie (z. B. Geländeform, Exposition) und das Muster der Landnutzung.

Im Rahmen der hier vorliegenden Planung interessieren die Auswirkungen der Planung auf das lokale Klima der Umgebung und die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse im unmittelbaren Nahbereich der Maßnahme.

Temperaturgradient und Inversionen

Es entspricht einer physikalischen Gesetzmäßigkeit, dass die mittlere Lufttemperatur mit zunehmender Höhenlage eines Ortes abnimmt. Im Jahresmittel beträgt diese höhenbedingte Temperaturabnahme durchschnittlich 0.5 °C pro 100 m Höhenstufe. Im Sommer und Frühjahr erhöht sich der Betrag der Temperaturabnahme auf 0.6 °C pro 100 m Höhenstufe, während er im Herbst auf 0.4 °C und im Winter auf ca. 0.3 °C pro 100 m zurückgeht. Unter besonderen meteorologischen Bedingungen kann aber auch eine Temperaturzunahme mit zunehmender Höhenlage beobachtet werden. Hierbei spricht man von Inversionswetterlagen.

Luftschichtungszustände

Wird ein Luftpaket aus seiner Ruhelage heraus vertikal verschoben, so ändert sich seine Temperatur. Ist nun der Temperaturverlauf der ruhend gedachten Umgebung so beschaffen, dass das Luftquantum durch positive oder negative Auftriebskräfte wieder in seine Ausgangsposition zurückgetrieben wird, so nennen wir die Temperaturschichtung **stabil**. Genügt umgekehrt eine kleine Verschiebung aus der Ruhelage zur endgültigen Entfernung des Luftpaketes, so liegt entsprechend eine **labile** Schichtung vor. Zwischen beiden Zuständen liegt die thermisch **neutrale** Schichtung, bei der das vertikal verschobene Luftpaket in jeder Position in einem indifferenten Gleichgewicht ist, das heißt keine Auftriebskräfte auftreten.

Dieses Stabilitätsverhalten übt einen grundlegenden Einfluss auf den vertikalen Austausch aus. Eine stabile Schichtung wird im Vergleich zum neutralen Fall diesen Austausch behindern, im Extrem unterbinden. Thermische Labilität wird dagegen zu einer mehr oder minder starken Durchmischung eines Luftpörpers und damit zu einer Intensivierung des Vertikal-austausches mit daraus resultierenden niedrigeren Schadstoffkonzentrationen führen.

Kaltluftstaugebiete und Kaltluftammelgebiete

Geländemulden, Senken und Täler wirken als nächtliche Kaltluftammelgebiete. Die dort in windschwachen wolkenarmen Strahlungsächten von den Kaltlufteinzugsgebieten der Hänge und Höhen zusammenfließende Kaltluft lässt niedrigere nächtliche Temperaturminima entstehen, die am Tage - insbesondere im Sommer - durch die täkertypischen Übergangstemperaturen im statistischen Mittel wieder ausgeglichen werden.

Windsysteme

a) Allgemeines

Als Wind wird in der Meteorologie die gerichtete Bewegung der Luft bezeichnet. Ursache des Windes sind Luftdruckunterschiede. Wirkt nur die Kraft eines horizontalen Druckgradienten, entsteht der Euler-Wind, der nur in kleinräumigen Phänomenen eine Rolle spielt. Wird bei großräumigen Bewegungen der Einfluss der Erdrotation spürbar, so tritt die Corioliskraft zur Druckgradientkraft hinzu. Der Wind weht isobarenparallel und wird geostrophischer Wind genannt. Sind die Isobaren gekrümmt, so tritt die Zentrifugalkraft hinzu. Dieser Wind wird Gradientwind genannt und kommt dem realen Wind noch etwas näher als der geostrophische Wind. Werden Winde in der atmosphärischen Grenzschicht (Bodennähe) betrachtet, so ist zusätzlich die Kraft der Bodenreibung zu berücksichtigen.

Für die kleinräumigen Betrachtungen innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht spielt die Corioliskraft keine relevante Rolle. Für die Luftbewegung und ihre räumliche Ausprägung (Windfeld) gewinnen Relief und Landnutzung an Bedeutung.

b) allochthone Windsysteme

Der Gradientwind als größte Näherung des realen Windes (siehe oben) ist als solcher nur in höheren Luftschichten ungestört zu beobachten. Die Erdoberfläche bremst die Luftbewegung. Die Reibungsschicht ist im Allgemeinen 1 000 m bis 1 500 m hoch. Innerhalb dieser Reibungsschicht zeigt sich eine Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe. Allochthone Wetterlagen sind Wetterlagen mit höheren Windgeschwindigkeiten, sogenannte Gradientwindlagen.

c) autochthone Windsysteme

Bei gradientschwachen Wetterlagen (Strahlungswetterlagen) oder bei einer Abkopplung der bodennahen Strömung durch stabile Schichtung der Atmosphäre können auch schwächere Druckunterschiede (durch lokal unterschiedliche Erwärmung) Luftströmungen von kaum spürbaren Luftbewegungen bis hin zu mittleren und hohen Windgeschwindigkeiten hervorrufen. Wie der Name also bereits impliziert, entstehen thermisch induzierte Windsysteme als Ausgleichsströmung zwischen verschiedenen thermischen Regimes innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht. Vertreter thermisch induzierter Prozesse sind Land- und Seewind, Flurwinde, Berg- und Talwind und Kaltluftströmungen.

Albedo

Die Albedo beschreibt das Reflexionsvermögen von Sonnenlicht (kurzwelliger Strahlung) einer Oberfläche. Der Albedo-Wert liegt zwischen 0 und 1: Eine hohe Albedo bedeutet, dass ein hoher Anteil der solaren Einstrahlung reflektiert, statt absorbiert wird. Je heller die Oberfläche, desto größer die Albedo – je dunkler die Oberfläche, desto niedriger die Albedo. Dunkle Oberflächen können daher gegenüber hellen wärmer sein, da sie einen Großteil der einfallenden Sonneneinstrahlung in Form von Wärme absorbieren.

Bodeninversion

Die Bodeninversion ist ein meteorologisches Phänomen, bei dem sich die übliche Temperaturverteilung in der Atmosphäre umkehrt. In normalen atmosphärischen Bedingungen nimmt die Temperatur mit steigender Höhe ab. Bei einer Bodeninversion tritt jedoch das Gegenteil auf: Die Temperatur steigt mit steigender Höhe an. Dies geschieht, wenn kalte Luft am Boden eingeschlossen wird und wärmere Luftmassen darüber liegen. Die Bodeninversion führt häufig zu stabilen Wetterbedingungen, da sie die vertikale Durchmischung der Luft behindert. Dies kann zu Problemen wie Smogansammlung in städtischen Gebieten oder zu Temperaturinversionen führen, bei denen kalte Luft an der Erdoberfläche gefangen ist und wärmere Luft darüber liegt.

Gefühlte Temperatur

Die empfundene Temperatur kann von der gemessenen Lufttemperatur abweichen. Daher wird zur Beschreibung des thermischen Komforts ein bioklimatischer Index, z. B. die gefühlte Temperatur hinzugezogen, welcher das Temperaturempfinden unter Berücksichtigung der meteorologischen Einflussgrößen Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und der Strahlungstemperatur beschreibt.

Heißer Tage

Ein Heißer Tag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur gleich oder über 30 °C beträgt.

Hitze(-belastung)

Eine Hitzebelastung tritt ein, wenn die Temperaturen in einem bestimmten Gebiet für einen längeren Zeitraum überdurchschnittlich hoch sind. Es gibt keine feste, allgemeingültige Temperaturschwelle, die eine Hitzebelastung definiert, da dies von verschiedenen Faktoren abhängt, einschließlich der jeweiligen klimatischen Bedingungen und der lokalen Anpassungsfähigkeit der Bevölkerung. In der Regel spricht man von einer Hitzebelastung, wenn die Temperaturen deutlich über den normalen Durchschnittstemperaturen für einen bestimmten Ort und eine bestimmte Jahreszeit liegen und/oder wenn es zu Hitzewellen kommt. Hitzewellen sind längere Zeiträume mit außergewöhnlich hohen Temperaturen im Vergleich zur typischen Wetterlage in der Region.

Hitzeinsel / Wärmeinsel

Eine städtische Wärmeinsel beschreibt einen Bereich in der Stadt, in dem die Temperaturen höher sind als in den umliegenden ländlichen Gebieten. Dieser Effekt wird durch die Absorption und Wiederausstrahlung von Wärme durch Asphalt, Beton und menschlichen Aktivitäten verursacht. In Wärmeinseln können die Temperaturen um mehrere Grad Celsius höher sein als in der Umgebung, was zu Gesundheitsrisiken, erhöhtem Energieverbrauch und verschlechterter Luftqualität führen kann.

Hitze-Hotspot

Als Hitze-Hotspots werden Bereiche definiert, die aufgrund ihrer hohen thermischen Belastung sowie der räumlichen Dichte von Aufenthaltsbereichen vulnerabler Bevölkerungsgruppen eine besondere Sensitivität gegenüber Hitzebelastungen aufweisen. Diese Bereiche werden bei der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen priorisiert.

Kaltluft (-abfluss/-strömungen)

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen (autochthone Wetterlage) können sich nachts oberhalb von Frei- oder Vegetationsflächen Kaltluftmassen bilden. Kalte Luft ist schwerer als die wärmere Umgebungsluft und kann über geneigtem Gelände hangabwärts (Kaltluftabfluss) fließen. Die Fließgeschwindigkeit der Kaltluft hängt ab von der Hangneigung, der Bodenrauigkeit und der Größe des Kaltlufteinzugsgebiets. Die Produktionsrate von Kalt-

luft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf, während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluft neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten.

Oberflächentemperatur

Die Oberflächentemperatur bezieht sich auf die Temperatur der äußersten Schicht der Erdoberfläche, also der Bodenoberfläche und/oder von Objekten (Häuser, Vegetation usw.). Oberflächen- und Lufttemperatur können unterschiedliche Werte haben, beeinflussen sich aber auch gegenseitig aufgrund des Wärmefluss zwischen Erdoberfläche und der bodennahen Atmosphäre.

Sommertag

Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur gleich oder über 25 °C beträgt.

Stadtklima

Das Stadtklima ist eines gegenüber dem Umland durch anthropogene Einflüsse (Bebauung, Emissionen) verändertes Mesoklima. Es unterscheidet sich oftmals signifikant von den klimatischen Bedingungen in ländlichen Gebieten oder natürlichen Landschaften. Das Stadtklima ist eine Folge der Wechselwirkung zwischen der städtischen Infrastruktur, der Bebauung, der versiegelten Oberflächen, der Verkehrsbelastung und der natürlichen Umgebung.

Vulnerable Bevölkerungsgruppen

Ältere Menschen, kranke Menschen und Kinder gehören beispielsweise zu den besonders gefährdeten Bevölkerungsgruppen in Städten im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels. Ihre körperlichen und gesundheitlichen Bedürfnisse machen sie anfälliger für extreme klimatische Bedingungen.

Warme Kuppelzone

Die "Warme Kuppelzone" beschreibt eine Region oder Schicht in der Atmosphäre, in der die Temperatur mit steigender Höhe zunimmt. Dies steht im Gegensatz zur normalen Temperaturabnahme in der Troposphäre, bei der es üblicherweise kälter wird, je höher man steigt. Die Warme Kuppelzone kann auftreten, wenn warme Luftmassen in einer Schicht in der Atmosphäre eingeschlossen sind, die über kälterer Luft liegt. Dieses Phänomen kann zu stabilen Wetterbedingungen führen, in denen die vertikale Durchmischung der Luft begrenzt ist.

1 ZUSAMMENFASSUNG

In Offenbach ist im Nordosten des Stadtteils Kaiserlei der Bebauungsplan Nr. 652B „Kaiserlei Nordost; östlicher Teil“ in Erarbeitung. Das Plangebiet befindet sich östlich der Autobahn A 661 und wird begrenzt durch den Nordring im Norden, den Bornheimer Weg im Osten und die Kaiserleistraße im Süden. Im Westen schließt der Geltungsbereich des Bebauungsplans Nr. 652A an. Die aktuell brachliegende Fläche soll neubebaut werden. Die Planungen umfassen eine Neubebauung mit zwei U-förmigen Bürogebäuden mit einer maximal zulässigen Höhe von bis zu 80 m. Nördlich der Gebäude sind Grünflächen sowie Sport- und Spielflächen vorgesehen.

Im Rahmen des Gutachtens wurden auf der Grundlage von Simulationsrechnungen für den Bebauungsplan und die angrenzende Bebauung Aussagen zum Themenkomplex Temperatur bzw. Überhitzung erarbeitet. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse waren die thermischen Verhältnisse an einem heißen Sommertag zu bewerten und ggf. Möglichkeiten zur Optimierung der lokalen Situation aufzuzeigen. Ziel ist, eine Bedrohung oder Gefährdung der Gesundheit zu vermeiden, allgemeine Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu gewährleisten sowie unzumutbare Beeinträchtigungen des allgemeinen Wohlbefindens auszuschließen.

Die Simulationsrechnungen wurden mit der aktuellen Version des Stadtklimamodells PALM-4U durchgeführt. Für die Ermittlung der planungsbedingten Auswirkungen auf das Lokalklima werden sowohl die Bestandssituation als auch der Planfall simuliert. Hierbei werden im Hinblick auf den westlich benachbarten B-Plan Nr. 652A zwei Varianten betrachtet:

- Berücksichtigung der derzeitigen Bestandsbebauung im Geltungsbereich des B-Plans Nr. 652A
- Berücksichtigung des geplanten Hochhauses im Geltungsbereich des B-Plans Nr. 652A.

Die lokalklimatischen Modellierungen erfolgten für eine sommerliche autochthone Wetterlage (ohne Bewölkung und sehr niedrige Windgeschwindigkeiten; „Heißer bzw. Hitzetag“) unter Berücksichtigung der Lage und Höhe der Gebäude, der Landnutzung inkl. Bäumen/Wald. Aufgrund noch nicht abgeschlossener Grünflächenplanung wurden für die zu untersuchende Planvariante innerhalb des Plangebiets zunächst nur kleine Einzelbäume modelliert. Bei dieser Vorgehensweise handelt es sich um eine konservative Annahme, da Bäume aufgrund ihrer verschattenden Wirkung einen positiven Effekt auf die tägliche Wärmebelastung haben.

Die Simulationsergebnisse sollen potenzielle durch Hitze belastete Bereiche aufdecken, so dass die Ergebnisse für darauf aufbauende Planungen zur strategischen Anordnung von Klimaanpassungsmaßnahmen zur Steigerung der Aufenthaltsqualität durch Verringerung der Hitzeentwicklung genutzt werden können.

Für die Untersuchungen zum Hitzestress wurde die bodennahe Lufttemperatur, das bodennahe Windfeld sowie zur Beschreibung der Wärmebelastung eine bioklimatische Kenngröße (gefühlte Temperatur GT) für den wärmsten Tageszeitraum (15 Uhr) sowie für den Nachtzeitraum (04 Uhr) analysiert. Zusätzlich werden die Änderungen der Auswertekenngrößen dargestellt, um mikroklimatische Auswirkungen der städtebaulichen optimierten Variante abzubilden und zu analysieren.

Im Vergleichsfall tritt eine starke Wärmebelastung im Bestand am Tag vor allem im Bereich nicht verschatteter Straßenzüge (z. B. Teile des Nordrings/Goetherings) und der versiegelten wie bspw. Parkplätze auf. Über mehrere Stunden nicht verschattete Süd- und Südwestfassaden weisen ebenfalls eine starke Wärmebelastung auf. Eine mäßige Wärmebelastung liegt im Bereich von Baumgruppen entlang des Mains und an den Nordseiten von Gebäuden vor.

Im Plangebiet wird die thermische Belastungssituation nach baulicher Realisierung an den nicht verschatteten Süd- und Westfassaden sowie auf den Sport- und Spielflächen im nördlichen Bereich tagsüber als starke Wärmebelastungen klassifiziert. Verschattete Bereiche durch den Schattenwurf der Plangebäude weisen dagegen niedrigere Gefühlte Temperaturen auf, die einer mäßigen Wärmebelastung entsprechen.

Im Bereich der westlich und südlich angrenzenden Gebäude liegt am Tag eine leichte Erhöhung der GT außerhalb des Plangebietes vor. Am östlich angrenzenden Gebäude ist eine leichte Reduktion der GT berechnet. Alle weiteren Auswirkungen der Planung beschränken sich auf das Plangebiet. Somit werden geringe negative Auswirkungen für die angrenzende Bebauung ermittelt.

Die planungsbedingten Auswirkungen auf die Gefühlte Temperatur am Tag weisen zwischen beiden Referenzszenarien geringe Unterschiede in Bezug auf Verteilung und Intensität auf. Insgesamt sind aus gutachterlicher Sicht die Auswirkungen beider Varianten als vergleichbar zu bewerten.

In der Nacht ist im Vergleichsfall eine Minimaltemperatur unterhalb von 20.5 °C im Bereich von unversiegelten Flächen im Untersuchungsgebiet ermittelt. Im Bereich des Mains liegt die

Lufttemperatur bei 20.5 °C bis 21 °C. Im Bereich von versiegelten Bereichen wie Straßen oder Innenhöfen wird die höchste Lufttemperatur von mehr als 21 °C ermittelt.

Unter Berücksichtigung der Planungen sind in der Nacht die thermischen Verhältnisse überwiegend mit dem Istzustand vergleichbar. Planungsbedingte Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur beschränken sich überwiegend auf das Plangebiet selbst sowie auf die unmittelbar südlich und östlich angrenzende Bebauung. Hier wird die Lufttemperatur um bis zu 1 K erhöht. Durch die gewerbliche Nutzung der Gebäude im Umfeld des Plangebietes sind die für die Nachtsituation ermittelten Temperaturänderungen durch die Planung als untergeordnet einzustufen.

Für die Verbesserung der thermischen Belastungssituation innerhalb des Plangebiets empfehlen wir die Umsetzung von Planungshinweise, die im Kapitel 8 dargestellt sind. Aus gutachterlicher Sicht führen die Veränderungen in der räumlichen Verteilung der Wärmebelastung zu keiner wesentlichen Verschlechterung der derzeitigen Wärmebelastungen, da durch die Planung auch Ausgleichsräume mit einer gesenkten Wärmebelastung entstehen.

2 AUFGABENSTELLUNG

In Offenbach ist im Nordosten des Stadtteils Kaiserlei der Bebauungsplan Nr. 652B „Kaiserlei Nordost; östlicher Teil“ in Erarbeitung. Das Plangebiet befindet sich östlich der Autobahn A 661 und wird begrenzt durch den Nordring im Norden, den Bornheimer Weg im Osten und die Kaiserleistraße im Süden. Im Westen schließt der Geltungsbereich des Bebauungsplans Nr. 652A an.

Die Planungen umfassen eine Neubebauung mit zwei U-förmigen Bürogebäuden mit einer maximal zulässigen Höhe von bis zu 80 m. Der Entwurf sieht für die Gebäude längliche, Nord-Süd ausgerichtete Kubaturen vor, wobei die westlichen Gebäudeteile deutlich höher sind. Die Gebäudeteile entlang der Kaiserleistraße sind mit 7 Geschossen niedriger. Die äußeren Zwischenbereiche sind als Sockelbereiche mit einer Höhe von bis zu zwei Geschossen ausgestaltet.

Aufgrund der geplanten baulichen Verdichtung ist zu prüfen, ob es bei einer Realisierung der geplanten Bebauung im Plangebiet und im Bereich der angrenzenden Bestandsbebauung zu negativen Auswirkungen auf die thermische Belastungssituation kommt und ob relevante klimaökologische Funktionen eingeschränkt werden.

Zur Quantifizierung und Bewertung planungsbedingter lokalklimatischer Veränderungen werden mikroklimatische Simulationsrechnungen für den Bebauungsplan und die angrenzenden Siedlungsflächen durchgeführt, um Aussagen zur Wärmebelastung und Durchlüftung zu erarbeiten. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse sind die klimaökologischen Auswirkungen zu bewerten und ggf. Möglichkeiten zur Optimierung der lokalen Situation aufzuzeigen.

Die Auswirkungen der Planungen auf die lokalklimatischen Verhältnisse werden im Rahmen von zwei Referenzszenarien für folgende Untersuchungsfälle betrachtet :

Referenzszenario „Bestand“

- Vergleichsfall mit derzeit vorhandener Bebauung im Plangebiet sowie der derzeit vorhandenen Bebauung im Geltungsbereich des westlich benachbarten Bebauungsplans Nr. 652A
- Planfall mit der geplanten Bebauung des Bebauungsplanes Nr. 625B sowie der derzeit vorhandenen Bebauung im Geltungsbereich des westlich benachbarten Bebauungsplans Nr. 652A

Referenzszenario „Hochhaus“

- Vergleichsfall mit derzeit vorhandener Bebauung im Plangebiet sowie zusätzlicher Annahme einer bereits realisierten Planung im Geltungsbereich des westlich benachbarten Bebauungsplans Nr. 652A
- Planfall mit der geplanten Bebauung des Bebauungsplanes Nr. 625B sowie zusätzlicher Annahme einer bereits realisierten Planung im Geltungsbereich des westlich benachbarten Bebauungsplans Nr. 652A

3 GRUNDLAGEN

Die Folgen des Klimawandels sind mehr und mehr zu spüren. Siedlungsbereiche reagieren besonders sensibel auf die Auswirkungen des Klimawandels, der u. a. eine Zunahme von Hitzeperioden und den damit verbundenen Hitzestress zur Folge hat. Hierbei stellt der thermische Komfort ein wichtiger Einflussfaktor für die Gesundheit der Bevölkerung dar, insbesondere für vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, Menschen mit Vorerkrankungen und Kleinkinder.

Das Stadtklima ist definiert als das „durch Bebauung und Emissionen gegenüber dem Umland veränderte Lokalklima“. Die Veränderungen beziehen sich sowohl auf die meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Wind als auch auf Immissionsgrößen wie die Luftqualität (DWD, 2021).

Dichte Bebauungsstrukturen mit einem hohen Versiegelungsgrad führen zu einer gegenüber dem Umland erhöhten Lufttemperatur, dem sogenannten städtischen Wärmeinseleffekt.

3.1 Stadtklima/Wärmeinseleffekt

Typische urbane Flächen mit dichten Bebauungsstrukturen und einem hohen Versiegelungsgrad tragen zur Bildung eines Stadtklimas bei, welches definiert ist als das durch Bebauung und Emissionen gegenüber dem Umland veränderte Lokalklima.

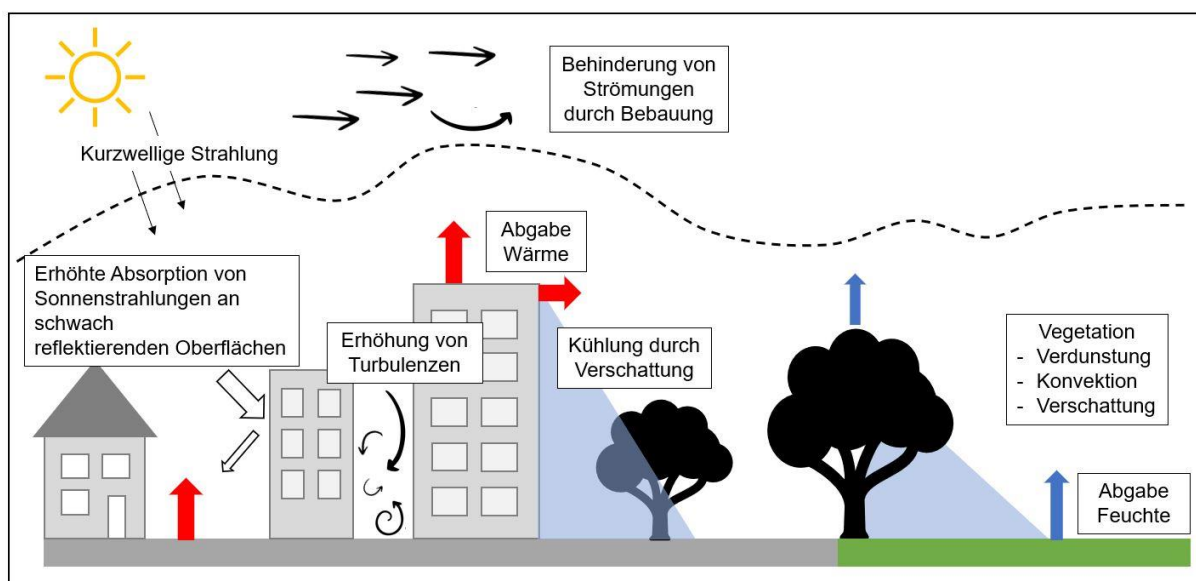
Insbesondere an sommerlichen und wolkenarmen Nächten ist eine Überwärmung der Innenstädte größerer Ballungszentren gegenüber dem Umland zu beobachten, auch als städtischer Wärmeinseleffekt bekannt. An heißen Sommertagen speichern künstliche Oberflächen, wie Straßen, Gehwege oder Gebäudefassaden, die Wärmeenergie der Sonneneinstrahlung besonders gut. Vor allem dunkle Oberflächen (z. B. Asphalt) haben eine geringe Albedo, was bedeutet, dass sie einen hohen Anteil der Sonneneinstrahlung als Wärmeenergie speichern, statt zu reflektieren. Nachts wird diese Wärme wieder an die Umgebungsluft abgegeben. Natürliche Oberflächen kühlen vergleichsweise schneller aus. Daher ist es nachts im Bereich dicht bebauter Gebiete in der Regel deutlich wärmer als im städtischen Umland.

Eingeschränkte Durchlüftungsverhältnisse durch eine dichte Bebauungsstruktur können den Wärmeinseleffekt zusätzlich verstärken. Durch die erhöhte Rauigkeit der Oberfläche sowie die Barrierewirkung dichter Bebauung kommt es zu Einschränkungen der Windgeschwindigkeit und somit zu einer verringerten Frischluftzufuhr. Relevante Einflussfaktoren für das

nächtliche Wärmeempfinden sind daher nächtliche Frischluft- und Kaltluftbahnen: Eine ausreichende nächtliche Belüftung trägt zur Durchmischung von erwärmten städtischen Luftmassen mit kühleren Luftmassen der Umgebung bei, was eine Reduzierung der Lufttemperatur zur Folge haben kann.

Tagsüber lassen sich aber auch gegenläufige Effekte feststellen. So kann sich in dicht bebauten Stadtvierteln durch den Schattenwurf der Gebäude die Luft weniger stark erwärmen als auf unverschatteten Freiflächen.

Infolge der Baukörper- und verschiedenen Oberflächenstrukturen bilden sich innerhalb der "Stadt" mehrere differenzierte urbane Mikroklimata aus (Innenstadt- oder Stadtrandklima, Parkklima, Klima und Gewerbegebiet usw.). So wird durch die erhöhte Oberflächenversiegelung und den hiermit verbundenen geringen Grünanteil in städtischen Strukturen die Verdunstung reduziert, was zu einer Erhöhung der Temperatur in innerstädtischen Bereichen führt. Über versiegelten Flächen erfolgt zudem eine stärkere Wärmespeicherung der einfallenden Strahlung. Diese Wärme wird nachts wieder an die Umgebungsluft abgegeben und



sorgt für eine gegenüber dem Umland deutlich reduzierte nächtliche Abkühlung.

Abb. 3.1: Schema der städtischen Wärmeinsel

Grünanlagen dagegen können das Mikroklima in Städten positiv beeinflussen. Durch den Schatten der Bäume und die Verdunstungskühlung von Pflanzen kann die Umgebungstemperatur in städtischen Gebieten gesenkt werden. Dies trägt dazu bei, die Auswirkungen von

Hitzeinseln zu verringern und ein angenehmeres Klima zu schaffen. Neben der Verbesserung des Mikroklimas steigern Grünflächen auch die Aufenthaltsqualität der Stadträume. Durch die Schaffung solcher Grünsysteme können städtische Räume wie Klimaoasen wirken und ihre Umgebung positiv beeinflussen. Je größer die Grünanlage ist, desto höher ist die bioklimatische Bedeutung dieser Fläche als Ausgleichsraum.

3.2 Thermischer Komfort

In der VDI-Richtlinie „Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas“ (VDI 3787 Blatt 2, 2008) werden standardisierte Bewertungsverfahren für die auf den Menschen bezogene Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene (Bioklima) bei der räumlichen Gesamtplanung bereitgestellt.

Der Thermische Wirkungskomplex umfasst die meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlung, die sich thermophysiological auf den Menschen im Freien und in geschlossenen Räumen auswirken. Die wahrgenommene Umgebungstemperatur kann aufgrund dieser meteorologischen Parameter von der tatsächlichen Lufttemperatur abweichen. Zum Beispiel wird die Umgebungstemperatur bei starkem Wind oftmals kälter empfunden als durch Messungen erfasst. Die gesundheitliche Bedeutung hängt mit der engen Vernetzung von Thermoregulation und Kreislaufregulation zusammen. Bei hoher Wärmebelastung versucht der Körper durch Erhöhung der Hauttemperatur und Schwitzen die Wärmeabgabe zu steigern. Daneben spielen der Aktivitätsgrad und der Isolationswert der Bekleidung eine entscheidende Rolle für das Wärme- bzw. Kälteempfinden.

Gefühlte Temperatur

Zur Bewertung des thermischen Komforts wird die sogenannte *Gefühlte Temperatur* herangezogen, welche aus den genannten meteorologischen Elementen des Thermischen Wirkungskomplexes abgeleitet wird. Die gefühlte Temperatur vergleicht die tatsächlich gemessene Temperatur mit jener, die in einer Standardumgebung herrschen sollte, um ein identisches Temperaturempfinden zu haben. Die Standardumgebung entspricht einem beschatteten Raum in dem nur ein leichter Luftzug von 0.2 m/s herrscht. Die gefühlte Temperatur basiert auf der Lösung der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers für stationäre Bedingungen. Bei der Bestimmung der Energiebilanz wird das Klima-Michel-Modell mit einem „Norm-Mensch“ (Größe 1.75 m, Gewicht 75 kg, Körperoberfläche 1.78 m²) zugrunde

gelegt (**Abb. 3.2**), der seine Kleidung an die thermischen Randbedingungen anpasst. Zusätzlich wird eine leichte körperliche Aktivität (langsameres Gehen mit 4 km/h) angenommen.

Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur

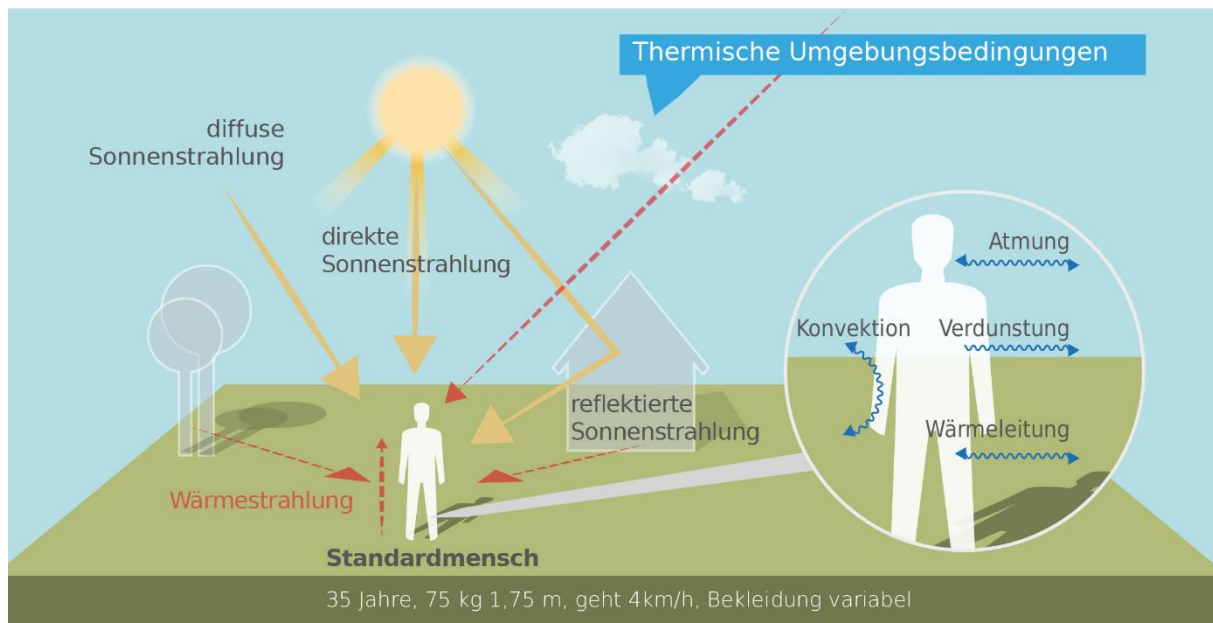


Abb. 3.2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (Quelle: DWD)

Eine optimale Behaglichkeit des thermischen Befindens kann in Abhängigkeit der ausgeübten Aktivität sowie der Bekleidung zwischen 0 °C bis 20 °C erreicht werden. Bei höheren Temperaturen tritt eine Wärmebelastung, bei tieferen Temperaturen Kältestress auf. Bei anderen Aktivitäten oder auch Bekleidungsverhältnissen verschieben sich die für Behaglichkeit erforderlichen Temperaturen zu höheren (geringere Aktivität oder dünnere Bekleidung) oder niedrigeren (gesteigerte Aktivität oder dickere Bekleidung) Werten.

Die durch die Gefühlte Temperatur definierten Klassen des thermischen Komforts sind in der nachfolgenden **Tab. 3.1** dargestellt.

Gefühlte Temperatur [°C]	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe
<= -39	Sehr kalt	Extremer Kältestress
-39 bis -26	Kalt	Starker Kältestress
-26 bis -13	Kühl	Mäßiger Kältestress
-13 bis 0	Leicht kühl	Schwacher Kältestress
0 bis +20	Behaglich	Komfort möglich
+20 bis +26	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
+26 bis +32	Warm	Mäßige Wärmebelastung
+32 bis +38	Heiß	Starke Wärmebelastung
>= +38	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Tab. 3.1: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung (nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2)

4 KLIMATISCHE BEDINGUNGEN IM UNTERSUCHUNGSGBIET

Die lokalen klimatischen Eigenheiten des Standortklimas lassen sich auf der Grundlage der aktuellen Klimafunktionskarte für die Stadt Offenbach charakterisieren (Stadt Offenbach, 2021). In dieser Karte wird das Stadtgebiet in verschiedene Klimazonen, sogenannte Klimatope, aufgeteilt. Die Ausbildung von Klimatopen ergibt sich aus den unterschiedlichen klimatisch-energetischen Eigenschaften von Freiflächen, Waldgebieten und Wasserflächen als Ausgleichsräume sowie Bebauungs-, Gewerbe- und Infrastrukturen als Lasträume. Neben den Klimatopen geben spezifische Klimaeigenschaften und Klimafunktionen die klimaökologische Wertigkeit der Flächen wieder.

Grundsätzlich gilt, dass unbebaute Freiflächen (Gewässer, Freiland, Wald sowie Park- und Grünanlagen) als klimatische Ausgleichsräume gelten und eine positive Wirkung auf die bioklimatischen Verhältnisse von Lasträumen haben. Zu den Lasträumen zählen bebaute Flächen, die abhängig vom Versiegelungsgrad, der Bebauungsdichte und der Höhe der Gebäude sehr günstige bis sehr ungünstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Dabei gilt, je höher die städtische Überprägung, desto ungünstiger die bioklimatischen Verhältnisse. Klimaökologische Funktionen, die von Ausgleichsflächen ausgehen, können einer Überwärmung von städtischen Flächen entgegenwirken. Zu den klimaökologischen Funktionen zählen u.a. die Kaltluftbildung, der Kaltlufttransport sowie Flurwindssysteme und Luftleitbahnen.

Abb. 4.1 stellt einen Ausschnitt der „Klimafunktionskarte Offenbach 2021“ der Stadt Offenbach (Stadt Offenbach, 2021) dar. Die Klimafunktionskarte gliedert das Plangebiet in ein Siedlungsklimatop im Osten und Süden, der westliche und nördliche Bereich ist als Parkklimatop ausgewiesen. Siedlungsklimatope sind geprägt von einer mäßigen Bebauung mit Durchgrünung. Tagsüber können sich diese Gebiete stärker erwärmen als das Umland und kühlen nachts gut ab. Aufgrund der Versiegelung und Bebauung können thermisch ungünstige Bedingungen entstehen und somit zählen Siedlungsklimatope zu den „Lasträumen“. Dem gegenüber stehen Parkklimatope mit einem sehr geringen Versiegelungsgrad und somit thermisch günstigen Bedingungen. Sie zählen zu den „Ausgleichsräumen“. Aufgrund der geringen Größe dieser Ausgleichsfläche und der Einrahmung durch städtische Klimatope ist die Bedeutung dieser Fläche als Ausgleichsraum jedoch eher als geringfügig zu bewerten.

Im näheren Umfeld des Plangebietes liegen Stadt- und Innenstadtklimatope vor, welche durch eine starke Erwärmung der Oberflächen am Tag und eine schlechte Abkühlung in der Nacht gekennzeichnet sind. Besonders für diese Flächen ist die Nähe zu Ausgleichsflächen

und die Zufuhr von Kaltluft relevant. Die Klimafunktionskarte zeigt, dass innerhalb des Plangebietes keine Luftleitbahnlagen liegen, welche kühlere Luft aus dem Umland ins Stadtgebiet transportiert. Luftleitbahnen liegen vor allem im Bereich des Mains und von Straßenachsen vor.

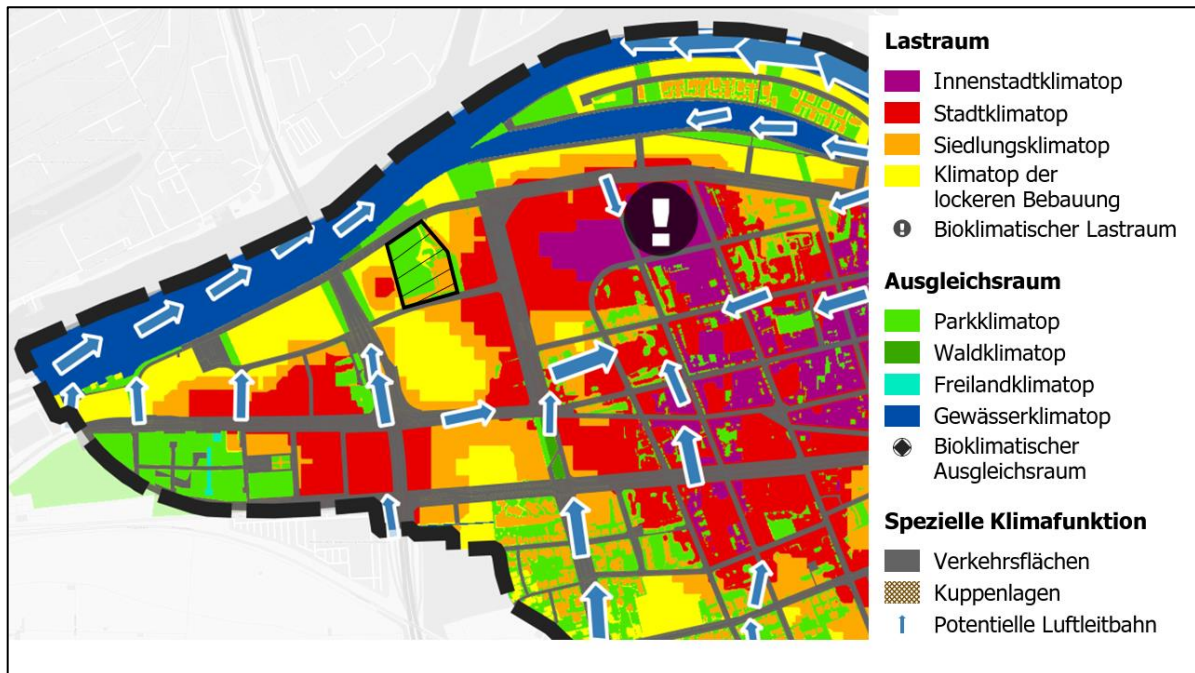


Abb. 4.1: Ausschnitt aus der Klimafunktionskarte Offenbach 2021. Das Plangebiet ist schwarz schraffiert (Stadt Offenbach, 2021)

5 VORGEHENSWEISE

Für die Einbindung lokalklimatischer Belange in die Bebauungsplanung bestehen keine einheitlichen Vorgaben zu inhaltlichen Themen und zu Beurteilungsgrößen. Dementsprechend werden in den Betrachtungen die lokalen Besonderheiten bezüglich lokalklimatischer Belange herangezogen. Das betrifft beispielsweise die Windrichtungs-, Windgeschwindigkeits- und Temperaturverteilung an einem heißen Sommertag bei einer autochthonen Wetterlage, d.h. wolkenarm und schwachwindig, sowie insbesondere die bodennahen Strömungsfelder im Hinblick auf die nächtlichen Belüftungsverhältnisse, d.h. den möglichen Abtransport lufthygienisch oder thermisch belasteter Luftmassen bzw. dem Zuführen frischer Luftmassen.

In letzter Zeit werden verstärkt Auswirkungen auf die thermischen Belange im relativen Vergleich und im Vergleich zu Belastungsindizes betrachtet, verstärkt auch vor dem Hintergrund der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels mit verstärkter Häufung von „Heißen Tagen“. Die Gefahr für Hitzestress stellt ein Risiko für die menschliche Gesundheit dar – hiervon sind vor allem ältere Menschen, Menschen mit Vorerkrankungen und Kleinkinder betroffen. Aus diesem Hintergrund werden Strategien und Maßnahmen zur Klimaanpassung und Klimaschutz im Rahmen der Stadtentwicklung und der Bauleitplanung immer wichtiger.

Zur Simulation der räumlichen Verteilung von bioklimatischen Parametern in Einzelsituationen wird das Stadtklimamodell PALM-4U (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>) verwendet, das mit aufwendigen numerischen Verfahren meteorologische Größen prognostisch berechnet. Auf der Grundlage der Simulationsrechnungen werden für das Bebauungsplangelände und die angrenzenden Gebiete Aussagen zu den Themenkomplexen Temperatur bzw. Überhitzung erarbeitet.

5.1 Stadtklimamodell PALM-4U

Mittels dem Stadtklimamodell PALM-4U werden u.a. die potenzielle Temperatur, die spezifische Feuchte sowie die Windkomponenten prognostisch berechnet. PALM-4U kann im Bereich der Meso- und der Mikroskala eingesetzt werden und berücksichtigt die energetischen Wechselwirkungen zwischen Boden, Oberflächen und Atmosphäre. Diese werden durch das Relief, die Landnutzung und durch Strömungshindernisse wie Gebäude, sonstigen Bauwerke oder Vegetation beeinflusst.

Die Berechnungen mit PALM-4U basieren auf den Grundgesetzen der Strömungs- und Thermodynamik und beinhalten die Simulation von:

- turbulenter Umströmung, Überströmung und Unterströmung von Hindernissen bzw. Bauwerken wie Gebäuden,
- Austausch von Wärme und Feuchte an natürlichen und anthropogenen Oberflächen,
- Wechselwirkungen von Strahlung, Impuls und Wärme mit einer expliziten Vegetationsschicht,
- bioklimatischen Bewertungsindizes.

Für weiterführende Informationen sei auf die o. g. Internetadresse sowie auf Fachliteratur (z. B. Raasch und Schröter, 2001; Maronga et al., 2015; Maronga et al., 2019, Maronga et al., 2020) verwiesen.

Das Modell ist nach der VDI-Richtlinie „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle“ (VDI 3783 Blatt 9, 2017) validiert; ein entsprechendes Validierungsprotokoll liegt vor (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/doc/tec/evaluation>). Eine Validierung des komplexen Testfalls E8 „Stuttgarter Talkessel Strömungskanalisation, Kaltabflüsse“ der VDI-Richtlinie „Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle, Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder“ (VDI 3783 Blatt 7, 2017) wurde erfolgreich durchgeführt (Lohmeyer, 2020).

Grundlage der Simulationsrechnungen sind die Aufnahme des Reliefs und der Landnutzung sowie der Bebauung nach Lage und Höhe im Betrachtungsgebiet. Die Simulationen werden in einem vierstufigen sogenannten Nesting-Verfahren (Gitterverfeinerung) durchgeführt (vgl. **Tab. 5.1** und **Abb. 5.1**). Um alle relevanten Kaltlufteinzugsgebiete zu erfassen, wird eine übergeordnete mesoskalige Simulation mit 200 m horizontaler Maschenweite durchgeführt. Im nächsten Schritt wird darin ein eingebettetes mesoskaliges Gebiet mit 50 m horizontaler Maschenweite berechnet. Anschließend wird mittels Nesting ein mikroskaliges Gebiet mit 10 m horizontaler Maschenweite simuliert. Für das eigentliche Untersuchungsgebiet („Ziel-Rechengebiet“) wird im letzten Schritt eine mikroskalige Simulation mit einer horizontalen Maschenweite von 2.5 m bei 368 x 400 Gitterpunkte (ca. 1.0 km x 1.0 km) realisiert. Die vertikale Auflösung beträgt hierbei in Bodennähe 2.5 m. Bei den mikroskaligen Simulationen (10 m und 2.5 m) werden Baukörper und hohe Vegetation dreidimensional berücksichtigt; in den mesoskaligen Simulationen sind diese parametrisiert enthalten. Das Setup der Simulationen erfolgt in Anlehnung an die Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 und der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9.

In der Simulation werden die tageszeitlichen Schwankungen der meteorologischen Parameter über feste Startparameter, äußere Randbedingungen und den tageszeitlich wechselnden Strahlungseinfall gesteuert. Die Startparameter und Randbedingungen werden in einer Initialisierungsdatei vorgegeben. Die wichtigsten Parameter sind:

- Geographische Position
- Datum und Uhrzeit
- Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit und -richtung
- Vertikalprofil der Lufttemperatur
- Vertikalprofil der spezifischen Luftfeuchtigkeit
- Bodentemperatur- und Bodenfeuchteprofil

In der vorliegenden Untersuchung wird für das Untersuchungsgebiet der Tagesverlauf an einem strahlungsreichen Sommertag in Form eines trocken-heißen Sommertags ohne Bewölkung mit geringer Windgeschwindigkeit und hieraus resultierendem hohen Wärmestress-Potenzial simuliert. Die Initialisierung des Anfangszustands der Atmosphäre und des Bodens erfolgt in Anlehnung an Beobachtungsdaten, die für die Umgebung des Untersuchungsgebiets vorliegen.

Auf Grundlage der so ermittelten Ergebnisse der bioklimatischen Simulationsrechnungen erfolgt für das Bebauungsplangebiet und die angrenzenden Wohnsiedlungen eine Quantifizierung und Bewertung der planungsbedingten klimaökologischen Auswirkung und ggf. die Ableitung von Empfehlungen zur Optimierung der lokalen Situation.

Rechengebiet	Gitterzellen in x- und y-Richtung	Horizontale Gitterauflösung in m	Vertikale Gitterauflösung in Bodennähe in m	Anmerkung
Mesoskala	696 x 696	200	16	
Mesoskala	480 x 480	50	8	
Mikroskala	492 x 432	10	6	Gebäude und Vegetation explizit aufgelöst
Mikroskala (Ziel-Rechengebiet)	444 x 344	2.5	2.5	Gebäude und Vegetation explizit aufgelöst

Tab. 5.1: Modelltechnische Angaben zu den Rechengebieten

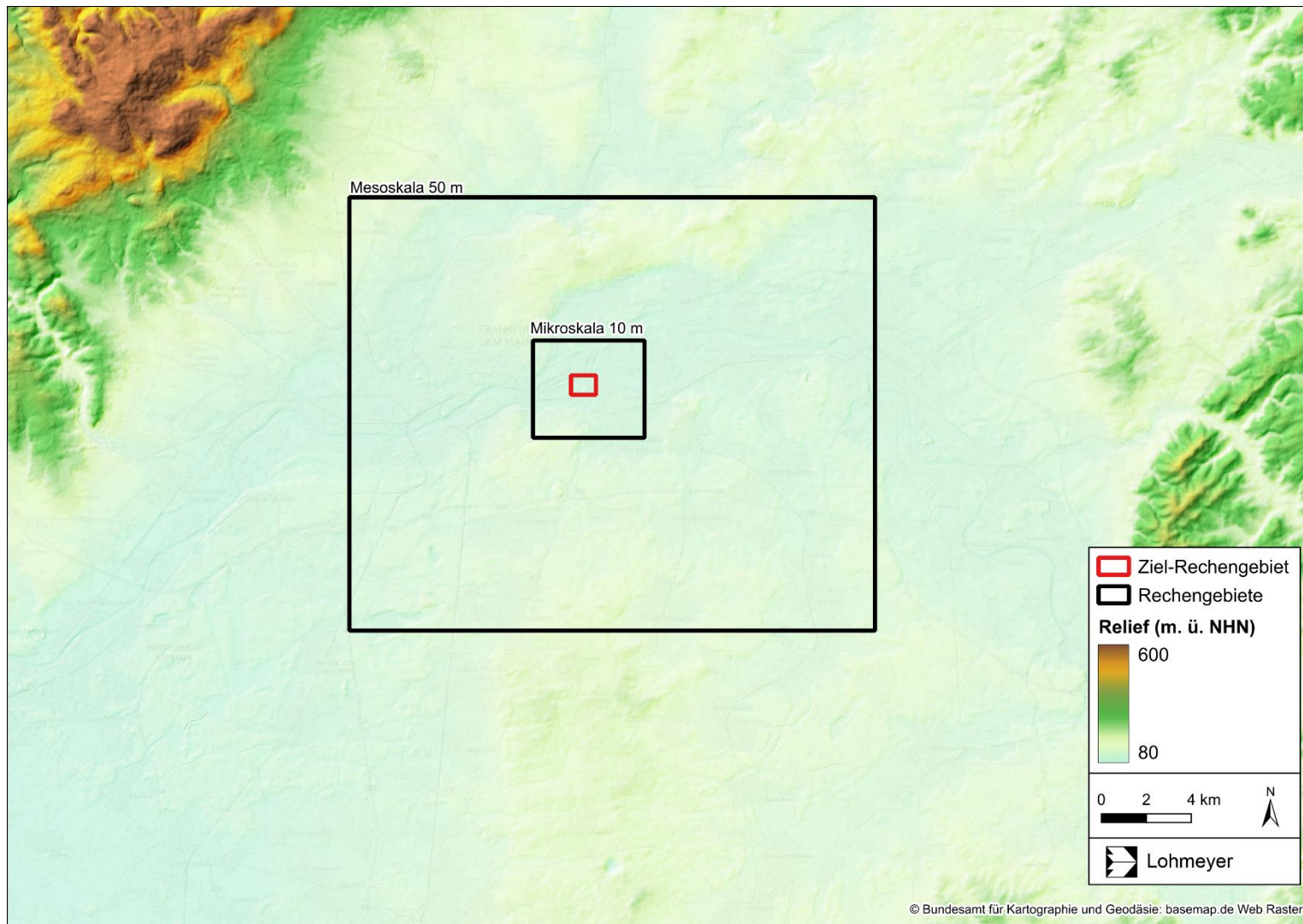


Abb. 5.1: Nesting-Rechengebiete

6 EINGANGSDATEN

Die in diesem Gutachten genutzten Geländeinformationen und Angaben zur Landbedeckung sowie die Lage und Höhe der bestehenden und geplanten Gebäude wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt bzw. freien Datenquellen entnommen (Abschnitt 9.2).

6.1 Lage und Relief des Untersuchungsgebiets

Die Stadt Offenbach liegt direkt am Main in einer durchschnittlichen Höhe von etwa 98 m ü. NHN. Im Nordosten des Stadtteils Kaiserlei ist der Bebauungsplan Nr. 652b in Erarbeitung. Das Plangebiet befindet sich östlich der Autobahn A 661 und wird begrenzt durch den Nordring im Norden, den Bornheimer Weg im Osten und die Kaiserleistraße im Süden. Im Westen schließt der Geltungsbereich des Bebauungsplans Nr. 652a an; in der vorliegenden Untersuchung wird die dort mögliche Planbebauung als bereits umgesetzt berücksichtigt (vgl. **Abb. 6.1**).

In der vorliegenden Untersuchung werden für die Modellsimulationen die Reliefinformationen aus Angaben des digitalen Geländemodells DGM1 des Landes Hessen abgeleitet.

Das Plangebiet befindet sich auf einer Höhe von ca. 98 m ü. NHN, in überwiegend flachem Gelände. Die niedrigsten Höhen liegen in Bereich des Mains vor. Ca. 2 km südwestlich liegt eine bewaldete Erhebung, welche mit ca. 150 m ü. NHN die höchsten Gelände im direkten Umfeld südlich des Mains darstellt. Nördlich des Mains steigt das Gelände in nordwestlicher Richtung auf ca. 120 m an (vgl. **Abb. 6.2**).

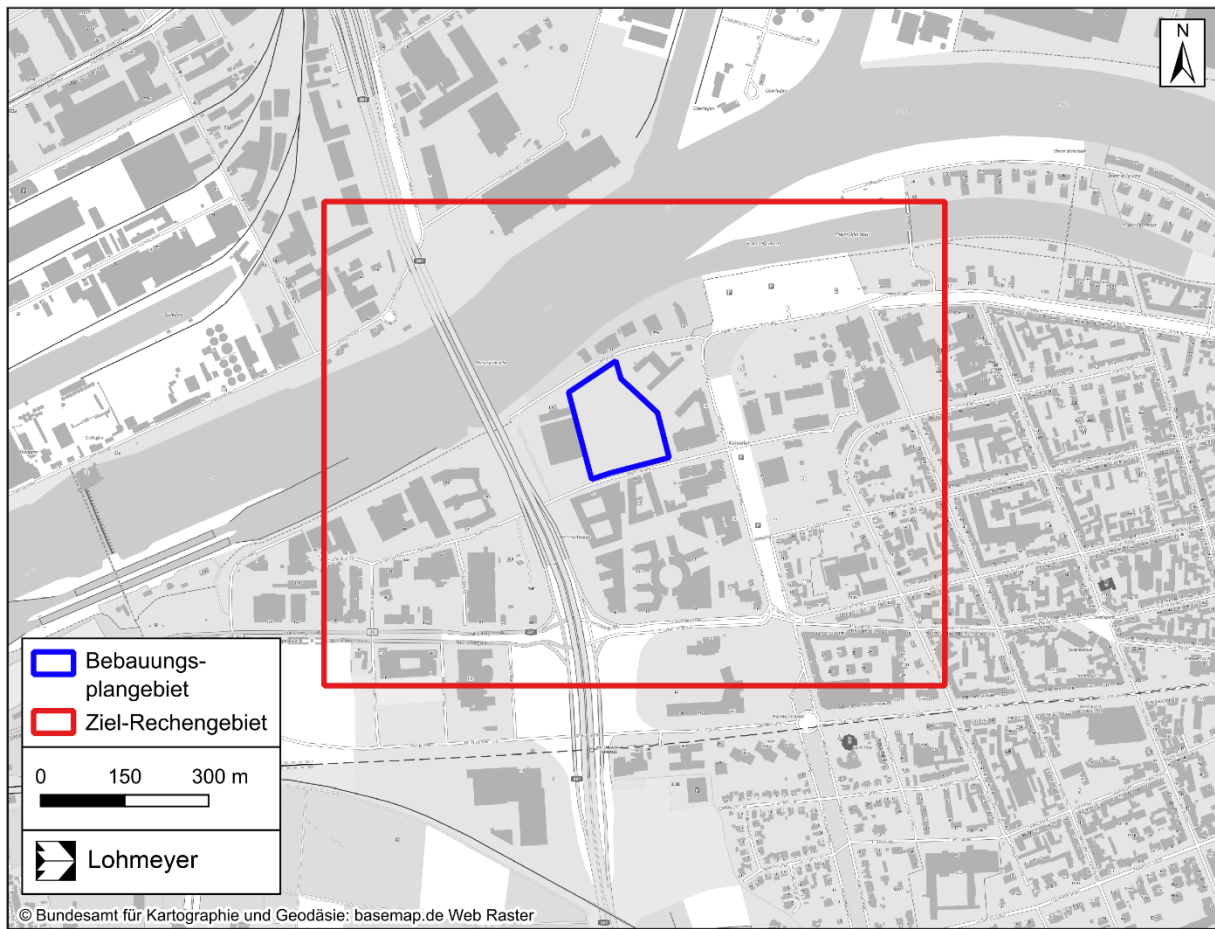


Abb. 6.1: Lage des Bebauungsplangebiets im Ziel-Rechengebiet

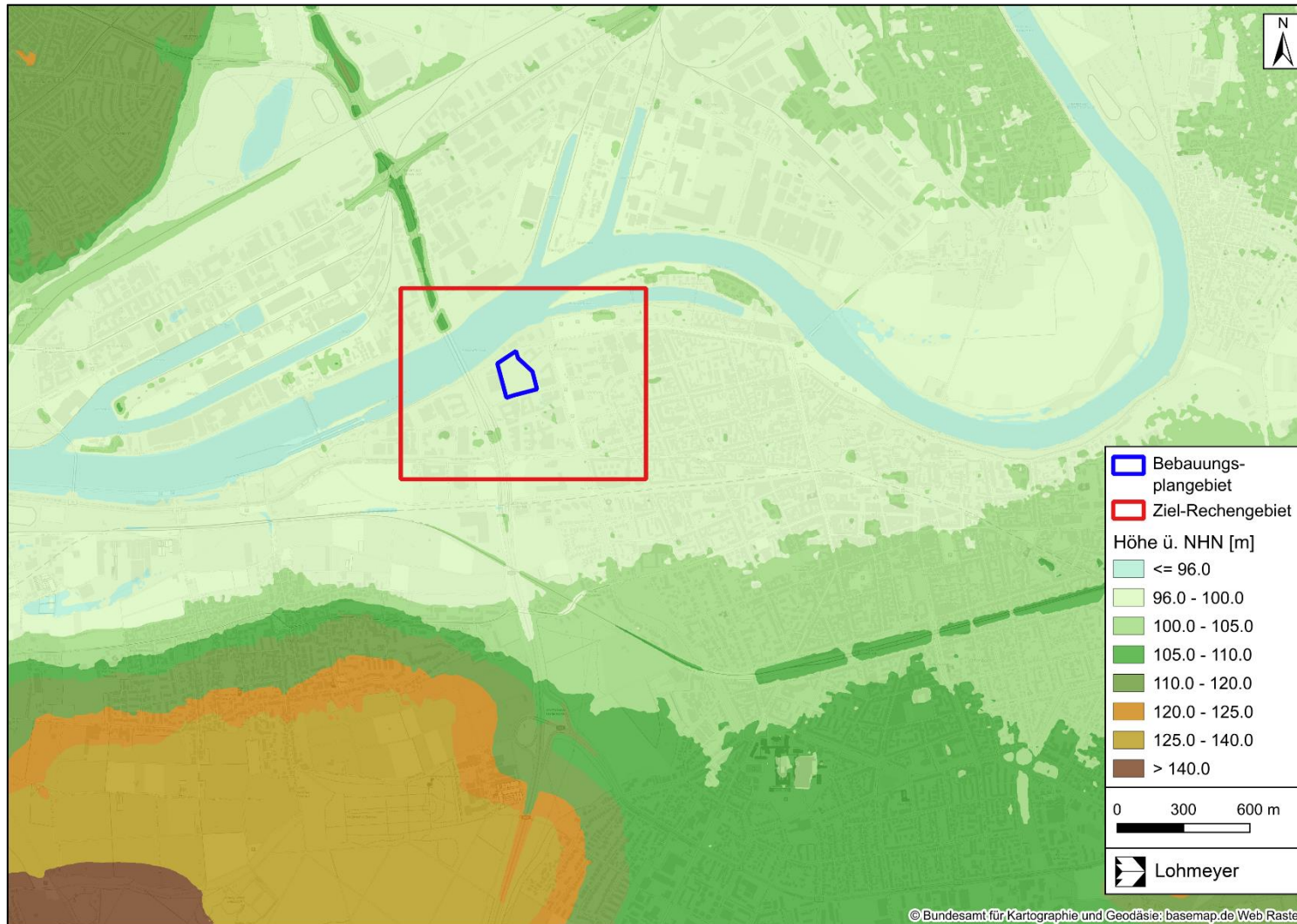


Abb. 6.2: Relief im Untersuchungsgebiet und seinem näheren Umfeld

6.2 Landbedeckung

Im Folgenden werden die verwendeten Informationen zur Beschreibung der Oberflächen und städtischen Struktur exemplarisch für das Untersuchungsgebiet („Ziel-Rechengebiet“), das das Bebauungsplangebiet umfasst.

6.2.1 Oberflächen und Vegetation

Die in den Simulationsrechnungen verwendeten Oberflächentypen werden auf der Grundlage des Urban Atlas des Copernicus Land Monitoring Services sowie von aktuellen Luftbildern abgeleitet. Für den Planfall werden die vorgesehene Oberflächenbeschaffenheit aus dem Vorabzug der Freianlagenplanung bzw. in Anlehnung an den Rahmenplan abgeleitet.

Die angesetzten Vergleichsfälle sind für das Bebauungsplangebiet und seiner Umgebung im Ziel-Rechengebiet in **Abb. 6.3** und **Abb. 6.4** abgebildet.

Die **Abb. 6.3** stellt den Vergleichsfall für das Referenzszenario „Bestand“ dar; das ist der derzeitige Istzustand im Bebauungsplangebiet sowie die Berücksichtigung der derzeitigen Bestandsbebauung auf dem westlich angrenzenden Geltungsbereich des B-Plans Nr. 652A.

Die **Abb. 6.4** stellt den Vergleichsfall für das Referenzszenario „Hochhaus“ dar; das ist der derzeitige Istzustand im Bebauungsplangebiet sowie die zusätzliche Annahme einer bereits realisierten Planung im Geltungsbereich des westlich benachbarten Bebauungsplans Nr. 652A.

Das Plangebiet des hier im Fokus stehenden B-Plans Nr. 652B „Kaiserlei Nordost; östlicher Teil“) liegt derzeit brach. Somit ist die Oberfläche als freier Boden oder Grünfläche klassifiziert. In **Abb. 6.5** ist das Bebauungsplangebiet und seine direkte Umgebung im Planzustand dargestellt, hier exemplarisch für das Referenzszenario „Hochhaus“. Im nördlichen Teil des Plangebietes sieht die Planung die Schaffung von Grünflächen mit Sport- und Spielflächen vor. Die Wege durch die Grünanlage sowie die Bereiche um die geplanten Gebäude werden versiegelt.

Die Erfassung der bestehenden Baumstandorte und Baumhöhen erfolgt auf der Grundlage von aktuellen Luftbildern und Laserscandaten. Der Baumbestand für den Vergleichsfall ist in **Abb. 6.3** und **Abb. 6.4** exemplarisch für das Ziel-Rechengebiet dargestellt. Grundsätzlich zeigt das Untersuchungsgebiet einen mittleren Baumanteil, so beispielsweise auf den Grünflächen westlich der Kaiserleibrücke oder südöstlich des Plangebietes zwischen der Bebau-

ung. Entlang einiger Straßen liegt eine Bepflanzung mit Straßenbäumen vor. Innerhalb des Plangebiets sind ebenfalls Bäume vor allem im nördlichen Teil verortet.

Im Planfall werden einzelne Bäume zwischen und westlich und östlich neben den Gebäuden berücksichtigt. Auf der nördlichen Grünfläche befinden sich ebenfalls einige Bäume. Eine vergleichsweise geringe Baumhöhe von ca. 8 m bis 12 m wird angenommen (vgl. **Abb. 6.5**); bei dieser Vorgehensweise handelt es sich um eine konservative Annahme, da so die verschattende Wirkung von Bäumen und den damit verbundenen positiven Effekt auf die tägliche Wärmebelastung durch die angesetzte Höhe in den Simulationsrechnungen vergleichsweise gering berücksichtigt wird. Die Simulationsergebnisse sollen potenzielle durch Hitze belastete Bereiche aufdecken, so dass die Ergebnisse für darauf aufbauende Planungen zur strategischen Anordnung von Klimaanpassungsmaßnahmen zur Steigerung der Aufenthaltsqualität durch Verringerung der Hitzeentwicklung genutzt werden können.

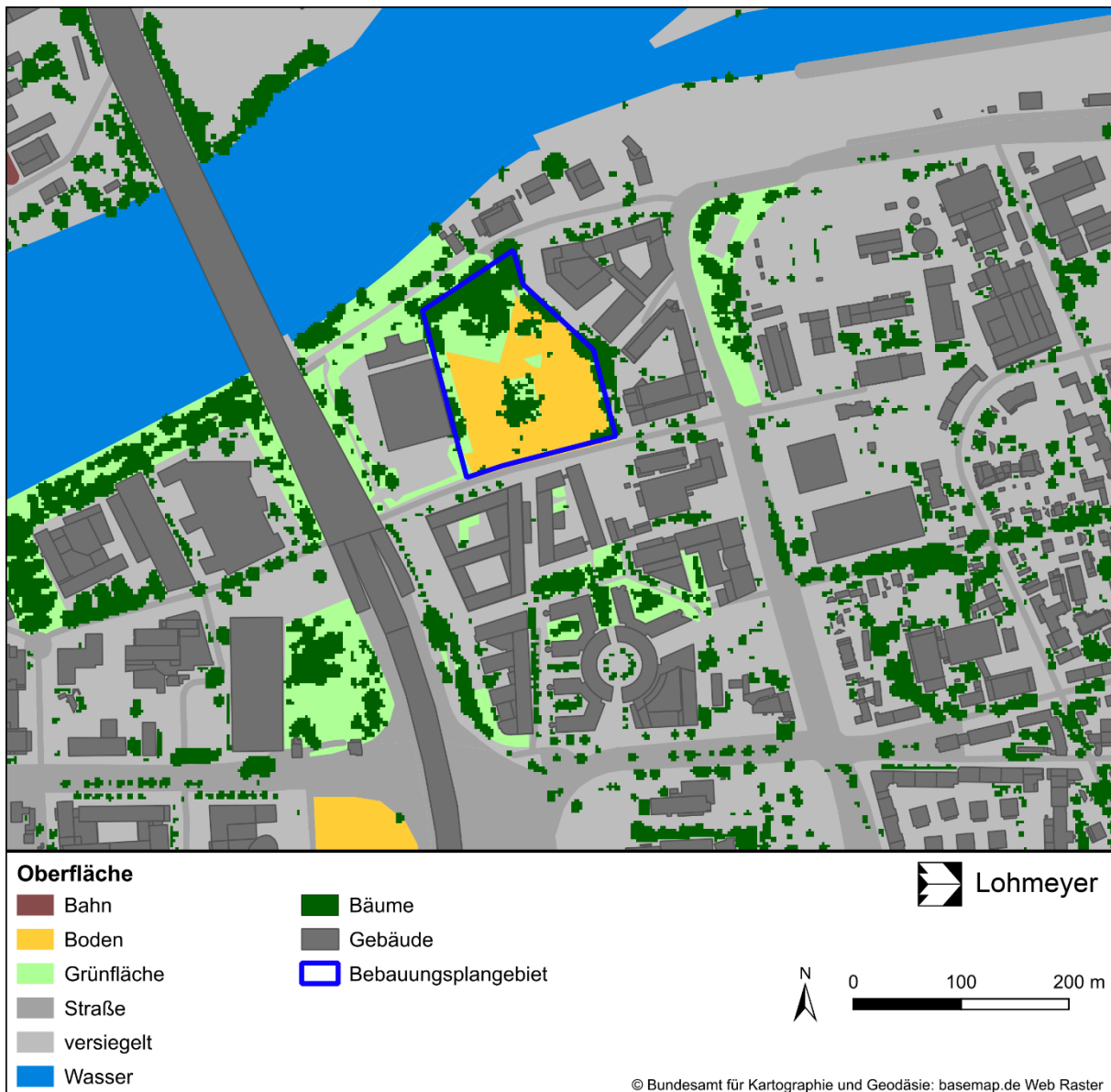


Abb. 6.3: Oberflächen und Vegetation im Untersuchungsgebiet (Ziel-Rechengebiet) für den Vergleichsfall im Referenzszenario „Bestand“

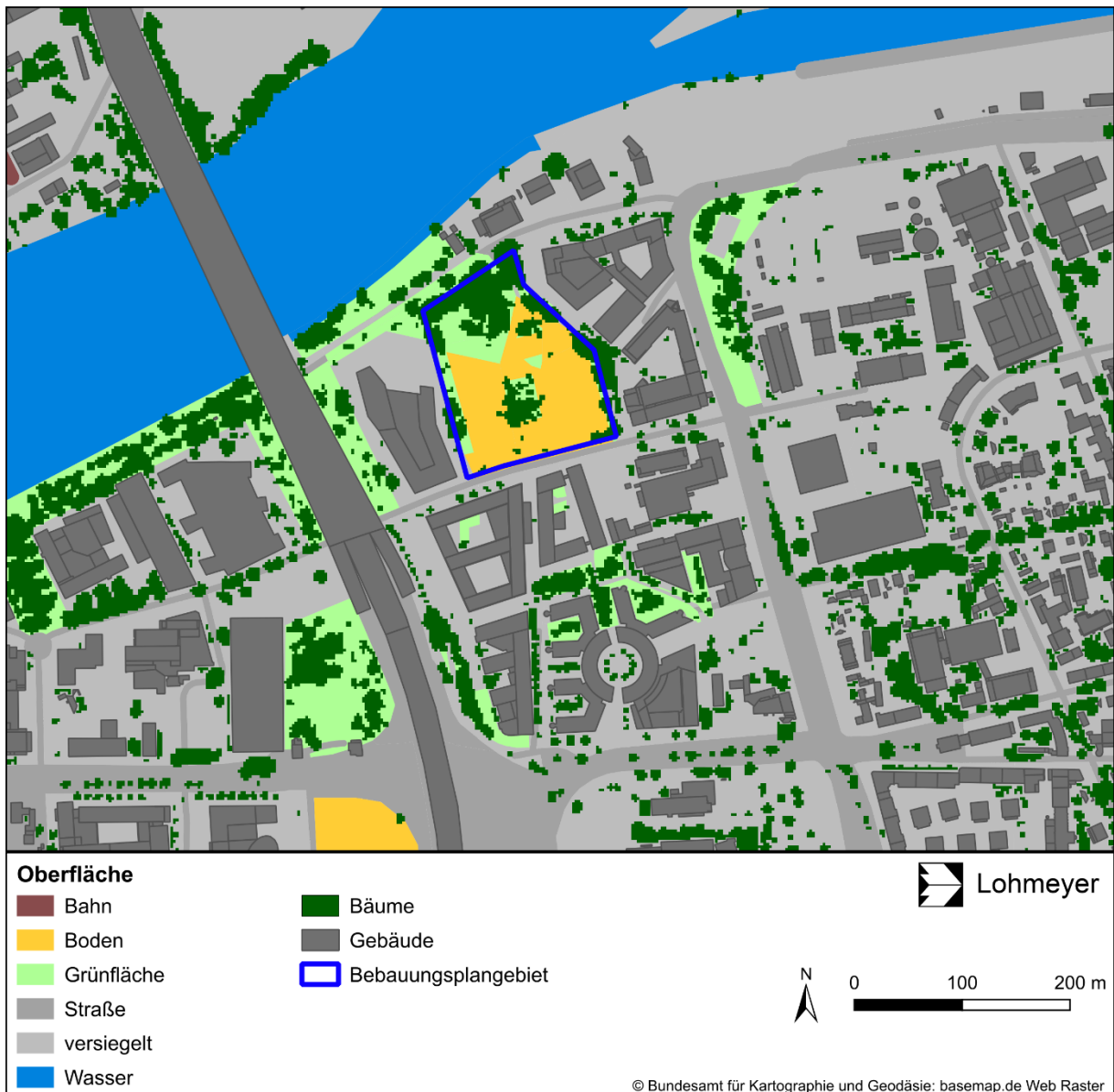


Abb. 6.4: Oberflächen und Vegetation im Untersuchungsgebiet (Ziel-Rechengebiet) für den Vergleichsfall im Referenzszenario „Hochhaus“

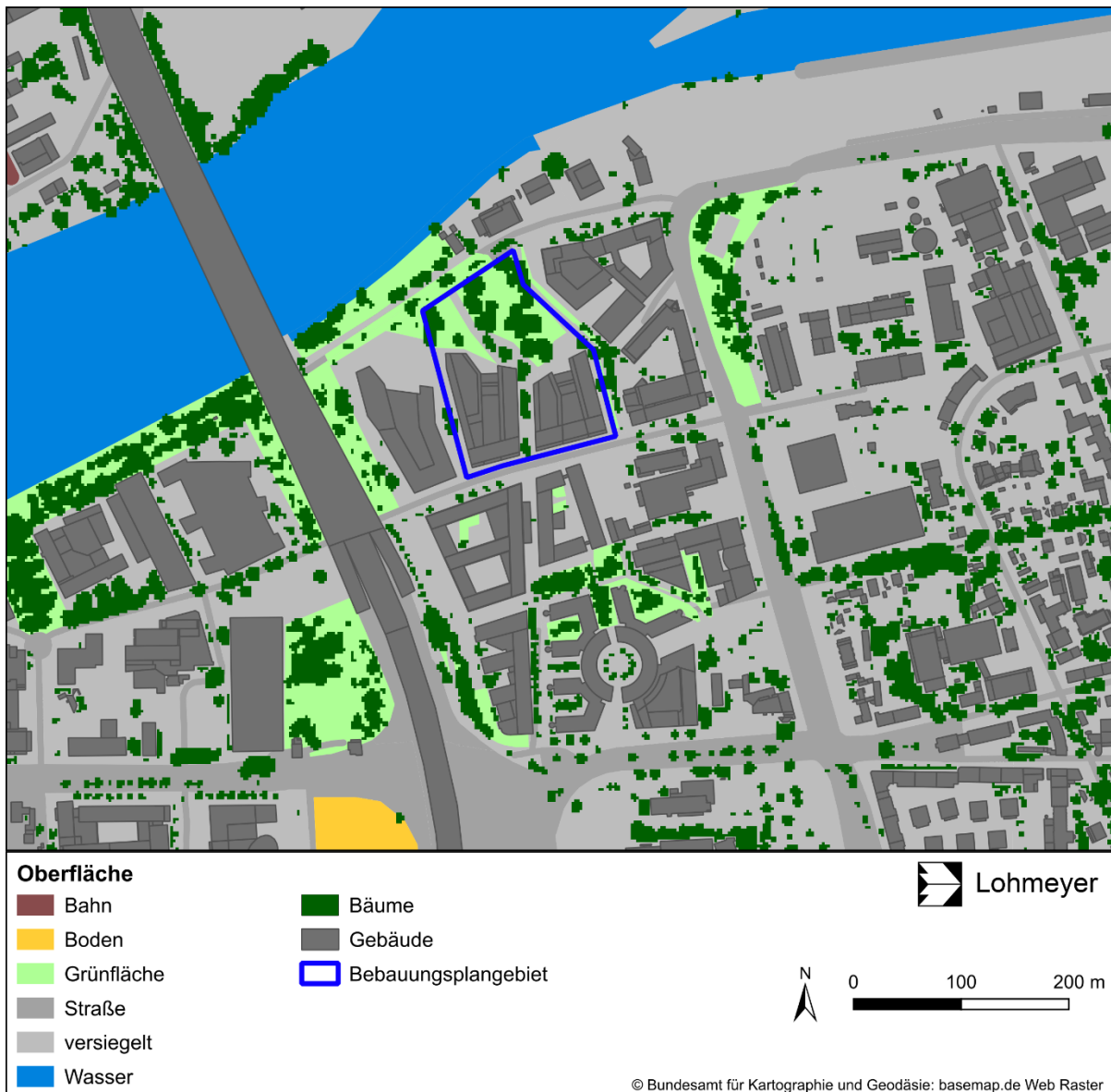


Abb. 6.5: Oberflächen und Vegetation im Bereich des Bebauungsplangebiets und seiner direkten Umgebung für den Planfall im Referenzszenario „Hochhaus“

6.2.2 Gebäude

Die Erfassung der bestehenden Gebäude erfolgt auf Grundlage des digitalen Gebäudemodells LOD1 des Landes Hessen sowie aktueller Luftbilder. Die Lage und Höhe der Plangebäude werden den übergebenen Unterlagen zum aktuellen Bebauungsplanentwurf und Planungsentwürfen entnommen.

Derzeit ist das Plangebiet überwiegend unbebaut und liegt brach.

Die Planungen umfassen eine Neubebauung mit zwei U-förmigen Bürogebäuden mit 7 bis 17 Geschossen. Der Entwurf sieht für die Gebäude längliche, Nord-Süd ausgerichtete Kubaturen vor, wobei die westlichen Gebäudeteile deutlich höher sind. Die Gebäudeteile entlang der Kaiserleistraße sind mit 7 Geschossen niedriger. Die äußeren Zwischenbereiche sind als Sockelbereiche mit einer Höhe von bis zu zwei Geschossen ausgestaltet. Die Gebäudehöhe im Planfall liegt überwiegend zwischen ca. 29 m und 70 m, die zweigeschossigen Sockelbereiche weisen eine Höhe von ca. 9 m auf (vgl. **Abb. 6.5**). Die hier angesetzte Bebauung entspricht einem konkreten Gebäudeentwurf. Entsprechend der Festsetzungen des Bebauungsplanes sind größere Gebäudehöhen an den Hochpunkten sowie an den niedrigen Seiten der u-förmigen Gebäude möglich. Auf dem Gelände der Sockelbereiche sowie der unteren Dächer ist eine großflächige Begrünung mit Bäumen und Grünflächen vorgesehen.

Umliiegend des Plangebietes liegt vorwiegend eine gewerbliche Bebauung mit Gebäudehöhen zwischen 8 m und 40 m vor (vgl. **Abb. 6.5**). Westlich des Plangebiets befindet sich der Baukörper der Vorlandbrücke der Kaiserleibrücke im Zuge der A 661. Die Bestandsbebauung im Geltungsbereich des westlich angrenzenden B-Plans Nr. 652A besteht aus einem niedrigen Hallengebäude sowie aus einem Bürogebäude mit einer Höhe von bis zu 12 m (vgl. **Abb. 6.5**); diese ist im Referenzszenario „Bestand“ berücksichtigt.

Das neu geplante Hochhaus des westlich benachbarten B-Plans Nr. 652A ist mit einer Höhe von ca. 120 m geplant. Der u-förmige, niedrige Gebäudeteil weist eine Höhe von bis ca. 26 m auf. Der u-förmige Gebäudeteil ist im Innenhof mit einem niedrigen Gebäudesockel gefüllt (vgl. **Abb. 6.6**); diese noch nicht realisierte Bebauung ist im Referenzszenario „Hochhaus“ berücksichtigt.

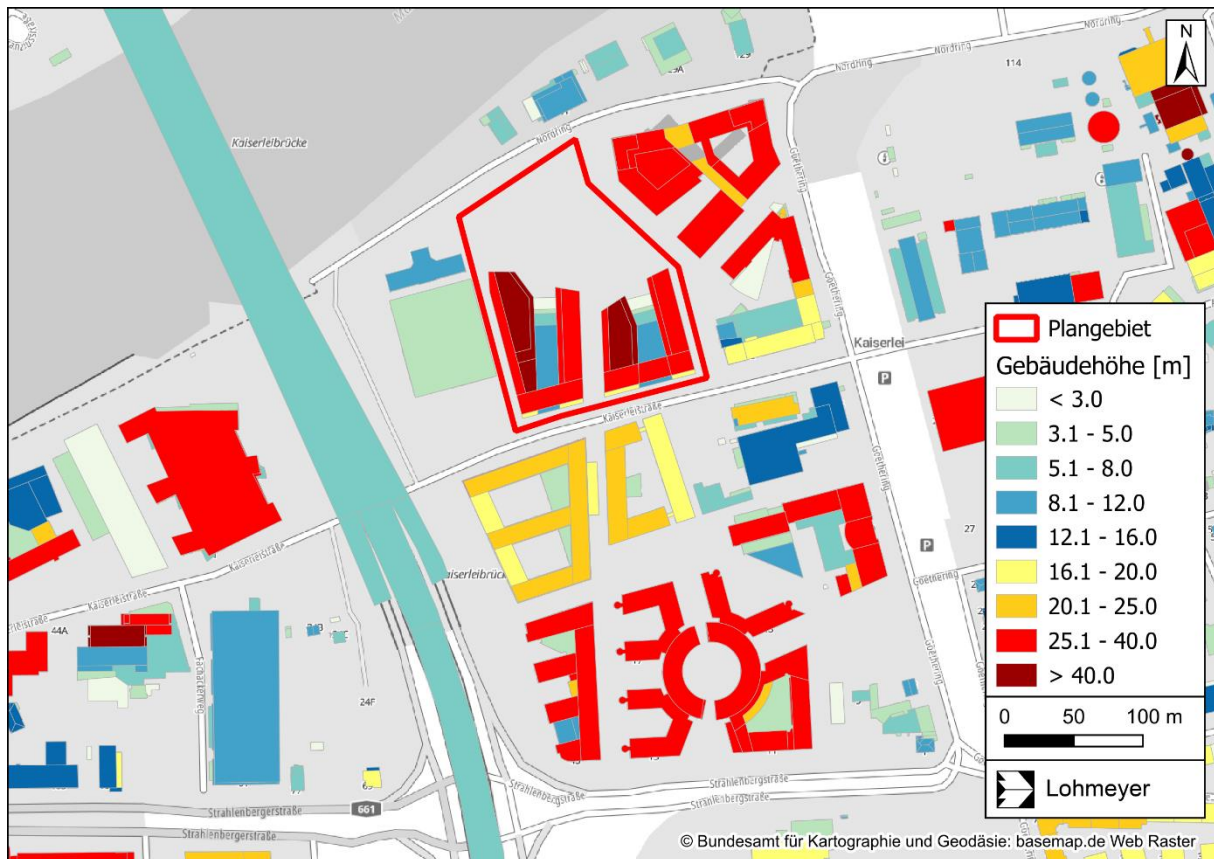


Abb. 6.5: Lage und Höhe über Grund der Gebäude im Untersuchungsgebiet im Planfall mit Bestandsbebauung auf dem angrenzenden Bebauungsplan

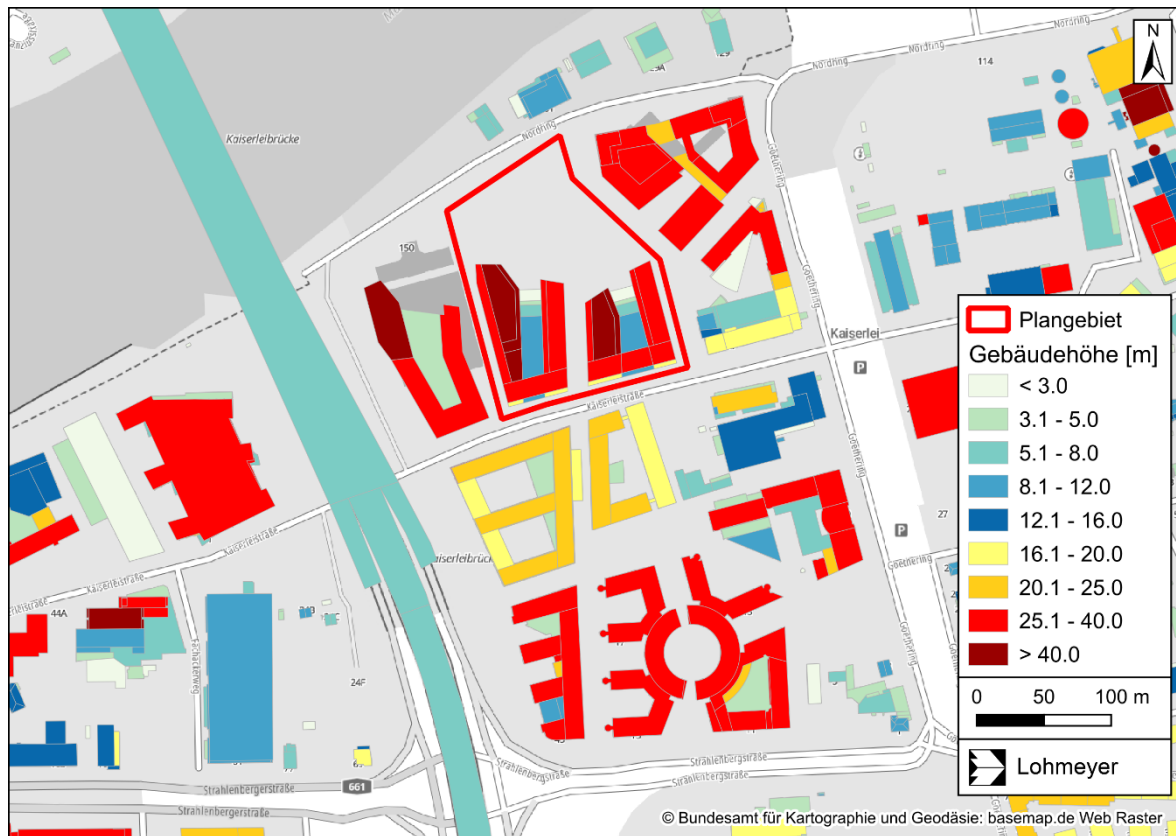


Abb. 6.6: Lage und Höhe über Grund der Gebäude im Untersuchungsgebiet im Planfall mit geplantem Hochhaus auf dem angrenzenden Bebauungsplan

6.3 Meteorologische Daten

Zur Charakterisierung der Anströmungsbedingungen werden meteorologische Messdaten der DWD-Station Frankfurt-Flughafen herangezogen. Der Flughafen Frankfurt erstreckt sich auf einer Freifläche zwischen ca. 14 km südwestlich des Untersuchungsgebietes. Die **Abb. 6.6** (links) zeigt die Verteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit für den Zeitraum 2011 bis 2020. Die mittlere Windgeschwindigkeit in diesem Zeitraum liegt bei 3.4 m/s. Die Hauptwindrichtung ist Südwest bis Südsüdwest, ein Nebenmaximum bildet sich bei nordöstlichen Richtungen aus. Eine Auswertung für „Heiße Tage“ (Tagestemperatur-Maximum > 30 °C) zeigen tagsüber nordöstliche bis südwestliche Windrichtungen mit einer geringeren mittleren Windgeschwindigkeit von 3.2 m/s (**Abb. 6.6**, rechts). In Summe ergeben sich etwas mehr Anströmrichtungen aus östlichen Richtungen, sodass die Simulation tagsüber mit einem schwachen östlichen Antrieb durchgeführt wird. Nachts wird in der Simulation kein übergeordneter Antrieb berücksichtigt, dadurch bilden sich die nächtlichen Kaltluftströmungen im Modell selbstständig aus.

Die **Abb. 6.7** zeigt die Zeitreihe der bodennahen Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit vom 05.08.2020 und 07.08.2020 an der DWD-Station Frankfurt-Flughafen. Im dargestellten Zeitraum ergeben sich ansteigende Maximalwerte der Lufttemperatur von knapp unter 30 °C am 05.08.2020 bis deutlich über 30 °C am 07.08.2020. Nachts sinken die Temperaturen auf knapp unter 15 °C am Morgen des 06.08.2020 und etwa 18 °C bzw. 21 °C an den beiden darauffolgenden Tagen. Der Tagesgang der relativen Luftfeuchte verläuft invers zu derjenigen der Temperatur. Die Initialisierung der Rechnungen mit PALM-4U wurde in Anlehnung an die Werte der Temperatur und Luftfeuchte des 06.08.2020 um 02 MESZ gewählt. Für die DWD-Station Frankfurt-Flughafen liegen auch Beobachtungsdaten über die Temperaturverhältnisse des Bodens vor, diese werden in der vorliegenden Untersuchung herangezogen.

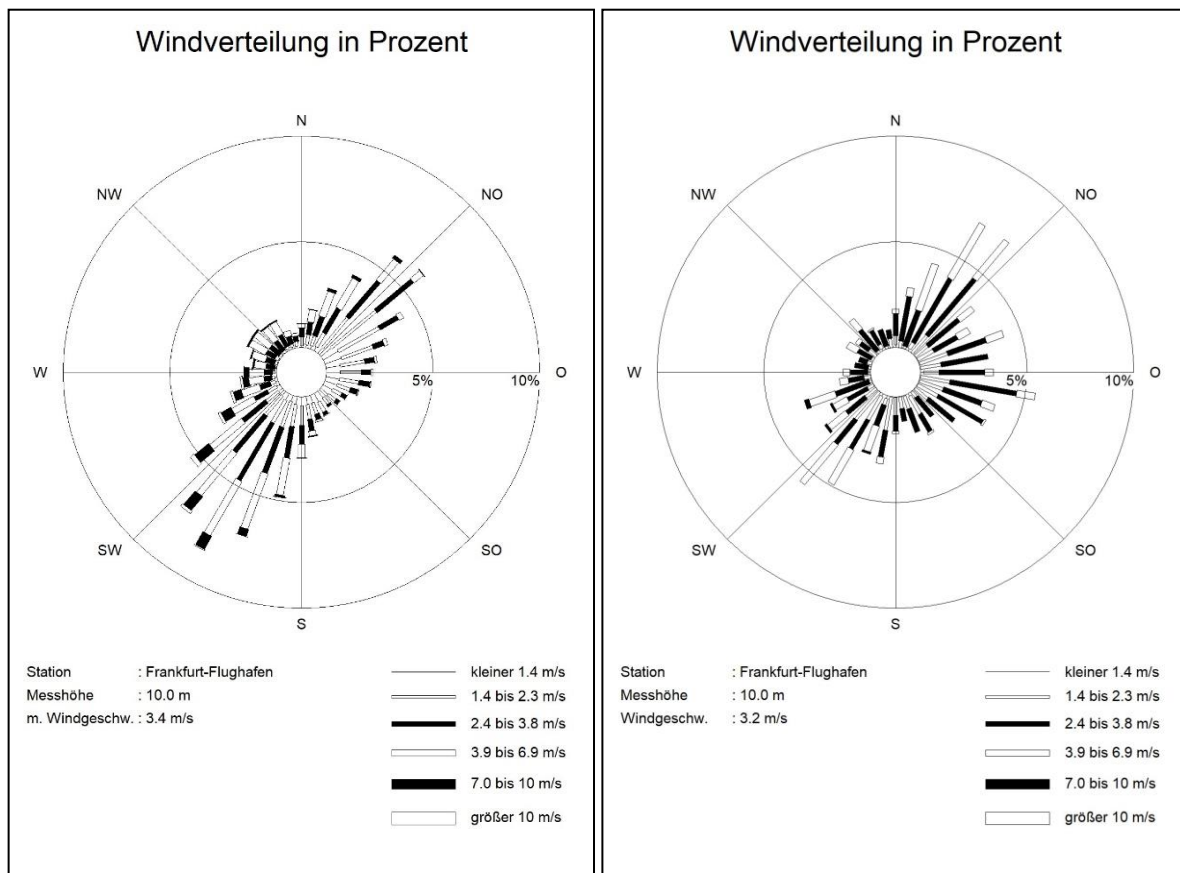


Abb. 6.6: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Frankfurt-Flughafen von 2011 bis 2020 für alle Tage (links) und selektiert für „Heiße Tage“ (rechts) (Quelle DWD)

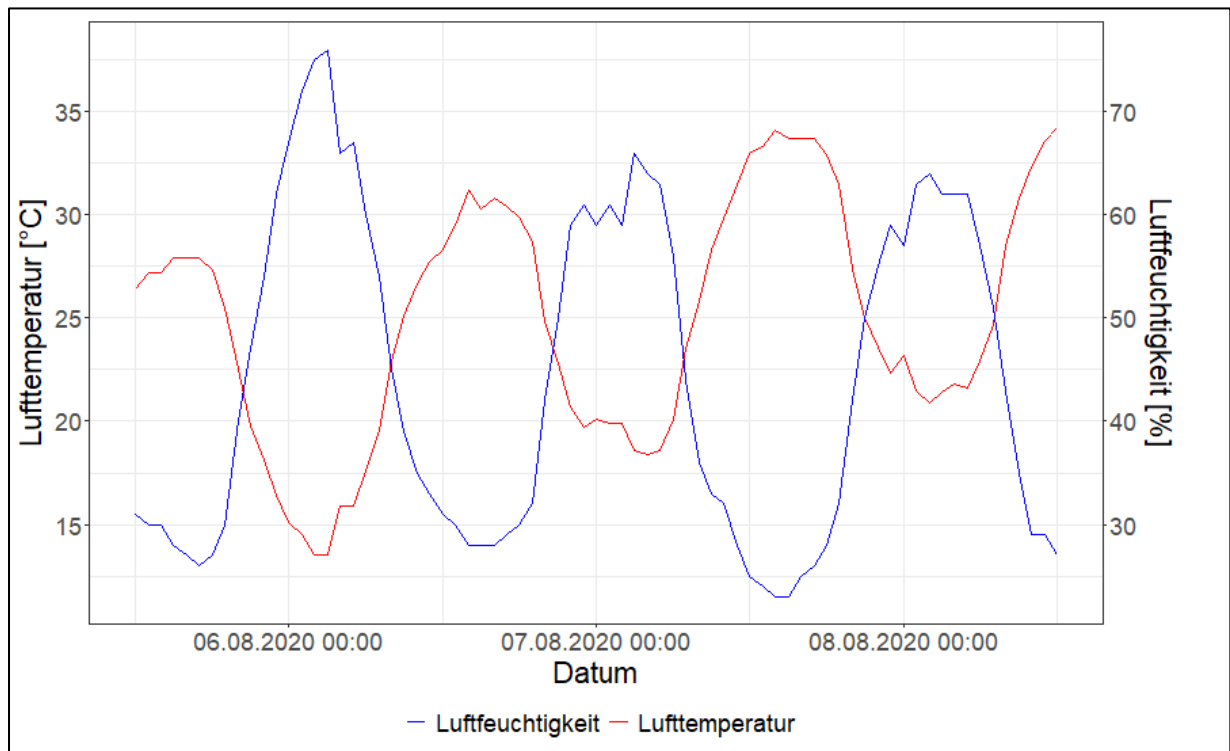


Abb. 6.7: Zeitreihe der Lufttemperatur (rot) und Luftfeuchtigkeit (blau) an der DWD-Station Frankfurt-Flughafen vom 05.08.2020 bis 08.08.2020 (Quelle DWD)

7 ERGEBNISSE

Für das Aufzeigen der Auswirkungen der geplanten baulichen Änderungen auf die bioklimatischen Verhältnisse und die nächtliche Belüftung bei einer sommerlichen autochthonen Wetterlage werden Simulationen für den Vergleichsfall mit zusätzlicher Berücksichtigung der Planungen des B-Plans Nr. 652a und den Planfall mit dem Modell PALM-4U durchgeführt. Dafür wird ergänzend zum Untersuchungsgebiet das umliegende Gelände mit den Geländeanstiegen berücksichtigt. Das äußere Rechengebiet wurde so groß gewählt, dass die Einflüsse der umliegenden Geländeerhebungen auf die Kaltluftströmungen erfasst werden. Entsprechend den Beschreibungen in **Kap. 5.1** werden die Simulationen um 0 Uhr UTC gestartet und der Tagesgang eines typischen sommerlichen Tages inklusive der darauffolgenden Nacht bei einer autochthonen Wetterlage berechnet. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt zu einer Stunde mit großer Wärmebelastung am Nachmittag und früh morgens nahe am nächtlichen Temperaturminimum.

Die thermischen Verhältnisse in Bodennähe werden kleinräumig auch durch die bestehenden Nutzungen, insbesondere durch die bestehenden Oberflächen geprägt. Baumbestehende Vegetationsflächen führen in den Tagstunden bei wolkenarmem Himmel zu moderatem Ansteigen der Lufttemperatur und in den Nachtstunden zu deutlichen Abkühlungen. Flächendeckende, niedere Vegetationsflächen führen in den Nachtstunden zu intensiven Abkühlungen. Über künstlichen Oberflächen (Asphalt, Pflaster, Gebäude etc.) führt die Sonneneinstrahlung zu intensiver Erwärmung der unteren Luftschichten, sodass ein deutlicher Anstieg der Lufttemperatur in den Tagstunden und eine verminderte und verzögerte Abkühlung in den Nachtstunden zu beobachten ist.

Die Beschreibung erfolgt anhand der im Anhang A1 beschriebenen klimatologischen Parameters. Neben der Lufttemperatur in 2 m Höhe wird zur Beschreibung der bioklimatischen Situation die Gefühlte Temperatur GT (siehe Anhang A1.3) ausgewertet. Dabei liegt eine mäßige Wärmebelastung ab GT-Werten von 28 °C vor, die in den grafischen Ergebnisdarstellung mit grünen Farben belegt wird. Eine starke Wärmebelastung tritt ab 32 °C auf und wird in Gelb- und Orangetönen dargestellt. Eine extreme Wärmebelastung mit GT-Werten ab 38 °C ist Rot eingefärbt.

7.1 Referenzszenario Bestand

7.1.1 Bioklimatische Situation am Tag

An einem wolkenlosen sommerlichen Strahlungstag wird bei einer autochthonen Wetterlage meist am späten Nachmittag zwischen 16 Uhr und 18 Uhr (alle Zeitangaben beziehen sich auf MESZ) die höchste Lufttemperatur in 2 m Höhe erreicht. Für die Wärmebelastung eines Menschen ist diese aber nicht allein prägend, sondern neben der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit vor allem die mittlere Strahlungstemperatur. Diese erreicht im Sommer etwa um 14 Uhr ihren Höchstwert. Als Auswertezeitraum für die Betrachtung der Wärmebelastung am Tag wird eine Stunde am Nachmittag ausgewählt, in der beide Parameter nahe ihrem Höchstwert sind, d. h. etwa um 15 Uhr.

Die **Abb. 7.1** zeigt die berechneten Werte der **bodennahen Lufttemperatur** um 15 Uhr im Vergleichsfall. Aus der Abbildung ist erkennbar, dass die bodennahe Lufttemperatur die Verteilung von versiegelten und unversiegelten Flächen sowie die Position der Gebäude widerspiegelt. Die Lufttemperatur liegt dabei überwiegend zwischen 30 °C und 32 °C, so auch im Plangebiet. Im Bereich des Mains und anliegenden Grünflächen werden niedrigere Temperaturen (≤ 30 °C) ermittelt, wobei die Lufttemperaturen im Bereich des Mains überwiegend bei weniger als 29 °C liegen. Über versiegelten Flächen liegen die Lufttemperaturen vorwiegend bei 31 °C bis mehr als 32 °C. Erhöhte Lufttemperaturen von mehr als 32 °C werden über nicht verschatteten, versiegelten Flächen, meist südlich und westlich von Gebäuden, berechnet. Die **bodennahe Windgeschwindigkeit und -richtung** bei schwach östlicher Anströmrichtung sind für den Nachmittag ebenfalls in der **Abb. 7.1** dargestellt. Hieraus ist erwartungsgemäß abzuleiten, dass in Bereichen niedriger Bodenrauigkeiten (z. B. über dem Main) höhere Windgeschwindigkeiten (>1.5 m/s) auftreten. Die Gebäude entlang des Mains profitieren dadurch von guten Durchlüftungsverhältnissen. In Bereichen mit dichterem Bebauung wird die bodennahe Windgeschwindigkeit eingeschränkt und liegt teilweise unter 0.5 m/s.

Im Planfall werden innerhalb des Plangebiets trotz der im Vergleich zur Bestandssituation veränderten Bebauungsstruktur und dem höheren Anteil versiegelter Fläche vergleichbare Lufttemperaturen ermittelt (vgl. **Abb. 7.2**). Nur süd- bis südwestlich der Plangebäude treten höhere Lufttemperaturen von mehr als 32 °C auf. Auf den Grünflächen nördlich der Plangebäude sind vergleichbar zum Istzustand Lufttemperaturen von 30 °C bis 32 °C dargestellt. Entlang der Kaiserleistraße südlich der Planung steigt die Lufttemperatur leicht an und liegt zwischen 31 °C und 32 °C. Die Veränderungen des bodennahen Windfeldes beschränken

sich vorwiegend auf das Plangebiet. Die Luft kann durch die Gebäude nicht mehr ungehindert vom Main in die südlich liegenden bebauten Gebiete strömen. Nur zwischen den Plangebäuden besteht weiterhin eine Luftströmung in Richtung Süden.

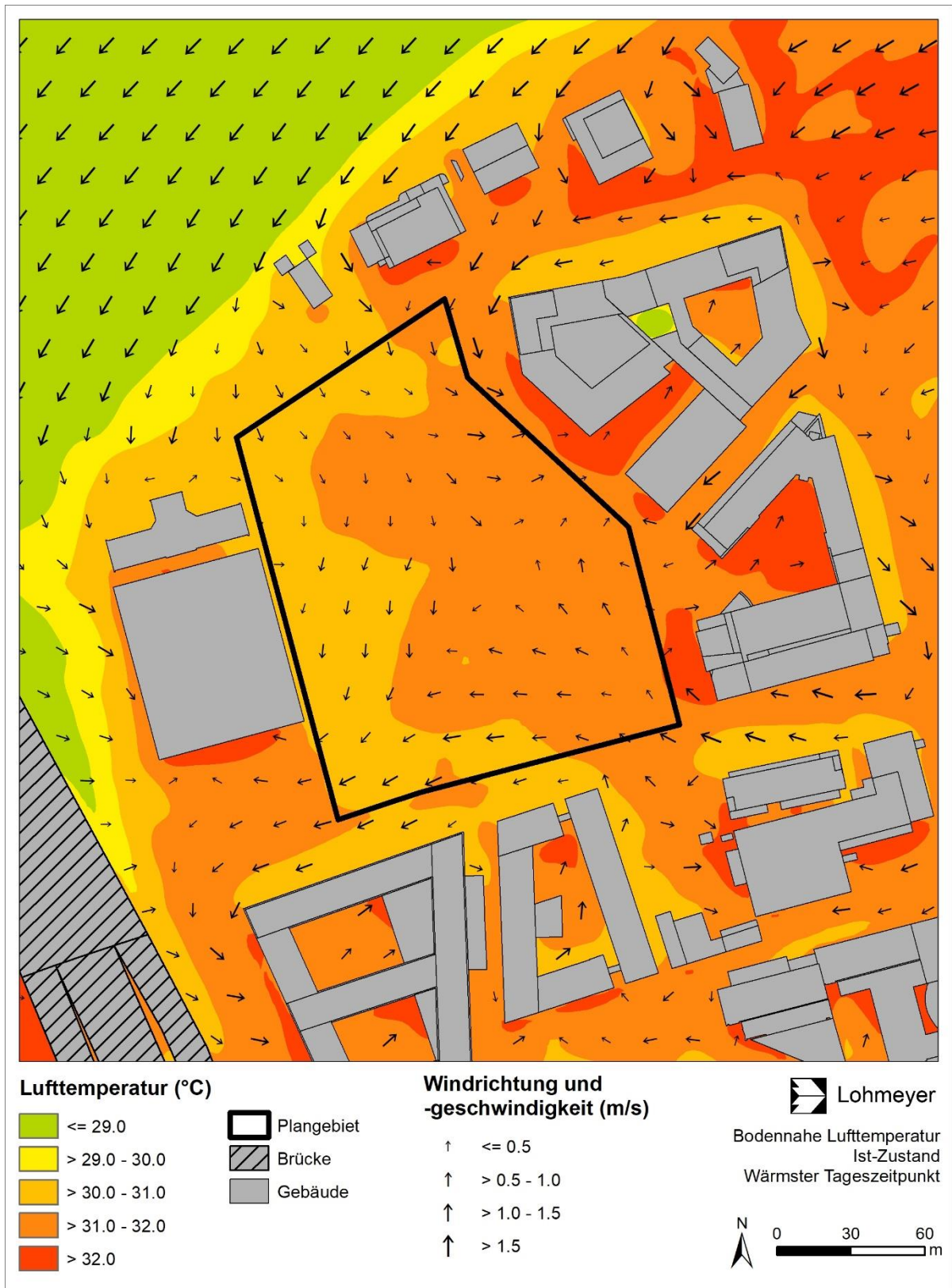


Abb. 7.1: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit im Tageszeitraum für den Vergleichsfall

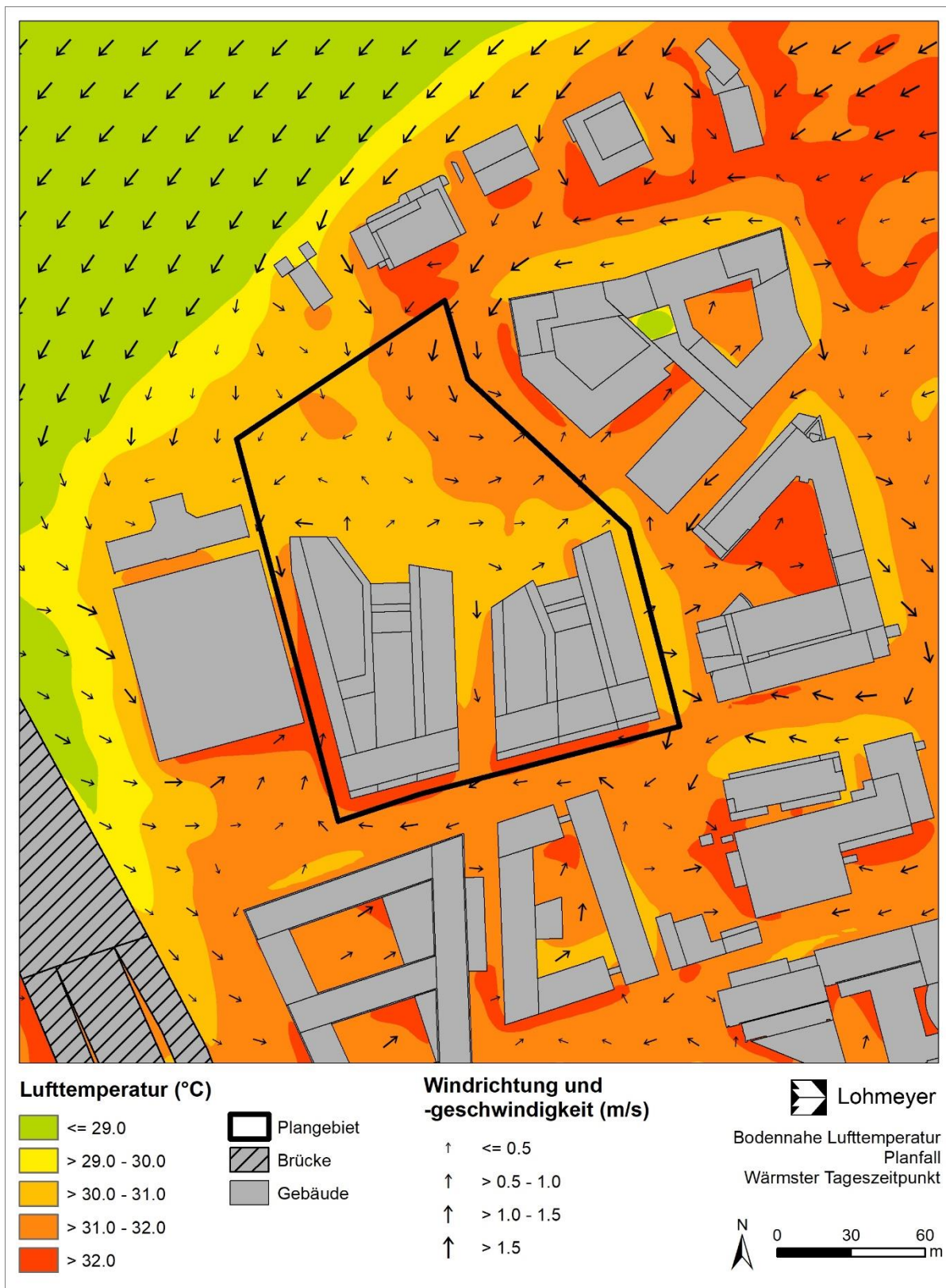


Abb. 7.2: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit im Tageszeitraum für den Planfall

Die **Abb. 7.3** zeigt die berechneten Werte der gefühlten Temperatur (GT) um 15 Uhr im Vergleichsfall. Die Auswertung der 2 m-Lufttemperatur zeigt, dass die Bedingungen für einen heißen Tag erfüllt sind. Dies spiegelt sich auch in der GT wider, die im Bereich versiegelter und offener Flächen einer starken (gelb bis orange eingefärbt) Wärmebelastung entspricht (vgl. Tab. 3.1).

Die **Abb. 7.3** zeigt eine sehr heterogene Verteilung der GT im Untersuchungsgebiet. Es wird deutlich, dass die GT in Abhängigkeit der Verschattungssituation, der Durchlüftung und der Oberflächenbeschaffenheit innerhalb des Untersuchungsgebietes stark variiert. Die Variationsbreite ist hierbei größer als bei der Lufttemperatur, da in der gefühlten Temperatur neben der Lufttemperatur, die Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit und die Strahlungstemperatur als meteorologische Einflussgrößen eingehen. Tagsüber führt die Sonneneinstrahlung aufgrund der hohen Strahlungstemperatur in besonnten Bereichen zu einer sehr heterogenen Verteilung der gefühlten Temperatur.

Besonders von Hitzestress betroffen sind Bereiche, die über mehrere Stunden hinweg nicht verschattet sind, mit Ausnahme der ausgedehnten, vergleichsweise kühlen Wasserfläche des Mains. Hierbei treten besonders nicht verschattete Straßenzüge (z. B. Teile des Nordrings/Goetherings) und die versiegelte Fläche wie bspw. Parkplätze (z. B. die Parkplätze auf dem westlich angrenzende Bebauungsplangebiet) hervor. Bei versiegelten Flächen wird der Effekt der Aufheizung durch die Wärmespeicherung der Oberfläche verstärkt. Besonders starke Wärmebelastungen ($GT > 36 \text{ °C}$) treten an einigen, nicht verschatteten Süd- und Südwestfassaden auf. Durch das Aufheizen der Gebäudefassade ohne Sonnenschutz kann es dabei zu Beeinträchtigungen des thermischen Komforts von Wohn- oder Büroräumen kommen.

Positive Auswirkungen auf die GT haben zum Beispiel Baumgruppen. Die verschattende Wirkung der Baumkronen führt zu einer geringeren Wärmebelastung, z. B. im Bereich der Baumgruppen entlang des Mains östlich der Kaiserleibrücke. Hier liegt die GT unter 32 °C , was einer mäßigen Wärmebelastung entspricht. Auch auf den Nordseiten von Gebäuden liegt die GT durch den Schattenwurf der Baukörper deutlich niedriger gegenüber unverschatteten Bereichen.

Im Plangebiet ist das oben beschriebene Muster wiederzufinden. Im Bereich der offenen, unverschatteten Brachflächen wird eine GT von 32 °C bis 38 °C berechnet. In der Baumgruppe im nördlichen Teil des Plangebietes sowie zentral im Plangebiet liegt eine mäßige Wärmebelastung mit GT-Werten von 32 °C oder geringer vor.

Die **Abb. 7.4** stellt die Verteilung der GT nach Realisierung des Bauvorhabens dar. Vergleichbar zur Situation für die Lufttemperatur weist die Verteilung der Gefühlten Temperatur außerhalb des Plangebietes nur geringe Unterschiede gegenüber dem Istzustand auf. Innerhalb des Plangebietes wird für die Bereiche an den Süd- und Westfassaden der Gebäude sowie unverschattete Bereiche im nördlichen Teil des Plangebietes eine starke Wärmebelastung berechnet. Zwischen den Plangebäuden sowie nördlich der Plangebäude wird die GT durch den Schattenwurf reduziert und erreicht mäßige Wärmebelastungswerte bis 32 °C.

Planungsbedingte Auswirkungen können aus der Differenzabbildung in **Abb. 7.5** entnommen werden. Hieraus ist abzuleiten, dass Veränderungen der gefühlten Temperatur vorwiegend für das Plangebiet und dessen nähere Umgebung berechnet sind. Im Bereich der Grünflächen nördlich der Plangebäude, welche durch diese oder die geplanten Baumpflanzungen verschattet werden sind Reduktionen der GT von mehr als 2 K ausgewiesen. An der nördlichen Grenze des Plangebietes liegt eine Erhöhung der GT von mehr als 2 K vor, da die bestehenden Bäume gefällt werden und die neu gepflanzten Bäume teils andere Standorte aufweisen und durch ihre geringere Höhe einen kleineren Schattenwurf haben. Südlich und westlich des Plangebietes liegt eine Erhöhung der GT von überwiegend bis zu 1 K vor. Dies kann zum Teil auf eine durch die modifizierten Durchlüftungsverhältnisse verminderte Zufuhr von kühlerer Luft vom Main zurückgeführt werden; wie in **Abb. 7.2** dargestellt, wird die Luftströmung vom Main nach Süden durch die Plangebäude eingeschränkt. Zwischen der Kaiserleibrücke und der westlich angrenzenden Bebauung tritt eine leichte Reduktion der GT durch kleinräumige Veränderungen des Windfeldes im Planfall auf. An der übrigen bereits bestehenden Bebauung sind keine wesentlichen Auswirkungen der Planung auf die thermischen Belange abgeleitet. Eine signifikante Zunahme der Hitzebelastung im wärmsten Tageszeitraum ist somit in der Nachbarschaft des Plangebietes nicht zu erwarten.

Zusammenfassend werden für einen heißen Tag im Sommer bei autochthoner Wetterlage in besonnten Bereichen starke bis sehr starke Wärmebelastungen berechnet. Aufgrund der Planung ergeben sich in der lokale Lufttemperaturänderungen und Änderungen der Wärmebelastung, die sich überwiegend auf die nächstgelegene Umgebung beschränken. Dabei sind die bioklimatischen Verhältnisse aus stadtklimatischer Sicht tagsüber weiterhin mit denjenigen des Vergleichsfalls vergleichbar. Innerhalb des Plangebiet sind im Bereich der geplanten Freiflächen durch Verschattungseffekte der Planbebauung und Bäume überwiegend geringere Wärmebelastungen gegenüber den derzeitigen Verhältnissen abgeleitet, die zudem als mäßig eingestuft werden können.

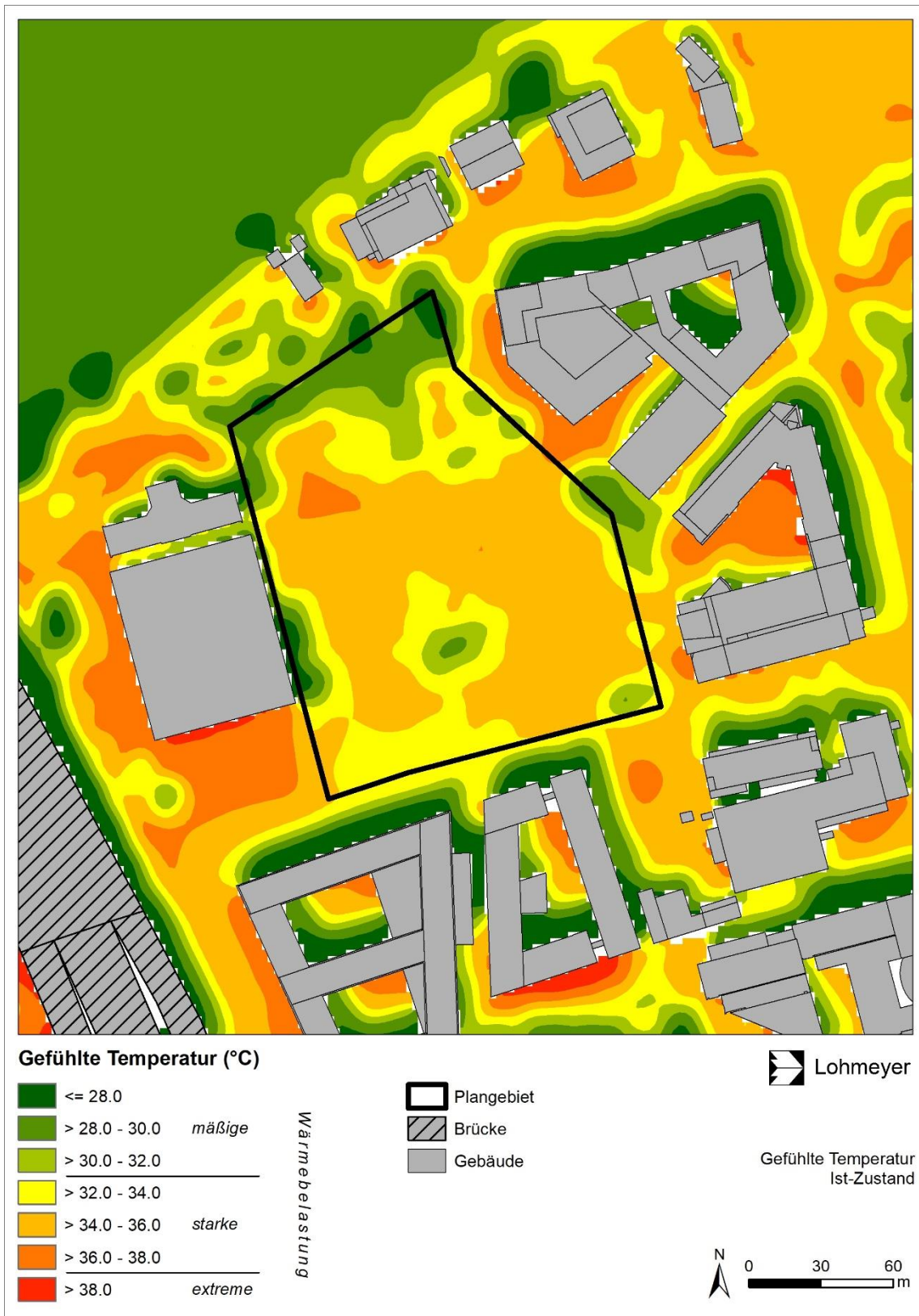


Abb. 7.3: Gefühlte Temperatur und zugehörige Wärmebelastungsklassen im Tageszeitraum für den Vergleichsfall

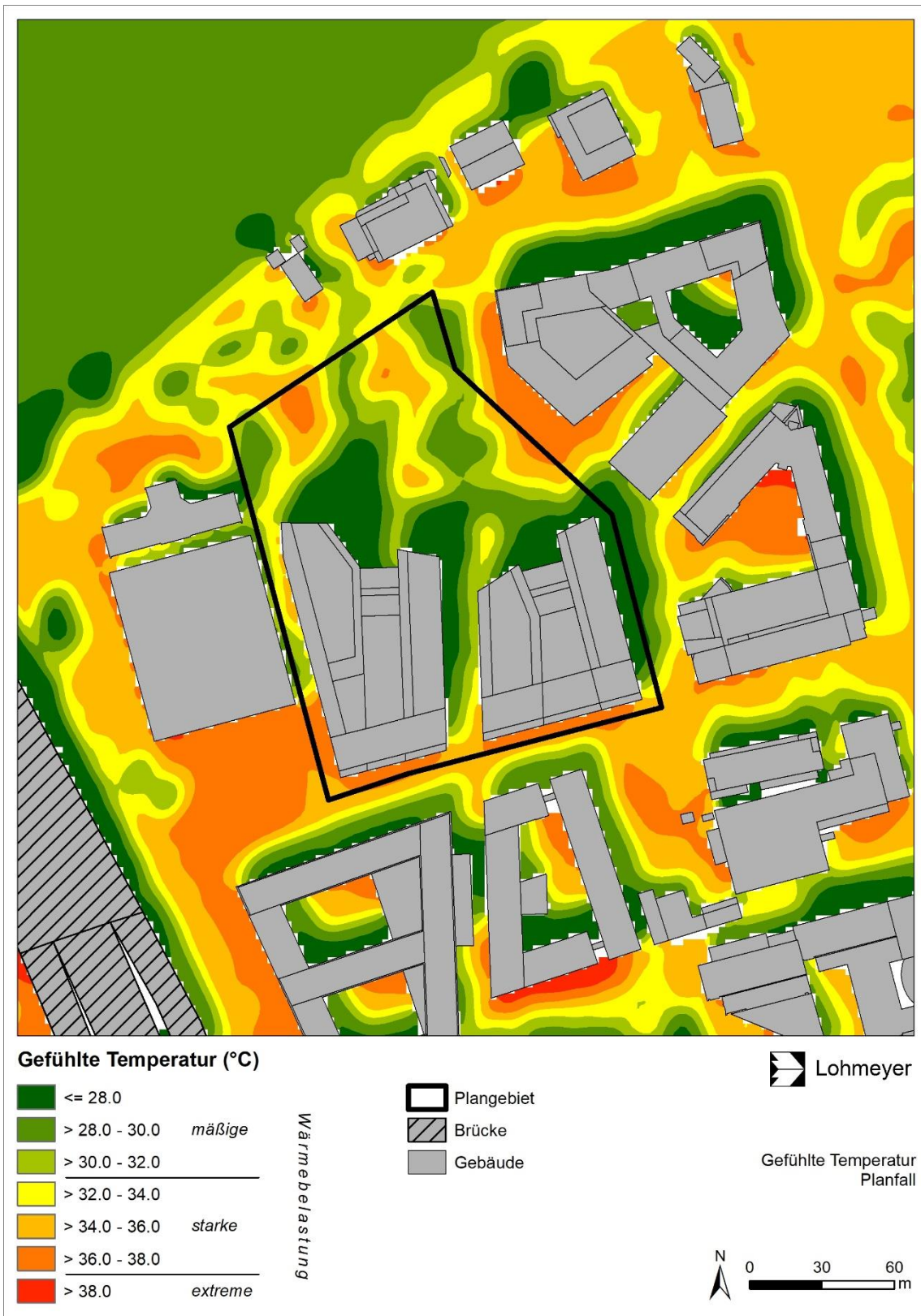


Abb. 7.4: Gefühlte Temperatur und zugehörige Wärmebelastungsklassen im Tageszeitraum für den Planfall

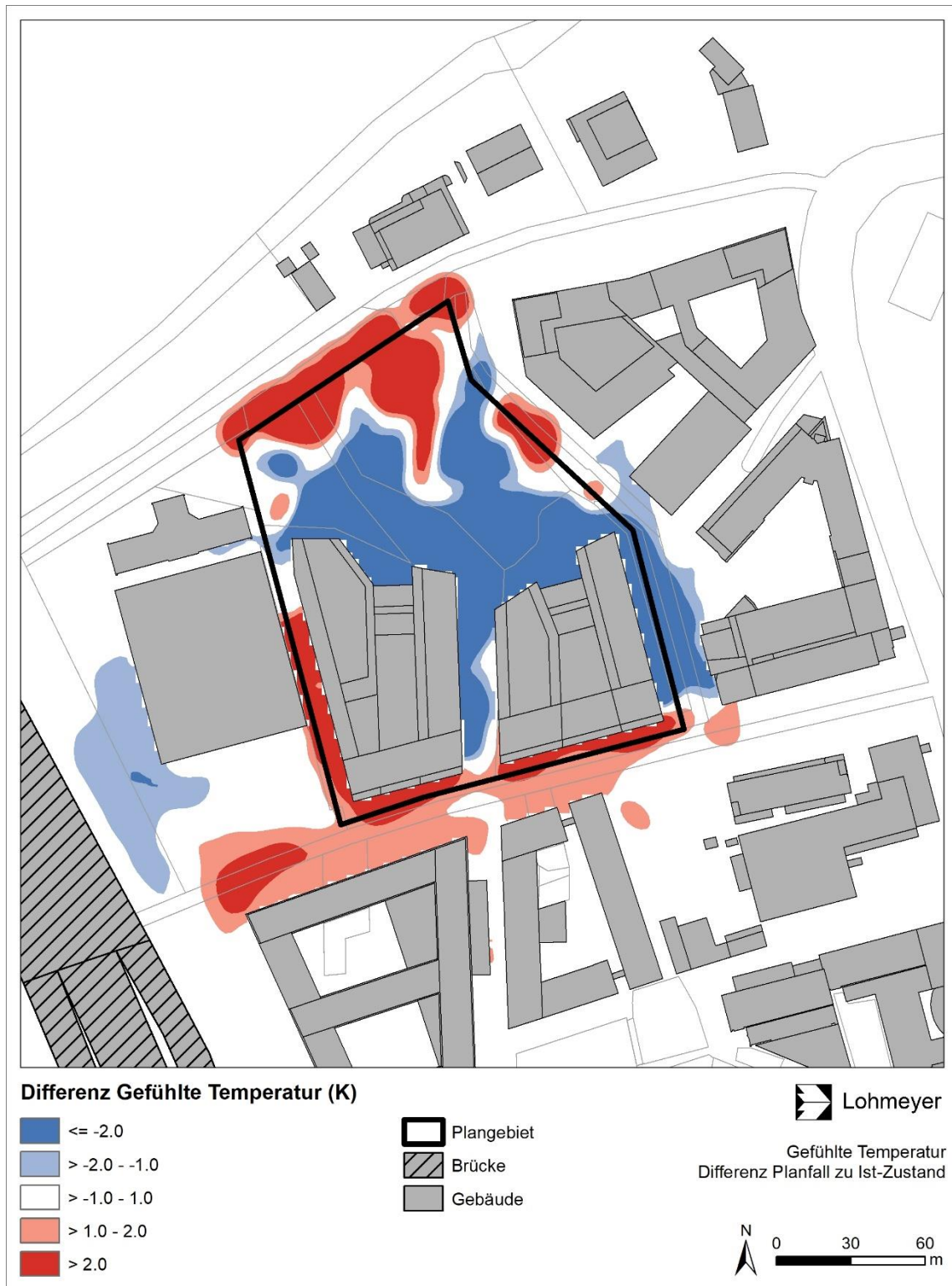


Abb. 7.5: Differenz der gefühlten Temperatur im Tageszeitraum

7.1.2 Bioklimatische Situation in der Nacht

Bei autochthonen Strahlungswetterlagen ergibt sich mit dem Sonnenuntergang in unbebauten Bereichen eine spürbare Abkühlung der unteren Luftschichten, d. h. es wird mehr Wärme von der Erdoberfläche abgegeben als aufgenommen. Großen Anteil daran haben die strahlungsbedingten Anteile, d. h. es entsteht eine negative Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche aufgrund von mehr Aus- als Einstrahlung aufgrund des Wegfallens der kurzwelligen Einstrahlung der Sonne. In reliefiertem Gelände strömen die bodennah kühlen Luftmassen die Hänge gravitativ hinab und sammeln sich in den nieder gelegenen Bereichen, wie z. B. Senken, Mulden und Tälern, und verstärken dort die Abkühlung. In Einschnitten und Tälern werden die Hangabwinde zusammengeführt und bilden intensive Kaltluftströmungen aus, die beispielsweise die nächtliche Belüftung von Siedlungsgebieten fördern können. Das äußere Rechengebiet wird für die vorliegende Ausarbeitung deshalb so groß gewählt, dass sich die nächtlichen Kaltluftströmungen im Modell eigenständig ausbilden, sodass nachts ohne äußeren Antrieb gerechnet wird. In bebauten Bereichen findet aufgrund der Wärmespeicherung der urbanen Oberflächen und Baukörper eine verzögerte und reduzierte Abkühlung statt, da diese langwellige Wärmestrahlung an die Umgebung abgeben. Die Auswertung zeigt die Verhältnisse nachts kurz vor Sonnenaufgang um 04 Uhr morgens, nahe am nächtlichen Temperaturminimum.

Für das Untersuchungsgebiet ist die **bodennahe Lufttemperatur** in **Abb. 7.6** für den Vergleichsfall für eine warme Sommernacht dargestellt. Die an der Station Frankfurt-Flughafen gemessene Minimaltemperatur von ca. 18 °C in der Nacht vom 06.08.2020 auf den 07.08.2020 wird im Untersuchungsgebiet nicht ermittelt, da das Untersuchungsgebiet stärker versiegelt ist und die Lufttemperatur über den Wasserflächen aufgrund der gespeicherten Wärme nicht so stark absinkt. Die niedrigsten Lufttemperaturen von max. 20.5 °C liegen am Ufer des Mains unterhalb von Bäumen sowie auf einer Freifläche östlich der Kaiserleibrücke vor. Im Bereich des Mains liegen überwiegend Lufttemperaturen von 20.5 °C bis 21 °C vor. Im Bereich von versiegelten Bereichen wie Straßen oder Innenhöfen wird die höchste Lufttemperatur von mehr als 21 °C ermittelt. Innerhalb des Plangebietes ist eine Lufttemperatur von 20 °C bis 21 °C berechnet und somit etwas kühler als die angrenzenden, bebauten Bereiche. Während autochthoner Wetterlagen können sich nachts thermisch induzierte Windfelder bilden (Kaltluftabfluss, Flurwinde). Die **Windgeschwindigkeiten** sind daher in der Nacht gegenüber der Tagessituation eher niedrig (um die 0.5 m/s) und es zeigt sich eine tendenzielle Windrichtung flussabwärts entlang des Mains sowie in Richtung Süden (vgl. **Abb. 7.6**). Die kühlere Luft entlang des Mains wird nicht in die angrenzenden bebauten Ge-

biete transportiert. Die kühlere Luft innerhalb des Plangebietes wird durch leichte Luftströmungen zur südlich und östlich angrenzenden Bebauung transportiert. Ebenfalls besteht eine Luftströmung in Richtung Norden zum Main.

Der **Abb. 7.7** ist zu entnehmen, dass nach Realisierung der geplanten Bebauung die nächtlichen Lufttemperaturen innerhalb des Plangebietes im Vergleich zum Istzustand aufgrund der zusätzlichen Baukörper höher ausfallen. Im nördlichen Teil des Plangebietes liegt die Lufttemperatur weiterhin zwischen 20.5 °C und 21 °C. Im Bereich der Plangebäude ist eine höhere Lufttemperatur von mehr als 21 °C ermittelt. Im Bereich der südlich und östlich angrenzenden Bebauung steigen die Lufttemperaturen ebenfalls auf mehr als 21 °C an. Die bodennahe Windgeschwindigkeit wird weiterhin mit um die 0.5 m/s berechnet. Im Planfall ist das Strömungsmuster im nördlichen Teil des Plangebietes vergleichbar zum Istzustand. Im Bereich der Plangebäude wird das Windfeld eingeschränkt und eine Luftströmung zwischen den beiden Gebäuden nach Süden bildet sich aus. Zudem besteht weiterhin eine leichte Luftströmung zur östlich angrenzenden Wohnbebauung. Außerhalb des Plangebiets unterscheiden sich die nächtlichen Belüftungsverhältnisse nur geringfügig zum Vergleichsfall. Auf der Kaiserleistraße bildet sich dabei eine Strömung von Ost nach West aus.

Planungsbedingte Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur betreffen vor allem das Plangebiet sowie die südlich und östlich angrenzende Bebauung (vgl. **Abb. 7.8**). An den Plangebäuden ist die Lufttemperatur um bis zu 1 K und in begrenzten Bereich um mehr als 1 K gegenüber dem Istzustand erhöht. Eine Erhöhung der Lufttemperatur um bis zu 1 K ist zudem an den südlich und östlich angrenzenden Gebäuden dargestellt. Außerhalb des Plangebietes liegt ein kleinerer Bereich mit einer Minderung der Lufttemperatur von weniger als 1 K vor.

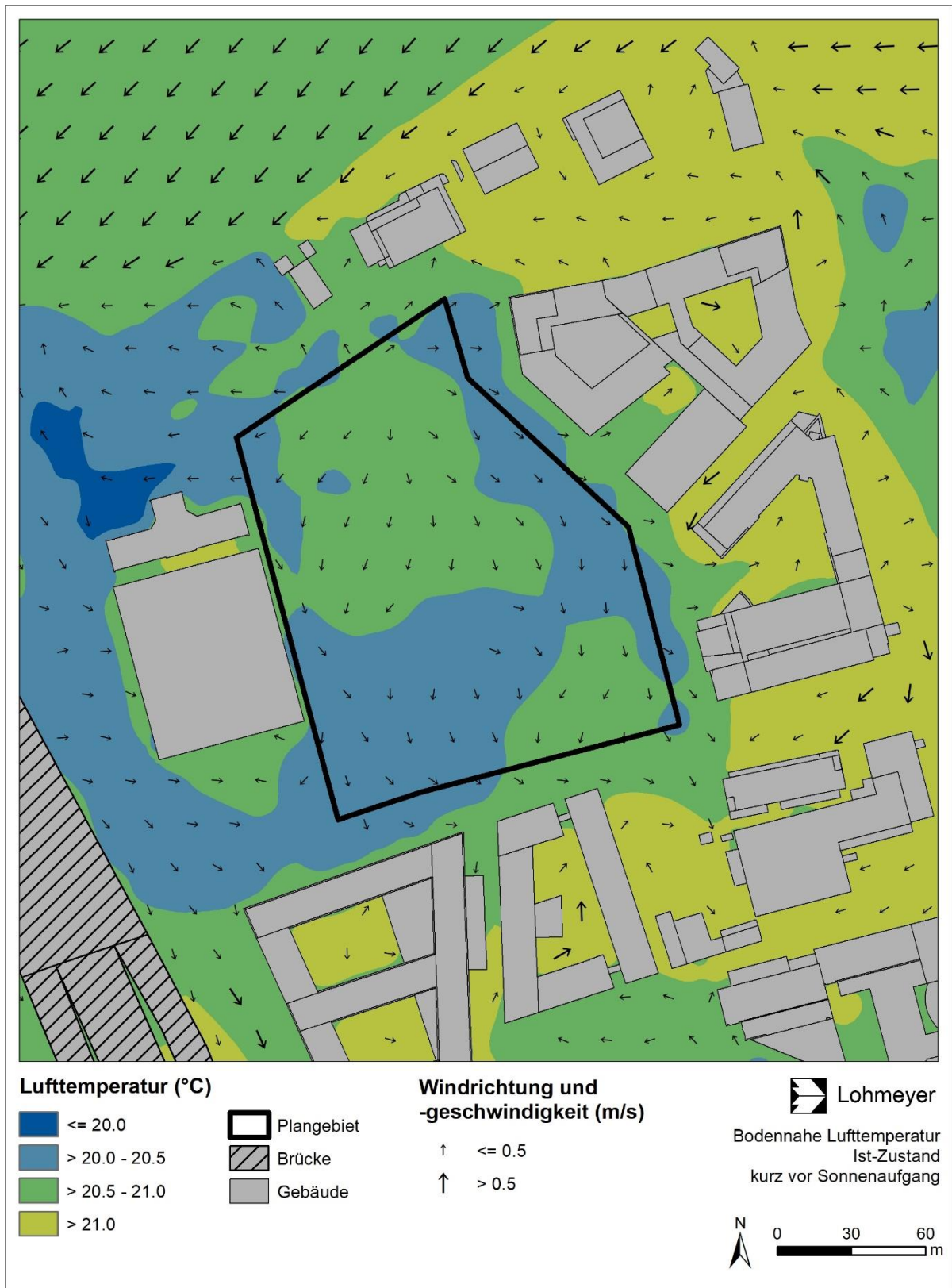


Abb. 7.6: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit in der Nachtsituation für den Vergleichsfall

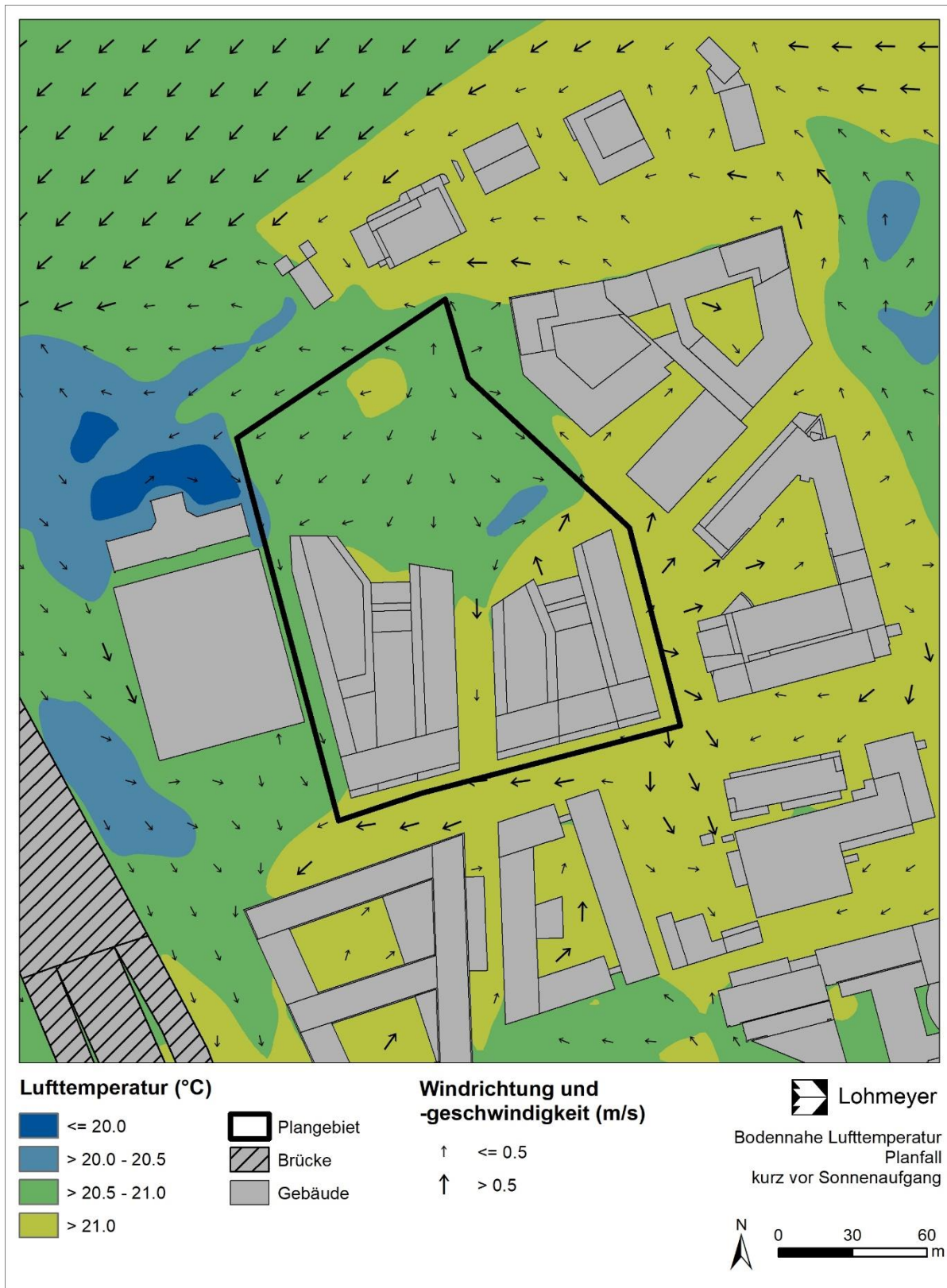


Abb. 7.7: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit in der Nachtsituation für den Planfall

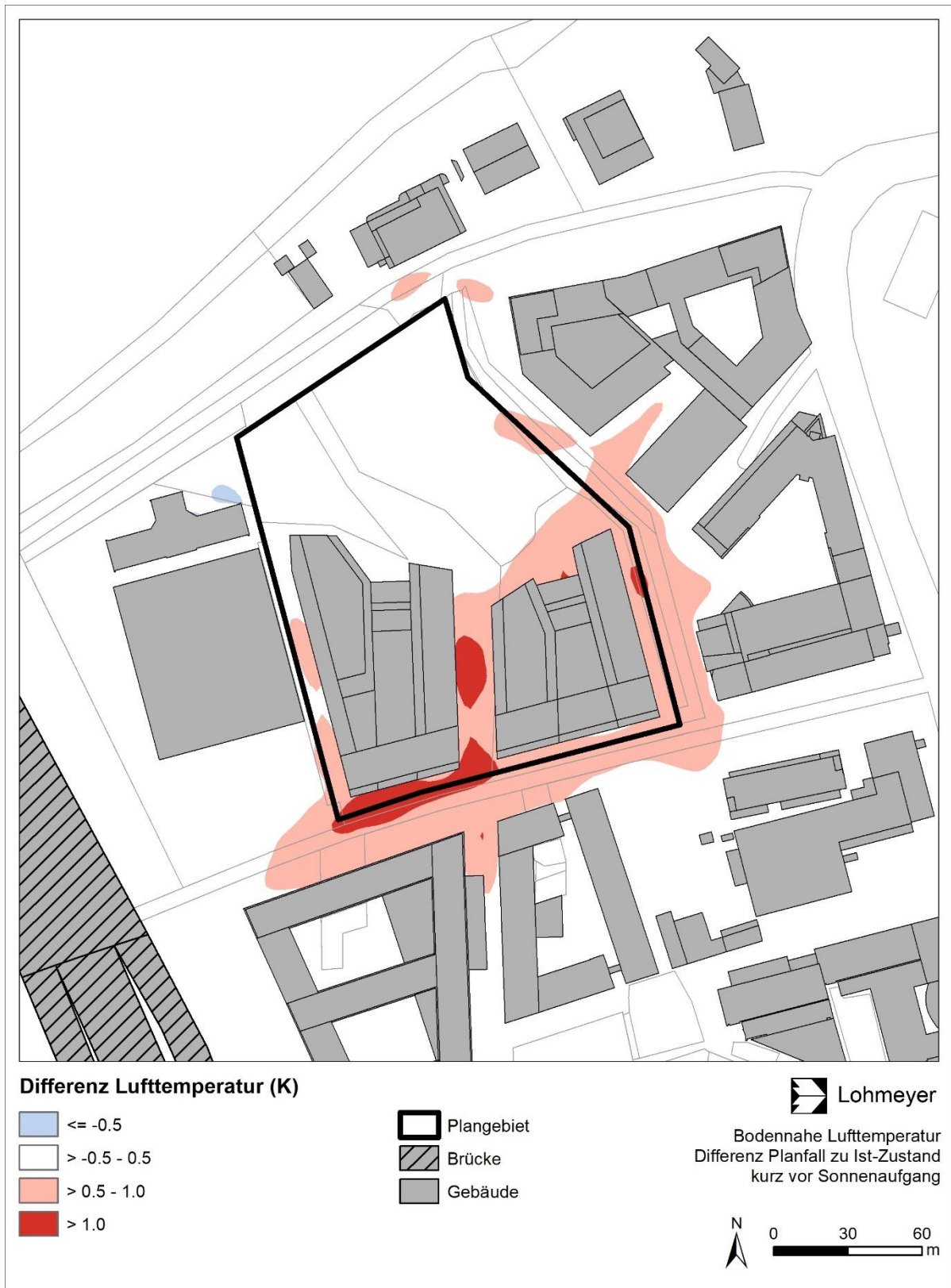


Abb. 7.8: Differenz der bodennahen Lufttemperatur im Nachtzeitraum

7.2 Referenzszenario Hochhaus

7.2.1 Bioklimatische Situation am Tag

Die **Abb. 7.9** zeigt die berechneten Werte der **bodennahen Lufttemperatur** um 15 Uhr im Vergleichsfall. Aus der Abbildung ist erkennbar, dass die bodennahe Lufttemperatur die Verteilung von versiegelten und unversiegelten Flächen sowie die Position der Gebäude widerspiegelt. Die Lufttemperatur liegt dabei überwiegend zwischen 30 °C und 32 °C, so auch im Plangebiet. Im Bereich des Mains und anliegenden Grünflächen werden niedrigere Temperaturen (≤ 30 °C) ermittelt, wobei die Lufttemperaturen im Bereich des Mains überwiegend bei weniger als 29 °C liegen. Über versiegelten Flächen liegen die Lufttemperaturen vorwiegend bei 31 °C bis mehr als 32 °C. Erhöhte Lufttemperaturen von mehr als 32 °C werden über nicht verschatteten, versiegelten Flächen, meist südlich und westlich von Gebäuden, berechnet. Die **bodennahe Windgeschwindigkeit und -richtung** bei schwach östlicher Anströmrichtung sind für den Nachmittag ebenfalls in der **Abb. 7.9** dargestellt. Hieraus ist erwartungsgemäß abzuleiten, dass in Bereichen niedriger Bodenrauigkeiten (z. B. über dem Main) höhere Windgeschwindigkeiten (>1.5 m/s) auftreten. Die Gebäude entlang des Mains profitieren dadurch von guten Durchlüftungsverhältnissen. In Bereichen mit dichterem Bebauung wird die bodennahe Windgeschwindigkeit eingeschränkt und liegt teilweise unter 0.5 m/s.

Im Planfall werden innerhalb des Plangebiets trotz der im Vergleich zur Bestandssituation veränderten Bebauungsstruktur und dem höheren Anteil versiegelter Fläche vergleichbare Lufttemperaturen ermittelt (vgl. **Abb. 7.10**). Nur süd- bis südwestlich der Plangebäude treten höhere Lufttemperaturen von mehr als 32 °C auf. Auf den Grünflächen nördlich der Plangebäude sind vergleichbar zum Istzustand Lufttemperaturen von 30 °C bis 32 °C dargestellt. Entlang der Kaiserleistraße südlich der Planung steigt die Lufttemperatur leicht an und liegt zwischen 31 °C und 32 °C. Die Veränderungen des bodennahen Windfeldes beschränken sich vorwiegend auf das Plangebiet. Die Luft kann durch die Gebäude nicht mehr ungehindert vom Main in die südlich liegenden bebauten Gebiete strömen. Nur zwischen den Plangebäuden besteht weiterhin eine Luftströmung in Richtung Süden.

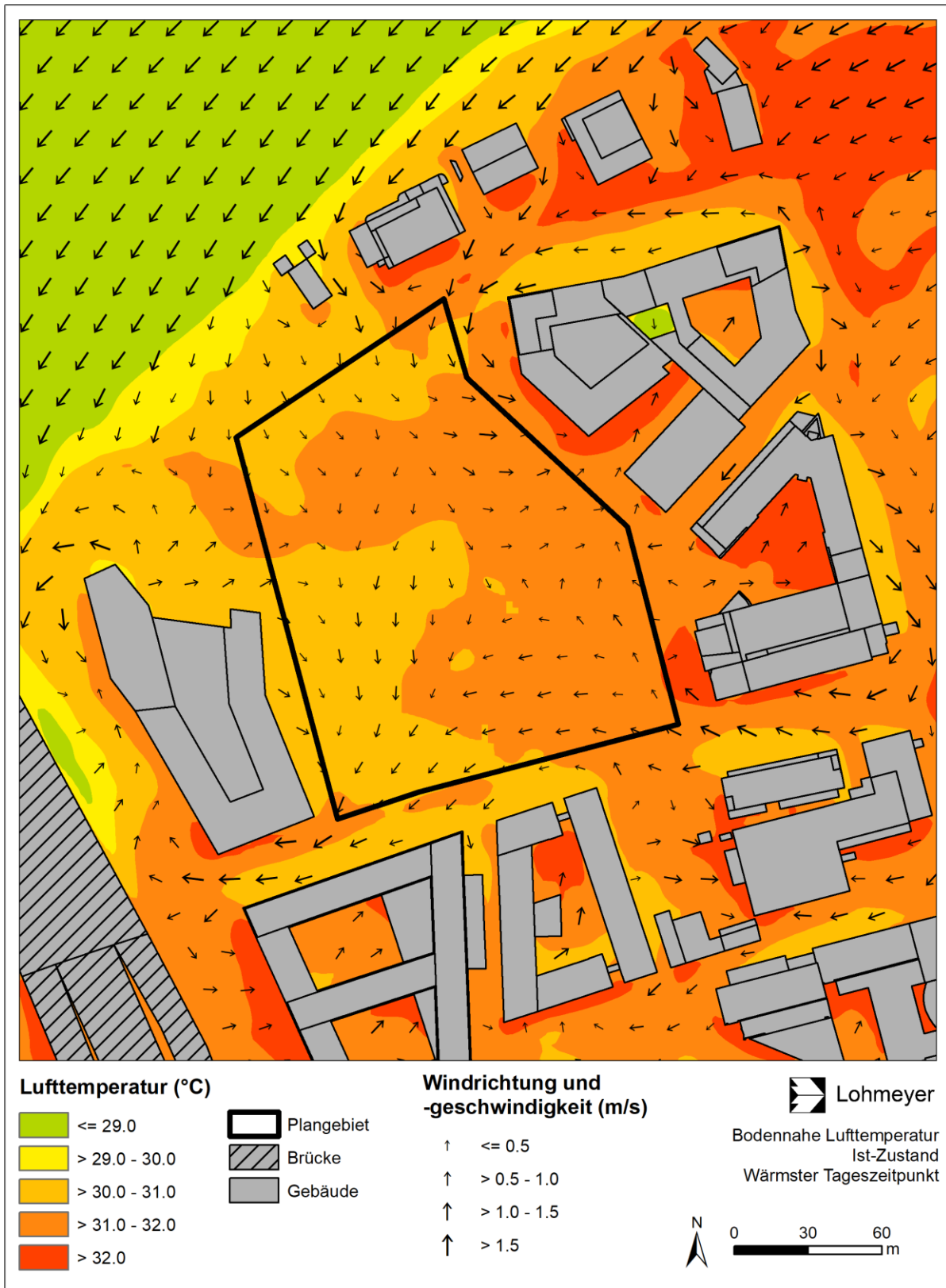


Abb. 7.9: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit im Tageszeitraum für den Vergleichsfall

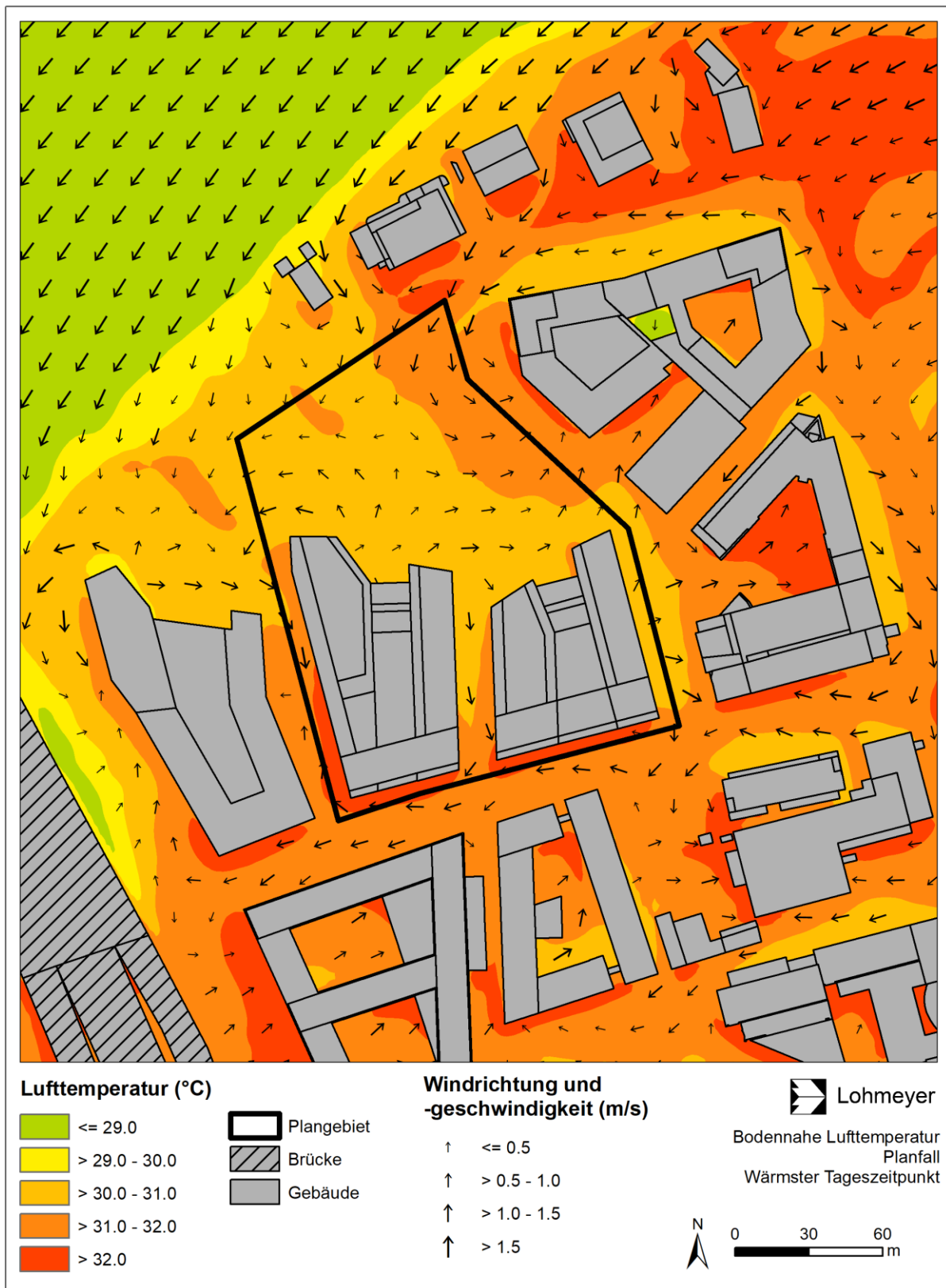


Abb. 7.10: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit im Tageszeitraum für den Planfall

Die **Abb. 7.11** zeigt die berechneten Werte der gefühlten Temperatur (GT) um 15 Uhr im Vergleichsfall. Die Auswertung der 2 m-Lufttemperatur zeigt, dass die Bedingungen für einen heißen Tag erfüllt sind. Dies spiegelt sich auch in der GT wider, die im Bereich versiegelter und offener Flächen einer starken (gelb bis orange eingefärbt) Wärmebelastung entspricht (vgl. Tab. 3.1).

Die **Abb. 7.11** zeigt eine sehr heterogene Verteilung der GT im Untersuchungsgebiet. Besonders von Hitzestress betroffen sind Bereiche, die über mehrere Stunden hinweg nicht verschattet sind, mit Ausnahme der ausgedehnten, vergleichsweise kühlen Wasserfläche des Mains. Hierbei treten besonders nicht verschattete Straßenzüge (z. B. Teile des Nordrings/Goetherings) und die versiegelte Fläche wie bspw. Parkplätze hervor. Bei versiegelten Flächen wird der Effekt der Aufheizung durch die Wärmespeicherung der Oberfläche verstärkt. Besonders starke Wärmebelastungen ($GT > 36 \text{ °C}$) treten an einigen, nicht verschatteten Süd- und Südwestfassaden auf. Durch das Aufheizen der Gebäudefassade ohne Sonnenschutz kann es dabei zu Beeinträchtigungen des thermischen Komforts von Wohn- oder Büroräumen kommen.

Positive Auswirkungen auf die GT haben zum Beispiel Baumgruppen. Die verschattende Wirkung der Baumkronen führt zu einer geringeren Wärmebelastung, z. B. im Bereich der Baumgruppen entlang des Mains westlich der Kaiserleibrücke. Hier liegt die GT unter 32 °C , was einer mäßigen Wärmebelastung entspricht. Auch auf den Nordseiten von Gebäuden liegt die GT durch den Schattenwurf der Baukörper deutlich niedriger gegenüber unverschatteten Bereichen.

Im Plangebiet ist das oben beschriebene Muster wiederzufinden. Im Bereich der offenen, unverschatteten Brachflächen wird eine GT von 32 °C bis 38 °C berechnet. In der Baumgruppe im nördlichen Teil des Plangebietes sowie zentral im Plangebiet liegt eine mäßige Wärmebelastung mit GT-Werten von 32 °C oder geringer vor.

Die **Abb. 7.12** stellt die Verteilung der GT nach Realisierung des Bauvorhabens dar. Vergleichbar zur Situation für die Lufttemperatur weist die Verteilung der Gefühlten Temperatur außerhalb des Plangebietes nur geringe Unterschiede gegenüber dem Istzustand auf. Innerhalb des Plangebietes wird für die Bereiche an den Süd- und Westfassaden der Gebäude sowie unverschattete Bereiche im nördlichen Teil des Plangebietes eine starke Wärmebelastung berechnet. Zwischen den Plangebäuden sowie nördlich der Plangebäude wird die GT durch den Schattenwurf reduziert und erreicht mäßige Wärmebelastungswerte bis 32 °C.

Planungsbedingte Auswirkungen können aus der Differenzabbildung in **Abb. 7.13** entnommen werden. Hieraus ist abzuleiten, dass Veränderungen der gefühlten Temperatur vorwiegend für das Plangebiet und dessen nähere Umgebung berechnet sind. Im Bereich der Grünflächen nördlich der Plangebäude, welche durch diese oder die geplanten Baumpflanzungen verschattet werden sind Reduktionen der GT von mehr als 2 K ausgewiesen. An der nördlichen Grenze des Plangebietes liegt eine Erhöhung der GT von mehr als 2 K vor, da die bestehenden Bäume gefällt werden und die neu gepflanzten Bäume teils andere Standorte aufweisen und durch ihre geringere Höhe einen kleineren Schattenwurf haben. Südlich und westlich des Plangebietes liegt eine Erhöhung der GT von überwiegend bis zu 1 K vor. Dies kann zum Teil auf eine durch die modifizierten Durchlüftungsverhältnisse verminderte Zufuhr von kühlerer Luft vom Main zurückgeführt werden; wie in **Abb. 7.10** dargestellt, wird die Luftströmung vom Main nach Süden durch die Plangebäude eingeschränkt. An der übrigen bereits bestehenden Bebauung sind keine wesentlichen Auswirkungen der Planung auf die thermischen Belange abgeleitet. Eine signifikante Zunahme der Hitzebelastung im wärmsten Tageszeitraum ist somit in der Nachbarschaft des Plangebietes nicht zu erwarten.

Zusammenfassend werden für einen heißen Tag im Sommer bei autochthoner Wetterlage in besonnten Bereichen starke bis sehr starke Wärmebelastungen berechnet. Aufgrund der Planung ergeben sich in der lokale Lufttemperaturänderungen und Änderungen der Wärmebelastung, die sich überwiegend auf die nächstgelegene Umgebung beschränken. Dabei sind die bioklimatischen Verhältnisse aus stadtklimatischer Sicht tagsüber weiterhin mit denjenigen des Vergleichsfalls vergleichbar. Innerhalb des Plangebiet sind im Bereich der geplanten Freiflächen durch Verschattungseffekte der Planbebauung und Bäume überwiegend geringere Wärmebelastungen gegenüber den derzeitigen Verhältnissen abgeleitet, die zudem als mäßig eingestuft werden können.



Abb. 7.11: Gefühlte Temperatur und zugehörige Wärmebelastungsklassen im Tageszeitraum für den Vergleichsfall



Abb. 7.12: Gefühlte Temperatur und zugehörige Wärmebelastungsklassen im Tageszeitraum für den Planfall



Abb. 7.13: Differenz der gefühlten Temperatur im Tageszeitraum

7.2.2 Bioklimatische Situation in der Nacht

Für das Untersuchungsgebiet ist die **bodennahe Lufttemperatur** in **Abb. 7.14** für den Vergleichsfall für eine warme Sommernacht dargestellt. Die an der Station Frankfurt-Flughafen gemessene Minimaltemperatur von ca. 18 °C in der Nacht vom 06.08.2020 auf den 07.08.2020 wird im Untersuchungsgebiet nicht ermittelt, da das Untersuchungsgebiet stärker versiegelt ist und die Lufttemperatur über den Wasserflächen aufgrund der gespeicherten Wärme nicht so stark absinkt. Die niedrigsten Lufttemperaturen von max. 20.5 °C liegen am Ufer des Mains unterhalb von Bäumen sowie auf einer Freifläche westlich der Kaiserleibrücke vor. Im Bereich des Mains liegen überwiegend Lufttemperaturen von 20.5 °C bis 21 °C vor. Im Bereich von versiegelten Bereichen wie Straßen oder Innenhöfen wird die höchste Lufttemperatur von mehr als 21 °C ermittelt. Innerhalb des Plangebietes ist eine Lufttemperatur von 20 °C bis 21 °C berechnet und somit etwas kühler als die angrenzenden, bebauten Bereiche. Während autochthoner Wetterlagen können sich nachts thermisch induzierte Windfelder bilden (Kaltluftabfluss, Flurwinde). Die **Windgeschwindigkeiten** sind daher in der Nacht gegenüber der Tagessituation eher niedrig (um die 0.5 m/s) und es zeigt sich eine tendenzielle Windrichtung flussabwärts entlang des Mains sowie in Richtung Süden (vgl. **Abb. 7.6**). Die kühlere Luft entlang des Mains wird nicht in die angrenzenden bebauten Gebiete transportiert. Die kühlere Luft innerhalb des Plangebietes wird durch leichte Luftströmungen zur südlich und östlich angrenzenden Bebauung transportiert. Ebenfalls besteht eine Luftströmung in Richtung Norden zum Main.

Der **Abb. 7.15** ist zu entnehmen, dass nach Realisierung der geplanten Bebauung die nächtlichen Lufttemperaturen innerhalb des Plangebietes im Vergleich zum Istzustand aufgrund der zusätzlichen Baukörper höher ausfallen. Im nördlichen Teil des Plangebietes liegt die Lufttemperatur weiterhin zwischen 20.5 °C und 21 °C. Im Bereich der Plangebäude ist eine höhere Lufttemperatur von mehr als 21 °C ermittelt. Im Bereich der südlich und östlich angrenzenden Bebauung steigen die Lufttemperaturen ebenfalls auf mehr als 21 °C an. Die bodennahe Windgeschwindigkeit wird weiterhin mit um die 0.5 m/s berechnet. Im Planfall ist das Strömungsmuster im nördlichen Teil des Plangebietes vergleichbar zum Istzustand. Im Bereich der Plangebäude wird das Windfeld eingeschränkt und eine Luftströmung zwischen den beiden Gebäuden nach Süden bildet sich aus. Zudem besteht weiterhin eine leichte Luftströmung zur östlich angrenzenden Wohnbebauung. Außerhalb des Plangebiets unterscheiden sich die nächtlichen Belüftungsverhältnisse nur geringfügig zum Vergleichsfall. Auf der Kaiserleistraße bildet sich dabei eine Strömung von Ost nach West aus.

Planungsbedingte Auswirkungen auf die nächtliche Lufttemperatur betreffen vor allem das Plangebiet sowie die südlich und östlich angrenzende (vgl. **Abb. 7.16**). An den Plangebäuden ist die Lufttemperatur um bis zu 1 K und in begrenzten Bereich um mehr als 1 K gegenüber dem Istzustand erhöht. Eine Erhöhung der Lufttemperatur um bis zu 1 K ist zudem an den südlich und östlich angrenzenden Gebäuden dargestellt. Außerhalb des Plangebietes liegen kleinere Bereiche mit einer Minderung der Lufttemperatur von weniger als 1 K vor.

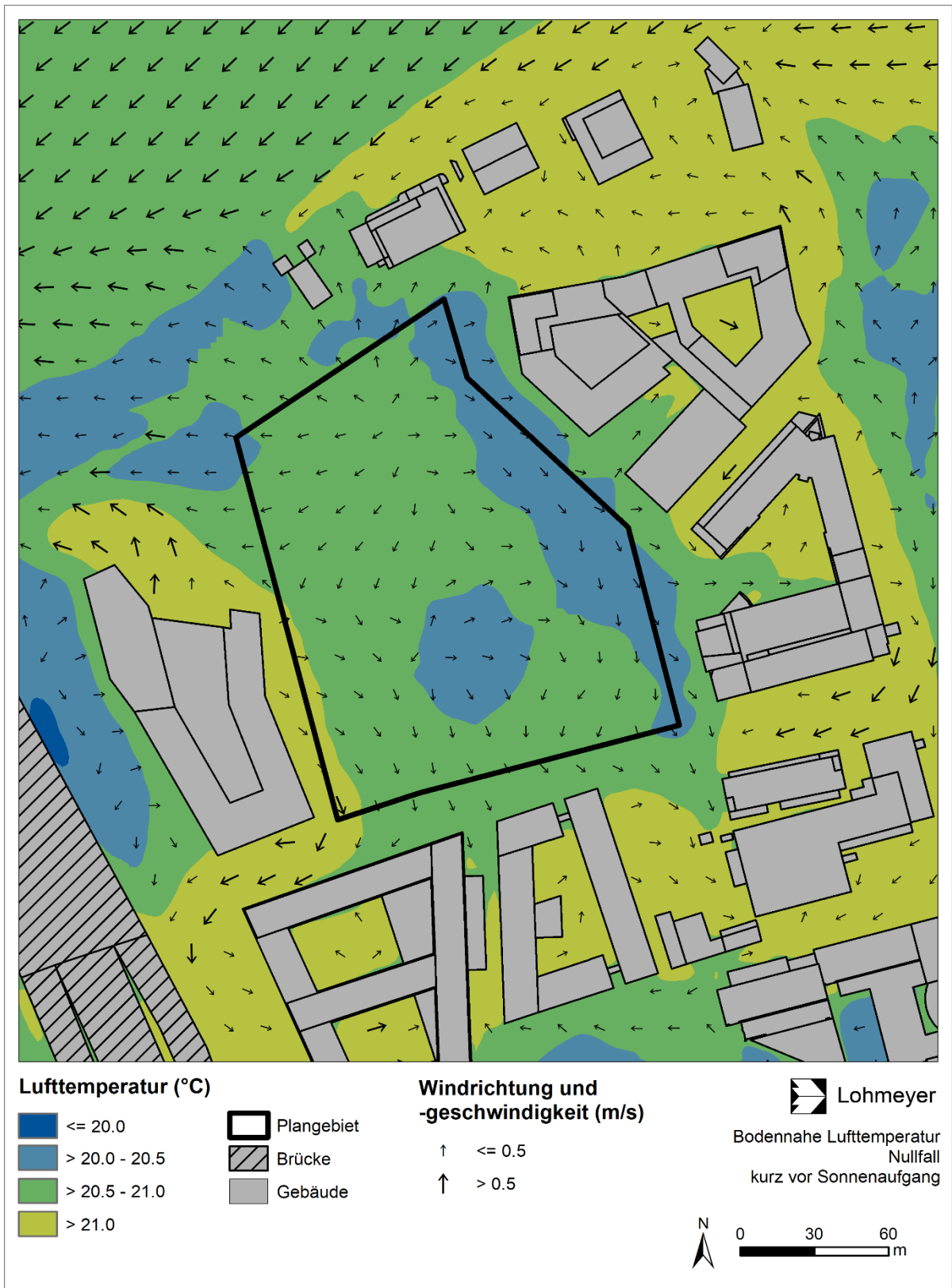


Abb. 7.14: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit in der Nachtsituation für den Vergleichsfall

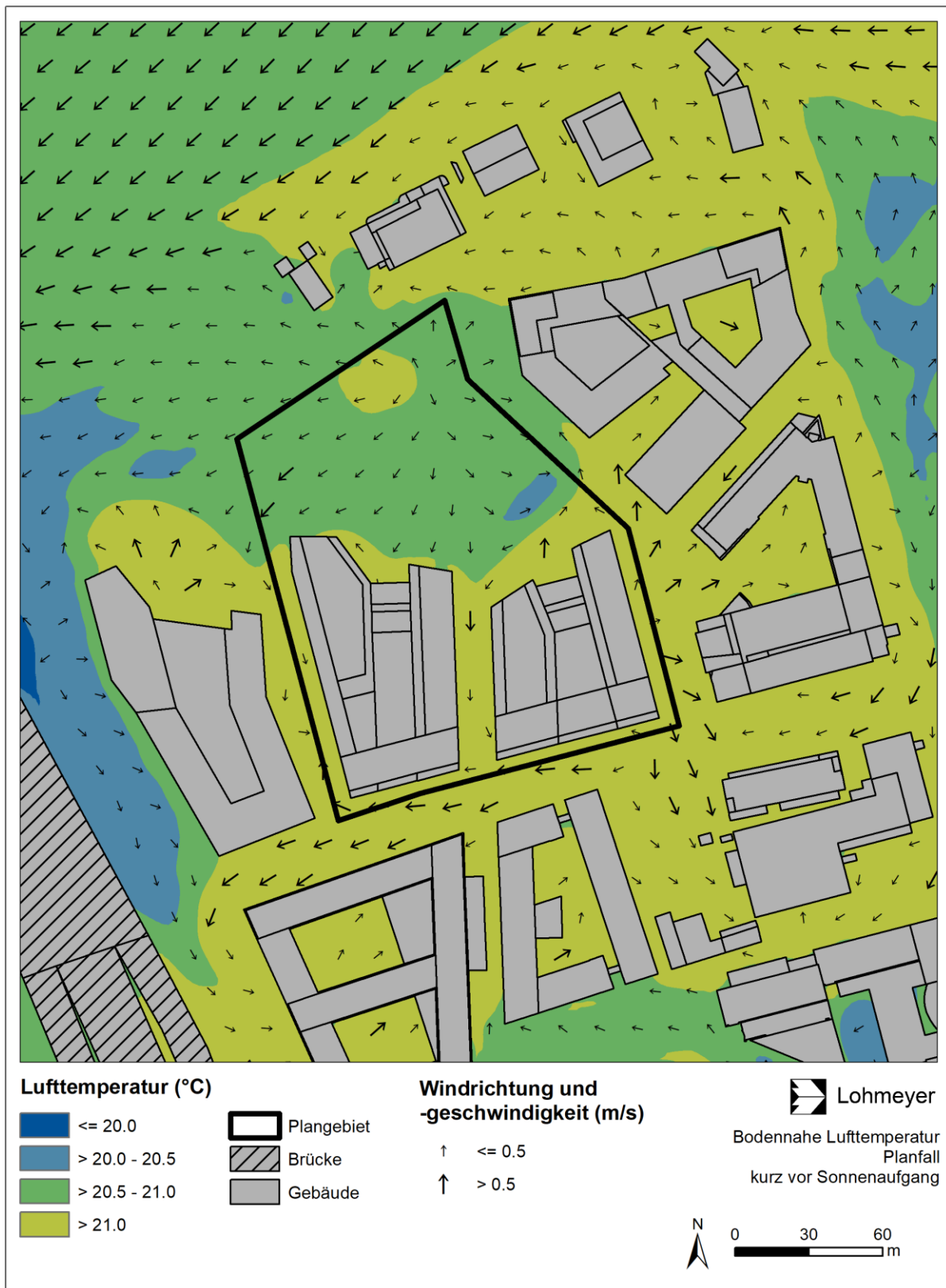


Abb. 7.15: Bodennahe Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit in der Nachtsituation für den Planfall



Abb. 7.16: Differenz der bodennahen Lufttemperatur im Nachtzeitraum

8 FAZIT UND PLANUNGSHINWEISE

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass das nahe Umfeld des Plangebiets erwartungsgemäß ein typisches Stadt- bis Stadtrandklima vorweist. Am Nachmittag werden hohe Wärmebelastungen in den nicht verschatteten Bereichen und versiegelten Flächen aufgezeigt. Im Bereich von Baumbeständen oder Schattenwürfen höherer Gebäude ist die Wärmebelastung weniger stark und teils als mäßig zu bewerten. Nachts profitieren die Gebäude angrenzend an das Plangebiet von einer Frischluftzufuhr. Durch den insgesamt hohen Anteil an versiegelten Flächen und der Nähe zu wärmespeichernden Wasserflächen des Mains sinkt die Lufttemperatur nur in eng begrenzten Bereichen auf unter 20 °C ab, in den übrigen Bereich liegt eine Lufttemperatur von als 20 °C bis mehr als 21 °C vor.

Die Auswirkungen der Planung beschränken sich auf das Plangebiet und die unmittelbare Umgebung. Im Schattenwurf der geplanten Gebäude liegt eine mäßige Wärmebelastung vor. In unverschatteten Bereichen im nördlichen Teil des Plangebietes sowie an den Süd- und Westfassaden der Plangebäude tritt eine starke Wärmebelastung auf. Außerhalb des Plangebietes tritt südlich an der Kaiserleistraße und zum westlich angrenzenden Gebäude eine gewisse Erhöhung der Gefühlten Temperatur auf, die jedoch nicht mit einer Verschärfung der Wärmebelastungseinstufung verbunden ist. In der Nacht sind an den Plangebäuden und den südlich und östlich angrenzenden Gebäuden gegenüber dem Istzustand erhöhte Lufttemperaturen ermittelt.

Die planungsbedingten Auswirkungen auf die Gefühlte Temperatur am Tag weisen zwischen beiden Referenzfällen geringe Unterschiede auf. Innerhalb des Plangebiets sind dabei vergleichbare Änderungen dargestellt. Südlich und westlich des Plangebietes treten in beiden Szenarien Erhöhungen der Gefühlten Temperatur auf. Im Referenzszenario „Bestand“, d. h. ohne geplantes Hochhaus des westlich benachbarten B-Plans Nr. 652A ist eine stärkere Erhöhung der GT zwischen dem Plangebiet und dem angrenzenden Bestandsgebäude dargestellt. Gleichzeitig tritt zwischen Bestandsbebauung und Kaiserleibrücke eine Reduktion der GT auf, welche im Referenzszenario „Hochhaus“ nicht dargestellt ist. Insgesamt sind aus gutachterlicher Sicht die Auswirkungen beider Varianten als vergleichbar zu bewerten.

Somit werden tagsüber geringe negative Auswirkungen für die angrenzende Bebauung ermittelt. Durch die gewerbliche Nutzung der Gebäude im Umfeld des Plangebietes sind die für die Nachtsituation ermittelten Temperaturänderungen durch die Planung als untergeordnet einzustufen.

Planungshinweise

Für die Minimierung der planungsbedingten Auswirkungen und der gleichzeitigen Verbesserung der thermischen Belastungssituation im nördlichen Teil des Plangebietes ist die Bepflanzung von großkronigen Bäumen für den Schattenwurf vor allem im Bereich von Aufenthaltsbereichen und Spielflächen der Parkfläche zu empfehlen. Unter Berücksichtigung des voranschreitenden Klimawandels und der Zunahme an heißen Tagen können so zukünftige Verschlechterungen der thermischen Hitzebelastung bis hin zur extremen Wärmebelastung für den Aufenthalt vor allem von Kindern und Älteren entgegengewirkt werden. Im Bereich Sport- und Spielflächen können großkronige Bäume am Rand dieser Flächen einen Schattenwurf auf diese Flächen erzeugen und das Risiko von Hitzebelastung beim Sport reduzieren.

Für die geplanten Gebäude sind vorwiegend Glasfassaden vorgesehen. Diese weisen den Vorteil einer geringen Wärmekapazität auf, welche eine starke Überhitzung der Oberflächen und eine starke Wärmespeicherung in den Baustoffen vermeidet. Um Raumerwärmungen in den geplanten Gebäuden zu vermeiden, sind wirksame Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz vorzusehen. Vor allem an den West-, Ost- und Südseiten der Gebäude sollten Fenster mit beweglichen, außenliegenden Sonnenschutzanlagen wie z.B. Jalousien ausgestattet werden, um eine Aufheizung der Glasflächen bzw. der Innenräume zu vermeiden. Alternativ können vergleichbare Wirkungen mit intelligenten, selbstverdunkelnden Fenstern erreicht werden.

Durch eine Begrünung der Dachflächen wird die Aufheizung der Oberflächen und somit die Lufterwärmung und die Wärmespeicherung in den Bauteilen gemindert. Dies wirkt sich ganztagig positiv auf die Wärmebelastung im Außenbereich aus und verbessert den thermischen Komfort im Inneren der Gebäude. Eine Dachbegrünung leistet auch einen Beitrag zum Hochwasserschutz, da hierdurch Niederschlagswasser gespeichert wird. In der vorliegenden Planung sind extensive und intensive Begrünung geplant, die zusätzlich einen Beitrag zum Naturschutz leisten können durch die Anpflanzung insektenfreundlicher Pflanzen. Gleichzeitig kann eine Dachbegrünung nur in den Teilbereichen der Dächer umgesetzt werden, die nicht für technische Aufbauten benötigt werden.

Aus klimatischer Sicht ist es vorteilhaft, Oberflächen von Verkehrsflächen möglichst teildurchlässig gestaltet werden, um eine Versickerung von Niederschlagswasser und somit auch eine Kühlung durch Verdunstung zu ermöglichen. Aufgrund der Bodenkontamination im Plangebiet ist eine Sammlung des Niederschlagswassers in Zisternen vorgesehen. Dieses

kann bspw. für die Bewässerung der vorgesehenen Dachbegrünung sowie der Freiflächen im nördlichen Bereich genutzt werden. Dadurch wird die kühlende Wirkung der Vegetation auch bei trockenen Bedingungen unterstützt.

9 QUELLEN

9.1 Literatur

DWD Web (2021): Stadtklima – die städtische Wärmeinsel. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinsel/startseite_projekt_waermeinseln.html

Deutsche Wetterdienst (2021): Wetterdaten der Station Frankfurt-Flughafen. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/. Heruntergeladen im August 2023

Geoportal NRW (2022): www.geoportal.nrw (Datengrundlage Digitales Gebäudemodell LOD1, Digitales Geländemodell DGM, Laserscandaten LiDAR, Digitales Landschaftsmodell Basis-DLM)

Lohmeyer GmbH (2020): „Simulationen mit PALM-4U“. Lohmeyer aktuell, August 2020. URL: <http://www.lohmeyer.de/de/system/files/content/download/hauszeitung/ausgabe43.pdf>

Maronga, B., Gryschka, M., Heinze, R., Hoffmann, F., Kanani-Sühring, F., Keck, M., Ketelsen, K., Letzel, M. O., Sühring, M., and Raasch, S. (2015): The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for atmospheric and oceanic flows: model formulation, recent developments, and future perspectives. *Geoscientific Model Development Discussions* 8 (2015), Nr. 2, S. 1539-1637 (2015).

Maronga, B., Gross, G., Raasch, S., Banzhaf, S., Forkel, R., Heldens, W., Kanani-Sühring, F., Matzarakis, A., Mauder, M., Pavlik, D., Pfaffenrott, J., Schubert, S., Seckmeyer, G., Sieker, H., and Winderlich, K. (2019): Development of a new urban climate model based on the model PALM-Project overview, planned work, and first achievements. *Meteorologische Zeitschrift* (2019): 1-15.

Maronga, B., Banzhaf, S., Burmeister, C., Esch, T., Forkel, R., Fröhlich, D., Fuka, V., Gehrke, K. F., Geletič, J., Giersch, S., Gronemeier, T., Groß, G., Heldens, W., Hellsten, A., Hoffmann, F., Inagaki, A., Kadasch, E., Kanani-Sühring, F., Ketelsen, K., Khan, B. A., Knigge, C., Knoop, H., Krč, P., Kurppa, M., Maamari, H., Matzarakis, A., Mauder, M., Pallasch, M., Pavlik, D., Pfaffenrott, J., Resler, J., Rissmann, S., Russo, E., Salim, M., Schrempf, M., Schwenkel, J., Seckmeyer, G., Schubert, S., Sühring, M., von Tils, R., Vollmer, L., Ward, S., Wirth, B., Wurps, H., Zeidler, J., and Raasch, S. (2020): Overview of the PALM model system 6.0. *Geoscientific Model Development* 13 (2019): 1335–1372.

Raasch, S., and Schröter, M. (2001): PALM – a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. *Meteorologische Zeitschrift* 10.5 (2001): 363-372.

Scherhag, R., Blüthgen, J., Lauer, W. (1977): Klimatologie. 9. Aufl. Westermann Verlag, Braunschweig. ISBN N 3-14-160284-0, S. 204.

Stadt Bottrop (2019): Klimaanalyse 2019 (RVR).

https://gis.bottrop.de/arcgis/rest/services/Themenkarten/Klimaanalyse_2019/MapServer

VDI 3783 Blatt 7 (2017): Umweltmeteorologie – Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle, Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder. Richtlinie VDI 3783 Blatt 7, Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, Mai 2017.

VDI 3783 Blatt 9 (2017): Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisströmung. Richtlinie VDI 3783 Blatt 9. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, Düsseldorf, Mai 2017

VDI 3787 Blatt 2 (2008): Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Düsseldorf, 2008.

WEBSITE PALM (2020): <https://palm.muk.uni-hannover.de/trac>

9.2 Materialien und Unterlagen

Für die vorliegende Untersuchung wurden u. a. die nachfolgenden Unterlagen verwendet, die durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden:

- Planungsdaten in Form von Lage- und Höhenplänen sowie Vorabzug zur Freiflächenplanung (E-Mail vom 08.08.2023 und 20.04.2024)

Nachfolgende Informationen wurden aus frei-verfügbaren Datenquellen abgeleitet:

- Landnutzung: Urban Atlas von Copernicus Land Monitoring Service (Download August 2023)
- Bestandbebauung: LOD1-Gebäudemodell Hessen (Download im Juli 2023)
- Relief: Digitales Geländemodell DGM1 Hessen (Download im Juli 2023)
- Baumhöhen: Digitales Geländemodell DGM1 und 3D Laserscandaten DOM1 Hessen (Download im Juli 2023)
- Luftbilder: Digitale Orthophotos Hessen (WMS Server)

ANHANG A1
KLIMATOLOGISCHE PARAMETER

A1 KLIMATOLOGISCHE PARAMETER

A1.1 Windgeschwindigkeit und -richtung

Als Messgröße der Luftbewegung gelten die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung. Als Wind wird in der Meteorologie die gerichtete Bewegung der Luft bezeichnet, die durch Luftdruckunterschiede verursacht wird.

Als Windrichtung wird die Himmelsrichtung bezeichnet, aus der der Wind weht. Sie wird in Grad (0 bis 360 °) angegeben. Die Windgeschwindigkeit beschreibt die Bewegung von Luftpaketen und wird in der Regel in der Einheit Meter pro Sekunde (m/s) verwendet.

Die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung werden von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche beeinflusst. Daher erfolgt die Messung der Luftbewegung im Allgemeinen in einer ungestörteren Umgebung (z. B. über einer Wiese) in einer Höhe von 10 m. Die bodennahen Windgeschwindigkeiten werden in starkem Maße von der Bebauungsstruktur geprägt. Hierdurch hervorgerufene Strömungsphänomene, wie Verdrängung, Wirbelablösung, Kanalisierung, Umlenkung, Stau und Abschirmung, bewirken kleinräumige Veränderungen der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung.

Der Wind beeinflusst das Wärmeempfinden des Menschen. An heißen, windschwachen Sommertagen wird ein Aufenthalt in Bereichen mit erhöhten Windgeschwindigkeiten aufgrund der sehr guten Ventilation als angenehm empfunden. Der Aufenthaltskomfort bei niedrigen Windgeschwindigkeiten ist für bestimmte Nutzungen und Tätigkeiten - z. B. Außengastronomie, Spielplätze - besonders hoch. Bei fehlender Verschattung durch Gebäude oder Bäume können hier allerdings an sonnigen warmen Sommertagen aufgrund des geringen Luftaustausches lokal besonders hohe Lufttemperaturen auftreten. Ein Aufenthalt an sonnigen Tagen in den Übergangsjahreszeiten ist hingegen angenehm.

Gute Durchlüftungsverhältnisse entlang von Straßen oder Parkplätzen begünstigen zudem eine wirksame Verdünnung der hier freigesetzten Verkehrsabgase und wirken sich damit positiv auf die lufthygienische Situation aus.

A1.2 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist eine wichtige klimatologische Beobachtungsgröße. Sie kennzeichnet den Wärmezustand der Luft, der im Wesentlichen durch die turbulente Wärmeabgabe der Erdoberfläche bestimmt wird. Die Energie der kurzwelligen solaren Strahlung wird hierbei

nicht berücksichtigt. Grundsätzlich wird die Einheit der gemessenen Lufttemperatur in Kelvin (K), in Grad Celsius (°C) oder in Fahrenheit (°F) angegeben. Die gemessene Temperatur gibt nur den augenblicklichen Wärmezustand der bodennahen Atmosphäre wieder. Für einen klimatologischen Vergleich müssen Mittelwerte gebildet werden (z. B. Tages- oder Monatsmittel).

Der Tagesgang der Lufttemperatur wird bestimmt vom zeitlichen Wechsel zwischen der solaren Einstrahlung am Tag, deren Intensität in Abhängigkeit vom Gang der Sonne schwankt, und der terrestrischen Ausstrahlung. Aufgrund der fehlenden Einstrahlung fallen die Temperaturen nachts und erreichen ihr Minimum im Allgemeinen kurz vor Sonnenaufgang. Nach Sonnenaufgang steigt die Temperaturkurve an und erreicht ihr Maximum kurz nach Sonnenhöchststand (ca. 14 bis 15 Uhr).

An wind- und wolkenarmen Tagen nach Sonnenuntergang erfolgt die Entwicklung von Kaltluft und Kaltluftströmungen. Hierbei kühlen Grünflächen intensiver und rascher ab als versiegelte Flächen oder Wasserflächen. Damit kühlt auch die darüber gelegene Luftschicht intensiver und rascher ab. Bei geneigtem Gelände setzen sich diese kühlen Luftmassen der Geländeneigung folgend in Bewegung und bilden Hangabwinde. In Einschnitten und Tälern werden die Hangabwinde zusammengeführt und bilden intensive Kaltluftströmungen aus, die beispielsweise die nächtliche Belüftung von Siedlungsgebieten fördern können.

A1.3 Gefühlte Temperatur (Bioklimatische Kenngröße)

Früher wurde zur Beurteilung des thermischen Komforts häufig die Schwüle als Kenngröße herangezogen. Dieses Bewertungskriterium hat jedoch den Nachteil, dass thermophysiologisch wichtige Parameter nicht berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde wird nach heutigem Stand der Technik auf bioklimatische Indizes zurückgegriffen, die auf dem Wärmehaushalt des Menschen beruhen.

In der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 (2008) werden standardisierte Bewertungsverfahren der Human-Biometeorologie für die auf den Menschen bezogene Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene (Bioklima) bei der räumlichen Gesamtplanung bereitgestellt.

Der Thermische Wirkungskomplex umfasst die meteorologischen Elemente Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlung, die sich thermophysiologisch auf den Menschen im Freien und in geschlossenen Räumen auswirken. Die wahrgenommene Umgebungstemperatur kann aufgrund dieser meteorologischen Parameter

Eine optimale Behaglichkeit des thermischen Befindens kann in Abhängigkeit der ausgeübten Aktivität sowie der Bekleidung zwischen 0 °C bis 20 °C erreicht werden. Bei höheren Temperaturen tritt eine Wärmebelastung, bei tieferen Temperaturen Kältestress auf. Bei anderen Aktivitäten oder auch Bekleidungsverhältnissen verschieben sich die für Behaglichkeit erforderlichen Temperaturen zu höheren (geringere Aktivität oder dünnere Bekleidung) oder niedrigeren (gesteigerte Aktivität oder dickere Bekleidung) Werten.

Die durch die gefühlte Temperatur definierten Klassen des thermischen Komforts sind in der nachfolgenden **Tab. A1.1** dargestellt.

Gefühlte Temperatur [°C]	Thermisches Empfinden	Thermophysiologische Belastungsstufe
<= -39	Sehr kalt	Extremer Kältestress
-26 bis -39	Kalt	Starker Kältestress
-13 bis -26	Kühl	Mäßiger Kältestress
0 bis -13	Leicht kühl	Schwacher Kältestress
0 bis +20	Behaglich	Komfort möglich
+20 bis +26	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
+26 bis +32	Warm	Mäßige Wärmebelastung
+32 bis +38	Heiß	Starke Wärmebelastung
>= +38	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Tab. A1.1: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung (nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2)