

## 04.11 Planungshinweiskarte Stadtklima (Ausgabe 2016)

Dieser Text basiert im Wesentlichen auf dem Inhalt der ergänzenden Veröffentlichung „**Planungshinweiskarte Stadtklima 2015 - Begleitdokument zur Online-Version**“ (SenStadtUm 2015), die [hier](#) heruntergeladen werden kann. Um Redundanzen weitgehend zu vermeiden, werden an dieser Stelle nur die Kernaussagen zum Inhalt vorgestellt. Im Begleitdokument werden alle wichtigen Themen ausreichend vertieft behandelt und auch sämtliche Bewertungsmethoden detailliert beschrieben.

### Problemstellung

Ein zentrales Ziel der Berliner Stadtentwicklung ist der Erhalt bzw. die Schaffung eines für den Menschen gesunden Stadtklimas (SenStadtUm 2011). Mit der Planungshinweiskarte (im Folgenden: PHK) Stadtklima steht der Verwaltung seit 2004 ein Instrument zur Unterstützung dieses Ziels zur Verfügung.

Die PHK hat die Aufgabe „unter Klima- und Lufthygienegesichtspunkten die für eine möglichst optimale Raumgliederung relevanten Bereiche und Planungsaufgaben hervorzuheben. Sie greift damit die planungsrelevanten klimatischen und lufthygienischen Phänomene auf, die als teil- oder kleinräumige Besonderheiten oder Ausprägungen von den allgemeinen Klimaverhältnissen und der großräumigen lufthygienischen Situation signifikant abweichen und die Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen [...] haben“ (Verband Deutscher Ingenieure 2015).

Da der lufthygienische Wirkungskomplex bereits durch den Berliner Luftreinhalteplan 2011-2017 (SenStadtUm 2013) hinreichend fundiert abgedeckt wird, richtet die PHK Ausgabe 2015 den Fokus auf die thermische Komponente des Berliner Stadtklimas, ohne jedoch den lufthygienischen Bereich gänzlich auszuklammern. Die Ausgabe 2016 stellt die zweite Aktualisierung der Fachkarte dar und löst mit ihrer Veröffentlichung im Umweltatlas bzw. FIS-Broker die 2009er Ausgabe als Fachplanungs- und Abwägungsgrundlage für die Berücksichtigung stadtklimatischer Belange in der Berliner Stadtentwicklung ab. Die Aktualisierungsarbeiten sind im Rahmen des EFRE-Projektes „**GIS-gestützte Modellierung von stadtklimatisch relevanten Kenngrößen auf der Basis hochaufgelöster Gebäude- und Vegetationsdaten**“ zwischen 2013 und 2015 durchgeführt worden. **Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Berlin (Projektnummer:027EFRE GDI) für Maßnahmen zum Aufbau der Geodateninfrastruktur (GDI) gefördert (SenStadtUm 2015b):**



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung  
Investition in Ihre Zukunft



Gegenüber der 2009er Version der Planungshinweiskarte sind vor allem folgende **Weiterentwicklungen mit Relevanz für Planungsprozesse** herauszustellen:

- Die horizontale Auflösung des Modells konnte von 50m auf 10m erhöht werden (Faktor 25),
- einzelne Grünstrukturen und Gebäude werden nun explizit vom Modell berücksichtigt,
- die erhöhte räumliche Genauigkeit erlaubt Aussagen nicht nur für gesamtstädtische Planwerke (F-Plan, Landschaftsplan, StEP), sondern auch für die B-Planebene,
- neben dem Siedlungsraum und den Grün-/Freiflächen werden auch Öffentlichen Straßen, Wege und Plätze individuell betrachtet,
- neben der Nachtsituation ist gleichberechtigt auch die Situation tagsüber in die Bewertung eingeflossen,
- die Inhalte der PHK sind intensiv mit VertreterInnen der zuständigen Abteilungen auf Senats- und Bezirksebene abgestimmt,

- der betrachtete Maßnahmenkatalog ist sehr viel umfangreicher, inhaltlich differenzierter und individueller auf die betrachteten Teilflächen ausgerichtet.

Der Zusammenhang zwischen der menschlichen Gesundheit und dem Stadtklima, der in der PHK mit der Einbeziehung demographischer Faktoren zumindest ansatzweise berücksichtigt wird, wird in einem eigenen **Exkurs** (Scherber 2016) unter besonderer Berücksichtigung für Berlin vorliegender Ergebnisse betrachtet.

## Datengrundlage

Die Anwendung des Klimamodelles Berlin fußt in der aktuellen Version auf folgenden aufeinander aufbauenden Bausteinen:

1. der Auswertung langjährig betriebener Messstationen in Berlin und Potsdam als Grundlage zur Eichung der Modellergebnisse (04.13 Langjährige Entwicklung ausgewählter Klimaparameter, SenStadtUm 2015a)
2. umfangreichen Analyseschritten zur Erarbeitung einer fundierten Datenbasis (04.10 Klimamodell Berlin - Analysekarten) sowie
3. der Erstellung von drei sich ergänzenden Planungshinweiskarten.

Zur Durchführung der Verfahrensschritte 2 und 3 wurden vorrangig folgende Datengrundlagen genutzt:

- GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover: GIS-gestützte Modellierung von stadtklimatisch relevanten Kenngrößen auf der Basis hochaufgelöster Gebäude- und Vegetationsdaten; EFRE Projekt 027 Stadtklima Berlin (SenStadtUm 2015b),
- Daten des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, III D 1, Stand 31.12.2010:
  - Blockkarte 1: 5.000 (ISU5\_UA),
  - Flächennutzungsdaten (SenStadtUm 2010),
  - Kriterien zur Bewertung der Bodenfunktionen, Karte der Naturnähe (SenStadtUm 2013a),
  - Unkorrigierte Versiegelungsgrade (Rasterdaten) - Zwischenergebnis der regelbasierten Klassifizierung (SenStadtUm 2012),
  - Gebäude- und Vegetationshöhen (SenStadtUm 2014),
- Geländehöhen (DGM5) (SenStadtUm 2010a),
- Automatisierte Liegenschaftskarte Berlin (ALK), Stand 01.06.2014 (SenStadtUm 2015c),
- Standorte der sozialen Infrastruktur (Planungsraumbezogenes Informationssystem für Monitoring und Analyse (PRISMA) (SenStadtUm 2015e) sowie Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) (LAGeSo 2014),
- Detailnetz des Berliner Straßennetzes, Stand 11/2014 (SenStadtUm 2014a),
- Land Brandenburg:
  - ALKIS-Datenbestand Gebäude und Tatsächliche Nutzung, Stand 10/2013 (LGB 2013),
  - Geländehöhen (DGM25) (LGB 2013a).

## Methode

### Modellgestützte Stadtklimaanalyse

Im Rahmen des Gesamtprojektes wurden mit dem mesoskaligen Klimamodell **FITNAH** zwei Modellläufe für eine hochsommerliche Wetterlage mit einer horizontalen Auflösung von 10 m durchgeführt. Der erste Modelllauf basiert auf einer in Berlin während der Sommermonate relativ häufig auftretenden allochthonen Westwindwetterlage. Der zweite Modelllauf basiert auf einer für stadtklimatische Analysen regelmäßig verwendeten autochthonen Wetterlage ohne übergeordneten Windeinfluss. Aus den resultierenden meteorologischen Feldern wurden zusätzlich noch räumlich differenzierte Daten für bestimmte klimatologische Kenntage abgeleitet. Insgesamt stehen also drei sich ergänzende flächendeckende Datensätze zur Verfügung.

Es ist Stand der Technik, dass für die Ableitung der PHK lediglich eine meteorologische Situation herangezogen werden kann. Für die PHK 2015 wurde hierfür die autochthone hochsommerliche Hochdruckwetterlage ohne übergeordneten Windeinfluss ausgewählt. Sie stellt diejenige Wetterlage dar, in der das stadtklimatische Prozessgeschehen am deutlichsten ausgeprägt ist, und auf dessen Basis sich dementsprechend auch sinnvolle Planungshinweise ableiten lassen. Da für spezifische Fragestellungen (z.B. B-Planverfahren, Wirkungsanalysen von Maßnahmen) zusätzlich die Ergebnisse der Analysephase relevant sein können, sind deren Daten ebenfalls im [Geoportal](#) abrufbar.

## Struktur der Planungshinweiskarte

Die Ausgaben 2004 und 2009 der Planungshinweiskarte Stadtklima bestanden jeweils aus einer Karte sowie kurzen erläuternden Texten für den Umweltatlas. Die PHK 2015 besteht nun erstmals aus drei sich ergänzenden Kartenwerken sowie einem erläuternden Begleitdokument:

- einer Hauptkarte
- ergänzenden Planungshinweisen sowie
- Maßnahmen.

Dieses Vorgehen trägt zum einen der hohen Komplexität des Themas, dem gestiegenen Stellenwert innerhalb der Einbeziehung stadtklimatischer Aspekte in die Stadtentwicklungspolitik sowie den gestiegenen nutzerseitigen Anforderungen an Aussagegenauigkeiten Rechnung.

Die „**Hauptkarte**“ **04.11.1** ist das (inhaltlich erweiterte und räumlich konkretisierte) Äquivalent zu den PHK-Ausgaben 2004 und 2009. Die Karte enthält eine flächendeckende Bewertung der stadtklimatischen Belastungssituationen am Tage und in der Nacht (sowie zusammengefasst zu einer Gesamtbewertung) und Entlastungsfunktionen und stellt damit die fachliche Informations- und Abwägungsgrundlage sowohl für gesamtstädtisch als auch für teils räumlich ausgerichtete Planungen dar. In den „**Ergänzenden Planungshinweisen**“ **04.11.2** sind ausgewählte Teilthemen der Stadtentwicklung mit den in der Hauptkarte dargestellten Bewertungsergebnissen sowie weiteren räumlich hochaufgelösten Sach- und Geodaten verknüpft worden. Sie dienen als Entscheidungsgrundlage für spezifische Fachplanungen bzw. Fragestellungen (u.a. Stadtsanierung, sensible Nutzungen, Demographie).

Die „**Maßnahmenebene**“ **04.11.3** enthält schließlich eine flächentypabhängige, raumkonkrete Zuordnung von 30 Einzelmaßnahmen zu allen ISU5-Block(teil)flächen sowie zu allen Abschnitten des „Detailnetzes“ des Berliner Straßennetzes. Die Ebene fokussiert vor allem auf die Verbesserung oder den Erhalt des Status Quo im Bestand. Es werden aber auch solche Maßnahmen thematisiert, die insbesondere für die intensiven Neubauvorhaben in Berlin eine Relevanz besitzen.

## Betrachtete Raumeinheiten

In der PHK Hauptkarte werden vor allem drei räumliche Bewertungseinheiten unterschieden:

- **Siedlungsraum**
- **Grün- und Freiflächen**
- **Öffentliche Straßen, Wege und Plätze.**

Dem **Siedlungsraum** sind solche Flächen zugeordnet, die primär die Funktionen Wohnen, Arbeiten und Gemeinbedarf erfüllen. Vor allem in den Wohngebieten hält sich der Mensch sowohl am Tage als auch in der Nacht auf. Unter **Frei- und Grünflächen** sind alle Areale subsummiert, die entweder vorrangig der menschlichen Erholung dienen (z. B. Parks, Kleingärten, Wälder) oder andere klimaökologische Dienstleistungen erbringen (z. B. Ackerflächen). Aus stadtklimatischer Sicht können Grün- und Freiflächen einen doppelten Nutzen erbringen. Zum einen werden sie tagsüber aktiv aufgesucht und bilden ein Gegengewicht zu etwaigem thermischem oder lufthygienischem Stress im Straßen- und Siedlungsraum. Zum anderen produzieren und/oder transportieren sie insbesondere nachts Kalt- und Frischluft und ermöglichen der angrenzenden Bevölkerung so einen erholsamen Schlaf auch während bioklimatischer Belastungswetterlagen. **Öffentliche Straßen, Wege und Plätze** hingegen spielen vor allem tagsüber als temporärer Aufenthaltsbereich des Menschen eine Rolle. Sie werden entweder zum längeren Aufenthalt aufgesucht (z. B. Stadtplätze) oder aber als Mittel zum Zweck genutzt, um ein Bewegungsziel zu erreichen (z. B. Arbeits- oder Einkaufsweg).

Den geometrischen Raumbezug bilden die Einheiten der ISU5 Blockkarte. Jede Fläche ist dabei eindeutig einer der drei Nutzungskategorien zugeordnet worden. Die Zuordnung erfolgte auf der Basis der sog. Flächentypen (vgl. SenStadt 2010). Einen Sonderfall stellt die Raumeinheit „Öffentliche Straßen, Wege und Plätze“ dar. Deren Teilflächen rekrutieren sich nur z.T. aus ISU5-Flächentypen mit

einer verkehrlichen Nutzungszuweisung (u.a. Stadtplatz, Promenade, Parkplatz). Der überwiegende Teil der rund 22.000 Einzelflächen wurde aus dem Detailnetz des Berliner Straßennetzes abgeleitet und repräsentiert konkrete Straßenabschnitte, so dass auf diesem Wege auch eine räumliche Verknüpfung zwischen dem lufthygienischen und thermischen Belastungsniveau im Straßenraum ermöglicht werden konnte.

Von den rund 890 km<sup>2</sup> des Berliner Stadtgebietes sind in diesem Projekt 373 km<sup>2</sup> (41,9 %) als Siedlungsraum, 351 km<sup>2</sup> (39,5 %) und 121 km<sup>2</sup> als Straßenraum (13,7 %) klassifiziert worden. Die übrigen etwa 5 % der Gesamtfläche Berlins bilden Fließ- und Standgewässer. Offene Wasserflächen nehmen aufgrund ihrer klimatischen Ausgleichsfunktion eine nicht unwesentliche Funktion im stadtklimatischen Prozessgeschehen Berlins ein. Da Wasserflächen aber in aller Regel keinem Umwandlungs- oder Entwicklungsdruck unterliegen, werden sie in der PHK lediglich nachrichtlich dargestellt.

**Ansatz, Datengrundlagen und Methode des zur Aktualisierung der Klimadaten eingesetzten Verfahrens** stellen auf eine größtmögliche, gleichzeitig flächendeckende Detailliertheit der resultierenden Aussagen ab. Aufgrund der dynamischen Entwicklung in der Stadt ändern sich jedoch die Ausgangsvoraussetzungen für die Bewertung auf einzelnen Flächen schneller als der mögliche Fortschreibungszyklus der Karten im Umweltatlas. Es wird daher empfohlen, die Überlagerungsfunktion mit den jeweils aktuellen Luftbildern im Geoportal für eine Flächenkontrolle sowie zum Vergleich mit den Sachdaten der PHK zu nutzen. Daraus lassen sich Rückschlüsse auf die Verwendbarkeit der Bewertungsergebnisse ziehen.

## Kartenbeschreibung

### Karte 04.11.1 Hauptkarte

#### Siedlungsraum

Die thermische Situation wird in rd. 60 % des Siedlungsraums als „ungünstig“ oder „weniger günstig“ eingestuft. Insbesondere für die Bewertungsklasse „ungünstig“ sind aus fachlicher Sicht proaktive Maßnahmen zur Verbesserung der Situation sowie ein verantwortungsvoller Umgang mit der Flächenressource dringend anzuraten. Mit Blick auf Extremereignisse sowie den Klimawandel lässt sich dieser Hinweis auf die Flächen der Klasse „weniger günstig“ ausweiten. 40 % des Siedlungsraums sind demgegenüber als günstig oder sehr günstig einzustufen (vgl. Abbildung 1). Hier ist bei baulichen Maßnahmen darauf hinzuwirken, dass sie nicht für die Tag- oder Nachtsituation zu erheblichen negativen Auswirkungen auf der Fläche selbst sowie auf angrenzenden Flächen führen.

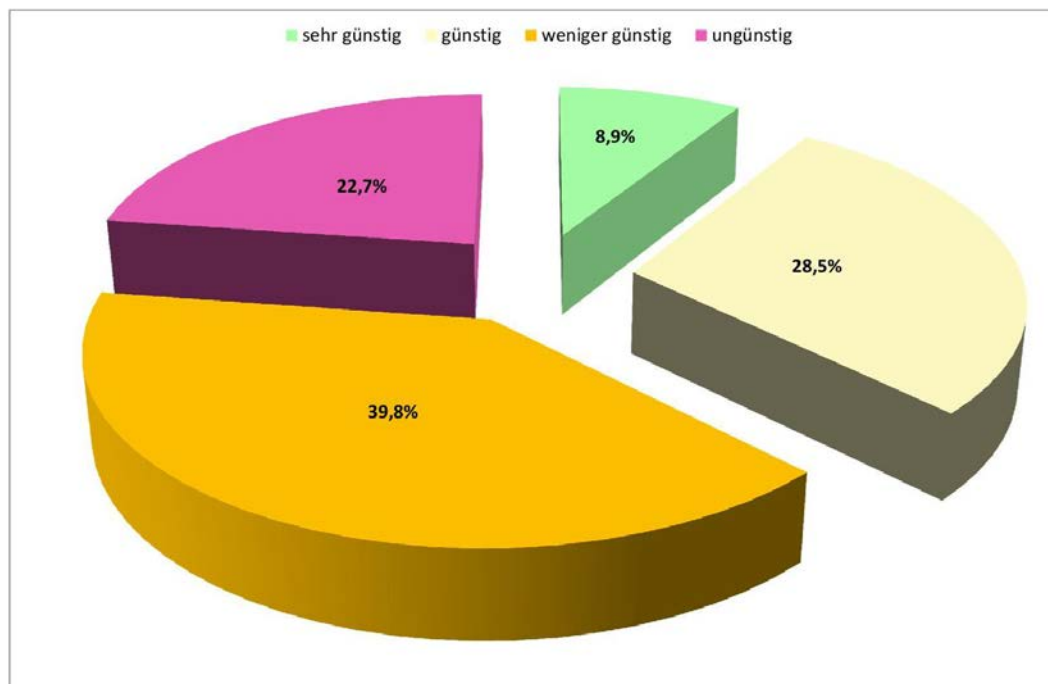


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Gesamtsituation in den Siedlungsräumen (Verknüpfung von Tag- und Nachtsituation) Berlins

Die räumlichen Schwerpunkte der tageszeitlich kombinierten thermischen Belastung liegen in den Bezirken Friedrichshain-Kreuzberg und Mitte (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3). Hier fallen jeweils >80 % des Siedlungsraums in die Klassen „weniger günstig“ oder „ungünstig“, womit eine Empfehlung zur Verbesserung der Situation einhergeht. Geschlossene Blockrandbebauungen (Flächentypen 2 und 7) sowie der großflächige Einzelhandel (Typ 30) machen in den beiden Bezirken mehr als 40 % der Flächennutzung aus. Entsprechend hoch sind Bauvolumen und Versiegelungsgrad und entsprechend niedrig ist das Grünvolumen. Beides führt zu teilräumlich hohen Belastungen vor allem in der Nacht, in Teilräumen aber auch am Tage.

Vergleichsweise gut ist die thermische Situation in den Bezirken Steglitz-Zehlendorf, Marzahn-Hellersdorf und Treptow-Köpenick, in denen jeweils auf weniger als 50 % der Fläche Maßnahmen zur Verbesserung notwendig sind. Den Bezirken kommt zum einen ihr hoher Grünanteil und dessen Anschluss an die Kaltluftentstehungsgebiete in der Stadt und im Umland (u.a. Forst Grunewald in Steglitz-Zehlendorf, ausgedehnte Waldgebiete zwischen Müggelsee und Dahme in Treptow-Köpenick) zu Gute. Zum anderen begünstigt auch die historisch bedingt offenere Bebauungsstruktur ein vergleichsweise geringes thermisches Belastungsniveau. So nehmen in allen Bezirken „Freistehende Einfamilienhäuser mit Garten“ (Typ 23) den höchsten Flächenanteil ein. In Marzahn-Hellersdorf beträgt dieser Anteil sogar nahezu 50 %.

Diese Werte dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch in den bioklimatisch begünstigten Bezirken auf eine stadtklimagerechte Erhaltung und/bzw. Entwicklung geachtet werden sollte und auf Teilflächen sogar Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation anzuraten sind. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Ortsteile Marzahn und Hellersdorf, deren „Großsiedlungen und Punkthochhäuser“ (Typ 23) zu fast 80 % eine ungünstige thermische Gesamtbewertung aufweisen, was vor allem auf die Tagsituation bzw. die Situation im Öffentlichen (Straßen-)Raum zurückzuführen ist.

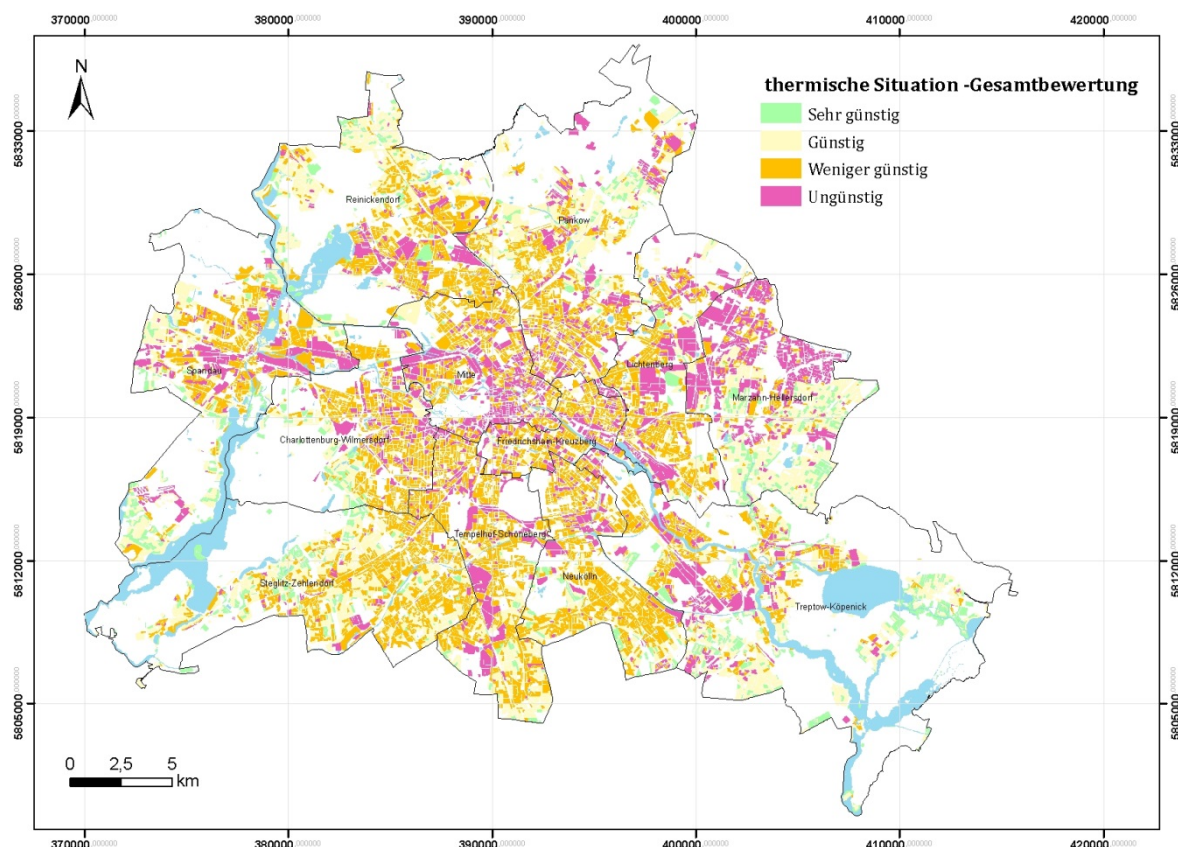


Abbildung 2: Räumliche Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Gesamtsituation in den Siedlungsräumen (Verknüpfung von Tag- und Nachtsituation) Berlins



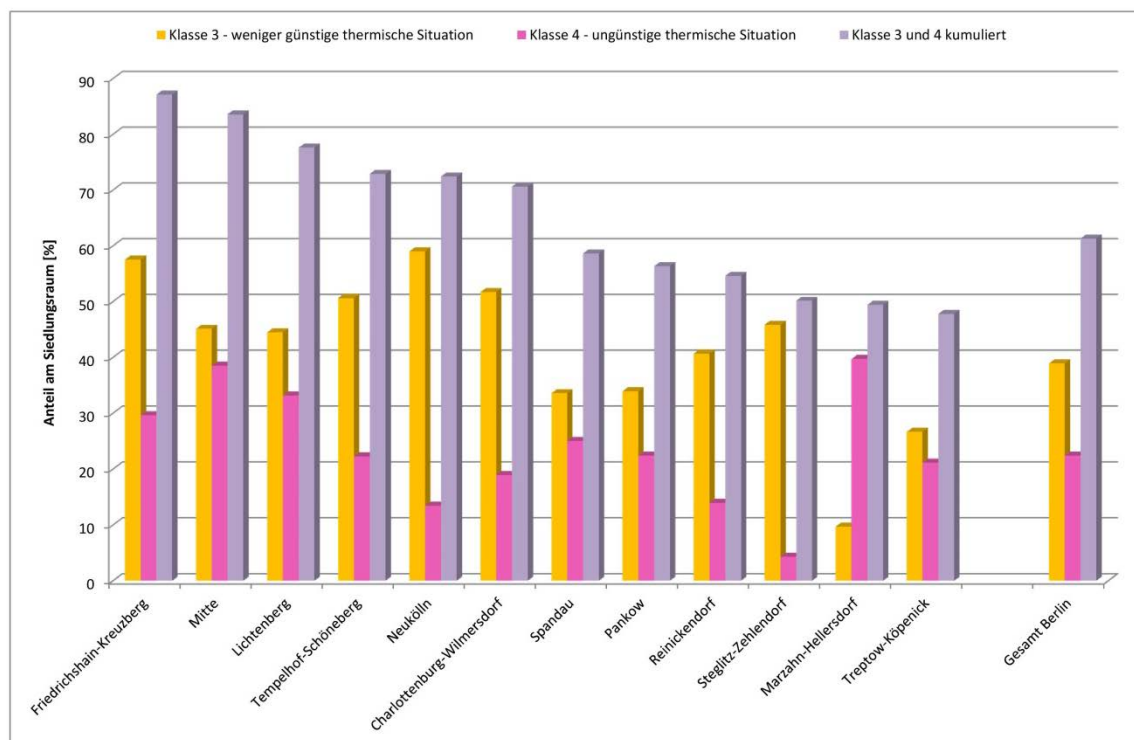


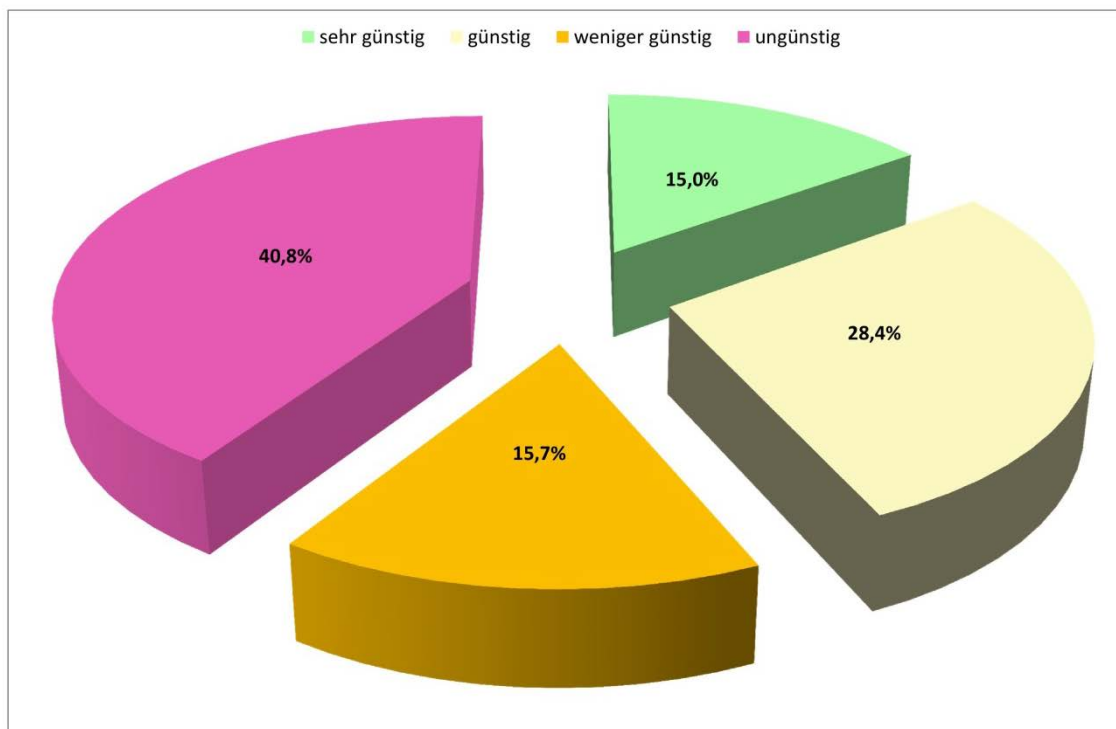
Abbildung 3: Bilanzierung der thermischen Gesamtsituation im Siedlungsraum der 12 Bezirke Berlins

### Öffentliche Straßen, Wege und Plätze

Rund 55 % der öffentlichen Straßen, Wege und Plätze Berlins lassen sich den beiden höchsten Belastungsklassen zuordnen (vgl. Abbildung 4). Für die Straßenabschnitte und Plätze der Klasse 4 wird empfohlen, bereits kurzfristig Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation umzusetzen. Diese sollten eine Wirkung für die Tagsituation entfalten (vor allem verschattende Maßnahmen). Wenn eine in der Nachtsituation als thermisch belastete Siedlungsfläche unmittelbar angrenzt, sind zusätzliche Maßnahmen sinnvoll (vor allem solche, die die Wärmespeicherung reduzieren). Ein besonderer Fokus sollte dabei auch auf solche Abschnitte gelegt werden, auf denen sowohl eine ungünstige thermische Situation als auch eine erhöhte oder sehr hohe verkehrliche Luftbelastung modelliert wurde.

Mittelfristig sind Maßnahmen aber auch schon auf Teilflächen zu empfehlen, denen die Klasse „weniger günstig“ zugeordnet wurde. Während Hitzeperioden können hier noch deutlich höhere Belastungen erreicht werden als in der Modellierung abgebildet wird. Zudem wird der Klimawandel das Belastungsniveau eines durchschnittlichen Sommertages allmählich auch im Öffentlichen Straßenraum anheben.

Auf den übrigen 45 % der Fläche der Raumeinheit kann die thermische Situation gegenwärtig als günstig oder sehr günstig eingestuft werden. Maßnahmen zur weiteren Verbesserung sind nicht zwingend notwendig, sollten aber in Betracht gezogen werden, wenn etwaig angrenzende Siedlungsräume eine Belastung aufweisen und Maßnahmen dort nicht oder in nicht ausreichendem Umfang umgesetzt werden können.



*Abbildung 4: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Gesamtsituation auf Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen in Berlin*

Die räumlichen Schwerpunkte der thermischen Belastung auf den Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen weisen einen engen Zusammenhang mit dem Grünvolumen bzw. dem Anteil von durch Straßenbäumen bedeckten Grundfläche der Straßenabschnitte auf (beide Größen liegen als berechnete Werte aus den erfassten Vegetationsstrukturen vor (SenStadtUm 2014). Die Grundflächenüberdeckung durch Straßenbäume liegt etwa im Bezirk Marzahn-Hellersdorf bei lediglich durchschnittlich 8 %. Auch beim Grünvolumen im Öffentlichen Straßenraum weist der Bezirk die geringsten Anteile auf; Steglitz-Zehlendorf dagegen als Bezirk mit den niedrigsten Anteilen (24,5 %) "weniger günstiger" bzw. "ungünstiger" thermischer Verhältnisse auf Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen besitzt in dieser Raumeinheit in etwa das 2,5 fache Grünvolumen gegenüber Marzahn-Hellersdorf (vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6).

In den meisten übrigen Bezirken liegt der Flächenanteil der kumulierten Werte für die Belastungssituation zwischen 55 % und 65 %. Das angenehmste Bioklima im Öffentlichen Straßenraum herrscht nach der vorliegenden Bewertung in den Bezirken Steglitz-Zehlendorf, Charlottenburg-Wilmersdorf und Reinickendorf. Hier betragen die kumulierten Flächenanteile der Klassen 3 und 4 nur zwischen knapp 25 bis unter 40 %. Dass aber selbst in diesen Bezirken noch Potential zur Verbesserung existiert, zeigen die Anteile der von Straßenbäumen bedeckten Grundfläche der Straßenabschnitte: Sie liegen für die beiden letztgenannten Bezirke zwischen 14 % und 16 %.

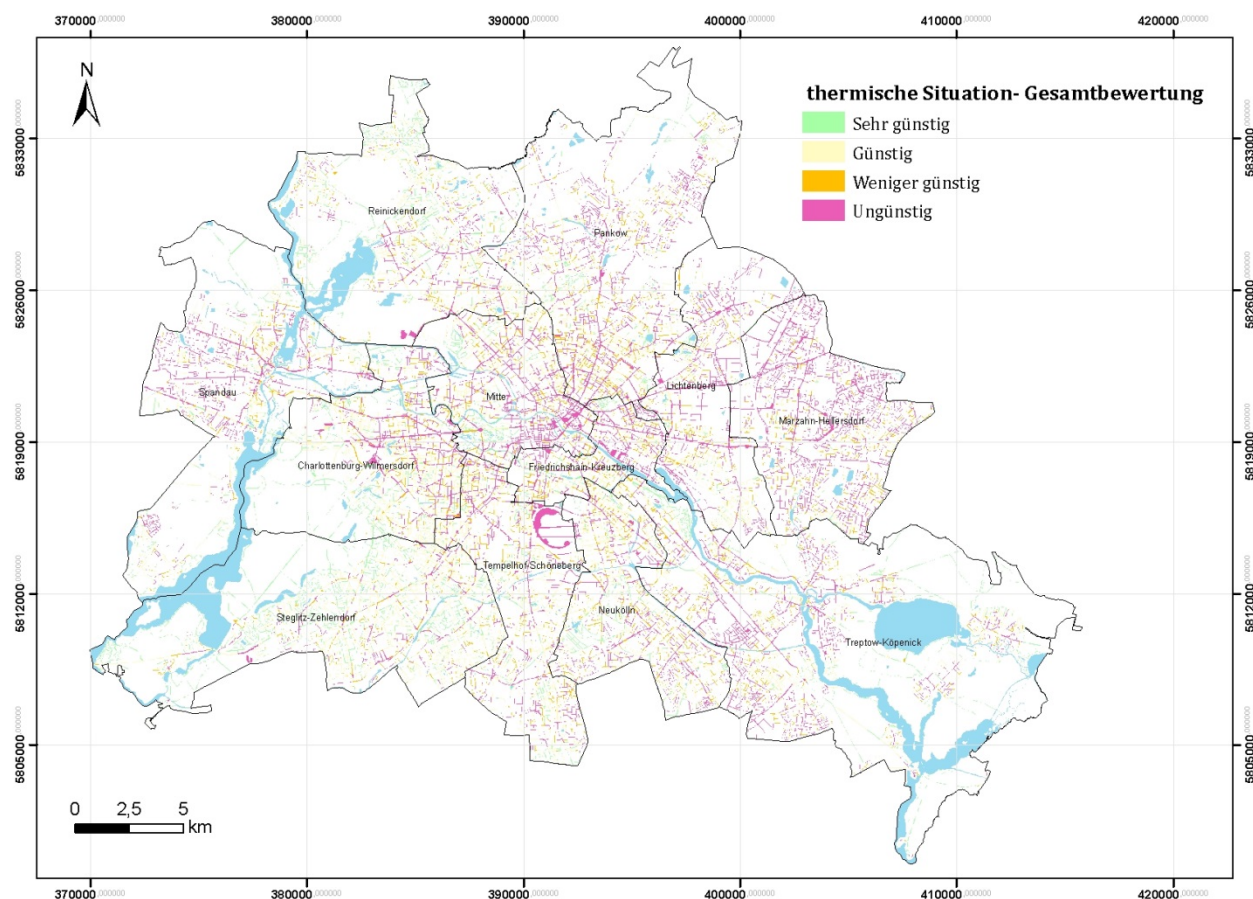


Abbildung 5: Gesamtbewertung der thermischen Situation auf öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen in Berlin

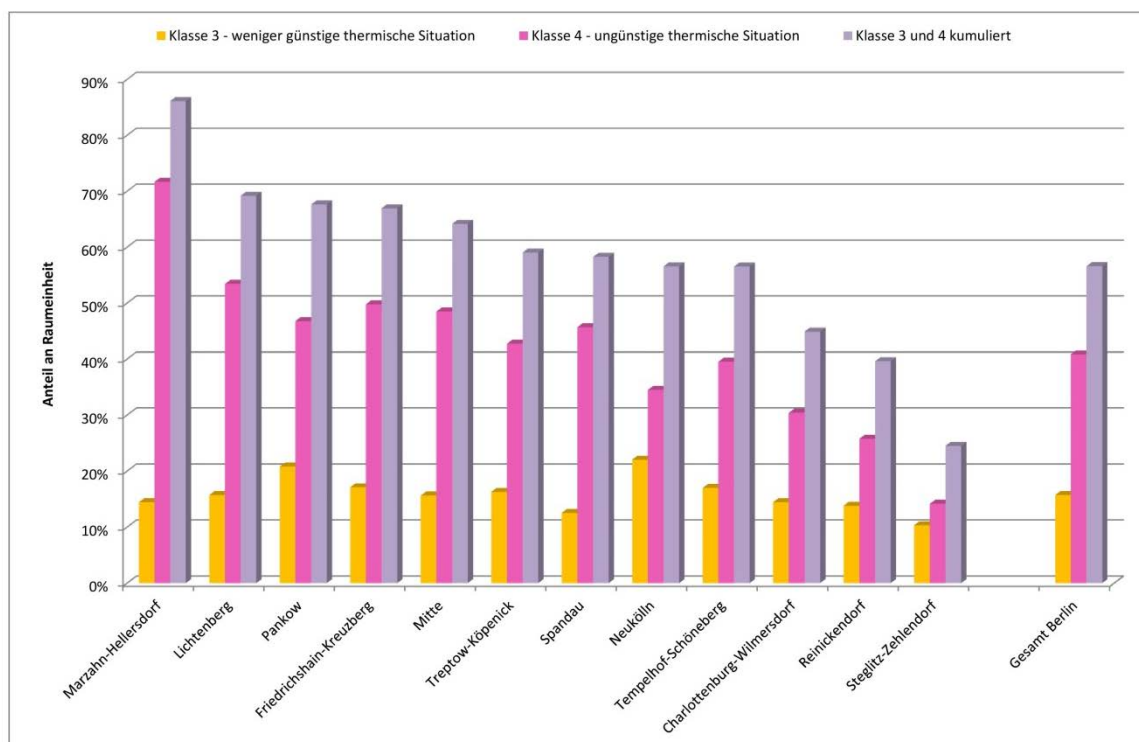


Abbildung 6: Bilanzierung der thermischen Gesamtsituation auf den Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen der 12 Bezirke Berlins



## Luftaustausch

Das großräumige Luftaustauschsystem Berlins besteht vor allem aus drei Komponenten:

- **Luftleit- und Ventilationsbahnen,**
- **orographisch-thermisch induzierte, flächenhafte Kaltluftabflüsse,**
- **thermisch induzierte, linienhafte Kaltluftleitbahnen.**

Die für Berlin wichtigen **Luftleit- und Ventilationsbahnen** folgen den Tälern von Havel, Dahme und Spree. Sie sind vor allem bei allochthonen Wetterlagen von Bedeutung, bei denen sich aufgrund von mehr oder weniger großräumigen Luftdruckunterschieden regionale Windsysteme ausbilden. In Berlin treten diese Wetterlagen im langjährigen Mittel (2001-2010) in Abhängigkeit von der betrachteten Station zwischen 61,9 % (Berlin-Grunewald) und 91,5 % (Berlin-Dahlem) auf (SenStadtUm 2015a). Dabei herrschen westliche Windrichtungen vor. In den Tälern wird die herangeführte Kaltluft kanalisiert, beschleunigt und auf diese Weise in die vergleichsweise windschwachere Innenstadt transportiert („Düseneffekt“). Um dieses Phänomen optimal ausnutzen zu können, sollten Uferbereiche freigehalten und in den Übergangszonen zu Gewässern die Bebauung offen gehalten werden.

Autochthone Wetterlagen ohne (oder mit nur sehr schwach ausgeprägten) übergeordneten Windsystemen treten in Berlin zwar seltener auf (8,5 % - 38,1 % der Jahresstunden). Für die Gesundheit der Stadtbevölkerung sind sie in aller Regel aber mit stärkeren Belastungen verbunden, da aufgrund von Inversionen der Abtransport von Luftschadstoffen gehemmt wird und es zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel kommt. Für diese Wetterlagen übernehmen lokale, thermisch und/oder orographisch induzierte Kaltluftabflüsse und Flurwindsysteme die Versorgung der Stadt mit Kalt-/Frischluft.

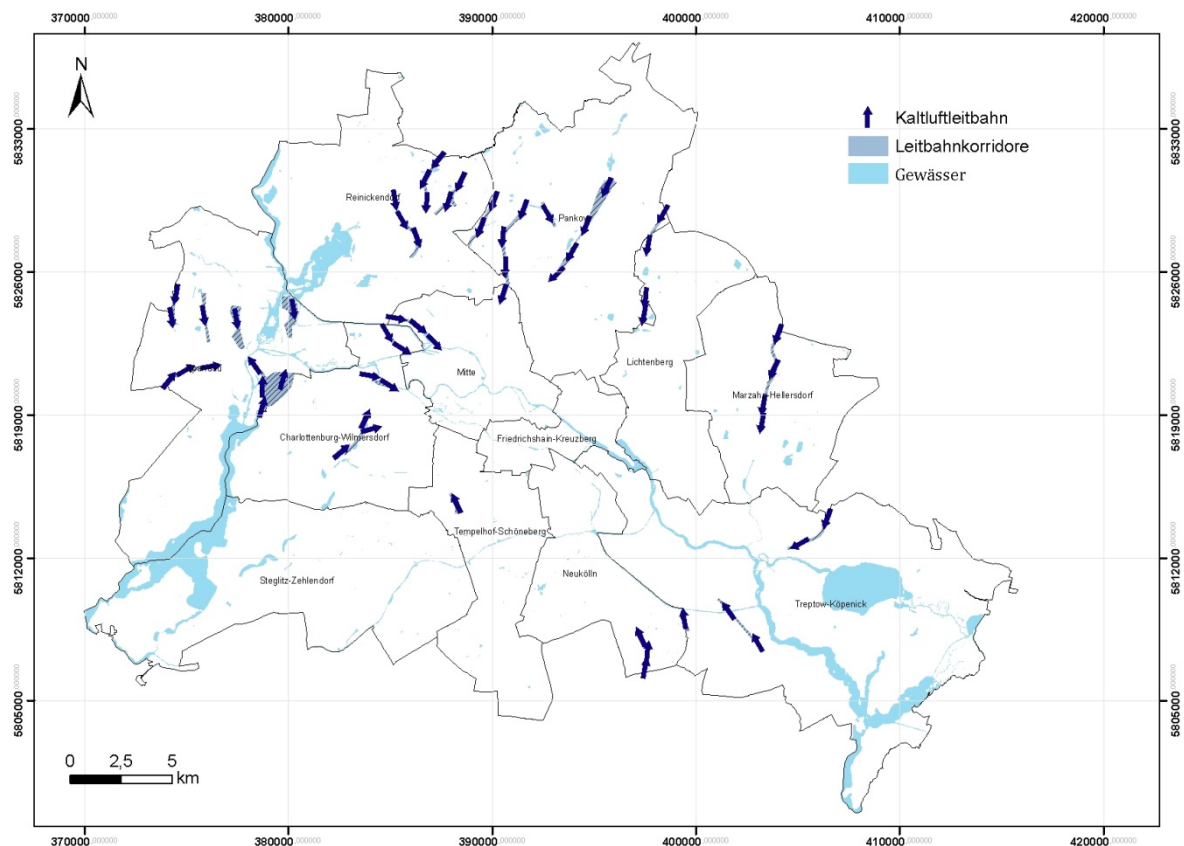
Der **thermisch-orographisch induzierte Kaltluftabfluss** ist auf Reliefunterschiede zurückzuführen, die in den frühen Morgenstunden zu einem hangparallelen Abfluss der sich abkühlenden Luft führt. Die Voraussetzung für planungsrelevante Kaltluftabflussvolumina ist eine großflächige Hangneigung von > 1 %, die zudem in Richtung einer (thermisch belasteten) Siedlungsfläche ausgerichtet sein sollte. Das flächenmäßig größte Kaltluftabflusspotential besitzt der Grunewald. Hier kann Kaltluft auf fast 3.500 ha abfließen. Insbesondere im nördlichen und östlichen Teil profitiert die angrenzende Wohnbebauung hiervon unmittelbar.

Rein **thermisch induzierte Kaltluftleitbahnen** sind demgegenüber deutlich häufiger und zudem homogener über das Stadtgebiet verteilt. Sie sind auf die kleinräumige Abfolge von lokalen Hoch- und Tiefdruckgebieten innerhalb Berlins während der Nachtstunden autochthoner Wetterlagen zurückzuführen und sorgen dafür, dass die über den warmen, dicht bebauten Siedlungsbereichen aufsteigende Luft bodennah durch vergleichsweise kühlere Luftmassen aus ihrem Umfeld, insbesondere größeren Grün-/Freiflächen ersetzt wird. Sie stellen insbesondere für den Innenstadtbereich die wichtigsten Entlastungswirkungen dar.

Ihre Wirkungsbereiche untereinander und gegen die der anderen Komponenten des Luftaustauschsystems flächenscharf abzugrenzen ist aufgrund von räumlichen Überschneidungen nicht ohne weitere modell- und messtechnische Analysen möglich. Allerdings lassen sich die Kernbereiche der einzelnen Leitbahnen auf Basis der Modellierung näherungsweise räumlich abgrenzen und damit überschlägig bilanzieren und vergleichen. Als Kernbereich des thermisch induzierten Leitbahntyps eignen sich Grünzüge im besonderen Maße. Sie transportieren nicht nur die im Außenbereich erzeugte Kaltluft weiter, sondern reichern den Luftstrom mit zusätzlichen Kaltluftvolumina weiter an. Auch über breite Straßenzüge können relevante Mengen an Kaltluft in die Stadt transportiert werden. Hier müssen lufthygienisch belastete von unbelasteten Leitbahnen unterschieden werden (VDI 2015).

Die Ausweisung der Leitbahnen und ihrer Korridore erfolgte manuell als gutachterliche Einschätzung und orientiert sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der durchgeführten FITNAH-Simulation. Die Abgrenzung der Leitbahnkorridore ist dabei nicht flächenscharf und bedarf im konkreten Planungsfall (z.B. einem Bauvorhaben) zumeist mindestens einer zusätzlichen gutachterlichen Einschätzung.

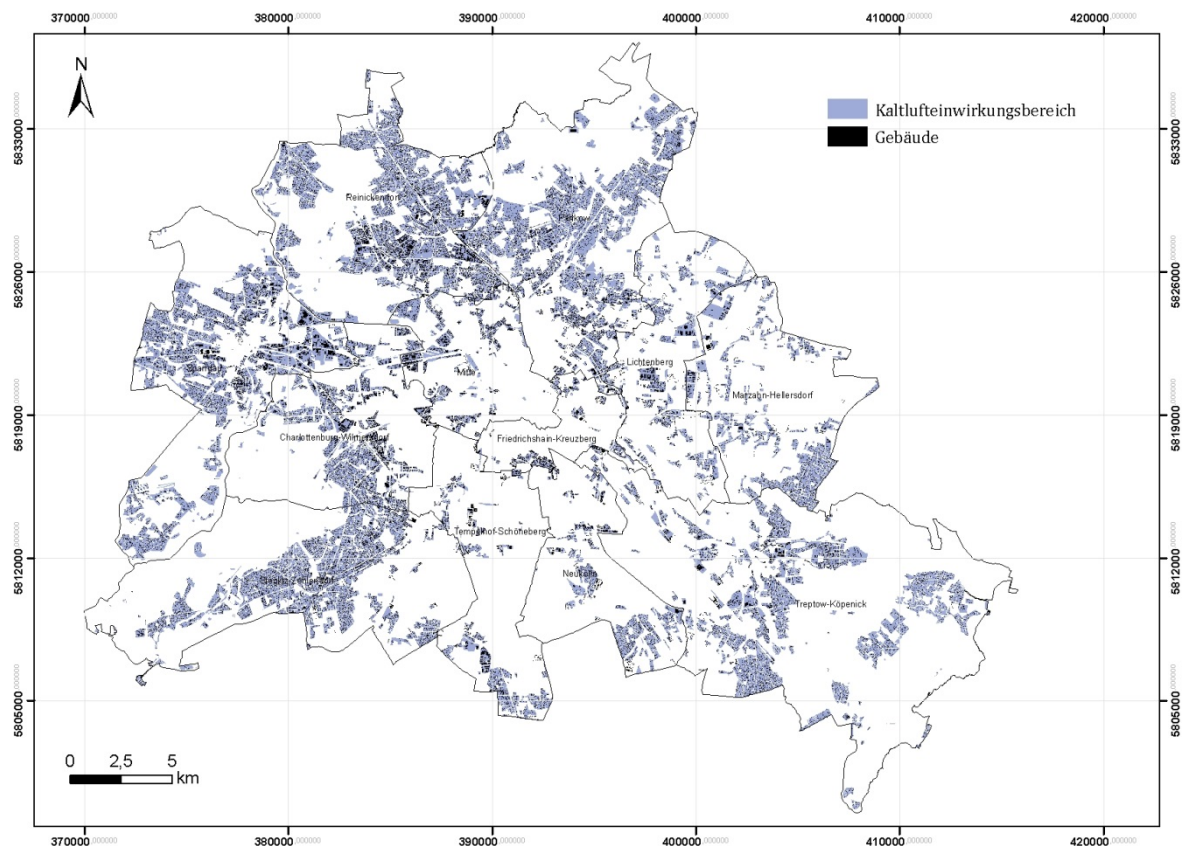
Für das Berliner Stadtgebiet wurden insgesamt 21 Leitbahnen identifiziert (vgl. Abbildung 7). Ihre Kernbereiche umfassen eine Fläche von insgesamt rd. 1.250 ha, was 1,4 % des gesamten Stadtgebietes entspricht. Jede Leitbahn stellt eine **zentrale Komponente** des Luftaustauschsystems Berlins dar. Daher sind alle baulichen Hindernisse zu vermeiden, die einen Kaltluftstau verursachen könnten. Grundsätzlich ist der Erhalt des Grün- und Freiflächenanteils anzustreben. Im Falle einer Bebauung sind die Bauhöhen möglichst gering zu halten und die Neubauten längs zur Leitbahn auszurichten. Randbebauungen sind gänzlich zu vermeiden.



**Abbildung 7: Kernzonen der Kaltluftleitbahnen („Leitbahnkorridore“) in Berlin**

Für alle drei Hauptkomponenten des Berliner Luftaustauschsystems gilt gleichermaßen, dass zwar ihre individuellen Strukturen (Luftleit- und Ventilationsbahnen), Potentialflächen (Kaltluftabflüsse) bzw. Kernzonen (Kaltluftleitbahnen) aus den Modellergebnissen und weiteren Sach- und Geodaten abgeleitet werden können. Eine flächenscharfe bzw. komponentenbezogene Abgrenzung ihrer spezifischen Einwirkungsbereiche - die in aller Regel deutlich über die oben dargestellten Flächen hinausgehen - kann allerdings aufgrund von gegenseitiger räumlicher Überlagerung und Beeinflussung ohne weitere vertiefende Untersuchungen nicht mit ausreichender Sicherheit geleistet werden.

Es ist allerdings möglich, den gesamthaften Kaltluftereinwirkungsbereich des Berliner Austauschsystems abzubilden und zu bilanzieren (vgl. Abbildung 8). Bestandteil dieser Analyse ist auch die aus den vielen kleineren und größeren Grünflächen sowie den stark durchgrünten Siedlungsräumen ausströmende Kaltluft. Diese lokalen Phänomene bilden das kleinste Mosaikstück des Berliner Luftaustausches und bieten vor allem Teilflächen von kaltluftleitbahn- bzw. kaltluftabflussfernen Siedlungsräumen eine klimaökologische Wohlfahrtswirkung (dies betrifft u.a. die Bezirke Mitte und Friedrichshain-Kreuzberg).



**Abbildung 8: Summarischer Einwirkungsbereich der Komponenten des Berliner Luftaustauschsystems bei autochthonen Wetterlagen**

Wie Abbildung 9 verdeutlicht, bestehen zwischen den Berliner Bezirken große Unterschiede in Bezug auf den absoluten und relativen Anteil der von der Kaltluft profitierenden Bewohner sowie der beeinflussten Siedlungsraumfläche. In allen genannten Kategorien nehmen die Bezirke Reinickendorf, Pankow und Spandau die drei günstigsten Ränge ein. Sie profitieren am stärksten vom Luftaustausch. Der Bezirk Reinickendorf sticht in der Statistik besonders heraus: ungefähr 80 % der Bewohner bzw. der Siedlungsraumfläche sind an Kaltluftflüsse angeschlossen. Es kann begründet davon ausgegangen werden, dass die deutlich unterdurchschnittliche nächtliche thermische Belastung und vor allem der sehr geringe Anteil an Block(teil)flächen der Klasse „ungünstige thermische Situation“ in den drei Bezirken sehr eng mit der guten Versorgung mit Kaltluft verbunden ist. Dieser Zusammenhang lässt sich in umgekehrter Weise auch für die Bezirke Tempelhof-Schöneberg und vor allem Friedrichshagen-Kreuzberg unterstellen. In beiden Bezirken profitieren nur wenig mehr als 20.000 Einwohner (entspricht < 10 %) von den Kaltluftflüssen. Insgesamt profitieren in Berlin auf Grundlage der Modellergebnisse rd. 1 Mio. Einwohner (entspricht ca. 30 % der Gesamtbevölkerung) von der über das vielschichtige Luftaustauschsystem in die Stadt transportierten oder direkt in ihr produzierten Kaltluft.

Diese Werte verdeutlichen zum einen die **zentrale Bedeutung des Kaltlufthaushaltes für Berlin**. Sie zeigen zum anderen aber auch ein Verbesserungspotential auf, das es mithilfe von Maßnahmen zu erschließen gilt.

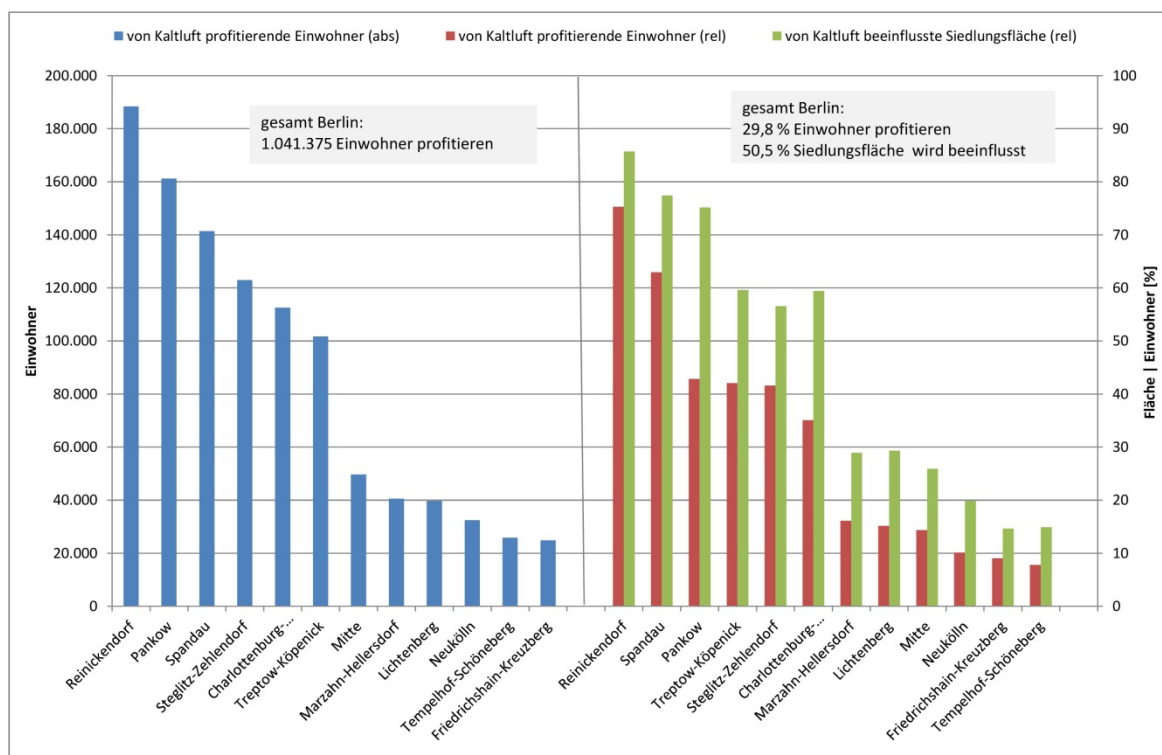


Abbildung 9: Bilanzierung der Kaltlufteinwirkung auf den Siedlungsraum in Berlin nach Bezirken

## Grün- und Freiflächen

Etwas mehr als der Hälfte der Berliner Grün- und Freiflächen ist die höchste Schutzwürdigkeit zugewiesen worden (Abbildung 10 und Abbildung 11). Diese Flächen umfassen die für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtigen klimaökologischen Ausgleichsräume. Ihre Klimafunktionen sind von sehr hoher Bedeutung. Bauliche Eingriffe sollten vermieden oder, sofern bereits planungsrechtlich vorbereitet (FNP-Bauflächen), unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollten eine gute Durchströmbbarkeit der angrenzenden Bebauung, eine Vernetzung mit benachbarten Grün- und Freiflächen sowie ggf. eine Erhöhung der Mikroklimavielfalt angestrebt werden. Neben sämtlichen kernstädtischen Grün-/und Freiflächen (u.a. Park am Gleisdreieck, Tempelhofer Feld, Großer Tiergarten) sind auch einige landwirtschaftliche Nutzflächen im Berliner Norden Bestandteil der höchsten Bewertungsklasse.

Rund einem Drittel aller Frei- und Grünflächen Berlins kann eine hohe Schutzwürdigkeit beigemessen werden. Den mit ca. 85 % weitaus überwiegenden Anteil daran machen die ausgedehnten Waldgebiete Berlins aus. Unter dem übrigen Flächenanteil dominieren vor allem Parkanlagen, Kleingärten und vegetationsbestimmte Brachflächen.

Diese Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume dar. Bauliche Eingriffe sollten äußerst maßvoll oder, sofern bereits planungsrechtlich vorbereitet (FNP-Bauflächen), unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollten eine gute Durchströmbbarkeit der angrenzenden Bebauung, eine Vernetzung mit benachbarten Grün- und Freiflächen sowie ggf. eine Erhöhung der Mikroklimavielfalt angestrebt werden.

Damit weisen rd. 95 % aller Berliner Grün- und Freiflächen eine hohe bis sehr hohe klimaökologische Schutzwürdigkeit auf. Dies illustriert die herausragende Relevanz der meisten Grün- und Freiflächen für ein gesundes Berliner Stadtklima. Flächen mit einer mittleren Schutzwürdigkeit stellen den Ergänzungsraum zum stadtklimatischen Ausgleichssystem dar, machen aber nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtfläche der Raumeinheit aus. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen. Allen übrigen Flächen wurde eine geringe Schutzwürdigkeit zugewiesen. Sie stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine klimaökologisch relevante Dienstleistung bereit. Für alle Flächen mit einer geringen oder mittleren Schutzwürdigkeit gilt, dass ihre

Bewertung im Falle ihrer Bebauung oder einer Bebauung ihrer näheren Umgebung neu vorgenommen werden muss.

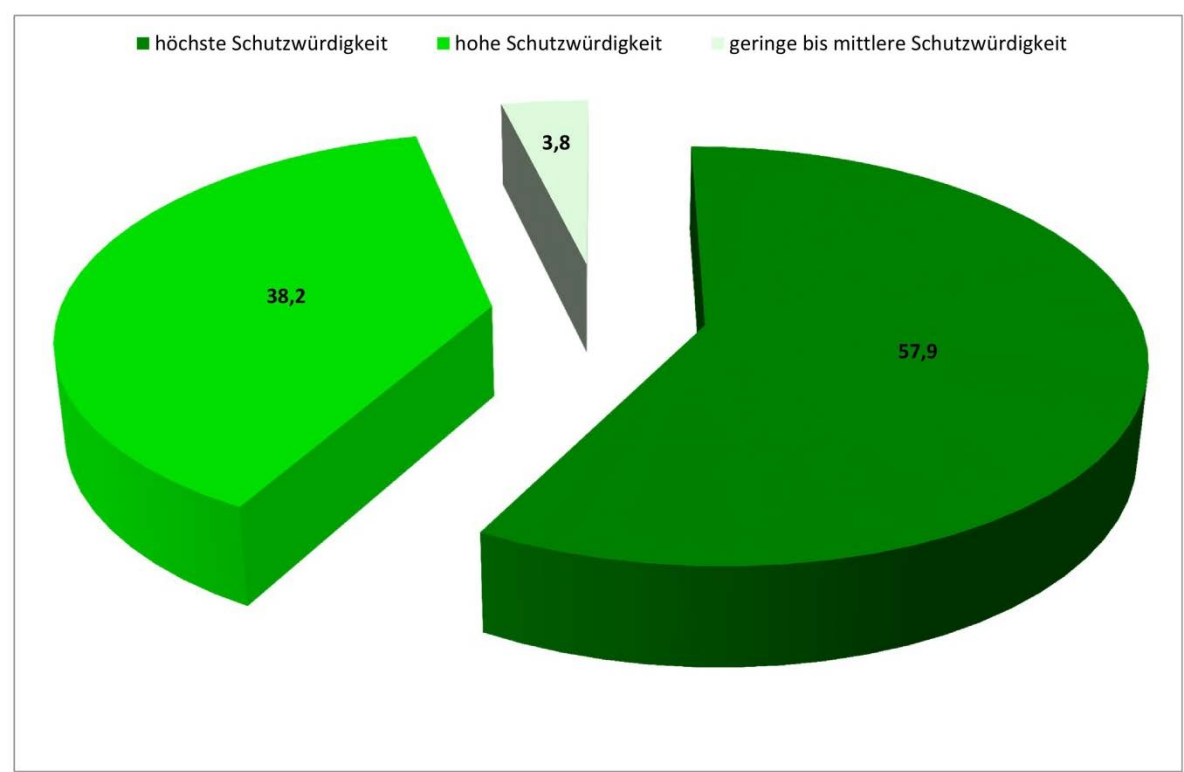


Abbildung 10: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur klimaökologischen Schutzwürdigkeit von Frei-/und Grünflächen in Berlin

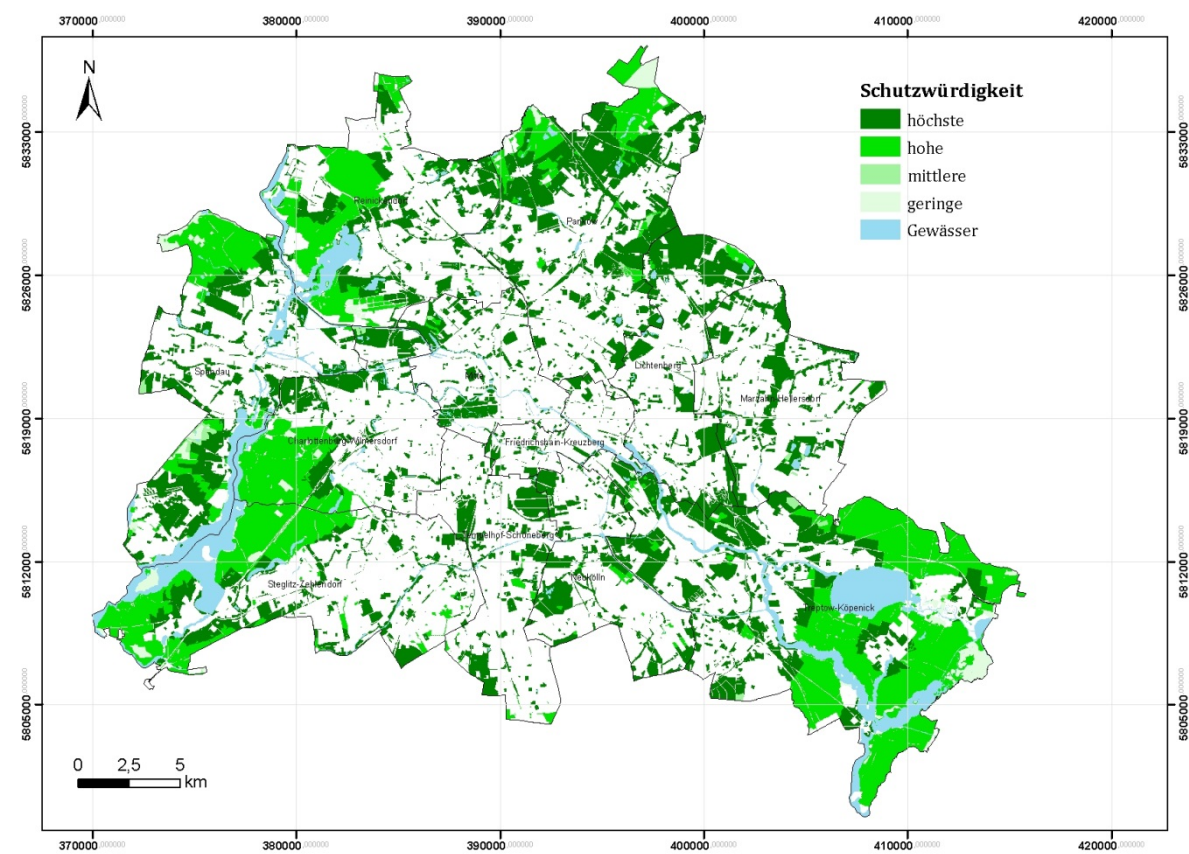


Abbildung 11: Räumliche Verteilung der Bewertungsklassen zur klimaökologischen Schutzwürdigkeit der Grün-/Freiflächen in Berlin



## Karte 04.11.2 Ergänzende Planungshinweise

### Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen

Für alle Block(teil)flächen des Siedlungsraumes bzw. alle Straßenabschnitte mit einer weniger günstigen und vor allem mit einer ungünstigen thermischen Situation wird die Umsetzung von Maßnahmen empfohlen. Darüber hinaus existiert auch für einige Frei- und Grünflächen ein Potential zur Verbesserung ihrer klimatischen Ökosystemdienstleistungen (z.B. im Zusammenhang mit der Mikroklimavielfalt). Bei Flächen mit einem besonderen stadtklimatischen Missstand handelt es sich um denjenigen Ausschnitt der Flächenkulisse, für den aufgrund eines besonders hohen Belastungsniveaus ein prioritärer Handlungsbedarf besteht, der z.B. im Rahmen der Stadtsanierung oder des Stadtumbaus gedeckt werden könnte.

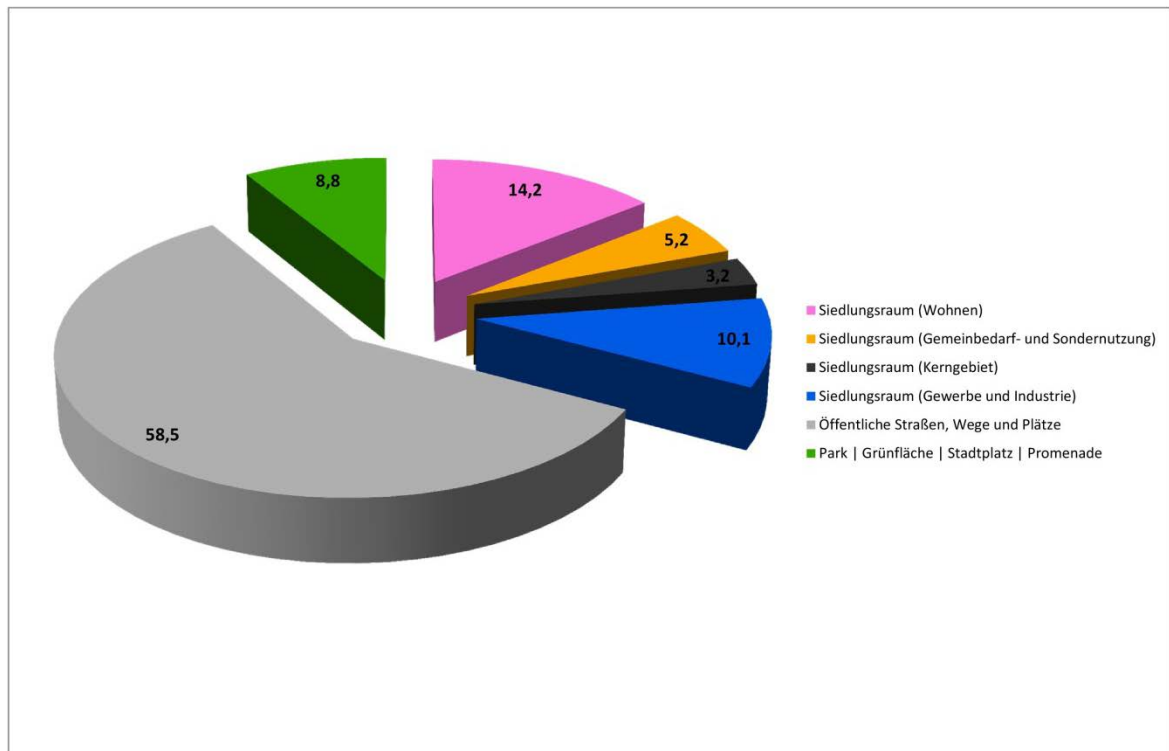
Um möglichst konkrete Hinweise für die drei Raumeinheiten (Siedlungsraum, Grün-/Freiflächen, Straßenraum) der Hauptkarte geben zu können, werden im Folgenden sechs Flächenkategorien unterschieden (vgl. Tabelle 1). Vier davon beziehen sich auf den Siedlungsraum. Hier wird zwischen den Funktionen Wohnen, Gewerbe/Industrie, Gemeinbedarf/Sondernutzungen und Kerngebiet unterschieden. Für Öffentliche Straßen, Wege und Plätze sowie Grün- und Freiflächen wurde je eine Kategorie prioritärer Handlungsräume ausgewiesen. Die Ausweisung beruht im Sinne eines fachplanerischen Hinweises auf rein klimatischen Aspekten. Eine Verknüpfung mit weiteren Vulnerabilitätsfaktoren erfolgt in einem weiteren Schritt (vgl. Kapitel „Flächen mit einer besonderen Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima“).

<b>Siedlungsraum</b>	Wohnen	WOZ* 10 oder 21 sowie ungünstige thermische Situation am Tage und in der Nacht
	Gewerbe/Industrie	WOZ 40 sowie Perzentil P90 der Klasse ungünstige thermische Situation am Tage
	Gemeinbedarf/Sondernutzungen	WOZ 50 sowie Perzentil P90 der Klasse ungünstige thermische Situation am Tage
	Kerngebiet	WOZ 30 sowie ungünstige thermische Situation am Tage und in der Nacht
<b>Öffentliche Straßen, Wege und Plätze</b>	Straßenabschnitte	Ungünstige thermische Situation am Tage sowie sehr hohe verkehrsbedingte Luftbelastung
<b>Grün- und Freiflächen</b>	Park   Grünfläche   Stadtplatz   Promenade	Typ 53 oder 54 sowie Perzentil P95 des Block(teil)flächen-Raummittelwertes PET 14:00 Uhr

\* WOZ= Abkürzung für die Kategorien der baulichen Nutzungen, steht für „Wohnzahl“; eingehende Beschreibung siehe SenStadt 2010

**Tabelle 1: Kategorien und Methoden für die Ausweisung von Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen**

Flächenkategorien übergreifend sind 751 prioritäre Handlungsräume identifiziert worden. Den größten Anteil daran weist mit fast 60 % die Kategorie „Straßenabschnitte“ auf. In etwa einem weiteren Drittel sind die dem Siedlungsraum zugeordneten Kategorien subsummiert. Der Siedlungstyp „Wohnen“ stellt hierbei mit 107 Block(teil)flächen die größte Gruppe dar. Die restlichen ca. 10 % entfallen auf die Kategorie Park | Grünfläche | Stadtplatz | Promenade (Abbildung 12).



*Abbildung 12: Prozentuale Verteilung der Flächenkategorien mit besonderen stadtklimatischen Missständen in Berlin*

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass in allen Bezirken Flächen mit einem prioritären Handlungsbedarf identifiziert worden sind. Der räumliche Schwerpunkt liegt in den Bezirken Mitte (alle Flächenkategorien relevant) und Charlottenburg-Wilmersdorf (hier ist vor allem der Straßenraum von Bedeutung). In diesen beiden Bezirken sind fast 40 % aller vorrangig zu sanierenden Gebiete verortet. Einen nachgeordneten Brennpunkt bilden die Bezirke Tempelhof-Schöneberg, Marzahn-Hellersdorf und Friedrichshain-Kreuzberg. In den Bezirken Reinickendorf und Steglitz-Zehlendorf hingegen treten nur einige wenige Hot-Spots auf (Abbildung 13 und Abbildung 14).

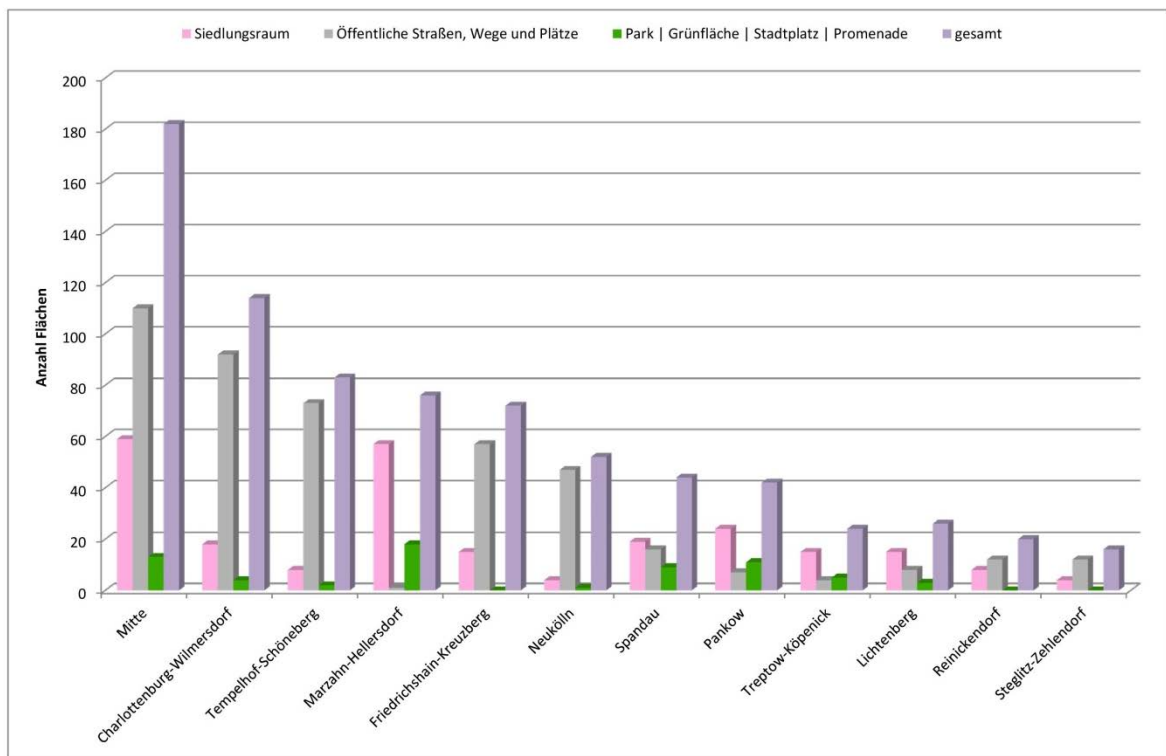


Abbildung 13: Bilanzierung der Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen für die 12 Berliner Bezirke

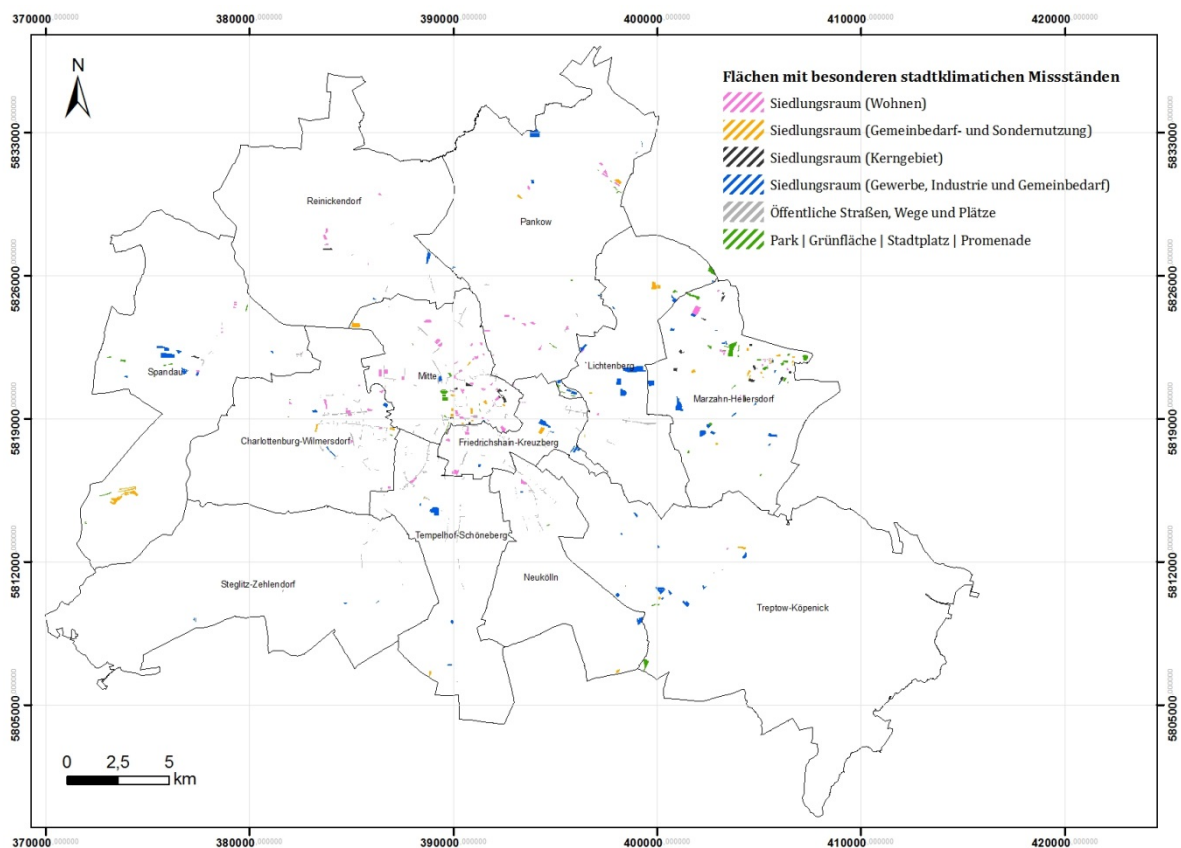


Abbildung 14: Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen in Berlin

## Flächen mit einer besonderen Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima

Die Ausweisung von Flächen mit einem besonderen stadtklimatischen Missstand basiert auf einer rein fachplanerischen, klimatischen Perspektive. Ihre Verknüpfung mit weiteren nicht-klimatischen Kriterien kann in Sinne einer räumlich differenzierten Vulnerabilitätsbetrachtung zusätzliche Entscheidungshilfen im Zusammenhang mit der Umsetzung von Maßnahmen insbesondere für die Raumeinheit „Siedlungsraum“ offenlegen.

Inwiefern einzelne Block(teil)flächen des Siedlungsraumes vulnerabel gegenüber der stadtklimatischen Situation sind, ist neben dem primären Kriterium des Aufenthalts-/Nutzungszeitpunktes noch von weiteren sekundären Faktoren abhängig. Hierzu gehört allen voran die demographische Zusammensetzung des betrachteten Quartiers. Darüber hinaus sind auch das Vorhandensein bestimmter sensibler Gebäude-/Flächennutzungen sowie der Versorgungsgrad von Wohngebieten mit adäquaten Grünflächen Faktoren, die einen Einfluss auf das Vulnerabilitätsniveau ausüben.

### Besondere Vulnerabilitäten aufgrund der demographischen Zusammensetzung

Als besonders sensibel gegenüber thermischem (Hitze-)Stress gelten gemeinhin vor allem der ältere Teil der Bevölkerung (über 65 Jahre [Ü65]) aufgrund der mit dem Alter steigenden Anfälligkeit für Herz-Kreislaufkrankungen sowie Kleinkinder unter 6 Jahren (U6) und vor allem Säuglinge aufgrund ihrer fehlenden bzw. nicht vollausgeprägten Fähigkeit zur Thermoregulation (Jendritzky 2007). Ein Zusammenhang zwischen einer erhöhten Mortalität und dem Auftreten von Hitzeperioden ist für den Raum Berlin-Brandenburg empirisch nachweisbar und lässt sich auch modelltechnisch abbilden (Scherber 2014, Scherer et al. 2013, Fenner et al. 2015).

Vertiefende Informationen zu den Zusammenhängen zwischen „**Gesundheit und Stadtklima**“ bietet der darauf bezogene Exkurs (Scherber 2016).

In Berlin leben etwa 850.000 Menschen, denen aufgrund ihres Alters eine besondere thermische Sensitivität unterstellt werden kann (Statistik BBB 2014). Das Verhältnis zwischen dem sensiblen älteren und dem sensiblen jüngeren Anteil der Bevölkerung liegt in etwa bei 3,4: 1. Dass die Risikogruppe der älteren Menschen deutlich größer ist als diejenige der Kleinkinder und Säuglinge ist für alle Bezirke gleichermaßen gültig. Am stärksten ausgeprägt ist dieses Phänomen im Bezirk Steglitz-Zehlendorf (5,3: 1), wo auch mit knapp 90.000 die insgesamt meisten thermisch sensiblen BerlinerInnen wohnen. In Friedrichshain-Kreuzberg – dem Bezirk mit der geringsten Anzahl an thermisch sensiblen Einwohnern (ca. 45.000) - kommen auf eine Person im Alter U6 lediglich 1,6 Ü65-Jährige.

In welchem Ausmaß sich aus dieser Sensitivität auch eine tatsächliche Vulnerabilität ableiten lässt, hängt im Wesentlichen von der geographischen Verteilung der Risikogruppen im räumlich differenzierten Belastungsfeld ab. **Im Ergebnis besteht in ca. einem Drittel aller Block(teil)flächen eine hohe oder sehr hohe demographische Vulnerabilität.** Ungefähr drei Viertel aller hitzesensiblen BerlinerInnen wohnen in diesen Gebieten (rund 650.000 Einwohner). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass lediglich auf einem vergleichsweise kleinen Gebiet Maßnahmen umgesetzt werden müssten, um einen hohen Anteil der vulnerablen Bevölkerungsgruppen thermisch zu entlasten.

Eine räumliche differenzierte Analyse auf Ebene der Berliner Bezirke zeigt, dass zwar eine grundsätzliche Übereinstimmung in der Verteilung der klimasensiblen Bevölkerungsgruppen mit den Raummustern der tatsächlichen demographischen Vulnerabilität besteht, dass aber doch einige wesentliche Unterschiede bestehen (Abbildung 15 und Abbildung 16).

So stellt der Bezirk Steglitz-Zehlendorf zwar die größte Gruppe an thermisch sensiblen Personen bei der demographischen Vulnerabilität nimmt der Bezirk aber nur Rang 7 ein. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass das Belastungsniveau hier insgesamt deutlich unter dem Durchschnitt liegt. Zum anderen wohnen die Risikogruppen gegenwärtig tendenziell in thermisch begünstigten Gebieten. Der umgekehrte Fall gilt für Pankow. Hier besteht absolut betrachtet die größte demographische Vulnerabilität, obwohl der Bezirk lediglich die viertgrößte sensible Population beheimatet.

Am unteren Ende der Skala entsprechen sich die beiden Ergebnisse demgegenüber: Spandau, Marzahn-Hellersdorf und Friedrichshain-Kreuzberg weisen sowohl die geringste Anzahl sensibler Personen als auch der demographischen Vulnerabilität auf. Insbesondere für Friedrichshain-Kreuzberg gilt aber, dass der weitaus überwiegende Teil der sensiblen Bevölkerung auch in thermisch belasteten Gebieten wohnt (ca. 80 %). Einen höheren Anteil weist nur noch der Bezirk Lichtenberg auf (82 %). Auch Mitte und Neukölln liegen noch in der derselben Größenordnung.

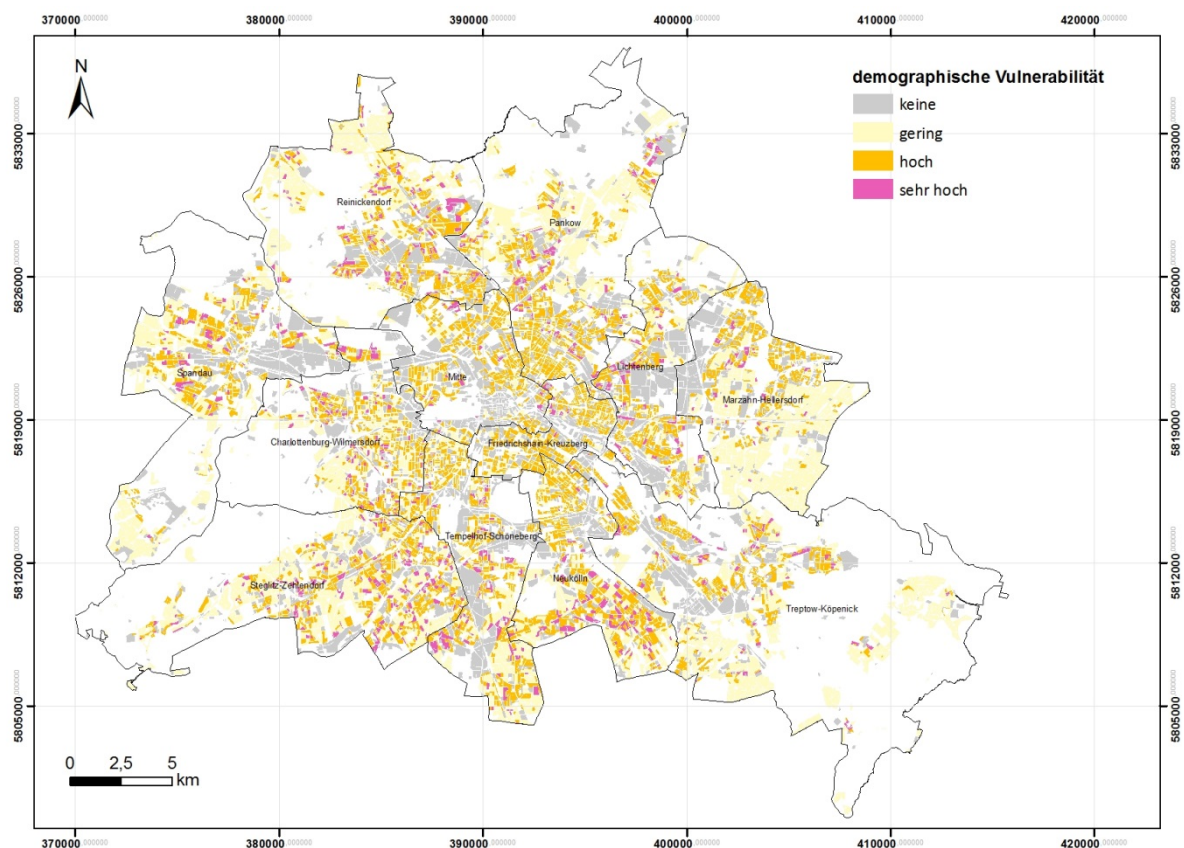


Abbildung 15: Demographische Vulnerabilität gegenüber der thermischen Belastung – Räumliche Analyse auf Ebene der Block(teil)flächen in Berlin

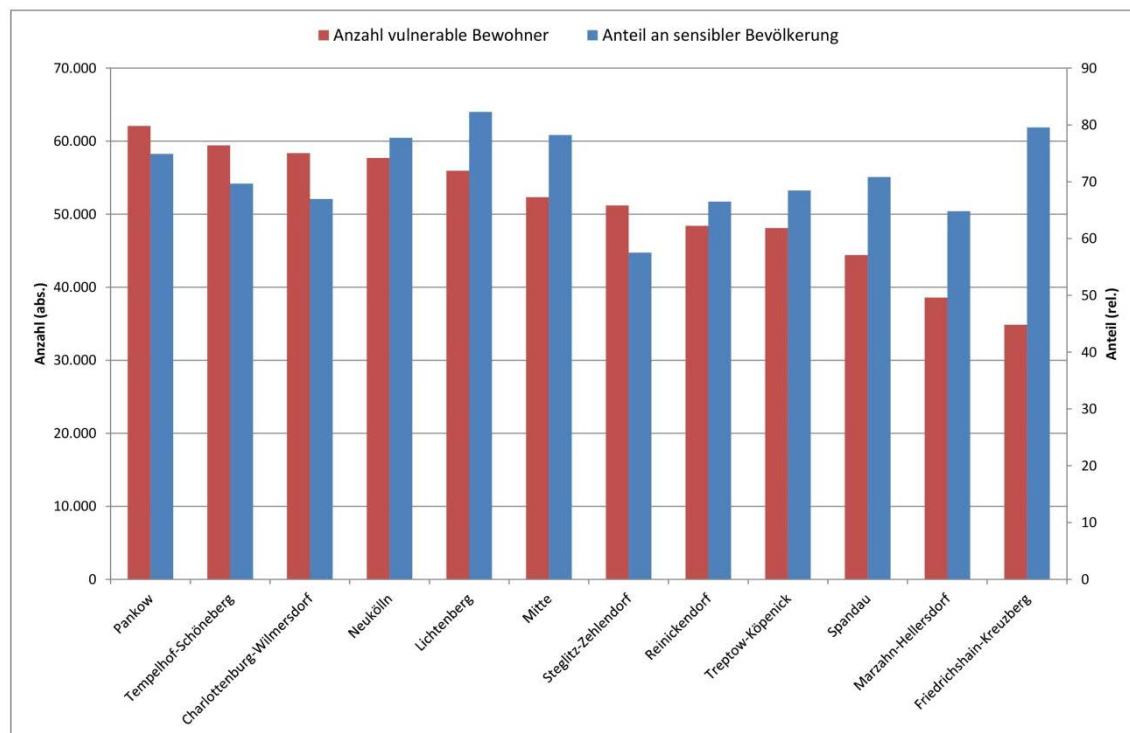


Abbildung 16: Demographische Vulnerabilität gegenüber der thermischen Belastung – Bilanzierung auf Ebene der Berliner Bezirke



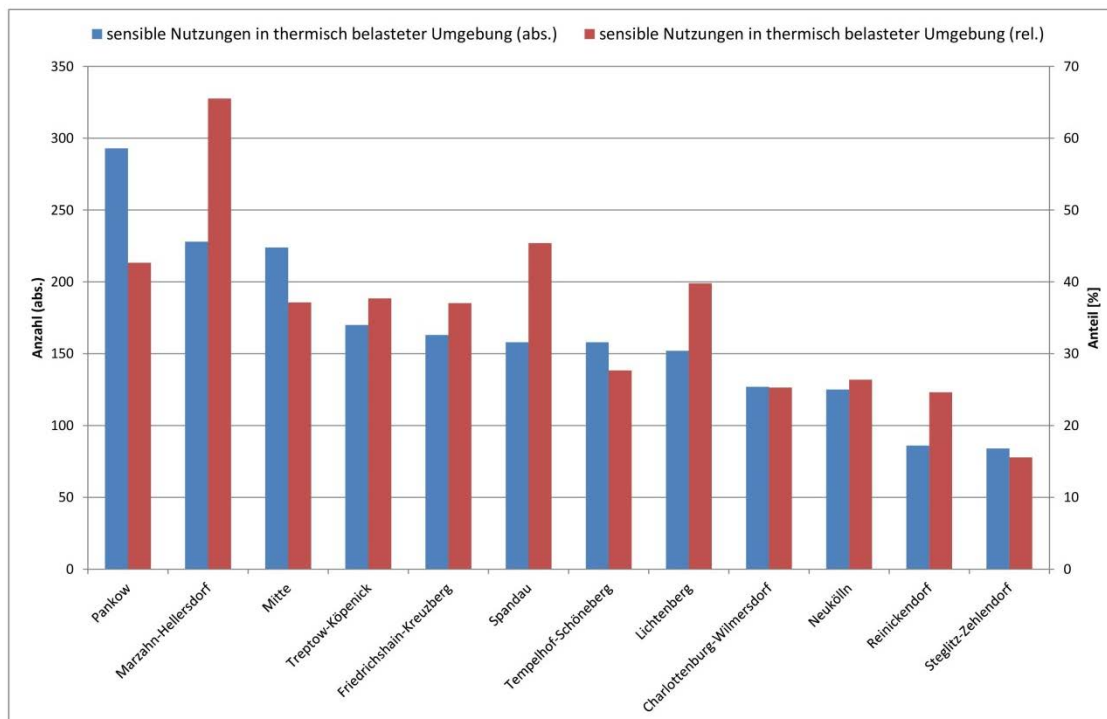
## Besondere Vulnerabilitäten aufgrund stadtklimasensibler Gebäude-/Flächennutzungen

Als aus stadtklimatischer Perspektive sensible Flächen-/Gebäudenutzungen können vor allem solche bezeichnet werden, die bevorzugt von den Risikogruppen genutzt werden. Für die vorliegende Analyse wurden insgesamt acht verschiedene Nutzungstypen unterschieden: **Krankenhäuser, Pflegeheime, Bibliotheken, Kindertagesstätten, Schulen, Horte, Spielplätze und Sportanlagen**. In den Teilflächen drei übergeordneten Raumeinheiten der PHK 2015 existieren entsprechend dem Erfassungsstand gegenwärtig insgesamt rd. 7.300 entsprechende Einzelnutzungen. Den Hauptanteil machen mit etwa 64 % Spielplätze und Kindertagesstätten aus.

Insgesamt beheimaten rund 25 % des Siedlungsraumes, ca. 12 % aller Grün-und Freiflächen und 5 % aller Teilflächen der Raumeinheit Öffentliche Straßen, Wege und Plätze wenigstens einen klimasensiblen Nutzungstyp. In über 90 % der Fälle treten pro Teilfläche nicht mehr als zwei verschiedene Nutzungstypen gleichzeitig auf, im Einzelfall kommen aber auch bis zu sechs Typen als Cluster vor.

Die räumliche Verteilung der sensiblen Flächen-/Gebäudenutzungen innerhalb Berlins ist relativ homogen und zeigt mit Bezug zu den Bezirken eine hohe Korrelation mit der Bevölkerungssumme. Grundsätzlich gilt: Je mehr Einwohner ein Bezirk hat, desto mehr klimasensible Nutzungen treten auch auf. Der Bezirk Pankow steht demnach mit fast 700 betroffenen Block(teil)flächen am oberen Ende der Skala, während der Bezirk Spandau am unteren Ende auf etwas mehr als 350 Block(teil)flächen mit mindestens einer klimasensiblen Nutzung kommt. Die Auswertung zeigt, dass auch für dieses Thema eine Relevanz in allen Berliner Bezirken besteht.

Inwiefern sich aus dieser räumlichen Verteilung eine tatsächliche Vulnerabilität der einzelnen Gebiete ergibt, hängt im Wesentlichen von der geographischen Lage im differenzierten Belastungsfeld ab. Die absolut betrachtet größte Zahl an Flächen mit vulnerablen Nutzungen liegt im Bezirk Pankow, der auch die größte Anzahl sensibler (also potentiell vulnerabler) Flächen-/Gebäudenutzungen aufweist. Abgesehen von diesem Umstand lässt das Ergebnis keinerlei Zusammenhang mehr zwischen der Auftrittshäufigkeit vulnerabler und sensibler Nutzungen bzw. der Bevölkerungstärke erkennen. Dieses liegt in den räumlich divergierenden prozentualen Anteilen von sensiblen Nutzungen in einer thermisch belasteten Umgebung begründet. Bezogen auf ganz Berlin beträgt der entsprechende Wert etwa 33 %. Innerhalb der zwölf Berliner Bezirke schwankt dieser Anteil aber beträchtlich zwischen ca. 15 % in Steglitz-Zehlendorf und fast 66 % in Marzahn-Hellersdorf (Abbildung 17).



**Abbildung 17: Absolute Anzahl und relativer Anteil aggregierter sensibler Nutzungen in thermisch belasteter Umgebung in den 12 Berliner Bezirken**

Demgegenüber entspricht die Rangfolge der absoluten Anzahl der vulnerablen Nutzungstypen exakt derjenigen der Rangordnung für die sensiblen Typen. Spielplätze und Kindertagesstätten treten auch

hier sehr viel häufiger auf, als die übrigen Nutzungstypen. Sie machen weiterhin deutlich mehr als 50 % der insgesamt 2618 Teilflächen mit vulnerablen Flächen-/Gebäudenutzungen aus. Analog zur bezirklichen Auswertung bestehen aber auch hier größere Unterschiede in dem Umfang in dem aus klimasensiblen auch tatsächlich vulnerable Nutzungen werden. Besonders relevant ist die hohe Quote bei den Pflegeheimen und Krankenhäusern, die zu deutlich mehr als 50 % in einer thermisch belasteten Umgebung verortet sind und für die sich daher eine hervorgehobene Handlungspriorität ableiten lässt.

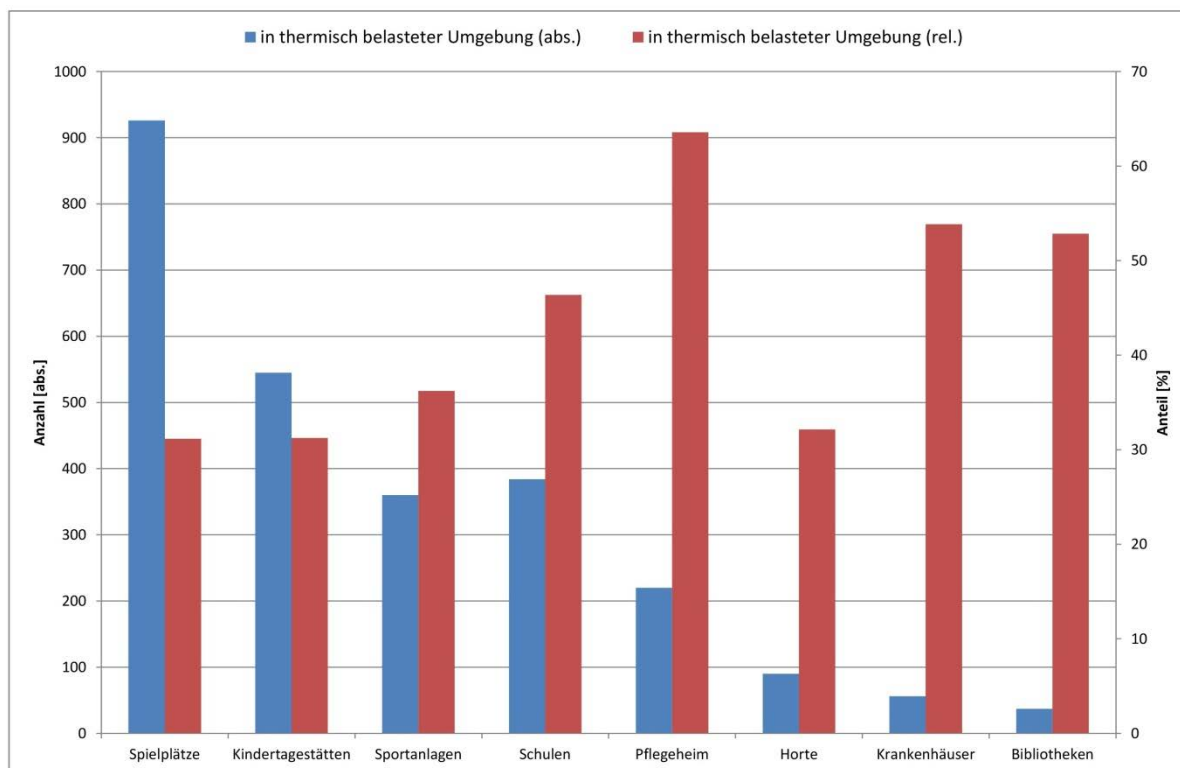


Abbildung 18: Absolute Anzahl und relativer Anteil der sensiblen Nutzungstypen in thermisch belasteter Umgebung in Berlin

### Besondere Vulnerabilitäten aufgrund einer Grünflächenunterversorgung

Über die Bereitstellung von Kaltluft hinaus stellen die Berliner Frei- und Grünflächen noch eine zweite zentrale klimaökologische Dienstleistung zur Verfügung: Sie sind Kühlinselfen am Tage, die aktiv von (thermisch) gestressten Stadtbewohnern aufgesucht werden können und ihnen Erholung verschaffen. Anders als bei der Kaltluftproduktion - die für die Lieferung von relevanten Volumina auf größere zusammenhängende Flächen (> 1-2 ha) angewiesen ist - ist ein **regelmäßiges Mosaik aus kleineren Grünflächen für die Kurzzeiterholung besonders geeignet**. Nur so kann im Sinne einer sozial-ökologischen Gerechtigkeit sichergestellt werden, dass die Stadtbewohner aller Stadtteile ihren Erholungsbedarf erfüllen können (Scherer 2007).

Kleinräumig betrachtet sind Frei- und Grünflächen mit einem hohen Schattenanteil vor allem in solchen Gebieten von großer Bedeutung, in denen ein relevantes thermisches Belastungsniveau am Tage gemeinsam mit einer Unterversorgung an privaten Grünflächen auftritt. Eine Verknüpfung dieser beiden Parameter zeigt, auf welchen Block(teil)flächen eine besondere stadtklimatische Vulnerabilität aufgrund einer Unterversorgung mit Grünflächen besteht. Diese Flächen bedürfen einer besonderen Aufmerksamkeit bei der Bereitstellung von thermischen Komfortinseln (sog. „Pocket parks“) im privaten und öffentlichen Raum.

Insgesamt weisen 807 Block(teil)flächen des Siedlungsraumes eine Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima aufgrund einer Grünflächenunterversorgung auf (entspricht in etwa 5 % aller Block(teil)flächen oder 4 % bezogen auf deren Fläche). Die betroffenen Quartiere haben rd. 375.000 Einwohner, wovon ca. 80.000 einer Risikogruppe angehören. Damit ist ungefähr jeder 10te Berliner bzw. jedes 10te Mitglied der altersstrukturbezogenen Risikogruppe von dem untersuchten Missstand betroffen.

Die Flächen sind über das gesamte Berliner Stadtgebiet verteilt, räumliche Schwerpunkte sind aber erkennbar. Zu den Hot-Spots zählen die Bezirke Mitte und Pankow, die sowohl die meisten betroffenen

Block(teil)flächen als auch die meisten betroffenen Bewohner aufweisen. Gemeinsam kommen sie auf einen Anteil von je ca. 30 % (130.000 Einwohner; 250 Blöcke). Beide Bezirke gehören nicht zu den tagsüber am stärksten belasteten Teilräumen Berlins, was darauf hindeutet, dass die Grünflächenversorgung hier mit Bezug zur thermischen Erholung ungünstig verteilt ist und/oder insgesamt zu wenige Erholungsflächen existieren. Der umgekehrte Fall gilt für den Bezirk Spandau. Er weist vergleichsweise viele tagsüber thermisch belastete Flächen aber nur vergleichsweise wenige aufgrund einer Grünflächenunterversorgung vulnerable Gebiete/Einwohner auf. Die beste Situation besteht in Steglitz-Zehlendorf, wo eine thermische relevante Unterversorgung für weniger als 10.000 Einwohner festgestellt werden konnte (Abbildung 19 und Abbildung 20).

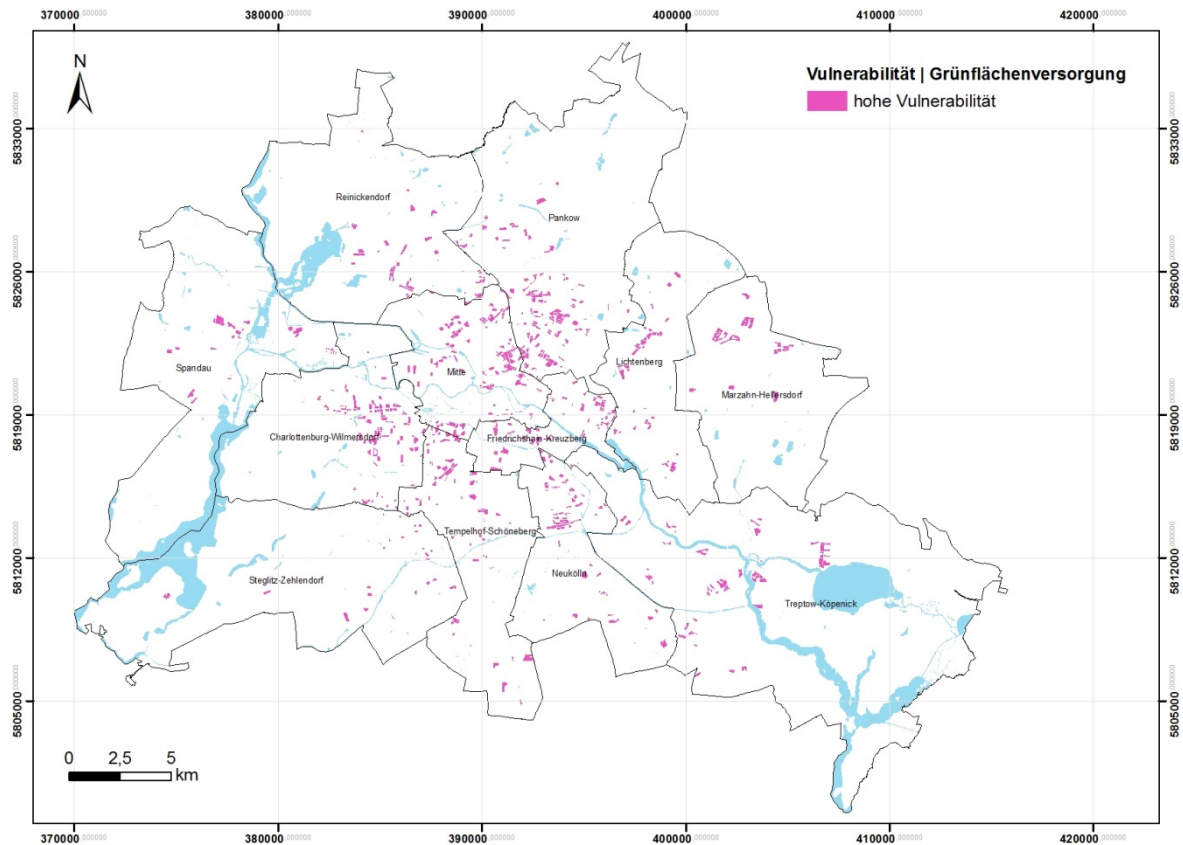


Abbildung 19: Räumliche Darstellung von Flächen mit einer besonderen Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima aufgrund einer Grünflächenunterversorgung in Berlin

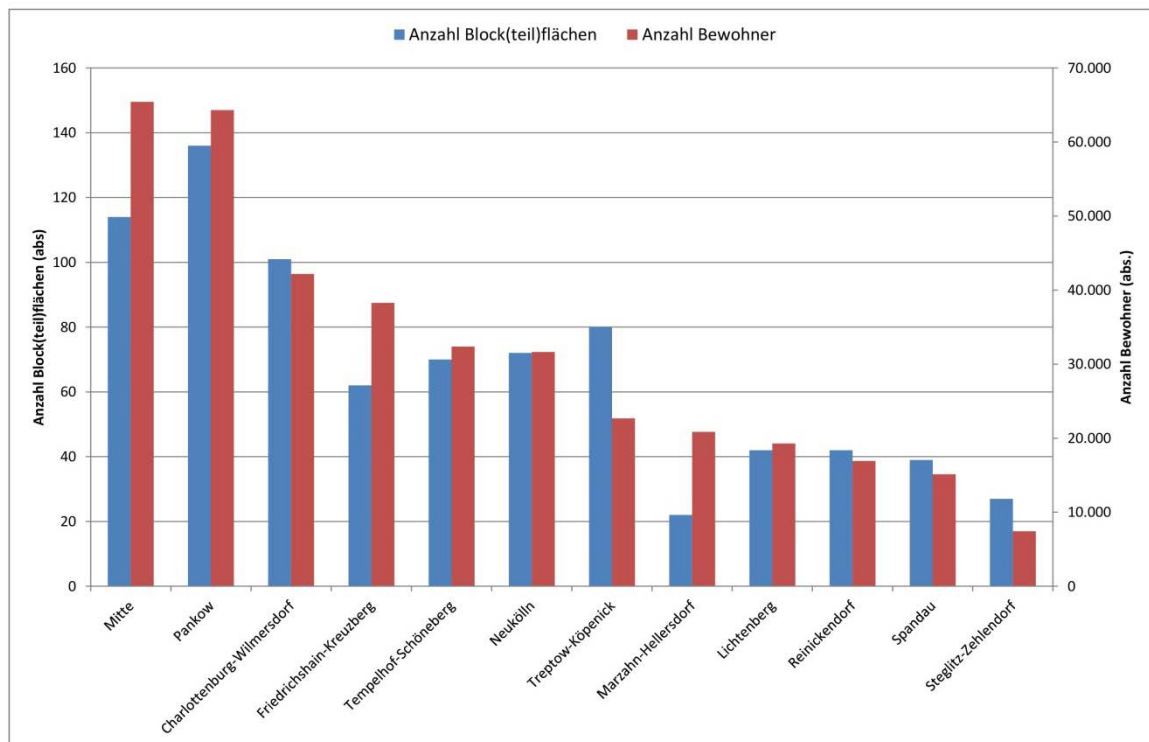


Abbildung 20: Bilanzierung der Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima aufgrund einer Grünflächenunterversorgung in den 12 Berliner Bezirken

### Karte 04.11.3 Maßnahmen

In der dritten Hauptebene der PHK 2015 sind den rund 45.000 Block(teil)flächen und Straßenabschnitten 413 individuelle Kombinationen aus 30 verschiedenen Maßnahmen und Planungshinweisen zugeordnet worden. Mit 312 verschiedenen Maßnahmenkombinationen entfällt ein Großteil davon auf den Siedlungsraum, was auch in den Flächenkulissen der Einzelmaßnahmen deutlich wird. Des Weiteren entfallen auf Grün-/Freiflächen 88 verschiedene Maßnahmenkombinationen, auf die Raumeinheit Öffentliche Straßen, Wege und Plätze 12 sowie auf Gewässer 1.

Die Zuordnung der Maßnahmen hängt vom Flächentyp, den individuellen Bewertungen in der Hauptkarte sowie in den ergänzenden Planungshinweisen sowie ggf. einiger zusätzlicher Sach- und Geoinformationen ab. Aufgrund des gesamtstädtischen Maßstabes konnten nicht alle Flächenspezifika umfassend in die Analyse einbezogen werden, so dass die in Tabelle 2 zusammengefassten Ergebnisse als Vorschläge zu verstehen sind, die bei der Betrachtung einer konkreten Fläche oder einer spezifischen Maßnahme einer erneuten Überprüfung und Konkretisierung bedürfen (=Suchräume). In diesem Zusammenhang sollte dann auch eine vertiefte Diskussion über unterstützende Instrumente und Werkzeuge zur Umsetzung der Maßnahmen erfolgen.

Detaillierte Ausführungen zu den 30 Einzelmaßnahmen können dem Begleitdokument zur PHK entnommen werden (SenStadtUm 2015). Weitere Informationen können auch dem Berliner Stadtentwicklungsplan Klima bzw. und seiner Konkretisierung (SenStadtUm 2011), der Städtebaulichen Klimafibel (MVI 2012) sowie dem Handbuch Stadtklima (MUNLV 2010) entnommen werden.

	Kurztitel	Empfohlen für die Raumeinheit			
		Siedlungs- raum	Öffentliche Straßen, Wege, Plätze	Grün- und Freiflächen	Gewässer
Maßnahme 01	Verschattung von Straßen und Gehwegen	nein	ja	ja	nein
Maßnahme 02	Begrünung und Verschattung von Parkplätzen	ja	ja	ja	nein
Maßnahme 03	Reduktion anthropogener Wärmeemissionen	ja	ja	nein	nein
Maßnahme 04	Begrünung von Gleistrassen	nein	ja	nein	nein
Maßnahme 05	Rückbau (Entdichtung)	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 06	Entsiegelung	ja	ja	nein	nein
Maßnahme 07	Schaffung von Pocket-Parks	ja	ja	ja	nein
Maßnahme 08	Verbesserung der Erreichbarkeit von öffentlichen Parks und Grünflächen	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 09	Innen-/Hinterhofbegrünung	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 10	Verschattung von Gebäuden	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 11	Erhöhung der Oberflächen-Albedo	ja	ja	nein	nein
Maßnahme 12	Wasser im öffentlichen Raum	ja	ja	ja	nein
Maßnahme 13	Energetische Gebäudesanierung	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 14	Dachbegrünung	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 15	Fassadenbegrünung	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 16	Sommerlicher Wärmeschutz an Gebäuden	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 17	Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 18	Technische Gebäudekühlung	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 19	Baukörperstellung bei Neubauten beachten	ja	nein	ja	nein
Maßnahme 20	Stadtklimatische Entkopplung von Neubau- und Nachverdichtungsgebieten	ja	nein	ja	nein
Maßnahme 21	Ausbau sozialer Infrastruktur und Netzwerke	ja	nein	nein	nein
Maßnahme 22	Erhöhung der mikroklimatischen Vielfalt	nein	nein	ja	nein
Maßnahme 23	Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen	ja	ja	ja	nein
Maßnahme 24	Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen	ja	ja	ja	nein
Maßnahme 25	Vermeidung von Austauschbarrieren	ja	ja	ja	ja
Maßnahme 26	Verbesserung der Luftqualität in Kaltluftleitbahnen	nein	ja	nein	nein
Maßnahme 27	Schutz bestehender großflächiger Parks / Grünflächen	nein	nein	ja	nein
Maßnahme 28	Anlage neuer großflächiger Parks / Grünflächen	nein	nein	ja	nein
Maßnahme 29	Schutz von Waldflächen	nein	nein	ja	nein
Maßnahme 30	Schutz von offenen Wasserflächen	nein	nein	ja	ja
gesamt		22	12	14	2

*Tabelle 2: Empfehlungen zu raumeinheiten-spezifischen Maßnahmen als dritter Hauptebene der Planungshinweiskarte Stadtklima Berlin 2015*



# Exkurs „Stadtklima und Gesundheit“

## Stadtklima und Gesundheit – eine Herausforderung für die Gestaltung städtischer Lebensräume

Die menschliche Gesundheit ist unsere Lebensgrundlage. Die städtischen Lebens- und Umweltbedingungen haben maßgeblich Einfluss auf das Wohlbefinden, die Gesundheit und die Lebenserwartung für städtische Bevölkerungen. Die Umweltwirkungen auf die menschliche Gesundheit im Kontext des städtischen Klimas können von den bioklimatischen Eigenschaften der Stadt, vor allem bestimmt durch städtische Wärmeinseln und Luftschadstoffe, abgeleitet werden.

Bereits heute, vor allem aber in der Zukunft stellen die Besonderheiten des Stadtklimas im Verbund mit den Auswirkungen des Klimawandels, der Überalterung der Gesellschaft, städtischen Lebensweisen und einer ungleichen sozialen Verteilung von Umweltbelastungen große Herausforderungen für die Gestaltung städtischer Lebensräume dar.

Da Metropolen wie Berlin ein innerstädtisches Mosaik verschiedener Stadt-, Bevölkerungs- und Sozialstrukturen sowie Umweltbedingungen aufweisen, sind gesundheitliche Auswirkungen ebenso räumlich unterschiedlich ausgeprägt. So sind nicht nur die Umweltbedingungen in einem Stadtgebiet entscheidend, sondern auch wie hoch der Anteil der Personengruppen ist, die diesen Belastungen gegenüber eine besondere Vulnerabilität aufweisen. Vor allem ältere und allein lebende Personen, chronisch Kranke oder sozial Schwache sind von Umweltbelastungen häufig in einem stärkeren Ausmaß betroffen (Böhme et al. 2013).

Zum Erhalt bzw. zur Schaffung einer für den Menschen gesunden städtischen Umwelt ist einerseits das Verständnis von den Wirkungen des Stadtklimas auf die Gesundheit entscheidend. Andererseits stellen räumlich differenzierte Betrachtungen zu Mensch-Umwelt-Beziehungen in städtischen Gebieten eine wichtige Grundlage dar. Der Stadtplanung kommt dabei eine maßgebliche Aufgabe zuteil, gerade im Hinblick auf die Folgen des Klimawandels. So hat die Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2011 den Stadtentwicklungsplan Klima (SenStadtUm 2011) veröffentlicht und im Rahmen der Klimaanpassungsstrategie des Landes Berlin das Klimaschutzteilkonzept „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (SenStadtUm 2016) entwickelt.

Planungshinweiskarten unterstützen das Ziel, ein gesundes Stadtklima zu erhalten bzw. zu schaffen. Bei der Bewertung stadtklimatischer Belastungssituationen und Entlastungsfunktionen sowie der Ausweisung von Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen und der Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima werden neben Flächennutzungen und Grünflächenversorgungen auch demographische Strukturen berücksichtigt. Die Identifizierung von erhöhten gesundheitlichen Risiken durch Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf Basis von Gesundheitsdaten in räumlicher Auflösung können als wichtige Ergänzung für die Planung und Umsetzung von Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen zum Schutz der Gesundheit verstanden werden.

## Wie ist der Zusammenhang zwischen dem Stadtklima und der menschlichen Gesundheit?

Stadtstrukturen modifizieren die bioklimatisch relevanten Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftbewegungen sowie den Strahlungs- und Energieaustausch. Dabei kann sich das Stadtklima auf direktem und indirektem Wege auf den Menschen auswirken. Denn städtische Wärmeinseln und Luftschadstoffe in der Stadtatmosphäre haben nicht nur direkten Einfluss auf den Menschen, sondern auch auf Wasser, Boden, Flora sowie Fauna in der Stadt. Und über diese Teilsphären (Hydrosphäre, Pedosphäre, Biosphäre) lassen sich ebenso indirekte Wirkungspfade zum Menschen feststellen. Im Folgenden soll der Schwerpunkt der Betrachtung auf den direkten Auswirkungen der städtischen Wärmebelastung auf die menschliche Gesundheit liegen.

### Städtische Wärmeinseln

Die städtische Wärmeinsel wirkt bioklimatisch sowohl vorteilig als auch nachteilig auf die menschliche Gesundheit. Positiv zu bewerten sind eine Verkürzung der winterlichen Frostperiode und eine Reduzierung der Anzahl der Heiztage, wodurch Luftschadstoffimmissionen nachlassen (Kuttler 1998) und das Risiko bezüglich kälteassoziierter Erkrankungen und Sterbefälle vermindert ist. Verkürzte Frostperioden bzw. mildere Winter bedingen allerdings auch eine Verlängerung der Vegetationsperiode und damit der Pollensaison, was Allergien fördern und verstärken bzw. das Allergenspektrum verändern kann (Eis et al. 2010). Ebenso ist mit erhöhten Infektionsrisiken zu rechnen, da es zu günstigeren Lebens- und Ausbreitungsbedingungen für tierische Zwischenwirte und Überträger (Vektoren) von Krankheitserregern kommt (Eis et al. 2010). Nachteilig äußert sich die städtische Überwärmung vor

allem in den Sommermonaten, wo die größte Intensität nachts ausgeprägt ist. Da diese Belastungsschwerpunkte mit der nächtlichen Erholungsphase des Menschen zusammentreffen, stellen sie an kontinuierlich heißen Tagen eine zusätzliche Beanspruchung für den menschlichen Organismus dar (Koppe et al. 2004). Aber auch tagsüber können im Sommer hohe Lufttemperaturen, geringe Windintensitäten und räumlich unterschiedliche Strahlungsverhältnisse zu Hitzestress führen. Dabei ist der Grad der Wärmebelastung hauptsächlich durch die Sonneneinstrahlung bestimmt.

Hitzewellen, also mehrere wärmebelastete Tage in Folge, stellen in Städten ein spezielles Problem dar, da sich Gebäude und versiegelte Flächen über Tage aufheizen, diese Wärme speichern und verzögert wieder abgeben. Wenn in diesen Fällen eine adäquate Belüftung über Nacht ausbleibt, empfinden Einwohner in diesen Stadtgebieten einen anhaltenden thermischen Stress über die Tages- und Nachtstunden, während Bewohner in begünstigten Stadtarealen durch den kühlenden Einfluss benachbarter Freiflächen eine Wärmeentlastung über Nacht erfahren. Berlin zeichnet sich mit seiner herausragenden Mischung von bebauten und begrünten Flächen durch ein Mosaik verschiedener mikroskaliger Klimate und damit große Unterschiede in den thermischen Bedingungen auf kleinem Raum aus. Deren klimatische Auswirkungen zu bewerten, ist eine vorrangige Aufgabe der dreigeteilten Planungshinweiskarte Stadtklima.

## Wärmebelastung

Unter Wärmebelastung wird eine gesundheitsrelevante Bewertung der thermischen Umwelt verstanden. Die Wärmebelastung wird entweder anhand einfacher Verfahren bestimmt, z.B. Schwellenwerte der Lufttemperatur (klimatologische Kenntage), oder anhand komplexer Verfahren, z.B. mittels dem Predicted Mean Vote (PMV), der gefühlten Temperatur, der Physiological Equivalent Temperature (PET) oder dem Universal Thermal Climate Index (UTCI), einer Fortschreibung des vom Deutschen Wetterdienst angewendeten Klima-Michel-Modells und der gefühlten Temperatur (Koppe 2005, Jendritzky et al. 2009). Die thermische Belastung unterscheidet sich in Wärmebelastung und Kältereiz. Ab einer starken Wärmebelastung wird auch von Hitzebelastung oder Hitzestress gesprochen, wobei die Begriffe häufig synonym verwendet werden bzw. keine einheitlichen Definitionen vorliegen.

Werden die Mortalität (Sterblichkeit oder Sterberate bezogen auf die Gesamtheit der Bevölkerung) und z.B. die Lufttemperaturen über das Kalenderjahr betrachtet, kann im Allgemeinen ein U-förmiger Kurvenverlauf festgestellt werden (vgl. Abbildung 21).

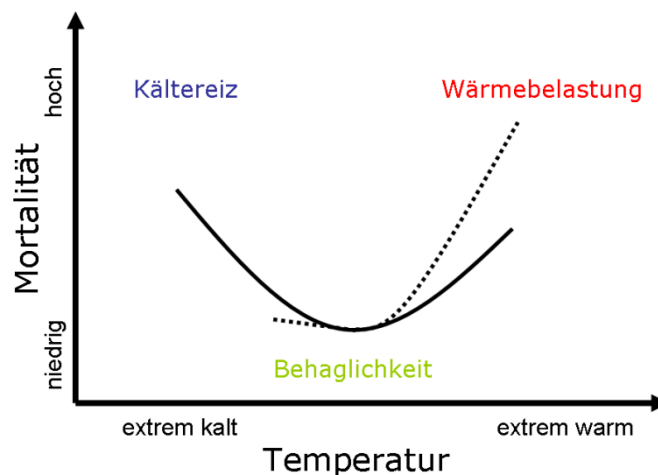


Abbildung 21: Schematische Darstellung der Lufttemperatur-Mortalitäts-Beziehung nach Eis et al. (2010), Koppe et al. (2004), Laschewski (2008), Schneider et al. (2009) und Breitner et al. (2013).

Durchgezogene Linie: Temperatur-Mortalitäts-Beziehung über das Kalenderjahr.

Gestrichelte Linie: Temperatur-Mortalitäts-Beziehung während Phasen starker Wärmebelastung oder während Sommermonaten (Scherber 2014)

Der Kurvenverlauf kann in Abhängigkeit des regionalen Klimas, der betrachteten Saison im Jahr und der Todesursache variieren (Koppe et al. 2004, Michelozzi et al. 2009, Schneider et al. 2009). In den mittleren Breiten weist die Gesamtmortalität (alle Todesursachen) ein Maximum im Winter und ein Minimum im Sommer auf. In besonders heißen Sommern, wie es in Berlin in den Jahren 1994, 2006 und 2010 der Fall war, kann die Gesamtmortalität jedoch das Wintermaximum auch überschreiten (vgl. Abbildung 22).

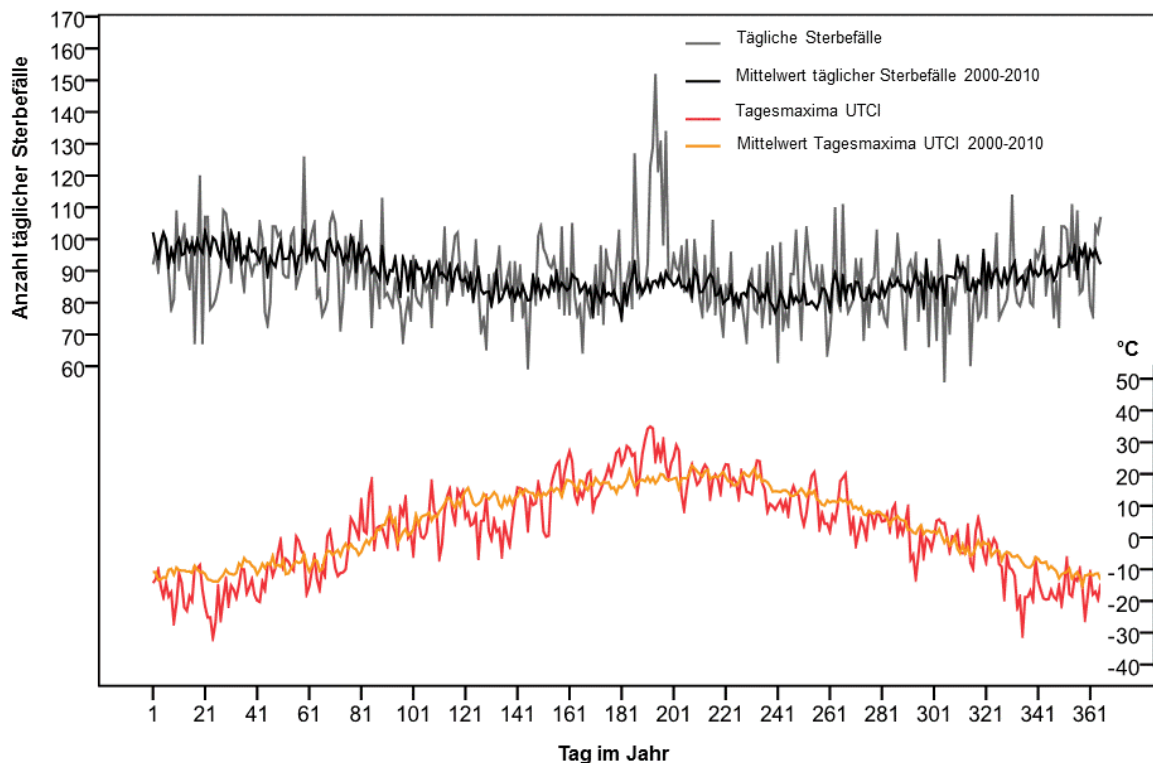


Abbildung 22: Tägliche Sterbefälle (alle Ursachen) und Tagesmaxima des Universal Thermal Climate Index (UTCI) in Berlin 2010 im Vergleich zu Mittelwerten auf Basis 2000 – 2010 (Scherber 2014)

## Hitzebedingte Erkrankungen

Der menschliche Organismus toleriert Abweichungen der Körperkerntemperatur nur in sehr geringem Maße. Die Körperschale (Arme, Beine und Haut) kann hingegen variierende Temperaturen viel stärker tolerieren. Steigt die Körperkerntemperatur an bzw. kommt es zur Überschreitung der oberen Grenze des sogenannten thermischen Komforts oder zur Störung des menschlichen Wärmehaushaltes, wird der Organismus zunehmend durch Hitzestress belastet. Selbst bei gesunden Personen kann es bereits bei körperlicher Ruhe zu erheblichen Zunahmen der Pumpleistung des Herzens und damit zum Abbau physiologischer Funktionsreserven und eingeschränkter geistiger kognitiver Arbeit kommen (BMU 2011). Der Körper reagiert mit Unwohlsein, verminderter physischer Leistungsbereitschaft und Konzentrationsschwäche. Symptome von Hitzestress sind ein Beeinträchtigungs- und Belastungsgefühl. Bei bereits Erkrankten kann es zur Notwendigkeit vermehrter Medikamenteneinnahme kommen. Eine anhaltende Exposition gegenüber hohen Temperaturen kann zu hitzebedingten Notfallsituationen (z.B. Hitzekrämpfe, Hitzschlag), Erkrankungen bis hin zu Todesfällen führen. Bei hitzebedingten Erkrankungen sind hauptsächlich das Herz-, Gefäß- und Atmungssystem betroffen, welches aufgrund zusätzlicher Einwirkungen von Luftschadstoffen und Pollen beansprucht ist (BMU 2011, Michelozzi et al. 2009, Schneider et al. 2011). Hohe Temperaturen und eine geringe Luftfeuchte können zudem die Schleimhäute austrocknen, was im Sommer als auch im Innenraum im Winter relevant ist. Auf trockenen Schleimhäuten können sich leicht Erreger festsetzen, welche Atmungssystemerkrankungen hervorrufen oder bestehende Symptome verschlechtern.

## Gefährdete Personen und Risikofaktoren gegenüber Wärmebelastung

Der Wasserverlust über die Haut bei der Schweißverdunstung steigt bei erhöhter Umgebungstemperatur erheblich an und wird bei körperlicher Arbeit oder bestehender Erkrankung, die ihrerseits Wasser verbraucht (z.B. Diabetes mellitus, Durchfall), weiter verstärkt. Für ältere und kranke Menschen, Säuglinge und Kleinkinder ist ein hoher Wasserverlust besonders problematisch, da ihr

Thermoregulationssystem eingeschränkt arbeitet, die Durstwahrnehmung vermindert und die hormonelle Regulation des Wasser- und Elektrolythaushaltes verändert sind. Wenn der Wasser- und Elektrolythaushalt nicht entsprechend ausgeglichen wird, kommt es in Folge des Wasserverlustes zum Volumenmangel im Kreislaufsystem mit Beeinträchtigung der Kreislauffunktion und Nierentätigkeit, der bis zum Zusammenbruch des Organismus führen kann. Junge Erwachsene können kurzfristig durch alleiniges Trinken selbst schweren Wasserverlust ausgleichen. Ältere Menschen benötigen häufig mehrere Tage dafür (Wichert, von 2004).

Zu den hitzegefährdeten Menschen gehören des Weiteren Personen mit bereits bestehenden schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch z.B. Herz-Kreislauf- und Atmungssystemerkrankungen, Bettlägerigkeit, neurologische oder psychiatrische Erkrankungen. Sie können sich unter Umständen nicht selbstständig versorgen und nehmen zumeist Medikamente ein, die sich auf den Elektrolyt- und Wärmehaushalt auswirken, wie z.B. Diuretika (wasserausschwemmend), Neuroleptika (antipsychotisch), Betablocker (blutdrucksenkend) und Barbiturate (schlaffördernd). Neben dem Alter und Vorerkrankungen sind als weitere Risikofaktoren für hitzebedingte Erkrankungen Alkohol- und Drogenmissbrauch, anstrengende körperliche Tätigkeiten während extremer Wetterbedingungen, Akklimatisationsmangel, geringe Fitness, Übergewicht, körperliche Ermüdung, physische und soziale Isolation, niedriger sozioökonomischer Status, Wohnen in Ballungsräumen sowie fehlende oder unzureichende Klimatisierung zu nennen (Eis et al. 2010, Koppe et al. 2004).

### Akklimatisation

Die Akklimatisation ist ein wesentlicher Aspekt bei den Auswirkungen von Wärmebelastung. Unter Akklimatisation ist die physiologische Anpassung des menschlichen Organismus an veränderte klimatische Bedingungen zu verstehen. Durch Effizienzsteigerung im Thermoregulationssystem und hormonelle Veränderungen wird die auf den Körper wirkende thermische Belastung reduziert. Eine Kurzzeit-Hitzeakklimatisation stellt sich für gewöhnlich nach 3 - 12 Tagen ein, wobei eine Langzeit-Hitzeakklimatisation mehrere Jahre dauern kann. Die Kurzzeit-Hitzeakklimatisation führt u.a. zu einer vermehrten Schweißproduktion schon bei geringerer Körpertemperatur und einer verringerten Salzkonzentration im Schweiß und Urin. Diese Form der Akklimatisation stellt sich jedoch nur ein, wenn die Hitzeexposition täglich über mehrere Stunden erfolgt, und sie bildet sich innerhalb mehrerer Wochen nach der Hitzeexposition wieder zurück (Koppe et al. 2004). Geschwindigkeit und Stärke der Akklimatisation hängen von unterschiedlichen individuellen Faktoren wie dem Alter, dem Geschlecht, der genetischen Prädisposition, dem Gesundheitszustand, der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Fitness ab. Ebenso sind äußere Faktoren, wie z.B. die Nutzung von Klimaanlage, sowie nationale, geographische und jahreszeitliche Unterschiede für die Akklimatisation und individuelle Hitzetoleranz entscheidend (Koppe 2005).

Aufgrund der Relevanz der physiologischen Anpassung bei der Bewertung der thermischen Umwelt wurde die Methode HeRATE (Health Related Assessment of the Thermal Environment) eingeführt (Koppe 2005). Diese Methode wird für die Berechnung der Schwellenwerte des thermischen Indexes „gefühlte Temperatur“ für Hitzewarnungen des Deutschen Wetterdienstes mit berücksichtigt. Deshalb liegen die Schwellenwerte der gefühlten Temperatur für Hitzewarnungen bei frühlingshaften Hitzewellen und in höheren Breiten etwas niedriger, im Hochsommer und in niederen Breiten etwas höher.

## Wie können Auswirkungen des städtischen Klimas auf die Gesundheit untersucht werden?

Zusammenhänge zwischen dem städtischen Klima und der menschlichen Gesundheit können einerseits anhand der Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf die **Mortalität** (Sterblichkeit), **Morbidität** (Krankheitshäufigkeit) oder z.B. auf individuelle körperliche und psychische Parameter untersucht werden. Diese Gesundheitsindikatoren stammen häufig von Daten der Sterbefallstatistiken, Krankenhausdiagnosestatistiken (z.B. Patientenaufnahmen in Krankenhäusern), von gesetzlichen Krankenkassen (z.B. Abrechnungsdaten) oder Rettungsdienstseinsätzen. Zur Erfassung der Wärme- und Luftbelastung werden Daten über stationäre Messnetze, mobile Messungen oder auf Basis räumlicher Interpolationen bezogen.

Bei den Untersuchungen von Zusammenhängen zwischen Umweltexpositionen und gesundheitlichen Auswirkungen wird in Kurzzeit- und Langzeiteffekte unterschieden. Kurzfristige Wirkungen treten in unmittelbarer zeitlicher Nähe zur Exposition auf (d.h. innerhalb weniger Tage). Langfristig können aber auch chronische Erkrankungen resultieren (Breitner et al. 2013).

Andererseits kann das **Risiko** für gesundheitliche Folgen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auch von Stadt-, Bevölkerungs- und Sozialstrukturen abgeleitet werden. Unter Berücksichtigung von weiteren Gesundheits- und meteorologischen Indikatoren stellen im Ergebnis dieses Ansatzes

Vulnerabilitäts-, Umweltrisiko- oder Hitzestresskarten das potentielle Risiko für Hitzestress oder weitere Umweltbelastungen räumlich dar (vgl. Kapitel „besondere Vulnerabilität aufgrund der demographischen Zusammensetzung“, Dugord et al. 2014, Kim et al. 2014, SenStadtUm 2015d).

Der Zusammenhang zwischen Wärme- oder Hitzebelastung, Luftschadstoffen und gesundheitlichen Auswirkungen wird am häufigsten anhand von **epidemiologischen Studien** untersucht. Die Epidemiologie ist eine wissenschaftliche Disziplin, die sich mit den Ursachen und Folgen sowie der Verbreitung von gesundheitsbezogenen Zuständen und Ereignissen in Populationen beschäftigt (Mücke et al. 2013). In Zeitreihenstudien werden Daten von Umweltexpositionen und sogenannten Gesundheitsendpunkten (z.B. Erkrankung, Todesfall) auf der Ebene aggregierter Populationen (anstelle von Einzelpersonen) zugrunde gelegt und Änderungen der Stärke von Umwelteinflüssen und bestimmte gesundheitliche Effekte über Regressionsanalysen in verschiedenen zeitlichen Auflösungen (meist Tag oder Monat) untersucht. Dabei können auch mögliche Störeinflüsse, wie z.B. saisonale Einflüsse, zeitliche Trends, Meteorologie und sozioökonomischer Status der untersuchten Population berücksichtigt werden. Da sich gesundheitliche Wirkungen nicht immer unmittelbar nach Veränderungen der Umwelteinflüsse zeigen, wird die beobachtete zeitliche Verzögerung der gesundheitlichen Wirkungen auch als Zeit-Lag oder Lag bezeichnet (Breitner et al. 2013). Zeitreihenstudien ermöglichen den Einbezug großer Fallzahlen und Zeiträume, sowie auch hohe Auflösungen auf räumlicher Ebene, was gerade für innerstädtische Differenzierungen von Umweltwirkungen auf die Stadtbevölkerung relevant ist.

Zusammenhänge zwischen Umweltexpositionen und gesundheitlichen Wirkungen lassen sich aber auch auf personen- oder personengruppenbezogener Basis mittels z.B. Fall-Kontroll-Studien, Kohortenstudien oder über Befragungen exponierter Personen zum Gesundheitszustand, der Leistungsfähigkeit oder dem Wohlbefinden erfassen. Diese Studiendesigns halten meist weniger Fallzahlen vor, ermöglichen aber eine bessere Kontrolle von Störfaktoren und lassen Zusammenhänge auf individueller Ebene abbilden.

Einen Überblick zu Untersuchungen der Auswirkungen von Wärme- und Luftbelastungen auf die Gesundheit in Berlin mit Angabe der verwendeten Daten, zeitlichen und räumlichen Auflösungen zeigt Tabelle 3.

Tab. 3: Übersichtstabelle zu Untersuchungen der Auswirkungen von Wärme- und Luftbelastungen auf die Gesundheit in Berlin (Stand 2015, Auswahl)					
Autoren und Titel	Daten				Kurzbeschreibung
	Untersuchungs-zeitraum	Variablen	Zeitliche Auflösung	Räumliche Auflösung	
<b>Burkart et al. 2013:</b> Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon.	1998-2010	Sterbefälle; alle Ursachen	Tag	Land Berlin	Untersuchung von Wärme-, Kälte- und Luftschadstoffeffekten; Berechnung von Mortalitätsrisiken
		Universal Thermal Climate Index (UTCI), berechnet auf Basis meteorologischer Parameter		DWD Station Tempelhof	
		PM <sub>10</sub> , Ozon		BLUME Stationen Neukölln, Wedding, Buch	
<b>Fenner et al. 2015:</b> Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins.	2001-2010	Sterbefälle; alle Ursachen; Altersgruppen (gesamt, 0-64, 65+)	Tag	Land Berlin	Untersuchung von Wärmeeffekten in Abhängigkeit innerstädtisch unterschiedlicher klimatischer Bedingungen; Quantifizierung von Überschussmortalitäten auf Basis des hitzeereignisbasierten Risikomodells von Scherer et al. 2013
		Lufttemperatur		DWD Stationen Tegel, Tempelhof; Stadtklima-Messnetz Stationen (TU Berlin) Dahlemer Feld, Dessauer Straße	



<b>Gabriel und Endlicher 2011:</b> Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg.	1990-2006	Sterbefälle; alle Ursachen; Altersgruppen (< 50, > 50); Geschlecht	Tag	Land Berlin; Bezirke	Epidemiologische Studie; Untersuchung von Wärmeeffekten Berechnung von hitzebezogenen Überschussmortalitäten
		Meteorologische Parameter; Gefühlte Temperatur		DWD Stationen Tempelhof, Dahlem	
		Landnutzung (Versiegelungsgrad)	Jahr	Land Berlin	
<b>Jehn et al. 2013:</b> Telemonitoring reduces exacerbation of COPD in the context of climate change--a randomized controlled trial.	1.Juni-31.August 2012	Lungenfunktion, Klinischer Status (CAT), 6-min Gehtest	Tag	Land Berlin	Klinische Studie mit 62 COPD-Patienten; Untersuchung von Wärmeeffekten; telemedizinbasierte Studie
		Wärmebelastungstage auf Basis der Lufttemperatur		DWD Station Tempelhof	
<b>Jehn et al. 2014:</b> Heat Stress is Associated with Reduced Health Status in Pulmonary Arterial Hypertension: A Prospective Study Cohort.	1.April-30.September 2011	Schritte, Symptome Score	Tag	Land Berlin	Prospektive Kohortenstudie mit 15 PAH-Patienten; Untersuchung von Wärmeeffekten mittels Aktivitäts- und Symptommonitorings
		Wärmebelastungstage auf Basis der Lufttemperatur, Luftfeuchte		DWD Station Tempelhof	
<b>Scherber 2014:</b> Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg.	1994-2010	Patientenaufnahmen und Sterbefälle in Krankenhäusern; alle Ursachen, AS, HKS; Altersgruppen (gesamt, 0-14, 15-44, 45-64, 65-74, 75+)	Tag	Land Berlin	Untersuchung von Wärme- und Luftschadstoffeffekten; Räumliche Analysen; Projektionen für hitzebedingte Morbidität und Mortalität
		Universal Thermal Climate Index (UTCI), berechnet auf Basis meteorologischer Parameter		DWD Stationen Tempelhof, Tegel, Schönefeld	
		Ozon, PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub>		BLUME Stationen Buch, Wedding, Neukölln	
<b>Scherber et al. 2014:</b> Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account.	2000-2009	Patientenaufnahmen in Krankenhäusern; AS; Altersgruppe 65+	Monat	Postleitzahlgebiete	Räumliche Analyse des Risikos für AS-Krankenhausaufnahmen unter Berücksichtigung sozioökonomischer Faktoren und der Wärmebelastung
		Sozialindex	Jahr		
		Jahresmittel Wärmebelastungstage			
<b>Scherer et al. 2013:</b> Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin.	2001-2010	Sterbefälle; alle Ursachen; Altersgruppen (gesamt, 0 – 64, 65+)	Tag, Monat	Land Berlin	Untersuchung von Wärmeeffekten; Quantifizierung von Überschussmortalitäten auf Basis eines hitzeereignisbasierten Risikomodells
		Lufttemperatur		DWD Station Tempelhof	
<b>Schuster et al. 2014:</b> Heat mortality in Berlin – Spatial variability at the neighbourhood scale.	2006-2010	Sterbefälle; alle Ursachen	Monat	Planungsräume	Innerstädtisch räumliche Analyse hitzebedingter Überschussmortalitätsrisiken
		Lufttemperatur; DWD Hitzewarnungen		DWD Stationen Tempelhof, Tegel, Schönefeld	

<b>Turowski und Haase 1987:</b> Meteoropathologische Untersuchung über die Klima- und Wetterabhängigkeit der Sterblichkeit.	1958-1967	Sterbefälle; differenziert nach Ursachen, Altersgruppen, Geschlecht	Tag, Monat	Ost-Berlin, Innen- und Außenbezirke	Untersuchung des Wettereinflusses; Berechnung von Überschussmortalitäten
		Meteorologische Parameter			
<b>Abkürzungen</b>  AS: Atmungssystemerkrankungen  BLUME: Berliner Luftgüte-Messnetz  CAT: COPD Assessment Test  COPD: chronic obstructive pulmonary disease (Chronisch obstruktive Lungenkrankheit)  DWD: Deutscher Wetterdienst  HKS: Herz-Kreislaufsystemerkrankungen  PAH: Pulmonal-arterielle Hypertonie					

*Tabelle 3: Übersichtstabelle zu Untersuchungen der Auswirkungen von Wärme- und Luftbelastungen auf die Gesundheit in Berlin (Stand 2015, Auswahl)*

## Stadtklima und Gesundheit in Berlin – Ein Überblick zu Forschungsergebnissen

Bereits in den 1980er Jahren gingen Turowski und Haase der Frage nach, welche bioklimatischen Wirkfaktoren die tägliche Sterbehäufigkeit beeinflussen und werteten dafür Totenscheine u.a. aus Ost-Berlin für den Zeitraum 1958 - 1967 hinsichtlich des Klima- und Wettereinflusses statistisch aus. Die Untersuchung zeigte, dass eine erhöhte Sterblichkeit im Sommerhalbjahr mit erhöhten Werten von Lufttemperatur, Luftfeuchte und Globalstrahlung einhergingen. Die Sterblichkeit aufgrund von Herz-Kreislaufsystemerkrankungen war bei überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen im Sommer in Ost-Berlin signifikant erhöht (bis zu 10 % Abweichung vom Erwartungswert). Für die Sterblichkeit aufgrund von Atmungssystemerkrankungen betrug die Abweichung vom Erwartungswert bis zu 45 %. Am Beispiel von Erkältungskrankheiten bei Berliner Kindern konnte zudem ein Wärmeinseleffekt festgestellt werden. Erkältungen bei Kindern, die in der Innenstadt lebten, kamen im Sommer bei überdurchschnittlich hohen Lufttemperaturen signifikant häufiger vor, wohingegen sich diese Effekte für die Außenbezirke nicht zeigten (Turowski 1998, Turowski und Haase 1987).

Gabriel konnte für den Untersuchungszeitraum 1990-2006 anhand von Daten zur Gesamtmortalität (alle Ursachen) und meteorologischer Parameter in Tagesauflösung darstellen, dass in Berlin und Brandenburg hauptsächlich Ältere (> 50-Jährige) und besonders Frauen eine erhöhte Hitzevulnerabilität aufwiesen. Die Mortalitätsraten waren im Untersuchungszeitraum während Hitzewellen höher (bis zu 67 % im Sommer 1994 im Stadtzentrum Berlins), und ein Zusammenhang zwischen Mortalitätsraten und der Dichte urbaner Strukturen innerhalb Berlins konnte festgestellt werden. Die Mortalitätsraten stiegen mit der Dichte urbaner Strukturen (Gabriel 2009, Gabriel und Endlicher 2011).

Burkart et al. stellten für den Untersuchungszeitraum 1998-2010 in einer statistischen Auswertung von Gesamtmortalitäts-, Wetter- und Luftgütedaten in Tagesauflösung dar, dass in Berlin das Mortalitätsrisiko mit zunehmender Wärmebelastung steigt und hohe Ozon- sowie Feinstaub (PM10)-Konzentrationen mit einer erhöhten hitzebedingten Mortalität verbunden sind (Burkart et al. 2013). Da zwischen der Lufttemperatur und Luftschadstoffbelastungen oft ein enger Zusammenhang besteht, wurden in der Studie auch mögliche Interaktionen zwischen der Wärmebelastung (ermittelt über den Universal Thermal Climate Index) und den Ozon- und PM10-Konzentrationen einerseits und deren Einfluss auf die Mortalität andererseits untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Mortalität bei hoher Wärme- und Ozonbelastung stark ansteigt (vgl. Abbildung 23). Diese Interaktionseffekte zeigen sich für PM10 weniger stark ausgeprägt (vgl. Abbildung. 24).

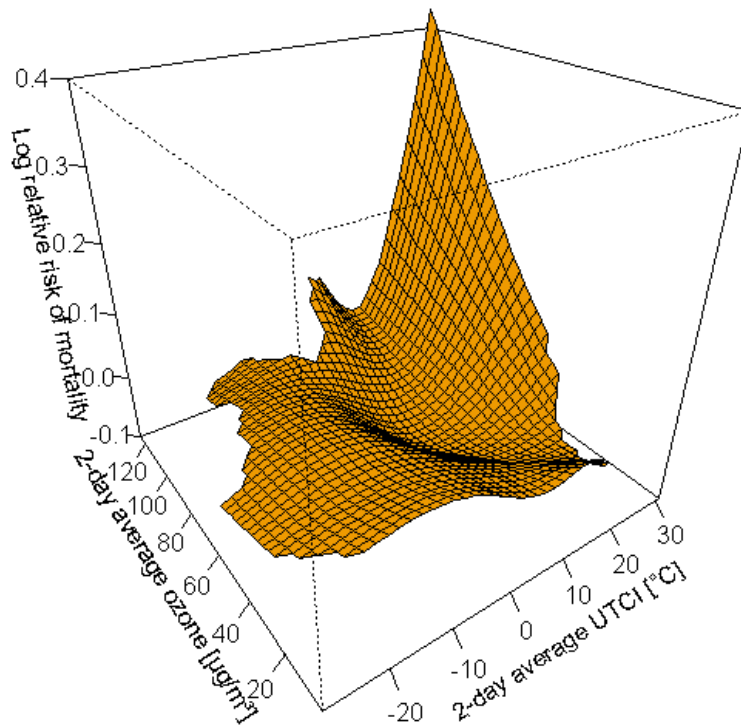


Abb. 23: Zusammenhang zwischen Wärmebelastung (Universal Thermal Climate Index (UTCI), 2-Tagesmittel) und Ozon (2-Tagesmittel) sowie der Gesamtmortalität (logarithmiertes relatives Risiko) in Berlin. Bivariates Response-Surface-Modell ist für Trend, Jahr und Wochentag angepasst. Ein logarithmiertes relatives Risiko von 0,2 entspricht 22 % mehr Sterbefällen (Burkart et al. 2013)

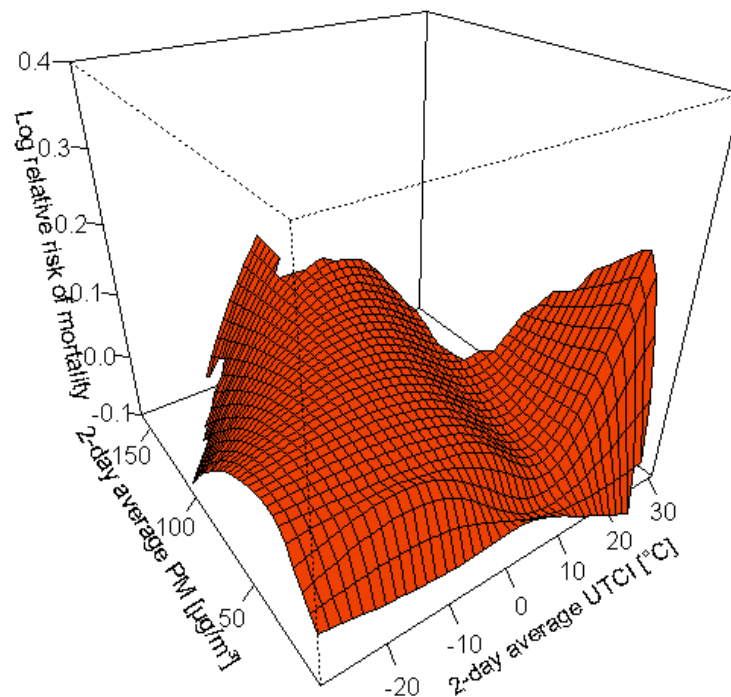


Abb. 24: Zusammenhang zwischen Wärmebelastung (Universal Thermal Climate Index (UTCI), 2-Tagesmittel) und PM10 (2-Tagesmittel) sowie der Gesamtmortalität (logarithmiertes relatives Risiko) in Berlin. Bivariates Response-Surface-Modell ist für Trend, Jahr und Wochentag angepasst. Ein logarithmiertes relatives Risiko von 0,2 entspricht 22 % mehr Sterbefällen (Burkart et al., 2013)

Auch Scherer et al. verwendeten Daten zur Gesamtmortalität (alle Ursachen), um unter Anwendung eines hitzeereignisbasierten Risikomodells die mit der Wärmebelastung einhergehende Mortalität in Berlin zu quantifizieren. Das Modell identifiziert Hitzeereignisse auf Basis von Lufttemperaturdaten in

Tagesauflösung. Ein Hitzeereignis wird dabei als Folge von mindestens drei aufeinander folgenden Tagen definiert, an denen die Lufttemperatur einen bestimmten Schwellenwert übersteigt. Die Studie weist nach, dass ca. 5 % aller Todesfälle in Berlin in den Jahren von 2001 bis 2010 statistisch mit erhöhten Lufttemperaturen korreliert sind. Die betroffenen Personen sind meist 65 Jahre oder älter, während der Zusammenhang zwischen erhöhten Lufttemperaturen und Mortalität bei jüngeren Personen statistisch nur schwach ausgeprägt ist. Die besten Ergebnisse wurden auf der Basis von Tagesmittelwerten der Lufttemperatur und bei einer Überschreitung des Schwellenwertes von 21 °C erzielt (vgl. Abbildung 25). Auf der Basis räumlich verteilter Daten würde die Risikoanalyse auch räumliche Variationen des Stadtklimas und demographischer Eigenschaften berücksichtigen können (Scherer et al. 2013).

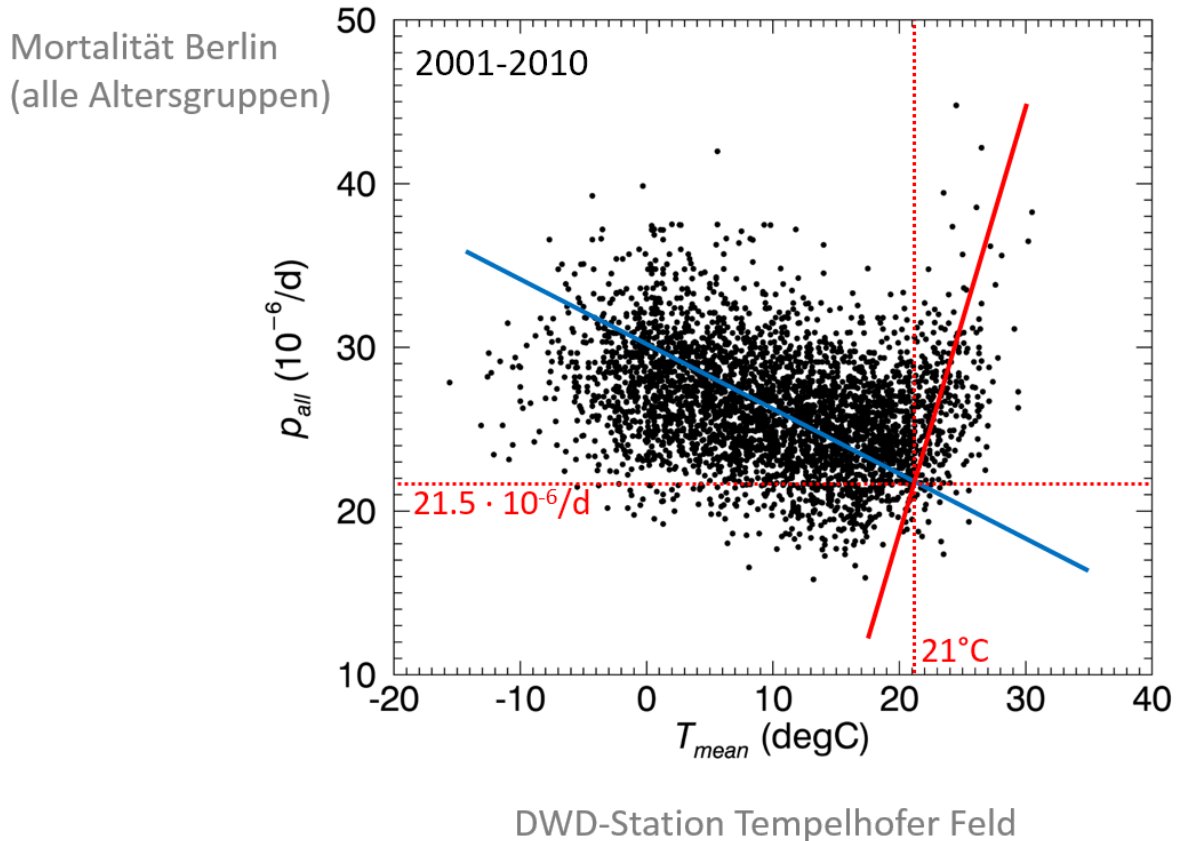


Abb. 25: Gesamtmortalität (alle Ursachen), dargestellt als Sterbefälle je 1 Mio. Einwohner pro Tag, und Tagesmitteltemperaturen im Zeitraum 2001-2010. Die blaue/rote Linie stellt die Ausgleichsgerade für die Tage mit niedrigen/hohen Lufttemperaturen dar. Der Schnittpunkt dieser Linien markiert das mittlere Minimum der Mortalitätsrate (21,5 Sterbefälle je 1 Mio. Einwohner pro Tag) bei einer Tagesmitteltemperatur von 21 °C (Scherer et al. 2015)

Die größten sogenannten Überschussmortalitäten, welche als hitzebezogene zusätzliche Sterblichkeit (zusätzlich zur Basisrate der Gesamtmortalität) verstanden wird und eine statistisch berechnete Größe darstellt, wurden für die Jahre 2006 und 2010 anhand des hitzeereignisbasierten Risikomodells von Scherer et al. (2013) ermittelt (vgl. Tab. 4). Eine erhöhte Mortalität in den besonders heißen Sommern 2006 und 2010 in Berlin weisen auch die Untersuchungen von Gabriel und Endlicher (2011), Scherber (2014) und Schuster et al. (2014) nach.

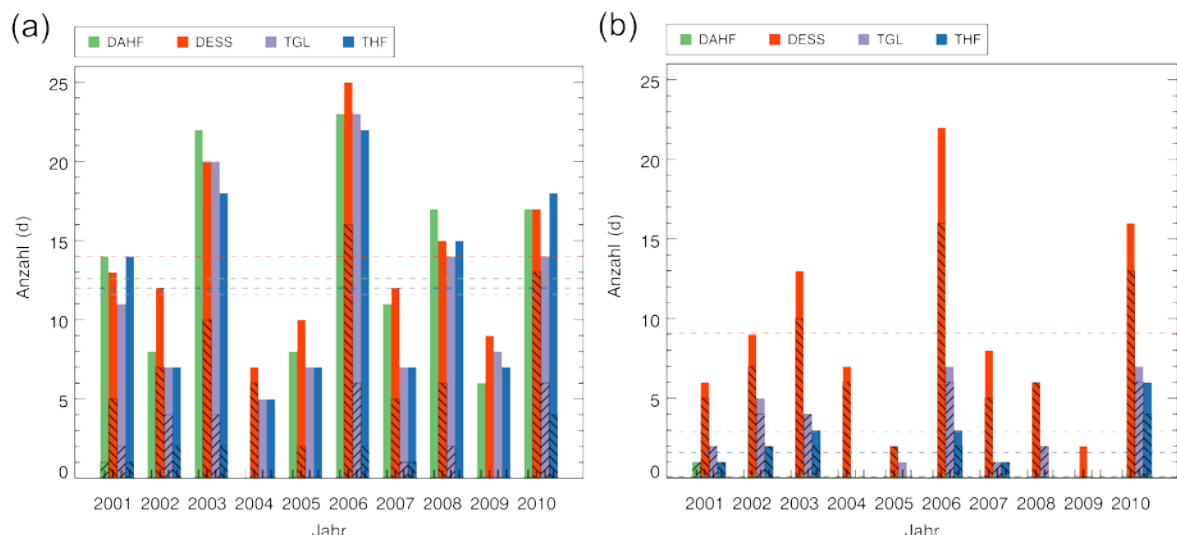
Jahr	N (1/a)	Tage (d/a)	Rate ( $10^{-6}/d$ )	Todesfälle (P/a)
2001	4	21	6,2	844
2002	4	27	6,1	962
2003	3	30	6,1	901
2004	2	13	5,6	389
2005	5	21	4,9	754
2006	6	39	7,0	1301
2007	3	18	5,5	604

2008	3	18	5,4	544
2009	5	22	2,7	412
2010	5	27	7,4	1154

*Tab. 4: Jahresübersicht zur hitzebezogenen Überschussmortalität auf Basis des hitzeereignisbasierten Risikomodells von Scherer et al. (2013). Aufgeführt sind die Anzahl der Hitzewellen (Hitzeereignisse) pro Jahr (N), die Summe der Hitzewellentage pro Jahr (Tage), die mittlere tägliche Rate der Überschussmortalität (Rate) und die Anzahl der Überschusstodesfälle pro Jahr (Scherer et al. 2015)*

Fenner et al. untersuchten für den Zeitraum 2001 - 2010 in Berlin, inwieweit sich die klimatischen Bedingungen innerhalb dichter Bebauung von Bedingungen auf Freiflächen und außerhalb des bebauten Stadtgebietes unterscheiden und welchen Effekt diese Bedingungen auf das Mortalitätsrisiko haben. Das Mortalitätsrisiko (Gesamt mortalität) wurde mit dem hitzeereignisbasierten Risikomodell von Scherer et al. (2013) ermittelt, und zur Identifizierung von Hitze wurden die klimatologischen Kenntage „Heißer Tag (Hitzetag)“ (Tagesmaximumtemperatur  $\geq 30^\circ\text{C}$ ) und „Tropennacht“ (Tagesminimumtemperatur  $\geq 20^\circ\text{C}$ ) berechnet.

Während die Anzahl heißer Tage ähnlich an den vier unterschiedlichen Messstationen ist, treten Tropennächte innerhalb der dichten Bebauungsstruktur wesentlich häufiger auf als auf Freiflächen (vgl. Abbildung 26).



*Abb. 26: Darstellung der Anzahl der (a) heißen Tage ( $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$ ) und (b) Tropennächte ( $T_{\min} \geq 20^\circ\text{C}$ ) pro Jahr für ausgewählte Messstationen in Berlin im Zeitraum 2001–2010. Die gestrichelten farbigen Linien zeigen den arithmetischen Mittelwert der Jahre 2001–2010 der jeweiligen Station. Die schwarze Schraffur zeigt die Anzahl der Tage, an denen heiße Tage in Kombination mit Tropennächten aufgetreten sind. Stationen: DAHF - Dahlemer Feld, DESS - Dessauer Straße, TGL - Berlin-Tegel, THF - Berlin-Tempelhof. An der Station DAHF gab es im August 2004 Messausfälle. Die Stationen DAHF und DESS sind Teil des Stadtklima-Messnetzes des Fachgebiets Klimatologie, Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin. Die Stationen TGL und THF werden vom Deutschen Wetterdienst betrieben (Fenner et al. 2015)*

Es wird an allen vier Stationen deutlich, dass die Mehrzahl der Tropennächte in Kombination mit heißen Tagen auftritt (Schraffur in Abb. 26). Dies sind die aus bioklimatischer Sicht äußerst problematischen Situationen, an denen die Menschen nicht nur während des Tages starker Hitze im Freien ausgesetzt sind, sondern der Körper auch in den Nachtstunden durch hohe Lufttemperatur belastet sein kann. Die hitzebezogenen zusätzlichen Sterbefälle zeigen für die Messstation Dessauer Straße (dichte Bebauung) und Tempelhof (Freifläche), dass ca. 4-5 % der Sterbefälle im Untersuchungszeitraum statistisch mit Hitzeereignissen in Verbindung gebracht werden können (Fenner et al. 2015).

Sterbefälle sind die gravierendste Folge von Umweltwirkungen. So ist anzunehmen, dass bei extremen Umweltbedingungen auch sonst Gesunde in Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden beeinträchtigt werden und Menschen mit krankheitsbedingter mangelhafter Anpassungskapazität schon bei geringeren äußeren Störungen mit einer Zustandsverschlechterung reagieren (Laschewski, 2008). Um



angemessene Präventionsmaßnahmen zu etablieren und hitzebedingte Sterbefälle zu vermeiden, sind Untersuchungen zu Auswirkungen von Wärmebelastung bereits auf der Ebene von Gesundheitsindikatoren, wie z.B. Erkrankungs- oder Behandlungsfälle oder physiologische Parameter (z.B. körperliche Aktivität, Lungenfunktion) wichtig.

In klinischen Studien an der Charité Berlin (Arbeitsbereich Pneumologische Onkologie) wurde in den Sommern 2011 und 2012 in Berlin untersucht, inwieweit sich Wärmebelastung auf Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD) oder mit pulmonal-arterieller Hypertonie (PAH) auswirkt (Jehn et al. 2013, 2014). Dazu wurden Lungenfunktion, der klinische Status und die körperliche Aktivität der Patienten ermittelt und in Abhängigkeit von der Lufttemperatur bzw. der Wärmebelastung ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass Wärmebelastung die Symptome der Patienten verschlechtert, andererseits aber Möglichkeiten bestehen, frühzeitig auf die Verschlechterungen zu reagieren, z.B. durch eine telemedizinische Versorgung der Patienten (Jehn et al. 2013).

Eine epidemiologische Studie in Berlin für den Zeitraum 1994-2010 über die Zusammenhänge zwischen Wärme- und Luftbelastungen und Patientenaufnahmen sowie Sterbefällen im Krankenhaus zeigte, dass das relative Risiko für die Mortalität (Sterbefälle) als auch Morbidität (Patientenaufnahmen) ab einer starken Wärmebelastung ( $UTC_{\text{max}} = 32^{\circ}\text{C}$ ) zunimmt und vor allem ältere Menschen und chronisch Kranke unter Hitzestress leiden (Scherber 2014). Der Risikoanstieg ist für die Mortalität stärker ausgeprägt als für die Morbidität. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass die Fallzahlen für Patientenaufnahmen um ein vielfaches größer sind als die Sterbefälle. Die Atmungssystemerkrankungen zeigten neben den Herz-Kreislaufsystemerkrankungen und der Gesamtheit aller Erkrankungen die stärksten Wärmebelastungseffekte an. Wärmebelastung wirkt sich auf das Herz-Kreislaufsystem als auch auf das Atmungssystem aus. Das Atmungssystem wird zudem durch zusätzliche Luftschadstoffeffekte und Begleiterkrankungen beansprucht (Michelozzi et al. 2009; Schneider et al. 2011). In der Untersuchung der Luftschadstoffbelastungseffekte wies Feinstaub (PM<sub>10</sub>) die stärksten Assoziationen auf, vor allem für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus mit der Diagnose Atmungssystemerkrankungen (Scherber 2014).

Im Hinblick auf eine klimawandelbedingte Zunahme der Wärmebelastung in Berlin (SenStadtUm 2015a), stellt sich die Frage, wie sich Wärmebelastungseffekte in naher Zukunft auf Patientenaufnahmen und Sterbefälle auswirken könnten.

Unter Annahme mittlerer Bevölkerungsprognosen (SenStadtUm/AfS 2012) und Lufttemperatur-Szenarien für das Tagesmaximum (STAR2-Projektionen, 2 K-Szenario, Realisierung 50) bis 2030 konnte für Berlin eine Zunahme der Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus für die Sommermonate ermittelt werden (Scherber 2014). Die Zunahme ist für  $\geq 65$ -Jährige und Herz-Kreislauf-Systemerkrankungen am stärksten ausgeprägt (vgl. Tab. 5).

Diagnose	2001-2010	2021-2030	Differenz
HKS PA	242	265	+23 (+9 %)
HKS PA 65+	197	265	+68 (+34 %)
HKS SF	14	15	+1 (+7 %)
AS PA	98	108	+10 (+10 %)
AS PA 65+	41	55	+14 (+34 %)
AS SF	6	7	+1 (+16 %)

*Tab. 5: Erwartete Fallzahlen auf Tagesebene für vollstationäre Patientenaufnahmen (PA) aller Altersklassen insgesamt und für  $\geq 65$ -Jährige sowie Sterbefälle (SF) im Krankenhaus für Herz-Kreislauf- (HKS) und Atmungssystemerkrankungen (AS) in Berlin im Mittel der Sommerzeiträume (Juni - September) 2001-2010 und 2021-2030 unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren Bevölkerungsprognose, Lufttemperaturprojektionen und Lufttemperatureffekte (Scherber 2014)*

Da Großstädte wie Berlin ein innerstädtisches Mosaik hinsichtlich der Stadt-, Bevölkerungs- und Sozialstrukturen aufweisen, können gesundheitliche Auswirkungen der Wärmebelastung ebenso räumlich unterschiedlich ausgeprägt sein.

Räumlich epidemiologische Analysen sind daher ein wichtiger Ansatz, um Stadtgebiete mit erhöhten gesundheitlichen Risiken gegenüber Wärmebelastung zu identifizieren, gerade im Hinblick auf die Entwicklung von spezifischen Interventions- und Präventionsstrategien im Gesundheitswesen und auch langfristig für die Berücksichtigung in der Stadtplanung. Daher wurden für Berlin Sterbefälle und Patientenaufnahmen in Assoziation mit Wärmebelastung auch räumlich differenziert untersucht (Gabriel und Endlicher 2011, Scherber et al. 2014, Schuster et al. 2014).

Schuster et al. betrachteten die Gesamtmortalität (alle Ursachen) für eine räumliche Analyse hitzebedingter Überschussmortalität auf Ebene der Planungsräume (SenStadt 2009) im Untersuchungszeitraum 2006-2010 für Berlin. Die hitzebedingte Überschussmortalität wurde anhand des Verhältnisses der Gesamtsterblichkeit in den heißen Julimonaten 2006 und 2010 zur Gesamtsterblichkeit in den eher kühlen Julimonaten von 2007-2009 berechnet, welche im Untersuchungszeitraum die niedrigsten Monatsmittel des täglichen Lufttemperaturmaximums aufwiesen (vgl. Abb. 27).

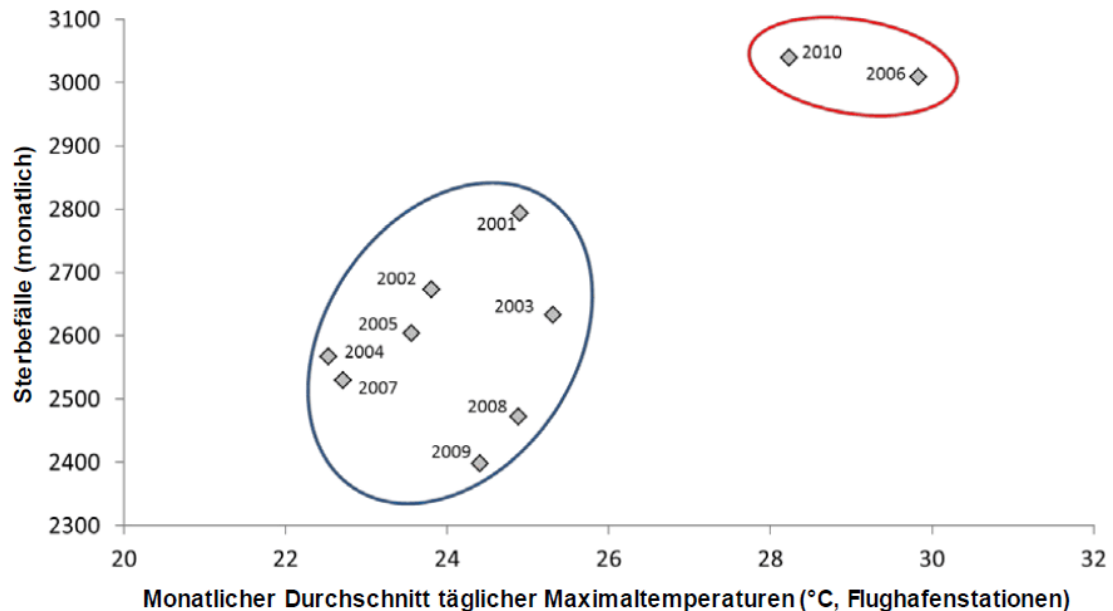


Abb. 27: Dargestellt ist das Verhältnis vom Monatsmittel des Tagesmaximums der Lufttemperatur (Wetterstationen Tegel, Tempelhof, Schönefeld) zur Monatssumme der Sterbefälle (alle Ursachen) in Berlin für den Monat Juli im Zeitraum 2001–2010 (Schuster et al. 2014)

Die Überschussmortalität wurde altersstandardisiert berechnet, um Einflüsse unterschiedlicher Altersausprägungen der Bevölkerung in einzelnen Planungsräumen (PLR) auszuschließen. Im Ergebnis zeigt sich eine innerstädtische Variabilität der hitzebedingten Überschussmortalität, ausgedrückt durch das relative Risiko (RR) (vgl. Abbildung 28).

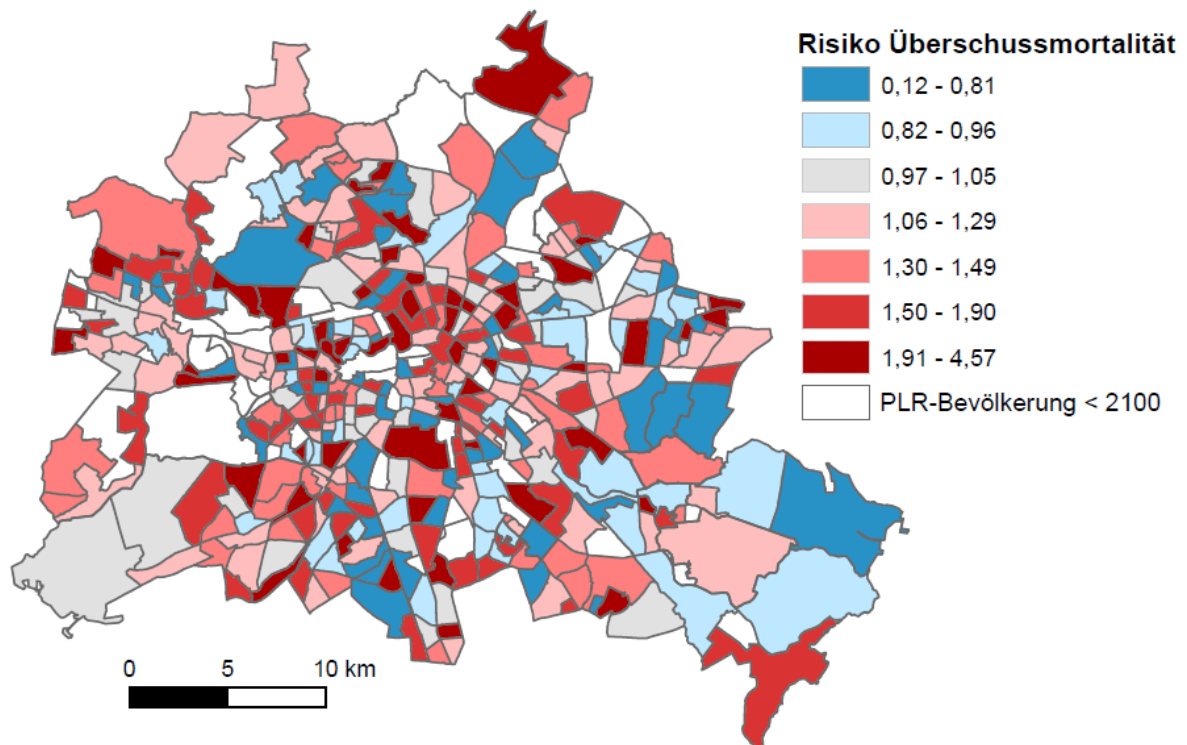


Abb. 28: Räumliches Muster der altersstandardisierten hitzebedingten Überschussmortalität, berechnet als relatives Risiko (heiße Juli 2006 und 2010 im Vergleich zu den kühleren Juli 2007-2009). Werte größer 1 zeigen ein erhöhtes Risiko an. Ein Wert von 1,5 bedeutet, dass in dem entsprechenden Planungsraum (PLR) ein 1,5mal größeres Risiko im Verhältnis zum Durchschnitt des relativen Risikos aller PLR besteht (Schuster et al. 2014)

Planungsräume mit erhöhtem und bzw. geringerem relativen Risiko waren relativ gleichverteilt über das Stadtgebiet. Ein erhöhtes relatives Risiko ( $RR > 1$ ) wurde für mehr als zwei Drittel der Planungsräume festgestellt, in welchen insgesamt 2,26 Mio. von 3,35 Mio. Einwohnern (Stand 31.12.2007) wohnen. Ein allgemeiner Mortalitätsgradient vom Zentrum zum Stadtrand, entsprechend dem städtischen Wärmeinseleffekt, war nicht zu beobachten. Planungsräume mit hohem relativem Risiko fanden sich sowohl innerhalb als auch außerhalb des Innenstadtrings. Planungsräume mit den höchsten relativen Risiken ( $RR > 4$ ) wurden im Bezirk Neukölln (PLR Rollberg) aber auch in Stadtrandlagen (PLR Döberitzer Weg, PLR Bucher Forst, PLR Schlangenbader Str.) identifiziert (Schuster et al. 2014).

Räumliche Ausprägungen von hitzebezogenen Mortalitätsrisiken unter Einbezug aller Diagnosen und Altersgruppen weisen demnach für Berlin keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen verdichteten Stadtgebieten und erhöhten gesundheitlichen Risiken auf. Anders stellt es sich für differenzierte Betrachtungen nach **hitzevulnerablen Personengruppen** dar.

Auf Basis von Postleitzahlgebieten wurden relative Risiken für Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während der Sommermonate im Zeitraum 2000 - 2009 mit räumlich aufgelösten Daten zur Wärmebelastung (SenStadtUm 2010b) korreliert (Scherber 2014). Dabei konnte ein signifikanter schwach positiver Zusammenhang zwischen der mittleren Wärmebelastung und den relativen Risiken für Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen bei  $\geq 65$ -Jährigen auf Postleitzahlebene (Patientenwohnorte) identifiziert werden (Scherber et al. 2014). Die unterschiedlichen Bevölkerungsanteile der  $\geq 65$ -Jährigen in den Postleitzahlgebieten wurden dabei berücksichtigt. Da Atmungssystemerkrankungen und ein Alter über 65 Jahre zu den Risikofaktoren gegenüber Wärmebelastung zählen, sind diese Gruppen besonders relevant. Bei der Suche nach räumlichen Häufungen (Clustern) erhöhter relativer Risiken (als Risikorate) für Patientenaufnahmen mit Atmungssystemerkrankungen bei  $\geq 65$ -Jährigen konnten fünf signifikante Cluster identifiziert werden (vgl. Abb. 29). Folgende Patientenwohnorte weisen innerhalb dieser Cluster die höchsten relativen Risiken ( $RR > 1,5$ ) auf: die Ortsteile Gesundbrunnen, Mitte, Moabit, Tiergarten und Wedding im Bezirk Mitte und der Ortsteil Neukölln im Bezirk Neukölln. Diese Stadtgebiete weisen zugleich hohe Bebauungsdichten und starke Wärmebelastungen im Sommer bei gleichzeitig gesundheitlich nachteiligen sozioökonomischen Bedingungen auf (SenGUV 2011, SenStadtUm 2015d).

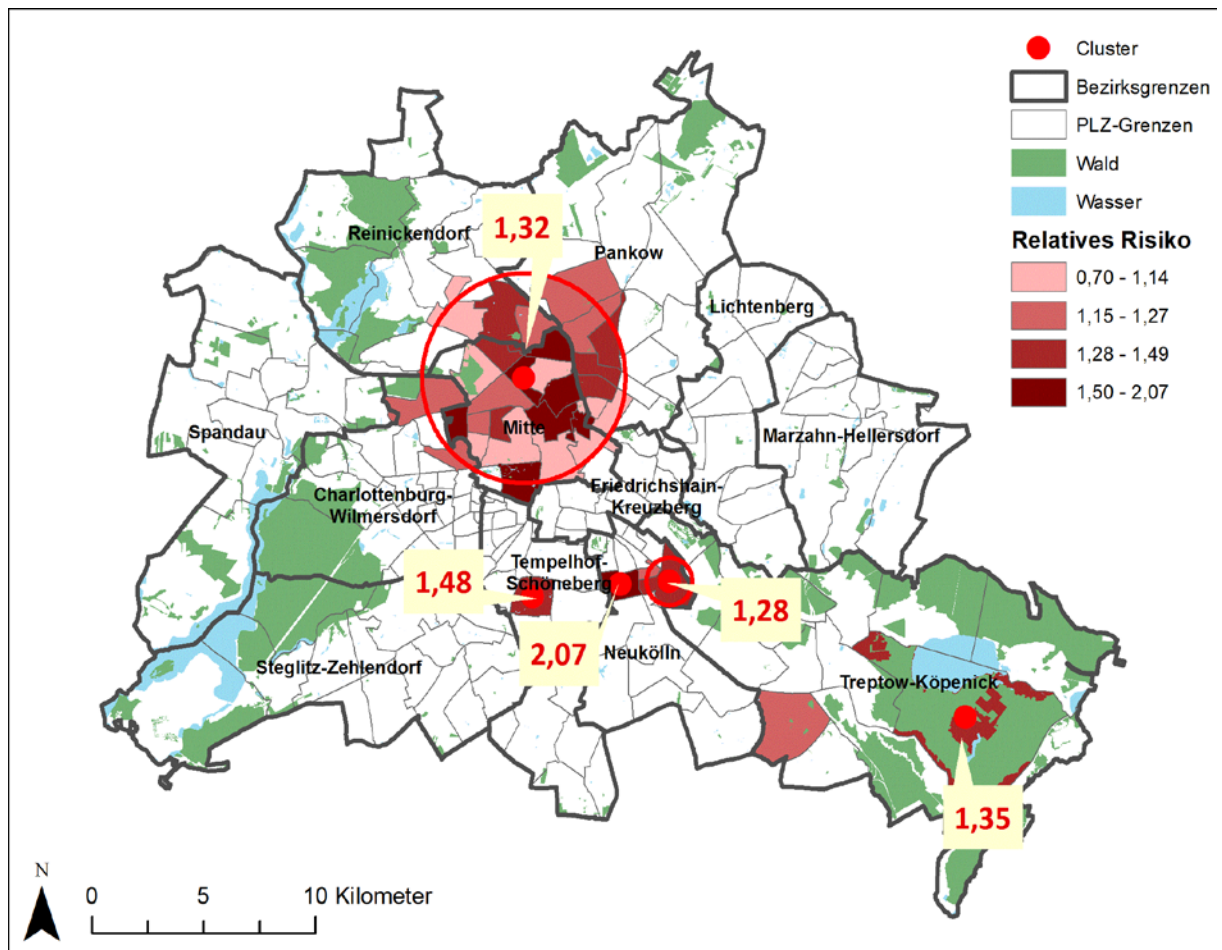


Abb. 29: Relative Risiken für Patientenaufnahmen im Krankenhaus bei  $\geq 65$ -Jährigen mit Atmungssystemerkrankungen während Sommermonaten 2000 - 2009 in Berlin für die Patientenwohnorte (Postleitzahl (PLZ) - Gebiete). Die roten Punkte weisen die signifikanten Cluster mit erhöhtem Risiko aus. Werte größer 1 zeigen ein erhöhtes Risiko an. Ein Wert von 1,5 bedeutet, dass das Risiko im entsprechenden Cluster 1,5mal größer ist als außerhalb des Clusters. Die Risiken der PLZ-Gebiete innerhalb der Cluster sind zusätzlich in Quartilen angezeigt (Scherber et al. 2014)

## Literatur

- [1] **BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) 2011:** Klimawandel, Extremwetterereignisse und Gesundheit. Konferenzbericht zur Internationalen Fachkonferenz 29. und 30.11.2010 in Bonn, Bonn.  
Internet:  
[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/klimawandel\\_extremwetter\\_konferenzbericht\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimawandel_extremwetter_konferenzbericht_bf.pdf)  
(Zugriff 24.09.2020)
- [2] **Böhme, C., Bunge, C., Bunzel, A., Preuß, T. 2013:** Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum - Zwischenergebnisse eines Forschungsvorhabens, Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID), Vol. 1, 35-41.  
Internet:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/umweltgerechtigkeit\\_im\\_staedtischen\\_raum.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/umweltgerechtigkeit_im_staedtischen_raum.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [3] **Breitner, S., Schneider, A., Peters, A. 2013:** Thermische Belastung, Feinstaub und Ozon – Gesundheitliche Auswirkungen und mögliche Wechselwirkungen. In: Jahn, H.J., Krämer, A. und Wörmann, T. (Hrsg.), Klimawandel und Gesundheit. Internationale, nationale und regionale Herausforderungen. Berlin, Heidelberg, 39-62.

- [4] **Burkart, K., Canário, P., Scherber, K., Breitner, S., Schneider, A., Alcoforado, M. J., Endlicher, W. 2013:**  
Interactive short-term effects of equivalent temperature and air pollution on human mortality in Berlin and Lisbon, *Environmental Pollution*, Vol. 183, 54-63.
- [5] **Dugord, P.-A., Lauf, S., Schuster, C., Kleinschmit B. 2014:**  
Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – The case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 86–98.
- [6] **Eis, D., Helm, D., Laußmann, D., Stark, K. 2010:**  
Klimawandel und Gesundheit - Ein Sachstandsbericht, Robert Koch-Institut (Hrsg.), Berlin.  
Internet:  
[http://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?__blob=publicationFile)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [7] **Fenner, D., Meier, F., Scherer, D., Polze, A. 2014:**  
Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001-2010. *Urban Climate* 10 (2), 308–331.
- [8] **Fenner, D., Mücke, H.-G., Scherer, D. 2015:**  
Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. *Umwelt und Mensch - Informationsdienst (UMID)*, Vol. 1, 30-38.  
Internet:  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/innerstaedtsche\\_lufttemperatur\\_30-38.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/innerstaedtsche_lufttemperatur_30-38.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [9] **Gabriel, K. 2009:** Gesundheitsrisiken durch Wärmebelastung in Ballungsräumen. Eine Analyse von Hitzewellen-Ereignissen hinsichtlich der Mortalität im Raum Berlin-Brandenburg, Dissertation, Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.  
Internet:  
<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/gabriel-katharina-2009-11-20/PDF/gabriel.pdf>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [10] **Gabriel, K., Endlicher, W. 2011:**  
Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany, *Environmental Pollution*, Vol. 159, 2044-2055.
- [11] **Jehn, M., Gebhardt, A., Liebers, U., Kiran, B., Scherer, D., Endlicher, W., Witt, C. 2014:**  
Heat Stress is Associated with Reduced Health Status in Pulmonary Arterial Hypertension: A Prospective Study Cohort. *Lung*, 1-6.
- [12] **Jehn, M., Donaldson, G., Kiran, B., Liebers, U., Mueller, K., Scherer, D., Endlicher, W., Witt, C. 2013:**  
Telemonitoring reduces exacerbation of COPD in the context of climate change--a randomized controlled trial, *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 12(1), 99.
- [13] **Jendritzky G. 2007:**  
Folgen des Klimawandels für die Gesundheit. In: Endlicher W., Gerstengarbe F.-W. (Hrsg.): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., Potsdam: 108–118.
- [14] **Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., DeDear, R. 2009:**  
Der Thermische Klimaindex UTCI, *Klimastatusbericht Deutscher Wetterdienst*, 96-101.  
Internet:  
[https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb2009\\_pdf/artikel11.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb2009_pdf/artikel11.pdf?__blob=publicationFile&v=1)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [15] **Kim, K. R., Yi, C., Lee, J.-S., Meier, F., Jänicke, B., Fehrenbach, U., Scherer, D. 2014:**  
BioCAS: Biometeorological Climate impact Assessment System for building-scale impact assessment of heat-stress related mortality. *Die Erde*, 145(1), 62–79.  
Internet:  
<http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/118/78>  
(Zugriff 08.01.2016)



- [16] **Koppe, C. 2005:**  
Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Brsg..  
Internet:  
<https://www.freidok.uni-freiburg.de/data/1802>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [17] **Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G., Menne, B. 2004:**  
Heat-waves: risks and responses, WHO Europe (Hrsg.), Copenhagen.  
Internet:  
[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0008/96965/E82629.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/96965/E82629.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [18] **Kuttler, W. 1998:**  
Stadtklima. In: Sukopp, H., Wittig, R. (Hrsg.), Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm, 125-167.
- [19] **Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) (Hrsg.) 2014:**  
Verzeichnis der Krankenhäuser und Privatentbindungsanstalten, Stand 06/2014, Berlin.
- [20] **Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) 2013:**  
Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS), Potsdam.  
Internet:  
<https://geobasis-bb.de/lgb/de/geodaten/liegenschaftskataster/alkis/>  
(Zugriff 28.07.2020)
- [21] **Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB) 2013a:**  
Digitales Geländemodell (DGM), Potsdam.  
Internet:  
<https://geobasis-bb.de/lgb/de/geodaten/3d-produkte/gelaendemodell/>  
(Zugriff 28.07.2020)
- [22] **Laschewski, G. 2008:**  
Das Humanbioklima: Wirkungen und Wandel. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. und Maier, W.A. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen. Hamburg, 35-43.
- [23] **Michelozzi, P., Accetta, G., De Sario, M., D'Ippoliti, D., Marino, C., Baccini, M., Biggeri, A., Anderson, H. R., Katsouyanni, K., Ballester, F., Bisanti, L., Cadum, E., Forsberg, B., Forastiere, F., Goodman, P. G., Hojs, A., Kirchmayer, U., Medina, S., Paldy, A., Schindler, C., Sunyer, J., Perucci, C. A., PHEWE Collaborative Grp 2009:**  
High Temperature and Hospitalizations for Cardiovascular and Respiratory Causes in 12 European Cities, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol. 179, 5, 383-389.
- [24] **Mücke, H.-G., Straff, W., Faber, M., Haftenberger, M., Laußmann, D., Scheidt-Nave, C., Stark, K. 2013:**  
Klimawandel und Gesundheit. Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland. Robert-Koch-Institut, Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin.  
Internet:  
[https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/UmweltKommission/Stellungnahmen\\_Berichte/Downloads/klimawandel\\_gesundheit\\_handlungsempfehlungen\\_2013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.rki.de/DE/Content/Kommissionen/UmweltKommission/Stellungnahmen_Berichte/Downloads/klimawandel_gesundheit_handlungsempfehlungen_2013.pdf?__blob=publicationFile)  
(Zugriff 19.02.2018)

- [25] **MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) 2010:**  
Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel.  
Internet:  
[https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/handbuch\\_stadtklima\\_kurzfassung.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/handbuch_stadtklima_kurzfassung.pdf)  
(Zugriff 24.09.2020)
- [26] **MVI (Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg) (Hrsg.) 2012:**  
Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- [27] **Scherber, K. 2014:**  
Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg. Dissertation, Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.  
Internet:  
<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/scherber-katharina-2014-06-13/PDF/scherber.pdf>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [28] **Scherber, K., Langner, M., Endlicher, W. 2014:**  
Spatial analysis of hospital admissions for respiratory diseases during summer months in Berlin taking bioclimatic and socio-economic aspects into account, Die Erde, 144 (3), 217-237.  
Internet:  
[http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/63/pdf\\_2](http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/63/pdf_2)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [29] **Scherber, K. 2016:**  
Stadtklima und Gesundheit, Beitrag zum Begleittext zur Umweltatlaskarte 04.11 (Ausgabe 2016), im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ib411.htm>  
(Zugriff 25.01.2016)
- [30] **Scherer, D. 2007:**  
Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. TASPO Report Die grüne Stadt, 15.
- [31] **Scherer, D., Fehrenbach, U., Lakes, T., Lauf, S., Meier, F., Schuster, C. 2013:**  
Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. Die Erde, 144 (3-4), 238-259.  
Internet:  
[http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/49/pdf\\_3](http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/49/pdf_3)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [32] **Scherer, D., Fehrenbach, U., Fenner, D., Jänicke, B., Holtmann, A., Meier, F., 2015:**  
© Fachgebiet Klimatologie, Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin, Rothenburgstr. 12, 12165 Berlin.  
Internet:  
<https://www.klima.tu-berlin.de>  
(Zugriff 15.02.2018)
- [33] **Schneider, A., Breitner, S., Brüske, I., Wolf, K., Rückerl, R., Peters, A. 2011:**  
Health Effects of Air Pollution and Air Temperature. In: Krämer, A., Khan, M.H. und Kraas, F. (Hrsg.), Health in Megacities and Urban Areas, Heidelberg, 119-134.
- [34] **Schneider, A., Breitner, S., Wolf, K., Hampel, R., Peters, A., Wichmann, H.-E. 2009:**  
Ursachenspezifische Mortalität, Herzinfarkt und das Auftreten von Beschwerden bei Herzinfarktüberlebenden in Abhängigkeit von der Lufttemperatur in Bayern (MOHIT), Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, Institut für Epidemiologie (Hrsg.), München.  
Internet:  
[https://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/EPI\\_II/PDF/Schlussbericht\\_Endfassung\\_MOHIT\\_Dec2009.pdf](https://www.helmholtz-muenchen.de/fileadmin/EPI_II/PDF/Schlussbericht_Endfassung_MOHIT_Dec2009.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [35] **Schuster, C., Burkart, K., Lakes T. 2014:**  
Heat mortality in Berlin – Spatial variability at the neighborhood scale. Urban Climate, 10 (1),

134-147.

Internet:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095514000807>

(Zugriff 19.02.2018)

- [36] **SenGUV (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz) (Hrsg.) 2011:**

Basisbericht 2010/2011. Gesundheitsberichterstattung Berlin, Daten des Gesundheits- und Sozialwesens, Berlin.

Internet:

[https://www.berlin.de/sen/gesundheit/\\_assets/service/publikationen/gesundheitsberichterstattung/bb\\_20102011.pdf](https://www.berlin.de/sen/gesundheit/_assets/service/publikationen/gesundheitsberichterstattung/bb_20102011.pdf)

(Zugriff 24.09.2020)

- [37] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung) (Hrsg.) 2009:**

Lebensweltlich orientierte Räume (LOR) in Berlin

Internet:

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/basisdaten\\_stadtentwicklung/lor/](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/basisdaten_stadtentwicklung/lor/)

(Zugriff 08.01.2016)

- [38] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2010:**

Flächennutzung und Stadtstruktur - Dokumentation der Kartiereinheiten und Aktualisierung des Datenbestandes, Berlin.

Internet:

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Nutzungen\\_Stadtstruktur\\_2010.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Nutzungen_Stadtstruktur_2010.pdf)

(Zugriff 26.11.2015)

- [39] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011:**

Stadtentwicklungsplan Klima.

Internet: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/>

(Zugriff 26.10.2015)

- [40] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2013:**

Weniger Schadstoffe. Mehr Lebensqualität. Der Luftreinhalteplan 2011-2017 des Landes Berlin.

Internet: <http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/>

(Zugriff 15.02.2018)

- [41] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2015:**

Planungshinweiskarte Stadtklima 2015 -Begleitdokument zur Online-Version, Berlin.

Internet:

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Planungshinweise\\_StadtklimaBerlin\\_2015.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Planungshinweise_StadtklimaBerlin_2015.pdf)

(Zugriff 26.11.2015)

- [42] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2015b:**

GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover: GIS-gestützte Modellierung von stadtklimatisch relevanten Kenngrößen auf der Basis hochaufgelöster Gebäude- und Vegetationsdaten; EFRE Projekt 027 Stadtklima Berlin, Abschlussbericht.

Internet:

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Projektbericht\\_StadtklimaBerlin\\_SenStadtUm\\_IIID\\_2015.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Projektbericht_StadtklimaBerlin_SenStadtUm_IIID_2015.pdf)

(Zugriff 07.01.2016)

- [43] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2015e:**

PRISMA – Planungsraumbezogenes Informationssystem für Monitoring und Analyse, Berlin.

Internet:

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/soziale\\_stadt/sozialraumorientierung/de/prisma.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/soziale_stadt/sozialraumorientierung/de/prisma.shtml)

(Zugriff 26.11.2015)

- [44] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2016:**

Anpassungskonzept an die Folgen des Klimawandels (AFOK), Berlin.

Internet:

[https://www.berlin.de/sen/uvk/\\_assets/klimaschutz/anpassung-an-den-klimawandel/programm-zur-anpassung-an-die-folgen-des-klimawandels/afok\\_zusammenfassung.pdf](https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/anpassung-an-den-klimawandel/programm-zur-anpassung-an-die-folgen-des-klimawandels/afok_zusammenfassung.pdf)

(Zugriff 24.09.2020)

- [45] **SenStadtUm/AfS (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg) (Hrsg.) 2012:**  
Bevölkerungsprognose für Berlin und die Bezirke 2011-2030, Kurzfassung, Berlin.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/bevoelkerungsprognose/download/bevprog\\_2011\\_2030\\_kurzfassung.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/bevoelkerungsprognose/download/bevprog_2011_2030_kurzfassung.pdf)  
(Zugriff 19.02.2018)
- [46] **Statistik BBB 2014:**  
Amt für Statistik Berlin-Brandenburg: 'Melderechtlich registrierte Einwohnerinnen und Einwohner am Ort der Hauptwohnung am 30.06.2014'.
- [47] **Turowski, E., Haase, C. 1987:**  
Meteoropathologische Untersuchung über die Klima- und Wetterabhängigkeit der Sterblichkeit, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.
- [48] **Turowski, E. 1998:**  
Klima- und Wettereinfluss. In: Moriske, H.-J. und Turowski, E. (Hrsg.), Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. Mensch, Wetter, Klima, Innenraum- und Außenlufthygiene, Grundlagen, Forschungsergebnisse, Trends, II-4, Landsberg am Lech, 1-44.
- [49] **VDI (Verband Deutscher Ingenieure) 2015:**  
Richtlinie 3787, Blatt 1 Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.  
Internet:  
[https://www.vdi.de/richtlinie/vdi\\_3787\\_blatt\\_1-umweltmeteorologie\\_klima\\_und\\_lufthygienekarten\\_fuer\\_staedte\\_und\\_regionen/](https://www.vdi.de/richtlinie/vdi_3787_blatt_1-umweltmeteorologie_klima_und_lufthygienekarten_fuer_staedte_und_regionen/)  
(Zugriff 26.11.2015)
- [50] **Wichert von, P. 2004:**  
Hitzefolgekrankheiten: Bericht zu einer Stellungnahme der Kommission „Hitzetote“ der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), Epidemiologisches Bulletin, Vol. 24, 189-191.

## Karten:

- [51] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2010a:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2010, Karte 01.08 Geländehöhen, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia108.htm>  
(Zugriff 26.11.2015)
- [52] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2010b:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2010, Karte 04.12 Klimawandel und Wärmebelastung der Zukunft, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i412.htm>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [53] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011a:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2011, Karte 06.07 Stadtstruktur, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/id607.htm>  
(Zugriff 26.11.2015)
- [54] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2012:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2012, Karte 01.02 Versiegelung, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ic102.htm>  
(Zugriff 26.11.2015)
- [55] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2013a:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2013, Karte 01.11.3 Naturnähe, Berlin.

Internet:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ic111.htm>

(Zugriff 26.11.2015)

- [56] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2014:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2014, Karte 06.10 Gebäude- und Vegetationshöhen, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i610.htm>  
(Zugriff 26.11.2015)
- [57] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2014a:**  
Detailnetz Berlin, Stand 11.2014, aktueller Stand verfügbar über Geoportal Berlin, Berlin.  
Internet:  
<http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>  
(Zugriff 26.11.2015)
- [58] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2015a:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2015, Karte 04.13 Langjährige Entwicklung ausgewählter Klimaparameter, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i413.htm>  
(Zugriff 26.11.2015)
- [59] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2015c:**  
Automatisierte Liegenschaftskarte Berlin (ALK), Stand 01.06.2014, aktuelle Version verfügbar im neuen Standard ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) über Geoportal Berlin, Berlin.  
Internet:  
<http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [60] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2015d:**  
Digitaler Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2015, Karte 09.01 Umweltgerechtigkeit, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i901.htm>  
(Zugriff 26.11.2015)

## Weiterführende Quellen zum Exkurs „Gesundheit und Stadtklima“

Berlin:

- [61] **Buchin, O., Hoelscher, M.-T., Meier, F., Nehls, T., Ziegler F. 2015:**  
Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. Energy and Buildings, im Druck.
- [62] **Endlicher, W., Jendritzky, G., Fischer, J., Redlich, J.-P. 2008:**  
Heat Waves, Urban Climate and Human Health. In: Marzluff, J.M., Shulenberger, E., Endlicher, W., Alberti, M. und Bradley, G. (Hrsg.), Urban Ecology. New York, 269-278.
- [63] **Endlicher, W., Lanfer, N. 2003:**  
Meso- and microclimatic aspects of Berlin's urban climate, Die Erde, Vol. 134, 147-168.
- [64] **Freie Universität Berlin – AG Stadtklima und Gesundheit 2016:**  
Internet:  
<http://www.geo.fu-berlin.de/met/ag/Stadtklima/index.html>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [65] **Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin (INKA BB) 2016:**  
Internet:  
<http://www.inka-bb.de/>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [66] **Jänicke, B. 2015:**  
Stadtklima und Hitzestress. Anpassungsmaßnahmen müssen die Komplexität von Städten berücksichtigen. Umwelt Aktuell, Vol. 10, 2-3.



- [67] **Jänicke, B., Meier, F., Hoelscher, M., Scherer, D. 2015:**  
Evaluating the Effects of Façade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment. *Advances in Meteorology*, Vol. 2015, Article ID 747259.
- [68] **KiezKlima – Gemeinsam für ein besseres Klima im Brunnenviertel 2016:**  
Internet:  
<http://e-p-c.de/kiezklima/2015/>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [69] **Scherer, D., Endlicher W. 2014:**  
Special Issue: Urban climate and heat-stress. Part 2. *Die Erde*, Vol. 145, No 1-2.  
Internet:  
<http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/issue/view/13>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [70] **Scherer, D., Endlicher W. 2013:**  
Special Issue: Urban climate and heat-stress. Part 1. *Die Erde*, Vol. 144, No 3-4.  
Internet:  
<http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/issue/view/12>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [71] **Schubert, S., Grossman-Clarke S. 2013:**  
The Influence of Green Areas and Roof Albedos on Air Temperatures during Extreme Heat Events in Berlin, Germany. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (2), 131-143. Internet:  
<http://pubman.mpdl.mpg.de/pubman/item/escidoc:2043067:2/component/escidoc:2043071/Met-Z-80283.pdf>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [72] **UCaHS (Urban Climate and Heat Stress) – Stadtklima und Hitzestress in Städten der Mittelbreiten in Anbetracht des Klimawandels 2016:**  
Internet:  
<http://www.ucahs.org/?lan=de>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [73] **Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Endlicher, W. 2015:**  
Assessment of indoor heat stress variability in summer and during heat warnings: A case study using the UTCI in Berlin, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 1-14.
- [74] **Walikewitz, N., Jänicke, B., Langner, M., Meier, F., Endlicher, W. 2015:**  
The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions. *Building and Environment*, 84, 151-161.  
Internet:  
[https://www.klima.tu-berlin.de/aktuell/Walikewitz\\_et\\_al\\_2015.pdf](https://www.klima.tu-berlin.de/aktuell/Walikewitz_et_al_2015.pdf)  
(Zugriff 15.02.2018)

## Deutschland:

- [75] **Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit (APUG) 2016:**  
Internet:  
<http://www.apug.de/>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [76] **Amt für Umweltschutz Stuttgart – Abteilung Stadtklimatologie 2016:**  
Internet:  
<http://www.stadtklima-stuttgart.de>  
(Zugriff 08.01.2016)
- [77] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 2008:**  
Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS).  
Internet:  
[http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf)  
(Zugriff 24.09.2020)
- [78] **DWD (Deutscher Wetterdienst) 2016:**  
Klima und Umweltberatung – Gesundheit.  
Internet:  
[http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku\\_beratung/gesundheit/gesundheit\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/gesundheit_node.html)  
(Zugriff 08.01.2016)

- [79] **DWD (Deutscher Wetterdienst) 2016:**  
Fachnutzer – Gesundheit.  
Internet:  
[http://www.dwd.de/DE/fachnutzer/gesundheit/gesundheit\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/fachnutzer/gesundheit/gesundheit_node.html)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [80] **GERICS (Climate Service Center Germany) (Hrsg.) 2014:**  
Gesundheit und Klimawandel. Handeln, um Risiken zu minimieren.  
Internet:  
[http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc\\_broschueren/broschure\\_gesundheit\\_und\\_klimawandel.pdf](http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc_broschueren/broschure_gesundheit_und_klimawandel.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [81] **GERICS (Climate Service Center Germany) 2016:**  
Stadtbakasten, Herausforderungen erkennen, rechtzeitig handeln - Module für eine nachhaltige, klimaangepasste Stadtplanung.  
Internet:  
[http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/stadtbaukasten\\_kompakt\\_20151022.pdf](http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/stadtbaukasten_kompakt_20151022.pdf)  
(Zugriff 19.02.2018)
- [82] **GERICS (Climate Service Center Germany) 2016a:**  
Climate-Focus-Paper "Cities and Climate Change".  
Internet:  
[http://www.climate-service-center.de/products\\_and\\_publications/fact\\_sheets/climate\\_focus\\_paper/index.php.de](http://www.climate-service-center.de/products_and_publications/fact_sheets/climate_focus_paper/index.php.de)  
(Zugriff 19.02.2018)
- [83] **Klimaanpassungsschule der Charité – Universitätsmedizin Berlin 2016:**  
Internet:  
<http://www.klimawandelundgesundheit.de>
- [84] **NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) 2010:**  
StadtKlimaWandel. Rezepte für mehr Lebensqualität und ein besseres Klima in der Stadt.  
Internet:  
[https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/Stadtklimawandel/nabu\\_broschuere\\_stadtklimawandel\\_finalweb.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/Stadtklimawandel/nabu_broschuere_stadtklimawandel_finalweb.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [85] **Stadtklimalotse 2016:**  
Internet:  
<http://www.stadtklimalotse.net/>  
(Zugriff 19.02.2018)
- [86] **UBA (Umweltbundesamt) 2016:**  
KlimaExWoSt – Urbane Strategien zum Klimawandel.  
Internet:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektkatalog/klimaexwost-urbane-strategien-klimawandel>  
(Zugriff 08.01.2016)

## Europa:

- [87] **European Commission, Public health responses to heat waves 2016:**
- [88] **WHO (World Health Organization Europe) (Hrsg.) 2008:**  
Heat-health action plans, Guidance, Copenhagen.  
Internet:  
[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/95919/E91347.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)
- [89] **WHO (World Health Organization Europe) (Hrsg.) 2009:**  
Improving public health responses to extreme weather/heat-waves – EuroHEAT. Technical summary, Copenhagen.  
Internet:

[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0010/95914/E92474.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0010/95914/E92474.pdf)  
(Zugriff 08.01.2016)