



**Dr. Dütemeyer**  
Umweltmeteorologie

Kruppstraße 82-100 / ETEC  
45145 Essen  
Tel.: (0201) 72 66 72 0  
E-Mail: info@dr-duetemeyer.de  
Internet: www.dr-duetemeyer.de

## Umweltmeteorologischer Fachbeitrag

### Stadtklimatische Untersuchungen zur Baulandentwicklung „Gerthe-West“

– Zwischenbericht –  
Klima im Ist-Zustand

**Auftraggeber (AG):**

**NRW.URBAN Kommunale Entwicklung GmbH**  
Träger für die Baugebietsentwicklung Gerthe-  
West als Treuhänder der Stadt Bochum

**Revierstraße 3**  
**44379 Dortmund**

**Durchführung:**

Dipl. Geogr. Dr. rer. nat. D. Dütemeyer  
**Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie**

**Kruppstr. 82 – 100 / ETEC**  
**45145 Essen**

**Fassung:**

**1b** (geprüft)

Essen, 31.08.2020

Ort und Datum

Dr. Dirk Dütemeyer

Unterschrift Projektleiter

## Urheberrechtshinweise und Haftungsausschluss zur Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes

mit dem Titel:

*Stadtklimatische Untersuchungen zur Baulandentwicklung „Gerthe-West“ – Zwischenbericht: Klima im Ist-Zustand*  
von Dr. Düttemeyer Umweltmeteorologie, Essen, 2020

In diesem Bericht werden teilweise Informationen aus externen Quellen verwendet. Die urheberrechtlich zulässige Verwendung dieser Informationen wurde geprüft und ergab folgende **wichtige Nutzungshinweise**:

Einige der aus externen Datenquellen stammenden Informationen sind kostenfrei verwendbar, wenn die Informationen mit einer deutlichen **Herkunftskennzeichnung** versehen sind.

**Einige der aus externen Datenquellen stammenden Informationen sind nur für den projektbezogenen, internen Gebrauch bestimmt und dürfen nicht weitergegeben werden.**

In diesem Bericht sind daher an den betreffenden Stellen, insbesondere an Abbildungen und Tabellen, die erforderlichen Verwendungshinweise oder Herkunftskennzeichnungen gemäß der von den Urhebern geforderten Zitierweisen direkt und eindeutig vermerkt.

**Im Falle der Weiterverwendung der Inhalte dieses Berichtes, insbesondere bei der – auch auszugsweisen – Offenlegung oder Weitergabe, sind unbedingt die Herkunftskennzeichnungen der jeweiligen Informationen zu übernehmen bzw. die Hinweise zur Weiterverwendung zu beachten.**

Der Autor haftet **nicht** für **Abmahnungen** über die unzulässige Weiterverwendung oder fehlende Herkunftskennzeichnungen bzw. Urheberverweise bei der Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes. Im Streitfall wird der Autor dieses Berichtes durch Vorlage des Originalberichtes seine erbrachte Zitierpflicht nachweisen.

Ausschließlich vom Autor erarbeitete Aussagen dürfen bei Nennung des Autors, des Titels und des Erscheinungsjahres kostenfrei verwendet werden.

## Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen.....	II
Verzeichnis der Abbildungen.....	II
<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Einführung in die planungsrelevante Stadtklimatologie .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Untersuchungsraum .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Klimatologische Ausgangslage .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Methodik.....</b>	<b>23</b>
5.1 Grundlagen .....	24
5.2 Eingangsdaten.....	26
5.2.1 Digitale Geländemodelle .....	26
5.2.2 Meteorologische Randbedingungen.....	29
<b>6 Ergebnisse .....</b>	<b>33</b>
6.1 Windfeld.....	34
6.2 Klimatische Tagsituation.....	35
6.3 Klimatische Abendsituation.....	39
6.4 Klimatische Nachtsituation.....	41
6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	43
<b>7 Empfehlungen für die weitere Planung.....</b>	<b>45</b>
7.1 Maßnahmen zur Durchlüftungsverbesserung.....	48
7.2 Maßnahmen zur Überwärmungsprävention.....	49
7.3 Maßnahmen zur Luftreinhaltung.....	52
<b>8 Arbeitsmaterialien und Literatur .....</b>	<b>53</b>

## Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Übersicht über Größe, Umgebung, maximale Kühleffekte ( $PCI_{max}$ ) und thermische Reichweiten ausgewählter städtischer Grünflächen (KUTTLER 2011).....	9
Tab. 2	Skala der PET-Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).....	21
Tab. 3	Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met zur stadtklimatischen Untersuchung des Bauvorhabens „Gerthe-West“.....	32
Tab. 4:	Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur klimatischen und klimawandelgerechten Optimierung von Bauvorhaben (aus MUNLV 2010, verändert).....	46
Tab. 5:	Rangliste klimawandelangepasster Baumarten (eigene Sortierung).....	50

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Kaltlufttransporte und Eindringtiefe in die Bebauung in Abhängigkeit der Geländeneigung (schematisch).....	7
Abb. 2:	Lokale (mikroskalige) und regionale (mesoskalige) Kaltluftprozesse (schematisch).....	8
Abb. 3:	Relief in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.....	11
Abb. 4:	Lage und Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.....	12
Abb. 5:	Luftbild des Plangebietes „Gerthe-West“ und der näheren Umgebung.....	13
Abb. 6:	Vogelperspektive des Plangebietes „Gerthe-West“ und seiner näheren Umgebung.....	14
Abb. 7:	Häufigkeitswindrose im Überdachniveau Bochums (KUTTLER et al. 2008).....	14
Abb. 8:	Klimatope in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“ (ergänzt).....	15
Abb. 9:	Abweichungen der Bochumer Lufttemperatur vom Gebietsmittelwert in 2 m ü. Gr. für austuscharme, wolkenlose Nächte (KUTTLER et al. 2008).....	16
Abb. 10:	Vogelperspektive zum Castroper Hellweg im Bereich des Gerther Zentrums.....	17
Abb. 11:	Nächtliche klimatische Situation während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.....	18
Abb. 12:	Nächtliche klimatische Situation während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.....	19
Abb. 13:	Klimatische Situation am Tage während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.....	20
Abb. 14:	Auszug aus der "Handlungskarte Klimaanpassung" der Stadt Bochum (STADT BOCHUM 2012).....	22
Abb. 15:	Bewertung der klimatischen Situation während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.....	23
Abb. 16:	Böden im Plangebiet „Gerthe-West“ und der näheren Umgebung.....	27

---

Abb. 17: Digitales Boden- und Oberflächenmodell zum Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes „Gerthe-West“.....	28
Abb. 18: Digitales Gebäude- und Vegetationsmodell zum Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes „Gerthe-West“.....	30
Abb. 19: 3D-Ansicht mit Blickrichtung Nord des digitalen Gebäude- und Vegetationsmodells i zum Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes „Gerthe-West“.....	31
Abb. 20: Typischer mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit für einen heißen Tag mit Tropennacht.....	32
Abb. 21: Windfeld in 2 m. ü. Gr. während eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	34
Abb. 22: Lufttemperatur in 2 m. ü. Gr. um 15 Uhr nachmittags eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	36
Abb. 23: Thermische Behaglichkeit in 2 m. ü. Gr. um 15 Uhr nachmittags eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	37
Abb. 24: Lufttemperatur in 2 m. ü. Gr. um 23 Uhr abends eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	39
Abb. 25: Thermische Behaglichkeit in 2 m. ü. Gr. um 23 Uhr abends eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	41
Abb. 26: Lufttemperatur in 2 m. ü. Gr. um 5 Uhr morgens eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	42
Abb. 27: Thermische Behaglichkeit in 2 m. ü. Gr. um 5 Uhr morgens eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.....	44
Abb. 28: Empfehlungen Übersicht: Schematische, am Relief und Kaltluftabfluss orientierte Lageausrichtung von Gebäuden, Bäumen und Grünflächen für den Planentwurf.....	47
Abb. 29: Empfehlungen Detail: Schematische Skizze zu Einzelmaßnahmen zur Durchlüftungsverbesserung und zum Schutz vor Wärmebelastung für den Planentwurf.....	48

## Zusammenfassung

Auf dem Entwicklungsgebiet „Gerthe-West“ ist die Ansiedlung von Wohn- und Freiraum geplant. Dieser Fachbeitrag ermittelt für den Untersuchungsraum die aktuelle klimatische Situation und beschreibt dabei die Funktion der aktuellen Nutzung des Plangebietes im klimatischen Wirkungsgefüge der Umgebung. Dazu wurden mit einem numerischen Klimasimulationsmodell das Windfeld, das Lufttemperaturfeld und die thermische Behaglichkeit (Wärmebelastung) untersucht.

Auf dieser Grundlage wurden anschließend Empfehlungen zu verschiedenen ortsspezifischen städtebaulichen und landschaftsgärtnerischen **Gestaltungs- oder Restriktionsmaßnahmen** zur klimatischen Optimierung zukünftiger Quartierentwürfe erarbeitet, die im Rahmen der vom Projekt vorgesehenen Mehrfachbeauftragung von den Planungsteams in der Quartiergestaltung berücksichtigt werden sollen.

Die Untersuchung ergab, dass unter normalen, austauschreichen Witterungsbedingungen im Untersuchungsgebiet Südwestwinde vorherrschen. Aufgrund der **guten Austauschverhältnisse** werden die lokalen Klimateffekte schnell verwischt und abtransportiert. Eine deutlich spürbare, leeseitige<sup>1</sup> Wirkung des Plangebietes ist bei diesem Witterungstyp weder hinsichtlich der Ausprägung der Klimamerkmale noch deren Reichweite zu erwarten.

Während **autochthoner**, d. h. wolkenfreier, sonnenreicher und austauscharmer, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten, **heißer Sommertage** kommen die lokalklimatischen Effekte besonders zur Geltung. Dann herrschen südöstliche Winde vor, die nachts als **Kaltluftflüsse** auftreten. Aufgrund des Reliefs und der Riegel bildenden Bebauung sind Kaltluftflüsse oder Flurwinde aus dem Plangebiet in das Gerther Zentrum ausgeschlossen. Stattdessen bilden die westlich gelegenen Hiltroper Siedlungen den potenziellen Wirkraum.

Die bestehende Bebauung stellt insbesondere nachts eine **Wärmeinsel** dar, die im Gerther Zentrum und den Gewerbegebieten am ausgeprägtesten ist. Die Freiflächen und Wälder sind deutlich kühler. Hohe **Wärmebelastungen** treten nur am Tage und nur an sonnenexponierten Stellen auf, auch auf den Freiflächen. Im Schattenbereich der Wälder, Bäume und Gebäude sind die Wärmebelastungen deutlich niedriger.

Der **Plangebietsbereich** bildet innerhalb des klimatischen Wirkungsgefüges Hiltrops und Gerthes einen klimatischen **Gunstraum** mit *potenzieller* Ausgleichsfunktion für die angrenzenden Siedlungsbereiche. Die Freiflächen nördlich der Hiltroper Landwehr bieten gute Durchlüftungsverhältnisse bei hoher Wärmebelastung, während die südlichen Waldbereiche gute thermische Bedingungen bei eingeschränkter Durchlüftung aufweisen. Die Ausgleichsfunktion wird jedoch **nicht** erfüllt, da die Gebäude und Bäume der Gärten der bestehenden Wohngebiete **Strömungsriegel** darstellen, während gleichzeitig geeignete Ventilationsbahnen, welche in die örtliche Bebauung hineinreichen, fehlen.

Für die Quartierentwicklung wurden verschiedene Maßnahmen erarbeitet und gebündelt. Diese beinhalten zur guten **Durchlüftung** limitierte Gebäudehöhen und geeignete Anordnung von Gebäuden und Bäumen, zur Vorbeugung gegen **Überwärmung** verdunstungsaktive Grünflächen, geeignete Straßenbeläge und Wärmeschutz für Gebäude sowie zur guten **Luftqualität** Gebäude nach EnEV-Standard einschließlich regenerativer Energiequellen und reduzierten Straßenverkehr.

---

<sup>1</sup> Lee = windabgewandte Seite

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Auf dem derzeit, überwiegend als Freiland-, Wald- oder Grünfläche genutzten, Entwicklungsgebiet „Gerthe-West“ ist die Ansiedlung von Wohnbebauung geplant. Der damit verbundene Eingriff in den Naturhaushalt ist erfahrungsgemäß mit Auswirkungen u. a. auf das **lokale Klima** verbunden. Gemäß der **Umweltschutzgesetzgebung** sind bei dem Vorhaben daher die Belange des Klimas zu berücksichtigen, indem städtebauliche oder landschaftsgärtnerische Maßnahmen zur klimatischen **Optimierung** und damit zur **Minimierung** etwaiger ungünstiger klimatischer Auswirkungen des Vorhabens aufgezeigt werden.

Dieser Fachbeitrag ermittelt für den Untersuchungsraum (zunächst) die aktuelle klimatische Situation (**Ist-Zustand**) und beschreibt dabei die Funktion der aktuellen Nutzung des Plangebietes im klimatischen Wirkungsgefüge der Umgebung. Dabei werden das Windfeld, das Lufttemperaturfeld und die thermische Behaglichkeit (Wärmebelastung) untersucht.

Auf dieser Grundlage werden anschließend Empfehlungen zu verschiedenen ortsspezifischen städtebaulichen und landschaftsgärtnerischen **Gestaltungs-** oder **Restriktionsmaßnahmen** zur klimatischen Optimierung zukünftiger Quartierentwürfe erarbeitet, die im Rahmen des vom Projekt vorgesehenen städtebaulichen Wettbewerbs von den Planungsteams in der Quartiergestaltung berücksichtigt werden sollen.

In späteren Fachbeiträgen werden die Ausarbeitungen der Planentwürfe bezüglich der Anwendung der Maßnahmen wissenschaftlich begleitet und ebenfalls klimatisch analysiert, um sich jeweils dem klimatischen Optimum der Planentwürfe zu nähern.

Zur Einführung in die Thematik wird in Kap. 2 zunächst die Planungsrelevanz des lokalen Klimas dargelegt. Anschließend wird die Topografie des Plangebietes (Kap. 3) und dessen bisher bekannte Klimatologie (Kap. 4) beschrieben.

Die konkrete, detaillierte Klimatologie des Untersuchungsraumes wird anschließend mit einem numerischen Klimasimulationsmodell (Kap. 5) ermittelt und klimakartografisch analysiert (Kap. 6). Aus den Ergebnissen werden schließlich in Kap. 7 empfehlenswerte städtebauliche und landschaftsgärtnerische Gestaltungs- oder Restriktionsmaßnahmen zu Verwendung in der weiteren Vorhabensplanung abgeleitet.

## 2 Einführung in die planungsrelevante Stadtklimatologie

Siedlungsstrukturen, insbesondere größere Städte, zeichnen sich im Vergleich zum Freiland durch folgende klimatische Merkmale des **Stadtklimas** aus (KUTTLER 2004a,b):

- **Überwärmung** aufgrund der durch Sonneinstrahlung bedingten Aufheizungstendenz von Gebäuden und versiegelten Oberflächen, wobei die Wärme aufgespeichert und nachts nur verzögert wieder abgegeben wird, sodass sich dann eine „städtische Wärmeinsel“ ausbildet. Während heißer sommerlicher Episoden sind hohe **Wärmebelastungen** möglich.
- Allgemeine reduzierte Windgeschwindigkeiten und damit **reduzierte Durchlüftung** durch die Bebauung, die ein ausgeprägtes Strömungshindernis darstellt. Gleichzeitig kann es punktuell im Bereich enger Gebäudelagen und Straßenschluchten zu sporadischen Düseneffekten mit hoher Böigkeit kommen.
- Allgemeine erhöhte **Belastung** mit **atmosphärischen Spurenstoffen** aufgrund vieler Spurenstoffquellen (insbesondere Straßenverkehr, Hausbrand, Gewerbe oder Industrie), welche aufgrund der reduzierten Durchlüftung nur schwer mit dem Wind abtransportiert werden.

Die Ausprägung der **stadtklimatischen Effekte** ist primär von der Lagedichte der Bebauung und der räumlichen Verteilung von versiegelten Flächen und Quellen atmosphärischer Spurenstoffe abhängig (HELBIG et al. 1999). Mit zunehmender räumlicher Dichte dieser Faktoren verstärken sich die o. g. stadtklimatischen Effekte, die daher in dicht bebauten Innenstadtbereichen deutlicher ausgeprägt sind als an aufgelockert bebauten und grüneren Stadträndern oder in ländlichen Siedlungen (MW-BW 2012).

Im Rahmen der umweltgerechten Gestaltung von Bauvorhaben gilt es daher in der Bauplanung u. a., die **Schutzgüter „Klima“** und **„Luft“** besonders zu berücksichtigen (BauGB (2020) § 1 Abs. 6. Nr. 7) und die o. g. potenziellen Mängel so weit wie möglich zu reduzieren. Dabei ist seit der BauGB-Novelle 2011 bei Bauvorhaben auch dem Nachhaltigkeitsprinzip in verstärktem Maße Rechnung zu tragen, indem neben Maßnahmen zum Klimaschutz (insb. durch EnEV 2015) auch solche zur **Klimawandelanpassung** schon heute zu ergreifen sind (BauGB (2020) § 1a Abs. 5). Als weitere Rechtsgrundlagen sind UVPG, SUP, BImSchG-V und TA-Luft zu nennen.

Einen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas können **Freiflächen** in der Peripherie von Städten leisten (MW-BW 2012). Diese „Freilandklimatope“ besitzen günstige klimatisch-lufthygienische Eigenschaften mit „Wohlfahrtswirkung“ (VDI 3787/1 2015): Sie weisen einen ausgeprägten Tages- und Jahresgang der Temperatur und Feuchte sowie gute Austauschverhältnisse bei geringen Windfeldveränderungen auf. In austauscharmen windschwachen Strahlungsnächten ist aufgrund starker Oberflächenabkühlung **Kaltluft**produktion möglich. Ferner sind die Areale i. d. R. aufgrund fehlender Emittenten lufthygienisch unbelastet („**Frischluff**“). Dies trifft insbesondere auf ausgedehnte Wiesen- und Ackerflächen sowie auf Freiflächen mit lockerem Gehölzbestand zu. Den Freiflächen kommt daher eine hohe **Erholungsfunktion** zu. Ferner können die Freiflächen unter bestimmten Voraussetzungen auch auf die Umgebung wirken und z. B. die klimatische Situation in einer angrenzenden Bebauung verbessern.

Freilandklimatope werden daher *im Allgemeinen* mit einer hohen **Empfindlichkeit** gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d. h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen können zu spürbaren klimatischen Beeinträchtigungen der Klimafunktion der Freiflächen führen. Die konkrete **planerische Relevanz** von Freilandklimatopen ist jedoch *im Einzelfall* immer von den lokalen Verhältnissen oder den Witterungsverhältnissen abhängig.

Die planerische Relevanz ist insbesondere dann gegeben, wenn neben der **lokalen Erholungsfunktion** die Möglichkeit besteht, dass unter geeigneten Relief- und Witterungsbedingungen die kühlere und ggf. auch saubere Luft aus dem Umland in **angrenzende Gebiete** mit ungünstigeren mikroklimatischen Bedingungen transportiert werden und dort zu einer **Verbesserung** des Klimas beitragen kann (MW-BW 2012). Die Freifläche besitzt dann eine hohe „**Klimaaktivität**“. Diese Funktion ist insbesondere während **windschwacher** oder **heißer Witterungsbedingungen** von Bedeutung. Insbesondere in heißen, klaren Nächten kann durch den Zustrom kühlerer Luft aus dem Umland (**Kaltluft**) in Stadtquartieren die **Wärmebelastung** spürbar reduziert werden.

Da lokale Kaltluft aufgrund der relativen Schwere am Boden lagert und dort äußerst lagestabil ist, erfolgt bei Fehlen eines übergeordneten Windes ein **Kaltlufttransport** entweder über einen **gravitativen Abfluss** in geneigtem Gelände oder durch eine nahe gelegene, ausgeprägte städtische **Wärmeinsel**, die als relatives örtliches Tiefdruckgebiet die Kaltluft bodennah vom Umland („von der Flur“) in Richtung Siedlung saugt (**Flurwind**) (VDI 3787 / 5 2003). Je größer das Geländegefälle oder je ausgeprägter die Wärmeinsel ist, desto höher sind vertikale Mächtigkeit und Fließgeschwindigkeit der Kaltluft (**Abb. 1**). Andererseits reagiert fließende Kaltluft empfindlich auf Strömungshindernisse wie Wälder, Hecken/Gehölze, Dämme oder Bebauung, welche zum **Kaltluftstau** führen können.

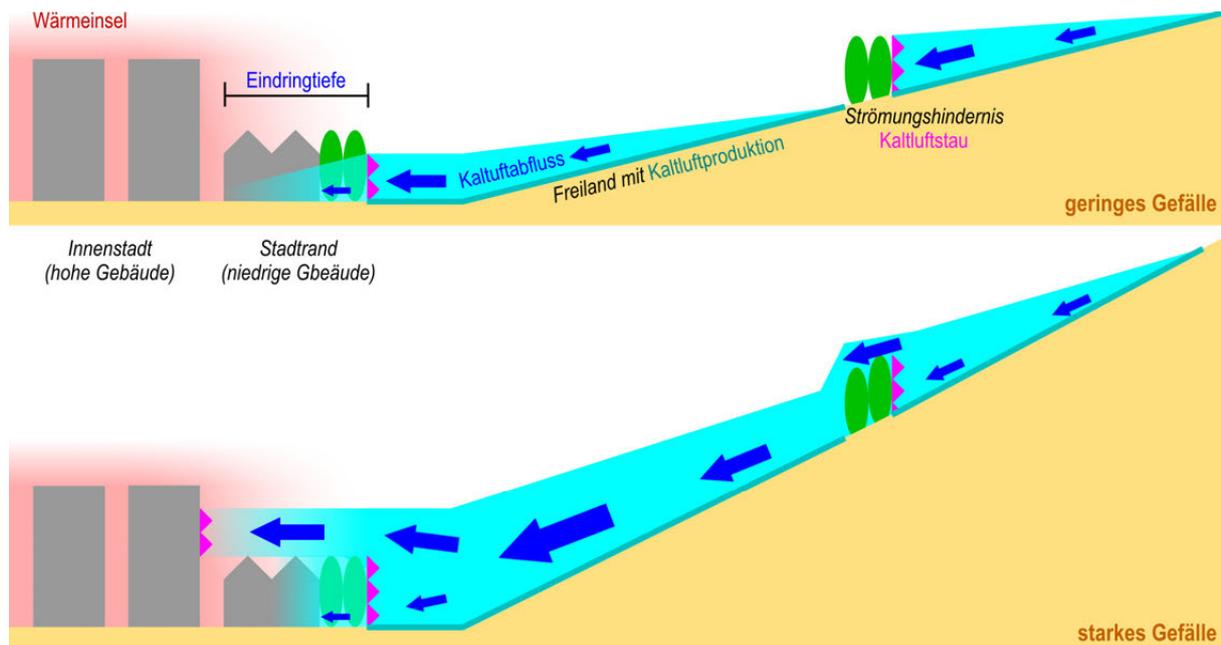


Abb. 1: Kaltlufttransporte und Eindringtiefe in die Bebauung in Abhängigkeit der Geländeneigung (schematisch).

Die planerische Relevanz eines Freilandklimatops bezüglich der Kaltluft wäre nach VDI 3787 / 5 (2003) dadurch gegeben, dass

- die Kaltluft ohne Einfluss eines etwaigen übergeordneten Windfeldes entweder rein gravitativ, d. h. aus **eigenem Antrieb**, oder als durch eine städtische Wärmeinsel initiiertes **Flurwind** aus der Fläche (**Quellgebiet**) abfließt,
- hinsichtlich der Fließrichtung einer wärmeren Fläche oder einem wärmeren Gebiet mit sensibler Nutzung zufließt (**Wirkraum**, z. B. Wohngebiet), in dem die Kaltluft zur Verbesserung des Klimas beitragen kann,
- die Kaltluft eine hinreichende Geschwindigkeit und vertikale Mächtigkeit hat, um in den Wirkraum einzudringen.
- die Kaltluft im Wirkraum noch eine hinreichende **Untertemperatur** besitzt, um einen spürbaren Kühlungseffekt zu erzielen.

Kaltluft, die diese Anforderungen erfüllt, benötigt zur Entstehung sehr große Freilandflächen von i. d. R. mehreren Quadratkilometern **Größe** (VDI 3787 / 5 2003). Zwar wird auch auf kleineren Freiflächen Kaltluft gebildet, deren Merkmale sind jedoch deutlich schwächer ausgeprägt und deren räumliche Wirkung ist stark begrenzt (z. B. bei **innerstädtischen Parks**, s. u.). Innerhalb der **dichten Bebauung** ist auf kleinsten Freiflächen (z. B. Baulücken oder größeren grünen Verkehrsinseln) die positive Klimawirkung nur noch schwach bis gar nicht ausgeprägt und ohne nennenswerte Wirkung auf die Umgebung, deren Überwärmung an dieser Stelle dominiert und die Wirkung der kleinen Freiflächen überlagert.

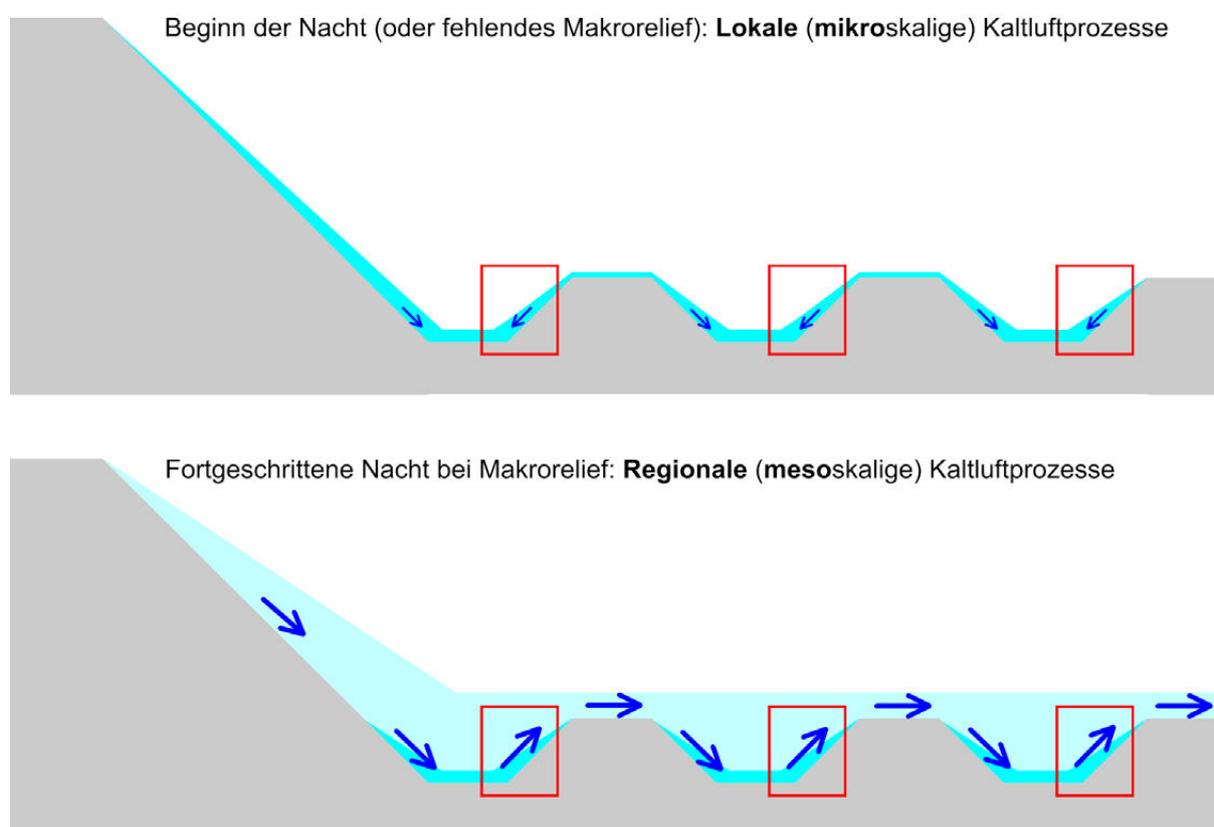
Die **Eindringtiefe** von Kaltluft aus dem Umland in die **Bebauung** ist von der vertikalen Kaltluftmächtigkeit abhängig (**Abb. 1**). Ist diese niedriger als die städtischen Bebauungsstrukturen, bleibt die Eindringtiefe in Bodennähe aufgrund der Riegelwirkung der Bebauung auf einige zehner bis wenige hundert Meter beschränkt, wenn nicht rauigkeitsarme, d. h. von Strömungshindernissen freie, **Ventilationsbahnen** vom Umland her weit in die Bebauung hineinreichen (DÜTEMEYER 2000). Nach MAYER et al. (1994) sollten Ventilationsbahnen mindestens 1 Kilometer lang und 50 Meter breit sein. Selbst unter diesen günstigen Voraus-

setzungen ist die Tiefenwirkung der Kaltluft begrenzt, weil sie mit zunehmender Eindringtiefe durch die warme Bebauung zunehmend erwärmt wird (sog. „Altern der Kaltluft“).

Ist die Kaltluftmächtigkeit höher als die städtischen Bebauungsstrukturen, besteht die Möglichkeit, dass Teile der Kaltluft zunächst über die Bebauung hinwegströmen, um anschließend an geeigneten offenen Stellen (z. B. größere baumfreie Parks, Verkehrsachsen oder Bahntrassen) wieder zum Boden abzusinken.

Fließt die Kaltluft nicht in Richtung Bebauung, sondern in entgegengesetzter Richtung zu tiefer gelegenen Umlandbereichen ab, bleibt die Relevanz auf die lokale Erholungsfunktion beschränkt.

Wird in Gebieten mit ausgeprägtem Relief lokale Kaltluft auch in der **großräumigen Umgebung** gebildet (z. B. in den ländlichen Räumen der Mittelgebirge), werden in Verbänden aus Tälern unterschiedlicher Größenordnungen die Kaltluftströme in kleineren (Seiten-) Tälern von den regionalen bzw. **mesoskaligen Kaltluftströmen** aus den nachgeordneten größeren Tälern überlagert, sodass die lokale Kaltluft hangaufwärts bis über die Talschulter in Nebentäler geschoben wird (**Abb. 2**).



**Abb. 2:** Lokale (mikroskalige) und regionale (mesoskalige) Kaltluftprozesse (schematisch).

Die Bildung von lokaler Kaltluft in austauscharmen Nächten heißer Tage ist nicht obligatorisch, wenn z. B. die **Böden** des Freilandes **trocken** sind und sich daher ebenso erwärmen können wie versiegelte Flächen oder wenn aufgrund einer geeigneten Wetterlage heiße Luft aus dem **Mittelmeerraum** oder aus **Kontinentaleuropa** heranströmt, die auch nachts die lokale Abkühlung auf den Freiflächen kompensiert.

**Innerstädtische Freiflächen** und **Parks** verhalten sich wie Freilandflächen, haben aufgrund ihrer eingeschränkten Größe jedoch eine geringere Fernwirkung. Die Eindringtiefe der Park-

Luft aus der Grünfläche in die bebaute Umgebung wird sowohl von dessen Gestaltung und Einfassung als auch von der Art der umgebenden Bebauung bestimmt (KUTTLER 2011). Geschlossene, hohe Häuserfronten und Baumreihen behindern den klimatisch günstigen Einfluss, aufgelockerte Bauweise und baumfreie Ventilationsbahnen hingegen fördert ihn. Zusätzlich muss die Grünfläche eine hinreichende Größe aufweisen, damit sie ihre Wirkung auf die umliegende Bebauung entfalten kann (BONGARDT 2006, KUTTLER 2011). Wenn die Grünfläche zu klein ist, dominiert stattdessen die Wirkung der umliegenden Bebauung auf die Grünfläche. Wirkungen bis in eine Entfernung von 50 m wurden für Grünflächen von mindestens 3 ha Größe nachgewiesen (**Tab. 1**). Noch kleinere Flächen wirken in Abhängigkeit der Geschlossenheit der umliegenden Bebauungsstruktur nur vereinzelt und nur bis in wenige Zehner Meter Entfernung (BONGARDT 2006).

**Tab. 1: Übersicht über Größe, Umgebung, maximale Kühleffekte ( $PCI_{max}$ ) und thermische Reichweiten ausgewählter städtischer Grünflächen (KUTTLER 2011).**

Größe in ha (gerundet)	Lage (UHI in K)	Park	Gestaltung	$PCI_{max}$ In K	Reichweite In m
3	Kumamoto(Kyushu) [3 tags, 2 nachts]	Kengung Shinto Shrine	Bäume	2,5(15 Uhr)	50
5	Vancouver (6 bei Sonnen-Untergang)	Trafalgar-Park	Greas, Baumrand teilweise bewässert	5,0(nachts) Messfahrt	200 – 300
18	Berlin	Stadtpark Steglitz	-	1,0 (abends)	80 – 140
30	Mainz	Stadtpark	-	2,0 (morgens)	<300
44	Stuttgart	Schlossgarten	-	1,3 (Jahresmittel) 3,8 (Tagesmittel)	200
80	Kopenhagen	Falledparken	Gras + Bäume	2,1 (22 Uhr)	100
125	Berlin	Kleingärten Priesterweg	Garten	5,5 (abends)	250
156	Göteborg	Slottsskogen	-	3,3 (18 U hr) Station	250
212	Berlin	Tiergarten	Wald / Gras	4,3 (abends)	200 – 1300
525	Mexico City	Chapultepec	Mix (Bäume, Gras); Nicht be wässert	4,0(Trockenzeit) 1,0 (Regenzeit)	2000 (eine Park-breite)

**Wälder** haben ebenfalls eine klimatische Wohlfahrtswirkung (VDI 3787/1 2015). Das Klima in Bodennähe (sog. „Stammraum“) ist durch gedämpfte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte sowie von niedrigen Windgeschwindigkeiten geprägt, weil das Kronendach sowohl die sonnenbedingte Erwärmung am Tage als auch die nächtliche Auskühlung reduziert und den Wind bremst. Kaltluftentstehung findet daher oberhalb des Kronenraums statt, allerdings ist die Kaltluftproduktion im Vergleich zu unbewaldeten und vegetationsbestandenen Freilandgebieten geringer. Wälder sind allerdings auch ausgeprägte Strömungshindernisse für bodennahe Winde, sodass sie insbesondere träge, bodennahe Kaltluftflüsse stoppen und aufstauen können.

Waldflächen erweisen sich aufgrund sehr geringer thermischer und humanbiometeorologischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Darüber hinaus übernehmen Wälder bei geringen oder fehlenden Emissionen die Funktion als Frischluft- und Reinluftgebiete, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit keine Luftleitfunktion übernehmen.

Die zuvor genannten stadt- und geländeklimatischen Merkmale sind insbesondere während sog. **autochthoner**, d. h. wolkenfreier und sonnenreicher sowie austauscharmer, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten, Wetterlagen ausgeprägt. Während **normaler**, d. h. sog. allochthoner **Witterung**, wird das örtliche Klima hingegen durch das überregionale Wettergeschehen überlagert, indem bis zu mehrere Kilometer mächtige Luftmassen aus anderen Regionen Deutschlands oder Europas mit höheren Windgeschwindigkeiten die bodennahe Atmosphäre durchdringen und prägen und dabei die relativ schwachen lokalen Klimaeffekte durch Durchmischung (d. h. Verdünnung) und anschließenden schnellen Abtransport verwischen. Wärme- und Spurenstoffbelastungen sind daher nicht zu erwarten, sofern im Sommer keine heiße Luft dem Mittelmeerraum oder aus Kontinentaleuropa heranstößt oder lokal übermäßig starke Spurenstoffquellen (z. B. Industrie oder verkehrsstarke Autobahnen) vorhanden sind.

Bei **Bauvorhaben** ist daher darauf zu achten, dass etwaige positive Klimafunktionen der ursprünglichen Nutzung des Baugebietes so wenig wie möglich beeinflusst werden bzw. im Falle von ungünstigen Auswirkungen des Vorhabens auf die Umgebung diese soweit wie möglich reduziert werden. Dabei sollten zunächst lokale städtebauliche Optimierungsmaßnahmen favorisiert werden, bevor andernorts zu realisierende Ausgleichsmaßnahmen zum Einsatz kommen.

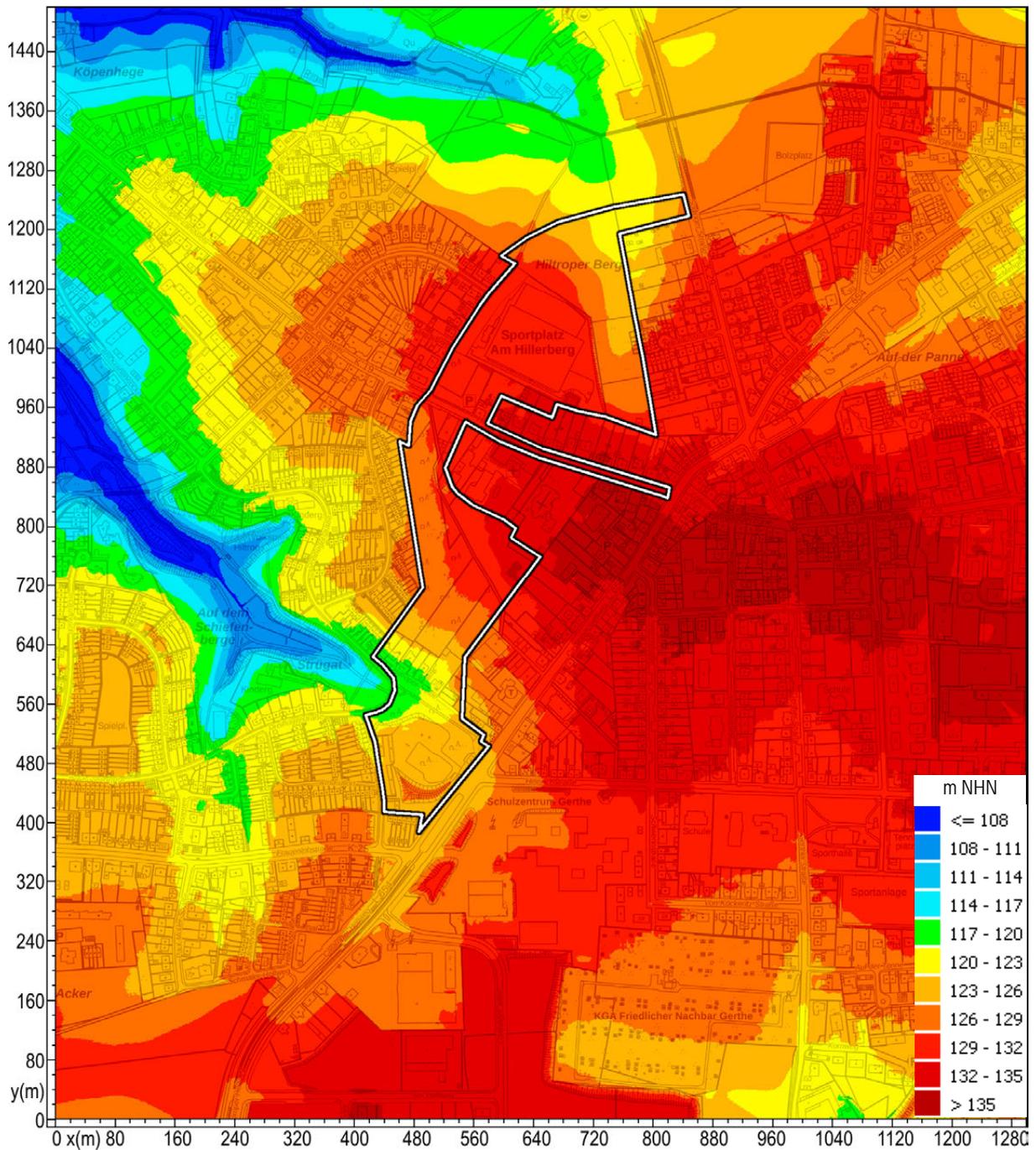
### 3 Untersuchungsraum

Das Entwicklungsgebiet „Gerthe-West“ hat eine Größe von ca. 12 ha bei einer Ausdehnung von ca. 900 m in Nordsüd- und ca. 400 m in Westost-Richtung und liegt im oberen Hangbereich der Westabdachung des Gerthener Höhenzuges (**Abb. 3**). Vom höchsten Punkt in 134 m NHN in der Hiltroper Landwehr fällt das Gelände nach Süden zum Ostbachtal auf 119 m NHN ab. Im Norden neigt sich das Gebiet vom Hiltroper Berg zum Oberlauf des Mühlenbachtals bis auf eine Höhe von 121 m NHN. Der maximale Höhenunterschied innerhalb des Plangebietes beträgt damit 15 m. Östlich des Plangebietes steigt das Gelände auf bis zu 138 m NHN in der Nähe des Gerther Marktplatzes an, während westlich des Plangebietes der tiefste Punkt mit 104 m NHN im Ostbachtal erreicht wird. Innerhalb des Kartenausschnitts beträgt die maximale Höhendifferenz somit 34 m.

Das Plangebiet besteht südlich der Hiltroper Landwehr überwiegend aus Gehölzen bzw. kleinen Wäldern sowie den Parkanlagen des Krankenhauses und der St. Elisabethkirche und einigen Wohngebäuden (**Abb. 4 bis Abb. 6**). Nördlich der Hiltroper Landwehr dominieren am Hiltroper Berg landwirtschaftliche Freiflächen, die im erweiterten Grünvernetzungsbereich des regionalen Grünzuges E liegen, sowie der von Baumreihen eingefasste Sportplatz Hiltroperberg.

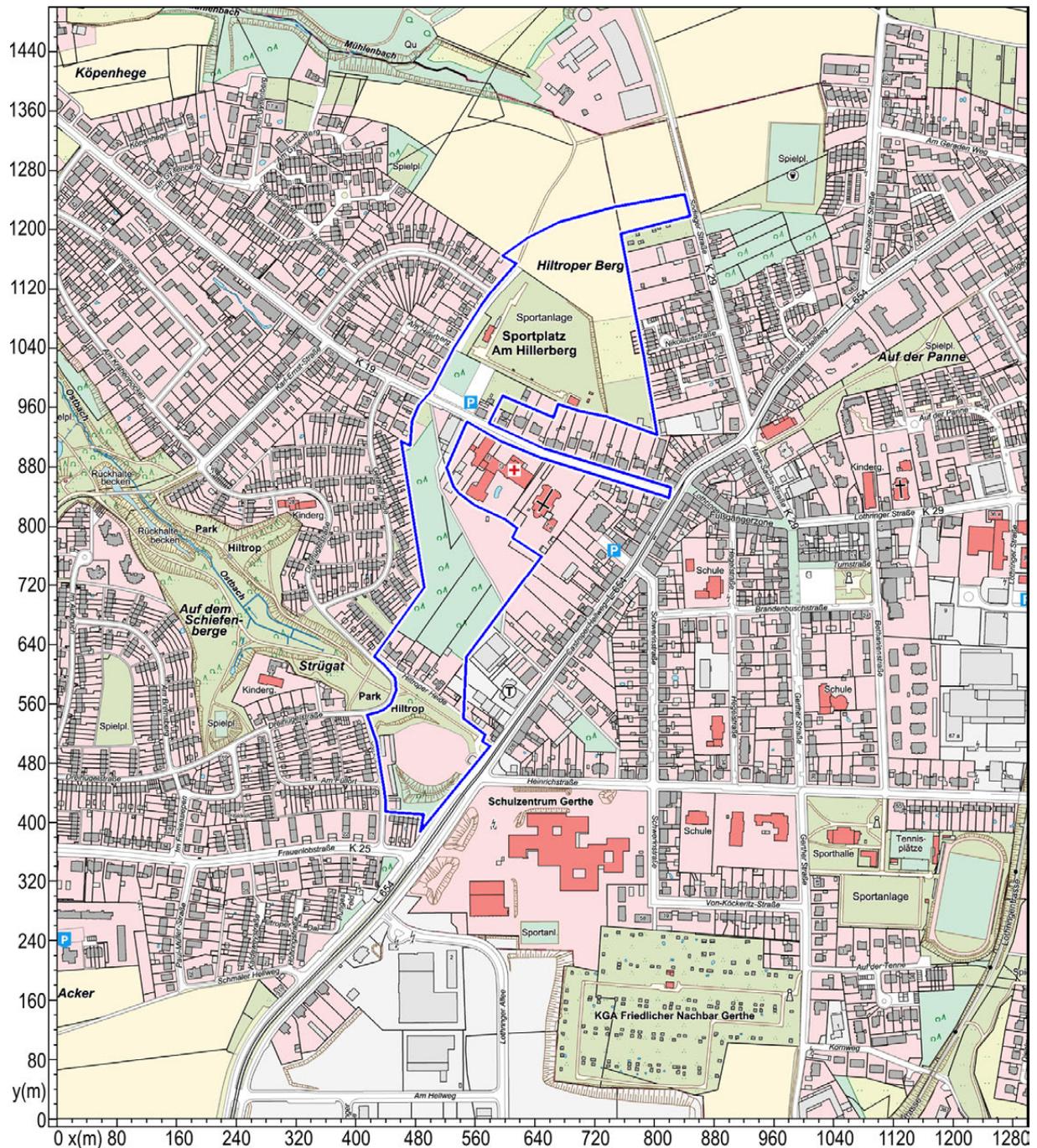
Westlich des Plangebietes schließen sich zum Stadtteil Hiltrop gehörende Siedlungsstrukturen an. Diese bestehen überwiegend aus bis zu dreigeschossigen Einfamilien-, Doppel-, Reihen- oder Mehrfamilienhäusern mit mehrheitlich eigenen Gärten. Der Anteil der Grünflächen ist dort relativ groß. Innerhalb der Siedlung liegt in der Talsohle des Ostbachtals der geschlossene Wald des Volksparks Hiltrop. Östlich des Castroper Hellweges verdichtet sich im Norden die Bebauung zum Kernbereich des Gerther Zentrums mit Schwerpunkt im Bereich Hans-Sachs-Straße, Lothringer Straße, Marktplatz und dem Gewerbegebiet Lothringen. Südlich davon schließen sich eine z. T. baum- und gartenreiche Wohnsiedlung und das Schulzentrum Gerthe an.

[Fortsetzung Text auf S. 14.]



Weißer Grenze: Plangebiet. Digitales Geländemodell und Hintergrundkarte: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

Abb. 3: Relief in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.



Blaue Grenze: Plangebiet. Kartenquelle: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 4: Lage und Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.**



Blaue Grenze: Plangebiet. Luftbildquelle Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DOP20. Datenlizenz Deutschland ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

**Abb. 5: Luftbild des Plangebietes „Gerthe-West“ und der näheren Umgebung.**

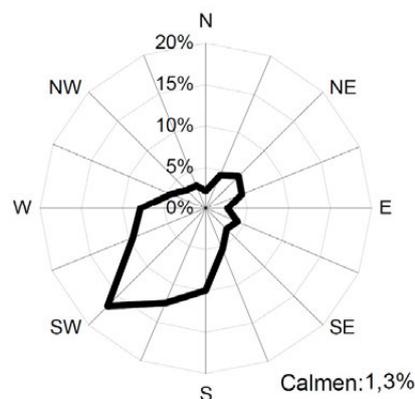


Blickrichtung: Nord. Gelbe Grenze: Plangebiet. Blickrichtung Nord. Bildquelle: Google Maps/Google Earth 2020, © Google 2018, Kartendaten © 2020 GeoBasis-DE/BGK, © 2009 Google

**Abb. 6:** Vogelperspektive des Plangebietes „Gerthe-West“ und seiner näheren Umgebung.

#### 4 Klimatologische Ausgangslage

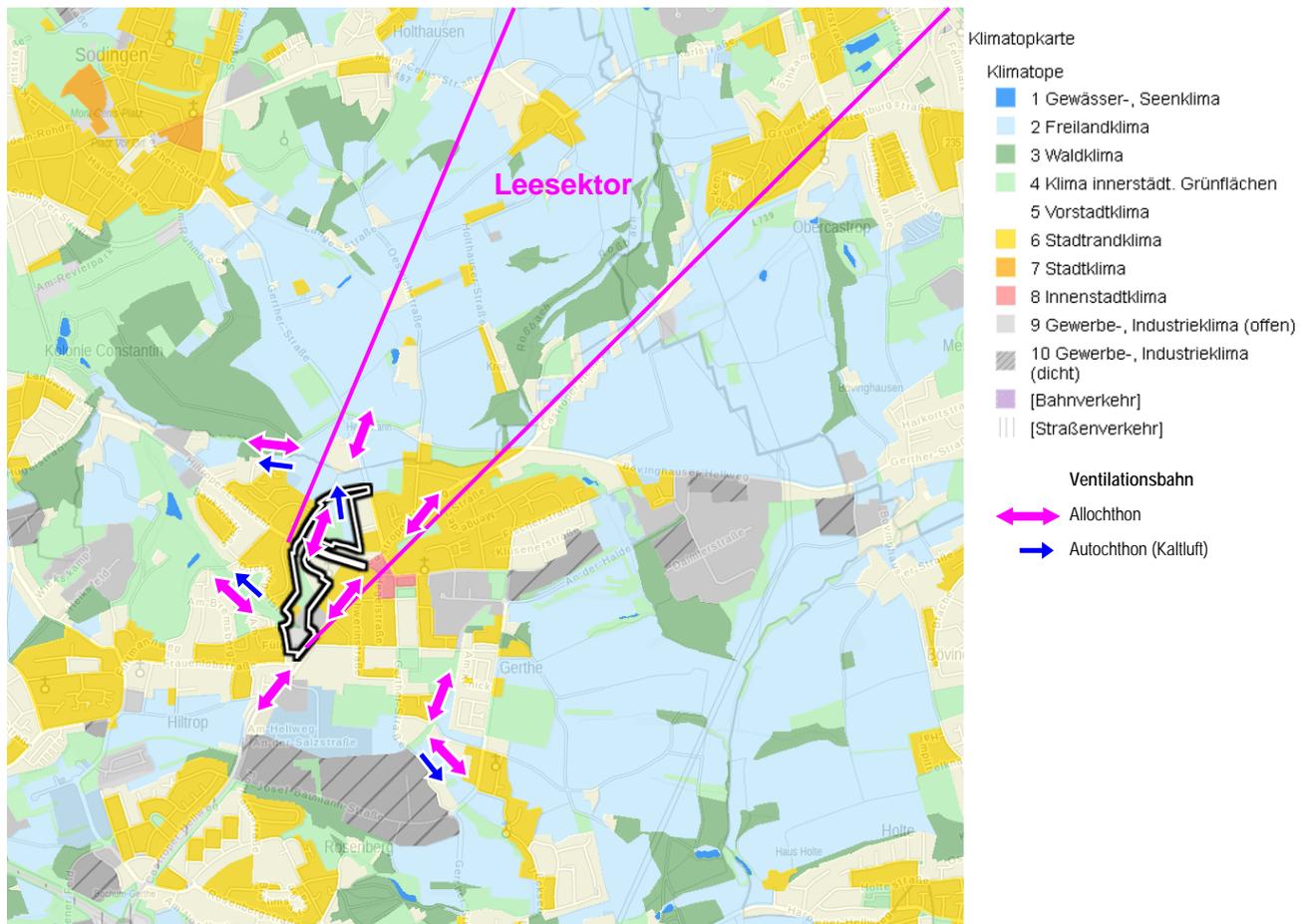
In Bochum herrschen im Allgemeinen, d. h. im **Jahresmittel** mit überwiegend **allochthoner** (austauschreicher) Witterung, die für Nordwestdeutschland typischen Südwestwinde mit Windgeschwindigkeiten von durchschnittlich 1,5 m/s im Bodenniveau und durchschnittlich 3,7 m/s im Überdachniveau vor (**Abb. 7**) (KUTTLER et al. 2008).



Messzeitraum 18.10.2006 bis 18.10.2007 auf Stundenmittelwertbasis. Datenquelle: KUTTLER et al. (2008): Klimaanalyse Bochum - Klimatologischer Teil.

**Abb. 7:** Häufigkeitswindrose im Überdachniveau Bochums (KUTTLER et al. 2008).

Aufgrund der höhenexponierten Lage Gerthes (vgl. Abb. 3, S. 11) trifft diese Situation auch für das Plangebiet zu. Die leeseitige Wirkzone des Plangebietes erstreckt sich dadurch nach Nordosten (NE) (**Abb. 8**), sodass die westlich angrenzenden Hiltroper Wohngebiete gar nicht und die östlich gelegenen Wohnbereiche Gerthes nur teilweise betroffen sind. Eine deutlich spürbare, leeseitige Wirkung des Plangebietes ist bei diesem Witterungstyp weder hinsichtlich der Ausprägung der Klimamerkmale noch deren Reichweite zu erwarten: Die übergeordneten, überregionalen Windfelder durchdringen mit hohen Windgeschwindigkeiten die bodennahe Atmosphäre und verwischen dabei die relativ schwachen lokalen Klimateffekte durch Durchmischung (d. h. Verdünnung) und schnellen Abtransport.



*Weißer Grenze: Plangebiet. Quelle: FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)), Planet Observer © LANUV 2018.*

**Abb. 8: Klimatope in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“ (ergänzt).**

Das **lokale Klima** tritt während sog. **autochthoner**, d. h. wolkenfreier und sonnenreicher sowie austauscharmer, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten, Wetterlagen in Erscheinung. **Auf diese Witterungssituation konzentrieren sich die nachfolgenden Untersuchungen.** Hierbei bestehen zwischen den unterschiedlichen Flächennutzungen kleinräumige klimatische Wechselwirkungen, die in **Bodennähe** stattfinden.

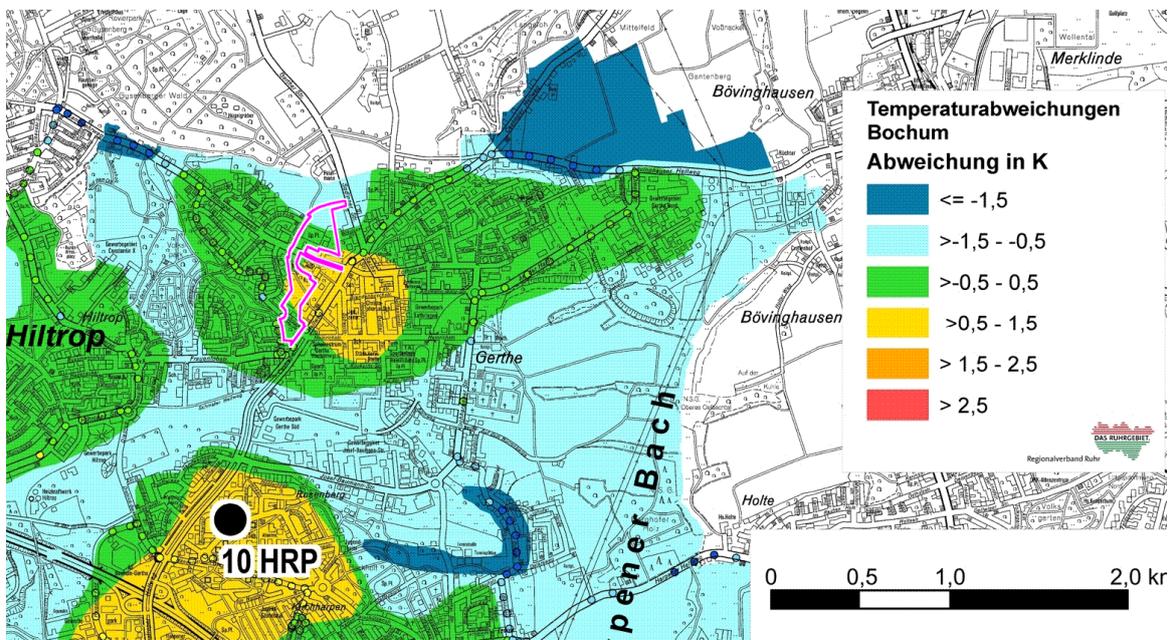
Die durch Luftaustausch hervorgerufenen Wechselwirkungen werden entlang von Flächen mit wenigen Strömungshindernissen (Gebäude, Bäume, Dämme, etc.) gefördert bzw. verstärkt. Derartige **Ventilationsbahnen** finden sich auch im Plangebietsbereich und dessen Umfeld (**Abb. 8**). Dazu zählen der Castroper Hellweg, das Mühlenbachtal sowie der hieran

anschließende nördliche Teil des Plangebietes selbst. Ferner ist das Ostbachtal zu nennen, das zwar bewaldet ist, aber eine Ventilationsfunktion allein aufgrund seiner Eintiefung aufweist, sodass eine Ventilation oberhalb der Baumkronen stattfinden kann.

Die Ventilationsbahnen funktionieren für bodennahe Winde nur bei Anströmrichtungen entsprechend ihrer Längsausrichtung optimal. Während dies für den Castroper Hellweg und den nördlichen Plangebietsbereich entsprechend der o. g. Windrose häufig der Fall ist, gilt dies für das Ostbachtal und das Mühlenbachtal nur selten.

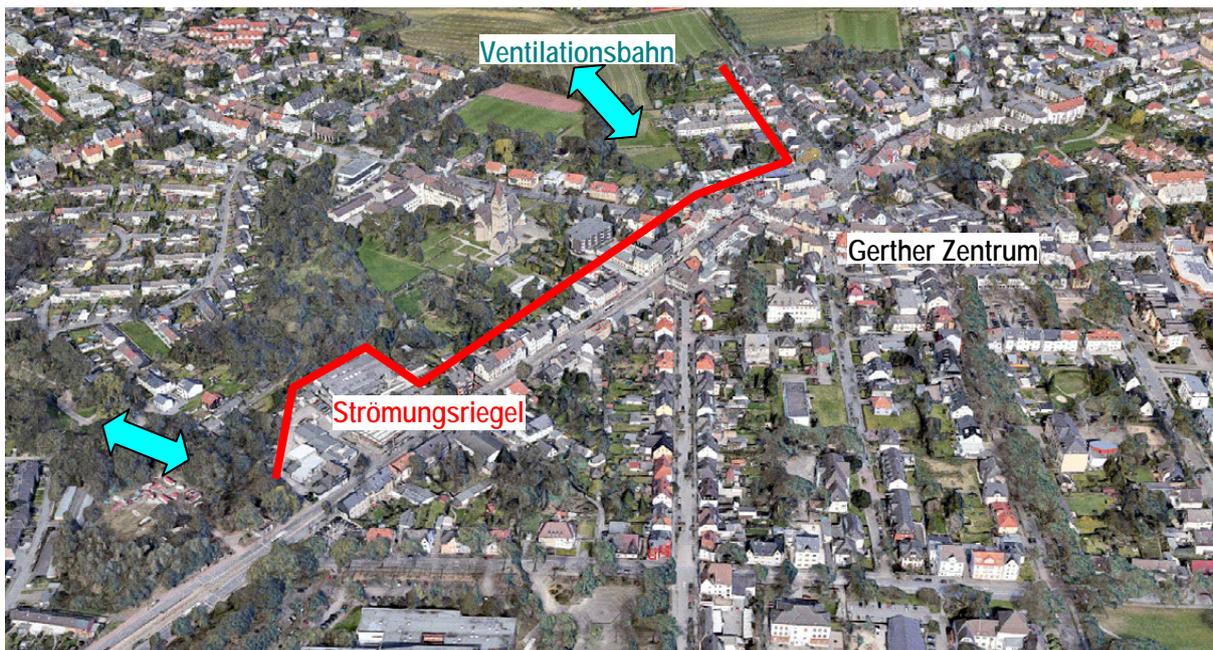
Potenzielle strahlungsnightliche, lokale (!) **Kaltluftflüsse** können auf Freiflächen entlang eines Geländegefälles als hangabwärts gerichtete Strömung auftreten. Auf Grundlage des örtlichen Reliefs (vgl. Abb. 3, S. 11) lassen sich im engeren Plangebietsbereich nur die drei Kaltluftabflussbahnen Ostbachtal, das Mühlenbachtal und der dazu gehörige nördliche Teil des Plangebietes am Hiltroper Berg identifizieren. Das Gefälle ist bei allen drei Kaltluftbahnen vom höher gelegenen Gerther Zentrum weggerichtet, sodass ein **gravitativer Kaltluftzustrom ins Gerther Zentrum ausgeschlossen** werden kann.

Da das Gerther Zentrum jedoch gegenüber dem benachbarten Freiland eine Wärmeinsel von ca. 1 K bis 3 K darstellt (**Abb. 9**), wäre theoretisch ein Kaltluftzustrom als **Flurwind** denkbar. Einfache empirische Abschätzungen nach DEFANT (1933), BRIGGS (1979) und DÜTEMEYER (2000b) zeigen, dass dieser in flachem Gelände theoretische Fließgeschwindigkeiten von bis zu 1,5 m/s erreichen könnte. Hier wäre jedoch zusätzlich Arbeit gegen die Schwerkraft zu leisten, da der Flurwind aufgrund der höheren Lage des Gerther Zentrums hangaufwärts gerichtet wäre, sodass die Windgeschwindigkeit niedriger wäre. Dem stünde ein theoretischer gravitativer und damit entgegengesetzter Kaltluftabfluss mit theoretischen Fließgeschwindigkeiten von ebenfalls ca. 1,5 m/s entgegen, sodass die resultierende, effektive Flurwindgeschwindigkeit nur sehr gering wäre. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Gebäude entlang des Castroper Hellweges, die gegenüber potenziellen westlichen bodennahen Kaltluftzuflüssen einen ausgeprägten Strömungsriegel darstellen (**Abb. 10**), und das entsprechende Windrichtungen nur sehr selten auftreten (vgl. Abb. 3, S. 11), ist das Vorkommen von Flurwinden eher **unwahrscheinlich**.



*Pinkfarbige Grenze: Plangebiet. Datengrundlage: Flächeninterpolation aus 15 Temperaturmessungen im Zeitraum 11.05.2006 bis 08.10.2007, dargestellt als Abweichung vom Gebietsmittelwert der Gesamtstadt. Datenquelle: KUTTLER et al. (2008): Klimaanalyse Bochum - Klimatologischer Teil.*

**Abb. 9: Abweichungen der Bochumer Lufttemperatur vom Gebietsmittelwert in 2 m ü. Gr. für austauscharme, wolkenlose Nächte (KUTTLER et al. 2008).**



Blickrichtung: Nord. Bildquelle: Google Maps/Google Earth 2020, © Google 2018, Kartendaten © 2020 GeoBasis-DE/BGK, © 2009 Google

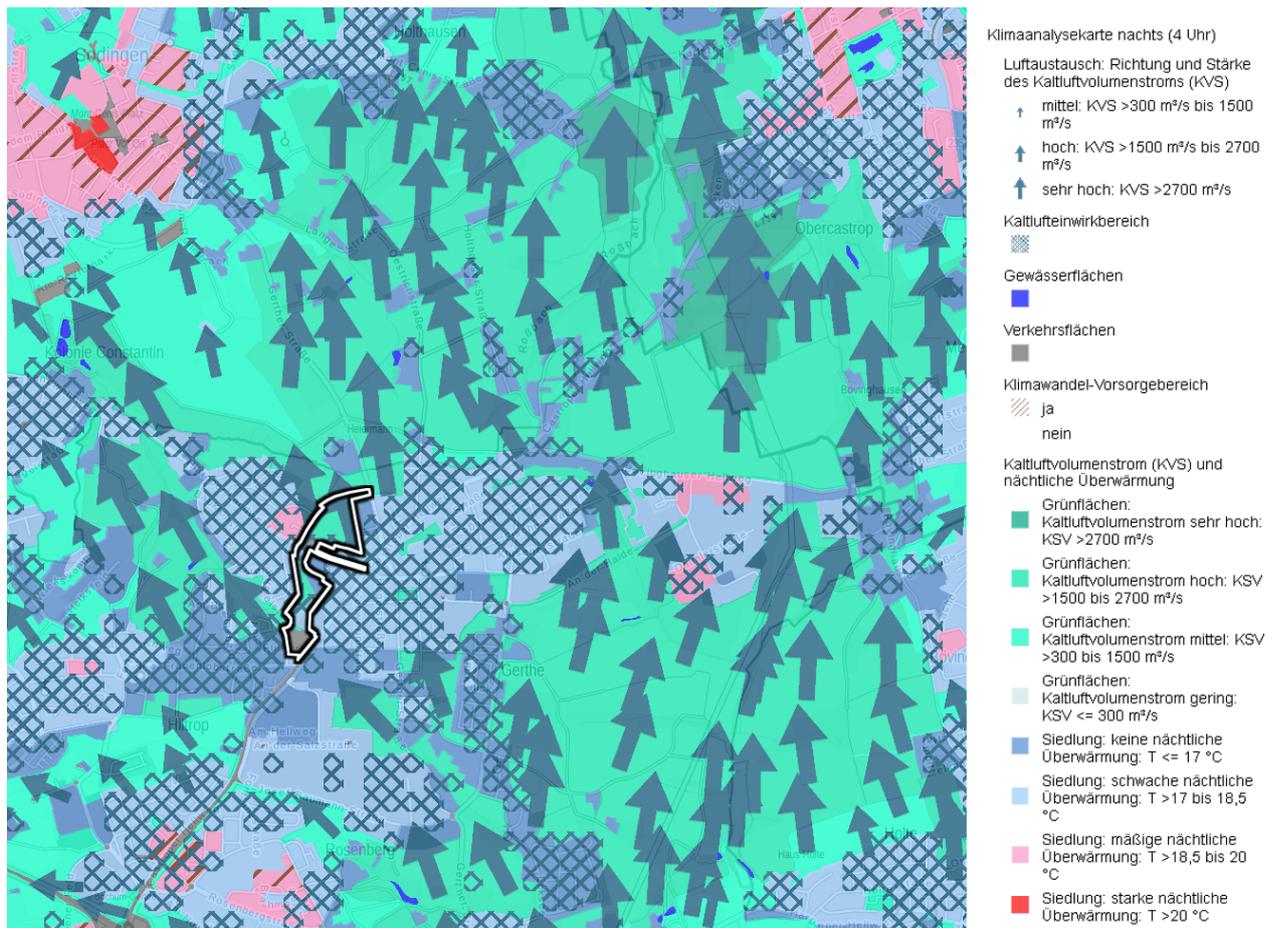
**Abb. 10: Vogelperspektive zum Castroper Hellweg im Bereich des Gerther Zentrums.**

Die Klimaanalyse NRW (LANUV 2018) bestätigt, dass im Untersuchungsraum in klaren Strahlungsnächten südliche bis südöstliche Kaltluftflüsse dominieren (**Abb. 11**). In dieser Darstellung sind die mesoskaligen, d. h. **regionalen Kaltluftströme** aus den nachgeordneten größeren Talverbänden von Bergischem Land und Sauerland berücksichtigt, welche die lokale Kaltluft im südlichen Plangebietsbereich hangaufwärts Richtung Nordwesten schieben.

**Auswirkungen des Planvorhabens auf das Gerther Zentrum sind daher unwahrscheinlich. Stattdessen würden potenzielle Auswirkungen die westlich anschließenden Hiltroper Wohngebiete betreffen.**

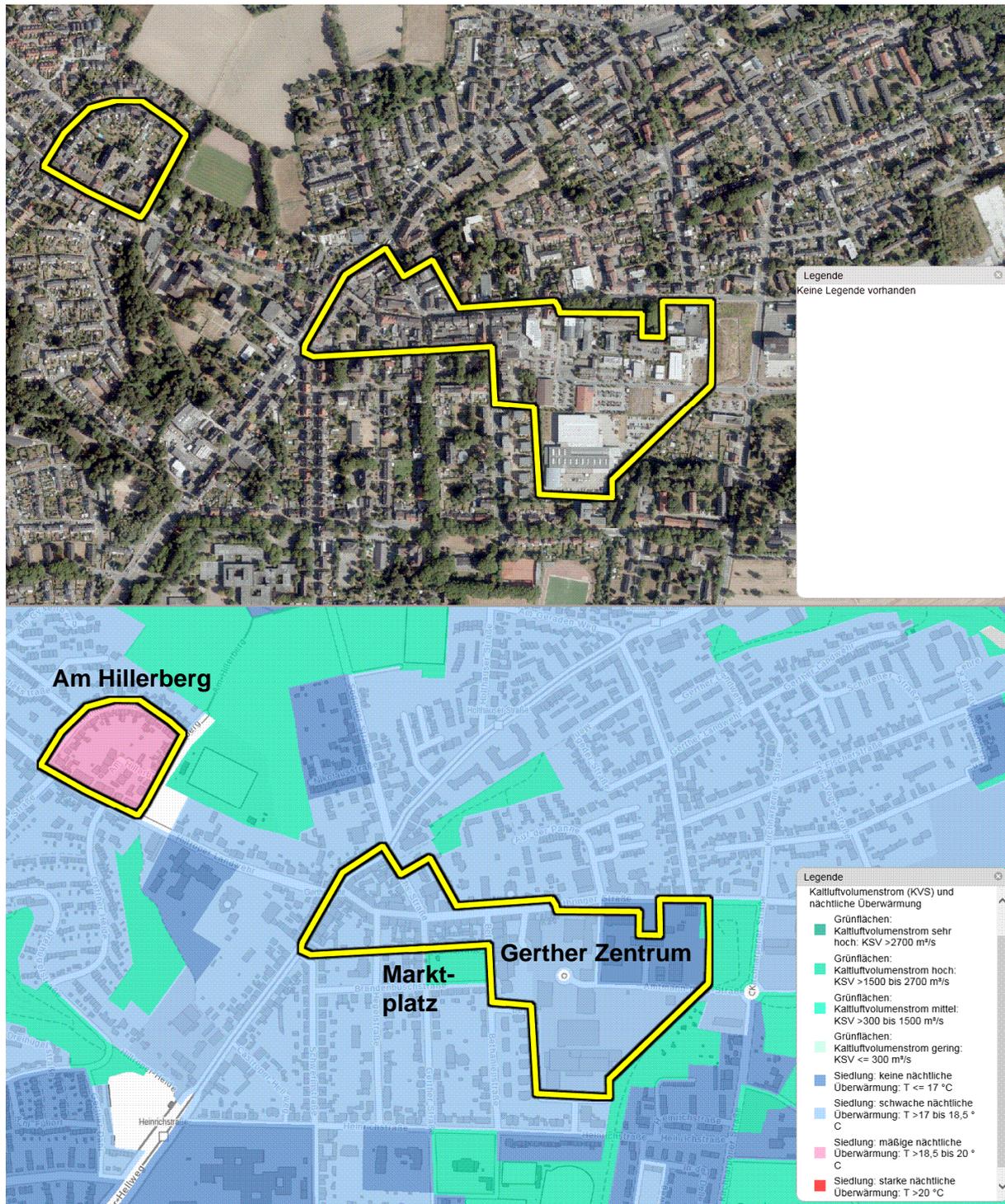
Bezüglich der **nächtlichen thermischen Verhältnisse** ist die Überwärmung des Gerther Zentrums von ca. 1 K bis 3 K (**Abb. 9**) im Vergleich zur Innenstadt (bis zu 4,6 K, KUTTNER et al. 2008) als *mäßig* einzustufen. Die Klimaanalyse NRW (**Abb. 11**) stuft die nächtliche Überwärmung unter Einbeziehung der angrenzenden Wohngebiete bei milden Lufttemperaturen von ca. 17,0 °C bis 18,5 °C überwiegend als *schwach* ein. Hier scheinen jedoch stellenweise **Fehler in der Klimaanalyse** vorzuliegen, wie der vergrößerte Auszug in **Abb. 12** zeigt. So ist z. B. nicht plausibel, warum das hoch versiegelte Gerther Zentrum weniger warm sein soll als der weniger versiegelte Bereich „Am Hillerberg“. Ferner stellt der Marktplatz keine Grünfläche dar. **Ursache** dürfte sein, dass die Daten in der Klimaanalyse NRW nicht auf Messungen vor Ort basieren (wie in Abb. 9), sondern aus generalisierten oder ungenauen Flächennutzungskarten abgeleitet wurden. Hier ist daher davon auszugehen, dass zumindest das Gerther Zentrum einschließlich Marktplatz als Siedlungsbereich mit *mäßiger* nächtlicher Überwärmung von 18,5 °C bis 20 °C einzustufen ist.

[Fortsetzung Text auf S. 20.]



*Weißer Grenze: Plangebiet. Quelle: FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)), Planet Observer © LANUV 2018.*

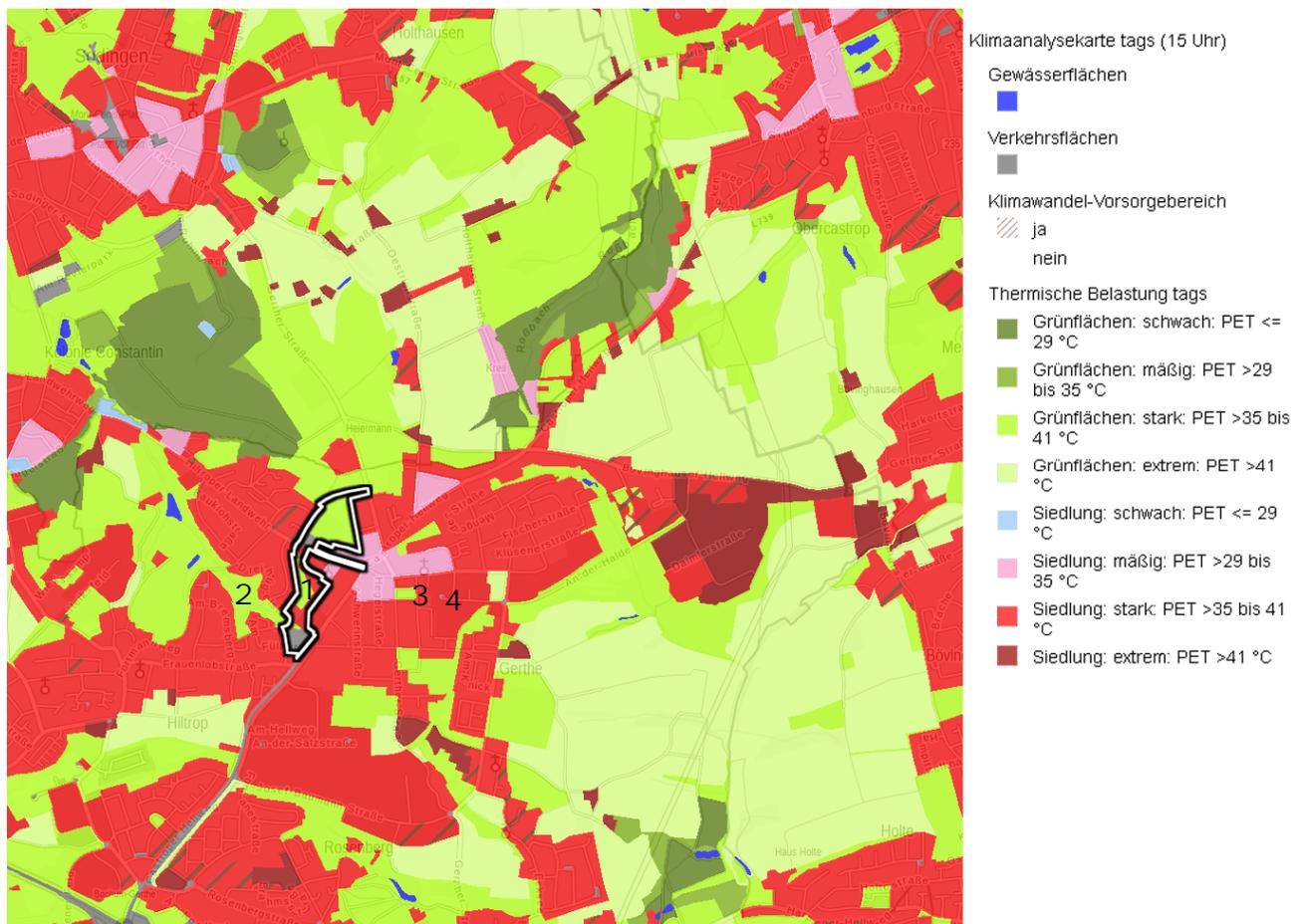
**Abb. 11: Nächtliche klimatische Situation während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.**



Quelle: FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)), Planet Observer © LANUV 2018.

**Abb. 12: Nächtliche klimatische Situation während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.**

Wichtig ist ferner die Betrachtung der Wärmebelastung am Tage während heißer Tage, da hier die Sonneneinstrahlung eine maßgebliche Rolle spielt. Die Klimaanalyse NRW (LANUV NRW 2018) weist in **Abb. 13** für den Nachmittag heißer Tage für das Plangebiet und sein Umfeld für baumfreie Grünflächen starke Wärmebelastungen zwischen 35 °C bis 41 °C PET<sup>2</sup> (*heiß*, vgl. **Tab. 2**) aus, was aus der direkten **Sonnenexposition** resultiert. Die Wärmebelastung entspricht damit derjenigen in den angrenzenden Wohnsiedelungen (*heiß* bei 35 °C bis 41 °C PET), wo sich die Versiegelungen und Gebäude aufheizen, wobei die Wärmebelastung jedoch durch Schattenzonen der Gebäude und Bäume etwas abgeschwächt wird.



*Weißer Grenze: Plangebiet. Zahlen: siehe Text. Quelle: FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)), Planet Observer © LANUV 2018.*

**Abb. 13: Klimatische Situation am Tage während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.**

<sup>2</sup> Die **Physiologische Äquivalenttemperatur PET** (Tab. 2) (VDI 2008, MAYER 2006) ist ähnlich der gefühlten Lufttemperatur des Deutschen Wetterdienstes DWD ein Wärmebehaglichkeitsmaß und berücksichtigt neben der Lufttemperatur weitere meteorologische Größen, welche die Thermoregulation des menschlichen Körpers beeinflussen. Hierzu zählen die Luftfeuchtigkeit (vgl. trockene „Wüsten“- vs. feuchte „Tropen“-Hitze), die Transpiration fördernde Windgeschwindigkeit (zur Schweißverdunstung), die Wärmestrahlung der Oberflächen und umliegenden Gebäude sowie insbesondere die Exposition zur direkten Sonneneinstrahlung am Tage („Weißes- vs. Schwarzes-T-Shirt-Effekt“ und Sonnenstich). Daher ist während der Tagstunden heißer Tage die Hitzebelastung auf sonnenexponierten Freilandflächen deutlich höher als z. B. in verschatteten Straßenschluchten einer dichten Bebauung.

**Tab. 2 Skala der PET-Werte für thermisches Empfinden und zugehörige Behaglichkeitsstufen nach VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008) und MAYER (2006).**

PET / °C	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Physiologische Wirkung
4	sehr kalt	extreme Belastung	Kältestress
	kalt	starke Belastung	
8	kühl	mäßige Belastung	Kühlereiz
	leicht kühl	schwache Belastung	
13	behaftet	keine Belastung	
18	behaftet	keine Belastung	
23	leicht warm	schwache Belastung	Wärmereiz
29	warm	mäßige Belastung	
35	heiß	starke Belastung	Hitze stress
41	sehr heiß	extreme Belastung	

Im Gerther Zentrum ist die Wärmebelastung aufgrund der dichter gelagerten Bebauung und den dadurch verursachten größeren Schattenzonen etwas schwächer und erreicht *warme* Verhältnisse mit 35 °C bis 41 °C PET.

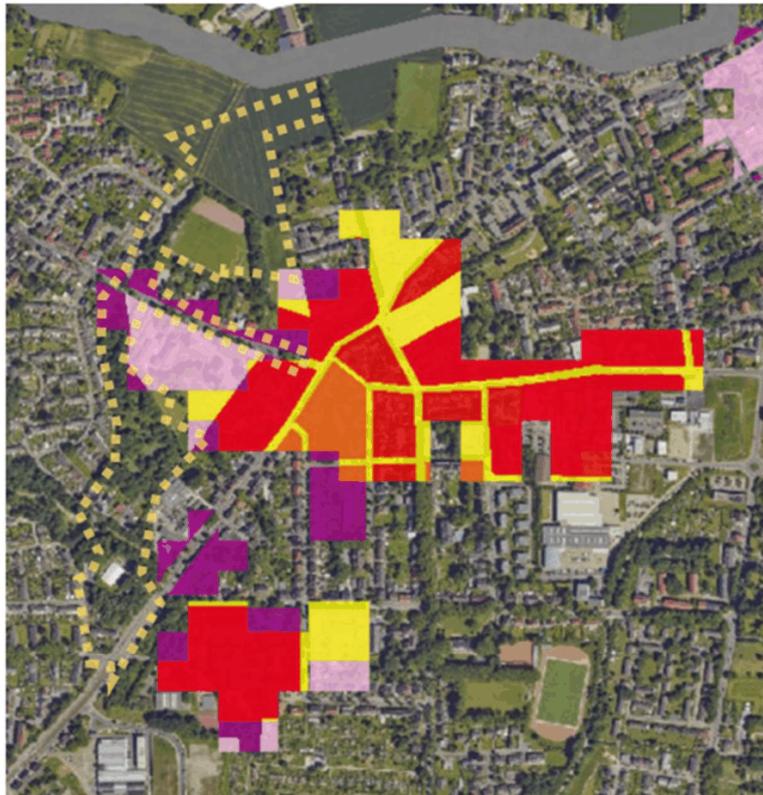
Auch in der Abb. 13 sind **Fehler** in der Ausweisung der Belastungsstufen zu verzeichnen (zur Ursache vgl. S. 17). Die Waldflächen südlich des Krankenhauses (1) und des Ostbachtals (2) sind aufgrund der Verschattung als *schwach* wärmebelastet einzustufen (*leicht warm* mit < 29 °C PET), während der versiegelte Marktplatz (3) *heiß* sein sollte (35 °C bis 41 °C PET). Das Gewerbegebiet Lothringen (4) müsste sogar die höchste Belastungsstufe *sehr heiß* (> 41 °C PET) erhalten, wie z. B. das Gewerbegebiet Gerthe Nord.

Im Hinblick auf den **Klimawandel** ist für die Siedlungsbereiche in Zukunft ein weiterer Anstieg der Wärmebelastung zu erwarten. Dabei steigt der Handlungsbedarf mit der flächenbezogenen Bevölkerungsdichte. Das Klimaanpassungskonzept der STADT BOCHUM (2012) zeigt für den Bereich zwischen Gerther Zentrum und Gewerbegebiet Lothringen sowie für das Schulzentrum bereits für die **heutige Situation** eine hohe Betroffenheit für sommerliche Wärmebelastungen (Zone 1 in **Abb. 14**). In **Zukunft** werden diese Bereiche um Flächen erweitert, die heute (noch) als mäßig belastet gelten, durch den zukünftigen Temperaturanschlag jedoch dann als hoch belastet eingestuft werden müssten (Zone 2). Im **Plangebietsbereich** sind hiervon insbesondere der Bereich entlang der Hiltroper Landwehr einschließlich der Areale des Krankenhauses und der St. Elisabethkirche betroffen.

**Insgesamt stellt der Plangebietsbereich innerhalb des klimatischen Wirkungsgefüges Hiltrops und Gerthes einen klimatischen Gunstraum mit *potenzieller* Ausgleichsfunktion für die angrenzenden Siedlungsbereiche dar, wengleich sich diese auf die westlichen Hiltroper Wohngebiete beschränken und das Gerther Zentrum ausschließen.**

Die Ausgleichsfunktion des Plangebietes ist insofern wichtig, als die angrenzenden Siedlungen dem *Klimawandel-Vorsorgebereich* der Klasse 3 gemäß Klimaanalyse NRW (LANUV NRW 2018) zugeordnet werden (**Abb. 15**, S. 23). Zitat:

*„Klasse 3 – weniger günstige thermische Situation: Mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur **Verbesserung der thermischen Situation** werden empfohlen. Nachverdichtungen sollten nicht zu einer Verschlechterung auf der Fläche selbst bzw. angrenzenden Flächen führen und die Baukörperstellung sollte beachtet sowie möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.“*



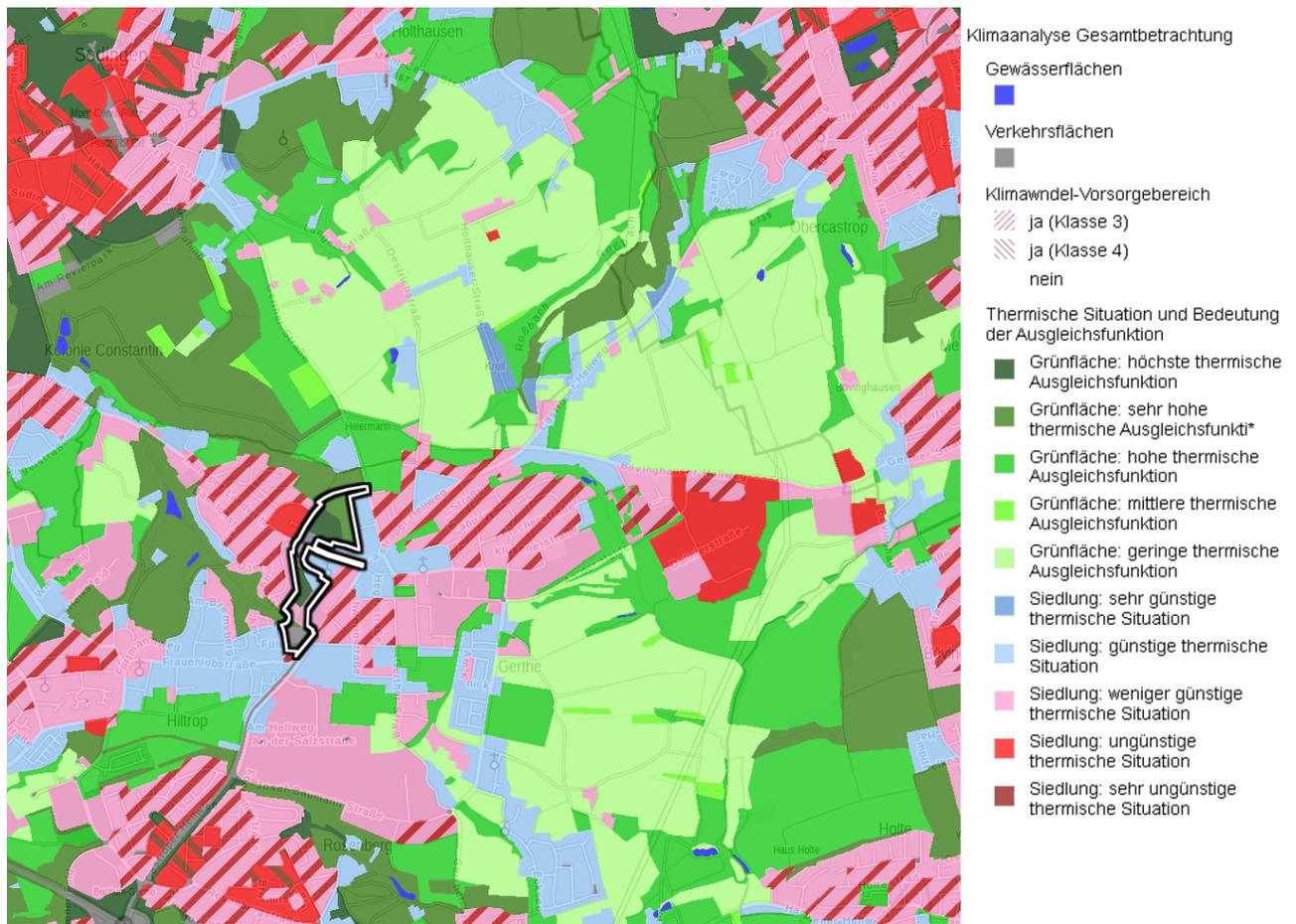
**Zone 1 Gebiete mit einer Hitzebelastung im Ist-Zustand**

- Typ A** Durchschnittliche Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel
- Typ B** Hohe Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel
- Typ C** Sehr hohe Bevölkerungsdichte und / oder überdurchschnittlich hoher Anteil an Personen ab 65 Jahre im Bereich der Hitzeinsel

**Zone 2 Gebiete, die im Zukunftsszenario 2051-60 durch eine Ausweitung der Hitzebelastung betroffen sein werden**

- Typ A** Durchschnittliche Bevölkerungsdichte im Bereich der neuen Hitzeinsel
- Typ C** Hohe bis sehr hohe Bevölkerungsdichte und / oder überdurchschnittlich hoher Anteil an Personen ab 65 Jahre im Bereich der neuen Hitzeinsel

Abb. 14: Auszug aus der "Handlungskarte Klimaanpassung" der Stadt Bochum (STADT BOCHUM 2012).



Weißer Grenze: Plangebiet. Quelle: FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)), Planet Observer © LANUV 2018.

**Abb. 15: Bewertung der klimatischen Situation während austuscharmer klarer Witterung in der Umgebung des Plangebietes „Gerthe-West“.**

## 5 Methodik

Die im vorigen Kapitel aufgezeigten klimatischen Sachverhalte gelten für Maßstabsebenen, die für die Bewertung von Bauvorhaben im Gebäudemassstab zu grob sind. Da in der hier betrachteten klimatischen Mikroskala die Topografie von Flächennutzungen nur bis in geringe Entfernungen wirkt (STULL 1988, ORLANSKI 1975), ist die lokale Klimatologie mit räumlich hoch auflösenden Verfahren zu untersuchen. Da zudem auch die klimatischen Auswirkungen des zukünftigen Bauvorhabens auf die nähere Umgebung quantitativ analysiert und bewertet werden sollen, können hier nur **prognostische Verfahren** angewendet werden. Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden hierzu **numerische Simulationsmodellverfahren** (BAKLANOV et al. 2009) eingesetzt. Da hier u. a. der Einfluss von Vegetation und Gebäudebegrünungen untersucht werden sowie eine Bewertung des Human-Bioklimas erfolgen soll, ist die Auswahl geeigneter Modelle sehr begrenzt (BONGART 2006). Das einzige Modell, das diese Anforderungen derzeit erfüllen kann, ist das mikroskalige Simulationsmodell *ENVI-met@ 4.4 Business* (BRUSE & FLEER 1998), das allgemein anerkannt ist und sich für derartige Fragestellungen bewährt hat (SALATA et al. 2016, BONGART 2006). Dieses Modell wird auch für die hiesige Aufgabenstellung benutzt.

## 5.1 Grundlagen

Bei dem rechnergestützten Atmosphärenmodell ENVI-met handelt es sich um ein dreidimensionales, gekoppeltes **Strömungs-Energiebilanzmodell**, das mittels numerischer Verfahren den atmosphärischen Zustand über einer Erdoberfläche mit konkreter Beschaffenheit zu einem definierten Zeitpunkt berechnen und dreidimensional abbilden kann. Die physikalischen Grundlagen des Modells basieren auf den Gesetzen der Strömungsmechanik (Windfeld), der Thermodynamik (Temperaturberechnungen), der allgemeinen Atmosphärenphysik (z. B. Strahlungshaushalt) sowie der Human-Thermophysio­logie (metabolischer Wärme­haushalt) (BRUSE 2004). Die Interaktion zwischen Topografie und Atmosphäre wird über die vier gekoppelten Teilmodelle Atmosphäre (3D, nicht-hydrostatisch), Boden/Grenzfläche (3D), Vegetation (1D) sowie ein Randmodell für den externen atmosphärischen Antrieb beschrieben.

Bei dem Simulationsverfahren wird die Realität in einem numerischen **dreidimensionalen Raumgitter** abgebildet, welches sowohl die Erdoberfläche inklusive Boden, Bebauung und Vegetation als auch die Atmosphäre einschließt. Hierbei werden Gebäude und Vegetation explizit lage- und maßstabsgetreu abgebildet. Für die atmosphärischen Gitterzellen werden die atmosphärischen Zustände des Impulses (Wind, Transport), der Wärme und der Feuchte berechnet. Durch die Berücksichtigung der physikalisch-mathematischen Interaktion benachbarter Atmosphäregitterzellen sowohl untereinander als auch mit der digitalisierten Erdoberfläche sowie durch die Berechnung der zeitlichen Änderung der atmosphärischen Zustandsgrößen in diskreten Zeitschritten kann der atmosphärische Zustand abgebildet werden.

Um das Modell operabel halten zu können, ist eine bei numerischen Modellen allgemein übliche, vereinfachende **Abstraktion** der Realität notwendig, in dem einerseits der reale Raum in ein diskretes Raumgitter zerlegt wird, sodass das Modell umso ungenauer arbeitet, je gröber die Gitterauflösung ist. So können z. B. Straßenbögen, runde Wände, Baumkronen oder schräge Dächer nicht naturgetreu abgebildet werden, sondern müssen in rechteckige Würfelkubaturen zerlegt werden. Ferner müssen die Oberflächeneigenschaften parametrisiert werden, da die Vielzahl der in natura anzutreffenden Objekte (Bau-, Gesteins- und Bodenmaterialien sowie Vegetationsarten) einschließlich ihrer morphologischen und thermophysikalischen Eigenschaften nicht in ihrer Gesamtheit erfasst werden kann. Stattdessen können nur einige wenige repräsentative Objekttypen berücksichtigt werden, die zur Parametrisierung der übrigen Typen herangezogen werden. Darüber hinaus ist in ENVI-met bei **Gebäuden** eine Differenzierung des Baumaterials (Stein, Beton, Holz, etc.) oder Fassadeneigenschaften (Farbe, Verglasung, Begrünung, Dämmung, etc.) derzeit nur für die Untersuchung von Einzelgebäuden, jedoch nicht für ganze Quartiere vorgesehen, sodass für sämtliche Gebäude einheitliche thermophysikalische Parameter definiert werden.

Im **Bodenmodell** sind unterschiedliche Bodenarten (u. a. Sand, Schluff, Ton oder Lehm) mit ihren jeweiligen thermophysikalischen und hydrologischen Eigenschaften differenzierbar.

Die **Vegetation** ist bezüglich Gestalt und Evaporationsphysiologie differenzierbar, sodass in Abhängigkeit des Bodensubstrates und des Bodenwassergehaltes Verdunstungs- und damit verbundene Abkühlungseffekte berechnet werden können. Die Vegetation kann auch als **Dachbegrünung** verarbeitet werden.

Das Modell kann das **Relief** berücksichtigen, allerdings auf Kosten der Anzahl vertikaler Modellatmosphärenschichten, welche modellbedingt begrenzt ist. Daher müssen bei größeren Geländehöhenunterschieden, beispielsweise in Tälern wie in diesem Fall, zur Erlangung einer hinreichend hohen Atmosphäre über den höchsten Geländepunkten sehr große Schichtdicken gewählt werden, sodass im Gegenzug die vertikale Auflösung in Bodennähe sehr ungenau wird. Daher sind nur die im **Mikrorelief** anzutreffenden Geländehöhenunterschiede von wenigen Metern, wie beispielsweise kleinere Dämme, Wälle oder Regenrückhal-

tebecken, sinnvoll darstellbar, während für das gesamte Simulationsgebiet weiterhin eine ebene Fläche angenommen wird. Da im vorliegenden Fall jedoch das Relief aufgrund der großen Höhenunterschiede gebietsweit von klimatischer Bedeutung ist, wird es hier dennoch verwendet, indem es auf 29 % des maximalen Höhenunterschiedes eingestaucht wird, um einen sinnvollen Kompromiss aus kleiner vertikaler Gitterauflösung und Reliefausprägung zu erreichen.

Neben der Information zur Beschreibung der Erdoberfläche ist für die Simulation die Vorgabe von **meteorologischen und bodenklimatischen Randbedingungen** erforderlich. Diese beinhalten sowohl Angaben zu den gewünschten Witterungsbedingungen, zum Monatsdatum (aus dem die solaren Strahlungsbedingungen und damit der Wärmehaushalt zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre berechnet werden) sowie zu lokal- und regionalspezifischen klimatischen Besonderheiten, insbesondere den Windverhältnissen. Auch Bodentemperaturen und -feuchtigkeiten (Wassergehalt als relativer Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers zwischen Welkepunkt und Feldkapazität) werden vorgegeben. Diese modellinitialisierenden meteorologischen Randbedingungen gelten zum Zeitpunkt des Modellstarts für das gesamte Modellgebiet, sodass innerhalb des Gebietes anfangs keine räumliche Differenzierung dieser Parameter (z. B. nach kühlen Waldflächen und heißen Asphaltflächen oder nach hitzetrockenen Brachenböden und bewässerten Parkböden) möglich ist. Die räumliche Klimadifferenzierung wird erst während der Simulation iterativ durch die Berechnung aufeinander aufbauender Modellzeitschritte generiert. Für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit werden **Tagesgangwerte** vorgegeben, die zu erreichen sind und anhand derer die Simulationsergebnisse modellintern kalibriert werden (sog. Forcing).

Ausgehend von den topografischen und klimatischen Eingangsparametern können anschließend für die atmosphärischen Gitterzellen zahlreiche klimatische Zustandsgrößen berechnet werden, unter anderem die hier benötigte Windgeschwindigkeit und -richtung, Lufttemperatur und die thermische Behaglichkeit PET<sup>3</sup>.

**Sämtliche Aussagen von ENVI-met beziehen sich ausschließlich auf den Außenbereich im Freien. Aussagen über das Klima in Gebäuden können nicht getroffen werden.**

**Hinweis:** Obwohl Simulationsmodelle derzeit die einzige Möglichkeit darstellen, **Plan-Zustände** einer klimatischen Situation in hoher räumlicher Auflösung zu untersuchen, können sie atmosphärische Prozesse aufgrund der erforderlichen Vereinfachungen nur **näherungsweise** beschreiben (HUPFER & KUTTLER 2006) und sind damit eher für **relative Aussagen** und weniger zur Ermittlung absoluter, korrekter Werte geeignet (BAKLANOV et al. 2009). Die Erfahrung zeigt jedoch, dass die Simulationsergebnisse in der Regel **plausibel** sind. Sollten Zweifel an Simulationsergebnissen bestehen, sind nach Eintreten des Plan-Zustandes **verifizierende In-Situ-Messungen** zu empfehlen.

<sup>3</sup> Details siehe Fußnote 2 auf S. 4. Der PET-Wert wird direkt aus den simulierten meteorologischen Größen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungstemperatur und Windgeschwindigkeit unter zusätzlicher Berücksichtigung humanphysiologischer Kenngrößen sowie des Grades der körperlichen Aktivität und der Bekleidungsart berechnet.

## 5.2 Eingangsdaten

Als Eingangsdaten werden digitale Geländemodelle sowie Parameter für die meteorologischen Randbedingungen benötigt.

### 5.2.1 Digitale Geländemodelle

Die Größe der für das **digitale Geländemodell** festzulegenden Untersuchungsfläche richtet sich nach dem atmosphärischen Prozessmaßstab, der im hiesigen Fall der Mikroskala (STULL 1988) entspricht. Hierbei wirken sich in Städten die atmosphärischen Prozesse nur im Nahbereich der gegebenen Flächennutzungsstrukturen aus. Beispielsweise beträgt bei der Umströmung von Gebäuden die Länge der leeseitigen Störzone ca. dem 10- bis 17-fachen der durchschnittlichen Gebäudehöhe, bis das ursprüngliche Strömungsfeld zu 90 % bzw. 95 % wieder hergestellt ist. (EICHHORN 1989, VDI 2010). Der Prozessraum in dieser Untersuchung wird daher durch die Gebäudeensembles und die Freiflächen des Plangebietes und die potenziellen umliegenden Wirkräume, insbesondere der Wohngebiete, vorgegeben. Unter der Annahme, dass die noch zu planenden Neubauten bis zu 6 Etagen hoch sein könnten, würde der Wirkungsbereich des Plangebietes gemäß EICHHORN (1989) und VDI (2010) leeseits bis in eine Entfernung von ca. 330 m reichen. Da zusätzlich auch das klimatische Wirkungsgefüge im übrigen Umfeld des Plangebietes einschließlich der Wohngebiete berücksichtigt werden muss, wird im vorliegenden Fall die Größe des Simulationsgebietes auf 1.300 m x 1.500 m entsprechend einer Größe von 195 ha festgelegt. Das Simulationsgebiet ist mit den Abbildungen Abb. 4 (S. 12) und Abb. 5 (S. 13) identisch.

Das Simulationsgebiet muss entsprechend Kap. 5.1 in ein digitales Raumgitter überführt werden. Die Gitteranzahl des Modells ist zwar unbegrenzt und der Abbildungsmaßstab der Gitterzellen frei wählbar, allerdings ist aus rein hardwaretechnischen Gründen in Hinblick auf Rechenzeiten von bis zu mehreren Wochen der Einsatz sehr hochauflösender Gitter wenig sinnvoll. Bei großen Gebieten wie dem hier untersuchten Areal ist daher ein **Kompromiss** zwischen der Gitteranzahl und der Gitterzellenauflösung (Detailgrad) zu finden. Um das komplette Gebiet des Planentwurfes mit Abmessungen von 1.300 m x 1.500 m abbilden zu können, wird ein Gitter aus 325 x 375 Zellen mit einer Gitterauflösung von 4 m verwendet (vgl. Tab. 3, S. 32).

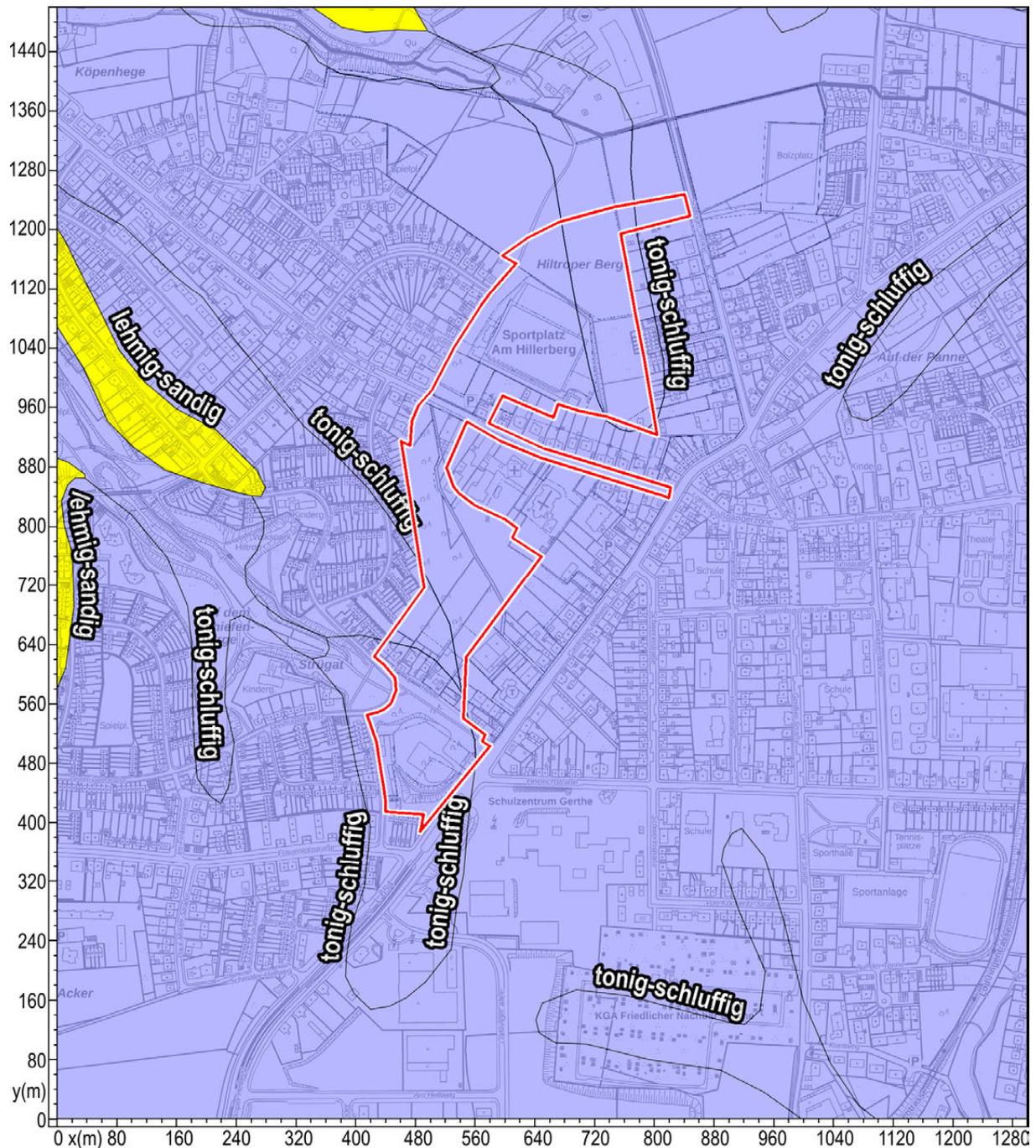
Für die vollständige Erzeugung des digitalen Geländemodells müssen nachfolgend die Boden-, Gebäude- und Vegetationsmerkmale des Ist-Zustandes des Untersuchungsgebietes erfasst werden.

Die Digitalisierung der Geländemodelle beruht auf einem digitalen Geländehöhenmodell (LAND NRW 2020), der Auswertung von Luftbildern und topografischen Karten (LAND NRW 2020 und GOOGLE EARTH 2020), Bodenkartierungen (Stadt BOCHUM 2020 und LAND NRW 2020), einem digitalen Gebäudehöhenmodell (LAND NRW 2020) und einer Ortsbegehung vom 20.04.2020.

Die Gebietsdetails wurden dabei im Rahmen der Modellmöglichkeiten so genau wie möglich umgesetzt (4 Meter horizontale und 1 Meter vertikale Genauigkeit).

Die **Böden** und Oberflächenarten werden für die Berechnung der atmosphärischen Energie- und Wärmebilanz (Erwärmung und Verdunstung) auf nicht bebauten Flächen benötigt. Hier dominieren tonig-schluffige Böden und vereinzelte lehmig-sandige Böden in den Niederungen von Ostbach- und Mühlenbachtal (**Abb. 16**).

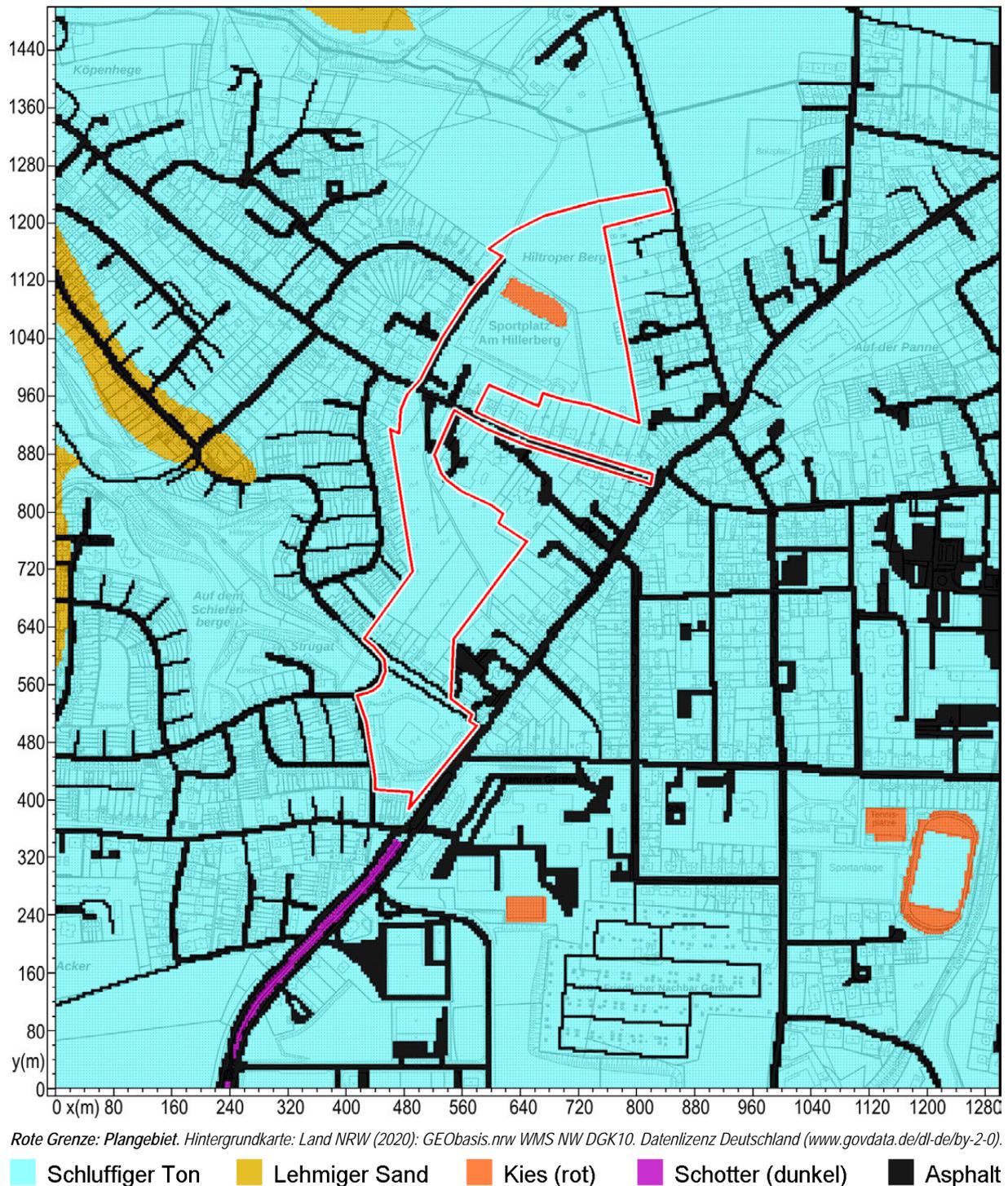
Bei den Bodenoberflächen wird zwischen Asphalt, Schotter und Asche-Sportflächen (Kies rot) unterschieden. Das fertige Boden- und Oberflächenmodell ist in **Abb. 17** (S. 28) dargestellt.



*Rote Grenze: Plangebiet. Bodendaten: STADT BOCHUM (2020) Umwelt- und Grünflächenamt, Untere Bodenschutzbehörde und LAND NRW (2020): GEObasis.nrw Bodenkarte NRW 1:50.000 IS BK 50 (WMS), Geologischer Dienst NRW <https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?>. Datenlizenz Deutschland ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).*

**Abb. 16: Böden im Plangebiet „Gerthe-West“ und der näheren Umgebung.**

Die Erstellung des Gebäude- und Vegetationsmodells erfolgte primär anhand der Luftbildaufnahme (Abb. 5, S. 13), der Ortsbegehung und Google-Earth-Bildern. Die **Gebäudehöhen** wurden aus dem digitalen Gebäudemodell mit einer modellbedingten Genauigkeit von 1 Meter ausgelesen.



**Abb. 17: Digitales Boden- und Oberflächenmodell zum Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes „Gerthe-West“.**

Das **Vegetationsmodell** nimmt für alle Pflanzen einen einheitlichen Metabolismus an. Die Differenzierung erfolgt daher ausschließlich über die Pflanzengestalt anhand von Pflanzenhöhe, Pflanzendurchmesser und Pflanzen- bzw. Blattdichte (LAD). Bei der Pflanzenhöhe ist eine Unterscheidung zwischen blattfreien Stammraum (Baum) und beblättertem Rumpf (Hecke) möglich. Eine Differenzierung in weitere physiologische oder morphologische Strukturen, wie z. B. Laubbäume, Koniferen, Wiesen oder Blumenbeete, ist nicht vorgesehen.

Unter diesen Bedingungen erfolgt eine Differenzierung der Vegetation in folgende Typen:

Für flächenhafte, Boden deckende Vegetation im Bereich der Gebäude und offenen Grünflächen wird eine Grasnarbe von 5 cm Höhe angesetzt, für Landwirtschaftsflächen eine Grasnarbe von 50 cm Höhe. Die Brachflächen im Gewerbegebiet Gerthe-Süd sind zwar flächenhaft, aber nicht flächendeckend mit nur sporadischen Gräsern und Kräutern auf ansonsten nacktem Boden begrünt, sodass hier behelfsmäßig ein Mosaik aus wechselnden Kacheln mit 5-cm-Gras und nacktem Boden gewählt wurde.

Die Höhe der Bäume wurde aus Schrägluftbildern und Straßenpanoramen von Google Earth durch Vergleich der Kronenhöhen mit benachbarten Gebäuden, deren Höhe bekannt ist, abgeschätzt. Im Einzelnen werden die Baumhöhen sowie Büsche, Sträucher und Hecken mit 1 Meter-Genauigkeit verarbeitet.

Das fertige digitale Gebäude- und Vegetationsmodell des Ist-Zustandes ist in **Abb. 18** und **Abb. 19** (S. 31) dargestellt.

### 5.2.2 Meteorologische Randbedingungen

Als Witterungsszenario wird ein, für die vorliegende Fragestellung üblicher, typischer Tagesverlauf eines autochthonen **heißen Sommertages** angenommen, der wolkenfrei, sonnenreich und austauscharm, d. h. von überregionalen Windfeldern unbeeinflusst, ist. Unter diesen Bedingungen kommen lokalklimatische Effekte besonders zur Geltung (HUPFER & KUTTLER 2006, MW-BW 2012). Die Wärmebelastung in dieser Situation ist aus bioklimatischer Sicht als kritisch zu betrachten (MUNLV 2010).

Fehlende Bewölkung führt am Tage zu hoher Sonneneinstrahlung und damit zur Aufheizung der urbanen Oberflächen. Die Böden sind jedoch noch hinreichend feucht, sodass Verdunstung zur Senkung der Lufttemperaturen stattfinden kann. Es werden Tageshöchsttemperaturen von 30 °C (*heißer Tag*) überschritten. Mangelnde Durchlüftung führt zu Wärmestau im Quartier. Hitzestress am Tage ist somit in dieser Situation gegeben. Auch nächtliche Abkühlung findet kaum oder nur langsam statt. Die Bedingungen einer Tropennacht (Tiefsttemperatur > 20°C) werden erreicht.

Modelltechnisch werden die atmosphärischen Prozesse durch die im Tagesgang vorgegebene Sonneneinstrahlung auf das Geländemodell und dessen stetige Interaktion mit der Atmosphäre (insbesondere Wärmestrahlung der Oberflächen und anschließender atmosphärischer turbulenter Wärmetransport) generiert. Für das Witterungsszenario werden daher die meteorologischen Bedingungen für den Zeitpunkt kurz vor Sonnenaufgang (5 Uhr) als Beginn des meteorologischen Tageszyklus vorgeben (siehe **Tab. 3**, S. 32). Hiervon ausgehend werden 24 numerisch aufeinander aufbauende Stundendatensätze der meteorologischen Parameter berechnet.

Das Datum, mittels dessen der astronomisch bedingte Strahlungshaushalt (welcher den Energie-/Wärmehaushalt im System Erdoberfläche-Atmosphäre maßgeblich bestimmt) errechnet wird, wird auf den 21. Juni festgesetzt, da hier der solare Strahlungsantrieb am größten ist.

Für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit werden die jeweiligen Tagesgänge über Stundenmittelwerte vorgegeben (**Abb. 20**, S. 32), die zu erreichen sind und anhand derer die Simulationsergebnisse modellintern kalibriert werden. Dabei werden typisierte Werte aus einer langen Messreihe einer nordwestdeutschen Großstadt verwendet.

Die Windverhältnisse wurden aus den in Kap. 4 (ab S. 14) dargestellten Voruntersuchungen für Bochum übernommen.

[Fortsetzung Text auf S. 32.]

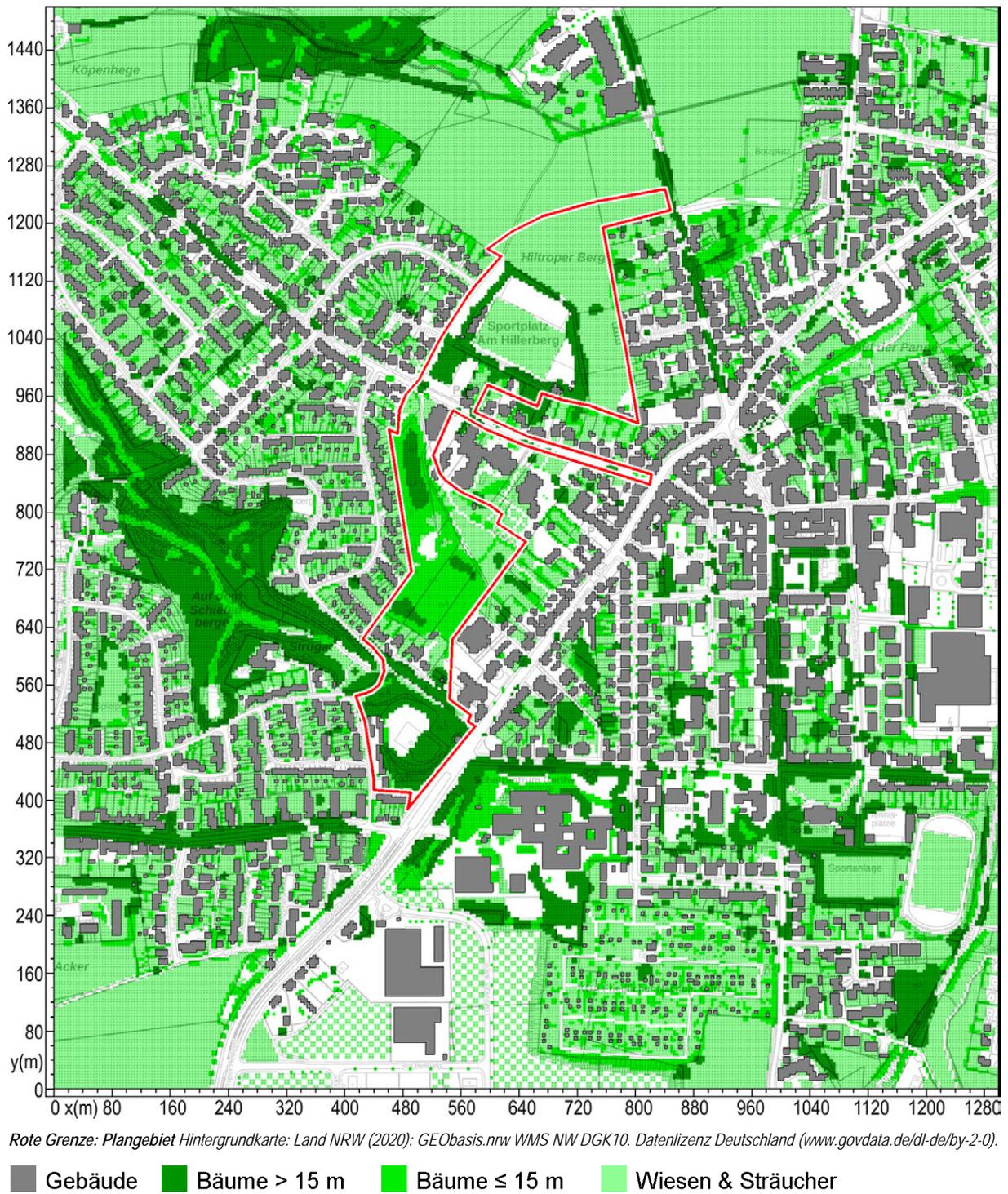


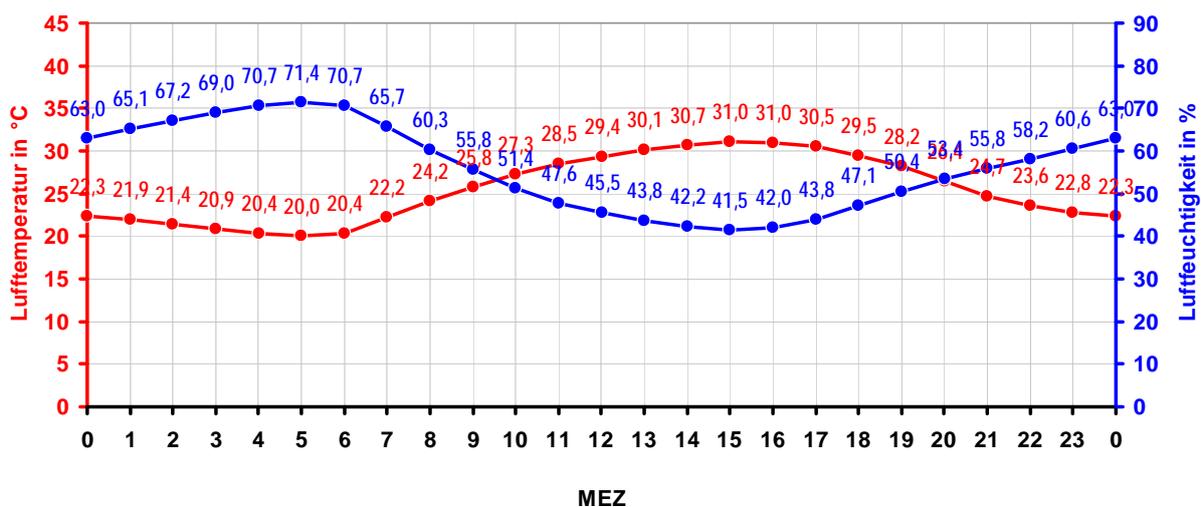
Abb. 18: Digitales Gebäude- und Vegetationsmodell zum Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes „Gerthe-West“.



Abb. 19: 3D-Ansicht mit Blickrichtung Nord des digitalen Gebäude- und Vegetationsmodells i zum Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes „Gerthe-West“.

**Tab. 3 Initialisierungsparameter für das Simulationsmodell ENVI-met zur stadtklimatischen Untersuchung des Bauvorhabens „Gerthe-West“.**

<b>Modelldimensionierung (3D)</b>		
Gebietsgröße (x, y, z) / m	1.300, 1.500, 61 = 195 ha	
Gittergröße (x, y, z) / m	4, 4, 1 – 14	(Höhe z variabel: ab 12 m ü. Gr.: $z_n = z_{n-1} + 30\%$ )
Gitteranzahl (x, y, z) / n	325, 375, 25	
Modelltagstunden bzw. Witterungsandauer / h	35	
Zeitliche Auflösung des Modellaufes / h	1,0	
<b>Meteorologische Randbedingungen</b>		
Start Simulation für Datum (DD.MM.)	21.06.	
Start Simulation zur Ortszeit (HH:MM) / MEZ	05:00	= Startzeitpunkt der Einschwingphase (11h)
Simulationsschritte (Modelltagstunden)	35	(Einschwingphase + 24h-Zyklus)
Windgeschwindigkeit in 10 m ü. Gr. / m/s	1,0	Quelle: Voruntersuchung (KUTTLER et al. 2008, LANUV 2018)
Übergeordnete Windrichtung / Grad	150 (SSE)	Quelle: Voruntersuchung (KUTTLER et al. 2008, LANUV 2018)
Initiallufttemperatur (2 m ü. Gr.) / °C	siehe Tagesgang	
Relative Initialluftfeuchte (2 m ü. Gr.) / %	siehe Tagesgang	
Bewölkung (x/8)	0	
<b>Bodenparameter</b>		
Initialtemperatur obere Schicht (0-20 cm) / °C	22,8	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Initialtemperatur mittlere Schicht (20-50 cm) / °C	23,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Initialtemperatur untere Schicht (< 50 cm) / °C	23,0	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Bodenwassergehalt* obere Schicht (0-20 cm) / %	75	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Bodenwassergehalt* mittl. Schicht (20-50 cm) / %	80	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
Bodenwassergehalt* untere Schicht (< 50 cm) / %	80	Quelle: KUTTLER et al. 2012b
* Wassergehalt als relativer Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers zwischen Welkepunkt und Feldkapazität		



Datengrundlage: Mittlerer Tagesgang der Stundenmittelwerte von 38 heißen Tagen einschließlich Tropennacht der Messperiode 2003 – 2010 an der ehemaligen Umlandstation Essen Haarzopf der Universität Duisburg Essen.

**Abb. 20: Typischer mittlerer Tagesgang der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit für einen heißen Tag mit Tropennacht.**

Für die Bodendaten wurden in guter Näherung Messwerte aus der Nachbarstadt Essen verwendet.

Für den Simulationsstartzeitpunkt um 5 Uhr morgens beträgt somit die Bodentemperatur 22,8 °C bei einem Bodenfeuchtegehalt von 75 % (relativ zur Feldkapazität). Die Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. liegt bei 20,0 °C bei einem Luftfeuchtegehalt von 71,4 %. Der übergeordnete Wind in 10 m ü. Gr. weht mit einer Geschwindigkeit von 1,0 m/s aus Südsüdost (150°). Die Gebäudeinnentemperatur beträgt 23 °C. Bezüglich der humanphysiologischen Vorgaben zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit wird in dem Szenario eine Durchschnittsperson angenommen, die sich mit normalem Tempo (1,0 m/s) bewegt und leichte Sommeroberbekleidung (Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung clo = 0,5) trägt.

## 6 Ergebnisse

Das Modell ENVI-met stellt Ergebnisse für eine Vielzahl klimatologischer Parameter zur Verfügung. Im Hinblick auf die Aufgabenstellung werden für die Auswertung nur diejenigen klimatologischen Parameter herangezogen, die für die Fragestellung die Ableitung sinnvoller und eindeutiger Aussagen erlauben. Diese sind die **Lufttemperatur**, die **Windverhältnisse** und die **thermische Behaglichkeit** PET.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für folgende Tageszeiten:

- Tagsituation (15 Uhr, wärmste Stunde des Tages)  
Während des Nachmittages von sehr warmen bis heißen Sommertagen werden die höchsten Tagestemperaturen erreicht, sodass zu dieser Zeit auch die Wärmebelastung am größten ist. Aus bioklimatischer Sicht ist dieser Zeitpunkt daher als Worst-Case zu betrachten.
- Abendsituation (23 Uhr, Zeitpunkt des stärksten Ruhebedarfs)  
Die späte Abendsituation ist aus medizinischer Sicht von Interesse, da zu dieser Zeit der Biorhythmus im Allgemeinen in den Nachtmodus (Schlaf) wechselt. Dabei könnten thermische Belastungen zu mangelnder Nachtruhe und Erschöpfung führen.
- Nachtsituation (5 Uhr, kühlsste Stunde des Tages)  
Zum Ende der Nacht werden früh morgens kurz vor Sonnenaufgang die niedrigsten Tagestemperaturen erreicht, sodass diese Tageszeit das Optimum der für einen sehr warmen bis heißen Sommertag zu erwartenden thermischen Verhältnisse aufzeigt. Sofern auch zu dieser Zeit thermisch mindestens behagliche Bedingungen überwiegen, ist davon auszugehen, dass die nächtliche Erholungsfunktion im Verlauf der Nacht erreicht wird. Sollte hingegen zu dieser Uhrzeit noch eine Wärmebelastung festgestellt werden, deutet das auf überwärmte Wohnungen insbesondere in Obergeschossen hin, in denen eine nächtliche Erholung nicht gewährleistet sein könnte.

Das Windfeld wird nur einmalig analysiert, da modellbedingt die vorgegebene Strömungssituation im Tagesgang konstant ist.

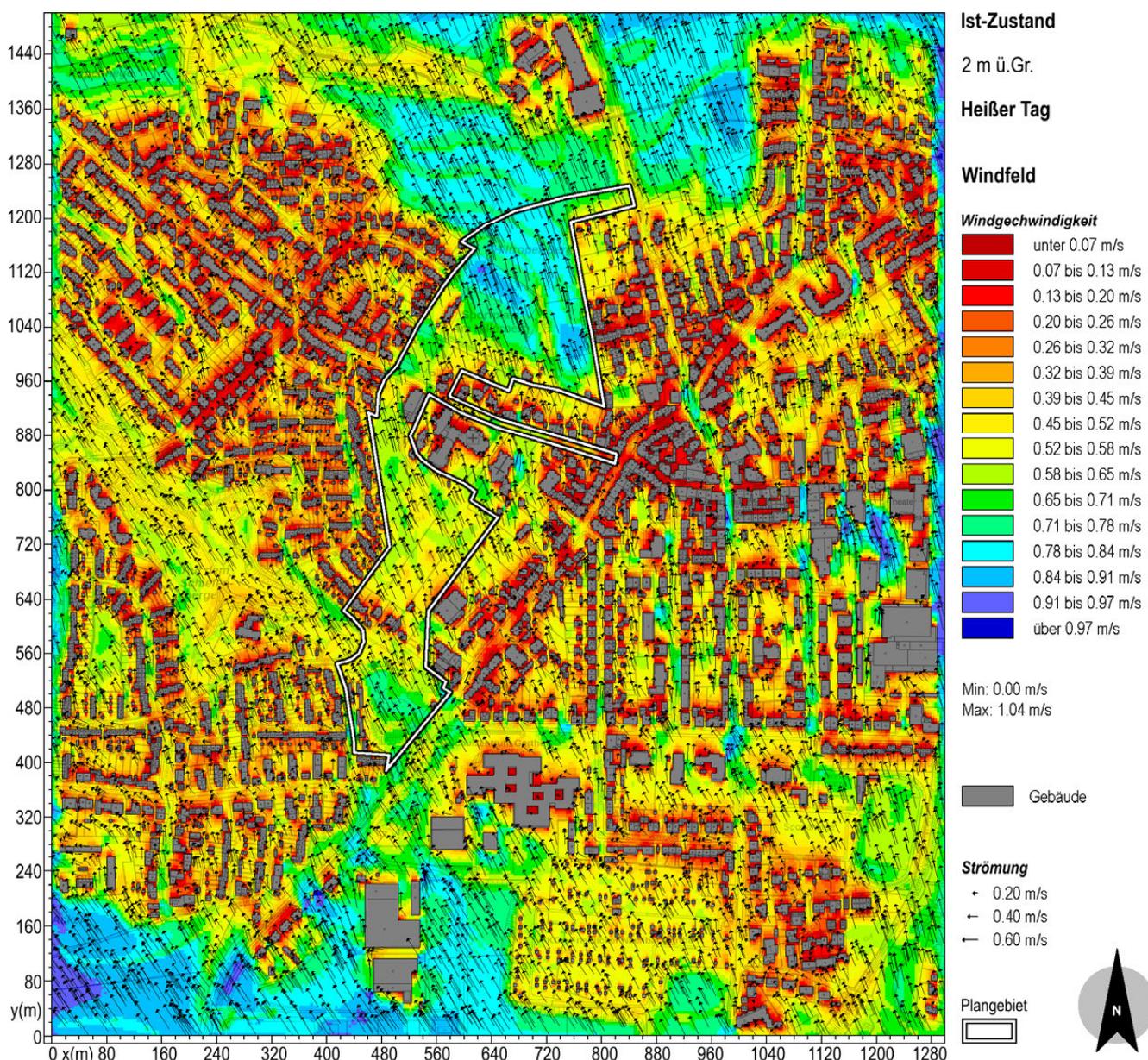
Sämtliche beschriebenen Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den **Außenbereich** im Freien, da Aussagen über das Klima *in* Gebäuden modellbedingt nicht getroffen werden können. Aufgrund der vorliegenden mikroskaligen und stadtklimatischen Verhältnisse sowie im Hinblick auf den unteren **Straßenraum** als Hauptaufenthaltsort der fußläufigen Stadtbevölkerung beziehen sich sämtliche Ergebnisse auf eine Betrachtungshöhe von **2 Metern** über Grund (vgl. OKE 1999), soweit nicht anders angegeben. Dabei sind Gebäude als graue

Grundrissflächen dargestellt. Ferner beziehen sich alle Zeitangaben auf Mitteleuropäische (Winter-) Zeit (MEZ). Eine Unterscheidung zwischen Winterzeit (MEZ) und Sommerzeit (MESZ) erfolgt nicht.

### 6.1 Windfeld

Das Windfeld eines heißen Tages ist in **Abb. 21** dargestellt. Entsprechend der Vorgabe eines Südsüdostwindes (SSE) erfolgt die Anströmung vom unteren rechten Kartenrand her.

Das Strömungsmuster wird durch die Topografie des Untersuchungsraumes geprägt, wobei insbesondere Gebäude und Baumgruppen Strömungshindernisse darstellen.



Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 21: Windfeld in 2 m. ü. Gr. während eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“**

**Gute Austauschverhältnisse** mit Windgeschwindigkeiten  $> 0,8$  m/s herrschen daher vor allem auf weitläufigen **offenen Flächen** vor, insbesondere auf den Landwirtschaftsflächen Böverste Acker und Hiltroper Berg, gefolgt vom Gewerbegebiet Gerthe-Süd und einem kleinen Bereich im Gewerbegebiet Lothringen, wo durch die Gebäudekonstellation bedingte Düseneffekte auftreten.

Bei mittelgroßen offenen Freiflächen tritt eine **Reduzierung der Windgeschwindigkeit** bereits ein, wenn diese von Baumreihen umgeben sind. Gute Beispiele hierfür sind die **Sportplätze** Hillerberg und Heinrichstraße mit  $0,6$  m/s bis  $0,8$  m/s.

Sobald **Bäume** nicht nur an den Rändern, sondern auch innerhalb der Flächennutzungen vorkommen, wird die Durchlüftung im Bodenniveau weiter abgeschwächt. In **Gärten** beträgt die Windgeschwindigkeit  $0,5$  m/s bis  $0,6$  m/s (z. B. beim *KGA Friedlicher Nachbar Gerthe*) und im Stammraum der **Gehölze** und **Wälder** nur noch  $0,4$  m/s bis  $0,5$  m/s. Die Flächen sind dabei jedoch i. d. R. noch groß genug, um eine Strömungsblockade zu verhindern.

Im Umfeld der **Gebäude** ist die Durchlüftung mit  $< 0,3$  m/s am geringsten. Die ungünstigen Durchlüftungsverhältnisse finden sich bei dicht angeordneten Gebäuden in engen Hinterhöfen und schmalen Straßenschluchten sowie in Straßen, die quer zur Anströmrichtung liegen und damit einen Strömungsriegel bilden. Dort kommt die Durchlüftung faktisch zum Erliegen (**Strömungsblockaden**). Dieses trifft hier auf viele Gebäude zu, ist aber besonders deutlich an der Karl-Ernst-Straße, aber auch am Castroper Hellweg oder der Heimatscholle zu erkennen.

Eine leichte Verbesserung der Durchlüftung im Umfeld von Gebäuden tritt ein, wenn die Straßenverläufe weitgehend zur **Anströmrichtung ausgerichtet** sind, sodass der Wind weitgehend ungehindert in den Straßenraum eindringen kann. Gute Beispiele hierfür sind Solinger Straße / Hans-Sachs-Straße / Gerther Straße, Schwerinstraße oder Paul-Müller-Straße. **Hierauf ist auch bei der späteren Planung zu achten.**

**Eine Belüftungswirkung des eigentlichen Plangebietes auf die benachbarten Siedlungsbereiche im Sinne eines Vordringens der bodennahen Strömung ist nicht festzustellen, da geeignete Ventilationsbahnen fehlen und daher die Gebäude und Bäume der Gärten zusammen Strömungsriegel darstellen.**

## 6.2 Klimatische Tagsituation

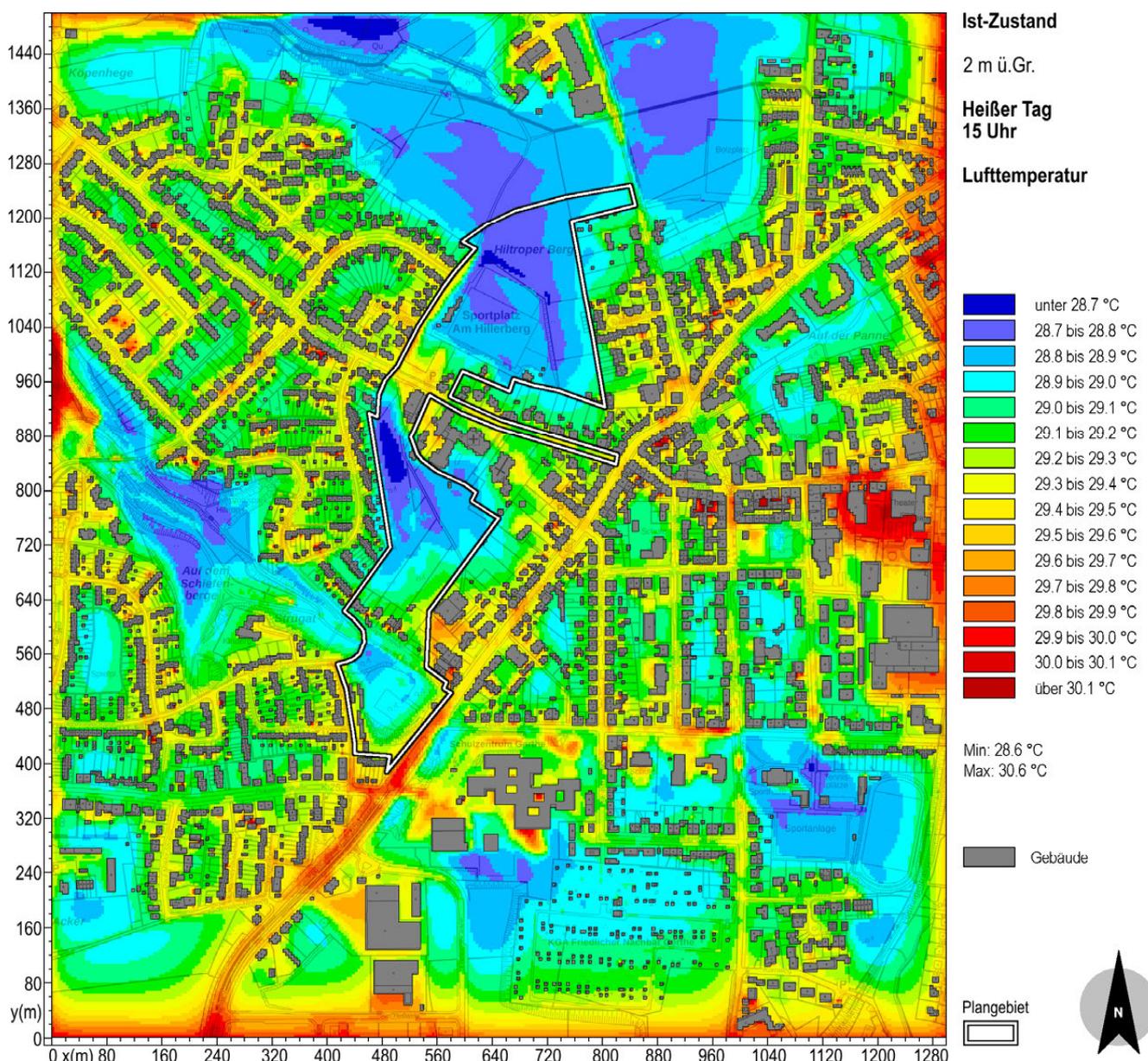
Während des Nachmittages von sehr warmen bis heißen Sommertagen werden die höchsten Tagestemperaturen erreicht, sodass zu dieser Zeit auch die Wärmebelastung am größten ist. Aus bioklimatischer Sicht ist dieser Zeitpunkt daher als Worst-Case zu betrachten.

Die Verteilung der **Lufttemperatur** für 15 Uhr eines heißen Tages ist in **Abb. 22** dargestellt.

Hinweis zur Interpretation: Entlang der Kartenränder sind stellenweise schmale Säume mit erhöhten Lufttemperaturen zu verzeichnen, bei denen es sich um modellbedingte Randeffekte<sup>4</sup> handelt, die bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Zunächst ist festzustellen, dass durch den, gemäß den meteorologischen Vorgaben, stetigen Zustrom heißer Luft in das Simulationsgebiet die Spannweite der Werte von  $28,6$  °C bis  $30,6$  °C (= 2 K) erwartungsgemäß gering ist. Dennoch treten flächennutzungsspezifische Unterschiede deutlich in Erscheinung.

<sup>4</sup> Da das Modell die räumlichen Umgebungsbedingungen außerhalb des digitalen Geländemodells nicht kennt, kann es an den Modellrändern, die zur Anströmrichtung der Initialatmosphäre ausgerichtet sind (hier  $150^\circ$ ), bei einigen Klimaparametern in den ersten Gitterzellenreihen gelegentlich zu Randeffekten kommen, die zwar modelltechnisch korrekt sind, aber in natura unter Einfluss der realen Umgebungsbedingungen nicht auftreten würden. Diese bei numerischen Modellen nicht unüblichen **Artefakte** deuten *nicht* auf eine Fehlfunktion des Modells hin.



Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020); GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 22: Lufttemperatur in 2 m. ü. Gr. um 15 Uhr nachmittags eines austauschenden, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.**

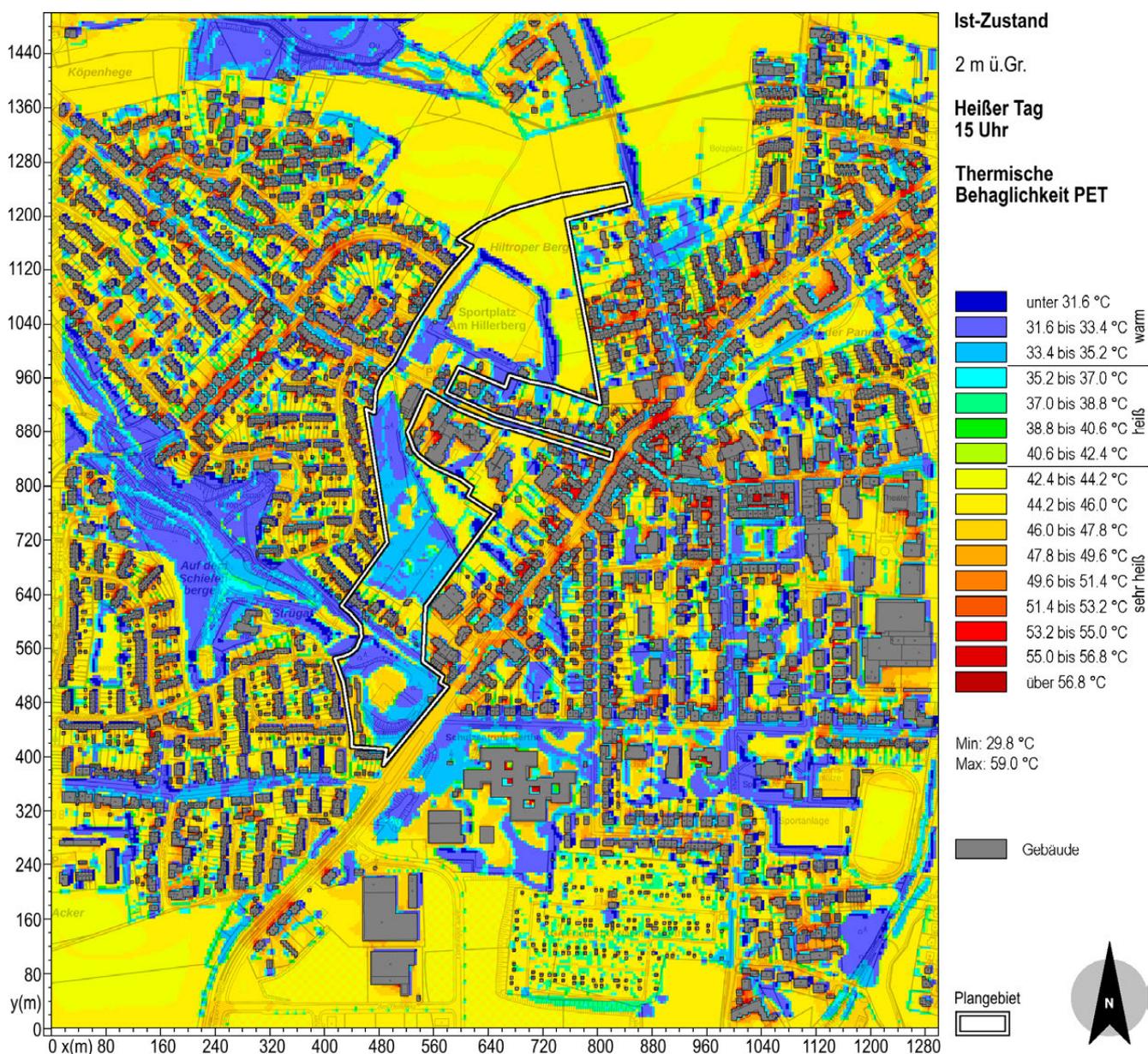
Prinzipiell ist die Lufttemperatur auf Freiflächen und in Wäldern am niedrigsten, nimmt in der Bebauung mit deren zunehmender Verdichtung zu und erreicht über versiegelten Verkehrsflächen das Maximum.

Die relativ niedrigsten Lufttemperaturen < 28,9 °C finden sich über den großen Freiflächen Hiltroper Berg, den Sportplätzen Hillerberg und Heinrichstraße und dem Gewerbegebiet Gerthe-Süd sowie in den Wäldern bzw. Gehölzen im Ostbachtal/Volkspark Hiltrop und südlichwestlich des Krankenhauses. Bei den Freiflächen bewirkt die zur Verdunstung verbrauchte latente Wärme eine Erniedrigung der Lufttemperatur, während im Stammraum der Gehölze bzw. Wälder die Kronendächer einer Erwärmung der bodennahen Luftschicht verhindern.

Etwas wärmer ist es in den Gärten und Kleingartenanlagen (28,9 °C bis 29,3 °C), wo es im Umfeld von strömungshemmenden Gebäuden, Gartenlauben, Hecken und Bäumen zu leichtem Wärmestau kommt.

Relativ warm ist es hingegen erwartungsgemäß über dem dunklen Asphalt der Verkehrsflächen, die sich in der Sonne aufheizen. Hier werden Lufttemperaturen von 29,4 °C bis 29,7 °C erreicht. Bei zusätzlich fehlender Verschattung können die Werte auf über 30° C ansteigen, wie der südliche Abschnitt des Castroper Hellweges oder der Gewerbepark Lothringen beispielhaft zeigen.

Zur Beurteilung der **Wärmebelastung** um 15 Uhr eines heißen Tages wird die *physiologische Äquivalenttemperatur* PET herangezogen (**Abb. 23**).



Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 23: Thermische Behaglichkeit in 2 m. ü. Gr. um 15 Uhr nachmittags eines austausch-  
 armen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.**

Sie berücksichtigt, ähnlich wie die gefühlte Temperatur des Deutschen Wetterdienstes DWD, neben der Lufttemperatur zusätzlich die Einflüsse des Windes, der Luftfeuchtigkeit sowie insbesondere auch der Wärmestrahlung aufgeheizter Straßen und Gebäudefassaden und der Sonneneinstrahlung (Details siehe Fußnote 2 auf S. 4). In der Legende sind zu den PET-Temperaturen ergänzend die verbalen Bezeichnungen der Behaglichkeitsklassen vermerkt.

Prinzipiell gilt, dass entsprechend der Vorgabe des klaren heißen Tages im Allgemeinen über allen unverschatteten Freiflächen *sehr heiße* Bedingungen herrschen, die sich entweder im Bereich sonnenexponierter Gebäude und Verkehrsflächen verstärken oder im Bereich von Wald-, Baum- oder Gebäudeschatten abschwächen.

Im Detail werden auf den größeren, unverschatteten **Freiflächen** PET-Werte von ca. 42 °C bis 46 °C und damit *sehr heiße* Bedingungen erreicht. Hierzu zählen primär Hiltroper Berg, Sportplatz Hillerberg, Sportplatz Heinrichstraße, Böverste Acker und das Gewerbegebiet Gerthe-Süd. Primäre Ursache der hohen Wärmebelastung ist hier die direkte Sonnenstrahlung, deren Wirkung nicht durch verdunstungsbedingte, kühlere Lufttemperaturen (s. o.) kompensiert werden kann (Stichwort: *Sonnenstich*).

Ein **Anstieg der Wärmebelastung** auf bis zu 50 °C PET erfolgt an den südlichen und westlichen Fassaden sonnenexponierter **Gebäude**, die nach einstrahlungsbedingter Aufheizung die Wärme in die Umgebung abstrahlen. Bei einzelnen, freistehenden Gebäuden reicht die Wärmeabstrahlung nur wenige Meter weit, wie z. B. an den Gebäuden des Hofes Heiermann am nördlichen Kartenrand gut zu erkennen ist. Mit zunehmender Lagedichte der Gebäude wirkt sich die Wärmestrahlung auch bis in die Hausgärten aus, wie in den westlich des Plangebietes gelegenen Siedlungen gut zu erkennen ist. Bei unmittelbar benachbarten Gebäuden überlagern sich die Wärmezonen der Gebäude, z. B. im Krähennocken oder Am Füllort.

Die höchsten Wärmebelastungen > 50 °C PET werden in südwest-nordost-verlaufende Straßenschluchten erreicht, da die Sonne um diese Uhrzeit aus Südwesten scheint und daher sowohl die dunklen Asphaltdecken als auch die anliegenden Gebäude vollständig bescheint. In Kombination mit den hohen Lufttemperaturen und der schwachen Durchlüftung führt dies zu höchstem Wärmestress, d. h. Hitzestau. Betroffen sind vor allem der Castroper Hellweg zwischen Hiltroper Heide und Solinger Straße sowie Karl-Ernst-Straße / Heimatscholle. Auch in vereinzelt, geschlossenen Hinterhöfen kann es zu Hitzestau kommen.

Etwas **schwächere Wärmebelastungen** mit *heißen* Bedingungen finden sich in den Schattenzonen kleinerer Bäume oder Hecken, wie z. B. in der *KGA Friedlicher Nachbar Gerthe*.

Die **günstigsten** und damit *warmen* Bedingungen werden in den in Verschattungszonen der Wälder, größeren Gehölze und Gebäude registriert. Als Beispiele sind Ostbachtal/Park Hiltrop, die Gehölze südlich des Krankenhauses, Gysenberger Wald, die Randbäume des Sportplatzes Hillerberg, aber auch Alleen mit großkronigen Bäumen wie z. B. Frauenlobstraße, Solinger Straße, Gerther Straße oder Heinrichstraße zu nennen.

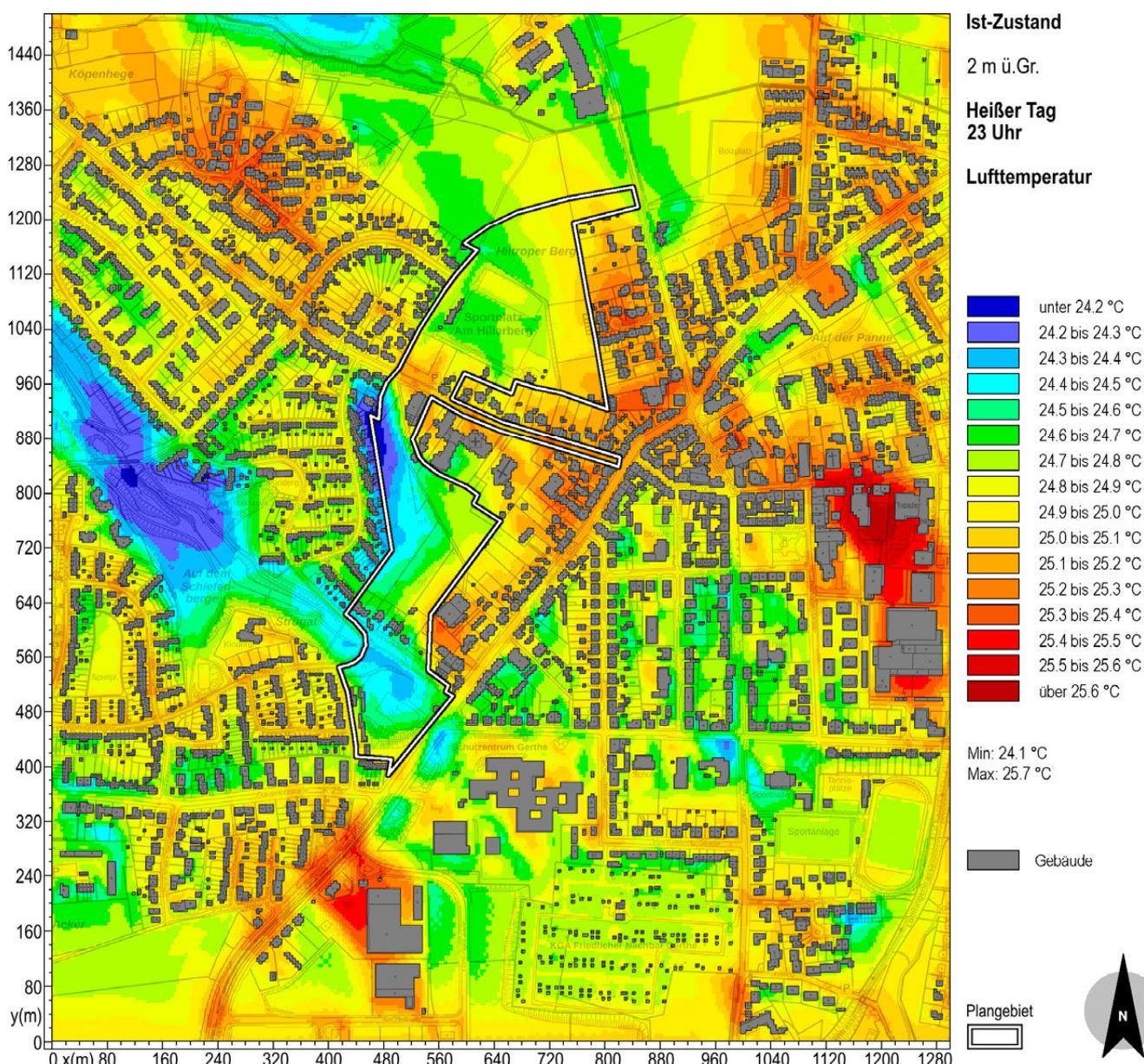
Auch die Gebäude erzeugen an ihren Ost- oder Nordfassaden hitzemindernde Schattenzonen, die umso größer sind, je höher die Gebäude sind.

**Eine kühlende Wirkung des eigentlichen Plangebietes auf die benachbarten Siedlungsbereiche ist nicht festzustellen, da eine hierzu erforderliche Strömung durch die dortigen Gebäude und Bäume der Gärten verhindert wird.**

### 6.3 Klimatische Abendsituation

Die späte Abendsituation um 23 Uhr ist aus medizinischer Sicht von Interesse, da zu dieser Zeit der Biorhythmus im Allgemeinen in den Nachtmodus (Schlaf) wechselt. Dabei könnten thermische Belastungen zu mangelnder Nachtruhe und Erschöpfung führen.

Die Verteilung der **Lufttemperatur** für 23 Uhr eines heißen Tages ist in **Abb. 24** dargestellt. Zunächst ist festzustellen, dass durch den, gemäß den meteorologischen Vorgaben, stetigen Zustrom warmer Luft in das Simulationsgebiet die Spannweite der Werte von 24,1 °C bis 25,7 °C (= 1,6 K) erwartungsgemäß gering ist. Dennoch treten flächennutzungsspezifische Unterschiede deutlich in Erscheinung.



Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 24: Lufttemperatur in 2 m. ü. Gr. um 23 Uhr abends eines austauschernen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.**

Bei den bebauten und versiegelten Bereichen ist eine Überwärmung  $> 25\text{ °C}$  erkennbar, welche Teile der sog. „städtischen **Wärmeinsel**“ darstellen. Sie geben die am Tage durch Sonneneinstrahlung zugeführte und aufgespeicherte Wärme nachts im Vergleich zu unversiegelten Flächennutzungen nur verzögert und langsam an die Atmosphäre ab. Die Überwärmung ist bereits entlang aller Straßen und den anliegenden Gebäuden erkennbar, verstärkt sich jedoch mit der Zunahme sowohl der Lagedichte der Gebäude als auch insbesondere der Größe von versiegelten Verkehrsflächen. Besonders gut zu erkennen ist das beim Gewerbegebiet Lothringen und auf dem Vorplatz des historischen Straßenbahndepots ( $> 25,5\text{ °C}$ ), gefolgt vom Gerther Zentrum im Bereich Hans-Sachs-Straße / Lothringer Straße / Castroper Hellweg, aber auch im Wohngebiet Am Gysenberg /Hugendiekstraße ( $25,3\text{ °C}$  bis  $25,5\text{ °C}$ ).

Auf den Freiflächen sowie in größeren Hausgärten und im *KGA Friedlicher Nachbar Gerthe* sind die Lufttemperaturen mit ca.  $24,5\text{ °C}$  bis  $25\text{ °C}$  etwas niedriger.

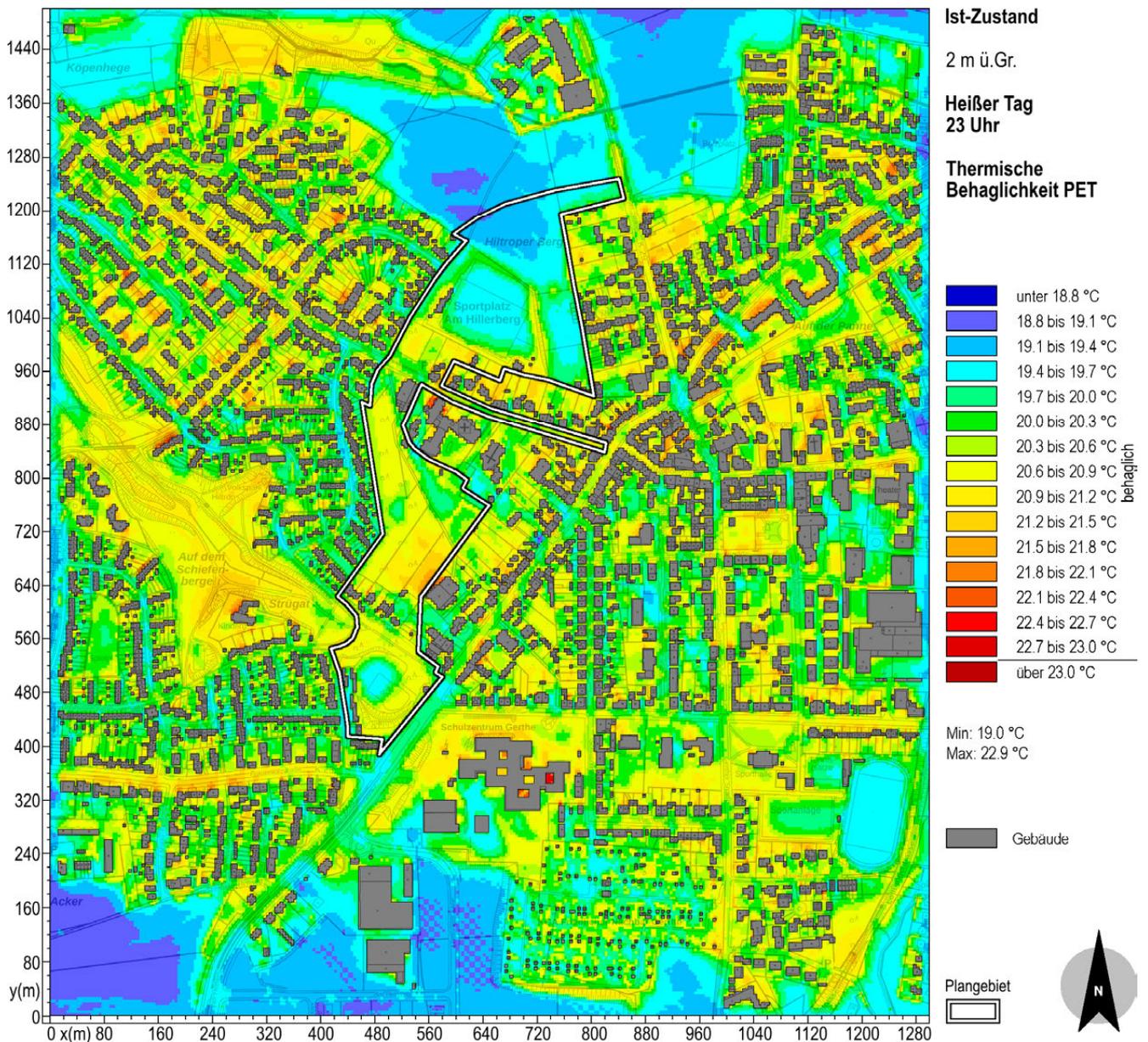
Die mit  $< 19,7\text{ °C}$  kühlestn Bereiche sind die Wälder im Ostbachtal/Park Hiltrop und südlich des Krankenhauses. Auffällig ist hierbei, dass die Gebäude an der Ostseite der Straße Gerther Heide im Wirkungsbereich des zum Plangebiet gehörenden Krankenhauswaldes liegen.

Die **thermische Behaglichkeit** um 23 Uhr ist für den Außenbereich überall als **behaglich** einzustufen (**Abb. 25**). Wärmebelastungen treten somit nicht auf.

Relativ niedrigere PET-Werte werden über den Freiflächen beobachtet (Böverste Acker, Hiltroper Berg, Sportplätze Hillerberg und Heinrichstraße, Gewerbegebiet Gerthe-Süd).

Im Nahbereich der noch warmen Gebäude, die nur langsam auskühlen, sind relativ höhere PET-Temperaturen zu beobachten. Auch die Wälder und Gehölze sind relativ warm, da die Kronendächer die vom Boden abgestrahlte Wärme im Stammraum festhalten und dadurch eine Bodenauskuhlung verhindern. Bei den Gebäuden an der Ostseite der Straße Gerther Heide ist daher der Einfluss des benachbarten Krankenhauswaldes nicht mehr erkennbar, da die Hausgärten aufgrund des freien Himmels die Wärme besser abgeben und damit besser auskühlen.

**Eine kühlende Wirkung des eigentlichen Plangebietes auf die benachbarten Siedlungsbereiche ist nicht festzustellen, da eine hierzu erforderliche Strömung durch die dortigen Gebäude und Bäume der Gärten verhindert wird.**



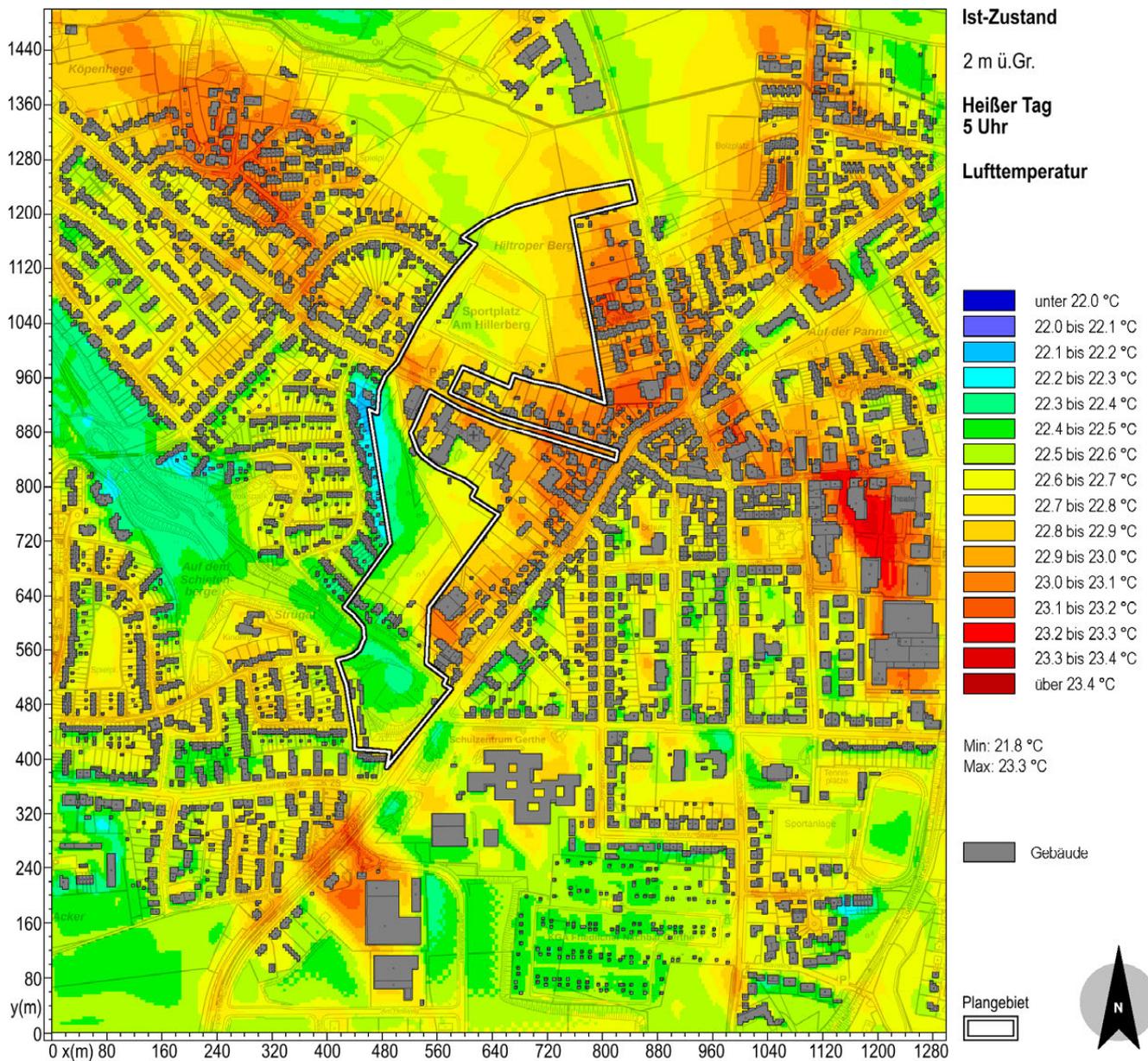
Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 25: Thermische Behaglichkeit in 2 m. ü. Gr. um 23 Uhr abends eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.**

### 6.4 Klimatische Nachtsituation

Zum Ende der Nacht werden früh morgens kurz vor Sonnenaufgang die niedrigsten Tagestemperaturen erreicht, sodass diese Tageszeit das Optimum der für einen sehr warmen bis heißen Sommertag zu erwartenden thermischen Verhältnisse aufzeigt. Sofern auch zu dieser Zeit thermisch mindestens behagliche Bedingungen überwiegen, ist davon auszugehen, dass die nächtliche Erholungsfunktion im Verlauf der Nacht erreicht wird. Sollte hingegen zu dieser Uhrzeit noch eine Wärmebelastung festgestellt werden, deutet das auf überwärmte Wohnungen insbesondere in Obergeschossen hin, in denen eine nächtliche Erholung nicht gewährleistet sein könnte.

Die Verteilung der **Lufttemperatur** für 5 Uhr eines heißen Tages ist in **Abb. 26** dargestellt. Im gesamten Untersuchungsgebiet ist das thermische Niveau sehr mild, sodass die Bedingungen einer Tropennacht (Lufttemperatur  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ) erfüllt werden. Durch den, gemäß den meteorologischen Vorgaben, stetigen Zustrom warmer Luft in das Simulationsgebiet ist die Spannweite der Werte von  $21,8^{\circ}\text{C}$  bis  $23,3^{\circ}\text{C}$  ( $= 1,5\text{ K}$ ) erwartungsgemäß gering ist. Dennoch treten flächennutzungsspezifische Unterschiede deutlich in Erscheinung.



Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

**Abb. 26: Lufttemperatur in 2 m. ü. Gr. um 5 Uhr morgens eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.**

Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Situation um 23 Uhr haben mit Ausnahme der größeren Waldflächen weiterhin Bestand, jetzt allerdings auf einem ca. 2,5 K kühleren Niveau:

Die Wärmeinsel der bebauten und versiegelten Bereiche ist weiterhin vorhanden und erreicht die höchsten Intensitäten mit  $> 23\text{ °C}$  bei dicht gelegenen Gebäuden und auf größeren Verkehrsflächen. Besonders gut zu erkennen ist das beim Gewerbegebiet Lothringen, dem Gerther Zentrum im Bereich Hans-Sachs-Straße / Lothringer Straße / Castroper Hellweg, aber auch auf dem Vorplatz des historischen Straßenbahndepots und dem Wohngebiet Am Gysenberg /Hugendiekstraße.

Auf den kühleren Freiflächen sowie in größeren Hausgärten werden  $22,5\text{ °C}$  bis  $23\text{ °C}$  beobachtet, im *KGA Friedlicher Nachbar Gerthe* sogar noch etwas kühlere  $22,3\text{ °C}$ .

In den Wäldern im Ostbachtal/Park Hiltrop und südlich des Krankenhauses hingegen ist seit 23 Uhr die Abkühlung weniger stark fortgeschritten, sodass die dortigen Lufttemperaturen nur noch wenig unterhalb derjenigen des Freilandes liegen. Ursache sind die Kronendächer, welche die vom Boden abgestrahlte Wärme im Stammraum festhalten. Auffällig ist hierbei, dass die Gebäude an der Ostseite der Straße Gerther Heide im Wirkungsbereich des zum Plangebiet gehörenden Krankenhauswaldes liegen.

Die **thermische Behaglichkeit** um 5 Uhr morgens eines heißen Tages ist für den Außenbereich überall als **behaglich** bis **leicht kühl** einzustufen (**Abb. 27**). Wärmebelastungen treten somit nicht auf.

*Leicht kühle* Bedingungen werden insbesondere über den Freiflächen von Böverste Acker, Hiltroper Berg und Gewerbegebiet Gerthe-Süd beobachtet, gefolgt von den Sportplätzen Hillerberg und Heinrichstraße sowie der *KGA Friedlicher Nachbar Gerthe*. Bei den Hausgärten ist bezogen auf die Häufigkeiten ein Übergang von *leicht kühlen* zu *behaglichen* Bedingungen zu erkennen.

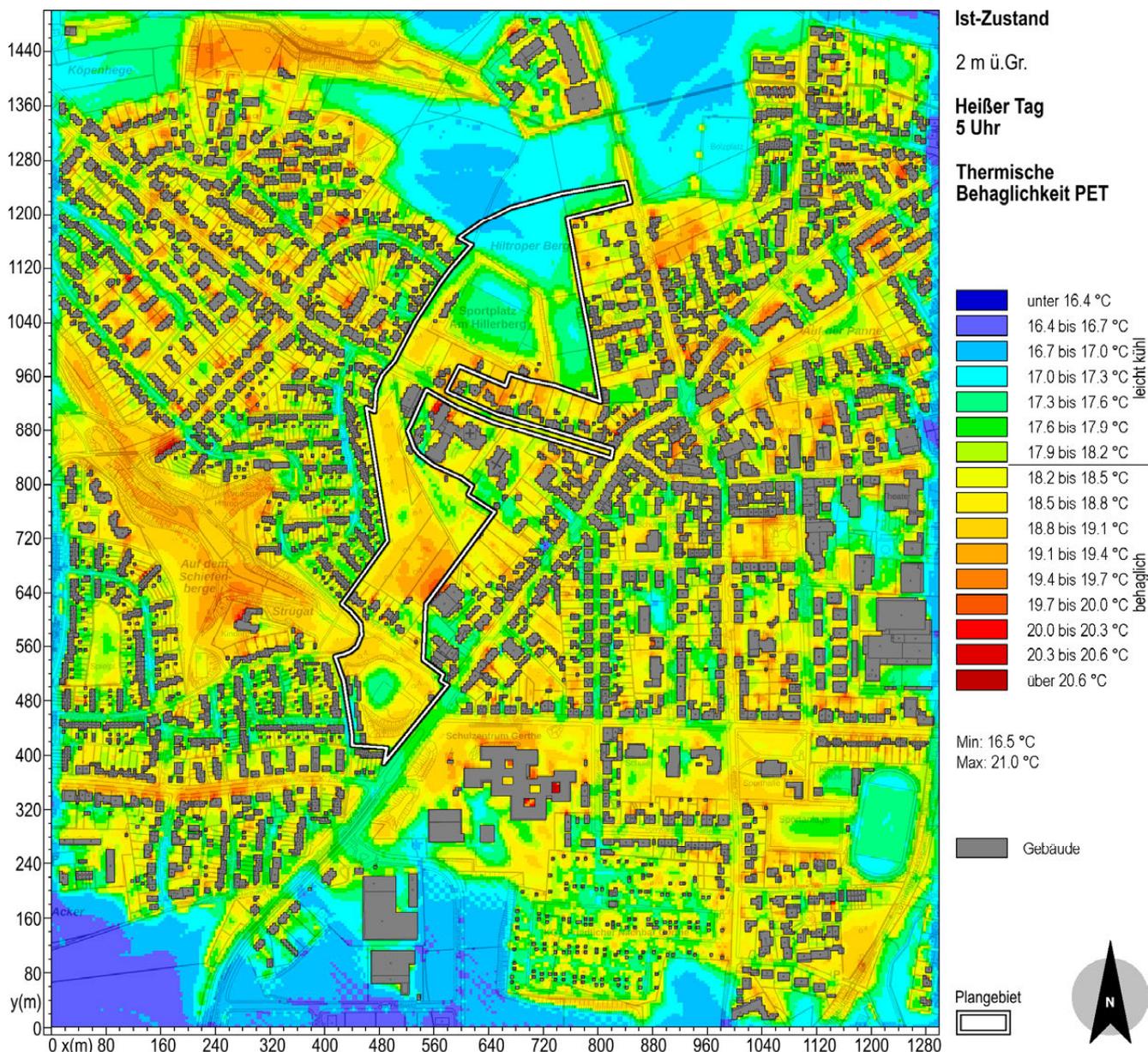
Im Nahbereich der Gebäude, die nur langsam auskühlen, sind relativ höhere PET-Temperaturen zu beobachten. Auch die Wälder und Gehölze sind relativ warm, da die Kronendächer die vom Boden abgestrahlte Wärme im Stammraum festhalten. Bei den Gebäuden an der Ostseite der Straße Gerther Heide ist daher der Einfluss des benachbarten Krankenhauswaldes nicht mehr erkennbar, da die Hausgärten aufgrund des freien Himmels die Wärme besser abgeben und damit besser auskühlen.

**Eine kühlende Wirkung des eigentlichen Plangebietes auf die benachbarten Siedlungsbereiche ist nicht festzustellen, da eine hierzu erforderliche Strömung durch die dortigen Gebäude und Bäume der Gärten verhindert wird.**

## 6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Unter **allochthonen**, d. h. normalen, austauschreichen Witterungsbedingungen, herrschen im Untersuchungsgebiet Südwestwinde vor. Aufgrund des großen Atmosphärenvolumens und der **guten Austauschverhältnisse** werden die lokalen Klimateffekte schnell verwischt und abtransportiert. Eine deutlich spürbare, leeseitige Wirkung des Plangebietes ist bei diesem Witterungstyp daher weder hinsichtlich der Ausprägung der Klimamerkmale noch deren Reichweite zu erwarten.

Während **autochthoner**, d. h. wolkenfreier, sonnenreicher und austauscharmen, von überregionalen Windfeldern unbeeinflussten **heißen Sommertagen** kommen die lokalklimatischen Effekte besonders zur Geltung. Dann herrschen südöstliche Winde vor, die nachts als **Kaltluftflüsse** auftreten. Aufgrund des Reliefs und der Riegel bildenden Bebauung sind Kaltluftflüsse oder Flurwinde aus dem Plangebiet in das Gerther Zentrum ausgeschlossen. Stattdessen bilden die westlich gelegenen Hiltroper Siedlungen den potenziellen Wirkraum.



Weißer Grenze: Plangebiet. Hintergrundkarte: Land NRW (2020); GEObasis.nrw WMS NW DGK10. Datenlizenz Deutschland (www.govdata.de/dl-de/by-2-0).

**Abb. 27: Thermische Behaglichkeit in 2 m. ü. Gr. um 5 Uhr morgens eines austauscharmen, heißen Tages im Untersuchungsgebiet „Gerthe-West“.**

Die Bebauung stellt insbesondere nachts eine **Wärmeinsel** dar, die im Gerther Zentrum und den Gewerbegebieten am ausgeprägtesten ist. Die Freiflächen und Wälder sind deutlich kühler. Hohe **Wärmebelastungen** treten nur am Tage und nur an sonnenexponierten Stellen auf, auch auf den Freiflächen. Im Schattenbereich der Wälder, Bäume und Gebäude sind die Wärmebelastungen deutlich niedriger.

Der **Plangebietsbereich** bildet innerhalb des klimatischen Wirkungsgefüges Gerthes einen klimatischen **Gunstraum** mit *potenzieller* Ausgleichsfunktion für die angrenzenden Siedlungsbereiche. Die Freiflächen nördlich der Hiltroper Landwehr bieten gute Durchlüftungsverhältnisse bei hoher Wärmebelastung, während die südlichen Waldbereiche gute thermische Bedingungen bei eingeschränkter Durchlüftung aufweisen.

Im Detail wird die Ausgleichsfunktion jedoch nicht erfüllt, da die Gebäude und Bäume der Gärten der Wohngebiete **Strömungsriegel** darstellen, während gleichzeitig geeignete Ventilationsbahnen, welche in die örtliche Bebauung hineinreichen, fehlen.

## 7 Empfehlungen für die weitere Planung

Bei der Gestaltung des zukünftigen Quartiers sind aus klimatologischer Sicht zwei Ziele anzustreben:

1. Etwaige klimatische Beeinträchtigungen angrenzender sensibler Flächennutzungen (hier: westlich gelegene Hiltroper Wohngebiete) sind so gering wie möglich zu halten und optimalerweise zu vermeiden.
2. Das Quartier selbst ist für die wohnliche Nutzung humanbioklimafreundlich und klimawandelverträglich zu gestalten.

Da einerseits eine direkte klimatische Wirkung des Plangebietes auf die Hiltroper Bebauung aufgrund der dortigen baulichen Riegelbildung und fehlender Ventilationsbahnen nicht festgestellt wurde und andererseits das Plangebiet selbst aufgrund des östlich gelegenen Gerther Zentrums keine positive klimatische Beeinflussung von außen erfährt, kann die klimatische Entwicklung nur aus innen heraus, d. h. durch geeignete Klimaoptimierungsmaßnahmen innerhalb des Gebietes, erfolgen.

Es gibt zahlreiche Maßnahmen für verschiedene Maßstabsebenen, die zur Minderung von Hitzestress sowie zur Durchlüftungsverbesserung geeignet sind und im Rahmen einer detaillierten Anpassungsuntersuchung für das Ruhrgebiet im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) empfohlen wurden. Eine Maßnahmenübersicht enthält **Tab. 4**.

Für das hiesige Vorhaben werden aus diesem Katalog folgende, nach Wirkung gruppierte Maßnahmenbündel vorgeschlagen:

### 1. Gute **Durchlüftung** durch

- limitierte Gebäudehöhen
- geeignete Lageanordnung von Gebäuden und Bäumen

### 2. Geringe **Überwärmung** durch

- hohen Anteil gut wasserversorgter Grünflächen, keine Steingärten
- wasserdurchlässige oder helle Straßenbeläge (u. a. Rasengitterstein)
- Vermeidung der Aufheizung von Gebäuden

### 3. Geringe Zusatzbelastung mit atmosphärischen **Spurenstoffen** durch

- Gebäude nach EnEV-Standard
- Ergänzende Nutzung der regenerativen Energiequellen Fotovoltaik, Solarthermie, Wärmepumpe sowie, falls vorhanden und möglich, Fernwärme, Fernkälte und/oder Geothermie
- Keine Durchgangsstraßen, nur Anliegerstraßen

**Tab. 4: Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur klimatischen und klimawandelgerechten Optimierung von Bauvorhaben** (aus MUNLV 2010, verändert).

*Hinweis: Die H-Kennziffern verweisen auf die detaillierten Maßnahmen Erläuterungen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010).*

<b>Gebäudeoptimierung</b>	
H8	Dachbegrünung
H10	Fassadenbegrünung
H14	Hauswandverschattung, Wärmedämmung
H18	Verschattungselemente an Gebäuden
H15	Geeignete Baumaterialien und Fassadenfarben verwenden
<b>Quartiergestaltung</b>	
<i>Städtebauliche Infrastruktur</i>	
H5	Freiflächen erhalten, schaffen, Flächen entsiegeln
H12	Offene Wasserflächen schaffen
H13	Gebäudeausrichtung optimieren
H22	Beschattung relevanter Flächen
H24	Neubau/Sanierungen: Verfüllen der Leitungsräben mit geeigneten Materialien mit reduzierten Wärmespeicherfähigkeiten
H23	Verkehrsflächen mit geringerer Wärmespeicherfähigkeit und/oder hellem Belag
H26	Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung
<i>Grünflächen und Vegetation</i>	
H6	Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten
H7	Begrünung von Straßenzügen
H19	Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation
H20	Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten
H21	Vermehrter Einsatz von Boden bedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen
H28	Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung)
<b>Quartierübergreifende Hinweise</b>	
H4	Festlegen von Bebauungsgrenzen
H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen

Die vorgeschlagenen Maßnahmen werden nachfolgend näher erläutert. Zur Veranschaulichung der lokalen Anwendung der Maßnahmen dienen die Skizzen in **Abb. 28** und **Abb. 29**, welche das Optimum der Maßnahmen darstellen. Die Skizzen sind als Vorschlag zu verstehen, da bei der Quartierentwicklung erfahrungsgemäß auch andere Belange zu berücksichtigen sind. Im Zuge der Abstimmung der Belange sind daher erfahrungsgemäß Kompromisse bei der Anwendung der klimatischen Maßnahmen einzugehen.



Luftbildquelle Land NRW (2020): GEObasis.nrw WMS NW DOP20. Datenlizenz Deutschland ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

**Abb. 28: Empfehlungen Übersicht: Schematische, am Relief und Kaltluftabfluss orientierte Lageausrichtung von Gebäuden, Bäumen und Grünflächen für den Planentwurf.**

Bei der Anwendung der Maßnahmen ist zu beachten, dass einerseits eine lokal angewendete Einzelmaßnahme nur eine geringe räumliche Reichweite von bestenfalls wenigen zehner Metern hat, aber andererseits bestimmte Maßnahmenkombinationen eine verstärkte Wirkung zeigen (Synergieeffekte).

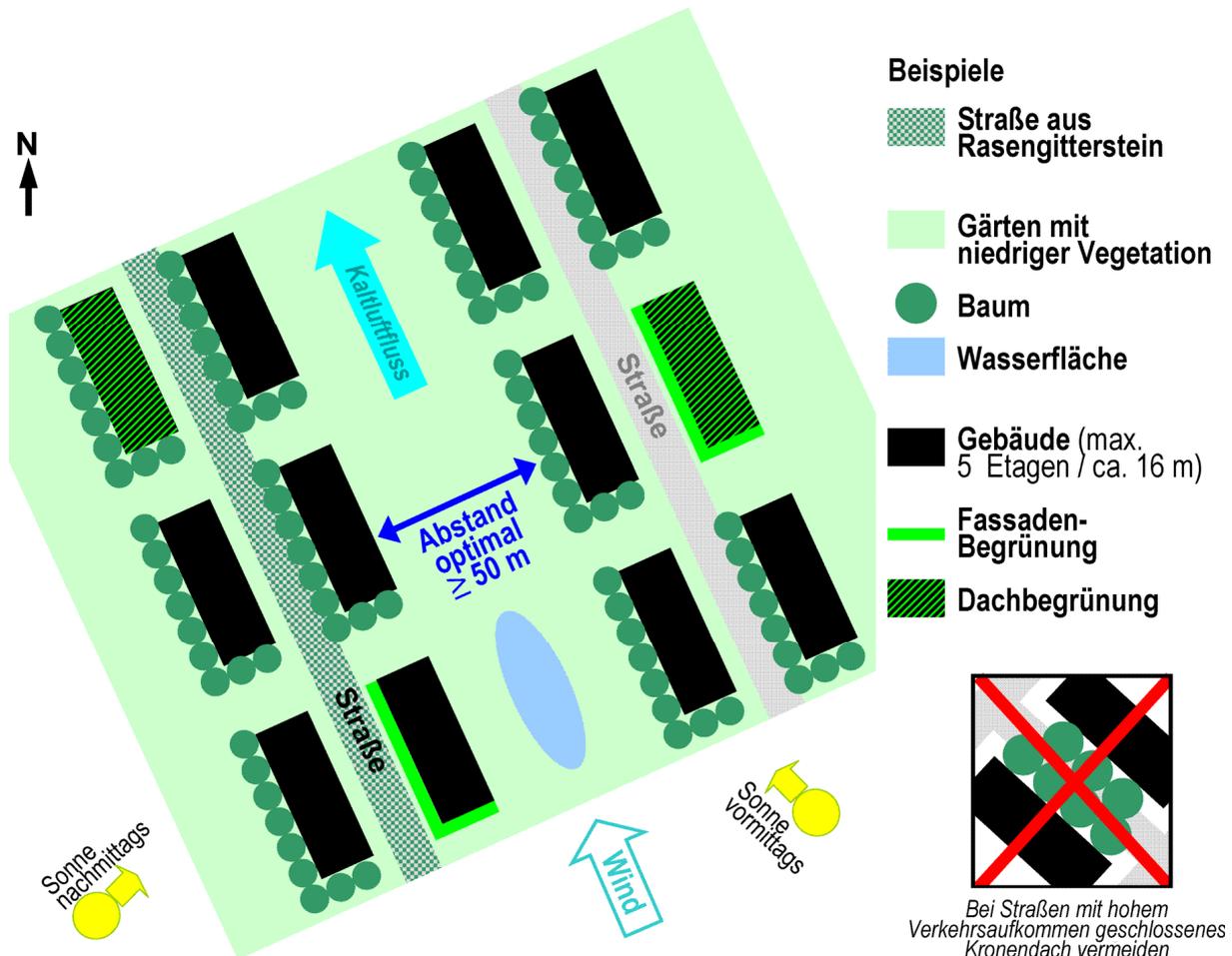


Abb. 29: Empfehlungen Detail: Schematische Skizze zu Einzelmaßnahmen zur Durchlüftungsverbesserung und zum Schutz vor Wärmebelastung für den Planentwurf.

Die größte flächenhafte Wirkung der Maßnahmen wird daher dann erreicht, wenn so viele Maßnahmen wie möglich sinnvoll kombiniert und möglichst flächendeckend angewendet werden.

### 7.1 Maßnahmen zur Durchlüftungsverbesserung

Da die Anströmung in austauscharmen Strahlungsnächten aus Südosten erfolgt, sollten diesbezügliche Strömungsriegel vermieden werden. **Gebäude** und **Bäume** sollten daher in **nordwest-südost-orientierten Reihen** angeordnet werden (**Abb. 28**), wobei innerhalb der Reihen die Lageorientierung der Gebäude zueinander variabel sein kann. Um 90° gedrehte Anordnungen in südwest-nordost-orientierten Reihen sind hingegen zu vermeiden.

Die Bäume befinden sich idealerweise in der Nähe von Süd- und Westfassaden von Gebäuden, wo sie auch der Gebäudebeschattung dienen. Die **Flächen zwischen Gebäuden** sollten **keine Bäume** enthalten und möglichst breit sein (**Abb. 29**), damit die Durchlüftung gewährleistet ist und ggf. ein Kaltluftabfluss ermöglicht wird. Optimal wäre eine Breite von mindestens 50 Metern.

Im Plangebietsabschnitt südlich der Hiltroper Landwehr werden Teile der Wälder und Gehölze, welche für bodennahe Winde ein Strömungshindernis darstellen, durch Gebäude und

deren Abstandsflächen ersetzt. Prinzipiell wird dadurch in Bodennähe die Durchlüftung verbessert, sofern die zukünftigen Gebäude nicht höher sein werden als die jetzigen, 10 m bis 20 m hohen Wälder und Gehölze. Als **maximale Gebäudehöhe** werden daher **15 m** bis **16 m** bzw. **5 Etagen** empfohlen, entsprechend der mittleren Höhe der heutigen Bäume. Gebäude, die höher sind als die heutigen Bäume, könnten hingegen zu einer Störung des leeseitigen Windfeldes im Bereich der Hiltroper Bebauung führen

## 7.2 Maßnahmen zur Überwärmungsprävention

Gegen **Hitzestau im Außenbereich** (Straßenschluchten, Hinterhöfe und Gebäudezwischenräume) ist die Schaffung beschatteter Flächen, beispielsweise durch Begrünung von Straßenzügen und Innenhöfen mit **Bäumen** geeignet. An Standorten mit hohen **Belastungen** mit atmosphärischen **Spurenstoffen** sollte dabei zur Aufrechterhaltung des Luftaustausches ein geschlossenes Kronendach (z. B. **Alleen**) vermieden werden (**Abb. 29**). Dazu können einzelne Bäume derart positioniert werden, dass sie zwar Schattenzonen schaffen, aber gleichzeitig die Durchlüftung nicht wesentlich behindern. Die Bäume befinden sich idealerweise in der Nähe von Süd- und Westfassaden von Gebäuden (**Abb. 29**). Auf **großen Freiflächen** kann auch eine Pflanzung im Sinne einer Baumwiese (Savannentyp) erfolgen, bei der vereinzelte großkronige Bäume mit weitläufigem Abstand zueinander und in Längsrichtung der strahlungsächtlichen Anströmrichtung (SE nach NW) gepflanzt werden.

Die Auswahl von Bäumen, die an das zukünftige Klima angepasst sind, ist derzeit noch Forschungsgegenstand. Für Mitteleuropa sollten die Bäume die Merkmale

- Hitzetoleranz
- Trockenheitstoleranz
- geringes Ozonbildungspotenzial
- Frosttoleranz
- Streusalztoleranz und
- Mechanische Toleranz (Versiegelung)

aufweisen. Dabei beschreibt das Ozonbildungspotenzial die bei hohen Lufttemperaturen durch die Bäume erfolgende Freisetzung von biogenen Kohlenwasserstoffen, welche die **Ozonbildung** begünstigen (insbesondere das hochreaktive Isopren, aber auch Terpene und Limonen). Aus diesem Grund sollten möglichst Pflanzen Verwendung finden, die zu den sogenannten „Low-Emitter-Pflanzen“ zählen (KUTTLER 2011b). Dabei handelt es sich um Pflanzen, deren Isoprenemission unter Hitzestress nicht mehr als 2 µg pro g Trockensubstanz pro Stunde beträgt.

Die **Tab. 5** enthält ausgewählte Bäume aus allen Teilen der Welt, die sowohl durch Winterhärte und ein geringes Ozonbildungspotenzial charakterisiert werden als auch optimale Toleranzen gegenüber Trockenheit bei eingeschränkter Wasserversorgung aufweisen. Die Tabelle berücksichtigt in Spalte F18 Empfehlungen einer jüngeren Langzeitstudie aus Bayern mit besonders geeigneten Bäumen für universelle Stadtstandorte, die u. a. die erforderliche Frost- und Trockenstresstoleranz aufweisen (LWG 2018).

Da gut Wasser versorgte **Böden** und Grünflächen bei Hitzeereignissen aufgrund der Wärmeenergie verbrauchenden **Verdunstung** zu einer signifikanten Verbesserung der thermischen Behaglichkeit beitragen können, sollte eine ausreichende **Wasserversorgung** der Böden sichergestellt werden (KUTTLER 2011b, KUTTLER et al. 2012b). Daher sollten im Zuge einer möglichen baulichen Neugestaltung von Quartieren, bei der auch Böden neu aufgetragen werden müssen, Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität (nFK) wie beispielsweise **lehmige Böden** bevorzugt werden.

Für die Wasserversorgung der Pflanzen während Trockenphasen ist bei städtebaulichen Neuplanungen die Anlegung von **Regenwasserzisternen** in Erwägung zu ziehen, die auf-

grund der hohen Jahresniederschlagsmengen und der relativ hohen Abflussbeiwerte der i. d. R. (hoch-) versiegelten Quartiere auf sichere Weise kostenfreies Wasser sammeln und bereithalten können.

**Tab. 5: Rangliste klimawandelangepasster Baumarten** (eigene Sortierung).

nach MUNLV (2010) und KUTTLER (2011) mit Daten von ROLOFF et al. (2008), BENJAMIN & WINER (1998) und LWG (2018)  
**Rang:** gebildet aus der Summe folgender Indikatoren: **H** = heimische Arten, **Og** = Geringes Ozonbildungspotenzial, **T** = Trockenheitstoleranz, **W** = Winterhärte, **F18**= Rangklasse geeigneter Arten aus Feldversuch 2018 (LWG 2018)  
**Bewertung:** ++, ++ = sehr geeignet, + = geeignet, -- = ungeeignet, / = keine Angaben

Rang	Wiss. Name	Populärer Name	H	Og	T	W	F18
1	<i>Acer campestre</i>	Feld-Ahorn	X	++	++	++	
	<i>Carpinus betulus</i>	Gewöhnliche Hainbuche	X	++	+	++	+
	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Grün-Esche, Rot-Esche		++	+	++	++
	<i>Juniperus communis</i>	Gewöhnlicher Wacholder	X	++	++	++	
	<i>Prunus avium</i>	Vogel-Kirsche	X	++	++	++	
2	<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn		++	++	++	
	<i>Acer platanoides</i>	Spitz-Ahorn	X	++	+	++	
	<i>Alnus x spaethii</i>	Spaeths Erle		/	+	++	+++
	<i>Betula pendula</i>	Sand-Birke	X	++	+	++	
	<i>Pinus sylvestris</i>	Wald-Kiefer	X	+	++	++	
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Gemeine Robinie		++	++	++	
	<i>Sophora japonica</i>	Japanischer Schnurbaum		+	++	+	++
	<i>Sorbus aria</i>	Echte Mehlbeere	X	+	++	++	
	<i>Sorbus badensis</i>	Badische Eberesche	X	+	++	++	
	<i>Sorbus x thuringiaca</i>	Thüringer Mehlbeere	X	+	++	++	
	<i>Tilia cordata</i>	Winter-Linde	X	++	+	++	
<i>Ulmus pumila</i>	Sibirische Ulme		++	++	++		
3	<i>Alnus incana</i>	Grau-Erle	X	/	++	++	
	<i>Carya tomentosa</i>	Spottnuss		++	++	+	
	<i>Cupressus arizonica</i>	Arizona-Zypresse		++	++	+	
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Gemeine Esche	X	++	+	+	
	<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo, Fächerbaum		++	++	+	
	<i>Malus tschonoskii</i>	Woll-Apfel		++	+	++	
	<i>Ostrya carpinifolia</i>	Gemeine Hopfenbuche		/	++	++	+
	<i>Pinus nigra</i>	Schwarz-Kiefer		+	++	++	
	<i>Pyrus communis</i>	Kultur-Birne	X	++	+	+	
	<i>Sorbus domestica</i>	Speierling	X	+	++	+	
	<i>Sorbus intermedia</i>	Schwedische Mehlbeere	X	+	+	++	
	<i>Sorbus latifolia</i>	Breitblättrige Mehlbeere	X	+	++	+	
	<i>Sorbus torminalis</i>	Elsbeere	X	+	++	+	
	<i>Tilia mandshurica</i>	Mandschurische Linde		+	++	++	
<i>Tilia tomentosa</i>	Silber-Linde		+	++	+	+	
4	<i>Acer opalus</i>	Schneeballblättriger Ahorn	X	/	++	+	
	<i>Acer x zoeschense</i>	Zoeschener Ahorn		/	++	++	
	<i>Carya ovata</i>	Schuppenrinden-Hickory		++	+	+	
	<i>Cladrastis sinensis</i>	Chinesisches Gelbbholz		/	++	++	
	<i>Cupressocyparis leylandii</i>	Leylandzypresse		++	+	+	
	<i>Fraxinus pallisiæ</i>	Behaarte Esche		/	++	++	
	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Amerikanische Gleditschie		/	++	+	+
	<i>Juniperus scopulorum</i>	Westliche Rotzeder		/	++	++	
	<i>Juniperus virginiana</i>	Rotzeder		/	++	++	
	<i>Phellodendron sachalinense</i>	Sachalin-Korkbaum		/	++	++	
	<i>Picea omorika</i>	Serbische Fichte		+	+	++	
	<i>Pinus heldreichii</i>	Panzer-Kiefer		/	++	++	

Rang	Wiss. Name	Populärer Name	H	Og	T	W	F18
	<i>Pinus ponderosa</i>	Gelb-Kiefer		+	++	+	
	<i>Populus alba</i>	Silber-Pappel	x	--	++	+	
	<i>Populus tremula</i>	Zitter-Pappel	x	--	+	++	
	<i>Quercus bicolor</i>	Zweifarbige Eiche		/	++	++	
	<i>Quercus cerris</i>	Zerr-Eiche	x	+	++	+	+
	<i>Quercus frainetto</i>	Ungarische Eiche		/	++	+	+
	<i>Quercus macrocarpa</i>	Klettenfrüchtige Eiche		/	++	++	
	<i>Quercus pubescens</i>	Flaum-Eiche	x	/	++	+	
	<i>Robinia viscosa</i>	Klebrige Robinie		/	++	++	
	<i>Tilia x euchlora</i>	Krim-Linde		+	+	++	
	<i>Ulmus parvifolia</i>	Japanische Ulme		++	+	+	
	<i>Zelkova serrata</i>	Japanische Zelkove		++	+	+	
5	<i>Acer buergerianum</i>	Dreispitziger Ahorn		/	+	++	
	<i>Acer rubrum</i>	Rot-Ahorn		++	++	+	
	<i>Aesculus x carnea</i>	Rotblühende Kastanie		/	+	++	
	<i>Ailanthus altissima</i>	Drüsiger Götterbaum		/	++	+	
	<i>Castanea sativa</i>	Essbare Kastanie		+	+	+	
	<i>Catalpa speciosa</i>	Prächtiger Trompetenbaum		/	++	+	
	<i>Cedrus brevifolia</i>	Zypern-Zeder		/	++	+	
	<i>Cedrus libani</i>	Libanon-Zeder		/	++	+	
	<i>Celtis caucasica</i>	Kaukasischer Zürgelbaum		/	++	+	
	<i>Celtis occidentalis</i>	Amerikanischer Zürgelbaum		/	++	+	
	<i>Diospyros lotus</i>	Lotuspflaume		/	++	+	
	<i>Fraxinus angustifolia</i>	Schmalblättrige Esche		/	++	+	
	<i>Fraxinus quadrangulata</i>	Blau-Esche		/	++	+	
	<i>Gleditsia japonica</i>	Japanische Gleditschie		/	++	+	
	<i>Maackia amurensis</i>	Asiatisches Gelbholz		/	++	+	
	<i>Ostrya virginiana</i>	Virginische Hopfenbuche		/	++	+	
	<i>Pinus bungeana</i>	Bunges Kiefer		/	++	+	
	<i>Pinus rigida</i>	Pech-Kiefer		/	++	+	
	<i>Platanus x hispanica</i>	Ahornblättrige Platane		--	++	+	
	<i>Populus x berolinensis</i>	Berliner Pappel		--	+	++	
	<i>Quercus coccinea</i>	Scharlach-Eiche		--	++	+	
	<i>Quercus macranthera</i>	Persische Eiche		/	++	+	
	<i>Quercus montana</i>	Kastanien-Eiche		/	++	+	
	<i>Quercus muehlenbergii</i>	Gelb-Eiche		/	++	+	
	<i>Quercus robur ssp. Sessiliflora</i>	Trauben-Eiche	x	--	+	+	
	<i>Quercus rubra</i>	Rot-Eiche		+	+	+	
	<i>Thuja orientalis</i>	Morgenländischer Lebensbaum		/	++	+	
	<i>Ulmus Lobel</i>	Ulme		/	/	/	+++
6	<i>Alnus cordata</i>	Herzblättrige Erle		/	+	+	
	<i>Celtis bungeana</i>	Bungens Zürgelbaum		/	+	+	
	<i>Corylus colurna</i>	Baum-Hasel		/	+	+	
	<i>Diospyros virginiana</i>	Persimone		/	+	+	
	<i>Eucommia ulmoides</i>	Guttaperchabaum		/	+	+	
	<i>Fraxinus ornus</i>	Blumenesche		/	/	/	++
	<i>Gymnocladus dioica</i>	Amerikanischer Geweihbaum		/	+	+	
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Amberbaum		/	/	/	++
	<i>Nyssa sylvatica</i>	Wald-Tupelobaum		/	+	+	
	<i>Phellodendron amurense</i>	Amur-Korkbaum		/	+	+	
	<i>Pinus peuce</i>	Rumelische Kiefer		/	+	+	
	<i>Platanus occidentalis</i>	Amerikanische Platane		--	+	+	
	<i>Pyrus pyraster</i>	Wild-Birne	x	++	+	+	
	<i>Quercus imbricaria</i>	Schindel-Eiche		/	+	+	
	<i>Quercus palustris</i>	Sumpf-Eiche		/	+	+	

Rang	Wiss. Name	Populärer Name	H	Og	T	W	F18
7	<i>Magnolia kobus</i>	Kobushi-Magnolie		/	/	/	+
	<i>Parrotia persica</i>	Eisenholzbaum		/	/	/	+

Ferner kann die Aufheizung von Erdoberflächen durch **Flächenentsiegelungen** mit anschließender **Bodenbegrünung** reduziert werden. Diese Maßnahmen sollten auch Verkehrsflächen mit einbeziehen, die dann mit wasserdurchlässigen Belägen (z. B. Rasengittersteinen) (**Abb. 29**) oder hellem Schotter oder andern hellen Belägen belegt werden können. Steingärten mit lediglich ästhetischer Funktion sollten jedoch vermieden werden.

Durch Sonneneinstrahlung **aufgeheizte Gebäude** erwärmen die nächste Umgebung und führen zur Wärmebelastung in den Gebäuden selbst. Auch nachts ist die Überwärmung aufgrund verzögerter und langsamer Gebäudeauskühlung gegeben. Daher gilt es, Gebäude vor sonnenbedingter Aufheizung zu schützen.

Zur **Verschattung** süd- und westexponierter Gebäudewände sollten primär nahe am Gebäude positionierte, hohe **Bäume** favorisiert werden, da sie neben der Gebäudefassade auch den Boden verschatten (**Abb. 29**). An Orten mit enger Gebäudelage und daraus resultierender schwacher Durchlüftung oder mit hohen Belastungen mit atmosphärischen Spurenstoffen sind jedoch **Fassadenbegrünungen** (PFOSER et al. 2013) zu bevorzugen (**Abb. 29**). Als geeignete Fassadenbegrünung gelten insbesondere der Gemeine Efeu (*Hedera helix*), Wilder Wein (*Parthenocissus quinquefolia*) und Knöterich (*Fallopia aubertii*) (MW-BW 2012), ferner auch Kletterhortensie, Geißblatt, Blauregen, Waldrebe, Kletterrose, Pfeifenwinde oder Immergrüner Kletter-Spindelstrauch (FBB 2013). Ergänzend kann bei flachen oder nur gering geneigten Dächern eine **Dachbegrünung** eine Aufheizung der Dachstühle reduzieren. Bei der Dachbegrünung ist auch eine intensive Begrünung (z. B. als **Dachgärten** mit Bäumen) in Erwägung zu ziehen. Dabei werden als Substrathöhe laut PFOSER et al. (2013) für kleinwüchsige Bäume mindestens 80 cm empfohlen, für mittelhohe Bäume mindestens 100 cm und für hohe Bäume mindestens 150 cm (FFL 2008).

Auch über die **Fassadenfarbe** kann das lokale Klima beeinflusst werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass sowohl zu dunkle als auch zu helle Farben aus klimatischer Sicht Nachteile haben. Eine **dunkle Fassade** weist eine niedrige Albedo und damit einen geringeren Reflexionsgrad bzw. hohen Absorptionsgrad für die kurzwellige Sonnenstrahlung auf (HUPFER und KUTTLER 2006). Dadurch würde sich das Mauerwerk stärker aufheizen und die Energie als Wärmestrahlung sowohl in das Gebäude als auch an den Außenbereich abgeben. In der unmittelbaren Umgebung kommt es zur Erhöhung der Lufttemperatur. Eine **helle Fassade** hingegen weist eine hohe Albedo auf. Auf diese Weise wird zwar die Gebäudeaufheizung reduziert, allerdings führt die in die Umgebung zurück reflektierte Sonnenstrahlung zur Erhöhung der Wärmebelastung im Außenbereich. Um die Nachteile sowohl von zu dunklen als auch zu hellen Fassaden zu minimieren, sollte eine Fassadenfarbe mit **mittlerer Albedo** gewählt werden, beispielsweise eine mittlerer Grauton oder pastellartige bzw. helle Farbtöne (orange, türkis, grün, etc.). Derartige Farben stellen einen Kompromiss zwischen Reflexionsminderung und Aufheizungs- bzw. Wärmeabstrahlungstendenz dar.

Ferner kann die im Rahmen der EnEV (2015) geforderte **Gebäudewärmedämmung** zur Reduktion der Gebäudeaufheizung beitragen.

### 7.3 Maßnahmen zur Luftreinhaltung

Als mögliche Quellen atmosphärischer **Spurenstoffe** in Wohngebieten sind Hausbrand (Heizung) und Kfz-Verkehr zu nennen.

Zur Minimierung der Zusatzbelastung mit atmosphärischen Spurenstoffen sollten **Gebäude** dem EnEV-Standard (ENEV 2015) entsprechen.

Die ergänzende Nutzung einfach zu realisierender regenerativer Energiequellen wie Fotovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen ist zu empfehlen. Je nach lokaler Verfügbarkeit sind auch Fernwärme, Fernkälte und Geothermie in Betracht zu ziehen.

In Gebieten mit häufigen Inversionswetterlagen sollten zusätzlich Restriktionen für holzbauierte Feuerungsanlagen (Heizungen, Kamine) geprüft werden.

Für den **Straßenverkehr** sollten nur Anliegerstraßen ausgewiesen werden; Durchgangsstraßen sollten vermieden werden.

## 8 Arbeitsmaterialien und Literatur

### Arbeitsmaterialien

BR ARNSBERG (2011): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 2011, Teilplan Ost. Bezirksregierung Arnsberg. 185 S:

BR ARNSBERG (2018): LRP Ruhrgebiet Ost – Maßnahmenstand Bochum 2018: [www.bra.nrw.de/2192800](http://www.bra.nrw.de/2192800)  
[https://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen//luftreinhalteplanung/do\\_aktionsplaene/lrp\\_ruhrgebiet\\_ost/mass\\_bochum\\_lrp\\_ruhr\\_ost.pdf](https://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen//luftreinhalteplanung/do_aktionsplaene/lrp_ruhrgebiet_ost/mass_bochum_lrp_ruhr_ost.pdf)

GOOGLE (2020) Luftbilder Google Maps/Google Earth 2019, © Google 2020, Kartendaten © 2020 GeoBasis-DE/BGK, © 2009 Google.

KUTTLER, W., DÜTEMAYER, D., BARLAG, A.-B. (2008): Klimaanalyse Bochum - Klimatologischer Teil. Durchgeführt im Auftrag des Regionalverband Ruhr, Essen. Institut für Geographie, Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen, Standort Essen. Essen. 65 S. Essen.

LAND NRW (2019): Geobasis NRW, GeoBasis-DE/BKG 2015, EuroGeographics. Datenlizenz dl-de/by-2-0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)) – Kartendienste des GeoServer NRW.  
<http://www.geoserver.nrw.de/kartendienste.html>.

LAND NRW (2020): GEObasis.nrw Bodenkarte NRW 1:50.000 IS BK 50 (WMS), Geologischer Dienst NRW  
<https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?>. Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

LAND NRW (2020): GEObasis.nrw Digitale Orthophotos WMS NW DOP20  
[https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms\\_nw\\_dop?](https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dop?). Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

LAND NRW (2020): GEObasis.nrw Digitales Gebäudemodell WMS NW ALKIS  
[https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms\\_nw\\_alkis?](https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_alkis?). Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

LAND NRW (2020): GEObasis.nrw Digitales Geländehöhenmodell. Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

LAND NRW (2020): GEObasis.nrw Topografische Karte 1:10.000 WMS NW DGK10  
[https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms\\_nw\\_dtk?](https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dtk?). Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0)).

LANUV NRW (2018): FIS Klimaanpassung NRW, Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten von © GeoBasis-DE/BKG 2016, © Geobasis NRW 2016 (Datenlizenz Deutschland - Namensnennung-Version 2.0 ([www.govdata.de/dl-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-de/by-2-0))), Planet Observer © LANUV 2018. [www.klimaanpassung.nrw.de](http://www.klimaanpassung.nrw.de) [= Onlinekarten zu LANUV NRW (2018): Klimaanalyse NRW]

LANUV NRW (2018): Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen = LANUV-Fachbericht 86. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, 98 S.

STADT BOCHUM (2012): Klimaanpassungskonzept Bochum. 202 S.

STADT BOCHUM (2020) Bodenkarte. Stadt Bochum, Umwelt- und Grünflächenamt, Untere Bodenschutzbehörde

### Literatur



- BAKLANOV, A., GRIMMOND, S., MAHURA, A. & M. ATHANASSIADOU (Hrsg.) (2009): Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas. 183 S. Springer Heidelberg.
- BauGB (2020): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 587) geändert worden ist.
- BENJAMIN, M.T. & A.M. WINER (1998): Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. Atmospheric Environment, Volume 32, Issue 1, S. 53-68.
- BImSchG (2019): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. April 2019 (BGBl. I S. 432) geändert worden ist.
- BONGARDT, B. (2006): Stadtklimatische Bedeutung kleiner Parkanlagen - dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. = Essener Ökologische Schriften, 24. 228 S. Hohenwarsleben.
- BRIGGS, G. A. (1979): Analytic modelling of drainage flows. Washington (= Draft document, atmospheric turbulence and diffusion laboratory, NOAA), 1979.
- BRUSE, M. (2004): Updated overview over ENVI-met 3.0. 12 S. Bochum. <http://www.envi-met.com>.
- BRUSE, M. & H. FLEER (1998): Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, Environmental Modelling and Software, 13, 373–384.
- DEFANT, F. (1933): Der Abfluss schwerer Luftmassen auf geneigtem Boden nebst einigen Bemerkungen zur Theorie stationärer Luftströme. In: Sitzungsberichte der preußischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse 18 (1933), S. 624/635.
- DÜTEMEYER, D. (2000a): Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. = Essener Ökologische Schriften, 12. 171 S. Hohenwarsleben.
- DÜTEMEYER, D. (2000b): An empirical method for estimating the spatial range and wind speed of country breezes using horizontal temperature gradients. – 3 rd Symposium of the Urban Atmosphere, 14. - 18.08.2000, Davis/CA, Book of Abstracts, 84 - 85. AMS, Boston.
- EICHHORN, J. (1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. - Dissertation zur Erlangung des Grades „Doktor der Naturwissenschaften“ am Fachbereich Physik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. 145 S.
- EnEV (2015): Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789) geändert worden ist
- FBB - Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (2013): Grüne Innovation Fassadenbegrünung. Saarbrücken <http://www.fbb.de/inc/template/Fassadenbegruenung/12-Seiter-Fassadenbegrünung-FBB.pdf>
- FFL (2008) – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.) (2008): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie 2008. .Aufl. 2008, Bonn.
- HELBIG, A., BAUMÜLLER, J. & M.J. KERSCHGENS (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2.Aufl., Springer-Verlag, Berlin.
- HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage. 554 S. Teubner Verlag, Wiesbaden.
- KUTTLER, W. (2004a): Stadtklima - Teil 1: Grundzüge und Ursachen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16 (4) 187 – 199.
- KUTTLER, W. (2004b): Stadtklima, Teil 2: Phänomene und Wirkungen. – In: UWSF – Zeitschrift Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vol. 16 (4) 263 – 274.
- KUTTLER, W. (2008): The Urban Climate - Basic and Applied Aspects. Editors: Marzluff, J. M., E. Shulenberger, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, C. Zumbrunnen. Urban Ecology - An International Perspective on the Interaction between Humans and Nature, Springer, pp. 233-248.
- KUTTLER, W. (2011a): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 1, Wirkungen; Climate change in urban areas, Part 1, Effects. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, DOI: 10.1186/2190-4715-23-11, S. 1-12.
- KUTTLER, W. (2011b): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen; Climate change in urban areas, Part 2, Measures. In: Environmental Sciences Europe (ESEU), Springer open, Doi: 10.1186/2190-4715-23-21, S. 1-15.
- KUTTLER, W., MIETHKE, A., DÜTEMEYER, D., BARLAG, A.-B. (2014): Das Klima von Essen. 258 S. Westarp, Hohenwarsleben.
- KUTTLER, W., PÜLLEN, H., DÜTEMEYER, D. & A.-B. BARLAG (2012b): Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen – Untersuchung subterranean Wärme- und Energieflüsse in verschiedenen Klimatopen. *dynaklim-*

- Publikation Nr. 23 / März 2012 im interdisziplinären Verbundforschungsprojekt „*dynaklim* - Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin. 38 S. [www.dynaklim.de](http://www.dynaklim.de).
- LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2018): Projekt Stadtgrün 2021 – Selektion, Anzucht und Verwendung von Gehölzen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen – Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr.: KL/17/03. 91 S,
- MAYER, H. (2006): Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 66, 4, 165-174.
- MAYER, H., BECKRÖGE, W. & A. MATZARAKIS (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. – *UVP-Report*, 5, 265 -268.
- MW-BW (2012): Städtebauliche Klimafibel online. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- MUNLV - Minist. f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung). Bearbeitet von M. Steinrücke, A. Snowdon (RVR), W. Kuttler, D. Düttemeyer, A.-B. Barlag (Univ. DU-E), J. Hasse (FiW) und C. Roesler, V. Lorke (Difu). 268 S. Düsseldorf.
- OKE, T. R. (1999): Observing urban weather and climate using 'standard' stations. In: *Biometeorology and Urban Climatology at the turn of the millennium*. WMO/TD No. 1026. WMO Genf. 443-448.
- ORLANSKI, I. (1975): A rational subdivision of scales for atmospheric processes. – *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 56, 734 - 744.
- PFOSE, N., JENNER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S., SCHREINER, J. & C. KANASHIRO (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. – TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung (Ausführende Stelle), 2013, 305 S.
- ROLOFF, A.; S. BONN; S. GILLNER (2008): Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – als Straßenbäume geeignete Arten. *Allg. Forstztzsch. / Der Wald* 63: S. 398-399.
- SALATA, F., GOLASI, I., DE LIETO VOLLARO, R. & A. DE LIETO VOLLARO (2016): Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data. - *Sustainable Cities and Society*, 26, 318-343.
- SCHARLAU, K. (1943): Die Schwüle als messbare Größe. – *Bioklimat. Beiblatt*, 10, 19 – 23.
- STULL, R. B. (1988): *An introduction to boundary layer meteorology*. 666 S. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- TA-Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - ) vom 24.07.2002. (Gemeinsames Ministerialblatt, Nr. 25-29 (2002) S. 511 ff. Hrsg.: Bundesminister des Inneren.)
- UVPG (2019): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das zuletzt durch Artikel 22 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2003): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 - Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2008): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 - Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung, Teil I : Klima. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2010): VDI-Richtlinie 3783, Blatt 10 - Umweltmeteorologie - Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle - Gebäude- und Hindernisumströmung. Düsseldorf.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (2015): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 - Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.