

# Hitzevulnerabilitätsanalyse Mülheim an der Ruhr

2026



## Auftraggeberin

## Auftragnehmerin

### Stadt Mülheim an der Ruhr

Stabsstelle Klimaschutz und Klimaanpassung  
Hans-Böckler-Platz 5  
45468 Mülheim an der Ruhr



### GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover  
Tel: (0511) 388 72-00  
[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)



Bearbeitet von:  
Lara Wichmann  
M. Sc. Landschaftswissenschaften  
GEO-NET, Umweltmeteorologie



**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis..... 3

Zusammenfassung ..... 4

Hintergrund und Anlass ..... 4

Fachliche Grundlagen ..... 5

    1.1    Thermischer Komfort und Menschliche Gesundheit ..... 5

    1.2    Wärmeinseleffekt ..... 10

Bearbeitungs- und Beteiligungsprozess ..... 11

Grundlagen der Klimaanalyse ..... 11

    1.3    Das Stadtklimamodell FITNAH-3D..... 11

    1.4    Betrachtete Wetterlage ..... 12

    1.5    Aufbereitung der Modelleingangsdaten ..... 14

Ergebnisse der Klimaanalyse..... 16

    1.6    Nächtliches Temperaturfeld ..... 16

    1.7    Wärmebelastung am Tag (PET)..... 18

Klimatische Bewertung ..... 20

    1.8    Geometrische Basis..... 20

    1.9    Karten zur klimatischen Bewertung..... 20

Sensitivitätsanalyse der Bevölkerung..... 26

    1.10   Datengrundlage ..... 26

    1.11   Datenverarbeitung..... 27

Hitzevulnerabilität und Betroffenheit ..... 32

Fazit..... 34

Abbildungsverzeichnis ..... 35

Tabellenverzeichnis..... 35

Quellenverzeichnis..... 36

Glossar ..... 38

Anhang..... 40



## Zusammenfassung

Extreme Hitzeereignisse stellen eine zunehmende Herausforderung für Städte dar und wirken sich insbesondere in dicht bebauten urbanen Räumen negativ auf Gesundheit und Lebensqualität aus. Im Zuge des Klimawandels ist mit einer weiteren Zunahme von Häufigkeit, Dauer und Intensität von Hitzebelastungen zu rechnen. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Identifikation besonders hitzegefährdeter Bevölkerungsgruppen und Stadtbereiche zunehmend an Bedeutung, um gezielte und wirksame Anpassungsmaßnahmen entwickeln zu können.

Ziel der vorliegenden Hitzevulnerabilitätsanalyse ist es, die räumliche Verteilung der hitzebedingten Betroffenheit im Stadtgebiet von Mülheim an der Ruhr systematisch zu untersuchen. Dabei wird Hitzevulnerabilität als Zusammenspiel aus Hitzebelastung und sozialer sowie demografischer Empfindlichkeit verstanden. Zur Abbildung dieser Vulnerabilität werden verschiedene Indikatoren herangezogen, darunter die Hochaltrigendichte, Seniorendichte, Kinderdichte, Armutsdichte, der Gesamtwärmebedarf sowie die Verortung sensibler Einrichtungen wie Pflegeeinrichtungen, Kindertagesstätten und Schulen.

Die Hitzebelastung wird auf Grundlage einer hochaufgelösten Modellrechnung ermittelt, die eine differenzierte räumliche Analyse sowohl für die Tages- als auch für die Nachtsituation ermöglicht. Auf diese Weise können sowohl zeitliche Unterschiede als auch räumliche Schwerpunkte der Hitzevulnerabilität identifiziert werden.

Die Ergebnisse der Analyse liefern eine wichtige Grundlage für die räumliche Priorisierung von Anpassungs- und Hitzeschutzmaßnahmen im Stadtgebiet von Mülheim an der Ruhr und tragen dazu bei, die kommunale Klimaanpassung evidenzbasiert und zielgerichtet weiterzuentwickeln.

## Hintergrund und Anlass

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der städtebaulichen Entwicklungen haben die Themen Stadtklima bzw. Klimawandelanpassung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen – sowohl hinsichtlich der Gesetzgebung (bspw. Novellierung des BauGB 2011 und des UVPG 2017) als auch im Bewusstsein der Bevölkerung. Um den Belangen des Stadtklimas planerisch adäquat begegnen zu können, sind aktuelle Informationen in geeigneter räumlicher Auflösung erforderlich. Im Folgenden sind rechtliche, fachliche, planerische und politische Gründe aufgetragen, die die Wichtigkeit einer Stadtklimaanalyse verdeutlichen.

- Mit den Klima-Novellen des Baugesetzbuches (BauGB) im Jahr 2011 sowie des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) im Jahr 2017 haben sich die für die Stadtklimatologie relevanten Rechtsnormen noch deutlicher als zuvor für stadtklimatische Fragen mit Blick auf das Schutzzut der menschlichen Gesundheit bzw. auf gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse geöffnet. Mit diesen Entwicklungen sind die Ansprüche an die inhaltliche Aussagetiefe und räumliche Aussagegenauigkeit der benötigten Analysen noch einmal deutlich gestiegen.
- Mit numerischen Stadtklimamodellen stehen heute entsprechende Instrumente zur Verfügung, die einen hohen Detaillierungsgrad bei der Identifizierung von Belastungsräumen ermöglichen. Die Modelle sind dabei in der Lage, die meteorologisch-physikalischen Zusammenhänge zwischen Wärmeineffekt in den besiedelten Wirkungsräumen und (planerisch beeinflussbaren) kühlenden Kaltluftabflüssen und Flurwinden aus dem Ausgleichsraum für bestimmte thermisch belastende Wetterlagen umfassend abzubilden. Zudem ist es mit solchen Modellen möglich, szenarienbasierte Ansätze (z.B. zur summarischen Wirkung von Stadtentwicklungsvorhaben und/oder Anpassungsmaßnahmen) zu untersuchen und zu bewerten.



- Die Klimafolgenanpassung ist in den letzten Jahren noch weiter in den Fokus von Politik, Planung und Stadtgesellschaft gerückt. Das Klimaanpassungsgesetz Nordrhein-Westfalen (KlAnG) schafft zudem die rechtliche Grundlage für die Erarbeitung einer Klimaanpassungsstrategie. Die Klimanalyse ist ein wichtiges Element als Grundlage zur Berücksichtigung stadtklimatischer Aspekte in der räumlichen Planung.

Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen wurde für die vorliegende Hitzevulnerabilitätsanalyse das übergeordnete Ziel abgeleitet, das Stadtklima von Mülheim an der Ruhr hinsichtlich der Bildung von Wärmeinseln und des thermischen Komforts zu untersuchen und diese Aspekte mit dem Vorkommen vulnerabler Bevölkerungsgruppen zu verknüpfen.

## **Fachliche Grundlagen**

Zur zielgerichteten Anwendung der Hitzevulnerabilitätsanalyse und Ihrer Produkte ist ein fachliches Grundlagenwissen von Vorteil. Das Themenspektrum umfasst dabei die Zusammenhänge zwischen thermischem Komfort und menschlicher Gesundheit (Kap. 1.1) sowie stadtklimatisch relevante meteorologisch-physikalische Prozesse im urbanen Umfeld (Kap. 1.2).

Zur besseren Orientierung werden im Folgenden die zentralen Aspekte dieses Spektrums in zusammengefasster Form dargestellt. Die angegebenen Quellenhinweise dienen als Einstieg für weiterführende Literatur und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

### **1.1 Thermischer Komfort und Menschliche Gesundheit**

Die bodennahe atmosphärische Umgebung besitzt vielfältige Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen. Diese lassen sich unter folgenden Oberpunkten subsumieren:

- Wohlbefinden
- Leistungsfähigkeit
- Morbidität (Krankheitsrate) und Mortalität (Sterberate)

Den Parametern Windgeschwindigkeit, Luft- bzw. Strahlungstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit kommen dabei eine zentrale Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang gilt, dass sowohl ein „zu hoch“ als auch ein „zu niedrig“ in den Ausprägungen der jeweiligen Werte zu negativen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit führen kann. Mit Blick auf den thermischen Komfort gilt dabei beispielsweise eine Kombination aus hohen Lufttemperaturen und niedrigen Windgeschwindigkeiten als gesundheitlich belastend (Abbildung 1).

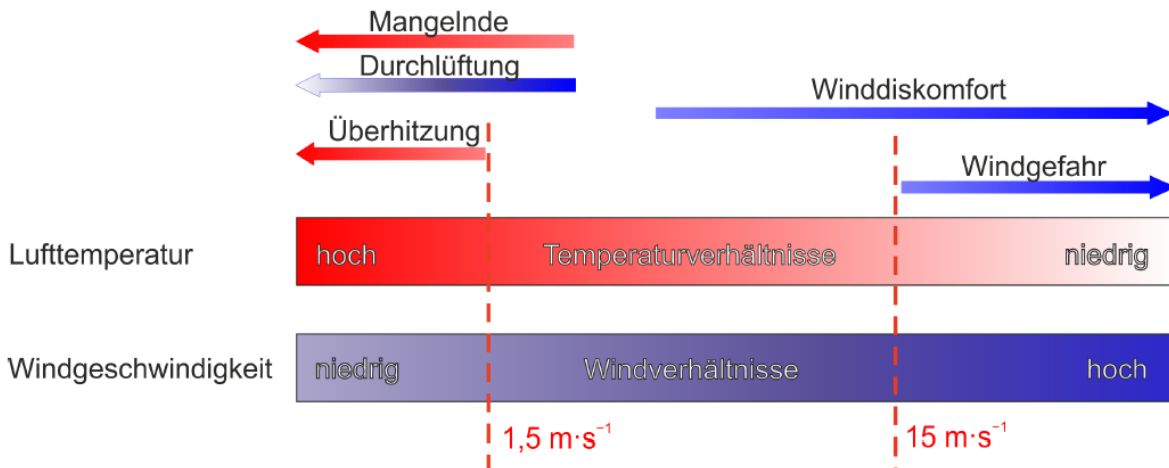


Abbildung 1: Klimakomfort und -diskomfort in verschiedenen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsbereichen (verändert nach (VDI 3787, Blatt 4, 2020)).

Als quantitativ arbeitende Fachdisziplin haben sich in der Stadt- und Regionalklimatologie in den letzten Jahrzehnten verschiedene humanbiometeorologische Kenngrößen durchgesetzt, mit deren Hilfe sich die Auswirkungen dieser Belastungen auf das menschliche Wohlbefinden ermitteln lassen. Im deutschsprachigen Raum ist insbesondere die „Physiologisch Äquivalente Temperatur“ (PET) zu nennen (Mayer & Höpfe, 1987). International wird darüber hinaus der „Universal Thermal Climate Index“ (UTCI) verwendet (Jendritzky et al., 2007). In der Vergangenheit kam zudem auch der heute weniger gebräuchliche Index „Predicted Mean Vote“ (PMV) zum Einsatz (Fanger, 1972). Allen Ansätzen ist gemein, dass sie neben den meteorologischen Einflussgrößen auch die Wärmebilanz des Menschen in die Berechnung mit einfließen lassen (Abbildung 2). Auf diese Weise können letztlich physiologische Belastungsstufen abgeleitet werden, die beispielsweise bei der PET von einer extremen Kältebelastung bis zu einer extremen Wärmebelastung reichen.

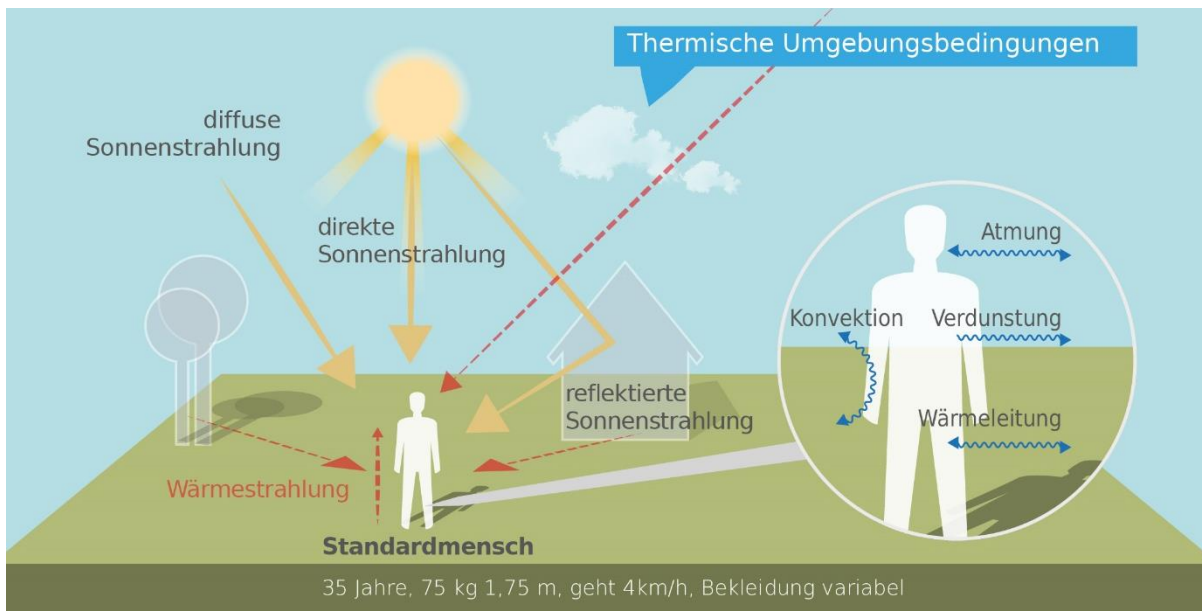


Abbildung 2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (DWD, 2022).



Da die Indizes hohen Anforderungen an die zugrundeliegenden Mess- bzw. Modelldaten stellen und diese nicht überall vorliegen, besitzen nach wie vor auch relativ einfache Auswerteroutinen wie die Auftrittshäufigkeit bestimmter Kenntage wie Heiße Tage (mit  $T_{\max}^1 \geq 30^\circ\text{C}$ ) oder Tropennächte (mit  $T_{\min} \geq 20^\circ$ ) eine hohe Praxisrelevanz. Sie kommen insbesondere dann zum Einsatz, wenn für größere Räume (z.B. Staaten, Flächenbundesländer) auf der Basis von Zeitreihenanalysen eine Ersteinschätzung zur räumlichen Differenzierung von thermischen Belastungen vorgenommen werden soll.

Sowohl die PET als auch der UTCI sind für die Verwendung im Freien und unter Einstrahlungsbedingungen (also für die Tagsituation) optimiert. In Innenräumen – in denen sich Menschen in den Industrieländern zu ca. 90 % der Zeit zum Wohnen und Arbeiten aufhalten – wird zufolge der VDI 3787, Blatt 2, (2022) auf die Raumtemperatur als maßgebliche Größe Bezug genommen: „Die Wechselwirkung zwischen dem Außenklima und dem Innenraumklima erfolgt heute aufgrund der hohen Wärmedämmung üblicher Wohngebäude fast ausschließlich über den Luftwechsel, wobei die Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe ist“ ((VDI 3787, Blatt 2, 2022), S. 25). Die Arbeitsstättenverordnung (Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung), 2004) fordert daher für Arbeitsräume gesundheitlich zuträgliche Raumtemperaturen von maximal  $26^\circ\text{C}$  in Arbeits- und Sozialräumen. Hintergrund ist die in §4 ArbStättV definierte Verpflichtung des Arbeitgebers, eine Gefährdung für Leben und Gesundheit seiner Angestellten möglichst zu vermeiden bzw. verbleibende Gefährdungen gering zu halten. Übersteigt die Raumtemperatur diesen Wert, muss der Arbeitgeber geeignete Schutzmaßnahmen ergreifen (z.B. Flexibilisierung der Arbeitszeiten, Klimatisierung, Reduzierung innerer Wärmequellen wie Elektrogeräte). Ein direkter Rechtsanspruch auf z.B. klimatisierte Räume oder "Hitzefrei" lässt sich für Beschäftigte aus der Verordnung jedoch nicht ableiten.

Während in Arbeitsstätten hohe Temperaturen am Tage zu Belastungen führen, stellen in privaten Wohnräumen insbesondere hohe Nachttemperaturen eine große Herausforderung dar: „Durch erholsamen Schlaf, der nur bei günstigen thermischen Bedingungen erreicht wird, kann sich der Organismus von thermischen Belastungen des Tages regenerieren. Ungünstige Klimabedingungen während der Nachtstunden können dagegen zu einer Akkumulation von Belastungen führen. Dabei sind in der Regel zu warme Bedingungen als ungünstig anzusehen.“ ((VDI 3787, Blatt 2, 2022), S. 24). Das Umweltbundesamt empfiehlt für einen entsprechend erholsamen Schlaf eine Schlafzimmertemperatur in der Spannweite von  $17\text{-}20^\circ\text{C}$  (UBA, 2005). Dass die Einhaltung dieser Wertespanne in den weitgehend nicht-klimatisierten Wohngebäuden in Deutschland über die Sommermonate schwierig bis unmöglich ist, dürfte der Alltagserfahrung vieler Bürger:innen entsprechen. Den empirischen Beleg hierfür liefert eine wissenschaftliche Studie, in der Stundenwerte der Temperaturen in 500 über das Augsburger Stadtgebiet verteilten Schlafzimmern während der Sommermonate 2019 gemessen und ausgewertet wurden (Abbildung 3). Die Ergebnisse veranschaulichen, dass, unabhängig von der räumlichen Lage im Stadtgebiet, nur an einzelnen Standorten und an einzelnen Tagen die vom Umweltbundesamt empfohlenen Komfortwerte von  $20^\circ\text{C}$  unterschritten wurden. Tatsächlich schwankten die Mittelwerte auch nachts um  $25^\circ\text{C}$  (bei Maximalwerten von nahe oder sogar über  $30^\circ\text{C}$ ; (Beckmann et al., 2021).

---

<sup>1</sup> Tmax = Maximaltemperatur, Tmin = Minimumtemperatur

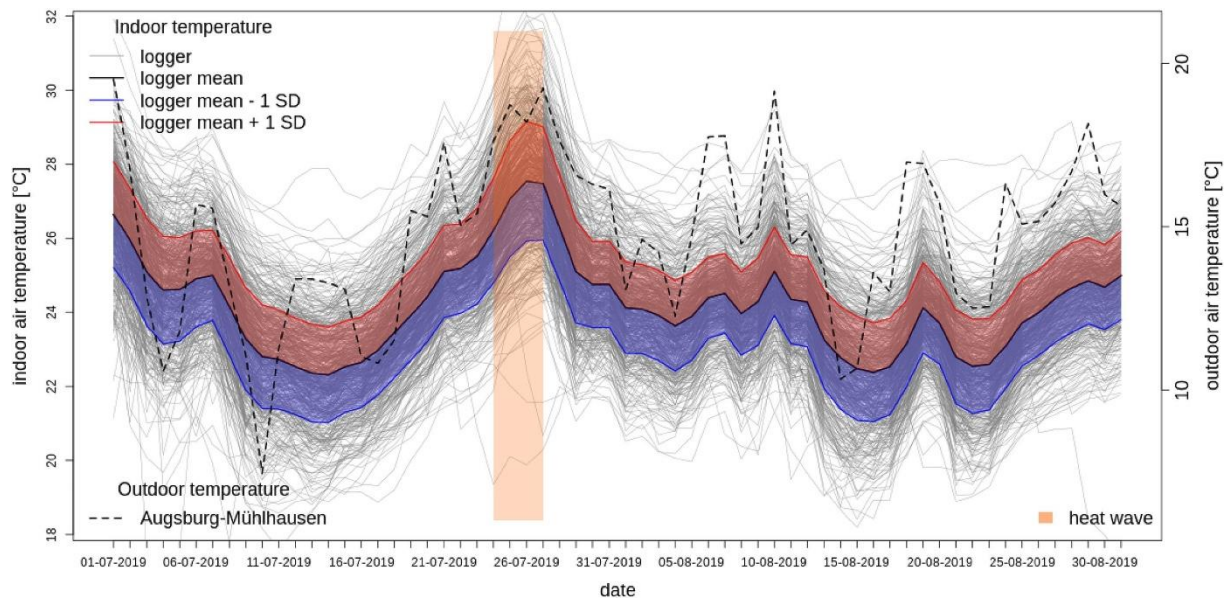


Abbildung 3: Nächtlche Innenraumraumtemperatur (22:00 – 06:00 Uhr) in 500 Augsburger Schlafzimmern in den Sommermonaten 2019 (Beckmann et al., 2021).

Außerhalb thermischer Komfortbereiche sinkt die Leistungsfähigkeit des Menschen ab (z.B. am Arbeitsplatz oder in der Schule und Hochschule). Das Ausmaß der Abnahme ist sehr individuell, kann aber an einigen Beispielen verdeutlicht werden. So nimmt die Leistungsfähigkeit bei moderater körperlicher Arbeit ab einem Schwellenwert von 30 °C in Kombination mit 50 % Luftfeuchtigkeit pro Grad Celsius Temperaturanstieg etwa um 15 % ab (ISO 1989). Andere Quellen gehen für Zeiten hoher Hitzebelastung in Mitteleuropa von einem Rückgang der Produktivität um 3 bis 12 % aus (Urban & Steininger, 2015). In einer amerikanischen Studie, die die kognitiven Fähigkeiten junger Erwachsener in Wohnumfeldern mit und ohne Klimaanlage vergleicht, wurden signifikant bessere Werte im Bereich von 10-15 % für die Reaktionszeiten und die Gedächtnisleistungen in der klimatisierten Umgebung gefunden (Cedeño Laurent et al., 2018).

Die humanbiometeorologische Umgebung beeinflusst nicht nur das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen, sondern wirkt sich unmittelbar auf die Morbidität und Mortalität der Bevölkerung aus. Als besonders vulnerabel gelten in diesem Zusammenhang Säuglinge und Kleinkinder bis etwa 6 Jahre (aufgrund einer noch nicht vollständig ausgeprägten Fähigkeit zur Thermoregulation) sowie ältere Menschen ab 65 Jahren bzw. vor allem über 80 Jahren (aufgrund einer verminderten Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems). Sandholz & Sett kommen auf der Basis einer Haushalts-Umfrage zum Hitzeempfinden in der Bundesstadt Bonn zu dem Schluss, dass verschiedene sozioökonomische Gruppen sehr unterschiedlich von Hitzebelastungen betroffen sein können. Während befragte Senior:innen angaben, bei Hitze vergleichsweise häufiger an Herz-Kreislauf-Problemen zu leiden, haben Studierende überdurchschnittlich häufig Konzentrationsprobleme und Kopfschmerzen genannt und Single-/Pärchen-Haushalte gaben an, hauptsächlich mit Schlafproblemen konfrontiert zu sein. Familien mit kleinen Kindern hingegen erwähnten zwar seltener gesundheitliche Probleme (Abbildung 4) (Sandholz & Sett, 2019), besonders Kleinkinder sind jedoch aufgrund ihrer körperlichen Eigenschaften bei Hitze stärker gefährdet eine Dehydratation zu entwickeln (Böse-O'Reilly et al., 2023; HLNUG, 2019).

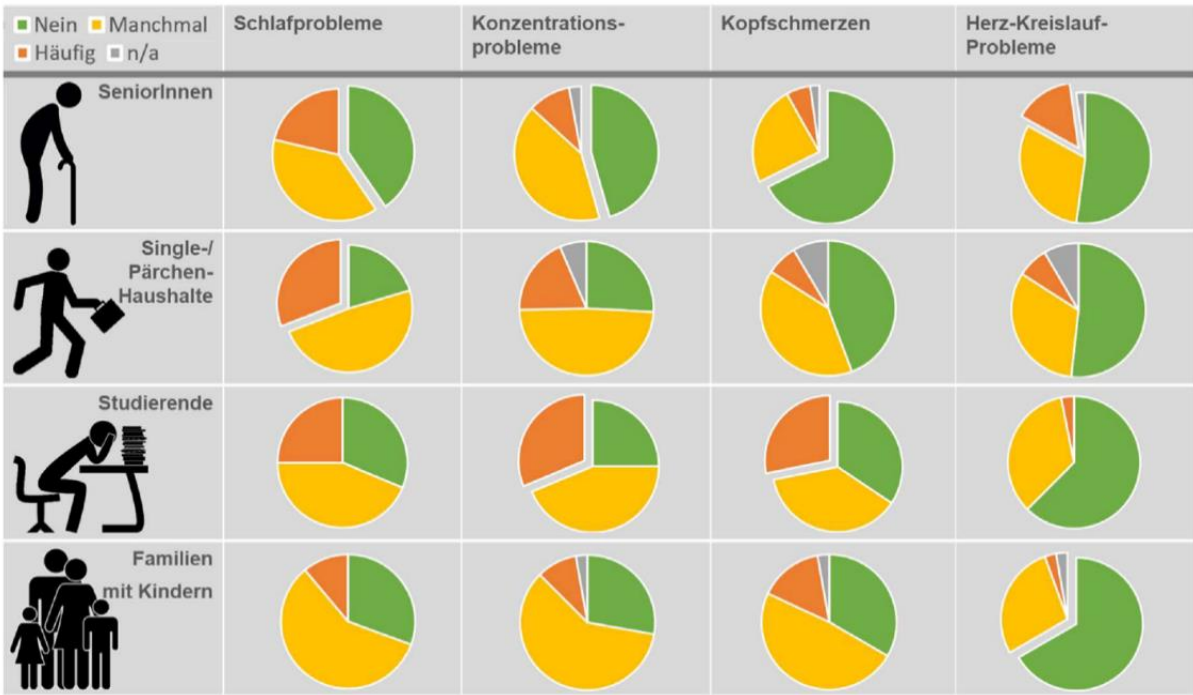


Abbildung 4: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n=688) (Sandholz & Sett, 2019).

Hinsichtlich der Mortalitätsrate hat eine Analyse der Jahre 2001-2015 für Deutschland ergeben, dass es während Hitzeperioden insbesondere bei den Altersgruppen 75–84 und vor allem 85+ zu einer signifikant erhöhten Übersterblichkeit kommt. Als besonders relevant sind dabei Wochenmitteltemperaturen von > 20 °C ermittelt worden. Die Mitte und vor allem der Süden Deutschlands wiesen dabei eine deutlich höhere hitzebedingte Mortalitätsrate auf als das nördliche Bundesgebiet (Abbildung 5). Die Jahre 2003, 2006 und 2015 zeigten bundesweit mit 6.000 – 7.000 zusätzlichen hitzebedingten Todesfällen die höchsten Übersterblichkeiten (An Der Heiden et al., 2019). Modellrechnungen prognostizieren für Deutschland, dass zukünftig mit einem Anstieg hitzebedingter Mortalität von 1 bis 6 % pro 1 Grad Celsius Temperaturanstieg zu rechnen ist – nach den aktuellen Modellierungen zur Temperaturentwicklung entspräche dies für Deutschland bereits bis Mitte dieses Jahrhunderts einem Anstieg von über 5.000 zusätzlichen Sterbefällen pro Jahr durch Hitze (UBA 2020).

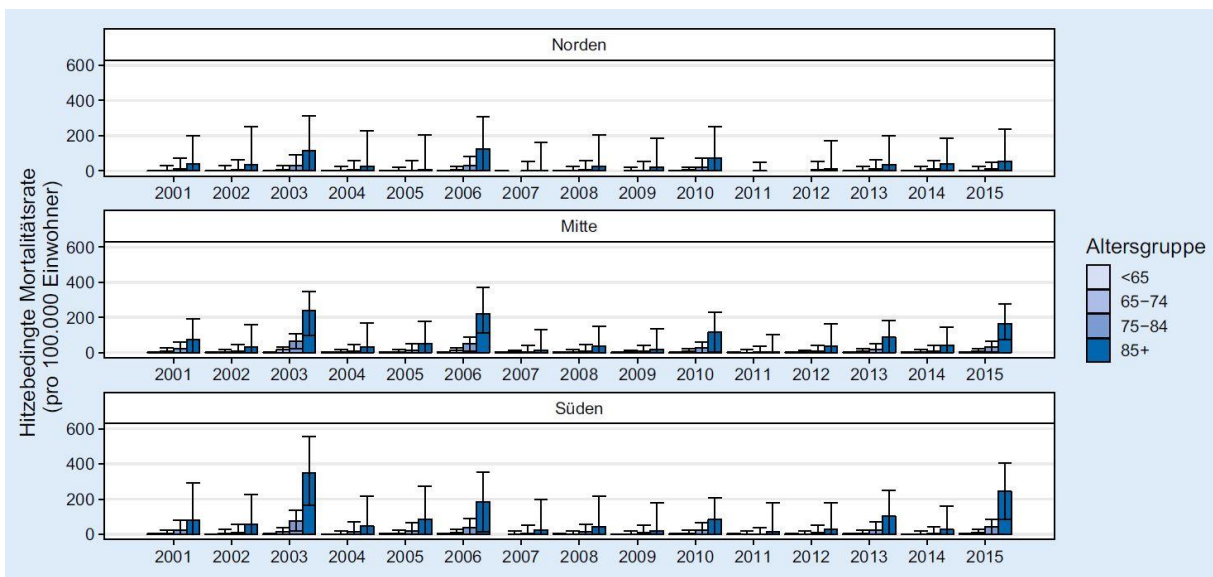


Abbildung 5: Hitzebedingte Mortalitätsrate nach Altersgruppe und Region von 2001 - 2015 (An der Heiden et al. 2019)

## 1.2 Wärmeinseleffekt

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke et al., 2017). Gründe hierfür sind beispielsweise der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenübersteht. Die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion durch die Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss) spielen ebenfalls eine Rolle. Im Vergleich zum weitgehend natürlichen oder naturnahen, un bebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen.

Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als städtische Wärmeinsel bezeichnet. Diese führt zu einem kleinräumigen, sehr fragilen System aus konvektivem<sup>2</sup> Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper und bodennahen Ausgleichsströmungen aus dem Umland in das Stadtgebiet hinein („Flurwindsystem“).

Am Tag führen Flurwinde in der Regel nicht zum Abbau der Wärmebelastung in den Siedlungsflächen, da im Umland meist ein ähnliches Temperaturniveau vorherrscht.

Nachts kann dagegen kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen und innerstädtischen Grünflächen in die überwärmten Quartiere strömen und für Entlastung sorgen. Der bodennahe Zufluss dieser „Kaltluft“ erfolgt mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten und reagiert sensibel auf Strömungshindernisse.

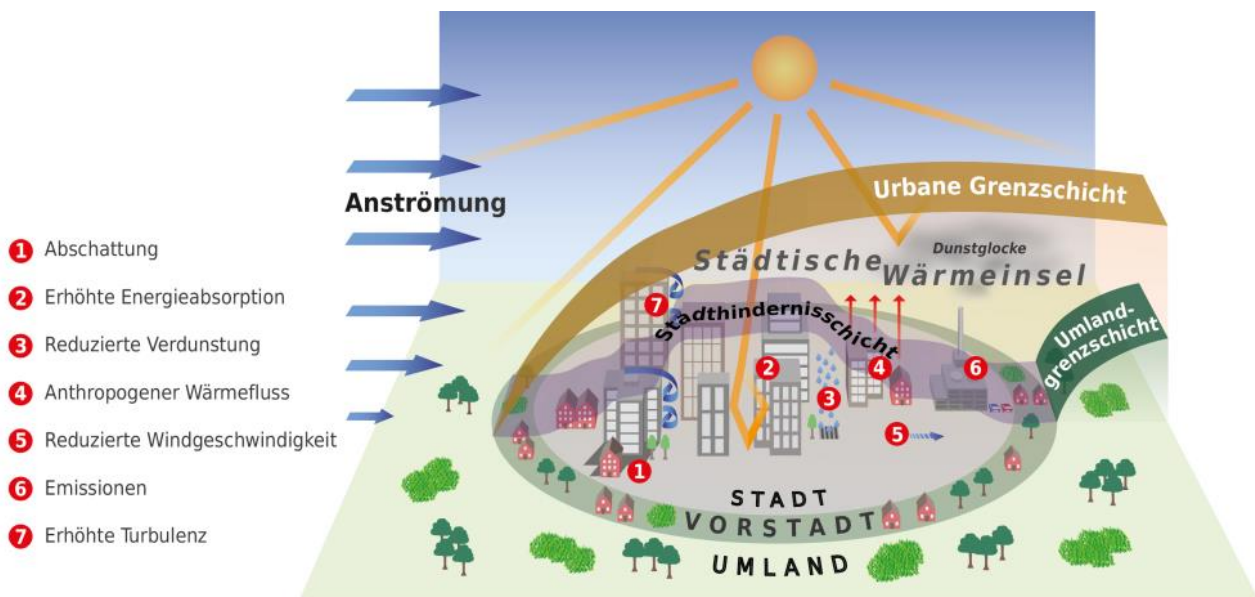


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Wärmeinseleffekts (DWD, 2023)

<sup>2</sup> Konvektion = Vertikaler Luftaustausch



## Bearbeitungs- und Beteiligungsprozess

Die Erstellung der Hitzevulnerabilitätsanalyse erfolgte in zwei methodischen Schritten: Der Analyse der Einzelinformationen zur Hitzebelastung und den Sensitivitätsindikatoren und die Synthese zur Zusammenführung der analysierten Daten und zur Ableitung der Betroffenheit. Die Bearbeitungszeit lag zwischen Juli 2025 und Februar 2026.

Auftretende methodische Herausforderungen (z.B. im Zusammenhang mit Eingangs-/Basisdaten) wurden in enger Abstimmung mit der Auftraggeberin, insbesondere der Stabsstelle Klimaschutz und Klimaanpassung und zusätzlich mit weiteren Fachstellen innerhalb der Stadtverwaltung gelöst.

Regelmäßige Mitglieder der begleitenden Arbeitsgruppe waren Mitarbeiter aus den Bereichen Klimaschutz und Prävention sowie der Stabsstelle Sozialplanung und Statistik, dem Amt für Gesundheit und Hygiene/ Umweltmedizin und Infektionsschutz, dem Amt für Stadtplanung und Wirtschaftsförderung/ Stadtentwicklung und dem Amt für Umweltschutz / Untere Naturschutzbehörde.

Insgesamt fanden drei Vorstellungstermine der begleitenden Arbeitsgruppe zum Projekt „Hitzevulnerabilitätsanalyse Mülheim an der Ruhr“ statt (08.10.2025, 03.11.2025, 11.03.2026). Die besprochenen Themen beinhalteten die Methodik und die Ergebnisse der Hitzevulnerabilitätsanalyse: Analysen aus der Stadtklimamodellierung, Ableitung der Wärmebelastung auf Baublockebene, Indikatoren der Hitzevulnerabilitätsanalyse, Ableitung der Betroffenheit.

## Grundlagen der Klimaanalyse

### 1.3 Das Stadtklimamodell FITNAH-3D

Die Produkte der vorliegenden Stadtklimaanalysen basieren auf numerischen Modellsimulationen. Eingesetzt wurde das etablierte hochaufgelöste Stadtklimamodell FITNAH-3D. Die Grundgleichungen von FITNAH sind in der Literatur beschrieben (Groß 1992). Seit der Veröffentlichung zum Basismodell in den 1990er Jahren wurde FITNAH in einer Kooperation zwischen Prof. Günter Groß und der GEO-NET Umweltconsulting GmbH fortlaufend durch neue Funktionen, Module und Auswerteroutinen weiterentwickelt (Gross, 2002; Gross et al., 2002; Gross, 2012b, 2012a, 2017).

Die Anwendungsbereiche von FITNAH reichen von teilstädtischen Analysen zu den klimaökologischen Auswirkungen von Stadtentwicklungsvorhaben über gesamtstädtische und regionale Klimaanalysen bis hin zu sehr großräumigen Anwendungen für ganze Bundesländer oder Staaten.

In der Praxis spielen sich umweltmeteorologische Fragestellungen meist in der Größenordnung einer Stadt bzw. Region ab. Die dabei relevanten meteorologischen Phänomene weisen eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis Stunden auf. Als mesoskalige Phänomene werden dabei bspw. Flurwinde, Land-See-Winde oder die städtische Wärmeinsel bezeichnet, während der Einfluss von Hindernissen auf den Wind (z.B. Kanalisierung, Umströmung) oder die Wirkung verschattender Maßnahmen mikroskalige Effekte darstellen.

Obwohl die allgemeine Struktur und physikalischen Ursachen solch lokalklimatischer Phänomene im Wesentlichen bekannt sind, gibt es nach wie vor offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragbarkeit auf andere Standorte oder der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Zwar kann die Verteilung meteorologischer Größen wie Wind und Temperatur durch Messungen ermittelt werden, aufgrund der großen



räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung (insb. in komplexen Umgebungen) in benachbarte Räume nur selten möglich. Entsprechend schwierig ist es, aus einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende (also flächenhafte) stadtklimatologische Bewertung vornehmen zu können.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert (DFG 1988) und der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist extrem hoch. Zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht somit, neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien, ein weiteres leistungsfähiges Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in der Stadt- und Landschaftsplanung zur Verfügung. Die Modelle basieren, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (*Navier-Stokes Bewegungsgleichung*), der Massenerhaltung (*Kontinuitätsgleichung*) und der Energieerhaltung (*1. Hauptsatz der Thermodynamik*). Für tiefergehende Informationen zu FITNAH-3D wird u.a. auf Groß (1992) verwiesen.

Modelle wie FITNAH-3D können demnach deutlich besser zur Beantwortung stadtklimatologischer Fragestellungen herangezogen werden als rein auf Messkampagnen gewonnene Werte, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst, so wie hier Einzelbäume und Gebäude direkt in den Eingangsdaten dargestellt sind. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 5 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m über Grund (ü.Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü.Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind.

#### **1.4 Betrachtete Wetterlage**

Die Klimaanalyse legt einen autochthonen Sommertag als meteorologische Rahmenbedingung für die Modellrechnung zugrunde. Dieser wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwach überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt bzw. Region besonders gut ausprägen. Die Bodenfeuchte wird mit 60 % angenommen, so dass der Vegetation Wasser zur Verdunstung zur Verfügung steht. Folglich liegt der Modellrechnung zwar eine hochsommerliche Situation mit thermischem Belastungspotential, aber dem Stand der Technik entsprechend bewusst keine absolute Extremsituation zugrunde.

Charakteristisch für solch eine (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung von Flurwinden, d.h. durch den Temperaturunterschied zwischen kühleren Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetriebene Ausgleichsströmungen. In Abbildung 7 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich,

dass unversiegelte Freiflächen wie z.B. Wiesen und bebaute Flächen ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, während die nächtliche Abkühlung über Siedlungsflächen deutlich geringer ist (Wärmeinseleffekt). Waldflächen nehmen eine mittlere Ausprägung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird die Hinderniswirkung von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich. Typischerweise führt ein autochthoner Sommertag aufgrund der hohen Einstrahlung und des geringen Luftaustauschs zu den höchsten thermischen Belastungen. Auch wenn es sich dabei um eine besondere Situation handelt, tritt solch eine Wetterlage regelmäßig und jeden Sommer mehrfach auf (im Gebiet des RVR zwischen 15 % und 20 % der Sommernächte).

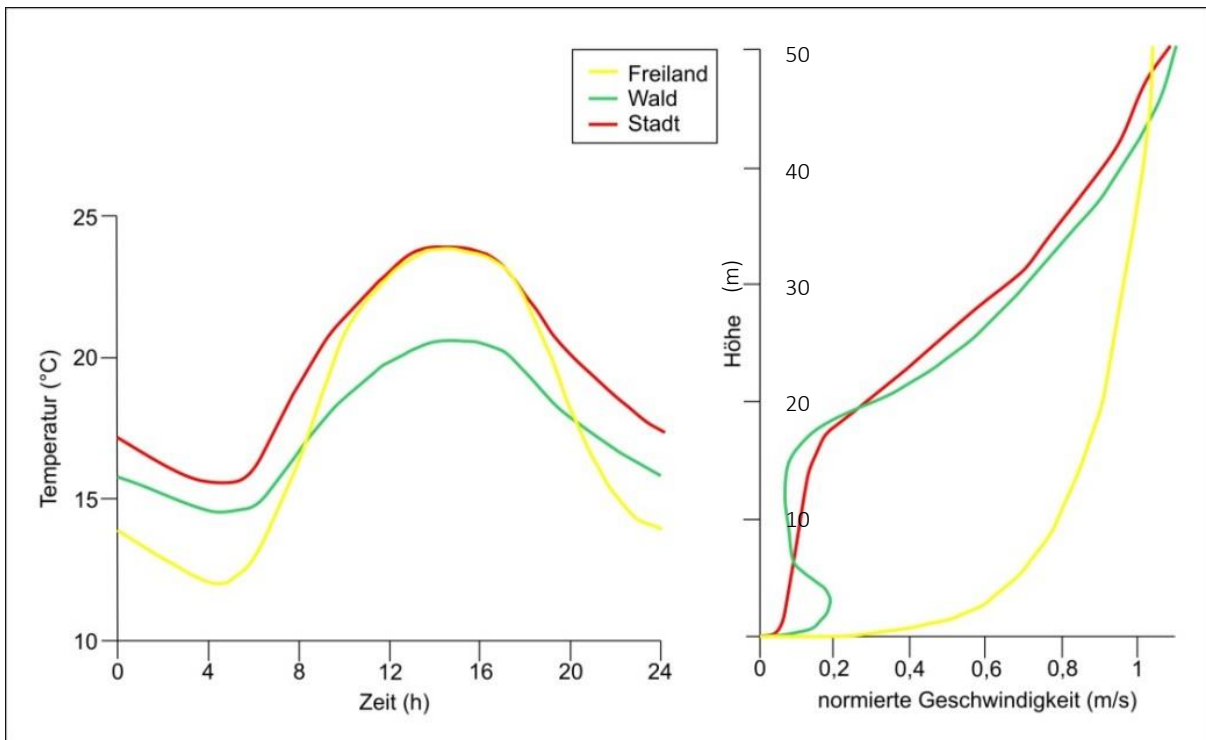


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Tagesgangs der Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen (eigene Darstellung nach Groß 1992).

Des Weiteren wird die Situation des 21. Juni (Sonnenhöchststand) mit einer 0/8 Bewölkung angenommen. Der Modellierungszeitraum erstreckt sich von 21 Uhr bis zum Folgetag um 14 Uhr, wobei in der Auswertung die Zeitpunkte um 4 Uhr nachts und um 14 Uhr am Tag verwendet wurden. Die Starttemperatur der Modellierung beträgt 21 °C in 2 m Höhe. Insofern repräsentiert die Modellrechnung eine meteorologische Situation, die jedes Jahr mehrfach auftritt.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass über den Sommer natürlich auch wind- und austauschstärkere Bedingungen mit thermischem Belastungspotential auftreten können (z.B. „Schwüle“). Diese können insbesondere nachts z.T. sogar mit noch höheren Minimaltemperaturen verbunden sein als die Strahlungswetterlagen. Bei diesen allochthonen Wetterlagen entwickeln sich jedoch keine ausgeprägten Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland. Folglich bilden sich auch keine Bodeninversionen und damit auch keine größeren Flurwindssysteme bzw. Kaltluftflüsse, die durch planerisches Handeln unterstützt oder gestört werden könnten. Insofern besteht keine fachliche Notwendigkeit, diese explizit in einer Stadtklimaanalyse zu berücksichtigen.



## 1.5 Aufbereitung der Modelleingangsdaten

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus in unterschiedlichen Auflösungen und Datenformaten vorliegenden Geoinformationen gerasterte Modelleingangsdaten mit einem regelmäßigen Gitter mit einer Gitterweite von 5 m zu erzeugen. Das Modell benötigt flächendeckende Informationen zu folgenden Parametern:

- Gelände / Orographie
- Landnutzung
- Strukturhöhe (Bäume und Baustruktur)
- Wassertemperaturen

Das Modellgebiet beinhaltet das gesamte Ruhrgebiet, für die Analyse von Mülheim an der Ruhr wurde daraus ein entsprechender Ausschnitt verwendet, welcher das gesamte Stadtgebiet von rund 9 km in Ost-West- und 13 km in Nord-Süd-Richtung abdeckt.

Tabelle 1 fasst die wichtigsten Datenquellen für die Zuweisung der Nutzungsklassen sowie der Geländehöhe und Strukturhöhen zusammen. Die Primärdaten liegen in einer hohen räumlichen Auflösung bzw. Genauigkeit / Lagetreue vor. Dennoch kommt es bei der Übertragung ins Modellraster trotz der für gesamtstädtischen Modellanwendungen sehr hohen Auflösung zu Generalisierungseffekten. Diese können kleinräumig relevant sein, spielen für gesamtstädtische Fragestellungen aber eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 1: Datenquellen zur Erstellung des Nutzungsrasters

Datensatz	Aktualität	Datentyp	Auflösung	Quelle
Digitales Geländemodell	2020-2024	GeoTIFF	1 m	<a href="#">Digitale Geländemodelle   Bezirksregierung Köln</a>
ALKIS-Nutzung + Gebäudeumrisse	2024	ESRI-Shapefile	Vektor	<a href="#">Informationen zu den Geodaten Diensten Geobasis NRW</a>
OSM-Vektordaten	2025	ESRI-Shapefile	Vektor	<a href="#">OpenStreetMap</a>
RGBI-Luftbild	2023-2024	Raster-Dataset	20 cm	<a href="#">Digitale Orthophotos   Bezirksregierung Köln</a>
Digitales Oberflächenmodell	2020-2024	Raster-Dataset	20 cm	<a href="#">Digitales Oberflächenmodell   Bezirksregierung Köln</a>
Lärmschutzwände	2022	ESRI-Shapefile	Vektor	Bereitstellung durch RVR
Baumkartierung	2022	Geopackage	Vektor	Bereitstellung durch RVR
LANUV Versiegelungskartierung	2024	GeoTIFF	50 cm	<a href="#">Bodenversiegelungskarten</a>
Flächennutzungskartierung RVR	2022	ESRI-Shapefile	Vektor	<a href="#">Flächennutzungskartierung</a>

Im Rahmen der Klimaanalyse wurde ein hochaufgelöstes Nutzungs- und Vegetationsmodell erstellt (s. Abbildung 8), das als zentrale Grundlage für die weiteren modellbasierten Auswertungen dient. Die Klimaanalyse kann den Zustand des Modellgebiets immer nur in einer bestimmten Situation abbilden und verwendet Geo-



daten verschiedener Zeitpunkte (vgl. Tabelle 1). Die Methodik basiert auf der systematischen Zusammenführung verschiedener Geodatenquellen, insbesondere Vektordaten aus ALKIS und OSM, Höhendaten aus einem digitalen Oberflächen- und Geländemodell, NDVI-basierten Vegetationsmasken sowie Ergänzungsdatensätzen zur Bodenversiegelung und Baumstandorten. Alle Schritte wurden in einem einheitlichen Koordinatensystem (ETRS89 / UTM Zone 32N, EPSG 25832) durchgeführt und für das Gesamtmodell auf eine räumliche Auflösung von fünf Metern gebracht. Zwischenauflösungen von ein bis zwei Metern kamen dort zum Einsatz, wo eine feinere Ableitung räumlicher Eigenschaften – wie Gebäudeanteile, Verkehrsflächen oder Vegetationshöhen – erforderlich war.

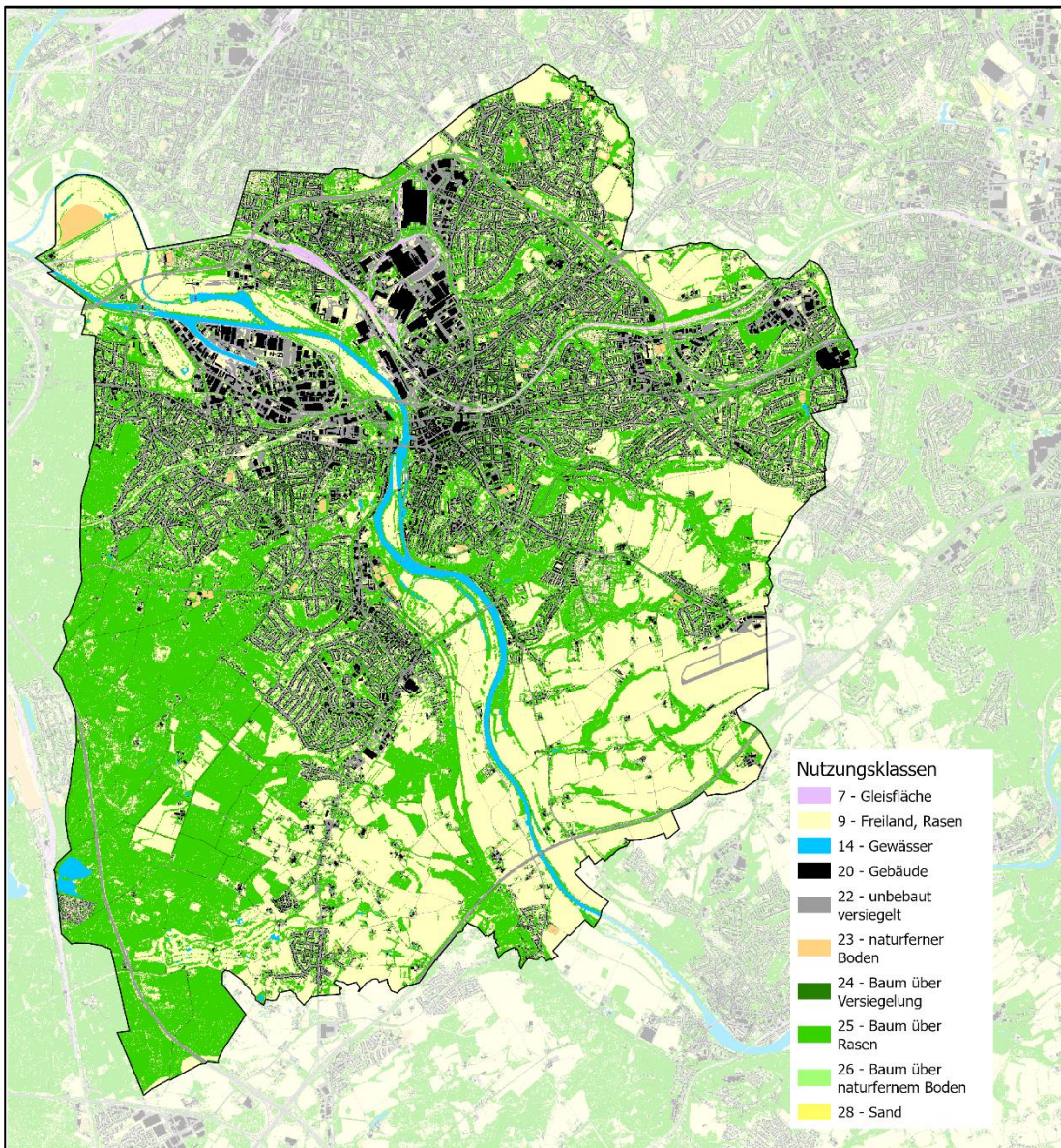


Abbildung 8: Nutzungsraster des Modellgebiets Mülheim an der Ruhr.



## Ergebnisse der Klimaanalyse

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur der Nachtsituation und Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) der Tagsituation beschrieben. Die Ergebnisse basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 5 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer autochthonen Sommerwetterlage. Sie gelten für den bodennahen Aufenthaltsbereich des Menschen und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation bzw. 14:00 Uhr für die Tagsituation. Die Modellergebnisse wurden in Form von PDF-Karten sowie als Geodaten (georeferenzierte Raster (.tif)) an die Stadt Mülheim an der Ruhr übergeben.

### 1.6 Nächtliches Temperaturfeld

Die Ermittlung der bodennahen nächtlichen Lufttemperatur ermöglicht es, überwärmte städtische Bereiche zu identifizieren (sogenannte städtische Wärmeinseln). Die aufgeführten **Absolutwerte** der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine sommerliche Strahlungswetterlage zu verstehen. Die **relativen Unterschiede** innerhalb der Stadt bzw. zwischen verschiedenen Landnutzungen gelten dagegen weitgehend auch während anderer Wetterlagen.

In Abhängigkeit der Landnutzung bzw. Boden- und Oberflächeneigenschaften sowie beeinflusst durch die Lage und Höhe des Standorts kühlen Flächen in den Abend- und Nachtstunden unterschiedlich stark ab. So reicht die bodennahe nächtliche Lufttemperatur von rd. 14,5 °C über reliefierten Freiflächen bis rd. 22 °C über Gewässerflächen und umfasst in Mülheim an der Ruhr damit eine Spannweite von 7,5 °C (Abbildung 9).

Über der Landfläche treten die höchsten nächtlichen Belastungen (>19,5 bis 20 °C) vorwiegend in der Mülheimer Innenstadt in den hoch versiegelten Straßenräumen und in den Gewerbegebieten auf. Die geringsten nächtlichen Lufttemperaturen des Siedlungsraums sind in den aufgelockerten Randbereichen und kleineren Ortschaften vorzufinden (rd. 15 bis 18 °C).

Grünflächen wirken ausgleichend auf die höheren Lufttemperaturen im Siedlungsraum, wobei sich hier ein differenziertes Bild ergibt. Im Umland kühlen Freiflächen am stärksten aus und weisen überwiegend Werte von 15 bis 16 °C auf (z.B. landwirtschaftliche Flächen im Umland). Innerstädtische Grünflächen wie Parks, Sportplätze und Hausgärten kühlen sich in der Nacht auf 15,5 bis 16 °C ab. In Wäldern bzw. auf Flächen mit dichtem Baumbestand mindert dagegen das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und somit die Auskühlung der Oberfläche, sodass bodennah Temperaturen von etwa 17 bis 18,5 °C in der Nacht erreicht werden. Auch wenn dies teilweise höhere Temperaturen als in stark durchgrüntem Siedlungsraum zur Folge hat, nehmen größere Waldgebiete bzw. baumbestandene Flächen eine wichtige Funktion als Frischluftproduktionsgebiete ein, in denen sauerstoffreiche und wenig belastete Luft entsteht – zudem kann sich Kaltluft auch über dem Kronendach bilden.

Die hohe spezifische Wärmekapazität von Wasser sorgt für einen verringerten Tagesgang der Lufttemperatur über Gewässern und deren unmittelbaren Nahbereich, sodass die nächtlichen Temperaturen unter Umständen höher als in der Umgebung sein können. Dies trifft auch für die größeren Fließ- und Stillgewässer in Mülheim an der Ruhr zu, bspw. rund 22 °C über der Ruhr.



**Bodennahe Lufttemperatur um 4 Uhr nachts**

- > 14 bis 15
- > 15 bis 16
- > 16 bis 17
- > 17 bis 18
- > 18 bis 19
- > 19 bis 20
- > 20



Abbildung 9: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur in Mülheim an der Ruhr.



## 1.7 Wärmebelastung am Tag (PET)

Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die physiologisch äquivalente Temperatur (*kurz* PET, s. Glossar) eine höhere Spannweite im Untersuchungsgebiet auf (s. Abbildung 10). Das der PET zugeordnete thermischen Befinden und die physiologischen Belastungsstufen nach VDI 3787, Blatt 2 (VDI 2022) sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Flächenhaft heben sich Waldgebiete mit den geringsten PET-Werten von unter 26 °C ab (leichte Wärmebelastung, vgl. Tabelle 2). Der Aufenthaltsbereich des Menschen liegt unterhalb des Kronendachs und ist somit vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt, sodass Wälder als Rückzugsorte dienen können. Auch Gewässer wirken am Tag kühlend auf ihre Umgebung, sodass am Ufer großer Gewässer überwiegend nur eine schwache Wärmebelastung und damit eine gute Aufenthaltsqualität am Tage vorliegt.

Die unbeschatteten Freiflächen, zumeist Agrarflächen und Grünland, weisen mit über 38 °C bis zu 42 °C hingegen eine extreme Wärmebelastung auf.

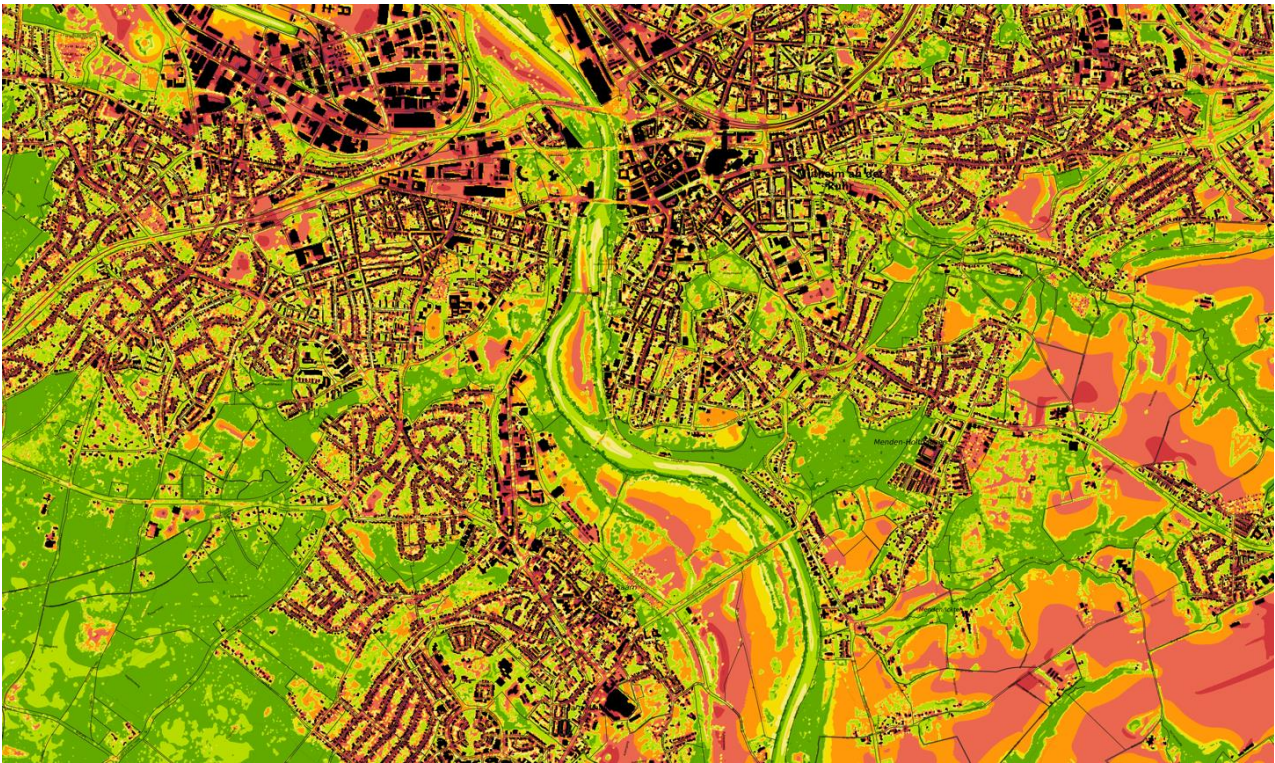
Im Siedlungsraum zeigt sich eine deutlich heterogene Wärmebelastung. Die ungünstigsten Bedingungen mit PET-Werten zwischen 35 °C und 43 °C treten insbesondere auf versiegelten, unverschatteten Straßen und Plätzen auf. Solche Bereiche finden sich beispielsweise in der Innenstadt und in den Gewerbegebieten.

Mülheim an der Ruhr weist im Siedlungsraum eine vergleichsweise hohe Baumdichte auf. Insbesondere zahlreiche begrünte und baumbestandene Innenhöfe tragen dazu bei, die Wärmebelastung während des Tages deutlich zu reduzieren.

Innerhalb des Stadtgebiets stellen mit Bäumen bestandene Grünflächen wie Parks, Friedhöfe oder Grünzüge sowie begrünte Innenhöfe aufgrund ihrer geringen Wärmebelastung wichtige Rückzugsorte für die Bevölkerung dar. Zu diesen Entlastungsorten im Siedlungsraum gehören bspw. der Ruhrpark, der Witthausbusch, der Park Peisberg, das Horbachtal oder die baumbestandene Uferzone der Ruhr.

Tabelle 2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET in den Tagesstunden (Auszug nach VDI 2022).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
> 18 °C bis ≤ 23 °C	Komfortabel (neutral)	Kein thermischer Stress
> 23 °C bis ≤ 29 °C	Leicht warm	Leichte Wärmebelastung
> 29 °C bis ≤ 35 °C	Warm	Moderate Wärmebelastung
> 35 °C bis ≤ 41 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung / Hitzestress
> 41 °C	Sehr heiß	Extrem starke Wärmebelastung / Hitzestress



Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) um 14 Uhr

- unter 23
- > 23 bis 26
- > 26 bis 29
- > 29 bis 32
- > 32 bis 35
- > 35 bis 38
- > 38 bis 41
- > 41 bis 43
- über 43



Abbildung 10: Wärmebelastung am Tage (PET) in Kartenausschnitten von Mülheim an der Ruhr.

## Klimatische Bewertung

### 1.8 Geometrische Basis

Die auf Rasterebene ausgewerteten Modellergebnisse erlauben eine detaillierte Darstellung der thermischen Größen im Untersuchungsgebiet (vgl. Kap. 0). Die Bewertungen der thermischen Situation muss sich hingegen auf eindeutig im Stadtraum räumlich abgrenzbare Flächen beziehen. Als Zielebene werden hierbei diejenigen Baublöcke gewählt, welche von der Stadt Mülheim an der Ruhr für eigene Analyse und Auswertungen genutzt werden und für die Hitzevulnerabilitätsanalyse zur Verfügung gestellt wurde.

Alle rasterbasierten Modellergebnisse werden zur Erstellung der klimatischen Bewertungskarten mithilfe eines statistischen, nicht gewichteten Raummittels aus allen, die jeweiligen Baublöcke schneidenden Rasterpunkte übertragen. Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die thermischen Größen der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum, zum anderen als räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten.

Die Baublockgeometrie von Mülheim an der Ruhr umfasst 1.986 Teilflächen, welche jeweils einen größeren Flächeninhalt als die Fläche einer einzelnen Rasterzelle des Modells (25m<sup>2</sup>) aufweisen. Aus diesem Grund treten auf der Rasterebene innerhalb einer Fläche in aller Regel höhere und/oder niedrigere Werte auf, als in der statistischen Generalisierung zu erkennen ist (Abbildung 11). Da die Baublöcke keine Straßengeometrien aufweisen, wurde für diese keine Bewertung der der bioklimatischen Situation vorgenommen.

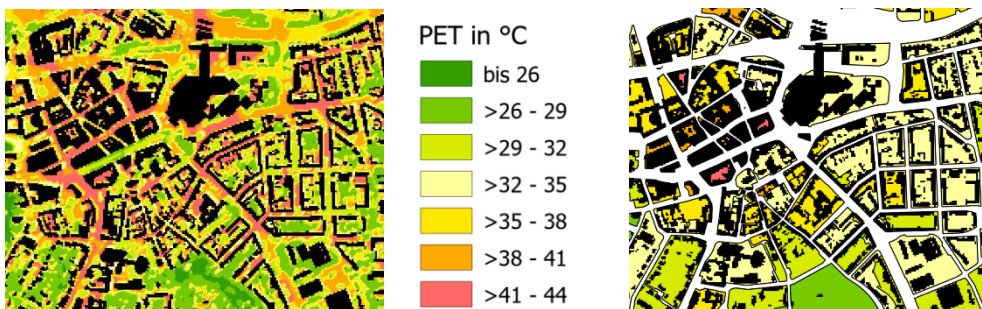


Abbildung 11: Raster der physiologisch äquivalente Temperatur (links) und Ergebnis der räumlichen Mittelwertbildung auf Ebene der Baublockfläche von Mülheim an der Ruhr (rechts).

## 1.9 Karten zur klimatischen Bewertung

### 1.9.1 Statistische Berechnung

Für jede Blockfläche wird die thermische Belastungssituation dargestellt. Wertgebend dabei ist in der Nacht die bodennahe Lufttemperatur als starker Indikator für den Schlafkomfort in Gebäuden sowie am Tag die Wärmebelastung im Außenraum (PET; vgl. Kap. 0). Bei der Nachttemperatur und der PET, die wie in Kap. 1.8 beschrieben auf die Blockflächen gemittelt werden, handelt es sich zunächst um absolute Werte, die ausschließlich für den gewählten meteorologischen Modellantrieb: „sommerliche autochthone Wetterlage“ (wolkenfreie Wetterlage ohne überregionalen Wind) gültig sind. Tatsächlich existieren innerhalb eines Sommers sowie selbst innerhalb der zu betrachtenden Wetterlage auch deutlich wärmere oder auch kühlere Situationen.



In Anlehnung an das Vorgehen zur Erstellung einer Planungshinweiskarte orientiert sich die Hitzevulnerabilitätsanalyse an dem methodischen Standard der VDI-Richtlinie 3785, Bl.1 (VDI 2008a) zur statistischen Normalisierung der modellierten Werte. Bei dieser sogenannten z-Transformation wird die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab herangezogen. Mathematisch bedeutet dies, dass von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt wird. Die resultierenden z-Werte werden in Anlehnung an die statistischen Lagemaßen (Mittelwert = 0 sowie positive und negative Standardabweichungen davon als obere und untere S<sub>1</sub>-Schranke) in vier Bewertungskategorien zwischen „1 - sehr günstig“ und „4 - ungünstig“ eingestuft (Abbildung 12).

$$z = \frac{\chi - \mu}{\sigma}$$

Dabei ist

- $z$  standardisierter Wert der Variablen  $x$
- $\chi$  Ausgangswert der Variablen  $x$
- $\mu$  arithmetisches Mittel
- $\sigma$  Standardabweichung

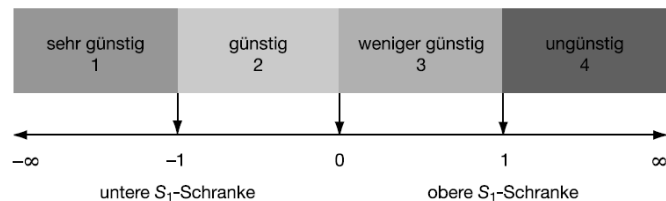


Abbildung 12: Verfahren der z-Transformation zur statistischen Standardisierung von Parametern und sich daraus ergebende Wertstufen (Quelle: VDI 2008)

Dem Bewertungsverfahren liegt also ein relativer Ansatz zugrunde, bei dem nicht nach universell gültigen (ggf. rechtlich normierten) Grenzwerten gefragt wird, sondern bei dem das auftretende Wertespektrum konkret für den analysierten Raum den Bewertungsmaßstab bildet. Das grundsätzliche Vorliegen von (hier: thermischen) Belastungen muss dabei als Prämisse zuvor abgeleitet worden sein. Andernfalls bestünde die Gefahr, Situationen als ungünstig zu bewerten, die eigentlich unkritisch sind (beispielsweise würde eine analoge Anwendung der Methode in den Wintermonaten keine sinnvollen Ergebnisse liefern).

Durch die Abstraktion von konkreten Absolutwerten ist das Bewertungsverfahren passfähig für die Bewertung der thermischen Belastungssituation in den Blockflächen. Die Methode ist für die vergleichende Bewertung von räumlich variablen Klimaparametern innerhalb eines festen Zeitschnitts ausgelegt (typischerweise den Status quo). Für diesen ergeben sich folgende statistische Werte für die z-Transformation<sup>3</sup>:

- Nächtl. Temperatur: Mittelwert = 17,119 °C Standardabweichung = 1,440 °C
- Wärmebelastung am Tag: Mittelwert = 32,521 °C PET Standardabweichung = 6,230 °C PET

### Klassifizierung der bioklimatischen Situation

Abweichend von der in der VDI-Richtlinie 3785, Bl.1 vorgeschlagenen vierstufigen Bewertung (Abbildung 12) wurde in der vorliegenden Untersuchung die bioklimatische Situation in fünf Klassen eingeteilt, um der hohen räumlichen Auflösung der Modellergebnisse und der damit verbundenen stärkeren Differenzierung der thermischen Belastung Rechnung zu tragen. Für die Tag-Situation wurden die Blockflächen in die Klassen *sehr günstige* (1) – *günstige* (2) – *mittlere* (3) – *ungünstige* (4) – *sehr ungünstige* (5) bioklimatische Situation eingeteilt (Tabelle 3). Die Abgrenzung erfolgte über die z-Transformation mit um den Mittelwert ( $z = 0$ ) schwankenden Klassen.

<sup>3</sup> Zur Erzeugung dieser Werte wurden ausschließlich solche Gitterpunkte aus den Modellergebnissen verwendet, die innerhalb des Siedlungsraums liegen (Wohn- und Gewerbegebiete sowie Straßenraum), da sie die zu vergleichende Gebietskulisse zur Bewertung der thermischen Situation bilden. Die Temperaturen im Ausgleichsraum blieben demnach unberücksichtigt.



In der Nacht ist die bioklimatische Situation in den Mülheimer Blockflächen anhand der nächtlichen Lufttemperatur eingeordnet. Der Fokus liegt in der Nachtsituation auf gesunden Schlafbedingungen. Die Tabelle 3 zeigt die Klassengrenzen der z-Transformation sowie die zugehörigen PET-Werte für die Blockflächen, Tabelle 4 zeigt äquivalent dazu die Grenzwerte für die Nachtsituation.

Tabelle 3: Grenzen der z-Transformation und zugehörige PET-Werte für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation am Tag.

Klasse	Bioklimatische Situation am Tag	Grenzen der z-Transformation	Zugehörige PET-Werte [°C]
1	Sehr günstig	$z \leq -0,6$	$PET \leq 36,20$
2	Günstig	$-0,6 < z \leq -0,2$	$36,20 < PET \leq 38,11$
3	Mittel	$-0,2 < z \leq 0,3$	$38,11 < PET \leq 40,50$
4	Ungünstig	$0,3 < z \leq 0,6$	$40,50 < PET \leq 41,94$
5	Sehr ungünstig	$z > 0,6$	$PET > 41,94$

Tabelle 4: Grenzen der z-Transformation und zugehörige Lufttemperaturen für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation in der Nacht.

Klasse	Bioklimatische Situation in der Nacht	Grenzen der z-Transformation	Zugehörige Temperaturen (T04) [°C]
1	Sehr günstig	$z \leq -0,5$	$T04 \leq 16,49$
2	Günstig	$-0,5 < z \leq 0,25$	$16,49 < T04 \leq 17,63$
3	Mittel	$0,25 < z \leq 0,75$	$17,63 < T04 \leq 18,39$
4	Ungünstig	$0,75 < z \leq 1,1$	$18,39 < T04 \leq 18,92$
5	Sehr ungünstig	$z > 1,1$	$T04 > 18,92$

## 1.9.2 Ergebnisse der klimatischen Bewertung

### Bewertungskarte der Nachtsituation

In der Abbildung 13 ist die klimatische Bewertung auf Blockflächenebene für die Nachtsituation dargestellt. Etwa 29 % der Flächen weisen eine **sehr günstige thermische Situation** auf. Dabei handelt es sich überwiegend um Blockflächen mit einem hohen Anteil an Grün- und Freiflächen sowie sehr geringen Versiegelungs- und Bebauungsanteilen. Eine **günstige thermische Situation** ist bei 25,5 % der Blockflächen festzustellen. Auch diese Flächen sind nur geringfügig bebaut, verfügen jedoch über einen höheren Anteil an Wäldern und Baumbestand, wodurch die nächtliche Abkühlung etwas schwächer ausfällt als bei baumfreien Flächen.

Der Klasse der **mittleren thermischen Situation** sind 31,6 % der Flächen zugeordnet. Dazu zählen insbesondere Waldflächen sowie zahlreiche Blockflächen mit Wohnbebauung in Siedlungsrandlagen. Aufgrund des vergleichsweise hohen Grünanteils kühlen diese bewohnten Baublöcke nachts weiterhin gut aus.

Eine **ungünstige thermische Situation** liegt bei 8,3 % der Flächen vor. Diese sind durch dichtere Bebauung und höhere Versiegelungsgrade geprägt und befinden sich überwiegend im Stadtkern von Mülheim an der Ruhr. Auf weitere 5,5 % der Flächen entfällt eine **sehr ungünstige thermische Situation**, wovon unter anderem stark versiegelte Gewerbeflächen sowie die Mülheimer Altstadt betroffen sind.

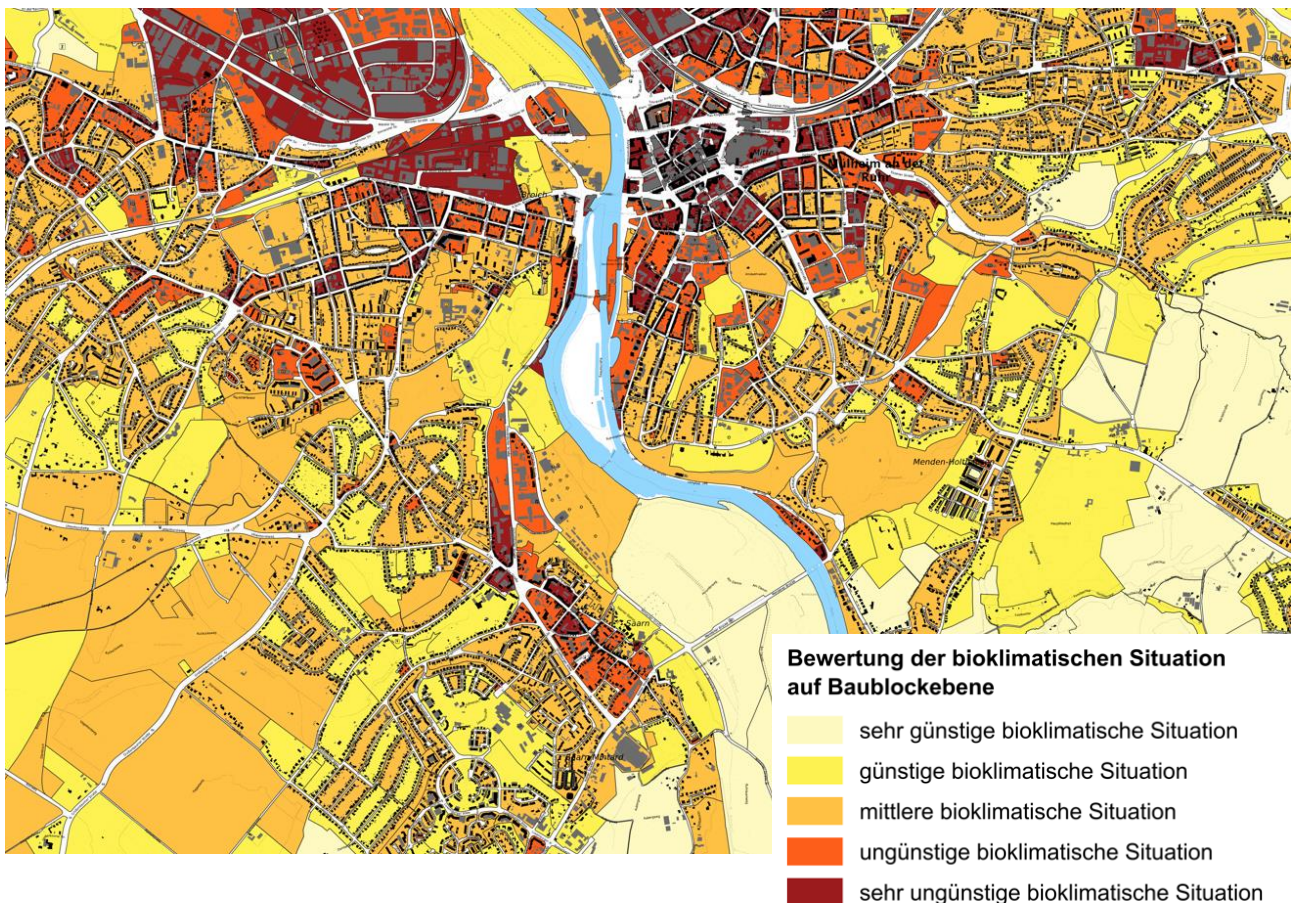


Abbildung 13: Bewertungskarte der Nachtsituation (Ausschnitt). Darstellung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene.

## Bewertungskarte der Tagsituation

In der Abbildung 14 ist die klimatische Bewertung der Tagsituation für die Baublöcke aufgetragen, für welche die Größe der PET ausschlaggebend, welche vornehmlich durch Verschattung bestimmt wird.

In Mülheim an der Ruhr sind 20,5 % der Blockflächen durch eine **sehr günstige thermische Situation** gekennzeichnet, darunter befinden sich vor allem Waldgebiete im Südwesten des Stadtgebiets sowie Blockflächen am Witthausbusch. Eine **günstige thermische Situation** weisen 13,3 % der Flächen auf, darunter fallen baumbestandene Blockflächen mit geringen Bebauungsanteilen. 27,8 % der Flächen sind mit einer **mittleren thermischen Situation** bewertet, hierzu zählen neben einigen baumbestandenen Grün- und Freiflächen auch viele dichter besiedelte Blockflächen in Siedlungsbereichen mit zahlreichen Stadtbäumen. Eine **ungünstige thermische Situation** weisen 19,5 % der Blockflächen auf, neben unbeschatteten Freiflächen sind auch Wohngebiete mit nur geringem Baumbestand davon betroffen. In stark versiegelten Gewerbegebieten und Wohngebieten ohne nennenswerten Baumbestand sowie auf einigen Freiflächen liegt aufgrund der fehlenden Beschattung eine **sehr ungünstige thermische Situation** vor.

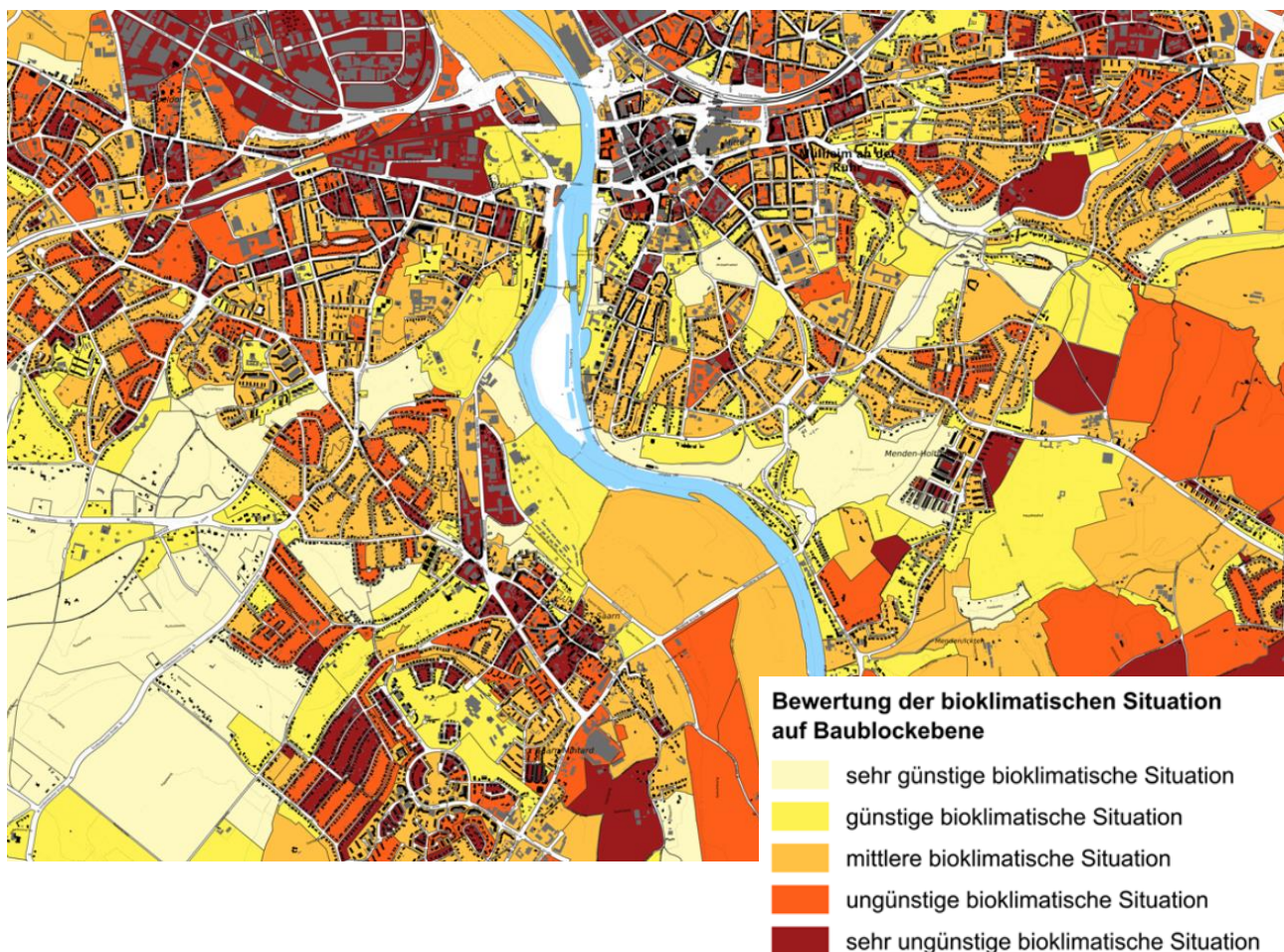


Abbildung 14: Bewertungskarte Tagsituation (Ausschnitt). Darstellung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene.



### Klimatische Gesamtbewertung

In einem weiteren Schritt werden die Ergebnisse der Einzelbewertungen der Tag- und Nachtsituation zu einer Gesamtbewertung zusammengeführt. Dies erfolgt mithilfe einer Matrix, die für alle Blockflächen den Schwerpunkt auf die nächtlichen Bedingungen legt und damit die Schlafsituation etwas höher gewichtet.

Als Ergebnis entsteht eine neue gesamthafte Tag-Nacht-Blockflächenbewertung der Klassenstufen 1 (geringste bioklimatische Belastung) bis 5 (höchste bioklimatische Belastung) (s. Tabelle 5). Als Beispiel für eine Blockfläche mit einer günstigen bioklimatischen Situation am Tage (Klasse 2) und einer ungünstigen Situation in der Nacht (Klasse 4) ergibt sich in der Gesamtbewertung die Klasse 4 (hohe Belastung).

Tabelle 5: Bewertungsmatrix für eine Gesamtbewertung der Blockflächen in der Tag- und Nachtsituation.

Wohnsiedlungen		Bewertung Nacht				
		1 sehr günstig	2 günstig	3 mittel	4 ungünstig	5 sehr ungünstig
Bioklima Tag	1 sehr günstig	1	2	3	3	4
	2 günstig	1	2	3	4	4
	3 mittel	2	2	3	4	5
	4 ungünstig	2	3	3	4	5
	5 sehr ungünstig	3	3	4	5	5

In Abbildung 15 ist die klimatische Gesamtbewertung der Tag- und Nachtsituation dargestellt. Flächen mit einer **(sehr) hohen klimatischen Belastung** finden sich insbesondere in dicht bebauten und stark versiegelten Blockflächen im Stadtzentrum sowie in den Gewerbegebieten. Bewohnte Blockflächen in Siedlungsrandlage weisen hingegen überwiegend eine **mittlere Belastung** auf. Blockflächen im Außenraum umfassen häufig Freiflächen, die sich tagsüber stark aufheizen und nachts wiederum stark abkühlen.

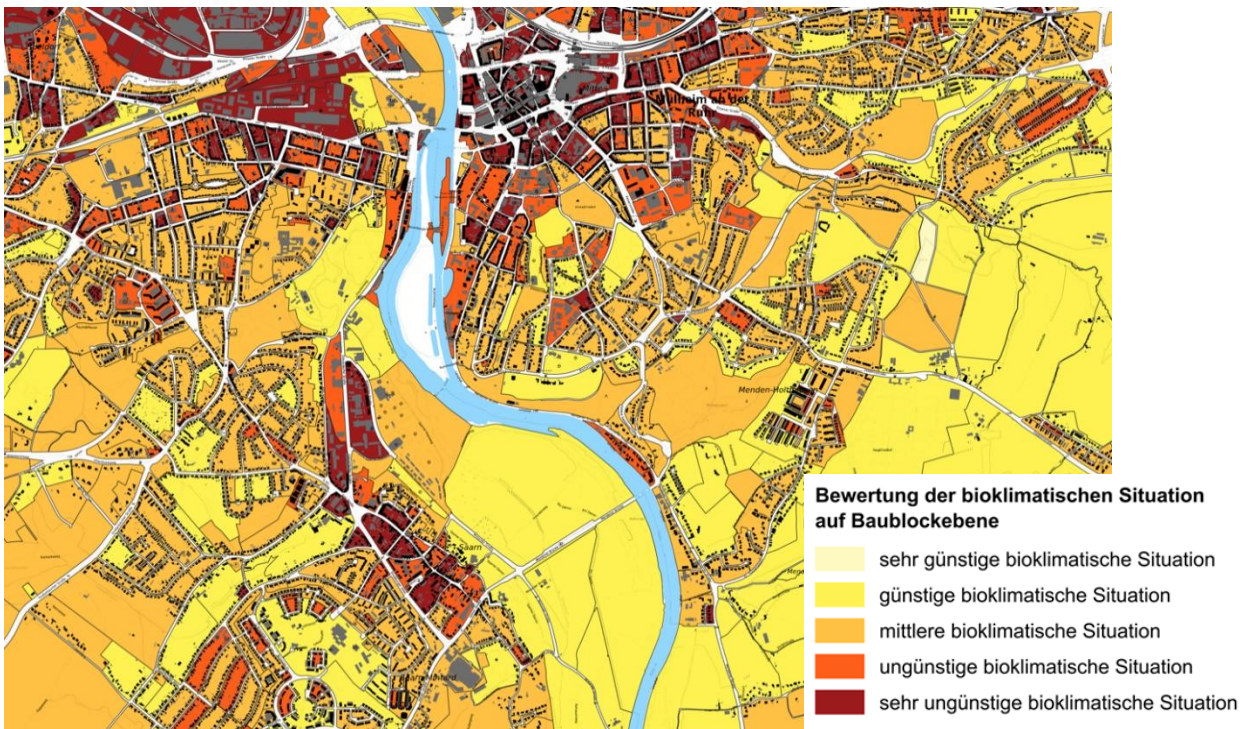


Abbildung 15: Bewertungskarte Gesamtsituation Tag und Nacht (Ausschnitt). Darstellung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene.



## Sensitivitätsanalyse der Bevölkerung

### 1.10 Datengrundlage

Die Durchführung der Sensitivitätsanalyse erfolgt auf Basis des Handlungsleitfadens **KLIMPRAX** (HLNUG, 2019) und wird unter Berücksichtigung der Datenverfügbarkeit an die städtischen Rahmenbedingungen von Mülheim an der Ruhr angepasst.

Für die Sensitivitätsanalyse müssen zunächst geeignete Indikatoren und Merkmale identifiziert werden, die die Sensitivität der Bevölkerung gegenüber Hitze abbilden. Grundvoraussetzung hierfür ist, dass die entsprechenden Daten von der Stadt Mülheim an der Ruhr vorliegen und in einer geeigneten räumlichen Auflösung für die Analyse bereitgestellt werden können.

In Abstimmung mit dem zuständigen Fachbereich der Stadt Mülheim an der Ruhr wurden folgende Indikatoren ausgewählt und bereitgestellt:

**DEMOGRAPHISCHE DATEN.** Für die Analyse wurde die Personenanzahl besonders hitzesensibler Bevölkerungsgruppen, darunter **Kinder** (bis 5 Jahre), **Senioren** (65 bis 79 Jahre) und **Hochaltrige** (ab 80 Jahre) pro Baublock verwendet. Da ältere Menschen während Hitzeextremen eine erhöhte Übersterblichkeit (An Der Heiden et al., 2019) und Kleinkinder aufgrund bestimmter physiologischer Eigenschaften eine geringere Anpassungsfähigkeit gegenüber hohen Temperaturen aufweisen (Böse-O'Reilly et al., 2023).

Zusätzlich zu den zuvor genannten Altersklassen wurde die **Gesamtbevölkerung pro Baublock** als weiterer Sensitivitätsindikator berücksichtigt. Je mehr Menschen in einem Baublock leben, desto mehr Personen sind potenziell von Hitze betroffen – auch dann, wenn ein Großteil der Bewohner keiner klassischen Risikogruppe (Kinder oder ältere Menschen) angehört. Denn Hitze kann unabhängig vom Alter gesundheitliche Beschwerden, Hitzestress und Leistungseinschränkungen verursachen. Darüber hinaus deutet eine hohe Bevölkerungsdichte auf eine verstärkte lokale Wärmeproduktion durch Abwärme, Klimageräte oder Verkehr hin. Eine dichtere Bebauung und Besiedelung kann somit die städtebauliche Hitzeproblematik verschärfen, zudem werden vorhandene kühlende Aufenthaltsräume, wie beispielsweise beschattete Grünflächen, stärker beansprucht.

**SOZIOÖKONOMISCHE DATEN.** Als weiterer Indikator wurde neben den demographischen Angaben auch sozioökonomische Faktoren berücksichtigt. Als ökonomisch und sozial benachteiligt gelten Menschen, die Leistungen zur Existenzsicherung nach **SGB II** (Grundsicherung für Arbeitssuchende) oder **SGB XII** (Sozialhilfe) erhalten und somit über begrenzte finanzielle Mittel verfügen.

Armut kann Hitzegefährdungen unter anderem begünstigen, weil sie oft mit einem schlechteren Gesundheitszustand, schlechteren Wohnbedingungen, weniger Möglichkeiten zum Aufsuchen kühler Aufenthaltsräume sowie geringerer Teilhabe am gesellschaftlichen Leben einhergeht. Die Ergebnisse internationaler Studien zur erhöhten Sterblichkeit bei sozial Benachteiligten sind allerdings nicht einheitlich, und die Übertragbarkeit auf Deutschland ist kritisch zu diskutieren (HLNUG, 2019). Darüber hinaus verfügen sozial benachteiligte Haushalte häufig nicht über die finanziellen Mittel, um eigene Anpassungsmaßnahmen wie Außenrollen, Markisen oder Klimageräte anzuschaffen, wodurch die Schutzmöglichkeiten bei Hitze weiter eingeschränkt sind.

Für die Sensitivitätsanalyse wurde die Anzahl von Leistungsempfängern nach SGB II und SGB XII pro Baublock von der Stadt Mülheim an der Ruhr ermittelt. Aus Datenschutzgründen erfolgte die Weitergabe als Leistungsempfängerdichte und Einteilung in Dezile (s. hierzu Kapitel 1.11).



**GEBÄUDEERWÄRMUNG.** Als weiterer Risikofaktor wurden gebäudebezogene Daten zum **Gesamtwärmebedarf** aus dem Wärmekataster der Stadt Mülheim an der Ruhr in die Sensitivitätsanalyse einbezogen. Der Gesamtwärmebedarf eines Gebäudes dient dabei als Indikator für dessen Dämmzustand. Auf dieser Grundlage wird abgeleitet, inwieweit sich ein Gebäude im Sommer stärker oder geringer aufheizt: Gebäude mit schlechter Dämmung und hohem Gesamtwärmebedarf sind tendenziell stärker von sommerlicher Überwärmung betroffen, während gut gedämmte Gebäude mit niedrigem Gesamtwärmebedarf eine geringere Aufheizung aufweisen.

Die Verwendung des Gesamtwärmebedarfs als Indikator für den sommerlichen Aufheizungsgrad von Gebäuden ist jedoch mit methodischen Unsicherheiten verbunden. Der Wärmebedarf bildet primär den Heizenergiebedarf in der Heizperiode ab und stellt damit lediglich einen indirekten, stellvertretenden Indikator für den sommerlichen Wärmeeintrag dar. Winterliche und sommerliche thermische Prozesse unterscheiden sich deutlich, sodass ein niedriger Wärmebedarf nicht zwangsläufig mit einer geringen sommerlichen Überwärmung einhergeht: Gebäude mit hoher Wärmedämmqualität geben nachts weniger Wärme an die Umgebung ab, was während anhaltender Hitzeperioden zu einer verstärkten Wärmespeicherung und damit zu einem Wärmestau im Gebäude führen kann. Zudem bleiben gebäudespezifische Einflussfaktoren wie Ausrichtung, Fensteranteile und Verschattung unberücksichtigt. Die Ergebnisse sind daher als vereinfachte Annäherung zu interpretieren.

**SENSIBLE ORTE.** Ein weiteres Merkmal für die Ausweisung sensibler Flächen soll das Vorkommen bestimmter sensibler Nutzungen oder Orte innerhalb eines Baublocks sein. Hierfür wurden ausgewählte Infrastrukturdaten zu den Themenschwerpunkten „Pfleger und Gesundheit“, „Schulen“ und „Spiel, Sport und Betreuung“ aus dem kommunalen Monitoringsystem der Stadt Mülheim an der Ruhr verwendet (*KomMonitor, 2025*). Die Standorte folgender Einrichtungen wurden in die Analyse einbezogen und berücksichtigt:

- Alten-/ Pflegeheime
- Hospize und palliative Versorgung
- Kindergärten
- Schulen
- Spielplätze

An den genannten Orten halten sich vulnerable Bevölkerungsgruppen, darunter Ältere, kranke Menschen und Kinder über einen längeren Zeitraum auf. Schulen wurden in der Hitzeanalyse berücksichtigt, da sie tagsüber von vielen Kindern genutzt werden, die besonders hitzeempfindlich sind. Neben Schüler/-innen hält sich auch das Lehrpersonal über mehrere Stunden in potenziell überhitzten Gebäuden auf, was kognitive und gesundheitliche Auswirkungen haben kann.

## 1.11 Datenverarbeitung

### Daten auf Zielebene aggregieren

Die Zielebene für die Datenauswertung sind die Baublöcke der Stadt Mülheim an der Ruhr. Die demographischen und sozioökonomischen Daten wurden bereits auf dieser Ebene von der Stadt Mülheim an der Ruhr zur Verfügung gestellt.

Die Daten zum Gesamtwärmebedarf (GWB) lagen auf der detaillierten Ebene einzelner Gebäude und Gebäudeteile vor und mussten daher auf die Ebene der Blockflächen aggregiert werden. Zu diesem Zweck wurde für jeden Baublock der jährliche spezifische Gesamtwärmebedarf ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) berechnet, indem die Nutzflächen



und der Gesamtwärmebedarf aller den jeweiligen Baublock schneidenden Gebäude aufsummiert und anschließend zueinander ins Verhältnis gesetzt wurden (Summe GWB / Summe Nutzfläche). In die Berechnung flossen ausschließlich Gebäude mit Wohn- bzw. Mischnutzung ein.

Für den Indikator der vulnerablen Orte, die lagegetreu dargestellt sind, wurde je Baublock die Information übernommen, ob sich mindestens ein sensibler Ort innerhalb des jeweiligen Blocks befindet.

#### Daten klassifizieren und einstufen

Die Daten werden räumlich vergleichbar gemacht, indem nicht die absoluten Einwohnerzahlen, sondern die **Bevölkerungsdichte** der Basisindikatoren betrachtet wird. Diese wird als Anzahl der betroffenen Personen pro Hektar Wohn- und Mischbaufläche eines Baublocks berechnet, woraus sich die Hochaltrigendichte, Seniorendichte, Kinderdichte, Gesamtbevölkerungsdichte und die Armutsdichte ergeben.

Die Angaben zur Wohn- und Mischbauflächen stammen aus den ALKIS<sup>4</sup>-Daten, die von der Stadt Mülheim an der Ruhr bereitgestellt wurden. Die Bevölkerungsdichte wird für jeden Basisindikator und jeden Baublock bestimmt – je höher die Dichte, desto sensibler gilt der Baublock.

Die Werte des spezifische Gesamtwärmebedarfs pro Baublock werden zur Klassifizierung ebenfalls in Dezile eingeteilt.

Da es keine allgemein gültigen Schwellenwerte für die Klassifizierung der Sensitivitätsindikatoren gibt, werden die Klassen anhand einer Dezil-Einteilung der Bevölkerungsdichten gebildet. Dezile unterteilen die nach Größe geordneten Indikatorwerte in zehn gleich große Gruppen. So lassen sich jeweils 10 % der Baublöcke mit den übrigen vergleichen. Dieses Vorgehen orientiert sich am Handlungsleitfaden des HLNUG (Klimprax).

In der nachfolgenden Tabelle 6 werden die Dezilgrenzen der einzelnen Indikatoren aufgeführt.

Die zeigt exemplarisch die Hochaltrigendichte in Dezilen für einen Teilbereich von Mülheim an der Ruhr. Im Anhang sind die vollständigen Dezilkarten der in Tabelle 6 genannten Indikatoren aufgeführt.

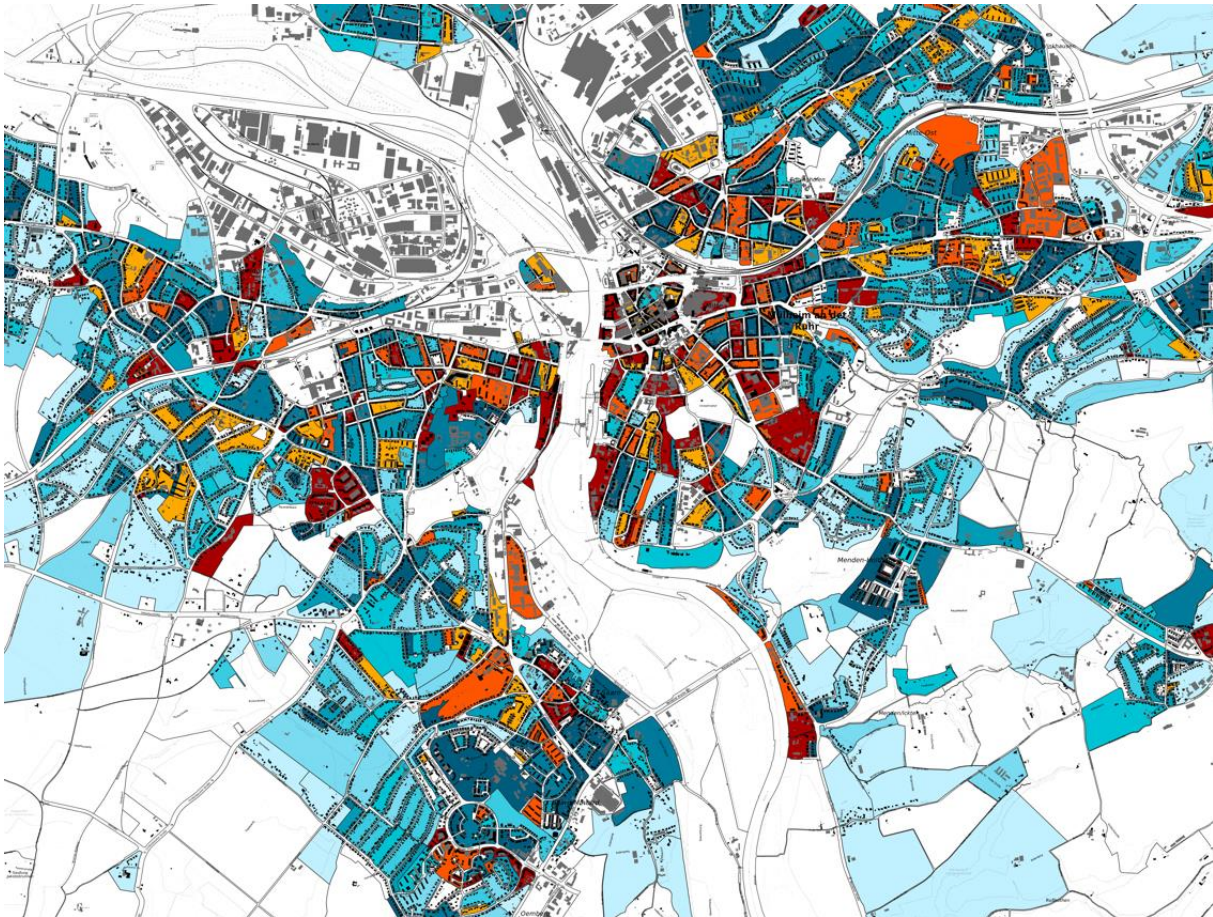
---

<sup>4</sup> ALKIS = Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem



Tabelle 6: Dezilgrenzen der Basisindikatoren aus der Sensitivitätsanalyse.

Dezil	Dezilgrenzen der Basisindikatoren											
	Hochaltrige		Senioren		Kinder		Gesamtbevölkerung		Armut		Gesamtwärmebedarf	
	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
1	0,73	2,84	0,06	4,90	0,05	2,12	0,11	21,33	0,04	1,05	1,21	13,61
2	>2,84	3,80	>4,90	7,48	>2,13	2,94	>21,33	38,56	>1,05	2,06	>13,69	22,41
3	>3,80	4,71	>7,48	9,44	>2,95	3,58	>38,56	49,92	>2,06	3,47	>22,41	28,47
4	>4,72	5,64	>9,46	11,71	>3,58	4,47	>49,92	64,08	>3,49	5,94	>28,52	33,84
5	>5,65	6,81	>11,72	13,74	>4,48	5,64	>64,08	77,88	>5,94	9,54	>33,84	38,81
6	>6,81	8,14	>13,77	16,53	>5,64	6,89	>77,88	93,29	>9,58	15,31	>38,92	45,84
7	>8,15	9,96	>16,53	19,91	>6,89	8,84	>93,29	114,40	>15,32	24,27	>45,84	54,18
8	>10,00	12,27	>19,94	24,48	>8,86	11,49	>114,40	147,28	>24,45	37,92	>54,24	64,78
9	>12,28	17,26	>24,55	31,75	>11,58	17,07	>147,28	204,95	>38,30	75,12	>64,94	86,37
10	>17,28	311,86	>31,76	612,32	>17,28	223,06	>204,95	3015,95	>75,30	832,90	>86,47	1235,86



Darstellung der Hochaltrigendichte\* auf Baublockebene,  
Einteilung in Dezilen

Klassen 1 bis 10

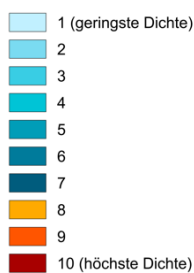


Abbildung 16: Darstellung der Hochaltrigendichte in Dezilen.

### Datenaggregation

Um zu ermitteln, welche Baublöcke besonders viele sensitive Basisindikatoren aufweisen – also Bereiche, in denen vergleichsweise viele sensible Bevölkerungsgruppen und/oder sensible Nutzungen vorkommen – werden die einzelnen Indikatoren zusammengeführt.

Zunächst werden für jeden Basisindikator die obersten Dezilklassen festgelegt, dabei orientiert sich die Einteilung grundsätzlich an KLIMPRAX, wurde jedoch projektspezifisch angepasst (siehe Tabelle 7). Anschließend wird für jeden Baublock die Anzahl der zutreffenden Basisindikatoren innerhalb der definierten obersten Dezilklassen summiert. Besonders vulnerable ältere Menschen (Hochaltrige und Senioren) werden in den Baublöcken erfasst, die zu den obersten 30 % der Bevölkerungsdichte dieser beiden Gruppen gehören. Für die Kinder-, Armuts- und Gesamtbevölkerungsdichte sowie den spezifische Gesamtwärmebedarf werden jeweils

die obersten 10 % der Werte berücksichtigt. Ergänzend wird das Vorhandensein sensibler Nutzungen berücksichtigt, wobei zwischen Tages- und Nachtnutzung differenziert wird. Sensible Orte wie Spielplätze, Kindergärten und Schulen werden daher bei der Bewertung der nächtlichen Sensitivität nicht einbezogen, da sie nachts nicht genutzt werden. In einem Baublock können somit zwischen null und sieben Faktoren zutreffen.

Die Abbildung 17 stellt die Anzahl zutreffender Basisindikatoren auf Baublockebene für die Tag- bzw. Gesamtsituation dar.

Tabelle 7: Auswahl der obersten Dezile für sensitive Basisindikatoren.

Wert	Indikator	Dezilklasse
1	Hochaltrigendichte	Dezile 8 bis 10
1	Seniordichte	Dezile 8 bis 10
1	Kinderdichte	Dezil 10
1	Gesamtbevölkerungsdichte	Dezil 10
1	Armutsdichte	Dezil 10
1	Spezifischer Gesamtwärmebedarf	Dezil 10
1	Mindestens 1 sensibler Ort	/
Maximale Anzahl zutreffender Indikatoren: 7		

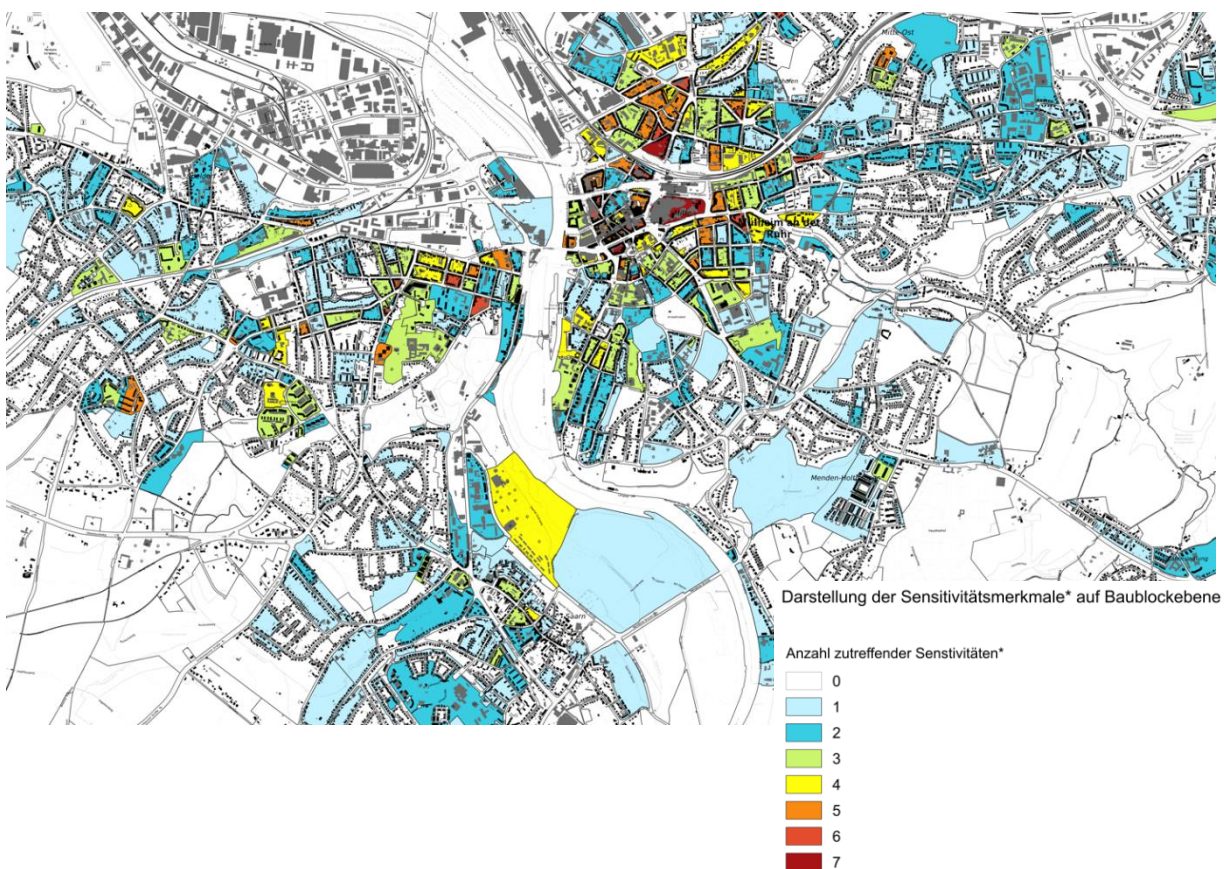


Abbildung 17: Darstellung der Anzahl zutreffender Basisindikatoren.



## Hitzevulnerabilität und Betroffenheit

Die bisherige Analyse der Sensitivität der Baublöcke – definiert durch das Vorkommen vulnerabler Bevölkerungsgruppen und sensibler Nutzungen – wird im Folgenden um die Dimension der Hitzebelastung erweitert. Ziel ist es, nicht nur Bereiche mit einer hohen Vulnerabilität zu identifizieren, sondern gezielt diejenigen Baublöcke hervorzuheben, in denen vulnerable Gruppen auch einer erhöhten Hitzebelastung ausgesetzt sind und somit die **Betroffenheit** abzuleiten. Baublöcke mit hoher Sensitivität, die jedoch nur geringe Hitzeeinwirkungen erfahren, werden für das Risikoprofil entsprechend niedriger bewertet. Durch die Verknüpfung von Sensitivität und Hitze können somit die räumlichen Prioritäten für Anpassungsmaßnahmen und Schutzstrategien präziser bestimmt werden.

### Aggregation von Sensitivität und Hitze

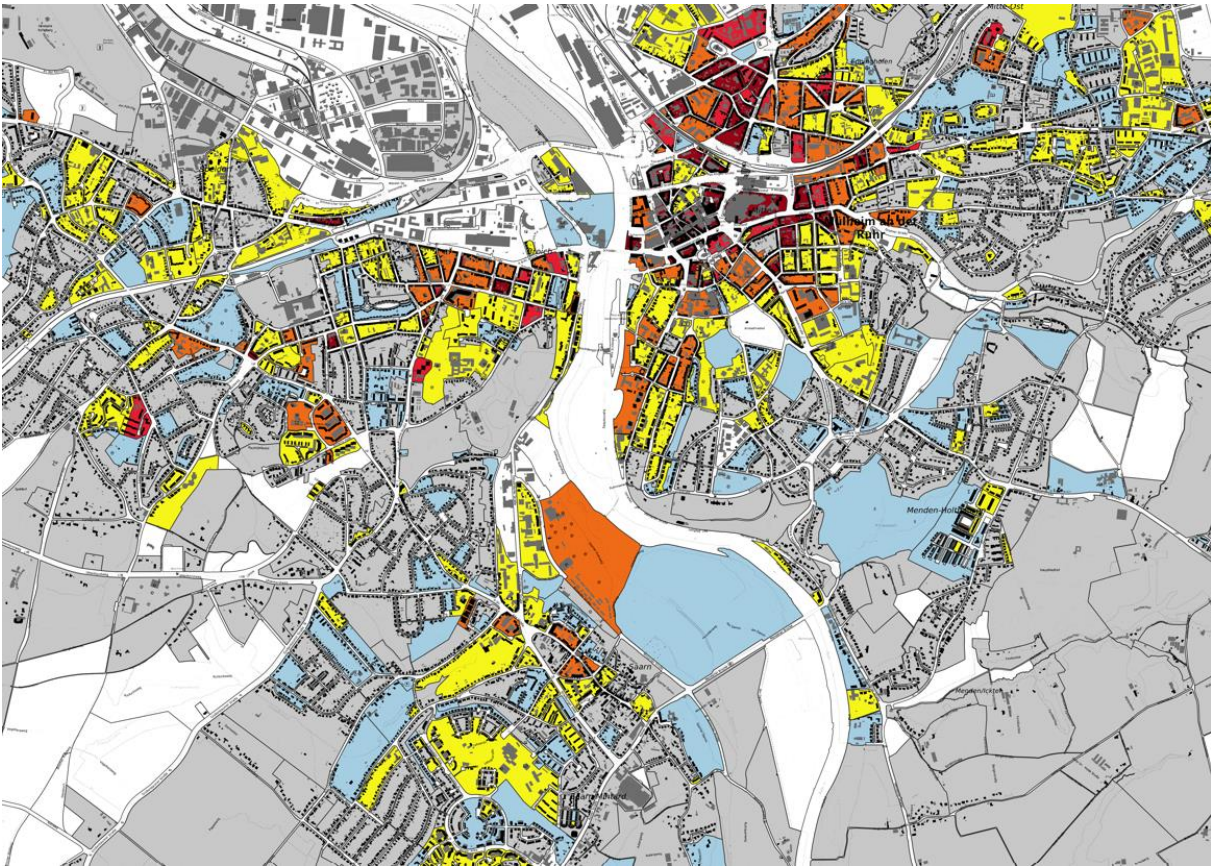
Die Bewertung der Hitzebelastung auf Baublockebene erfolgte über eine fünfstufige Klassifikation der bioklimatischen Situation und ist in Kapitel 1.9 dokumentiert. Die bioklimatische Situation wird getrennt nach Tag- und Nachtsituation bewertet und zusätzlich in aggregierter Form als Gesamtbewertung dargestellt. Die Klasse „*sehr günstig*“ steht dabei für eine sehr geringe Wärmebelastung, während die Klasse „*sehr ungünstig*“ eine sehr starke Wärmebelastung kennzeichnet.

Die Betroffenheit in den Baublöcken wird anhand eines kombinierten Ansatzes aus Sensitivität und Hitzebelastung abgeleitet und in sechs Klassen von *sehr hoch*, *hoch*, *mittel*, *gering*, *sehr gering* bis *keine* eingestuft. Je höher die Anzahl sensibler Indikatoren und je größer die Hitzebelastung, desto stärker ist die Betroffenheit der Menschen in dem jeweiligen Baublock (s. Tabelle 8).

Die Ableitung der Betroffenheit erfolgt getrennt für die Tag- und Nachtsituation sowie als Gesamtbewertung von Tag und Nacht. Bewohnte Baublöcke, die keine sensiblen Basisindikatoren aufweisen, erhalten die Betroffenheitszuordnung „*keine*“. Unbewohnte Baublöcke können über den Indikator „sensible Orte“ einen Sensitivitätswert erhalten und werden auf Grundlage ihrer klimatischen Einstufung in die Betroffenheitsklasse „*gering*“ oder „*sehr gering*“ eingestuft. Unbewohnte Baublöcke ohne sensible Orte werden in der Karte als weiße Fläche dargestellt (s. Abbildung 18).

Tabelle 8: Matrix zur Ermittlung der Betroffenheit.

Tag/Nacht-Bewertung		Sensitivitätswert							0
		7	6	5	4	3	2	1	
5	sehr ungünstig	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	hoch	mittel	gering	gering	keine
4	ungünstig	sehr hoch	sehr hoch	hoch	mittel	mittel	gering	gering	keine
3	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel	gering	gering	Sehr gering	keine
2	günstig	mittel	mittel	gering	gering	gering	gering	Sehr gering	keine
1	sehr günstig	Sehr gering	Sehr gering	Sehr gering	Sehr gering	Sehr gering	Sehr gering	Sehr gering	keine



Darstellung der Betroffenheit\* für die Tag- und Nachtsituation auf Baublockebene

- Betroffenheit
- sehr hoch
  - hoch
  - mittel
  - gering
  - sehr gering
  - keine
  - Baublock unbewohnt

Abbildung 18: Darstellung der Betroffenheit für die Gesamtsituation (Tag und Nacht).



## Fazit

Die Hitzevulnerabilitätsanalyse zeigt, dass eine erhöhte Betroffenheit durch Hitze räumlich und sozial ungleich verteilt ist. Zur Abbildung der sozialen und demografischen Vulnerabilität wurden die Indikatoren Hochaltrigendichte, Seniorendichte, Kinderdichte, Armutsdichte, der Gesamtwärmebedarf von Wohngebäuden sowie die Lage sensibler Orte herangezogen. Diese ermöglichen eine differenzierte Betrachtung besonders gefährdeter Bevölkerungsgruppen und Nutzungen. Die Hitzebelastung selbst wurde auf Grundlage einer hochauflösten Modellrechnung ermittelt und bildet die räumliche Verteilung thermischer Belastungen ab.

Eine erhöhte Betroffenheit durch Hitze liegt vor, wenn Baublöcke mit einer hohen Konzentration vulnerabler Bevölkerungsgruppen mit erhöhten Hitzebelastungen zusammenfallen. Insbesondere hochaltrige Personen, Kinder sowie einkommensschwächere Haushalte sind in diesen Bereichen einem erhöhten gesundheitlichen Risiko ausgesetzt. Sensible Orte wie Pflegeeinrichtungen, Kitas oder Schulen stellen dabei zusätzliche räumliche Schwerpunkte der Vulnerabilität dar.

Die hitzebedingte Betroffenheit wurde getrennt für die Tag- und Nachtsituation sowie in einer kombinierten Betrachtung analysiert. Dabei zeigen sich zwischen den Tages- und Nachtbelastungen räumliche Unterschiede in der Ausprägung und Verteilung der Vulnerabilität. Unabhängig von der jeweiligen Betrachtung wird jedoch deutlich, dass insbesondere das Stadtzentrum von Mülheim an der Ruhr in allen Analysen eine erhöhte Hitzebelastung und Betroffenheit aufweist. Dies unterstreicht die besondere Relevanz dieses Bereichs für Anpassungs- und Hitzeschutzmaßnahmen.

Insgesamt wird deutlich, dass Hitze nicht allein ein klimatisches Phänomen ist, sondern maßgeblich durch soziale, demografische und bauliche Strukturen beeinflusst wird. Die identifizierten räumlichen Hotspots bieten eine belastbare Grundlage für die Priorisierung kommunaler Anpassungsmaßnahmen, etwa durch die Stärkung blau-grüner Infrastrukturen, bauliche Entsiegelung sowie Hitzeschutz- und Informationsangebote. Die Analyse leistet damit einen wichtigen Beitrag zur evidenzbasierten Planung und zur Erhöhung der Resilienz gegenüber zunehmenden Hitzebelastungen infolge des Klimawandels.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klimakomfort und -diskomfort in verschiedenen Lufttemperatur- und Windgeschwindigkeitsbereichen (verändert nach (VDI 3787, Blatt 4, 2020)).....	6
Abbildung 2: Klima-Michel-Modell und Gefühlte Temperatur (DWD, 2022). ....	6
Abbildung 3: Nächtliche Innenraumtemperatur (22:00 – 06:00 Uhr) in 500 Augsburger Schlafzimmern in den Sommermonaten 2019 (Beckmann et al., 2021). ....	8
Abbildung 4: Gesundheitliche Belastung verschiedener Gruppen bei Hitze in Bonn (n=688) (Sandholz & Sett, 2019).....	9
Abbildung 5: Hitzebedingte Mortalitätsrate nach Altersgruppe und Region von 2001 - 2015 (An der Heiden et al. 2019) .....	9
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Wärmeinseleffekts (DWD, 2023).....	10
Abbildung 7: Schematische Darstellung des Tagesgangs der Lufttemperatur und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen (eigene Darstellung nach Groß 1992). ...	13
Abbildung 8: Nutzungsraster des Modellgebiets Mülheim an der Ruhr. ....	15
Abbildung 9: Bodennahe nächtliche Lufttemperatur in Mülheim an der Ruhr. ....	17
Abbildung 10: Wärmebelastung am Tage (PET) in Kartenausschnitten von Mülheim an der Ruhr. ....	19
Abbildung 11: Raster der physiologisch äquivalente Temperatur (links) und Ergebnis der räumlichen Mittelwertbildung auf Ebene der Baublockfläche von Mülheim an der Ruhr (rechts). ....	20
Abbildung 12: Verfahren der z-Transformation zur statistischen Standardisierung von Parametern und sich daraus ergebende Wertstufen (Quelle: VDI 2008).....	21
Abbildung 13: Bewertungskarte der Nachtsituation (Ausschnitt). Darstellung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene. ....	23
Abbildung 14: Bewertungskarte Tagsituation (Ausschnitt). Darstellung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene. ....	24
Abbildung 15: Bewertungskarte Gesamtsituation Tag und Nacht (Ausschnitt). Darstellung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene. ....	25
Abbildung 16: Darstellung der Hochaltrigendichte in Dezilen.....	30
Abbildung 17: Darstellung der Anzahl zutreffender Basisindikatoren.....	31
Abbildung 18: Darstellung der Betroffenheit für die Gesamtsituation (Tag und Nacht).....	33

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datenquellen zur Erstellung des Nutzungsrasters .....	14
Tabelle 2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET in den Tagesstunden (Auszug nach VDI 2022).....	18
Tabelle 3: Grenzen der z-Transformation und zugehörige PET-Werte für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation am Tag. ....	22
Tabelle 4: Grenzen der z-Transformation und zugehörige Lufttemperaturen für die Klassifizierung der bioklimatischen Situation in der Nacht.....	22
Tabelle 5: Bewertungsmatrix für eine Gesamtbewertung der Blockflächen in der Tag- und Nachtsituation.....	25
Tabelle 6: Dezilgrenzen der Basisindikatoren aus der Sensitivitätsanalyse.....	29
Tabelle 7: Auswahl der obersten Dezile für sensitive Basisindikatoren. ....	31
Tabelle 8: Matrix zur Ermittlung der Betroffenheit. ....	32



## Quellenverzeichnis

- An Der Heiden, M., Muthers, S., Niemann, H., Buchholz, U., Grabenhenrich, L., & Matzarakis, A. (2019). Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 62(5), 571–579. <https://doi.org/10.1007/s00103-019-02932-y>
- Beckmann, S. K., Hiete, M., & Beck, C. (2021). Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments—Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany. *Climate Risk Management*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100286>
- Böse-O'Reilly, S., O'Reilly, F., & Roeßler, C. (2023). Hitzebelastung bei Kindern. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 171(2), 124–129. <https://doi.org/10.1007/s00112-022-01682-7>
- Cedeño Laurent, J. G., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. *PLoS Medicine*, 15(7), e1002605. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605>
- DWD. (2022). *Nationaler Klimareport* (6. überarbeitete Auflage). Deutscher Wetterdienst. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download\\_report.pdf;jsessionid=B0A90BE96E70B4EB4F9FD6717A50D3C6.live21063?\\_\\_blob=publicationFile&v=15](https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download_report.pdf;jsessionid=B0A90BE96E70B4EB4F9FD6717A50D3C6.live21063?__blob=publicationFile&v=15)
- DWD. (2023). *Stadtklima—Die städtische Wärmeinsel*. [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadt/pl/projekt\\_waermeinseln/startseite\\_projekt\\_waermeinseln.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadt/pl/projekt_waermeinseln/startseite_projekt_waermeinseln.html)
- Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill. <https://books.google.de/books?id=SOFSAAAAMAAJ>
- Gross, G. (2002). The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. *Meteorologische Zeitschrift*, 11(4), 295–302. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2002/0011-0295>
- Gross, G. (2012a). Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. *Meteorologische Zeitschrift*, 21(4), 399–412. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2012/0363>
- Gross, G. (2012b). Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing. *Meteorologische Zeitschrift*, 21(2), 173–181. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2012/0291>
- Gross, G. (2017). Some effects of water bodies on the environment—numerical experiments. *Journal of Heat Island Institute International*. [https://www.heat-island.jp/web\\_journal/JGM8SpecialIssue/2-1\\_gross.pdf](https://www.heat-island.jp/web_journal/JGM8SpecialIssue/2-1_gross.pdf)
- Gross, G., Frey, T., & Trute, P. (2002). On the applicability of numerical models for calculating local winds in complex terrain; Die Anwendung numerischer Simulationsmodelle zur Berechnung der lokalen Windverhältnisse in komplexem Gelände. *DEWI-Magazin*, 20.
- HLNUG. (2019, April 30). *Handlungsleitfaden zur kommunalen Klimaanpassung in Hessen – Hitze und Gesundheit*. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/KLIMPRAXStadtklima2019/L-Handlungsleitfaden2019\\_Einzelseiten.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/KLIMPRAXStadtklima2019/L-Handlungsleitfaden2019_Einzelseiten.pdf)
- Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., & DeDear, R. (2007). *The Universal Thermal Climate Index UTCI. Goal and state of COST Action 730*.
- KomMonitor (Mülheim an der Ruhr). (2025, Januar 1). <https://muelheim.kommonitor.geoportal.ruhr/#/>



- Mayer, H., & Höppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38(1), 43–49. <https://doi.org/10.1007/BF00866252>
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates* (1. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Sandholz, S., & Sett, D. (2019). *Erfahrungen und Bedarfe von Akteuren der Stadtplanung im Hinblick auf Vulnerabilität gegenüber Hitzestress: Ergebnisse einer Haushalts-Umfrage zum Hitzeempfinden in Bonn* (No. 2; Zures Working Paper, S. 11). United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS). <http://collections.unu.edu/view/UNU:7510>
- UBA (Hrsg.). (2005). *Gesünder Wohnen—Aber wie? Praktische Tipps für den Alltag*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gesuender-wohnen-aber-wie>
- Urban, H., & Steininger, K. W. (2015). Manufacturing and Trade: Labour Productivity Losses. In K. Steininger, M. König, B. Bednar-Friedl, L. Kranzl, W. Loibl, & F. Prettenhaler (Hrsg.), *Economic Evaluation of Climate Change Impacts* (S. 301–322). Springer Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12457-5\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12457-5_16)
- VDI 3787, Blatt 2. (2022). *Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas*. <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3787-blatt-2-umweltmeteorologie-methoden-zur-human-biometeorologischen-bewertung-der-thermischen-komponente-des-klimas>
- VDI 3787, Blatt 4. (2020). *Umweltmeteorologie. Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung*. <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-3787-blatt-4-umweltmeteorologie-methoden-zur-beschreibung-von-stark-und-schwachwinden-in-bebauten-gebieten-und-deren-bewertung>
- Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung) (2004). [https://www.gesetze-im-internet.de/arbst\\_ttv\\_2004/BJNR217910004.html](https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/BJNR217910004.html)



## Glossar

**Allochthone Wetterlage:** Durch großräumige Luftströmungen bestimmte Wetterlage, die die Ausbildung kleinräumiger Windsysteme und nächtlicher Bodeninversionen verhindert. Dabei werden Luftmassen, die ihre Prägung in anderen Räumen erfahren haben, herantransportiert.

**Anthropogener Strahlungsantrieb:** Durch Aktivitäten des Menschen erwärmende Einflüsse auf das Klima, wie z.B. die Emission von Treibhausgasen, die Vermehrung von Aerosolen oder die Veränderung der Erdoberfläche.

**Austauscharme Wetterlage:** → *Autochthone Wetterlage*

**Autochthone Wetterlage:** Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, der Luftfeuchte und der Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.

**Bioklima:** Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf den Menschen (Humanbioklima).

**PET (Physiologisch äquivalente Temperatur):** Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.

**Städtische Wärmeinsel (Urban Heat Island):** Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, un bebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als städtische Wärmeinsel bezeichnet.

**Strahlungswetterlage** → *Autochthone Wetterlage*

**z-Transformation:** Die z-Transformation ist ein mathematisches Verfahren zur Standardisierung. Über die z-Transformation werden (vereinfacht gesagt) Werten mit verschiedenen Einheiten eine neue gemeinsame „Standardabweichungs-Einheit“ zugewiesen. Das Ergebnis der z-Transformation sind sogenannte "z-Werte", die die Standardabweichungen vom Mittelwert darstellen. Ein z-Wert von 0 entspricht genau dem Mittelwert, ein z-Wert von 1 bedeutet, dass dieser Wert eine Standardabweichung oberhalb des Mittelwerts liegt. Dadurch nehmen Abweichungen unterhalb des Gebietsmittels negative und Abweichungen oberhalb des Gebietsmittels positive Werte an, sodass beispielsweise die relativen Unterschiede der thermischen Belastung in einem Stadtgebiet miteinander verglichen werden können.



Im Auftrag der

**Stadt Mülheim an der Ruhr**

Stabsstelle Klimaschutz und Klimaanpassung

Hans-Böckler-Platz 5

45468 Mülheim an der Ruhr

**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

**Hannover, den 18.03.2026**

Erstellt von:

-----  
Lara Wichmann (M. Sc. Landschaftswissenschaften)

Gepüft von:

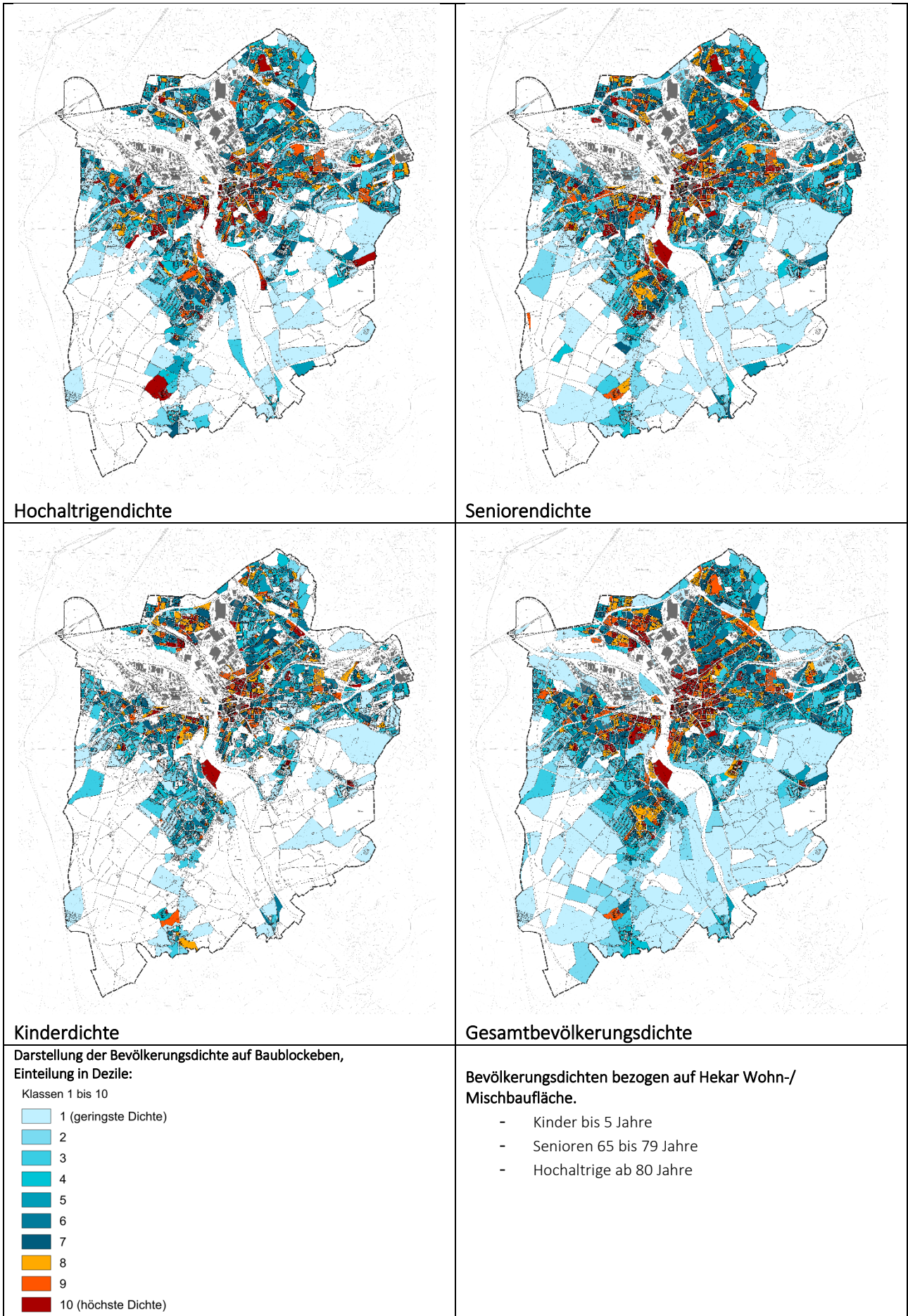
-----  
Katja Mendzigall (M. Sc. Meteorologie)

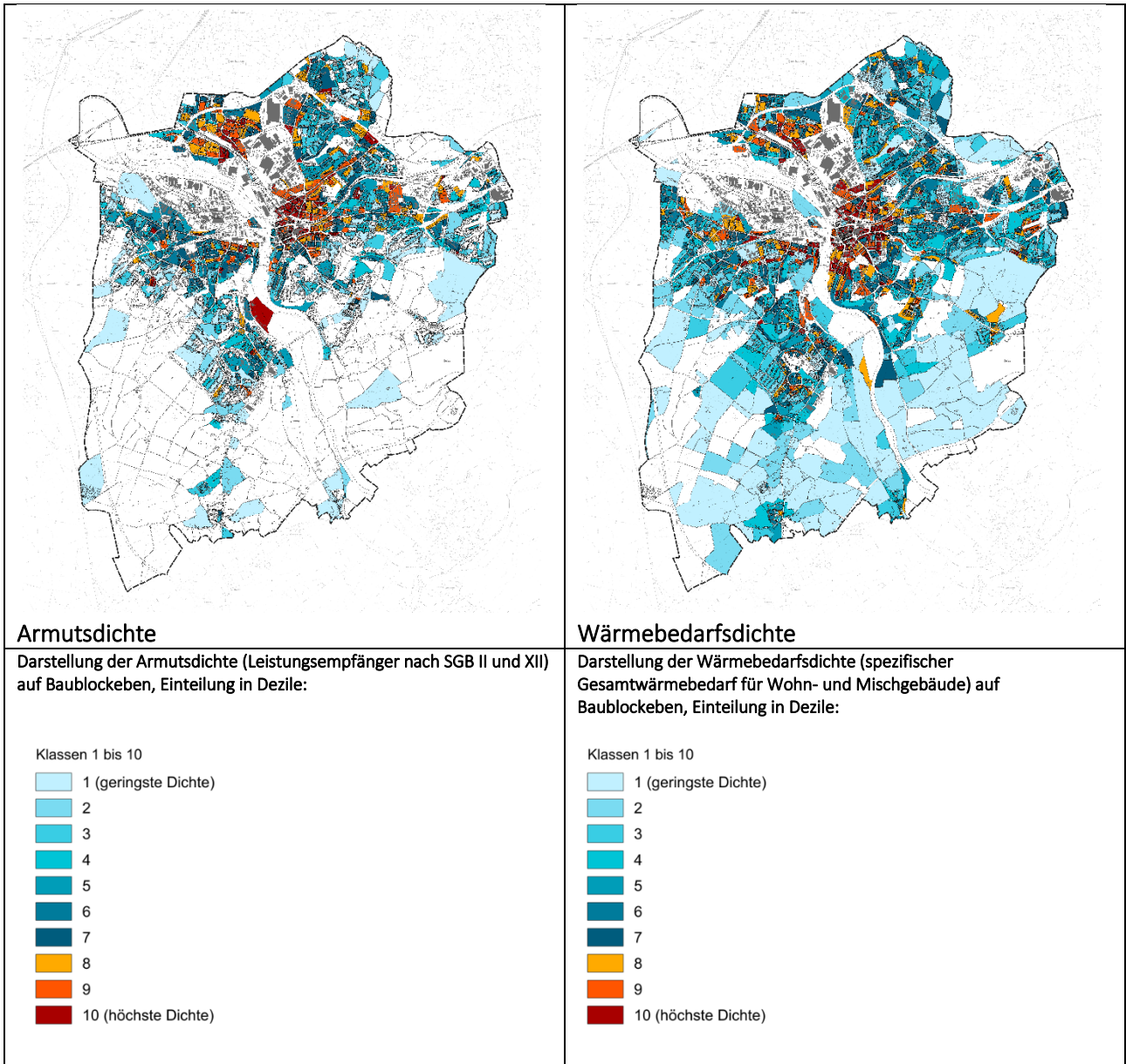
Die Erstellung der Klimaexpertise erfolgte entsprechend dem Stand der Technik nach bestem Wissen und Gewissen. Die Klimaexpertise bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Eigentum und Nutzungsrecht liegen bei den Auftraggebern.

## Anhang

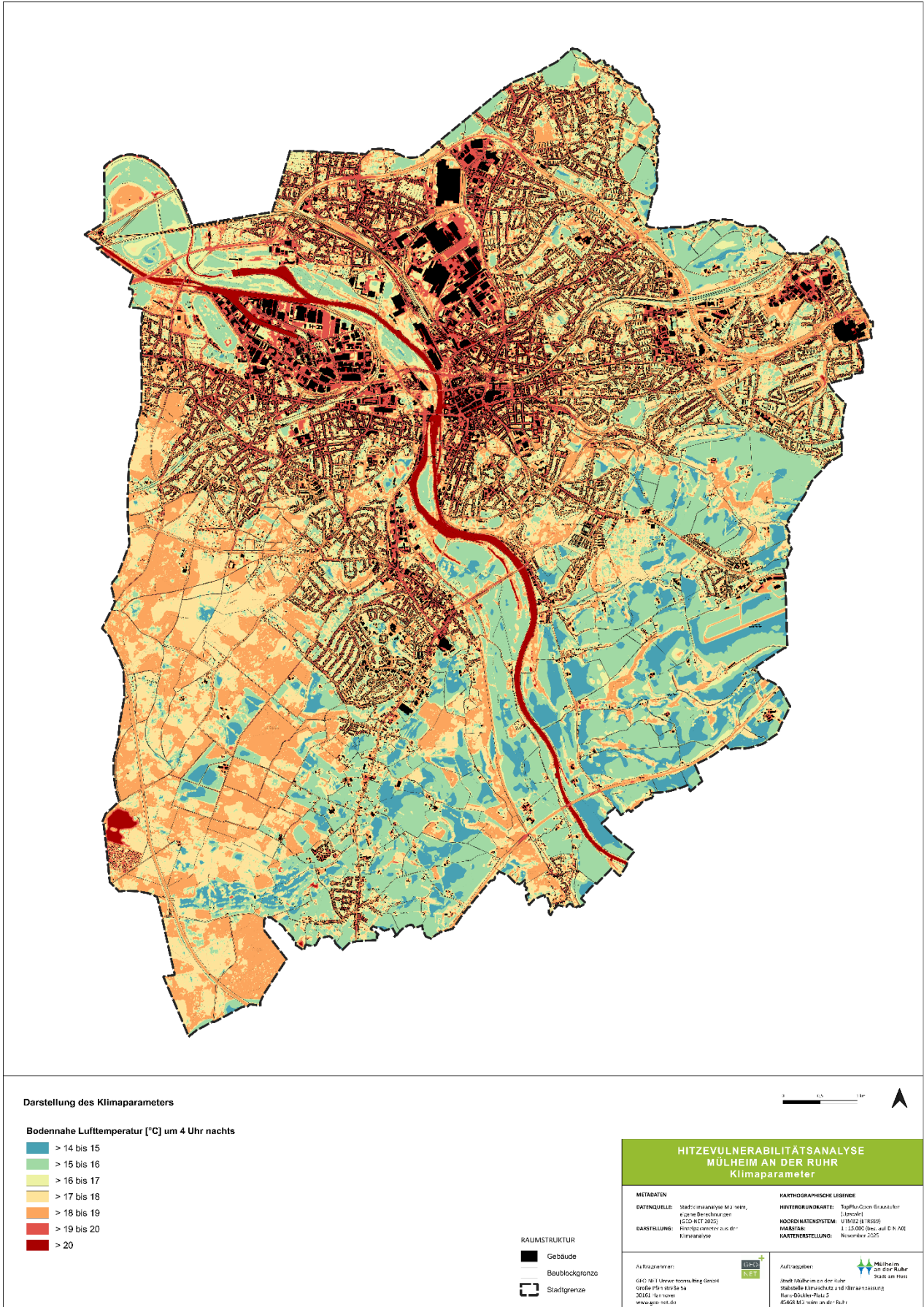
### Karten zur Hitzevulnerabilitätsanalyse Mülheim an der Ruhr

Karte 1: Dezilkarten – Einteilung der Dichteparameter in Dezile (Hochaltrige, Senioren, Kinder, Gesamtbevölkerung, Armut, Wärmebedarf) .....	42
Karte 2: Nächtliche bodennahe Lufttemperatur in Mülheim an der Ruhr. ....	43
Karte 3: Physiologisch äquivalenten Temperatur am Tage in Mülheim an der Ruhr. ....	44
Karte 4: Bioklimatische Situation auf Blockebene für die Nachtsituation. ....	45
Karte 5: Bioklimatische Situation auf Baublockebene für die Tagsituation. ....	46
Karte 6: Bioklimatische Situation auf Baublockebene für die Gesamtsituation Tag und Nacht. ....	47
Karte 7: Anzahl der zutreffenden Sensitivitätsmerkmale je Baublock für die Tag- und Gesamtsituation. ....	48
Karte 8: Anzahl der zutreffenden Sensitivitätsmerkmale je Baublock in der Nachtsituation. ....	49
Karte 9: Betroffenheiten von Hitze in der Tagsituation. ....	50
Karte 10: Betroffenheiten von Hitze in der Nachtsituation. ....	51
Karte 11: Betroffenheiten von Hitze in Gesamtsituation von Tag und Nacht. ....	52

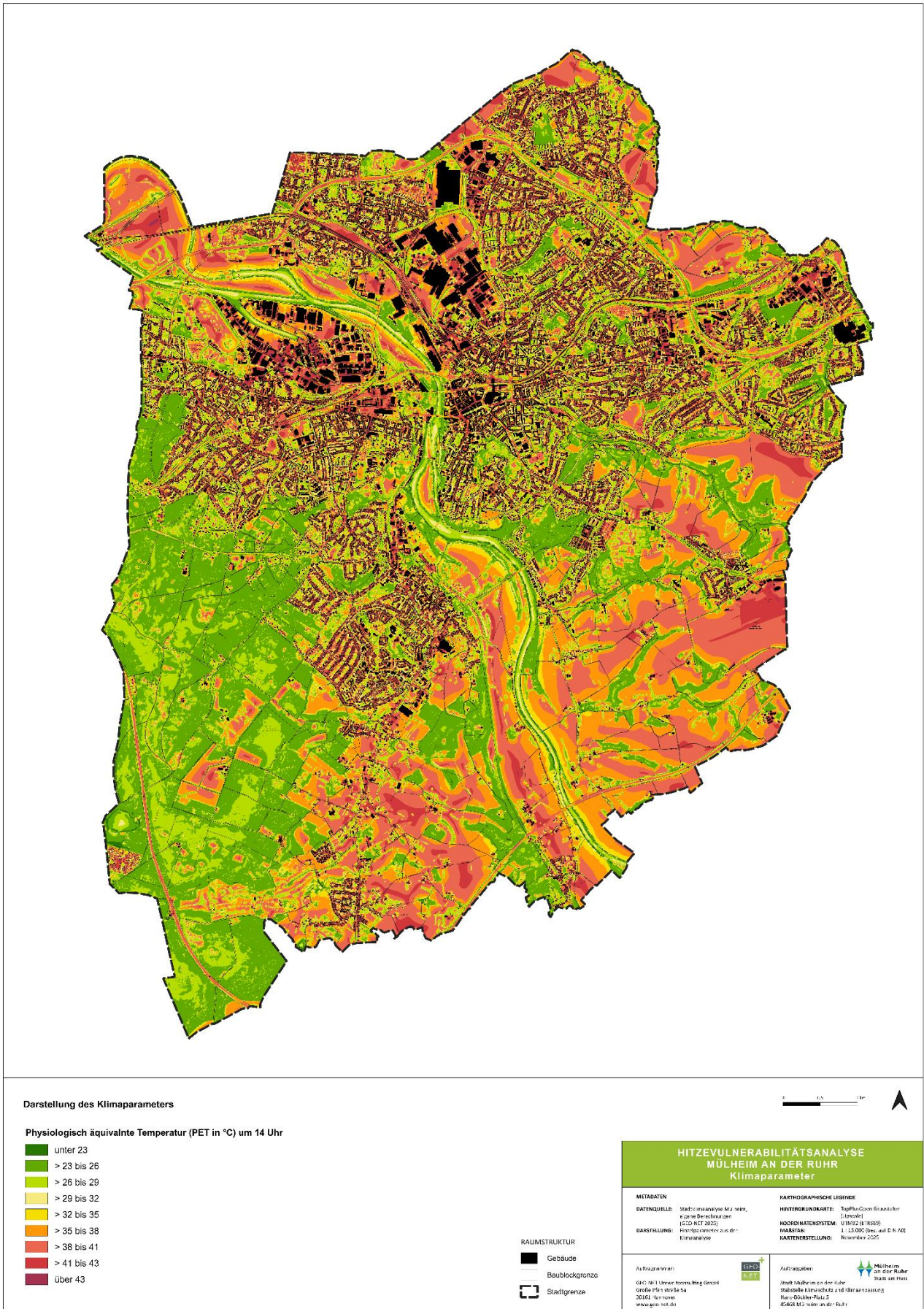




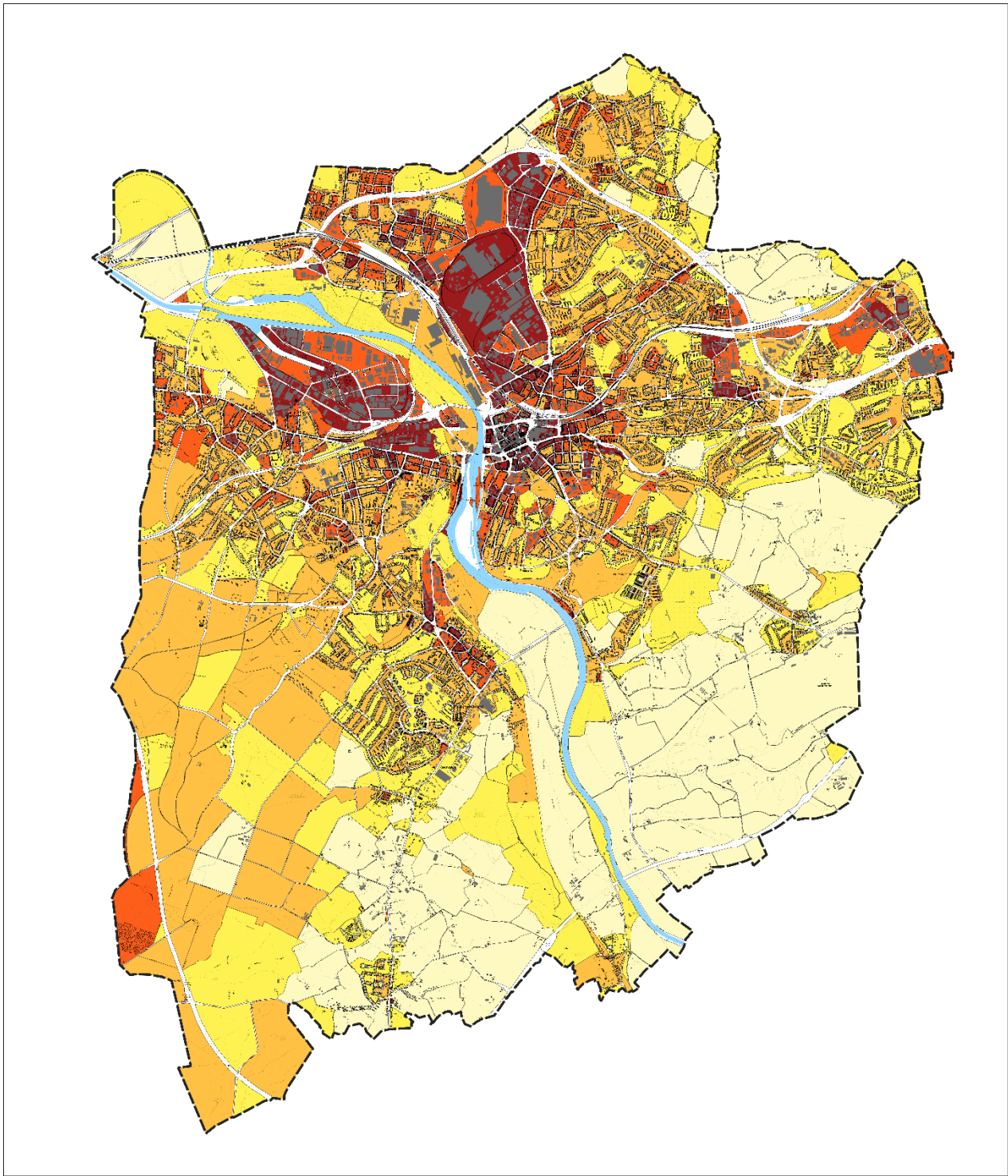
Karte 1: Dezilkarten – Einteilung der Dichteparameter in Dezile (Hochaltrige, Senioren, Kinder, Gesamtbevölkerung, Armut, Wärmebedarf)



Karte 2: Nächtliche bodennahe Lufttemperatur in Mülheim an der Ruhr.



Karte 3: Physiologisch äquivalenten Temperatur am Tage in Mülheim an der Ruhr.



Darstellung der bioklimatischen Situation (Nachtsituation)



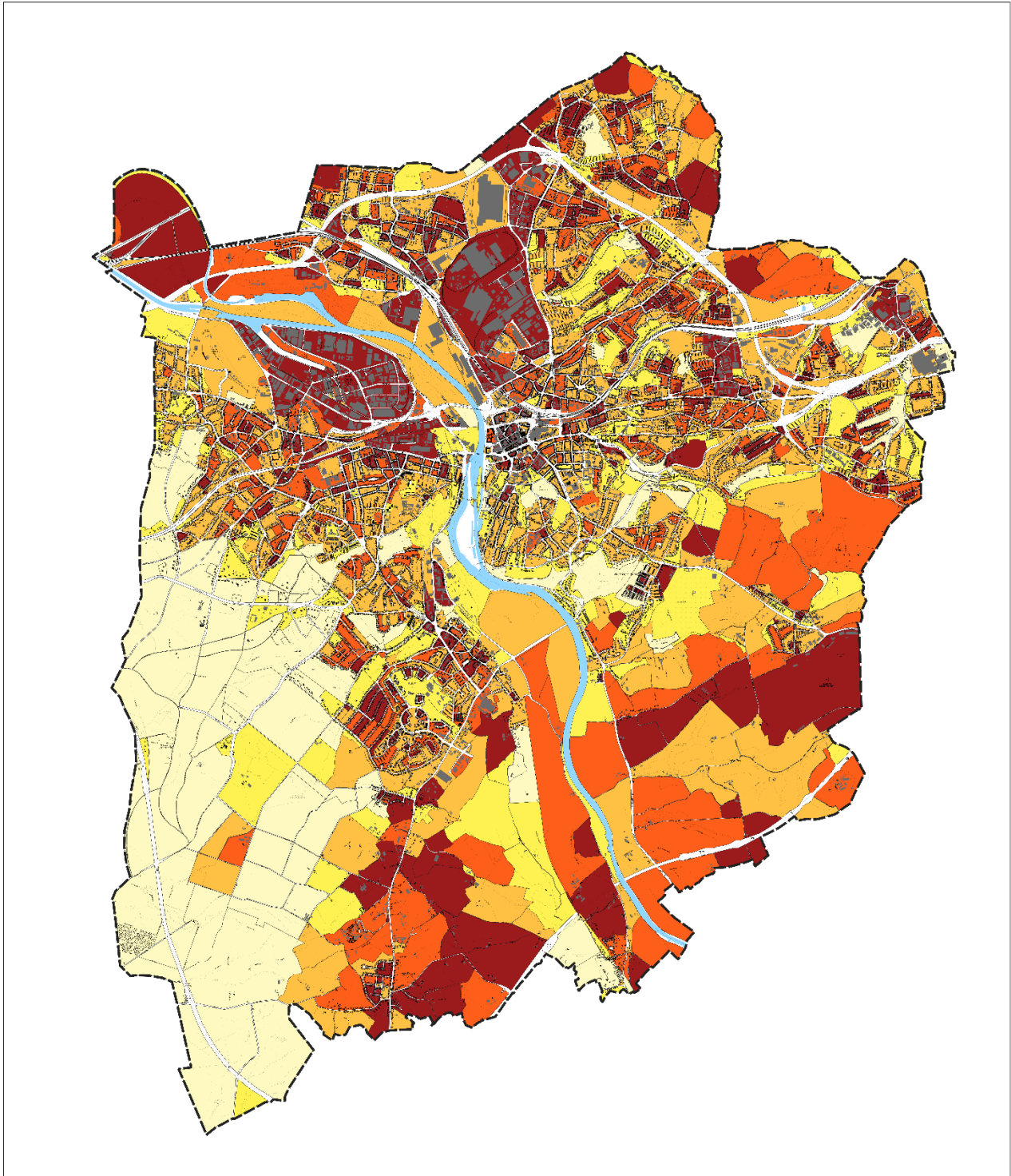
- Bewertung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene**
- sehr günstige bioklimatische Situation
  - günstige bioklimatische Situation
  - mittlere bioklimatische Situation
  - ungünstige bioklimatische Situation
  - sehr ungünstige bioklimatische Situation

Bioklimatische Situation: Einstufung der Wärmebelastung für den Menschen, von sehr günstig bis sehr ungünstig. Eine günstige bioklimatische Situation entspricht einer geringen Wärmebelastung.

- RAUMSTRUKTUR**
- Gebäude wohnlich geprägt
  - Gebäude gewerblich geprägt
  - Baublockgrenze
  - Stadtgrenze

HITZEVULNERABILÄTSANALYSE MÜLHEIM AN DER RUHR Bioklimatische Situation	
<b>METADATEN</b>	<b>KARTOGRAPHISCHE LEGENDE</b>
<b>DATENQUELLE:</b> Stadtplananalyse Mülheim, 4 Jahre Beobachtungen (2010-2013)	<b>HINTERGRUNDKARTE:</b> TopPlan/GeoCity Erstausschnitt (©Inrocart)
<b>DARSTELLUNG:</b> Hitzevulnerabilitätsanalyse	<b>KOORDINATENSYSTEM:</b> UTM/ETRS 1989/314663
	<b>MAßSTAB:</b> 1 : 15.000 (bez. auf G. B. A0)
	<b>KARTENERSTELLUNG:</b> November 2015
<b>Auftraggeber:</b> GEO-NET Umweltconsulting GmbH Gründer Platz 1, 57274 Saal 50669 Mülheim www.geo-net.de	<b>Auftraggeber:</b> Mülheim Stadt an der Ruhr Stadt am Platz

Karte 4: Bioklimatische Situation auf Blockebene für die Nachtsituation.



Darstellung der bioklimatischen Situation (Tagsituation)

**Bewertung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene**

- sehr günstige bioklimatische Situation
- günstige bioklimatische Situation
- mittlere bioklimatische Situation
- ungünstige bioklimatische Situation
- sehr ungünstige bioklimatische Situation

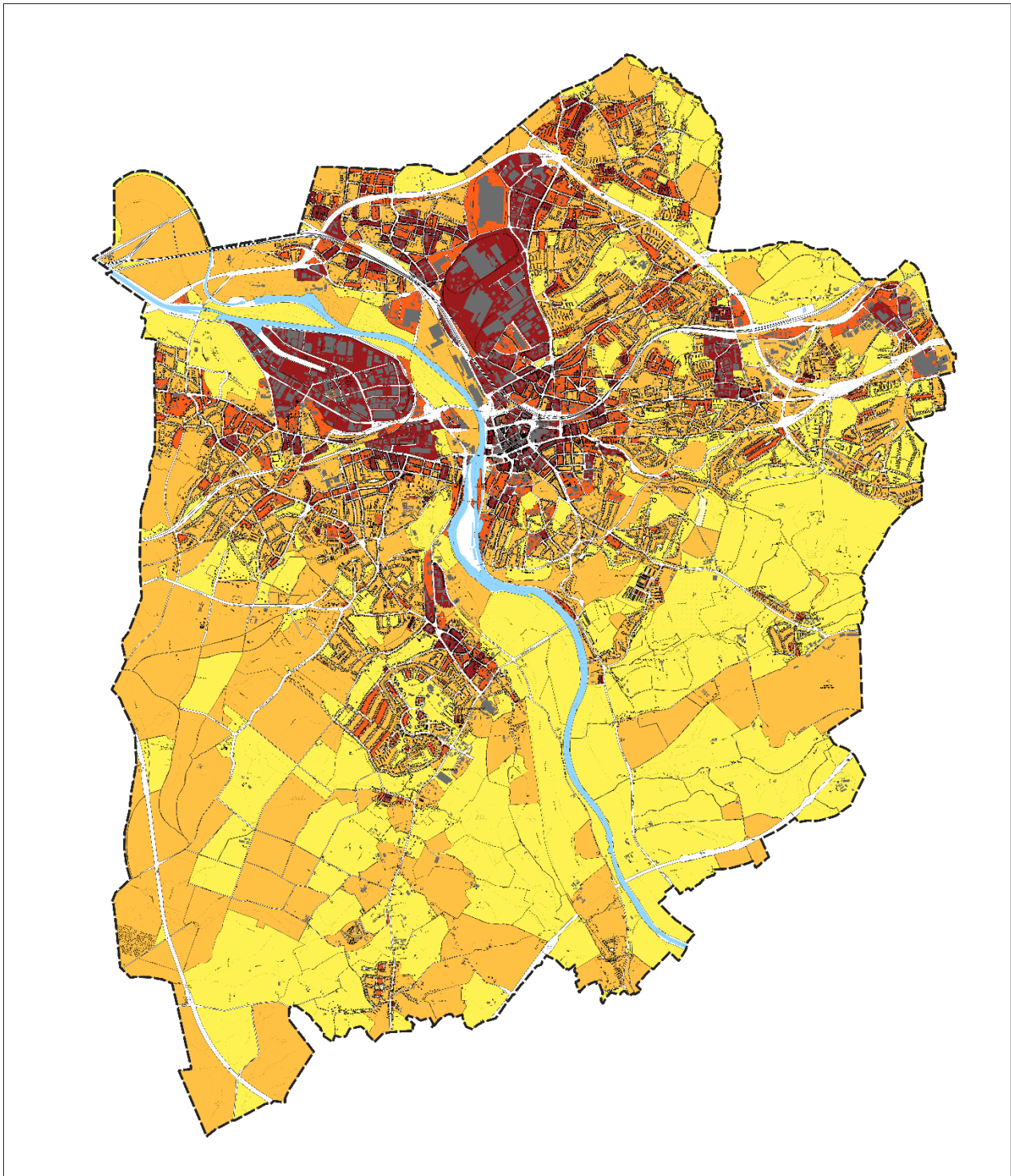
Bioklimatische Situation: Einstufung der Wärmebelastung für den Menschen, von sehr günstig bis sehr ungünstig. Eine günstige bioklimatische Situation entspricht einer geringen Wärmebelastung.

**RAUMSTRUKTUR**

- Gebäude wohnlich geprägt
- Gebäude gewerblich geprägt
- Baublockgrenze
- Stadtgrenze

HITZEVULNERABILÄTSANALYSE MÜLHEIM AN DER RUHR Bioklimatische Situation	
<b>METADATEN</b>	<b>KARTOGRAPHISCHE LEGENDE</b>
<b>DATENQUELLE:</b> Stadtplananalyse Mülheim, 4 Jahre Beobachtungen (GEO-NET 2005)	<b>HINTERGRUNDKARTE:</b> TopPlan/GeoCity Graadschulz (©Inrocart)
<b>DARSTELLUNG:</b> Hitzevulnerabilitätsanalyse	<b>KOORDINATENSYSTEM:</b> UTM/ETRS 1989 UTM 32Q
	<b>MAßSTAB:</b> 1 : 13.000 (bez. auf G. B. AD)
	<b>KARTENERSTELLUNG:</b> November 2005
<b>Auftraggeber:</b> GEO-NET Umweltconsulting GmbH Gröbe Pflanzstraße 5a 20061 Hannover www.geo-net.de	<b>Auftraggeber:</b> Mülheim Stadt an der Ruhr Stadt am Platz

Karte 5: Bioklimatische Situation auf Baublockebene für die Tagsituation.



Darstellung der bioklimatischen Situation  
(Gesamtbewertung)



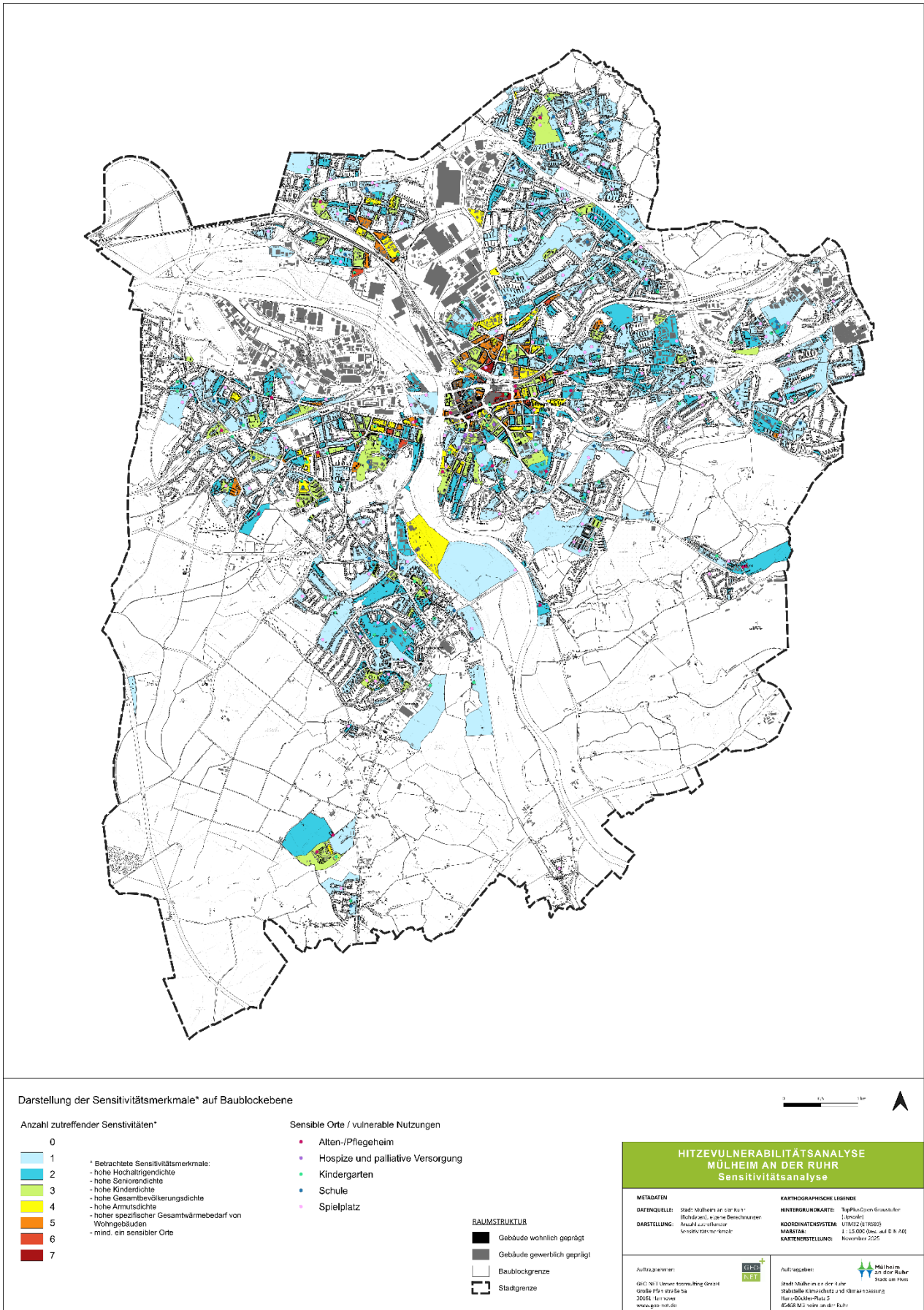
- Bewertung der bioklimatischen Situation auf Baublockebene**
- sehr günstige bioklimatische Situation
  - günstige bioklimatische Situation
  - mittlere bioklimatische Situation
  - ungünstige bioklimatische Situation
  - sehr ungünstige bioklimatische Situation

Bioklimatische Situation:  
Einstufung der Wärmebelastung für den Menschen, von sehr günstig bis sehr ungünstig.  
Eine günstige bioklimatische Situation entspricht einer geringen Wärmebelastung.

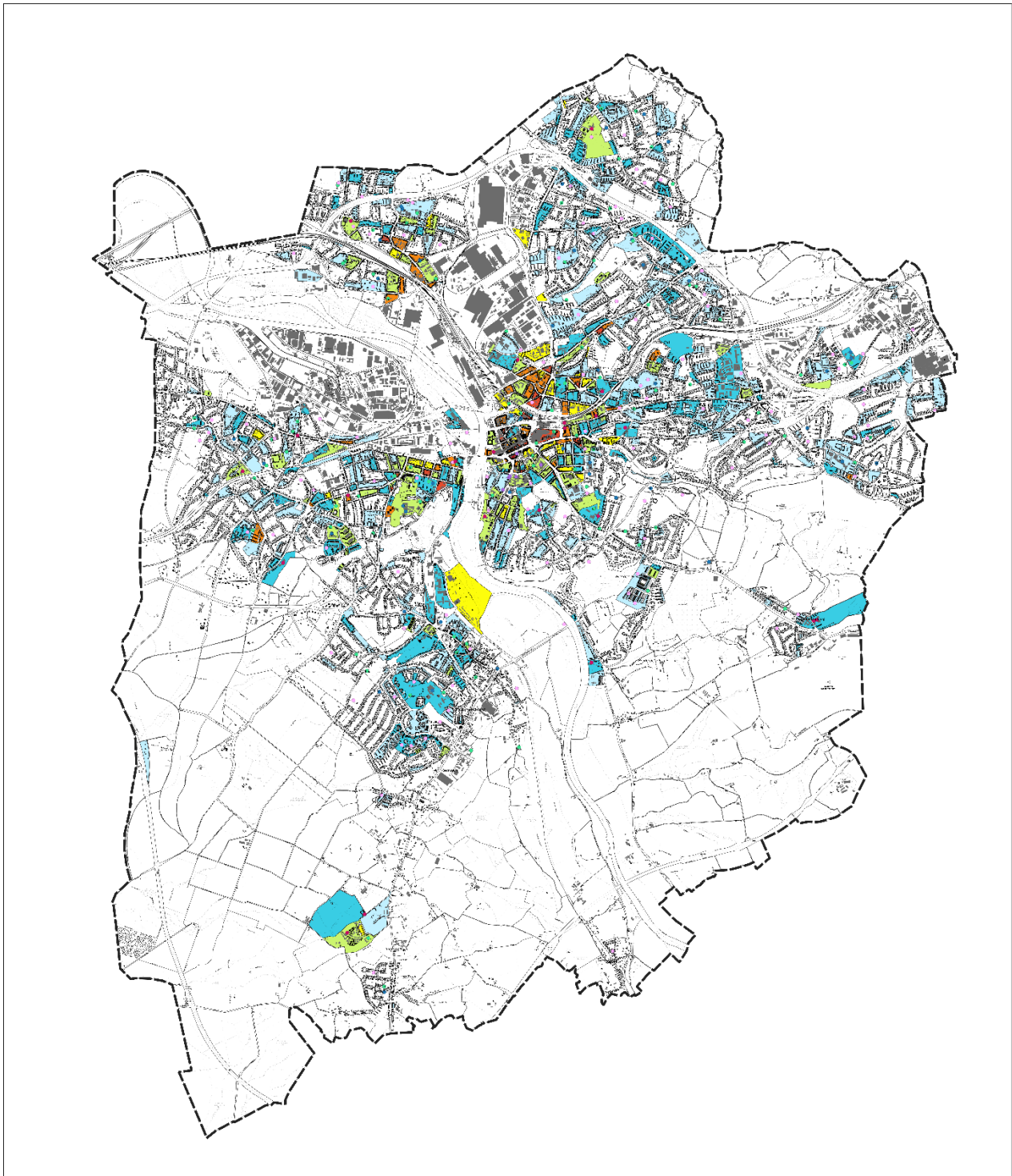
- RAUMSTRUKTUR**
- Gebäude wohnlich geprägt
  - Gebäude gewerblich geprägt
  - Baublockgrenze
  - Stadtgrenze

HITZEVULNERABILÄTSANALYSE MÜLHEIM AN DER RUHR Bioklimatische Situation	
<p><b>METADATEN</b></p> <p><b>DATENQUELLE:</b> Stadtclimanalyse Mülheim, 4 Jahre Beobachtungen (GEO-NET 2005)</p> <p><b>DARSTELLUNG:</b> Hitzevulnerabilitätsanalyse Klimanalyse</p>	<p><b>KARTOGRAPHISCHE LEGENDE</b></p> <p><b>HINTERGRUNDKARTE:</b> TopoPlan-Cross Graubaukur (1:10000)</p> <p><b>KOORDINATENSYSTEM:</b> UTM/32 (478335)</p> <p><b>MAßSTAB:</b> 1 : 13.000 (bez. auf G. B. AD)</p> <p><b>KARTENERSTELLUNG:</b> November 2005</p>
<p><b>Auftraggeber:</b></p> <p>GEO-NET Umweltconsulting GmbH Gründer Platz 1 57275 Sa 30661 Mülheim www.geo-net.de</p>	<p><b>Auftraggeber:</b></p> <p>Mülheim Stadt an der Ruhr</p> <p>Stadt Mülheim an der Ruhr Städtische Klimaschutz- und Umweltabteilung Hain-Oblique-Platz 5 42699 Mülheim an der Ruhr</p>

Karte 6: Bioklimatische Situation auf Baublockebene für die Gesamtsituation Tag und Nacht.



Karte 7: Anzahl der zutreffenden Sensitivitätsmerkmale je Baublock für die Tag- und Gesamtsituation.



Darstellung der Sensitivitätsmerkmale\* auf Baublockebene

- Anzahl zutreffender Sensitivitäten\* in der Nachtsituation
- 0
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7

\* Betrachtete Sensitivitätsmerkmale:  
 - hohe Hochaltrigendichte  
 - hohe Seniorendichte  
 - hohe Kinderdichte  
 - hohe Gesamtbevölkerungsdichte  
 - hohe Armutsdichte  
 - hoher spezifischer Gesamtwärmebedarf von Wohngebäuden  
 - mind. ein sensibler Orte

Sensible Orte / vulnerable Nutzungen

- Alten-/Pflegeheim
- Hospize und palliative Versorgung
- Kindergarten
- Schule
- Spielplatz

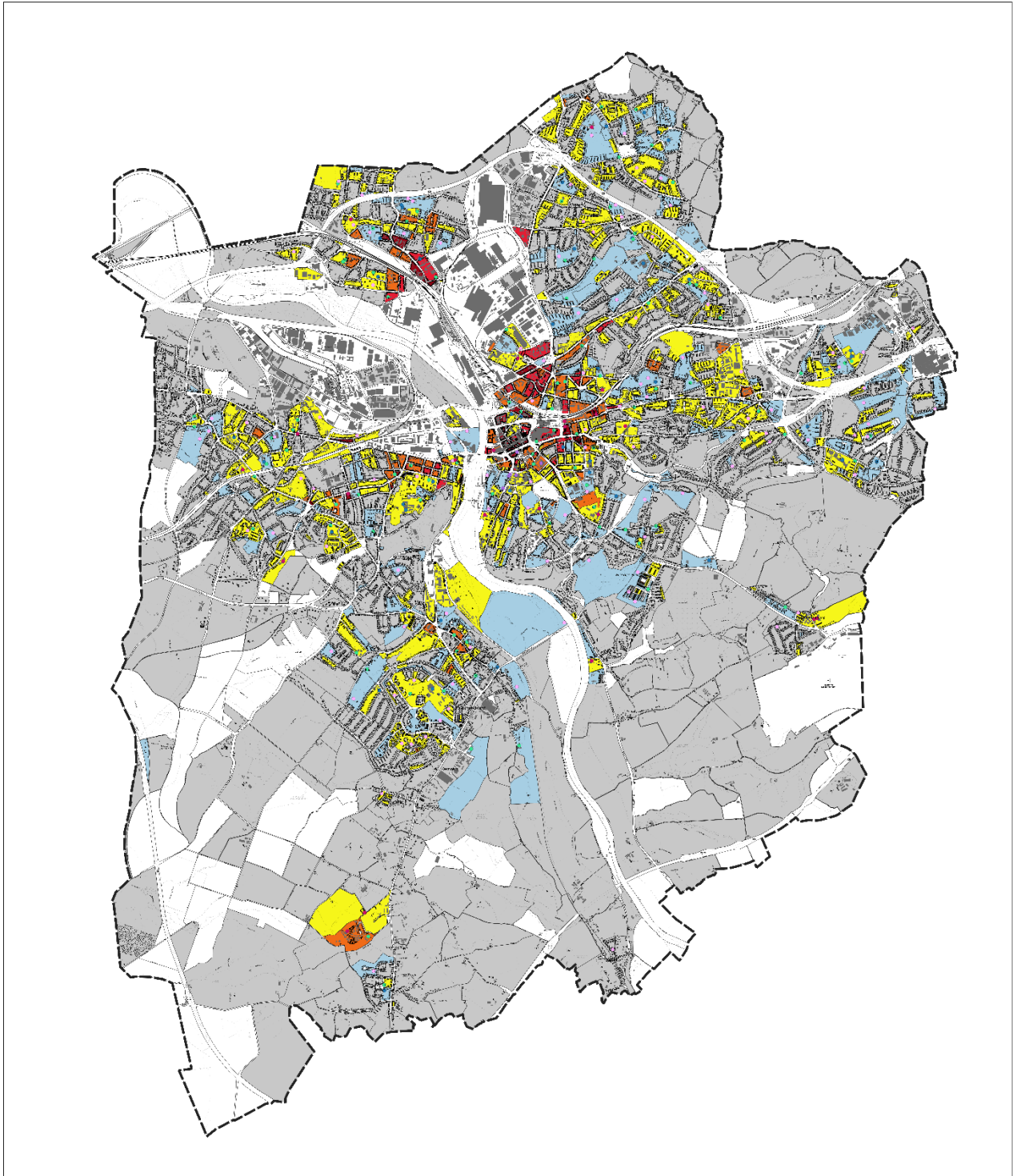
RAUMSTRUKTUR

- Gebäude wohnlich geprägt
- Gebäude gewerblich geprägt
- Baublockgrenze
- Stadtgrenze



HITZEVULNERABILITÄTSANALYSE MÜLHEIM AN DER RUHR Sensitivitätsanalyse	
<b>METADATEN</b>	<b>KARTOGRAPHISCHE LEGENDE</b>
<b>DATENQUELLE:</b> Stadt Mülheim an der Ruhr Ruhldat, eigene Berechnungen Anzahl zutreffender Sensitivitätsmerkmale	<b>HINTERGRUNDKARTE:</b> TopPlanGeo von GeoData.de © Inrobert
<b>DARSTELLUNG:</b> Sensitivitätsmerkmale	<b>KOORDINATENSYSTEM:</b> UTM/ETRS 1989/33E
	<b>MAßSTAB:</b> 1 : 15.000 (bez. auf G. B. AD)
	<b>KARTENERSTELLUNG:</b> November 2025
<b>Auftraggeber:</b> GEO-NET Umweltconsulting GmbH Grüfte Pfl 1 572 86 59 50669 Mülheim www.geo-net.de	<b>Auftraggeber:</b> Mülheim an der Ruhr Stadt am Platz

Karte 8: Anzahl der zutreffenden Sensitivitätsmerkmale je Baublock in der Nachtsituation.



Darstellung der Betroffenheit\* für die Tagsituation auf Baublockebene



**Betroffenheit**

- sehr hoch
- hoch
- mittel
- gering
- sehr gering
- keine
- Baublock unbewohnt, kein Sensitivitätsmerkmal

\*Kombination aus Sensitivität und Hitzebelastung

**Sensible Orte / vulnerable Nutzungen**

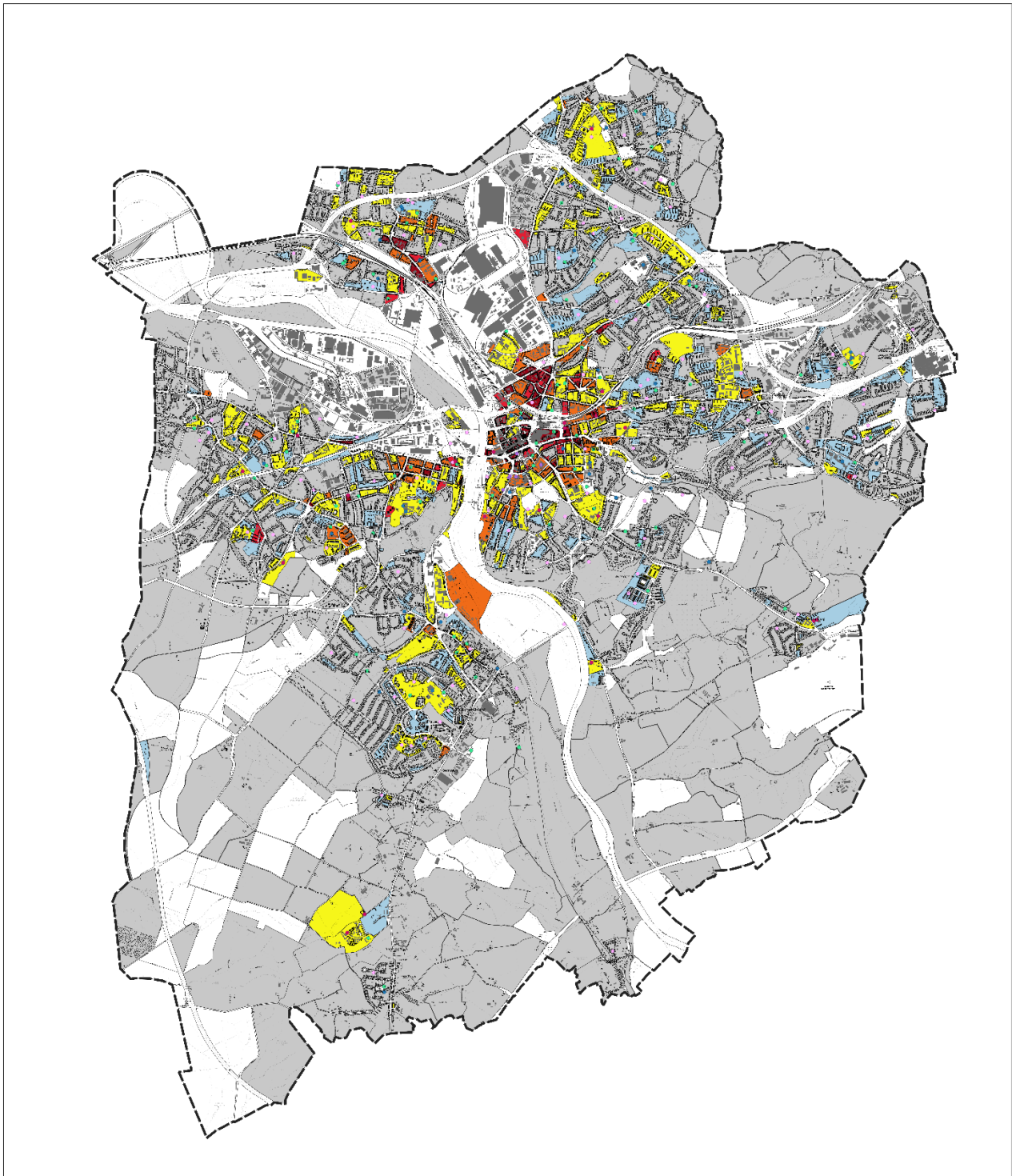
- Alten-/Pflegeheim
- Hospize und palliative Versorgung
- Kindergarten
- Schule
- Spielplatz

**RAUMSTRUKTUR**

- Gebäude wohnlich geprägt
- Gebäude gewerblich geprägt
- Baublockgrenze
- Stadtgrenze

HITZEVULNERABILITÄTSANALYSE MÜLHEIM AN DER RUHR Hitzevulnerabilität	
<p><b>METADATEN</b></p> <p><b>DATENQUELLE:</b> Stadtplananalyse Mülheim, 4 Jahre Beobachtungen GEO-NET 2022</p> <p><b>DARSTELLUNG:</b> Darstellung der Hitzevulnerabilität im Kontext der Sensitivität gegenüber Hitze</p>	<p><b>KARTOGRAPHISCHE LEGENDE</b></p> <p><b>HINTERGRUNDKARTE:</b> TopPlanCity von Geobase.de [© GeoBasis-DE]</p> <p><b>KOORDINATENSYSTEM:</b> UTM 32Q UTM MÄSSSTAB: 1 : 15.000 (Bsp. auf G. B. A. D.)</p> <p><b>KARTENERSTELLUNG:</b> November 2022</p>
<p><b>Auftraggeber:</b></p> <p>GEO-NET Umweltconsulting GmbH Große Pflanzstraße 5a 20069 Hannover www.geo-net.de</p>	<p><b>Auftraggeber:</b></p> <p>Mülheim Stadt an der Ruhr Stadt am Fluss</p> <p>Stadt Mülheim an der Ruhr Stabsstelle Klimaschutz und Umwelt Hain-Blücher-Platz 5 42699 Mülheim an der Ruhr</p>

Karte 9: Betroffenheiten von Hitze in der Tagsituation.



Darstellung der Betroffenheit\* für die Nachtsituation auf Baublockebene



**Betroffenheit**

- sehr hoch
- hoch
- mittel
- gering
- sehr gering
- keine
- Baublock unbewohnt, kein Sensitivitätsmerkmal

**Sensible Orte / vulnerable Nutzungen**

- Alten-/Pflegeheim
- Hospize und palliative Versorgung
- Kindergarten
- Schule
- Spielplatz

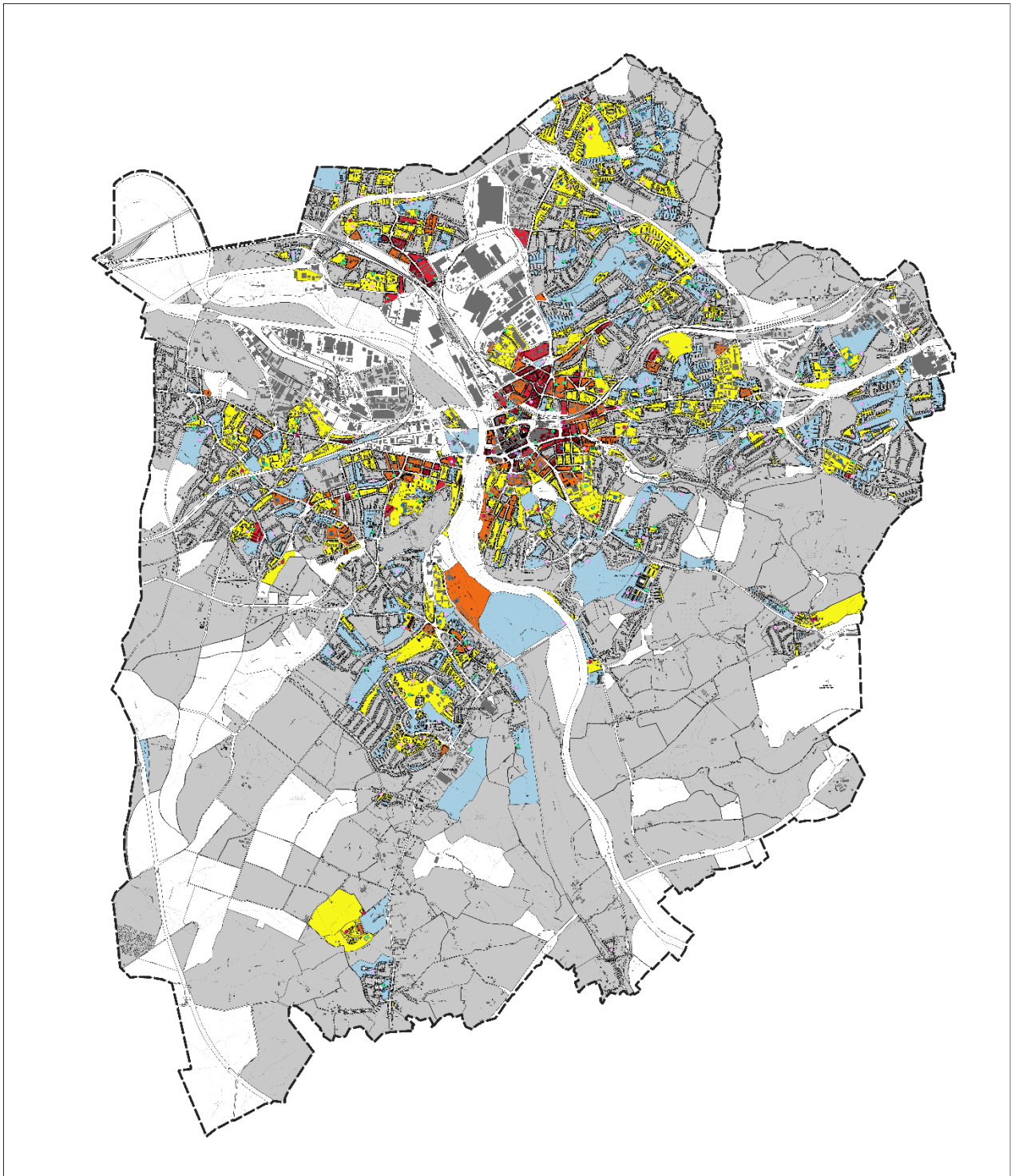
**RAUMSTRUKTUR**

- Gebäude wohnlich geprägt
- Gebäude gewerblich geprägt
- Baublockgrenze
- Stadtgrenze

\*Kombination aus Sensitivität und Hitzebelastung

HITZEVULNERABILITÄTSANALYSE MÜLHEIM AN DER RUHR Hitzevulnerabilität	
<p><b>METADATEN</b></p> <p><b>DATENQUELLE:</b> Stadtplananalyse Mülheim, 4 Jahre Beobachtungszeitraum (2010-2013)</p> <p><b>DARSTELLUNG:</b> Darstellung der Hitzevulnerabilität im Kontext der Sensitivität der Baublocke</p>	<p><b>KARTOGRAPHISCHE LEGENDE</b></p> <p><b>HINTERGRUNDKARTE:</b> TopPlan/GeoCity/GeoData für Mülheim</p> <p><b>KOORDINATENSYSTEM:</b> UTM/ETRS 1989</p> <p><b>MAßSTAB:</b> 1 : 15.000 (Bsp. auf G. B. A.0)</p> <p><b>KARTENERSTELLUNG:</b> November 2015</p>
<p><b>Auftraggeber:</b></p> <p>GEO-NET Umweltconsulting GmbH Gröbe Pflanzstraße 5a 20061 Hannover www.geo-net.de</p>	<p><b>Auftraggeber:</b></p> <p>Mülheim an der Ruhr Stadt am Fluss</p> <p>Stadt Mülheim an der Ruhr Stabsstelle Klimaschutz und Umwelt Hain-Obstweg-Platz 5 42699 Mülheim an der Ruhr</p>

Karte 10: Betroffenheiten von Hitze in der Nachtsituation.



Darstellung der Betroffenheit\* für die Tag- und Nachtsituation auf Baublockebene



**Betroffenheit**

- sehr hoch
- hoch
- mittel
- gering
- sehr gering
- keine
- Baublock unbewohnt, kein Sensitivitätsmerkmal

\*Kombination aus Sensitivität und Hitzebelastung

**Sensible Orte / vulnerable Nutzungen**

- Alten-/Pflegeheim
- Hospize und palliative Versorgung
- Kindergarten
- Schule
- Spielplatz

**RAUMSTRUKTUR**

- Gebäude wohnlich geprägt
- Gebäude gewerblich geprägt
- Baublockgrenze
- Stadtgrenze

**HITZEVULNERABILITÄTSANALYSE  
MÜLHEIM AN DER RUHR  
Hitzevulnerabilität**

**METADATEN**

**DATENQUELLE:** Stadtplananalyse Mülheim, 4 Jahre Beobachtungszeitraum  
GEO-NET 2022  
**DARSTELLUNG:** Darstellung der Hitzevulnerabilität an Baublockebene (Sensitivität + potenzielle Hitze)

**KARTOGRAPHISCHE LEGENDE**

**HINTERGRUNDKARTE:** TopPlan/GeoCity  
**KOORDINATENSYSTEM:** UTM  
**MAßSTAB:** 1 : 15.000 (bez. auf G. B. AD)  
**KARTENERSTELLUNG:** November 2022

**Auftraggeber:**

GEO-NET Umweltconsulting GmbH  
Größe: Pflanzstraße 5a  
20081, Mülheim  
www.geo-net.de

**Auftraggeber:**

Mülheim an der Ruhr  
Stadt am Fluss  
Stadt Mülheim an der Ruhr  
Stabsstelle Klimaschutz und Umwelt  
Hain-Obstweg-Platz 5  
42699 Mülheim an der Ruhr

Karte 11: Betroffenheiten von Hitze in Gesamtsituation von Tag und Nacht.