



Lohmeyer

EHEMALIGES COTY-AREAL IN KÖLN-BICKENDORF

- MIKROKLIMATISCHE BESTANDSANALYSE -

Auftraggeber:

Instone Real Estate Development GmbH
Adolf-Grimme-Allee 3
50829 Köln

Bearbeitung:

Lohmeyer GmbH
Niederlassung Bochum

M.Sc. Geogr. J. Lehmkuhler

Dr. rer. nat. R. Hagemann

M.Sc. Geogr. L. van der Linden

Oktober 2025
Projekt 30592-25-02
Berichtsumfang 44 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	AUFGABENSTELLUNG	6
3	KLIMAANALYSEKARTE	8
4	VORGEHENSWEISE MIT PALM-4U	10
5	EINGANGSDATEN	14
	5.1 Bebauung, Oberfläche und Vegetation	14
	5.2 Topographie.....	14
	5.3 Meteorologische Daten	18
6	ERGEBNISSE	21
	6.1 Bioklimatische Situation am Tag (15 Uhr).....	22
	6.2 Bioklimatische Situation am Abend (23 Uhr).....	24
	6.3 Bioklimatische Situation in der Nacht (04 Uhr).....	27
	6.4 Auswirkungen der Bodenfeuchtigkeit auf die Lufttemperaturen.....	30
7	FAZIT UND PLANUNGSHINWEISE	33
8	LITERATUR	39
A1	ANHANG – STADTKLIMATISCHE GRUNDLAGEN	41

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Namen 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

Autochthone Wetterlage

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.

Bioklima

Bioklima befasst sich mit der Beziehung zwischen klimatischen Bedingungen und lebenden Organismen, einschließlich ihrer Gesundheit und Lebensbedingungen. Es untersucht, wie Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit oder Sonneneinstrahlung auf Ökosysteme und den Menschen wirken. Der Begriff findet Anwendung in Bereichen wie Umweltforschung, Landwirtschaft und Medizin.

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 Tag

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

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 Kaltluft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf,

während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluft neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten.

Kaltluftstaugebiete und Kaltluftsammlgebiete

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

Kelvin (K)

Kelvin (K) ist die SI-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur. Es handelt sich um eine absolute Temperaturskala, deren Skaleneinteilung derjenigen der Celsius-Skala entspricht. Der absolute Nullpunkt beträgt dabei - 273,15 °C. Die Einheit der Kelvin-Temperaturangaben ist "K". Sie wird oftmals bei der Angabe von Temperaturdifferenzen der Celsius-Skala verwendet.

Klimatop

Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, die aufgrund vergleichbarer Eigenschaften bezüglich der Flächennutzung, der Bebauungsdichte, des Versiegelungsgrads, der Rauigkeit und des Vegetationsbestandes ähnliche mikro-klimatische Bedingungen aufweisen

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.

1 ZUSAMMENFASSUNG

In Köln-Bickendorf ist derzeit die Neuentwicklung des ehemaligen Coty-Areals in Planung. Das Grundstück liegt in Köln-Bickendorf, südwestlich der Venloer Straße (Höhe Hausnummer 730) und ist ca. 17 ha groß. Aktuell ist die Fläche geprägt durch großflächige Logistikhallen. Ziel ist die Entwicklung eines neuen Stadtquartiers mit vornehmlich Wohn- und Gewerbenutzungen.

Für den weiteren Planungsvorgang wurden Informationen zu der mikroklimatischen Bestands-situation benötigt, die in die weitere Planung berücksichtigt werden sollen.

Zur Analyse der aktuellen lokalklimatische Bestandssituation wurden mikroklimatische Simulationsrechnungen mit PALM-4U für das Coty-Areal und die angrenzenden Siedlungsflächen durchgeführt. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse war die klimaökologische Ausgangslage zu bewerten. Hierbei sollte insbesondere auf die Aspekte der Durchlüftung, Kaltluftdynamik, Bioklimas sowie der Hitzebelastung eingegangen werden. Aus den Ergebnissen wurden konkrete Planungshinweise abgeleitet, um die planungsbedingten Auswirkungen auf das Lokalklima möglichst gering zu halten und bestmöglich zu verbessern.

Ergebnisse

In der Klimaanalysekarte des LANUK sind westlich des Plangebiets Kaltluftabflüsse mit mittlerer Stärke dargestellt, die vom Stadtrand in Richtung Stadtmitte fließen. Die Pfeile sind jedoch nur bis zu den ersten Siedlungsrändern dargestellt und werden in westlicher Richtung nicht fortgeführt. Das Coty-Areal weist gegenüber den umliegenden Siedlungsflächen günstigere thermische Verhältnisse in der Nacht auf.

Die in der Klimaanalysekarte dargestellte lokalklimatische Ausgangslage wird durch die Ergebnisse der mikroklimatischen Simulationsrechnung bestätigt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich im Bereich des Coty-Areals tagsüber aufgrund der hohen solaren Einstrahlung eine gegenüber den umliegenden Siedlungsflächen erhöhte Wärmebelastung (Gefühlte Temperatur > 36 °C) entwickeln kann. Die insgesamt niedrige Windgeschwindigkeiten und demnach eingeschränkten Durchlüftungsverhältnisse verstärken diesen Effekt.

Abends und nachts hingegen kann die Fläche effektiv auskühlen, so dass hier entsprechend niedrigere Temperaturen im Vergleich zu den benachbarten Siedlungsflächen dargestellt sind. Das Coty-Areal stellt demnach kein Überwärmungsbereich dar.

Insbesondere über der Grünfläche im Coty-Areal wurde eine effektive Abkühlung im Laufe der Nacht ermittelt. Teilweise liegen die Lufttemperaturen bis zu 4 °C niedriger als in der 300 m südlich gelegenen Gewerbefläche. Aufgrund der Bebauungssituation kann sich die kühlere Luft bodennah aber nicht in weiter entfernt liegende Bereiche ausbreiten, sodass lediglich die direkt angrenzende Bestandsbebauung nördlich, östlich und südlich der Ausgleichsfläche profitiert.

Die Auswertung der Windfelder auf verschiedenen Höhenebenen zeigt, dass das Strömungsverhalten am Bodenniveau deutlich von Bebauungsstrukturen und Geländeeinflüssen geprägt ist. Im Vergleich zu den Bereichen in Überdachniveau kommt es hier zu einer Abschwächung und Umstrukturierung des Windfeldes, sodass die Belüftungswirksamkeit erheblich reduziert wird. Insbesondere lässt sich feststellen, dass auf Bodenniveau keine durchgängigen Belüftungsachsen mit potenziellen Kühleffekten aus dem Außenraum ausgebildet werden.

Zusätzlich ist darauf hinzuweisen, dass diese Untersuchung von einem Zustand mit ausreichender Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen ausgeht, um die Voraussetzungen für die Ermittlung der klimaökologischen Funktionen und deren planungsbedingten Veränderungen zu gewährleisten. Die letzten Jahre haben jedoch gezeigt, dass in den Sommermonaten immer häufiger Trockenphasen auftreten, die insbesondere städtische Grünflächen und Straßenbäume belasten. Dies hat zur Folge, dass während andauernden Trockenepisoden insbesondere in Kombination mit Hitze Grünflächen weniger Verdunstungskälte abgeben und damit die Umgebungstemperatur insbesondere in den Nachtstunden weniger stark abkühlen. Vor dem Hintergrund zukünftig zunehmender Hitzebelastungen und Trockenepisoden sind daher fachgerechte Standortbedingungen für die geplante Vegetation von besonderer Bedeutung. Dies betrifft vor allem einen ausreichenden Wurzelraum mit Bodenanschluss bzw. einen entsprechend fachgerechten Bodenaufbau auf Unterbauten und Dächern. Auch Bewässerungskonzepte sind von Relevanz, um die positiven klimaökologischen Leistungen von Vegetationsflächen auch in Zukunft sicherzustellen (siehe Planungshinweise).

In Kap. 7 werden konkrete Planungshinweise gegeben, die zur Sicherung eines günstigen Lokalklimas im Umfeld des Plangebietes beitragen.

2 AUFGABENSTELLUNG

In Köln-Bickendorf ist derzeit die Neuentwicklung des ehemaligen Coty-Areals in Planung. Das Grundstück liegt in Köln-Bickendorf, südwestlich der Venloer Straße (Höhe Hausnummer 730) und ist ca. 17 ha groß (vgl. **Abb. 2.1**). Aktuell ist die Fläche geprägt durch großflächige Logistikhallen. Ziel ist die Entwicklung eines neuen Stadtquartiers mit vornehmlich Wohn- und Gewerbenutzungen.

Für den weiteren Planungsvorgang werden Informationen zu der mikroklimatischen Bestandsituation benötigt, die in die weitere Planung berücksichtigt werden sollen.

Zur Analyse der aktuellen lokalklimatische Bestandssituation werden mikroklimatische Simulationsrechnungen mit PALM-4U für das Coty-Areal und die angrenzenden Siedlungsflächen durchgeführt. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse ist die klimaökologische Ausgangslage zu bewerten. Hierbei soll insbesondere auf die Aspekte der Durchlüftung, Kaltluftdynamik, Bioklimas sowie der Hitzebelastung eingegangen werden. Aus den Ergebnissen werden konkrete Planungshinweise abgeleitet, um die planungsbedingten Auswirkungen auf das Lokalklima möglichst gering zu halten und bestmöglich zu verbessern.

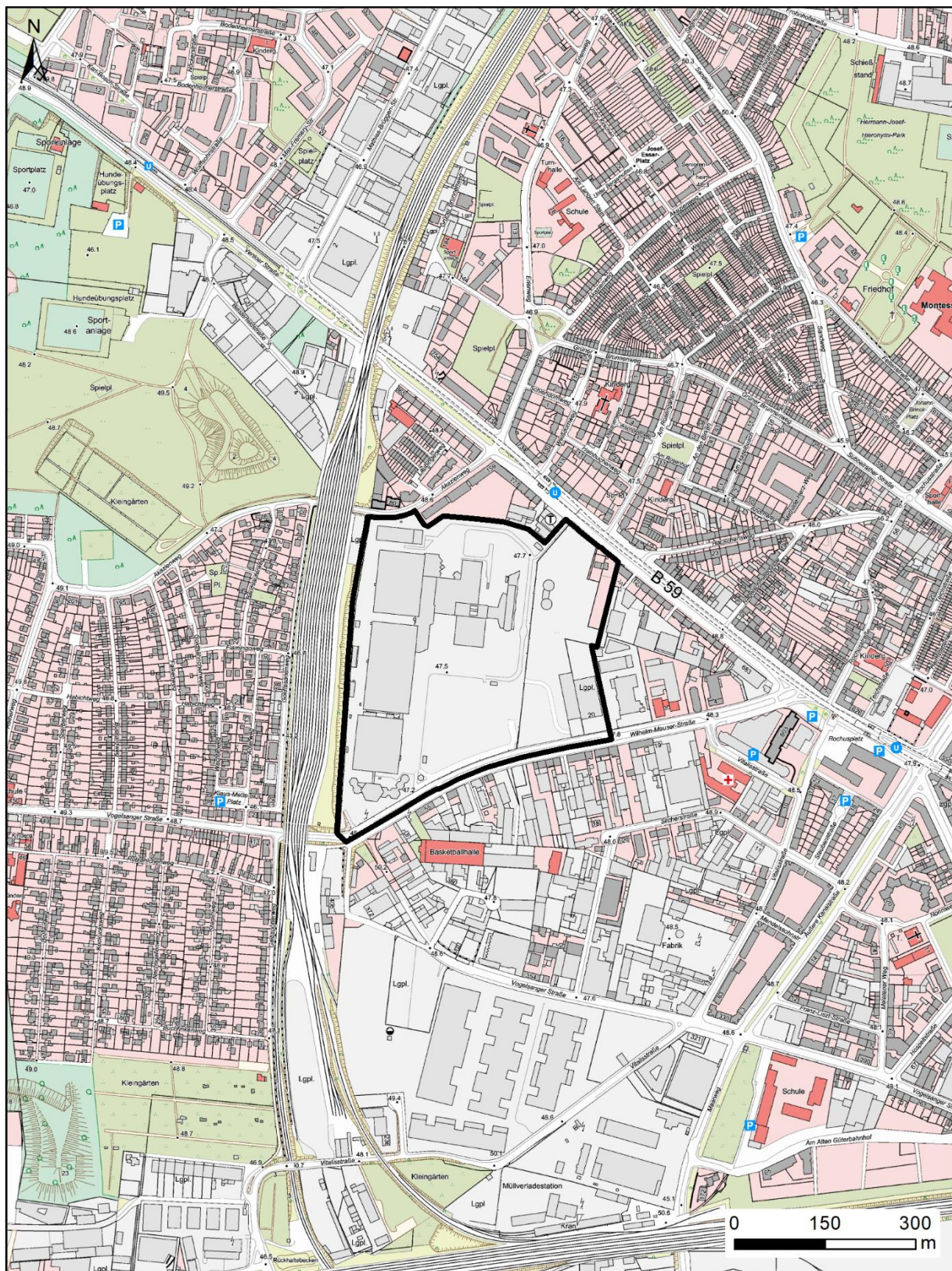


Abb. 2.1: Lageplan des Coty-Areals in schwarz (Kartenhintergrund: WMS NW ABK)

3 KLIMAANALYSEKARTE

Die lokalen klimatischen Eigenheiten des Standortklimas lassen sich auf der Grundlage der Klimaanalysekarte charakterisieren (LANUK, 2018). Die **Abb. 3.1** zeigt einen Ausschnitt der Klimaanalysekarte für die Nachtsituation im Plangebiet und Umgebung.

Die Karte nennt Angaben zu den Luftaustauschverhältnissen während autochthonen Nächten und kennzeichnet Bereiche mit Kaltluftabflüssen. Kaltluft und Kaltluftabflüsse können wesentlich zur nächtlichen Durchlüftung von Siedlungsräumen beitragen und können dadurch der Ausbildung und Intensivierung von Wärmeinseln entgegenwirken.

Westlich des Plangebiets sind Kaltluftabflüsse mit mittlerer Stärke dargestellt, die vom Stadtrand in Richtung Stadtmitte fließen. Die Pfeile sind jedoch nur bis zu den ersten Siedlungsrändern dargestellt und werden in westlicher Richtung nicht fortgeführt.

Gegenüber den umliegenden Siedlungen kommt es im Plangebiet nachts zu einer schwachen Überwärmung, was auf den erhöhten Grünanteil zurückgeführt werden kann. Die angrenzenden Siedlungen weisen demgegenüber eine mäßige bis starke Überwärmung auf, was insbesondere auf eine erhöhte Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad zurückzuführen ist.



Kaltluftvolumenstrom (KVS) und nächtliche Überwärmung

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Grünflächen: Kaltluftvolumenstrom sehr hoch: KSV >2700 m³/s Grünflächen: Kaltluftvolumenstrom hoch: KSV >1500 bis 2700 m³/s Grünflächen: Kaltluftvolumenstrom mittel: KSV >300 bis 1500 m³/s Grünflächen: Kaltluftvolumenstrom gering: KSV ≤ 300 m³/s | <ul style="list-style-type: none"> Siedlung: keine nächtliche Überwärmung: T ≤ 17 °C Siedlung: schwache nächtliche Überwärmung: T >17 bis 18,5 °C Siedlung: mäßige nächtliche Überwärmung: T >18,5 bis 20 °C Siedlung: starke nächtliche Überwärmung: T >20 °C |
|---|---|

Klimaanalysekarte (nacht)

Luftaustausch: Richtung und Stärke des Kaltluftvolumenstroms (KVS)

- ↑ mittel: KVS >300 m³/s bis 1500 m³/s
- ↑↑ hoch: KVS >1500 m³/s bis 2700 m³/s
- ↑↑↑ sehr hoch: KVS >2700 m³/s

Abb. 3.1: Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte für die Nachtsituation; Plangebiet in blau (LANUK, 2018)

4 VORGEHENSWEISE MIT PALM-4U

Die Simulation der bioklimatischen Parameter erfolgt mit dem Stadtklimamodell PALM-4U (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/palm4u>). Auf der Grundlage der Simulationsrechnungen werden für das Untersuchungsgebiet und die angrenzenden Gebiete Aussagen zu den Themenkomplexen Temperatur bzw. Überhitzung erarbeitet.

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 3783 Blatt 9 „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle“ validiert (<https://palm.muk.uni-hannover.de/trac/wiki/doc/tec/evaluation>). Eine Validierung des komplexen Testfalls E8 „Stuttgarter Talkessel Strömungskanalisation, Kaltabflüsse“ der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 (1997) „Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle“ 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 dreistufigen sogenannten Nesting-Verfahren (Gitterverfeinerung) durchgeführt (vgl.

Tab. 4.1 und **Abb. 4.1**). Um alle relevanten Kaltlufteinzugsgebiete zu erfassen, wird eine übergeordnete mesoskalige Simulation mit 200 m horizontaler Maschenweite durchgeführt. Anschließend wird mittels Nesting ein 50 m-Gebiet und weiter 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 623 x 639 Gitterpunkte (ca. 1.5 km x 1.5 km) realisiert. 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 „Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle“ und der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9 „Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle“.

Rechengebiet	Gitterzellen in x- und y-Richtung	Horizontale Gitterauflösung	Vertikale Gitterauflösung in Bodennähe (m)	Anmerkung
Mesoskala	623 x 671	200	20	
Mesoskala	1183 x 1199	50	12	
Mikroskala	479 x 511	10	5	Gebäude und Vegetation explizit aufgelöst
Mikroskala	623 x 639	2.5	2.5	Gebäude und Vegetation explizit aufgelöst

Tab. 4.1: Modelltechnische Angaben zu den Rechengebieten

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

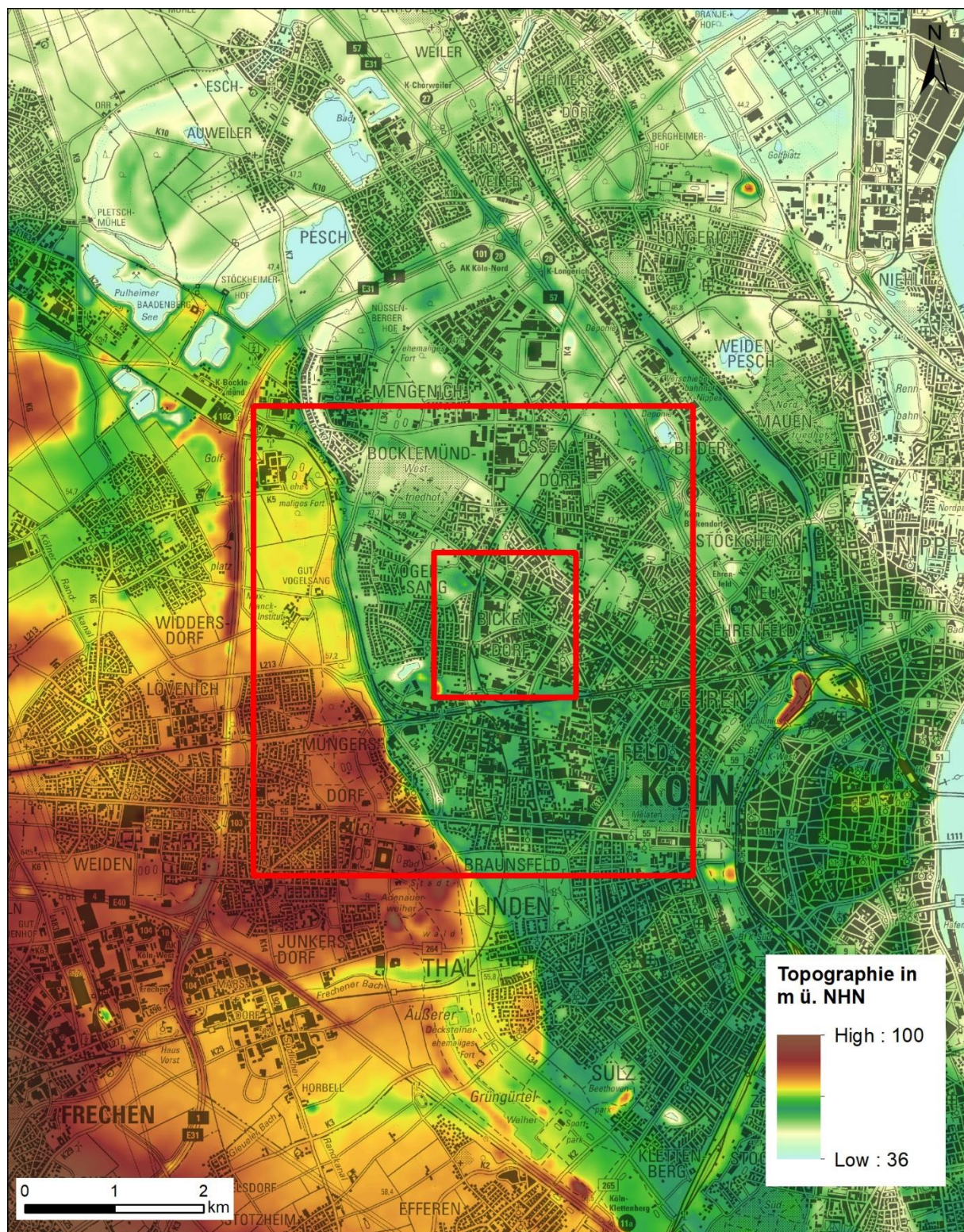


Abb. 4.1: Lage der mikroskaligen Rechengebiete jeweils in Rot. Die mesoskaligen Rechengebiete gehen weit über den Ausschnitt hinaus. Kartenhintergrund: WMS NW DTK50

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. Die angesetzten Bodeneigenschaften zeigen noch keine Anzeichen von Trockenstress (hier nFK 39 %). Ausreichende Feuchtigkeit im Boden gewährleistet weiterhin die Funktionalität der relevanten klimaökologischen Funktionen, die mit Hilfe der Simulationsrechnung aufgezeigt werden sollen (z.B. Grünanlagen).

Da in den letzten Jahren trockene Sommermonate mit deutlich reduzierter Bodenfeuchte zunehmend häufiger auftreten, wurde ergänzend eine zweite Simulationsrechnung für einen trockenen Zustand durchgeführt. Auf Grundlage von Daten umliegender Wetterstationen wurde hierfür ein nFK-Wert von etwa 15 % angesetzt, der typische Bedingungen während ausgeprägter Dürreperioden widerspiegelt. Die Berücksichtigung dieses Szenarios ist relevant, um die möglichen Auswirkungen auf das Mikroklima realistisch einschätzen zu können.

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

5 EINGANGSDATEN

5.1 Bebauung, Oberfläche und Vegetation

Die Landbedeckung ist ein maßgeblicher Einflussfaktor für die Ausprägung lokalklimatischer Verhältnisse. Einerseits beeinflussen Landbedeckungsmerkmale, z.B. in natürlicher Form von (hoher) Vegetation oder in künstlicher Form wie Gebäude oder Verkehrsflächen, durch die sogenannte Boden- oder Oberflächenrauigkeit die bodennahen Windverhältnisse und damit verbunden den möglichen Abtransport thermisch belasteter bzw. das Zuführen frischer Luftmassen. Andererseits wechselwirkt die Landbedeckung mit dem Wärme- und Feuchtehaushalt der Atmosphäre. Bäume und Gebäude verschatten in ihrer Umgebung den Boden. Künstliche, versiegelte Oberflächen erwärmen sich tagsüber in der Regel intensiver gegenüber unversiegelten Oberflächen, insbesondere im Fall von begrünten Oberflächen, und geben diese Wärme abends bis nachts wieder an die Umgebungsluft ab. Unversiegelte, begrünte Oberflächen nehmen Wasser auf und wirken durch Verdunstung positiv auf ihre Umgebung.

Die in den PALM-4U-Simulationsrechnungen verwendeten Oberflächentypen für den Bestand werden auf der Grundlage von Satellitendaten (Urban Atlas Land Cover, Copernicus 2018) sowie von aktuellen Luftbildern abgeleitet. Die Erfassung der bestehenden Baumstandorte und Baumhöhen erfolgt auf der Grundlage des städtischen Baumkatasters sowie von aktuellen Luftbildern und Laserscandaten (DOM). Die Erfassung der bestehenden Gebäude, die im Modell als 3D-Objekt berücksichtigt werden, erfolgt auf Grundlage des digitalen Gebäudemodells LOD1 sowie aktueller Luftbilder. Eine Abbildung der Modelleingangsdaten ist in **Abb. 5.1** und **Abb. 5.2** dargestellt.

5.2 Topographie

Für die Klimamodellierung ist die Topographie eine wesentliche Eingangsgröße, denn es übt direkten Einfluss auf das meteorologische Prozessgeschehen aus (z.B. geländefolgende Windströmungen). In der vorliegenden Untersuchung werden für die Modellsimulationen die Reliefinformationen aus Angaben des digitalen Geländemodells DGM1 abgeleitet.

Westlich grenzt das Plangebiet unmittelbar an einen Bahndamm, der ca. 5 m höher liegt (vgl. **Abb. 5.3**).



Abb. 5.1: Modelleingangsdaten Oberfläche



Abb. 5.2: Modelleingangsdaten Gebäude



Abb. 5.3: Topographie (Kartenhintergrund: WMS NW ABK)

5.3 Meteorologische Daten

Zur Charakterisierung der Anströmungsbedingungen werden meteorologische Messdaten der DWD-Station Köln-Flughafen herangezogen. Die **Abb. 5.4 (links)** zeigt die Verteilung der Windrichtung und -geschwindigkeit für den Zeitraum 2000 bis 2019. Die mittlere Windgeschwindigkeit in diesem Zeitraum liegt bei 2.8 m/s. Die Hauptwindrichtung ist Südost, die weiteren Windrichtungen sind insgesamt deutlich weniger vertreten. Eine Auswertung für „Heiße Tage“ (Tagestemperatur-Maximum $\geq 30\text{ °C}$) zeigt im betrachteten 20-Jahreszeitraum ein deutliches Hauptmaximum bei südöstlicher Richtung mit einer geringeren mittleren Windgeschwindigkeit von 1.9 m/s (**Abb. 5.4, rechts**). Infolgedessen werden die Simulationen tagsüber mit schwacher südöstlicher Anströmung angetrieben. Nachts wird die Simulation ohne Antrieb gerechnet, da sich die nächtlichen Kaltluftströmungen im Modell selbstständig ausbilden.

Die **Abb. 5.5** zeigt beispielhaft Zeitreihen der bodennahen Lufttemperatur vom 26.07.2018 und 27.07.2018 an der Station Köln-Flughafen. An beiden Tagen lag ein „Heißer Tag“ vor, mit gemessenen Höchstwerten der Lufttemperatur über 34 °C . Für die Modellsimulationen mit PALM-4U werden die bodennahe Lufttemperatur in Anlehnung an die Beobachtungswerte der Wetterstationen des 26.07.2018 um 00:00 Uhr MESZ initialisiert; für diese Station liegen auch Beobachtungsdaten über die Temperaturverhältnisse des Bodens vor und werden in der vorliegenden Untersuchung herangezogen.

Für das Untersuchungsgebiet in Köln liegen keine Informationen über die Vertikalprofile der Atmosphäre vor. Diese werden daher auf Grundlage von Daten der nächstgelegenen Radiosondenaufstiege an der DWD-Station Essen-Bredeney abgeleitet.

In der **Abb. 5.5** sind neben den Temperaturen an der Freilandstation Köln-Flughafen ebenfalls die Daten zur Lufttemperatur an der zum Plangebiet benachbarten Station Köln-Chorweiler dargestellt. Die Station Chorweiler befindet sich gegenüber der Flughafenstation in einem urban geprägten Bereich. Aus dem Diagramm ist daher zu entnehmen, dass in der benachbarten Station Chorweiler insbesondere in den Nachmittag- bis Nachtstunden ca. 2 °C höhere Lufttemperaturen gemessen werden.

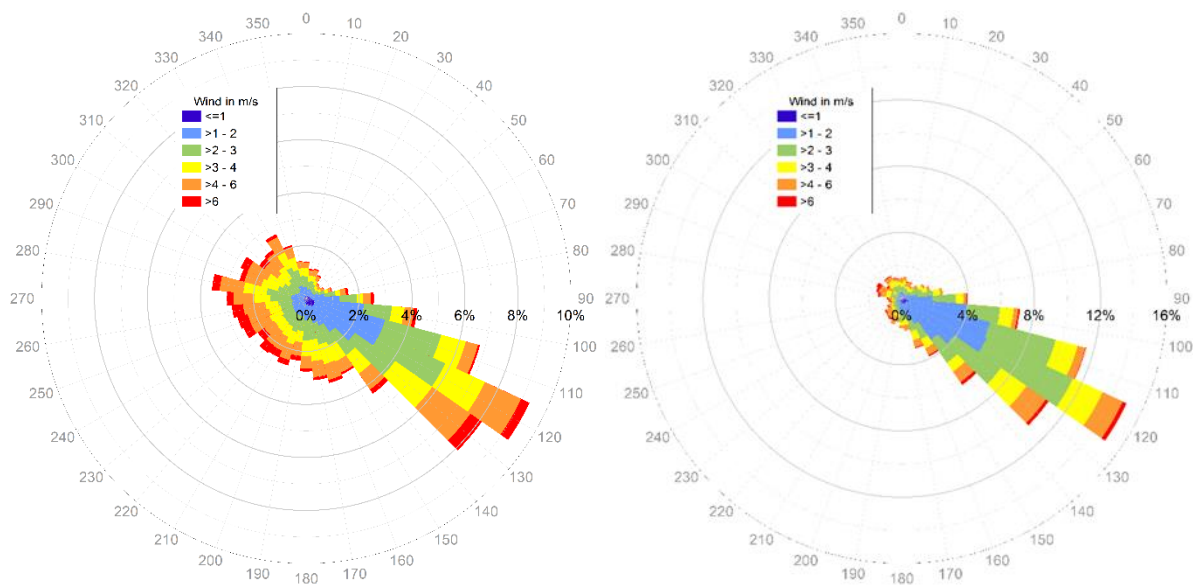


Abb. 5.4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Köln Flughafen von 2000 bis 2019 für alle Tage links und selektiert für „Heiße Tage“ rechts (Quelle DWD)

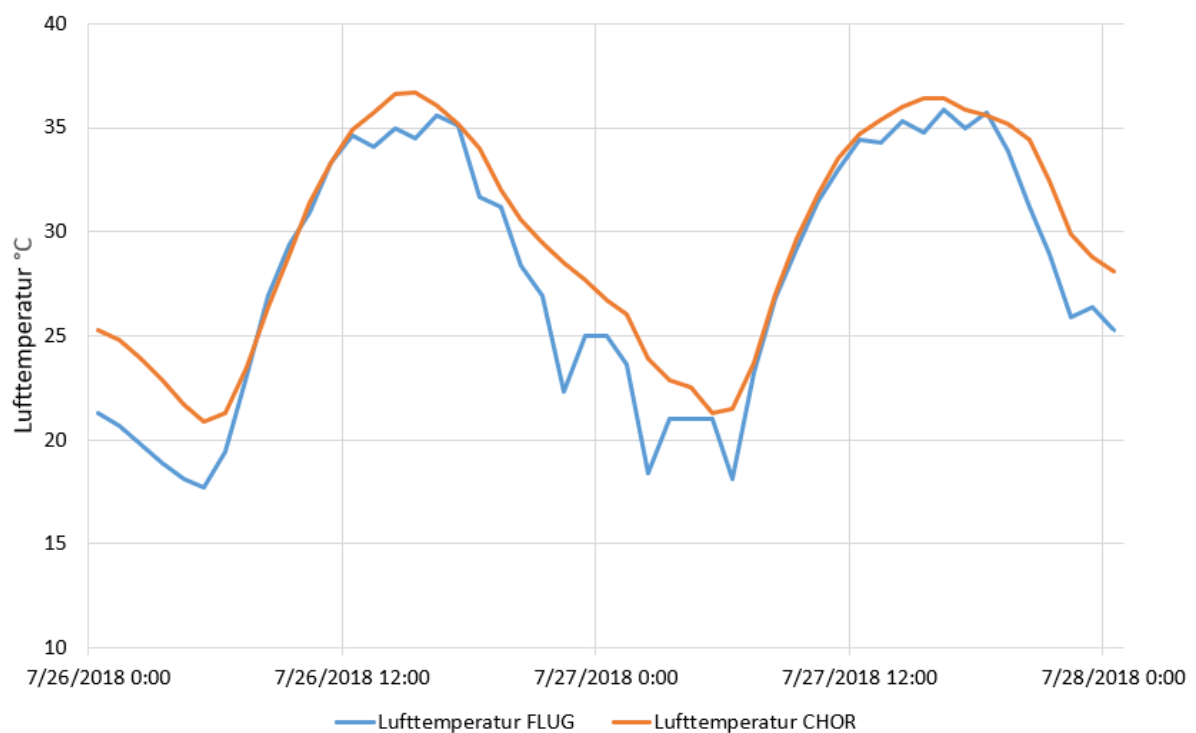


Abb. 5.5: Zeitreihen der bodennahen Lufttemperatur an der DWD-Station Köln-Flughafen (blau) sowie der bodennahen Lufttemperatur an der LANUK-Station Köln-Chorweiler (orange) vom 26.07.2018 bis 28.07.2018 (Quelle DWD, LANUK)

Startzeit der Simulation	25.07.2018, 22:00 Uhr MESZ
Dauer der Simulation	30 Stunden
Wolkenbedeckungsgrad	0-3 / 8 (wolkenloser Himmel)
Relative Feuchte in 2 m über Grund	76 %
Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund	1.9 m/s
Windrichtung tagsüber	120° (Südost)
Windrichtung und -geschwindigkeit nachts	-
Bodentemperatur	299 K in 5 cm
Bodenfeuchte (nFK) normal / trocken	39 % / 15 %
Bodenart	Coarse und medium

Tab. 5.1: Zusammenfassende Darstellung der Initialisierungsparameter

6 ERGEBNISSE

Für das Aufzeigen der mikroklimatischen Bestandssituation in Bezug auf die bioklimatischen Verhältnisse und die nächtliche Belüftung bei einer sommerlichen autochthonen Wetterlage wurde Simulationsrechnungen mit dem Modell PALM-4U durchgeführt. Entsprechend den Beschreibungen in Kap. 4 werden die Simulationen um 0 Uhr UTC gestartet und der Tagesgang eines typischen sommerlichen Tages inklusive der darauffolgenden Nacht bei einer autochthonen Wetterlage berechnet. Bei der Ergebnisinterpretation ist daher zu berücksichtigen, dass die ermittelten Temperaturwerte entsprechend der Initialisierung ausgebildet sind und einen standorttypischen Hitzetag widerspiegeln. Die tatsächlichen Temperaturwerte können daher an einem Sommertag je nach Wetterlage abweichen. Der Fokus der Analyse liegt auf den relativen räumlichen Temperaturunterschieden im Umfeld des Plangebiets.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt zu einer Stunde mit großer Wärmebelastung am Nachmittag (15 Uhr), zur Einschlafphase (23 Uhr) und früh morgens nahe am nächtlichen Temperaturminimum (04 Uhr). Für die Beschreibung der thermischen Verhältnisse zur Tagessituation wird Gefühlte Temperatur (GT) (siehe Anhang) ausgewertet. Für die nächtliche Bewertung thermischer Verhältnisse wird die Lufttemperatur herangezogen, da sie den entscheidenden Einfluss auf die Wärmebelastung ausübt und strahlungsabhängige Parameter bioklimatischer Indizes (vgl. GT) in dieser Zeit kaum Relevanz besitzen.

Die thermischen Verhältnisse in Bodennähe werden kleinräumig auch durch die bestehenden Nutzungen, insbesondere durch die bestehenden Oberflächen geprägt. Baumbestandene 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 sowie eine verminderte und verzögerte Abkühlung in den Nachtstunden zu beobachten ist.

6.1 Bioklimatische Situation am Tag (15 Uhr)

Die **Abb. 6.1** zeigt die berechneten Werte der Gefühlten Temperatur sowie die bodennahe Windgeschwindigkeit und -richtung bei schwach südöstlicher Anströmung für den wärmsten Tageszeitraum. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Besonders von Hitzestress betroffen sind Bereiche, die über mehrere Stunden hinweg nicht verschattet sind und gleichzeitig schlechte Durchlüftungsverhältnisse aufweisen. Das gilt sowohl für versiegelte als auch unversiegelte Flächen.
- Aufgrund fehlender Verschattung von beispielsweise Bäumen und gepaart mit schlechten Belüftungsverhältnissen werden im ehem. Coty-Areal erhöhte Wärmebelastungen mit Gefühlte Temperaturen über 36 °C dargestellt, was einer starken Wärmebelastung entspricht.
- Ähnlich hohe Wärmebelastungen sind auch im Gewerbegebiet südlich der Wilhelm-Mauser-Straße aufgrund der Bebauungsdichte und dem hohen Versiegelungsgrad dargestellt.
- Die Wohnsiedlung nördlich der Venloer Straße zeichnet sich tendenziell durch bessere thermische Verhältnisse aus. Dies ist auf den lokal höheren Verschattungsanteil durch Bäume und den Gebäudeschatten zurückzuführen. Trotzdem kommt es in kleinräumigen Bereichen zu einem Wärmestau, sodass dort Temperaturen über 38 °C erreicht werden (vgl. Häuschensweg nordöstlich vom Plangebiet).
- Die niedrigsten Wärmebelastungen sind lokal im Bereich von dichten Baumgruppen und Baumreihen zu finden (vgl. Wilhelm-Mauser-Straße, Park im nordwestlichen Untersuchungsgebiet).
- Das bodennahe Windfeld wird stark durch die Bebauung beeinflusst; dabei entstehen Umleit- und Staueffekte, Verwirbelungen und Turbulenzen. Über Freiflächen sind vergleichsweise höhere Windgeschwindigkeiten über 1.5 m/s mit eher nördlichen Richtungen dargestellt. Zwischen den Gebäuden sind die Windgeschwindigkeiten deutlich reduziert und liegen oftmals unter 1 m/s. Die Durchlüftungsverhältnisse im Coty-Areal und direkter Umgebung sind daher eingeschränkt.



Abb. 6.1: Gefühlte Temperatur um 15 Uhr

6.2 Bioklimatische Situation am Abend (23 Uhr)

Besonders in den Abendstunden ist es wichtig, dass Siedlungsflächen ausreichend auskühlen, um die nächtliche Durchlüftung und den Zustrom kühlere Luft in die Wohnräume zu ermöglichen. Dies unterstützt die Einschlafphase, verbessert die Schlafqualität und reduziert gesundheitliche Belastungen durch Hitzestress.

Die **Abb. 6.2** zeigt die berechnete Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 20 m über Grund um 23 Uhr. Das dargestellte Windfeld stellt das Überdach-Niveau dar, d.h. den Bereich, der nahezu unbeeinflusst von Bebauung ist. Es ist ein klarer Westwind dargestellt. Die Windgeschwindigkeiten von bis zu 1 m/s sind jedoch über dem Coty-Areal eher niedrig einzustufen.

Die **Abb. 6.3** zeigt die bodennahe Lufttemperatur sowie die bodennahe Windgeschwindigkeit und -richtung für 23 Uhr. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bereiche mit einem hohen Versiegelungsgrad und einer dichten Bebauungsstruktur weisen in den Abendstunden weiterhin eine hohe thermische Belastung auf. Die höchsten Lufttemperaturen sind daher im Bereich der Gewerbefläche südlich der Wilhelm-Mauser-Straße ermittelt.
- Grünflächen kühlen dagegen kurz nach Sonnenuntergang bereits effektiv ab (vgl. Park im nordwestlichen Untersuchungsgebiet). Dies trifft auch auf die Rasenfläche im Coty-Areal zu – hier sind bis zu 4 °C niedrigere Lufttemperaturen gegenüber den südlichen Gewerbefläche ermittelt.
- Der erhöhte Grünflächenanteil sorgt für eine Abkühlung, von der das gesamte Coty-Areal profitiert. Das Plangebiet stellt somit insgesamt keinen Überwärmungsbereich dar.
- Die thermischen Verhältnisse in der umliegenden Wohnsiedlung sind mit denen im Coty-Areal vergleichbar. Siedlungen mit einem erhöhten Grünflächenanteil oder in der Nähe anderer Grünflächen weisen jedoch insgesamt bessere thermische Verhältnisse auf.
- Die bodennahen Windgeschwindigkeiten sind insgesamt deutlich niedriger als die in 20 m Höhe. Auch die Windrichtung wird durch die Bebauung deutlich beeinflusst. Es findet daher ein eher eingeschränkter Luftaustausch auf Bodenniveau statt.
- Insgesamt sind im Bereich des Coty-Areals lediglich lokale Ausgleichsströmungen dargestellt, die durch eine differenzierte Abkühlung von verschiedenen Oberflächen zustande

kommt. Ausgehend von den Rasenflächen werden kühlere Luftmassen in die benachbarten Bereiche transportiert, die von einer Kühlung profitieren. Der Antrieb ist jedoch sehr schwach, sodass die Ausgleichsfunktion sich auf die direkt angrenzende Bebauung beschränkt und keine weitreichenden Kühleffekte stattfindet.

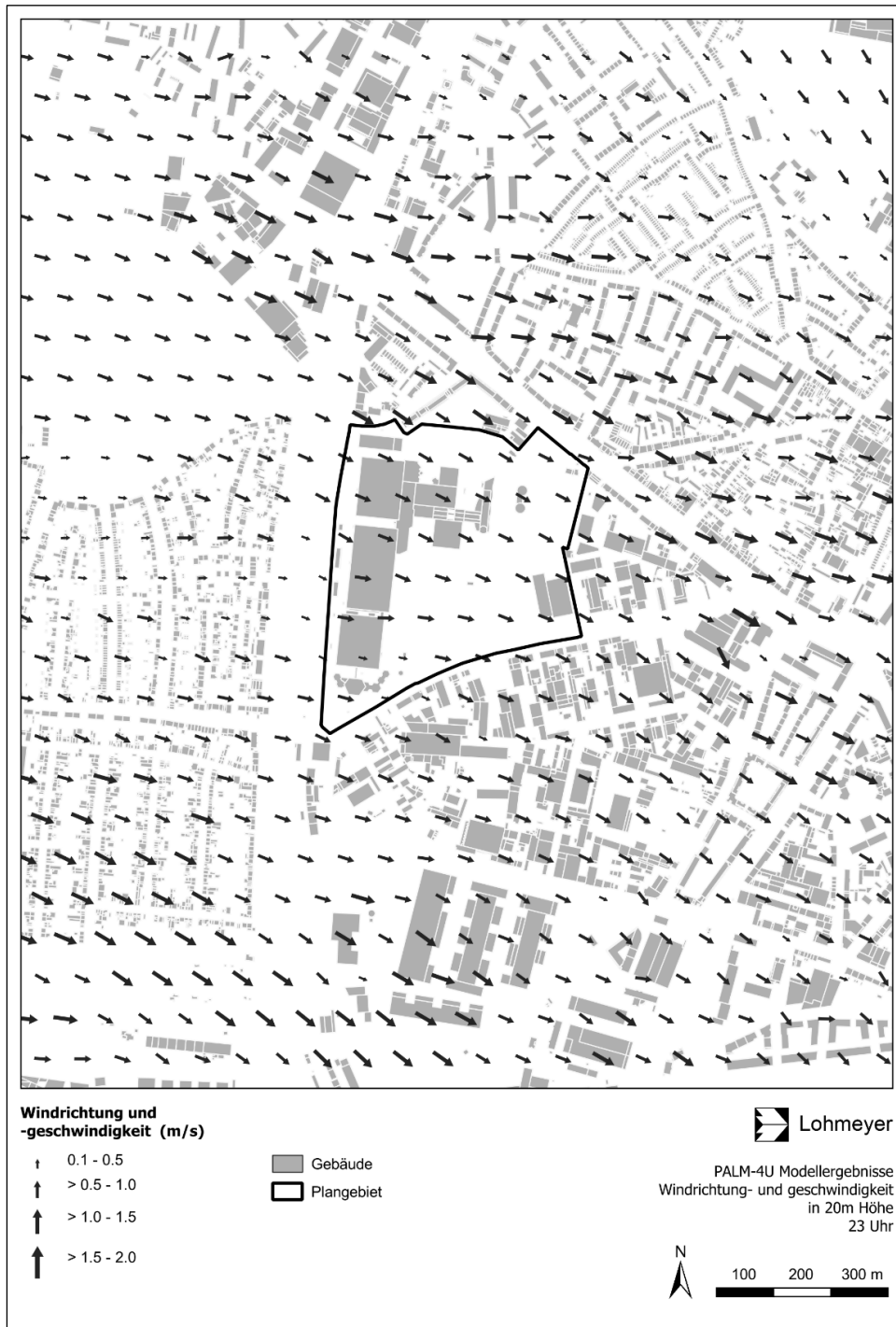


Abb. 6.2: Übergeordnetes Windfeld in 20 m Höhe um 23 Uhr



Abb. 6.3: Bodennahe Lufttemperatur und bodennahes Windfeld um 23 Uhr

6.3 Bioklimatische Situation in der Nacht (04 Uhr)

Die **Abb. 6.4** zeigt das übergeordnete Windfeld in 20 m Höhe um 04 Uhr. Im Vergleich zu den Abendstunden hat sich das Windfeld gedreht und weht nun aus südöstlicher Richtung. Dies ist ein typisches Merkmal der Kölner Bucht in sommerlichen Strahlungs Nächten: Im Laufe der Nacht sammelt sich dort Kaltluft aus den Nebentälern, dabei bildet sich in den späten Nachtstunden ein übergeordneter Kaltluftstrom flussabwärts in Richtung Norden.

Die **Abb. 6.5** zeigt die bodennahe Lufttemperatur sowie die bodennahe Windgeschwindigkeit und -richtung für 04 Uhr. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Gegenüber den Abendstunden kommt es flächendeckend zu weiteren Abkühlungen. Dabei sind Grünflächen nach wie vor die kühleren Bereiche. Hierzu zählt auch die Grünfläche im Coty-Areal.
- Aufgrund der effektiven Abkühlung der Grünflächen ist das Coty-Areal in den Nachtstunden tendenziell kühler als z.B. die nördlich angrenzende Wohnsiedlung, wo sich teilweise wärmere Luftmassen in den Straßenräumen ansammelt. Die höchsten Lufttemperaturen sind weiterhin in der südlichen Gewerbefläche ermittelt.
- Insgesamt sind auch in der späten Nachthälfte sehr niedrige Windgeschwindigkeiten ermittelt – es findet also weiterhin ein eingeschränkter Luftaustausch statt. Die Windrichtung zeigt in den frei anströmbaren Bereichen die identische Richtung wie in 20 m Höhe. In den dicht bebauten Bereichen ist das Windfeld stark beeinflusst durch die Bebauung.
- Wie bereits in den Abendstunden werden auch jetzt kühlere Luftmassen über dem Coty-Areal in die angrenzenden Gebiete transportiert. Hiervon profitieren insbesondere die direkt angrenzende Bestandsbebauung mit Wohnnutzung nördlich, östlich und südlich des Plangebiets. Die Windpfeile deuten darauf hin, dass der Transport der kühleren Luft eher lokal beschränkt ist.



Abb. 6.4: Übergeordnetes Windfeld in 20 m Höhe um 04 Uhr



Abb. 6.5: Bodennahe Lufttemperatur und bodennahes Windfeld um 04 Uhr

6.4 Auswirkungen der Bodenfeuchtigkeit auf die Lufttemperaturen

Um die Auswirkungen variierender Bodenfeuchtebedingungen auf das Mikroklima zu untersuchen, wurde die Simulationsrechnung zusätzlich für einen deutlich trockeneren Zustand mit stark reduzierter Bodenfeuchte durchgeführt (vgl. Tab. 5.1). Dieser Zustand repräsentiert eine Situation, wie sie in den letzten Jahren im Zuge zunehmender Dürreereignisse immer häufiger beobachtet wird.

Für die Auswertezeitpunkte am Abend sowie in der Nacht wurden die Unterschiede der Lufttemperatur gegenüber einem Referenzszenario mit höherer Bodenfeuchte bestimmt, um die klimatischen Effekte des trockeneren Bodenzustands quantifizierbar zu machen.

Aus den Simulationsergebnissen lässt sich ableiten, dass im Vergleich zu einem für Sommermonate durchschnittlichen Bodenzustand (vgl. Kap. 6.1 bis 6.3) die bodennahen Lufttemperaturen um bis zu 1 K ansteigen. Dieser Effekt ist zu Beginn der Nacht stärker ausgeprägt und erstreckt sich räumlich weiter als gegen Ende der Nacht. Die stärkeren Effekte am Abend lassen sich dadurch erklären, dass der Boden nach der Tageserwärmung noch große Energiemengen freisetzt. Bei trockenen Bedingungen fehlt die kühlende Wirkung der Verdunstung, sodass mehr Wärme an die bodennahe Luft abgegeben wird. Im weiteren Verlauf der Nacht nehmen die Energieflüsse insgesamt ab, wodurch auch die Unterschiede zwischen trockenem und feuchtem Boden geringer ausfallen. Dadurch bleibt mehr Wärme am Boden und führt zu einer stärkeren Erwärmung der bodennahen Luft. Die Effekte sind dabei überwiegend auf die Flächen direkt über der Grünstruktur sowie deren unmittelbare Umgebung beschränkt, da aufgrund der geringen Windgeschwindigkeiten der Luftaustausch eingeschränkt ist und die Temperaturunterschiede dadurch nicht in weitere Bereiche übertragen werden.

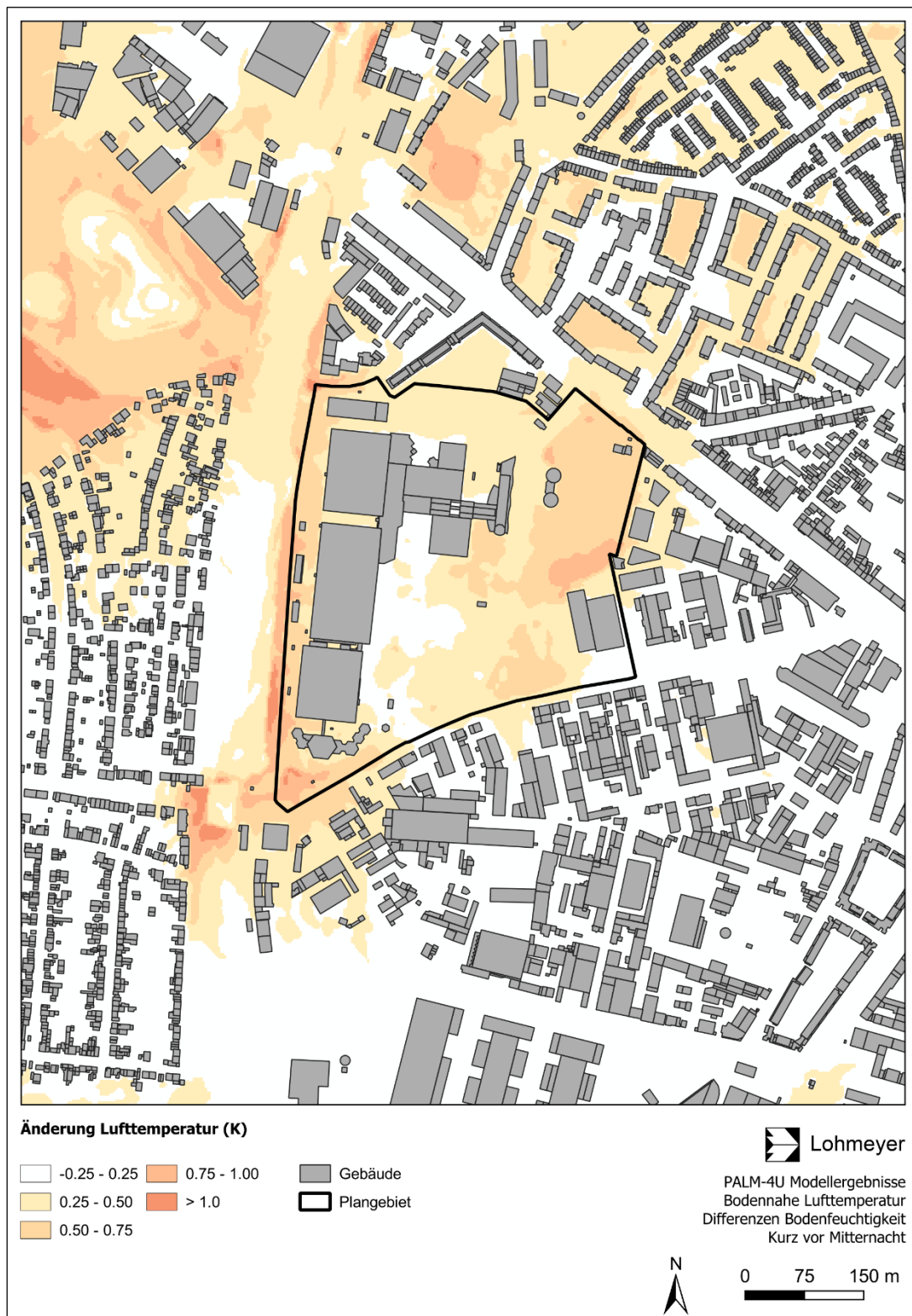


Abb. 6.6: Differenzen der bodennahen Lufttemperatur zwischen feuchtem und „normalem“ Bodenfeuchtezustand für 23 Uhr

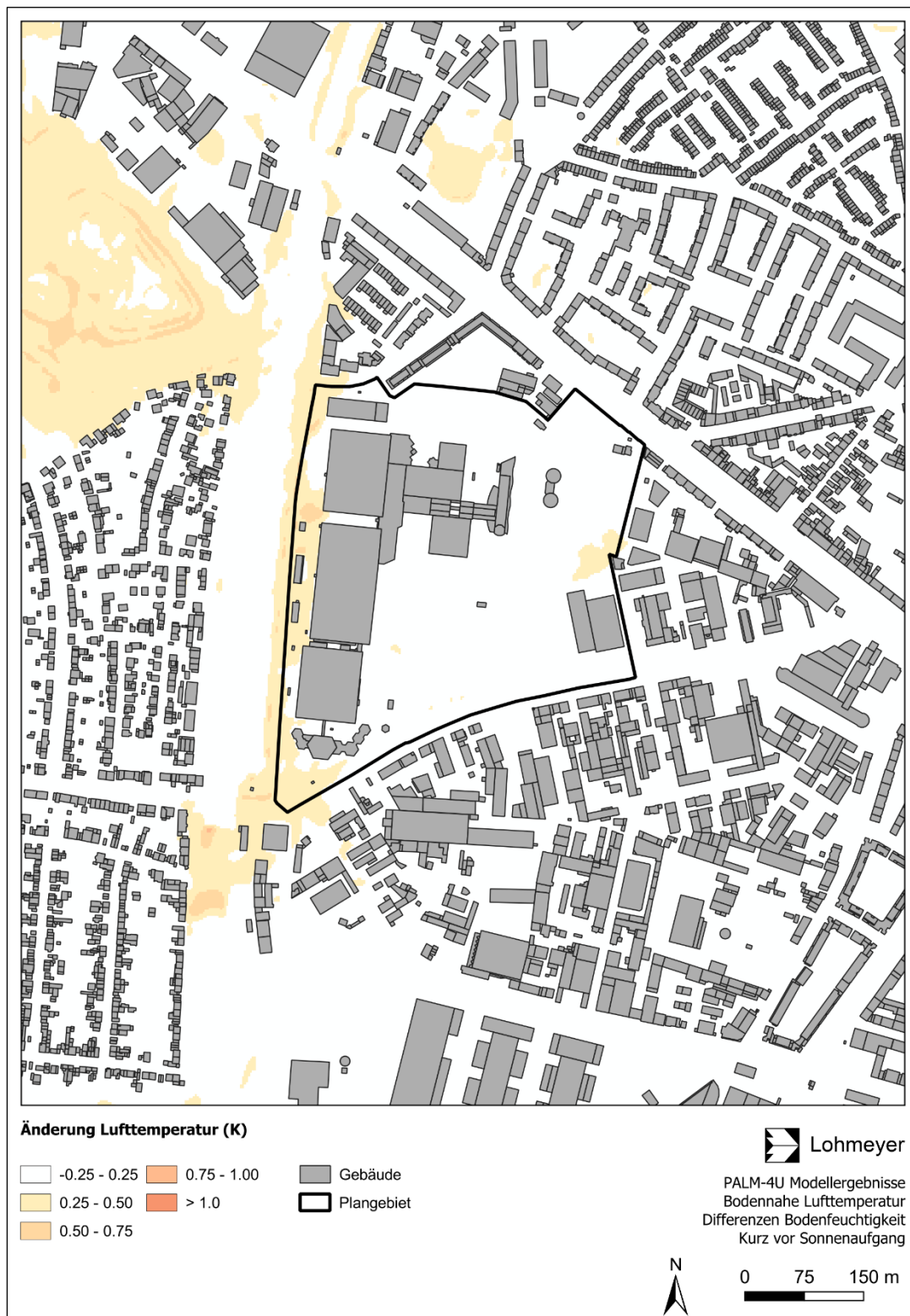


Abb. 6.7: Differenzen der bodennahen Lufttemperatur zwischen feuchtem und „normalem“ Bodenfeuchtezustand für 04 Uhr

7 FAZIT UND PLANUNGSHINWEISE

Das ca. 17 ha große Coty-Areal ist aktuell durch großflächige Logistikhallen im westlichen Teilbereich sowie durch größere Freiflächen im östlichen Teilbereich geprägt. Nach Westen wird das Gebiet durch einen ca. 5 m erhöhten Bahndamm begrenzt, nach Norden grenzen Wohnsiedlungen und nach Osten bzw. Süden sind insbesondere Gewerbeflächen mit vereinzelter Wohnbebauung an den Hauptstraßen zu finden.

In der Klimaanalysekarte des LANUK sind westlich des Plangebiets Kaltluftabflüsse mit mittlerer Stärke dargestellt, die vom Stadtrand in Richtung Stadtmitte fließen. Die Pfeile sind jedoch nur bis zu den ersten Siedlungsrändern dargestellt und werden in östlicher Richtung nicht fortgeführt. Das Coty-Areal weist gegenüber den umliegenden Siedlungsflächen günstigere thermische Verhältnisse in der Nacht auf.

Die in der Klimaanalysekarte dargestellte lokalklimatische Ausgangslage wird durch die Ergebnisse der mikroklimatischen Simulationsrechnung bestätigt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich im Bereich des Coty-Areals tagsüber aufgrund der hohen solaren Einstrahlung eine gegenüber den umliegenden Siedlungsflächen erhöhte Wärmebelastung (Gefühlte Temperatur > 36 °C) entwickeln kann. Die insgesamt niedrige Windgeschwindigkeiten und demnach eingeschränkten Durchlüftungsverhältnisse verstärken diesen Effekt.

Abends und nachts hingegen kann die Fläche effektiv auskühlen, so dass hier entsprechend niedrigere Temperaturen im Vergleich zu den benachbarten Siedlungsflächen dargestellt sind. Das Coty-Areal stellt demnach kein Überwärmungsbereich dar.

Insbesondere über der Grünfläche im Coty-Areal wurde eine effektive Abkühlung im Laufe der Nacht ermittelt. Teilweise liegen die Lufttemperaturen bis zu 4 °C niedriger als in der 300 m südlich gelegenen Gewerbefläche. Aufgrund der Bebauungssituation kann sich die kühlere Luft bodennah aber nicht in weiter entfernt liegende Bereiche ausbreiten, sodass lediglich die direkt angrenzende Bestandsbebauung nördlich, östlich und südlich der Ausgleichsfläche profitiert.

Die Auswertung der Windfelder auf verschiedenen Höhenebenen zeigt, dass das Strömungsverhalten am Bodenniveau deutlich von Bebauungsstrukturen und Geländeeinflüssen geprägt ist. Im Vergleich zu den Bereichen in Überdachniveau kommt es hier zu einer Abschwächung und Umstrukturierung des Windfeldes, sodass die Belüftungswirksamkeit erheblich reduziert

wird. Insbesondere lässt sich feststellen, dass auf Bodenniveau keine durchgängigen Belüftungsachsen mit potenziellen Kühleffekten aus dem Außenraum ausgebildet werden.

Zudem verdeutlichen die Ergebnisse, dass die Bodenfeuchtigkeit maßgeblich darüber entscheidet, in welchem Umfang Vegetationsflächen während der Nacht Kühlung bewirken können. Ein trockener Boden reduziert die Verdunstung und damit die Abführung von Wärme, wodurch die nächtliche Abkühlungswirkung deutlich abgeschwächt wird. Damit wird die zentrale Rolle der Bodenfeuchtigkeit für das lokale Mikroklima hervorgehoben. Die letzten Jahre haben gezeigt, dass in den Sommermonaten immer häufiger Trockenphasen auftreten, die insbesondere städtische Grünflächen und Straßenbäume belasten. Dies hat zur Folge, dass während andauernden Trockenepisoden insbesondere in Kombination mit Hitze Grünflächen weniger Verdunstungskälte abgeben und damit die Umgebungstemperatur insbesondere in den Nachtstunden weniger stark abkühlen. Vor dem Hintergrund zukünftig zunehmender Hitzebelastungen und Trockenepisoden sind daher fachgerechte Standortbedingungen für die geplante Vegetation von besonderer Bedeutung. Dies betrifft vor allem einen ausreichenden Wurzelraum mit Bodenanschluss bzw. einen entsprechend fachgerechten Bodenaufbau auf Unterbauten und Dächern. Auch Bewässerungskonzepte sind von Relevanz, um die positiven klimaökologischen Leistungen von Vegetationsflächen auch in Zukunft sicherzustellen (siehe Planungshinweise).

Planungsempfehlungen

Folgende Aspekte sind bei der Quartiersplanung zu berücksichtigen, um die lokalklimatischen Verhältnisse beizubehalten bzw. sogar zu verbessern:

Grüne Mitte:

- Dem vorliegenden Strukturkonzept ist zu entnehmen, dass eine Grüne Mitte vorgesehen ist und begrünte Verbindungsachsen nach Nordosten, Nordwesten und Süden dargestellt sind (vgl. **Abb. 7.1**).
- Die zentrale Grünfläche ist aus lokalklimatischer Sicht positiv zu bewerten, da sie im inneren Gebiet durch Kühlwirkung und Frischluftproduktion das Mikroklima verbessert und zugleich auch für angrenzende Außenbereiche eine wichtige Ausgleichsfunktion übernimmt.
- Auch die geplante begrünte Verbindungsachse nach Nordwesten, die eine Anbindung an die vorhandenen Parkflächen ermöglicht, wird positiv bewertet. Dadurch kann eine günstigere Belüftung erreicht werden, von der das gesamte Plangebiet profitiert.

- Entscheidend ist, dass die Grünmitte nicht durch Parzellierung oder starke Versiegelung zergliedert wird. Größere, geschlossene Rasenflächen sind maßgeblich für die nächtliche Kaltluftproduktion und somit für eine wirksame Belüftung des Gebietes.
- Um die klimatische Wirkung auch in angrenzende Bereiche ausstrahlen zu lassen, sind ausreichend begrünte Korridore von der grünen Mitte in die Umgebung erforderlich. Die Begrünung sollte in den Korridoren möglichst durchgängig sein, um den Kaltluftstrom kühl zu halten. Zudem sind die Korridore so zu planen, dass möglichst Verengungen vermieden und offene Strömungsräume erhalten werden.
- Baumpflanzungen entlang der Korridore können tagsüber durch Verschattung die Aufheizung der Flächen reduzieren und tragen dadurch zusätzlich zur Erhaltung der Kühlwirkung bei.

Minimierung der Auswirkungen auf die umliegende Bestandsbebauung:

- Insbesondere in den Randbereichen wird eine eher offene Gebäudestellung anstelle einer durchgehend geschlossenen Bebauung empfohlen, um Austausch kühlerer Luft zu begünstigen.
- Insbesondere an Bereichen mit direktem Übergang zur bestehenden Bebauung sind Grünstrukturen als Puffer zu empfehlen. Diese wirken klimatisch entlastend, schaffen Übergangszonen und tragen gleichzeitig zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität bei.

Allgemeine Planungsempfehlungen:

- Wir empfehlen eine Vielzahl neuer Baumstandorte. Besonders sinnvoll sind Baumpflanzungen an sonnenexponierten Fassaden (Süd- und Westseiten), entlang von Verkehrsflächen sowie im Bereich von Aufenthaltsflächen (z.B. Spielplatz). Dadurch werden Verschattung, Kühlung durch Verdunstung und Aufenthaltsqualität deutlich erhöht. Der Schattenwurf der Bäume auf die Gebäudefassaden vermindert die Aufheizung der Gebäude und wirkt sich somit positiv auf das Raumklima aus. Dadurch verringert sich der Kühlbedarf im Sommer, was durch den geringeren Energiebedarf zum Klimaschutz beiträgt und Kosten spart. Durch die geringere tägliche Aufheizung wird auch nachts weniger Wärme von der Baumasse an die Umgebung abgegeben. Dies führt zu einer Reduzierung der nächtlichen Lufttemperatur im Plangebiet und in der Umgebung.
- Alternativ zu Bäumen eignet sich auch eine Fassadenbegrünung. Eine Fassadenbegrünung reduziert die Außentemperatur durch Verschattung, Verdunstungskühlung

und verringert die solare Strahlungsabsorption an der Gebäudeoberfläche. Dadurch verbessert sich das Gebäude-Innenklima, da weniger Wärme in das Gebäudeinnere gelangt und der Kühlbedarf insbesondere in den Sommermonaten sinkt.

- Wir empfehlen die Umsetzung einer Dachbegrünung. Durch die 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 zurückgehalten wird.
- Für Außenwände und Bodenbeläge im Außenbereich sind möglichst Materialien mit einer niedrigen Wärmekapazität (z.B. heller Farbanstrich) zu favorisieren, um eine starke Überhitzung der Oberflächen und eine starke Wärmespeicherung in den Baustoffen zu vermeiden. Helle Farben reflektieren mehr Sonnenlicht und reduzieren dadurch die Wärmeaufnahme von Gebäuden, was zu niedrigeren Innenraumtemperaturen und einem geringeren Energiebedarf für Kühlung führt.
- Verkehrsberuhigte Bereiche, wie Stellplätze und Erschließungsstraßen, eignen sich für einen höheren Grünflächenanteil, um Verdunstung und Verschattung zu fördern sowie die Aufenthaltsqualität nachhaltig zu verbessern. Teildurchlässige Oberflächen gelten als klimagünstig, da sie Regenwasser versickern lassen und somit zur Verdunstungskühlung beitragen. Gleichzeitig heizen sie sich weniger stark auf als vollständig versiegelte Flächen.
- Neben der klimawandelbedingten Zunahme von Hitzeperioden und Starkregenereignissen werden zukünftig auch vermehrt Trockenperioden prognostiziert. Nur bei ausreichender Wasserversorgung erzielen Grünflächen ihre höchste Klimawirksamkeit. Mit abnehmender Bodenfeuchte nimmt auch die Wirksamkeit von Kaltluft und andere relevante Klimafunktionen ab, was sich negativ auf die thermischen Verhältnisse auswirkt. Insbesondere aufgrund des hohen Grünflächenanteils im Plangebiet ist daher die Sicherung der Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen auch während langanhaltender Hitzeperioden von besonderer Bedeutung. Maßnahmen zur (Zwischen-)Speicherung von Regenwasser gewinnen dabei immer mehr an Bedeutung im Kontext einer klimangepassten Quartiersentwicklung. Wir empfehlen daher die Festsetzung von Maßnahmen zur (Zwischen-) Speicherung, zu denen u.a. Rigolen oder Zisternen gehören.

So kann Regenwasser den Pflanzen im Quartier an trockenen Sommertagen zur Verfügung stehen und damit deren Klimawirksamkeit zur Reduzierung der Wärmebelastung an solchen Tagen ermöglicht werden. In diesem Kontext empfehlen wir die Durchführung eines Starkregenvorsorge- und Regenwassermanagementkonzeptes.



- Wohnen**
Mischung unterschiedlicher Wohntypologien, bezahlbarer Wohnraum, Seniorenwohnen, Wohnen für Familien, Studierende und Azubis, gemeinschaftliche Wohnprojekte, betreutes Wohnen, Homeoffice, freifinanziert und öffentlich geförderter Wohnraum
- Wohnen + Mix**
Dienstleistungen, Soziales, nicht störendes Gewerbe, Azubi/Studierendenwohnheim, Boarding House
- Gewerbe**
Unterschiedliche Gewerbetypologien, kleinteiliges Gewerbe, nichtstörendes Gewerbe, Produktion und Handwerk, Feuerwehr, Kreativgewerbe
- Gewerbe + Mix**
Frequente Nutzungen, Betriebswohnen, Werksverkauf, Versorgung
- Innovativer Raum**
Innovative Cluster aus Wohnen, Arbeiten, Gewerbe, Kultur, Gemeinwohl, Eigentümermischungen in Baugruppen, Gemeinschaften oder Genossenschaften, experimentelle Architektur, hohe Dichte von Betrieben, Arbeiten und Wohnen
- Urbanität**
Raum für frequente Nutzungen aus den Bereichen Gemeinwohl, Öffentlichkeit, Soziales, Kultur, Gesundheit, Gastronomie, Sport, Bildung, Inklusion, Öffentliche Nutzungen des Feuerwehr-Campus
- Städtebauliche Betonung** Öffentliche Nutzungen, Hochpunkt, Architektur
- Quartiersplatz** Multifunktional, Markt, Gastronomie, Veranstaltung
- Freiraum**
Stabiles und verbindendes Gerüst für das Quartier, viele unterschiedliche Funktionen und Optionen:
- Naturnaher Freiraum** für Freizeit, Erholung, Diversität, Klimaresilienz, Retention und Versickerung
- Urbane Freiraum** für Gemeinschaft, Erlebnis, Aktion und Kommunikation
- Bewegter Freiraum** für Sport und Spiel

Abb. 7.1: Darstellung des aktuell vorliegenden übergeordneten Strukturkonzepts der Planung

8 LITERATUR

- DWD Web (2021): Stadtklima – die städtische Wärmeinsel. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadt/pl/projekt_waermeinseln/startseite_projekt_waermeinseln.html
- LANUK NRW (2018): Klimaatlas Nordrhein-Westfalen – Klimaanalysekarte (Nachtsituation). Verfügbar unter: <https://www.klimaatlas.nrw.de/>, (Zugriff: 4. September 2025).
- 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., Gryscha, 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., Pfaffenrodt, 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., Pfaffenrodt, 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., Witha, 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.
- 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>

A1 ANHANG – STADTKLIMATISCHE GRUNDLAGEN

Stadtklimatische Grundlagen

Die zunehmende Urbanisierung kann mit spürbaren Veränderungen im Stadtklima einhergehen. Die verstärkte Bebauung, versiegelte Flächen und industrielle Aktivitäten führen zu einer urbanen Wärmeinselwirkung, die zu höheren Temperaturen in Städten im Vergleich zu ländlichen Gebieten führt. Dieses veränderte Stadtklima hat Auswirkungen auf die Lebensqualität der Bewohner und erfordert gezielte Maßnahmen in der städtischen Planung, um nachhaltige und klimaangepasste Lebensräume zu schaffen.

Zusätzlich sind die Folgen des Klimawandels 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 einen wichtigen Einflussfaktor für die Gesundheit der Bevölkerung dar, insbesondere für vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, Menschen mit Vorerkrankungen und Kleinkinder.

Im kommenden Abschnitt werden die für urbane Räume relevanten Klimafunktionen kurz erläutert.

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. Aufgrund der in der Regel heterogenen städtischen Strukturen kann es innerhalb der Stadt zur Ausbildung eines differenzierten Mikroklimas kommen (vgl. Abb. A1).

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.

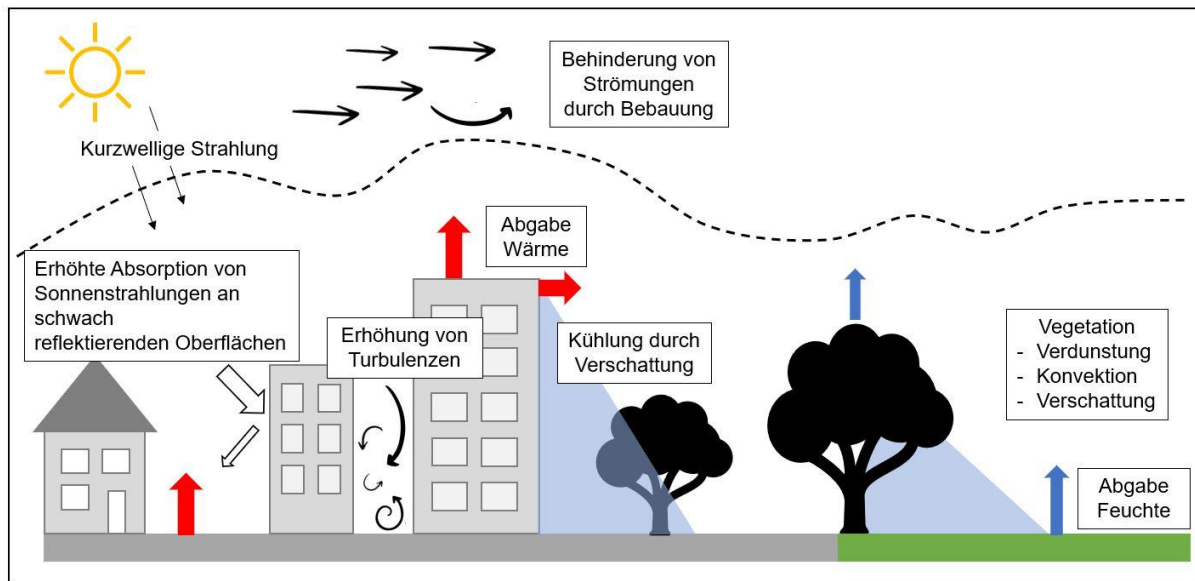


Abb. A1: Schematische Darstellung von relevanten klimatischen Funktionen im Stadtgebiet (Eigene Darstellung)

Eingeschränkte Durchlüftungsverhältnisse durch eine dichte Bebauungsstruktur können den Wärmeinseleffekt zusätzlich verstärken. Die erhöhte Rauigkeit der Oberfläche sowie die Barrierewirkung dichter Bebauung führen zu Einschränkungen im Windfeld mit reduzierten mittleren Strömungsgeschwindigkeiten 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 können durch die städtische Bebauung auch lokal begrenzte positive Auswirkungen auf die Temperaturverhältnisse auftreten. So kann sich in dicht bebauten Stadtvierteln durch den Schattenwurf der Gebäude die Luft auf sonnenabgewandten Gebäudebereichen 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.

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.

Flurwinde

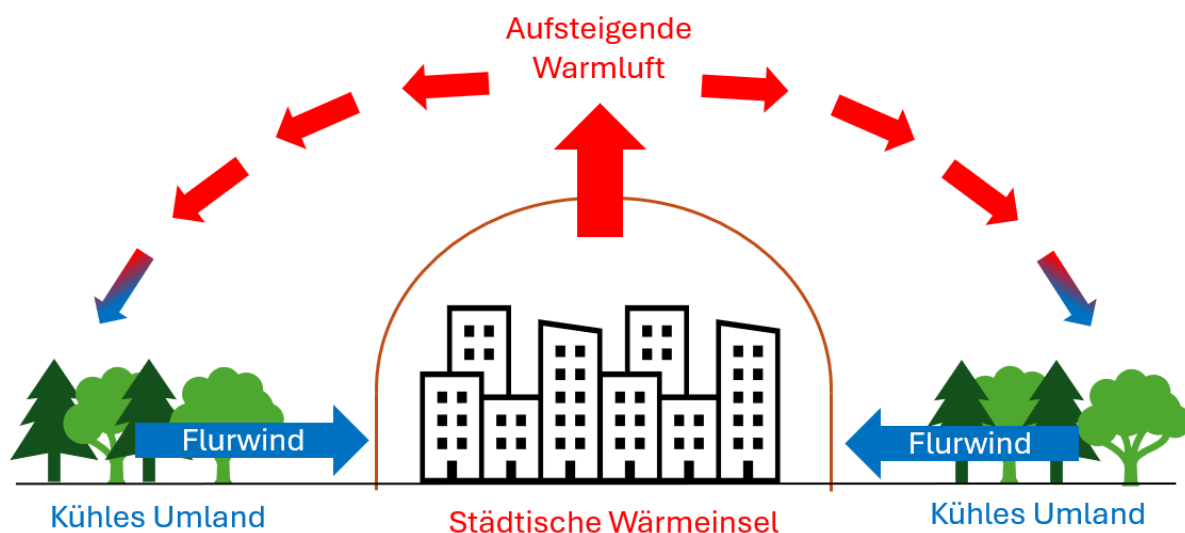


Abb. A2: Schematische Darstellung von Flurwinden als Windsystem zwischen Stadt und Umland (eigene Darstellung)

Als Flurwinde bezeichnet man bodennahe thermische Luftströmungen, die durch lokale Druckunterschiede und Temperaturvariationen entstehen. Diese Ausgleichsströmungen können sich auf verschiedenen Maßstäben entwickeln. Das bekannteste Beispiel sind Ausgleichsströmungen zwischen einer Stadt und seiner Umgebung. Während eines heißen Sommertages können sich große Temperaturunterschiede zwischen der warmen Stadt und dem kühleren Umland entwickeln, damit verbundene Druckunterschiede müssen durch Ausgleichsströmungen ausgeglichen werden (vgl. A2), das sind die sogenannten Flurwinde. Darüber hinaus können kleinräumige Ausgleichsströmungen mit sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten innerhalb des Stadtgebietes aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen Grünflächen und bebauten Flächen auftreten.

Flurwinde tragen zur Durchmischung der Luftschichten bei und können die Verteilung von Wärme, Feuchtigkeit und Schadstoffen in der Atmosphäre signifikant beeinflussen. Sie gehören damit zu den relevanten Klimafunktionen zur Verbesserung des Stadtklimas.

Kaltluft

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen kann sich nachts über natürlichen Oberflächen Kaltluft bilden. Die Kaltluftbildung und Entwicklung der Kaltluftströmung entsteht an wind- und wolkenarmen Tagen nach Sonnenuntergang, indem vegetationsbestandene Flächen gegenüber versiegelten Flächen oder Wasserflächen intensiver und rascher abkühlen. Damit kühlt auch die darüber gelegene Luftschicht intensiver und rascher ab. Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf, während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten.

Bei geneigtem Gelände setzen sich diese kühlen Luftmassen der Geländeneigung folgend in Bewegung und bilden sogenannte Kaltluftabflüsse; dabei fließt in Bodennähe (bzw. bei Wald über dem Kronenraum) gebildete kalte Luft hangabwärts. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt in der Größenordnung von 1 m/s bis 3 m/s. Die Dicke solcher Kaltluftschichten liegt meist zwischen 1 m und 50 m. In Kaltluftsammelgebieten, in denen sich die Kaltluft staut, kann die Schicht auf über 100 m anwachsen. In Einschnitten und Tälern werden die Hangabwinde zusammengeführt und bilden intensive Kaltluftströmungen aus, die beispielsweise die nächtliche Belüftung von Siedlungsgebieten fördern können. In Mulden und vor lang gestreckten Hindernissen quer zur Kaltluftströmung entstehen Kaltluftstagnationsbereiche, die sehr stark auskühlen können. In solchen Kaltluftstagnationsbereichen liegt die bodennahe Lufttemperatur bei Kaltluftbedingungen um einige Kelvin unter der Lufttemperatur umliegender Bereiche. Damit besteht dort eine höhere Frostgefährdung.

Auch bei weitgehend ebenem Gelände können lokale Kaltluftbewegungen mit Kaltluft, die im umliegenden Freiland oder im Bereich ausgedehnter städtischer Grünflächen entstehen, durch Flurwindssysteme auftreten. Die Luftbewegung wird hier eher durch Druckunterschiede als durch Hangabtriebskräfte hervorgerufen. Durch die fehlende Hangabtriebskraft sind die Windgeschwindigkeiten im flachen Gelände daher deutlich geringer; die im gegliederten Gelände auftretenden lokalen Windssysteme sind daher wesentlich stärker ausgeprägt als die Flurwindssysteme. In einem Gelände mit geringer Hangneigung kommt daher einer großen Anzahl von städtischen Grünflächen eine besondere klimatische Bedeutung zu.

Die folgenden beiden meteorologischen Bedingungen müssen für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen erfüllt sein:

- wolkenarme Nächte: durch die aufgrund fehlender Wolken reduzierte Gegenstrahlung der Atmosphäre kann die Erdoberfläche kräftig auskühlen
- großräumig windschwache Situation: dadurch kann sich die Tendenz der Kaltluft, an geneigten Flächen abzufließen, gegenüber dem Umgebungswind durchsetzen.

Unter Umweltgesichtspunkten hat Kaltluft, wie in der VDI-Richtlinie „Lokale Kaltluft“ (VDI 3787 Blatt 5, 2003) zusammenfassend beschrieben, eine doppelte Bedeutung: zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Nimmt sie zu viele Schadstoffe auf, kann ihr Zufluss von Schaden sein. Vom Standpunkt der Regional- und Stadtplanung her ist es daher von großer Bedeutung, eventuelle Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können.

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 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 zu-

sammen. 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.

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. A3), der seine Kleidung an die thermischen Randbedingungen anpasst. Zusätzlich wird eine leichte körperliche Aktivität (langsames Gehen mit 4 km/h) angenommen.

Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur

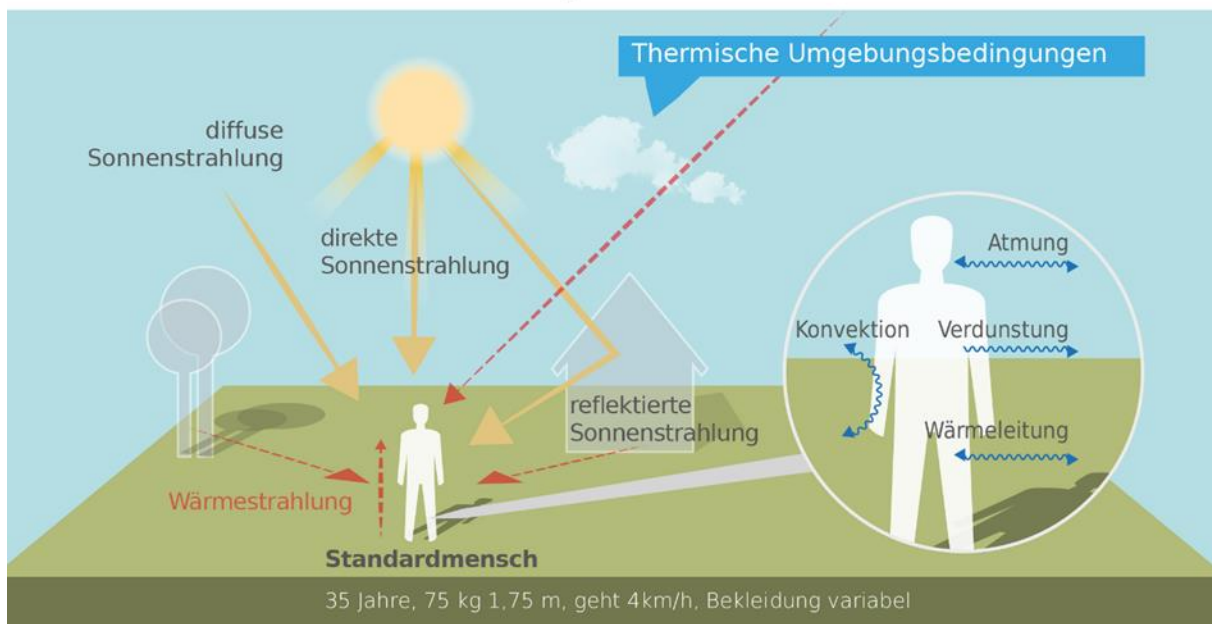


Abb. A3: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (Quelle: DWD)

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 Ak-

tivitäten oder auch Bekleidungsverhältnissen verschieben sich die für Behaglichkeit erforderlichen Temperaturen zu höheren (geringere Aktivität oder dünnere Bekleidung) oder niedrigen (gesteigerte Aktivität oder dickere Bekleidung) Werten.

Die durch die gefühlte Temperatur definierten Klassen des thermischen Komforts sind in der nachfolgenden Tab. A1 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: Gefühlte Temperatur und thermische Beanspruchung (nach VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2)