

Geoinformation

# EFRE Projekt 027 Stadtklima

## Abschlussbericht

Senatsverwaltung  
für Stadtentwicklung  
und Umwelt



## Informationssystem Stadt und Umwelt, Umweltatlas

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_o4.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_o4.htm)

EFRE Projekt 027:

„GIS-gestützte Modellierung von stadtklimatisch relevanten Kenngrößen auf der Basis hochaufgelöster Gebäude- und Vegetationsdaten“

### Auftraggeber:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt III D 1  
Fehrbelliner Platz 1  
10707 Berlin  
Jörn Welsch III D 11  
Tel.: (030) 90139 5256  
[Joern.welsch@senstadtum.berlin.de](mailto:Joern.welsch@senstadtum.berlin.de)

### Auftragnehmer:

**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**  
Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover  
Tel. (0511) 3887200  
FAX (0511) 3887201  
[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Groß  
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),  
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und  
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

**Berlin, im Oktober 2015**



Dieses Vorhaben wird von der  
Europäischen Union kofinanziert  
(Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Investition in die Zukunft!



Offizieller Titel und Grundlage:

Projektnummer 027 EFRE GDI, gefördert mit Mitteln aus dem „Operationellen Programm für die Interventionen der Europäischen Strukturfonds in Berlin für die Jahre 2007-2013“.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Analyse langjähriger Messdaten ausgewählter Klimastationen .....</b>	<b>8</b>
2.1	Allgemeines und Vorgehensweise .....	8
2.2	Langjährige Mittelwerte von Klimaparametern im Raum Berlin .....	10
2.2	Messreihen der Station Berlin-Tempelhof für den Zeitraum 1948 bis 2013 .....	26
2.2.1	Entwicklung der Lufttemperaturen in 2 m Höhe im Zeitraum 1948 bis 2013.....	26
2.2.2	Sommertage .....	28
2.2.3	Sommernächte .....	31
2.2.4	Entwicklung der Anzahl von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten .....	33
2.3	Vergleich der Messreihen der Berliner Stationen Tempelhof, Tegel, Dahlem, Alexanderplatz und Grunewald sowie der Station Potsdam.....	40
2.3.1	Entwicklung der sommerlichen Lufttemperaturen im Raum Berlin von 1950 bis 2013.....	40
2.3.2	Auswertungen der klimatologischen Kennwerte Sommer- und Hitzetage sowie Tropennächte an ausgewählten Klimastationen in Berlin und der Station Potsdam .....	45
<b>3</b>	<b>Analyse von Ergebnissen des Regionalen Klimamodells WETTREG 2010 zur Abschätzung möglicher Klimawandeleffekte in Berlin .....</b>	<b>51</b>
3.1	Einleitung.....	51
3.2	Ergebnisse des Regionalen Klimamodells WETTREG 2010 für drei ausgewählte Klimastationen in Berlin .....	54
3.2.1	Jahresmittelwerte der Lufttemperatur .....	54
3.2.2	Auftrittshäufigkeit von meteorologischen Kenntagen.....	56
3.2.3	Zusammenfassung möglicher Klimawandeleffekte in Berlin.....	64
<b>4</b>	<b>Modellrechnung mit dem Klimamodell FITNAH 3-D .....</b>	<b>65</b>
4.1	Eingesetztes Klimamodell FITNAH.....	65
4.2	Synoptische Rahmenbedingungen .....	68
4.3	Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis.....	69
4.3.1	Vegetations- und Gebäudestrukturen .....	71

4.3.2	Geländehöhe .....	73
4.3.3	Bodeninformationen .....	74
4.3.4	Versiegelungsdaten.....	75
4.3.5	Erzeugung des Modellrasters und Durchführung der Klimasimulation .....	78
4.4	Ergebnisse .....	81
4.4.1	Lufttemperatur .....	81
4.4.2	Oberflächentemperatur .....	88
4.4.3	Nächtliches Kaltluftströmungsfeld .....	90
4.4.4	Humanbiometeorologische Situation .....	92
4.5	Anpassung des Gebäudeeinflusses.....	96
4.6	Fazit.....	100
4.7	Gesamtstädtische Modellanwendung .....	100
4.7.1	Modellergebnisse der Analyserechnungen.....	100
4.7.2	Zusammenfassende Klimaanalysekarte .....	112
4.8	Nachführungskonzept zur Anpassung des Analyseteils an veränderte Flächennutzungsstrukturen ohne Modelleinsatz.....	113
4.9	3D-Videosequenz.....	113
4.10	Bewertungskarten .....	115
<b>5</b>	<b>Beteiligungsprozess .....</b>	<b>117</b>
5.1	Analyse der Zielgruppe .....	118
5.2	Zielgruppenbefragung .....	119
5.2.1	Ergebnisse .....	119
5.2.2	Fazit und Schlussfolgerungen .....	123
5.1	Veranstaltungsreihe .....	124
<b>6</b>	<b>Fachliches Leitbild – Klimaökologische Qualitätsziele für Berlin.....</b>	<b>127</b>
6.1	Hintergrund und Anliegen .....	127
6.2	Entwurf eines Leitbildes .....	128
6.3	Entwurf eines Zielsystems .....	131

---

<b>7. Literatur .....</b>	<b>133</b>
<b>8. Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>136</b>
<b>9. Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>141</b>
<b>10. Verwendete Datengrundlagen .....</b>	<b>143</b>
<b>11. Anhang .....</b>	<b>144</b>
11.1 Anhang 1: ‚Maßnahmenblatt 010‘ als Beispiel für eines der 413 teilflächenbezogenen Maßnahmenblätter.....	145
11.2 Anhang 2: „Begleitdokument zur Planungshinweiskarte Stadtklima 2015“ .....	148



## 1. Einleitung

Unter Federführung des Referates III D (Geodateninfrastruktur), Gruppe III D 1 (Informationssystem Stadt und Umwelt, Umweltatlas) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) Berlin wird seit vielen Jahren im Umweltatlas zum Themenkomplex Stadtklima eine Datenbasis aufgebaut, die über das Geoportal des Landes Berlin allen planenden Stellen inner- und außerhalb der Verwaltung sowie der Öffentlichkeit zugänglich ist. Damit stehen flächendeckend Informationen zu dem Schutzgut Klima für das Stadtgebiet Berlin zur Verfügung, die als Informations- und Abwägungsgrundlage für fundierte stadtklimatische Ersteinschätzungen von Planungsvorhaben dienen. Dadurch wird nur in Ausnahmefällen das Einholen gesonderter Fachgutachten erforderlich.

Um dieser Aufgabe zukunftsweisend gerecht zu werden wurden erstmals im Jahr 2001 flächendeckende Modellsimulationen mit dem mesoskaligen Klimamodell FITNAH beauftragt und durchgeführt. Die notwendigen Eingangsdaten und auch Ergebnisinformationen wurden zunächst mit einer räumlichen Auflösung von 200m x 200m, in der ersten Fortschreibung 2008/2009 dann mit einer Auflösung von 50m x 50m aufbereitet. Entsprechend der damals möglichen Erfassungsgenauigkeit erlauben die Ergebnisse der modellgestützten Klimaanalyse vornehmlich Einschätzungen der Auswirkungen von übergeordneten Planungen (z.B. Flächennutzungsplänen) auf einer Maßstabsebene von 1:50.000 bis 1:5.000. Dagegen können bisher für konkrete Projekte im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung mit einer Maßstabsebene von  $\leq 1:5.000$ , die dort geforderten detaillierten Aussagen auf Ebene einzelner Gebäudestrukturen nicht geliefert werden.

Da die zur Zeit bereit gestellten Unterlagen zum Stadtklima trotzdem in der Regel für alle Maßstabsebenen als fachliche Abwägungsgrundlage genutzt werden müssen (da detailliertere Datengrundlagen nicht zur Verfügung stehen), besteht die Gefahr einer Fehlinterpretation der Aussagen. Aus fachlicher Sicht war es daher dringend erforderlich räumlich höher aufgelöste Informationen zum Themenkomplex Stadtklima bereit zu stellen.

### Projektdarstellung

Vor dem Hintergrund des dringenden Bedarfs an räumlich hoch aufgelösten Informationen zum Thema Stadtklima soll im Rahmen des EFRE-Projektes 027 (Projektnummer: 027EFREGDI) das Stadtgebiet von Berlin sowie das nähere Umland mit einer Gesamtfläche von rund 1.700 km<sup>2</sup> mit einer Auflösung von 10m x 10m modellgestützt klimatisch analysiert und bewertet werden. Als eine zentrale Bearbeitungsgrundlage sollen dabei die aktuellen, sehr detailliert vorliegenden Informationen zum Gebäude- und Vegetationsbestand verwendet werden:

- Ableitung der Nutzungs- und Grünstruktur aus der vom DLR erstellten Datenbank „Gebäude- und Vegetationshöhen“ (DLR 2013)
- Anwendung des an diese hoch aufgelösten Eingangsdaten angepassten und optimierten Klimamodells FITNAH-3D.

Durch die vorgesehene 10 m \* 10 m-Raster-Auflösung wird erreicht, dass das Schutzgut Klima im Rahmen einer vorsorgeorientierten Umweltplanung auch auf der Ebene der verbindlichen Bauleitplanung (F-Plan/B-Plan) adäquat in Abwägungsprozesse eingebunden werden kann.

Durch zusätzliche Auswertungen ausgewählter städtischer Klimastationen über einen 30-jährigen Referenzzeitraum wurde die statistische Relevanz klimatisch belastender Wetterlagen (anhand anerkannter Kennwerte wie Sommer- und Hitzetage) in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung betrachtet. Durch den Einsatz des Regionalisierungsmodells WETTREG wurden auch Aspekte des Klimawandels und deren mögliche Auswirkungen im Stadtgebiet in das Projekt einbezogen.

Die Projektteilschritte wurden in zwei Workshops mit fachlich relevanten ‚Stakeholdern‘ der Berliner Verwaltung sowie ausgewählter Planungsbüros diskutiert und rückgekoppelt, um einen möglichst hohen Praxisbezug in den Ergebnissen herzustellen.

Sämtliche mit dem Projekt in Verbindung stehenden genutzten Grunddaten sowie die erarbeiteten Analyse- und Bewertungsdaten liegen als Raster- und Blockinformationen georeferenziert in ArcGIS, Version 10.2, Fa. ESRI lokal bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt als deutsch- und englischsprachige Ausgabe vor.

Neben den rein fachlichen Anforderungen bestand ein weiteres Ziel des Projektes in der Bereitstellung eines möglichst umfassenden und aktuellen Zugangs zu unterschiedlichen Informationen über das Stadtklima unter Nutzung der mit dem Geoportal Berlin bestehenden Infrastruktur.

Für die Präsentation der Daten wurden die zum Zeitpunkt der Integration in das Geoportal bestehenden Möglichkeiten genutzt. Aufgrund der Fülle an Einzelthemen, aber auch des sehr großen Datenumfanges der rasterbasierten Analysedaten (ca. 17 Millionen Einzelobjekte je Thema) fand eine an Prioritäten orientierte Auswahl statt, die in das Geoportal integriert wurde.

Im Folgenden werden der Bearbeitungsumfang und das geplante Vorgehen zur Bearbeitung der einzelnen Arbeitsschritte tabellarisch aufgelistet. (Die Kennzeichnung der einzelnen Arbeitsschritte bezieht sich auf die Positionsnummern im Angebot, verbindlich sind in jedem Falle die Leistungsschritte und deren Unterpunkte im Leistungsverzeichnis (LV) zum Vertrag).

<b>Leistungsschritt 1: Grundsätzliche Anforderungen an die gesetzte Modell-Software</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode</b>
<p>Position 1.c) (LV 2.2.1. c )</p> <p>Entwicklung eines Konzeptes zur Aktualisierung / Nachführung der Klimaanalyse bei Nutzungsänderungen ohne erneute Modellanwendungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimaanalysekarte als Ausgangspunkt</li> <li>• Nicht alle Klimaparameter sind nachzuführen. Schwerpunkt: Temperaturfeld</li> <li>• Für die direkt von Nutzungsänderung „betroffene“ Fläche wird das Temperaturfeld nachgeführt. Die Flächen werden als „bearbeitet“ gekennzeichnet.</li> <li>• Die „Reichweite“ dieser Nutzänderung wird an Hand des Prozessgeschehens unter Einbeziehung der Nachbarschaftsbeziehungen abgeschätzt. Die Flächen, in denen eine Veränderung der stadtklimatischen Gegebenheiten wahrscheinlich ist, werden über eine Schraffur gekennzeichnet. In dieser Fläche werden die Klimaparameter nicht nachgeführt.</li> <li>• Es wird eine Historie aufgebaut. Klimaanalysekarten vor dem Änderungsstand werden mit einem zeitlichen Verweis abgelegt und können nicht mehr überarbeitet werden.</li> <li>• Es wird eine Wirk-Matrix aus den wichtigsten durch Flächennutzungsänderungen hervorgerufenen „Stadtklimasignalen“ zusammengestellt. Bestandteile sollten sein:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Typische Planvorhaben (F- und B-Planebene differenziert)</li> <li>○ Größe der betroffenen Fläche</li> <li>○ Betroffene Klimaparameter (s. Legendeneinheiten der Klimaanalysekarte)</li> <li>○ Prozessgeschehen, Nachbarschaftswirkung, Intensität des Eingriffs</li> </ul> </li> </ul>

<b>Leistungsschritt 2: Aufbereitung der Basisdaten</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
<p>Position 2.a: (2.2.1. a) Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung im 10 m Raster</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der Teilblockkarte 1:5.000 - ISU5_2010 – Stand 31.12.2010 einschl. der entsprechenden aktuellen Fachdaten des ISU wie Landnutzung, Vegetation, Versiegelung, Relief, Geländehöhen.</li> <li>• Verfeinerung der raumbezogenen Grundlagendaten durch                         <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nutzung der Höhen- und Strukturdaten Gebäude und Vegetation aus der Auswertung des DLR (Berlin und Umland, soweit im Projektgebiet)</li> <li>○ Nutzung der Gebäude(nutzungs)daten der ALK auf gesamtstädtischer Ebene,</li> </ul> </li> <li>• Landnutzung außerhalb Berlins: ALKIS-Daten (Stand 10/2013) Brandenburg sowie ATKIS® Basis-DLM, Stand 2012; Abgleich der Übergänge ATKIS / ISU-Daten über georeferenzierte Luftbilder.</li> </ul>
<p>Position 2.c: Analyse langjähriger meteorologischer Messreihen ausgewählter Messstation im Raum Berlin: Dokumentation des klimatischen Situation Berlins mit Focus auf die Messperiode 1981-2010 und sommerliche Wetterlagen  Festlegung von charakteristischen meteorologischen Rahmenbedingungen/ Anfangsbedingungen für die Modellrechnung.</p>	<p>Auswertung mittlerer Klimaelemente nach Monaten für die Referenzperiode 1981-2010: Graphische Darstellung der ausgewerteten Parameter je Jahr für die 30 jährige Bezugsperiode:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jahresmittel der Lufttemperatur</li> <li>• mittleres Tagesmaximum an Sommertagen</li> <li>• mittleres Tagesminimum an Sommertagen</li> <li>• absolutes Tagesmaximum an Sommertagen</li> <li>• absolutes Tagesminimum an Sommertagen</li> <li>• mittlerer Tagesgang an Sommertagen</li> <li>• Anzahl an Sommertagen</li> <li>• Anzahl an Hitzetage</li> <li>• Anzahl an Tropennächten</li> <li>• Erster und letzter Sommertag im Jahr</li> </ul> <p>Statistische Auswertungen und tabellarische Dokumentation zu Häufigkeiten und mittlerer Andauer von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten.  Darstellung von Windrosen über Zeiträume von jeweils 10 Jahren für ausgewählte Stationen.  Festlegung von meteorologischen Anfangsbedingungen für die Modellrechnungen und Abgleich der Modellergebnisse mit Messwerten.</p>
<p>Abschätzung möglicher Klimawandeleffekte in Berlin auf Basis des Modells WETTREG</p>	<p>Abschätzung der zukünftigen klimatischen Entwicklung im Raum Berlin auf Grundlage des statistischen Klimamodells WETTREG</p>
<p><i>Position 2 c optional</i> <i>Einbeziehung „Klimawandel“ in die statistische Auswertung der Kerntage</i></p>	<p><i>Bestimmung von Häufigkeiten und mittlerer Andauer von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten unter Berücksichtigung einer Anhebung des allgemeinen Temperaturniveaus.</i></p>

<b>Leistungsschritt 3: modellgestützte Klimaanalyse</b>	
<b>Durchführung der Positionen 3a bis 3f für ein Testgebiet</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
<p>Position 3: Modellierung meteorologischer Felder mit FITNAH-3D in einer Rasterauflösung von 10 m für eine austauscharme hochsommerliche Wetterlage und eine ortstypische Wetterlage mit guter Durchlüftung entsprechend dem langjährigen Mittel.</p> <p>Auswerte- und Darstellungsniveaus: 2 und 22 m über Grund. Zeitschnitte 14.00 Uhr, 22.00 Uhr und 04.00 Uhr</p>	<p>Es ist vorgesehen, in einem ca. 5 km x 5 km großen Gebiet den operativen Ablauf der FITNAH-3D-Modellierung zu testen. Als Testgebiet wurde in Absprache mit dem AG das Umfeld des ehem. Flughafens Tempelhof festgelegt.</p> <p>Im Testgebiet werden alle meteorologischen Parameter entsprechend den Positionen des Angebotes (ohne optionale Leistungen) berechnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlungs- und Lufttemperatur, Indices Anzahl der Sommer-, Hitzetage, tropische Nächte</li> <li>• Abkühlungsraten</li> <li>• Windfelder und Kaltluftvolumenströme</li> <li>• Ausweisung von Ventilationsbahnen</li> <li>• Rauigkeitslängen</li> <li>• humanbiometeorologische Belastung anhand der Indices PMV (ggf. PET) und UTCI</li> </ul> <p><i>Ggfs. Durchführung verschiedener Testrechnungen und Anpassung von Modellparametrisierungen. Hierfür kann es notwendig sein weitere Eingangsdaten aufzubereiten.</i></p> <p>Soweit möglich erfolgt eine Verifizierung der Simulationsergebnisse anhand der zuvor ausgewerteten meteorologischen Daten der Messstationen im Untersuchungsgebiet.</p>
<b>Durchführung der Positionen 3, 3a und 3b für das gesamte Stadtgebiet</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
s.o. zu Position 3	<p>Im gesamten Untersuchungsgebiet werden alle meteorologischen Parameter entsprechend den Positionen des Angebotes (ohne optionale Leistungen) berechnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlungs- und Lufttemperatur, Indices Anzahl der Sommer-, Hitzetage, tropische Nächte</li> <li>• Abkühlungsraten</li> <li>• Windfelder und Kaltluftvolumenströme</li> <li>• Ausweisung von Ventilationsbahnen</li> <li>• Rauigkeitslängen</li> <li>• Humanbiometeorologische Belastung anhand der Indices PMV (ggf. PET) und UTCI</li> </ul> <p>Soweit möglich erfolgt eine Verifizierung der Simulationsergebnisse anhand der zuvor ausgewerteten meteorologischen Daten der Messstationen im Untersuchungsgebiet.</p>
Position 3a : 3D-Videosimulation	Visualisierung der Ergebnisse in einem 3D Film (GIS-gestützt)
Position 3b: Lufthygiene	Übernahme von Informationen aus dem Luftreinhalteplan 2011. Auswertung und Einbindung in die Klimaanalyse

<b>Leistungsschritt 4: Zusammenfassende Klimaanalysekarte</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
Position 4 a: Entwickeln und Erstellen der Fachkarte Klimatope.	Zuordnung und Zusammenfassung der Flächennutzungsdaten des ISU in Verbindung mit den Auswertedaten des DLR entsprechend der „Ersterfassungskriterien“ der VDI 3785 Bl. 1 nach Klimatopzuordnungen. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuordnungen auf der Basis der Raster-Nutzungsdaten, Höhendaten und Strukturdaten, so dass auch einheitliche Blöcke/Blockteile wie Grünflächen (ISU-Typ 53) differenziert einzelnen Klimatopen zugeordnet werden können</li> <li>• Zuordnung der Rasterdaten auf die Block/-teilflächenebene der ISU5</li> </ul> Kartografische Darstellungen einschließlich Erläuterungstext.
Position 4 b: Entwickeln und Erstellen der Klimaanalysekarte	Zusammenfassen von Fachinhalten zu Stadtklimatischen Funktionen in der Klimaanalysekarte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereiche mit humanbiometeorologischer (und lufthygienischer) Belastung im Wirkungsraum , Ausweisung PMV oder PET und UTCI unter Beachtung der VDI-RL 3785 Bl.1</li> <li>• Durchlüftungsverhältnisse und Ventilationsbahnen im Siedlungsraum;</li> <li>• Kaltluftproduktion in den Kaltlufteinzugsgebieten im gesamten Projektraum;</li> <li>• Luftqualität im Ausgleichsraum (Indikator Verkehr);</li> <li>• Volumenströme der autochthonen Luftaustauschprozesse in den Kaltlufteinzugsgebieten;</li> <li>• Leitbahnbereiche für den autochthonen Luftaustausch,</li> <li>• Kaltluftreichweiten in die Bebauung, gesonderte                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Darstellung der Kaltlufteinwirkbereich in der Bebauung</li> <li>○ Darstellung von Bereichen mit empfindlichen Personengruppen bzw. Nutzungen</li> </ul> </li> </ul>

<b>Leistungsschritt 5: Planungshinweiskarte</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
Position 5 b: Erstellung der Planungshinweiskarte	<p>Ableiten von Planungshinweisen aus den Ergebnisse der Klimaanalyse entsprechend Legende zur VDI 3787 Bl. 1 und darüber hinausgehend, z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausweisung und Bewertung von Grün- und Siedlungsflächen</li> <li>• Begrünungspotential</li> <li>• Berücksichtigung weiterer Kriterien</li> <li>• Erstellung einer klimaökologischen Sollstruktur, Ausweisung von Tabuflächen</li> <li>• Entwicklung eine Kriterienkataloges für die Festlegung einer „Überarbeitungsrelevanz“ der Planungshinweise bei Nutzungsänderungen</li> </ul>
Position 5 a: 2- tägiger Workshop	Organisation und Durchführung eines zweigeteilten Workshops zur Thematik „Anforderungen klimaökologische Ausweisungen in der vorbereitenden und Verbindlichen Bauleitplanung“
<b>Leistungsschritt 6: Dokumentation und Datenweitergabe</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
Position 6 a: Aufbereitung und Übergabe der GIS-Daten und Erstellung von PDF-Karten	<p>Alle Geometrie- und Sachdaten werden übernahmegeeignet in zwei Versionen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Als vollständiges Desktop-Version sowie</li> <li>• Reduziert für die Online-Präsentation im Geoportal Berlin jeweils auf Basis von ArcGIS 10.X bereitgestellt.</li> </ul>
Position 6 b: Berichterstattung	Erstellung eines Abschlussberichtes
<b>Leistungsschritt 7: Internetauftritt Umweltatlas</b>	
<b>Arbeitsschritte</b>	<b>Methode / Vorgehensweise</b>
Umsetzung der Projektergebnisse für den Internetauftritt	<p>Erstellung einer digitalen deutschen und englischen Version, einstellfähig in den digitalen Umweltatlas unter Nutzung des style-guides und der html-Vorlagen des AG nach folgenden Kriterien</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Barrierefreiheit/Zugänglichkeit</li> <li>• Allgemeine Grundsätze (Seitengröße, Browserkompatibilität, Server-Side Includes, Datei- und Verzeichnisnamen, Javascript, Metatags etc.)</li> <li>• Eingesetzte Software und Technik</li> <li>• Technische Anforderungen</li> <li>• Gestalterische Vorgaben.</li> </ul>

## 2 Analyse langjähriger Messdaten ausgewählter Klimastationen

### 2.1 Allgemeines und Vorgehensweise

In städtischen Ballungsräumen entstehen durch anthropogene Einflüsse Stadtklimate, die sich unter anderem durch den Wärmeinseleffekt auszeichnen. Höhere Energieumsätze und dichte Bebauung verursachen in den Städten im Jahresmittel deutlich höhere Temperaturwerte als in der ländlichen Umgebung. Die allgemeine Erwärmung durch den Klimawandel hebt das Temperaturniveau nochmals an. Dies geschieht im städtischen wie ländlichen Bereich gleichermaßen, so dass die relativen Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land im Wesentlichen erhalten bleiben. Mit einem Anstieg des allgemeinen Temperaturniveaus werden vor allem in den Städten vermehrt humanbiometeorologisch belastende Temperaturwerte erreicht werden.

Der erste Teilabschnitt der Datenanalyse befasste sich mit langjährigen Mittelwerten von Klimaparametern für die hier betrachteten Messstationen. Damit sollen einerseits lokale Unterschiede in der Ausprägung klimatischer Kennwerte, als auch mögliche Trends in einer bereits eingesetzten Klimaentwicklung aufgezeigt werden. Anschließend wurden im Kapitel 3 Modellszenarien zu möglichen Klimaentwicklungen bis zum Ende des Jahrhunderts für drei Stationsstandorte in Berlin analysiert und bewertet.

Als Referenzperiode zur Analyse des Ist-Zustandes wurde das Zeitintervall von 1981 bis 2010 ausgewählt. Neben einer Auswertung von Monatsmittelwerten typischer Klimaparameter wurden auch die relativen Temperaturunterschiede der Jahresmittelwerte an den verschiedenen Messstationen aufgezeigt und der historische Verlauf der Lufttemperaturen im Raum Berlin für die unterschiedlichen Aufzeichnungszeiträume der einzelnen Stationen dargestellt. Als Datengrundlage wurden hierfür langjährige Messreihen von Klimakenngrößen der folgenden Stationen verwendet:

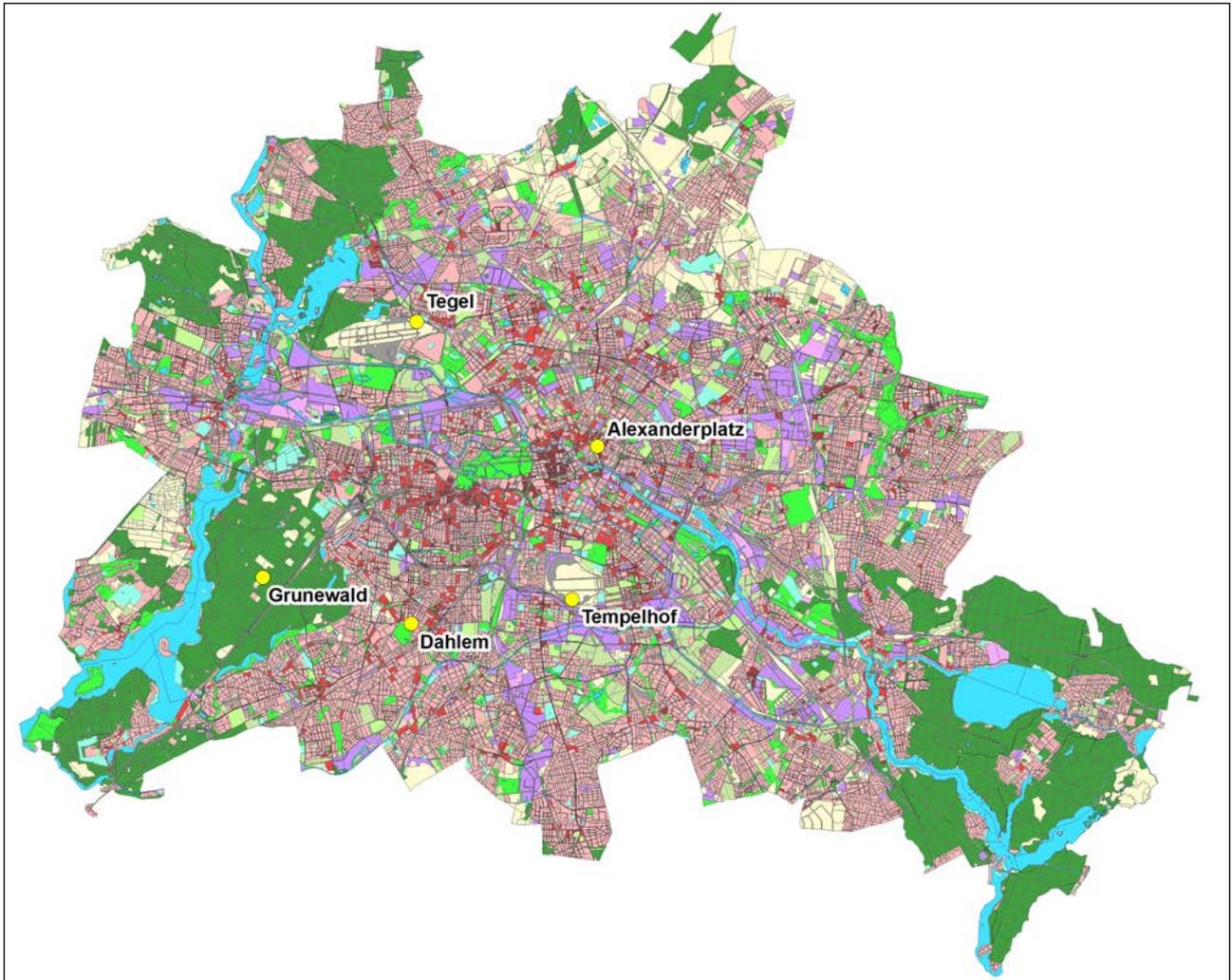
- Berlin-Tempelhof, Berlin-Tegel, Berlin-Alexanderplatz und Potsdam des Deutschen Wetterdienstes,
- Berlin-Dahlem der FU Berlin und
- Berlin-Grunewald aus dem Berliner Luftgüte-Messnetz (BLUME)

Abbildung 2.1 zeigt die räumliche Lage der ausgewerteten Berliner Messstationen im Stadtgebiet.

Im zweiten Abschnitt der Analyse der Messwerte lag der Focus auf sommerlichen Wetterlagen mit möglicher Wärmebelastung. Neben der Darstellung der zeitlichen Entwicklung der sommerlichen Temperaturen erfolgten auch statistische Auswertungen zu den Häufigkeiten von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten. Die Auswertungen umfassen weiterhin typische Tagesgänge an Sommertagen, anhand derer Anfangsbedingungen für die durchzuführenden Modellsimulationen festgelegt werden konnten und die Ergebnisse der Berechnungen punktuell überprüft werden können. Exemplarisch wurden für die Messreihe Berlin-Tempelhof die Auswertungen der Messdaten detailliert dokumentiert. Die wichtigsten Ergebnisse der im Weiteren ausführlich geschilderten Arbeiten sind als eigenes Umweltatlas-Thema online hier<sup>1</sup> verfügbar.

---

<sup>1</sup> <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i413.htm>



**Abb. 2.1:** Lage der ausgewerteten Berliner Klimastationen im Stadtgebiet von Berlin. Die Messtandorte sind durch gelbe Kreise gekennzeichnet. Die Station Potsdam liegt außerhalb des dargestellten Bereiches.

## 2.2 Langjährige Mittelwerte von Klimaparametern im Raum Berlin

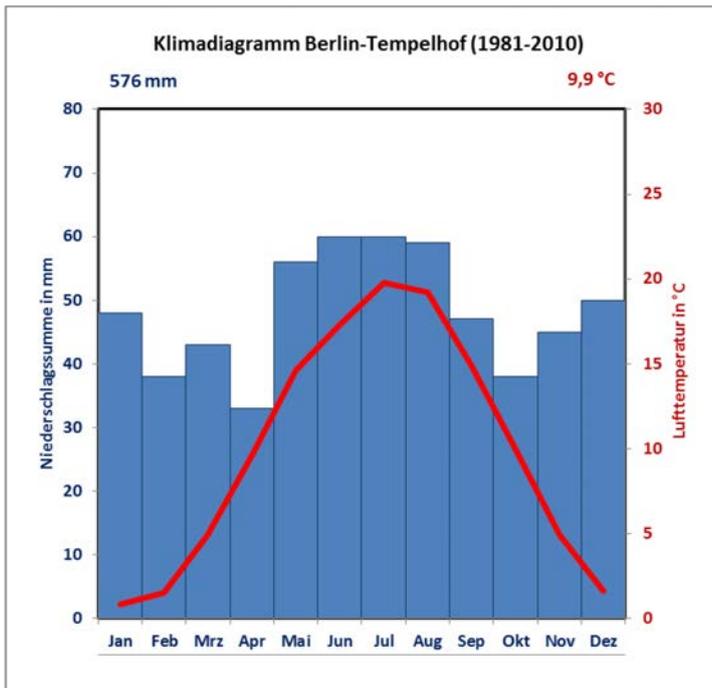
Im Folgenden wird zunächst der Ist-Zustand ausgewählter Klimaparameter an den einzelnen Stationen tabellarisch und graphisch dargestellt. Als Referenzperiode wurde, soweit Daten dazu vorlagen, das Zeitintervall von 1981 bis 2010 ausgewertet. Die Auswertungen der mittleren Windrichtungsverteilungen beziehen sich auf das 10-jährige Zeitintervall von 2001 bis 2010. Stundenwerte von Windrichtung und Windgeschwindigkeiten liegen für die Berliner Messstationen Tegel, Tempelhof, Dahlem und Grunewald vor.

### Berlin-Tempelhof

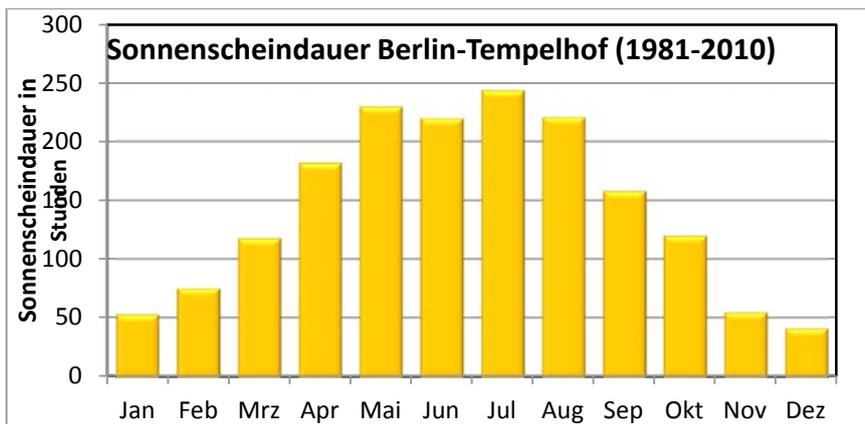
Der Messstandort Tempelhof des Deutschen Wetterdienstes liegt im innerstädtischen Bereich etwa 2,5 km südlich des Zentrums von Berlin am Südrand des durch Grün- und Freiflächen geprägten Tempelhofer Feldes (Koordinaten: 52°28'02" 13°28'02"). Die Windregistrierung erfolgt in einer Höhe von 10 m. Für die Station liegen seit 1948 Messwerte vor.

Berlin-Tempelhof 1981-2010													
Monatsmittelwerte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahresmittel
<b>Lufttemperaturen in 2m Höhe in °C</b>													
mittlere Lufttemperatur	0,8	1,5	4,9	9,6	14,6	17,3	19,8	19,2	14,9	10	4,9	1,6	<b>9,9</b>
höchstes Monatsmittel	5,5	6,7	8,3	13,5	16,8	20,5	24,4	22,3	18,5	13,1	8,2	5,7	<b>13,6</b>
mittleres Tagesmaximum	3,2	4,4	8,6	14,2	19,4	21,9	24,6	24,1	19,3	13,8	7,5	3,7	<b>13,7</b>
niedrigstes Monatsmittel	-6,9	-6,4	0,5	7,2	10,8	15,0	16,9	16,4	11,8	6,5	0,3	-4,0	<b>5,7</b>
mittleres Tagesmaximum	-1,9	-1,4	1,4	4,8	9,4	12,4	14,8	14,4	10,8	6,5	2,4	-0,8	<b>6,1</b>
Sommertage (Maximum ≥ 25 °C) Anzahl	0	0	0	0,8	4,2	7,9	13,9	12,9	3,1	0,1	0	0	<b>42,8</b>
Anzahl Hitzetage (Maximum ≥ 30 °C) Anzahl	0	0	0	0	0,4	1,7	4,6	2,9	0,1	0	0	0	<b>9,6</b>
Tropennächte (Minimum ≥ 20 °C) Anzahl	0	0	0	0	0	0,1	0,8	0,4	0	0	0	0	<b>1,5</b>
Frosttage (Minimum < 0 °C) Anzahl	17,4	16	10,7	2,3	0	0	0	0	0	1,6	8,6	16,5	<b>73,2</b>
Eistage (Maximum < 0 °C) Anzahl	7,8	4,8	0,6	0	0	0	0	0	0	0	1,1	6,3	<b>20,7</b>
<b>Sonnenscheindauer in Stunden</b>	<b>52</b>	<b>74</b>	<b>116</b>	<b>181</b>	<b>222</b>	<b>220</b>	<b>238</b>	<b>220</b>	<b>157</b>	<b>118</b>	<b>56</b>	<b>41</b>	<b>1.693</b>
<b>Niederschlag Summen in mm</b>	<b>48</b>	<b>38</b>	<b>43</b>	<b>33</b>	<b>56</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>59</b>	<b>47</b>	<b>38</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>576</b>

Tab. 2.1: Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Tempelhof (1981-2010), (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



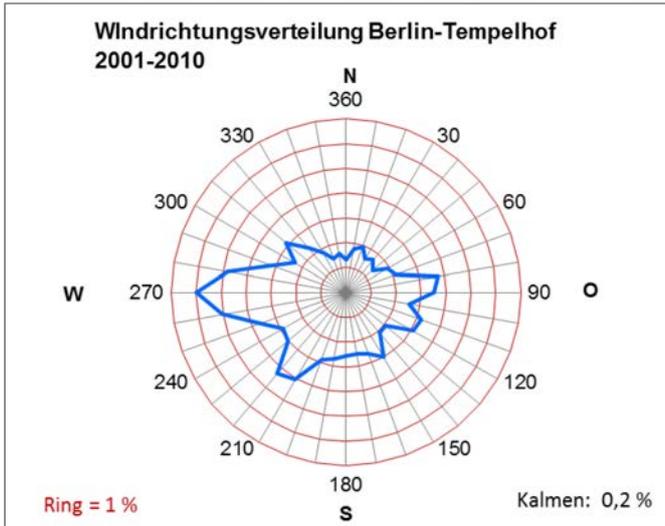
**Abb. 2.2:** Klimadiagramm Berlin-Tempelhof: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



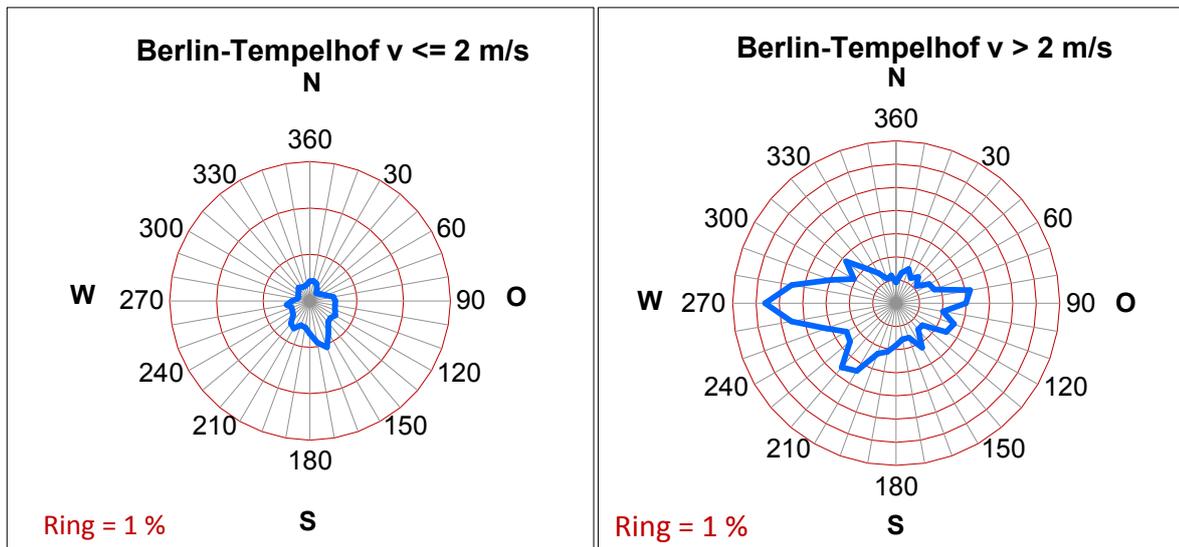
**Abb. 2.3:** Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Station Berlin-Tempelhof (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden Abbildungen zeigen Windrichtungsverteilungen an der Station Tempelhof im Zeitraum von 2001 bis 2010. Neben der mittleren langjährigen Windrichtungsverteilung wurden Verteilungen für Schwachwind Situationen mit Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s sowie Situationen mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 2 m/s ausgewertet. Demnach wurden windschwache Situationen in dem betrachteten Zeitraum in 17,5 % der Fälle registriert. Kalmen wurden in 0,2 % der Situationen beobachtet. Windgeschwindigkeiten mit mehr als 2 m/s traten in 82,5 % des ausgewerteten Zeitraums auf. Weiterhin wurden Windrichtungsverteilungen für das Sommer- und Winterhalbjahr ausgewertet. Für beide Halbjahre traten Winde aus 270° mit den größten Häufigkeiten auf. Während im Sommerhalbjahr Winde aus Osten das sekundäre Maximum bildeten, traten im Winterhalbjahr Winde aus südwestlichen Richtungen am zweithäufigsten auf.

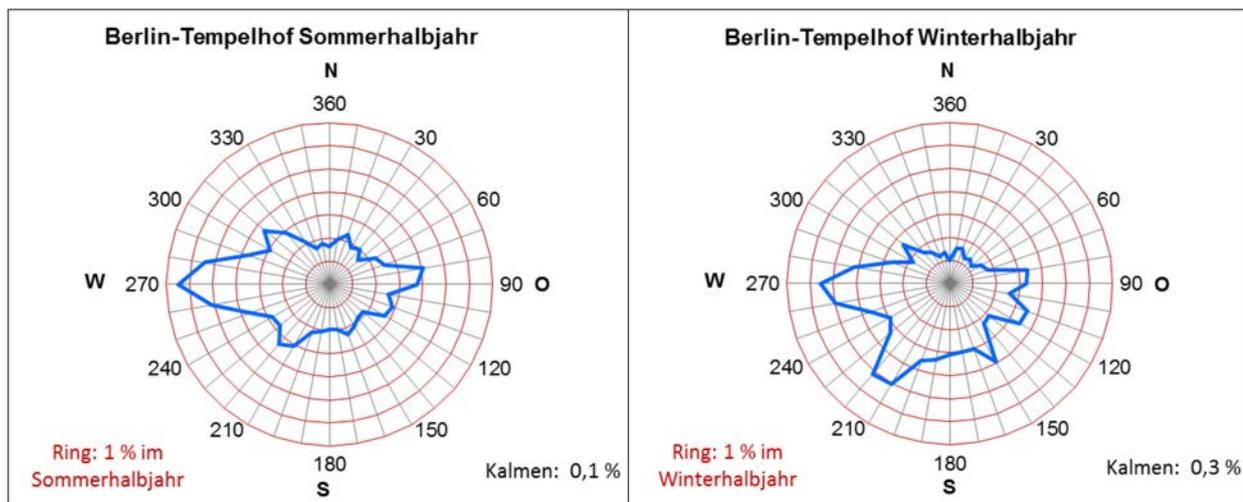
Die roten Ringlinien in den Diagrammen kennzeichnen die mittleren Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtung in dem jeweils betrachteten Zeitraum in Prozent. Der Abstand der Ringlinien beträgt jeweils 1 %.



**Abb. 2.4:** Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Klimastation Berlin-Tempelhof (Messhöhe 10 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 %. (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.5:** Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Klimastation Berlin-Tempelhof in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



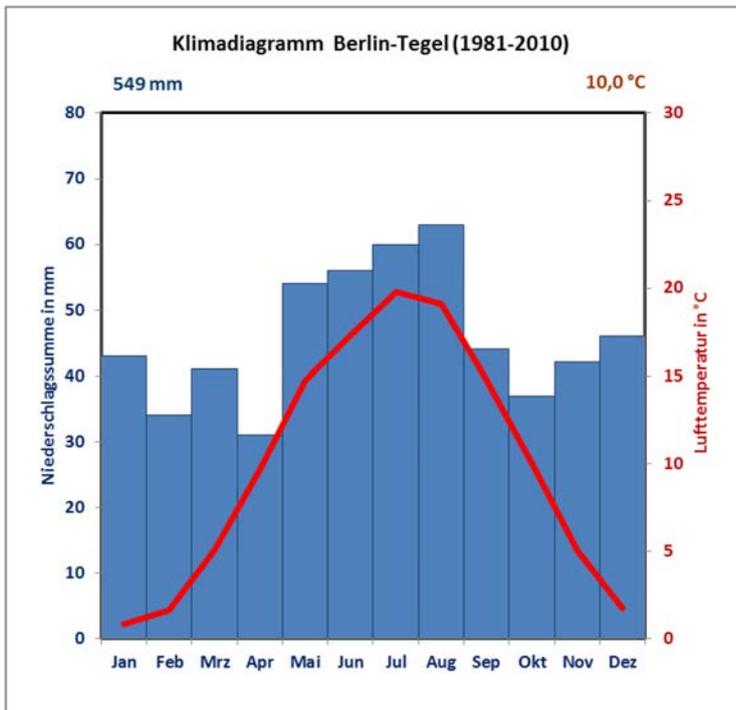
**Abb. 2.6:** Mittlere Häufigkeiten der Windrichtungen im Sommer- und Winterhalbjahr an der Klimastation Berlin-Tempelhof (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

## Berlin-Tegel

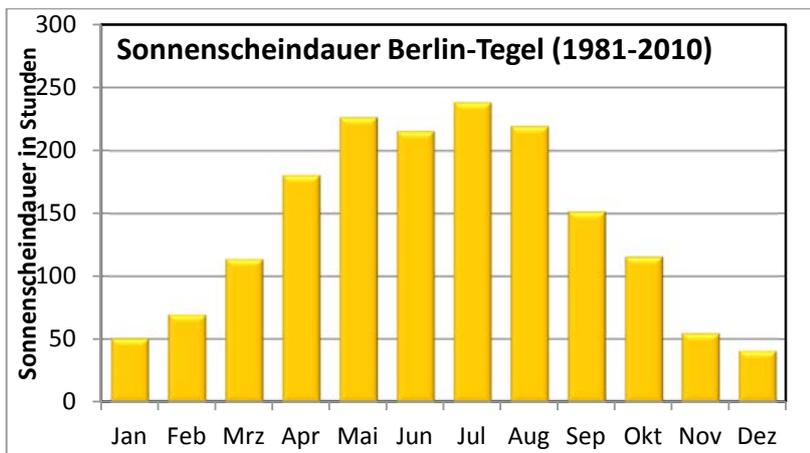
Die Flugwetterwarte Tegel liegt auf dem Flughafengelände Tegel im nordwestlichen Randbereich von Berlin (Koordinaten: 52°33'56"; 13°18'39"). Westlich und nordwestlich des Flughafens liegen Waldgebiete und die Havelseen, nach Osten grenzt dichte Bebauung an das Flughafengelände. Die Windregistrierung erfolgt in einer Höhe von 10 m. Für die Station liegen seit 1963 Messwerte vor.

Berlin-Tegel 1981-2010													
Monatsmittelwerte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahresmittel
<b>Lufttemperaturen in 2m Höhe in °C</b>													
mittlere Lufttemperatur	0,8	1,6	5	9,7	14,7	17,3	19,8	19,1	14,8	10,1	5	1,7	<b>10</b>
höchstes Monatsmittel	5,5	6,9	8,2	13,8	17,0	20,6	24,4	22,5	18,9	13,3	8,0	5,8	<b>13,7</b>
mittleres Tagesmaximum	3,2	4,5	8,7	14,4	19,5	22,0	24,6	24,1	19,3	13,9	7,6	3,7	<b>13,8</b>
niedrigstes Monatsmittel	-7,1	-6,7	0,4	7,2	10,7	14,9	16,9	16,3	11,9	6,5	0,7	-4,1	<b>5,6</b>
mittleres Tagesmaximum	-1,8	-1,4	1,3	4,7	9,3	12,3	14,7	14,3	10,6	6,5	2,4	-0,7	<b>6,0</b>
Sommertage (Maximum ≥ 25 °C) Anzahl	0	0	0	0,9	4,5	7,7	13,8	12,9	3,3	0,1	0	0	<b>43,3</b>
Anzahl Hitzetage (Maximum ≥ 30 °C) Anzahl	0	0	0	0	0,4	1,6	4,5	2,8	0,1	0	0	0	<b>9,4</b>
Tropennächte (Minimum ≥ 20 °C) Anzahl	0	0	0	0	0	0,2	1,6	0,5	0	0	0	0	<b>2,3</b>
Frosttage (Minimum < 0 °C) Anzahl	17,1	16,4	10,8	3,2	0,1	0	0	0	0	1,9	8,2	16,2	<b>73,8</b>
Eistage (Maximum < 0 °C) Anzahl	7,4	4,7	0,6	0	0	0	0	0	0	0	1,1	6,2	<b>20</b>
<b>Sonnenscheindauer in Stunden</b>	<b>51</b>	<b>70</b>	<b>114</b>	<b>181</b>	<b>227</b>	<b>216</b>	<b>239</b>	<b>220</b>	<b>152</b>	<b>116</b>	<b>55</b>	<b>41</b>	<b>1682</b>
<b>Niederschlag Summen in mm</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>54</b>	<b>56</b>	<b>60</b>	<b>63</b>	<b>44</b>	<b>37</b>	<b>42</b>	<b>46</b>	<b>549</b>

**Tab. 2.2:** Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Tegel (1981-2010) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.7:** Klimadiagramm Berlin-Tegel: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

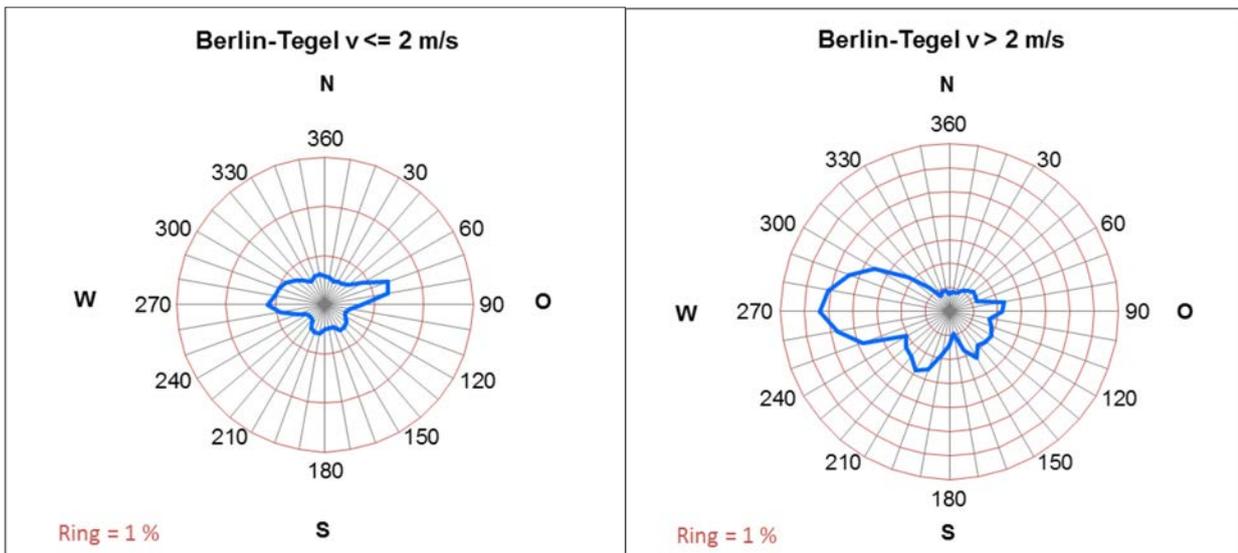


**Abb. 2.8:** Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Klimastation Berlin-Tegel (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden Abbildungen zeigen Windrichtungsverteilungen an der Flugwetterwarte Tegel im Zeitraum von 2001 bis 2010. Neben der mittleren langjährigen Windrichtungsverteilung wurden Verteilungen für Schwachwindsituationen mit Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s sowie Situationen mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 2 m/s ausgewertet. Demnach wurden windschwache Situationen in dem betrachteten Zeitraum in 24,6 % der Fälle registriert. Kalmen wurden in 0,6 % der Situationen beobachtet. Windgeschwindigkeiten mit mehr als 2 m/s traten in 75,4 % des ausgewerteten Zeitraums auf. Die roten Ringlinien in den Diagrammen kennzeichnen die mittleren Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtung in dem jeweils betrachteten Zeitraum in Prozent. Der Abstand der Ringlinien beträgt jeweils 1 %.



**Abb. 2.9:** Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Flugwetterwarte Berlin-Tegel (Messhöhe 10 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 % (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



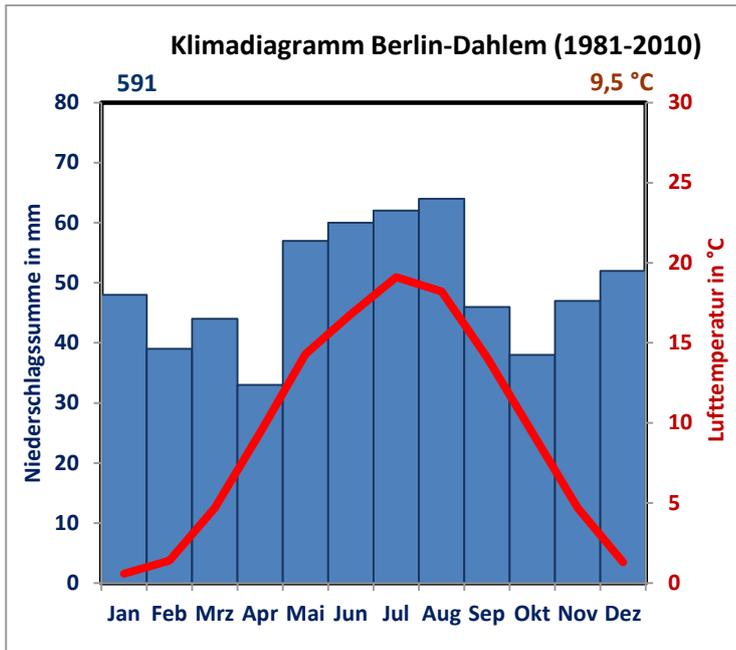
**Abb. 2.10:** Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Flugwetterwarte Berlin-Tegel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

## Berlin-Dahlem

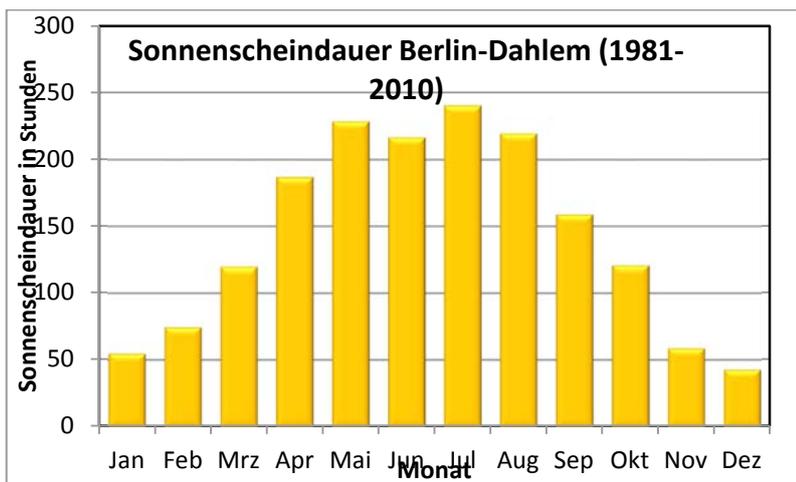
Die Messstation des meteorologischen Instituts der Freien Universität Berlin liegt im locker bebauten Villenviertel des Stadtteils Dahlem im Südwesten Berlins (Koordinaten: 52°27'28“, 13°18'37“). Die Messhütte für die Temperaturregistrierung wird zeitweilig durch Bäume und Gebäude beschattet. Die Windregistrierung erfolgt oberhalb eines Gebäudes in einer Höhe von 26 m über Grund. Für die Station liegen seit 1963 Messwerte vor.

Berlin-Dahlem 1981-2010													
Monatsmittelwerte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahresmittel
<b>Lufttemperaturen in 2m Höhe in °C</b>													
mittlere Lufttemperatur	0,6	1,4	4,7	9,4	14,3	16,8	19,1	18,2	14,1	9,4	4,7	1,3	<b>9,5</b>
höchstes Monatsmittel	5,4	6,2	7,9	13,2	16,4	20,3	23,2	21,3	17,8	12,4	7,5	5,5	<b>13,1</b>
mittleres Tagesmaximum	3,0	4,4	8,7	14,6	19,5	21,9	24,4	23,9	19,1	13,7	7,3	3,4	<b>13,7</b>
niedrigstes Monatsmittel	-6,9	-6,3	0,4	7,0	10,5	14,3	16,2	15,7	11,5	6,0	0,6	-4,7	<b>5,4</b>
mittleres Tagesmaximum	-2,0	-1,5	1,1	4,4	8,8	11,5	13,9	13,3	9,8	5,8	2,0	-1,0	<b>5,5</b>
Sommertage (Maximum $\geq 25$ °C) Anzahl	0	0	0	0,9	4,7	7,9	13,4	12,4	3,2	0,1	0	0	<b>42,6</b>
Anzahl Hitzetage (Maximum $\geq 30$ °C) Anzahl	0	0	0	0	0,5	1,6	4,2	2,6	0,1	0	0	0	<b>9</b>
Tropennächte (Minimum $\geq 20$ °C) Anzahl	0	0	0	0	0	0	0,3	0,1	0	0	0	0	<b>1,4</b>
Frosttage (Minimum $< 0$ °C) Anzahl	18,1	16,9	11,6	3,3	0,1	0	0	0	0	2,3	8,9	17,4	<b>78,5</b>
Eistage (Maximum $< 0$ °C) Anzahl	8	4,6	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,2	6,6	<b>20,8</b>
<b>Sonnenscheindauer in Stunden</b>	<b>55</b>	<b>75</b>	<b>120</b>	<b>187</b>	<b>229</b>	<b>217</b>	<b>241</b>	<b>220</b>	<b>159</b>	<b>121</b>	<b>59</b>	<b>43</b>	<b>1.726</b>
<b>Niederschlag Summen in mm</b>	<b>48</b>	<b>39</b>	<b>44</b>	<b>33</b>	<b>57</b>	<b>60</b>	<b>62</b>	<b>64</b>	<b>46</b>	<b>38</b>	<b>47</b>	<b>52</b>	<b>591</b>

**Tab. 2.3:** Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Dahlem (1981-2010) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

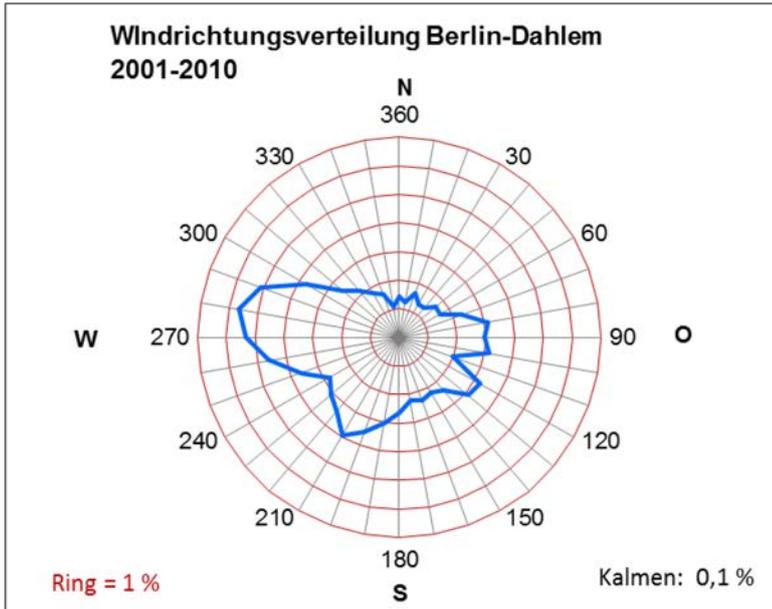


**Abb. 2.11:** Klimadiagramm Berlin-Dahlem: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

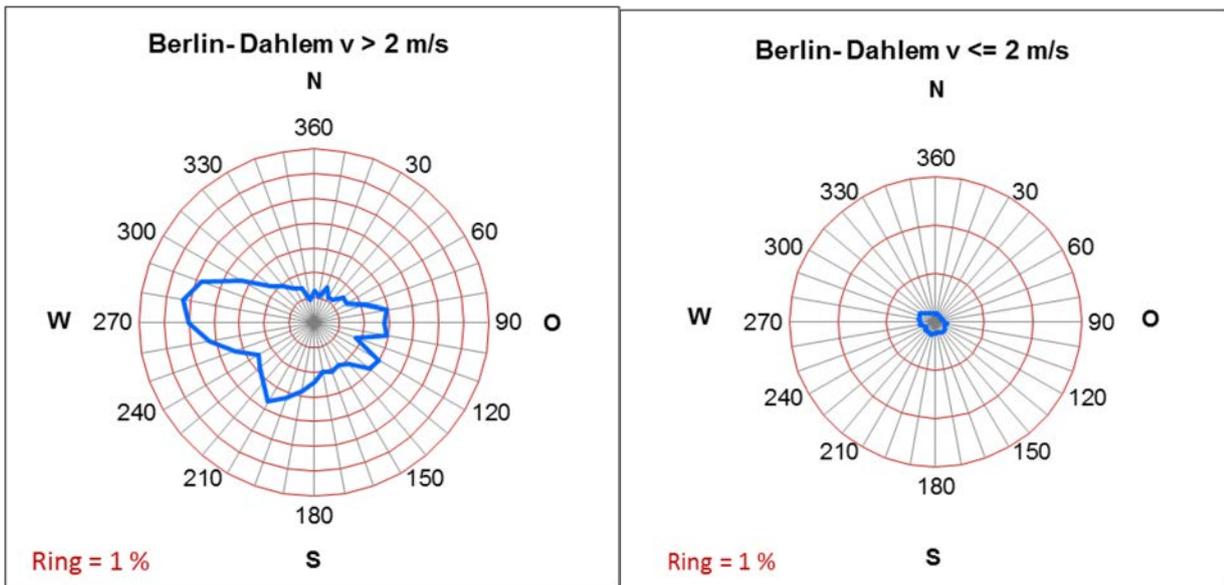


**Abb. 2.12:** Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Station Berlin-Dahlem (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden Abbildungen zeigen Windrichtungsverteilungen an der Messstation Berlin-Dahlem im Zeitraum von 2001 bis 2010. Neben der mittleren langjährigen Windrichtungsverteilung wurden Verteilungen für Schwachwindsituationen mit Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s sowie Situationen mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 2 m/s ausgewertet. Die Windregistrierungen erfolgen in einer Höhe von 26 m. Windschwache Situationen traten in dieser Messhöhe in dem betrachteten Zeitraum in nur 8,5 % der Fälle auf. Kalmen wurden in 0,1 % der Situationen beobachtet. Windgeschwindigkeiten mit mehr als 2 m/s traten in 91,5 % des ausgewerteten Zeitraums auf. Die roten Ringlinien in den Diagrammen kennzeichnen die mittleren Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtung in dem betrachteten Zeitraum in Prozent. Der Abstand der Ringlinien beträgt jeweils 1 %.



**Abb. 2.13:** Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Messstation Berlin-Dahlem (Messhöhe 26 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 % (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.14:** Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Messstation Berlin-Dahlem in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

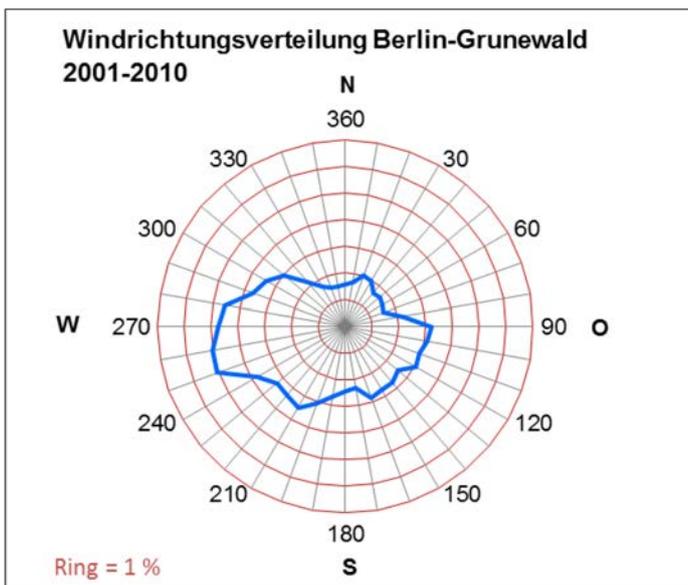
## Berlin-Grunewald

Die Messstation Grunewald nimmt unter den hier ausgewerteten Berliner Stationen eine Sonderstellung ein. Die Station des Berliner Luftgüte-Messnetzes BLUME befindet sich innerhalb eines etwa 20 m hohen, lichten Kiefernbestandes im Grunewald (Koordinaten: 52.2824, 13.1330). Lufttemperatur und –feuchtigkeit werden in Höhen von 2 und 18 m über Grund registriert, die Windmessungen erfolgen in einer Höhe von 27 m und damit in etwa 7 m über dem Kronenniveau der Bäume. Die Messungen der meteorologischen Parameter spiegeln somit das lokale Klima des angrenzenden Waldes wieder. Aufgrund des Standortes weist das langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur die niedrigsten Werte der hier betrachteten Berliner Stationen auf. Von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt wurden für die Station Grunewald ab 1988 meteorologische Messwerte bereitgestellt. Abweichend von den anderen Auswertungen beziehen sich die ausgewiesenen Monatsmittelwerte daher auf den 25-jährigen Zeitraum von 1988 bis 2012.

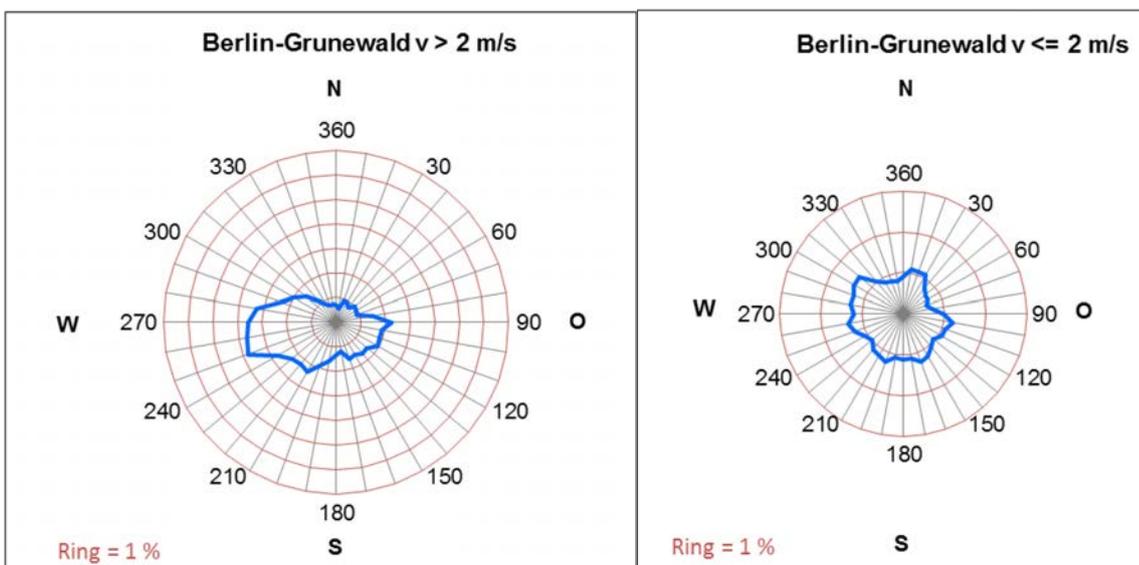
Berlin-Grunewald 1988-2012													
Monatsmittelwerte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahresmittel
<b>Lufttemperaturen in 2m Höhe in °C</b>													
mittlere Lufttemperatur	0,8	1,6	4,7	9,3	13,3	15,5	17,6	16,6	13,3	8,9	4,1	1,3	<b>8,9</b>
höchstes Monatsmittel	5,8	5,6	8,0	13,9	15,9	19,3	23,1	20,6	17,5	12,6	7,9	6,0	<b>13,0</b>
mittleres Tagesmaximum	2,9	4,4	8,6	14,6	18,5	20,0	22,3	21,2	17,4	12,5	6,3	3,1	<b>12,7</b>
niedrigstes Monatsmittel	-4,2	-3,3	0,9	6,4	9,6	13,5	15,5	15,9	10,6	5,7	0,4	-4,3	<b>5,6</b>
mittleres Tagesmaximum	-1,4	-1,2	1,0	4,0	7,9	10,6	13,0	12,2	9,5	5,6	1,9	-0,8	<b>5,2</b>
Sommertage (Maximum $\geq 25$ °C) Anzahl	0	0	0	1,4	4,2	6	10,8	8,8	1,8	0	0	0	<b>33</b>
Anzahl Hitzetage (Maximum $\geq 30$ °C) Anzahl	0	0	0	0,4	0,4	1	3,3	1,7	0,04	0	0	0	<b>6,5</b>
Tropennächte (Minimum $\geq 20$ °C) Anzahl	0	0	0	0	0	0,04	0,4	0,04	0	0	0	0	<b>0,48</b>
Frosttage (Minimum $< 0$ °C) Anzahl	16,3	16,1	12,5	5,1	0,2	0	0	0	0	3,2	8,9	15,8	<b>78,1</b>
Eistage (Maximum $< 0$ °C) Anzahl	7,2	4,4	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,4	6,1	<b>19,6</b>

**Tab. 2.4:** Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Grunewald (1988-2012), (Datenbereitstellung durch SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden Abbildungen zeigen Windrichtungsverteilungen an der Messstation Berlin-Grunewald im Zeitraum von 2001 bis 2010. Neben der mittleren langjährigen Windrichtungsverteilung wurden Verteilungen für Schwachwindsituationen mit Geschwindigkeiten bis zu 2 m/s sowie Situationen mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 2 m/s ausgewertet. Windschwache Situationen traten in dieser Messhöhe in dem betrachteten Zeitraum in 38,1 % der Fälle auf. Windgeschwindigkeiten mit mehr als 2 m/s traten in 61,9 % der Zeit auf. Aufgrund der Messungen in einer Höhe von nur etwa 7 Metern über dem 20 m hohen Baumbestand wurden von den ausgewerteten Stationen hier die niedrigsten Windgeschwindigkeiten registriert. Die roten Ringlinien in den Diagrammen kennzeichnen die mittleren Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtung in dem betrachteten Zeitraum in Prozent. Der Abstand der Ringlinien beträgt jeweils 1 %.



**Abb. 2.15:** Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Messstation Berlin-Grundwald (Messhöhe 27 m, ca. 7 m über 20 m hohem Baumbestand), (Datenbereitstellung SenStadt, bearbeitet GEO-NET).



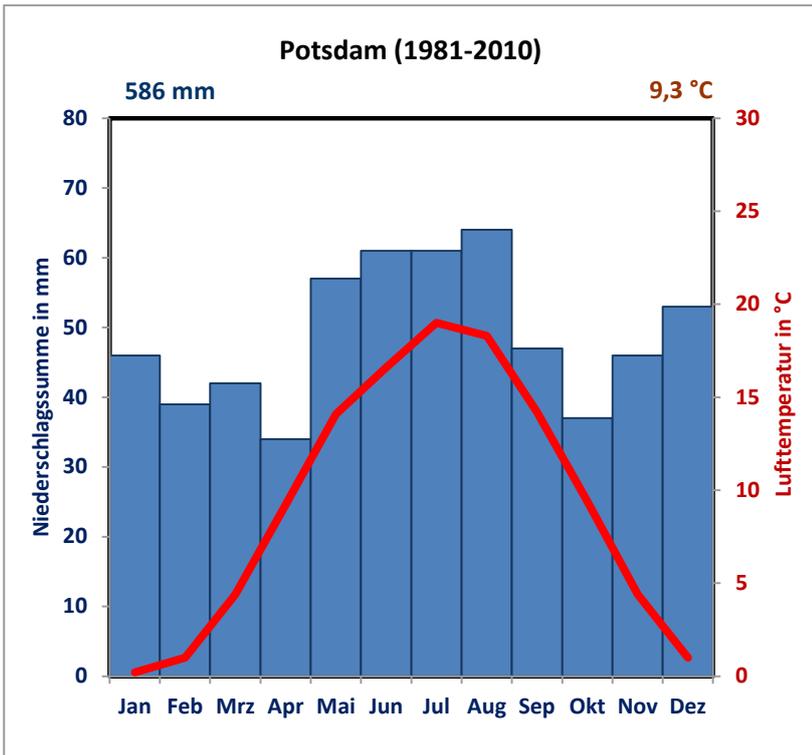
**Abb. 2.16:** Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Messstation Berlin-Grundwald in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datenbereitstellung SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).

## Potsdam

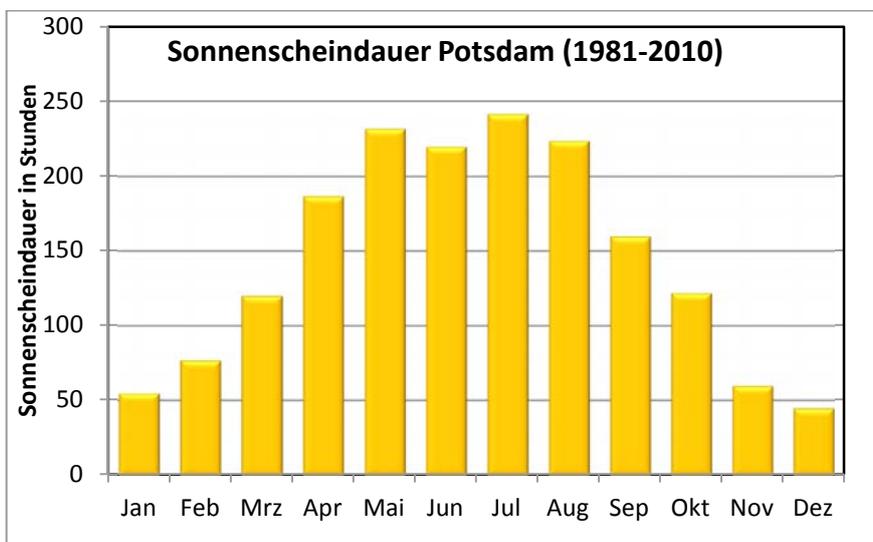
Die Messstation liegt etwa 600 m südlich des Stadtrandes von Potsdam auf einer Lichtung innerhalb eines Waldgebietes (Koordinaten: 52°22'52"; 13°03'44"). Für die Station liegen seit 1893 Messwerte vor.

Potsdam 1981-2010													
Monatsmittelwerte	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahresmittel
<b>Lufttemperaturen in 2m Höhe in °C</b>													
mittlere Lufttemperatur	0,2	1	4,4	9,2	14,1	16,6	19	18,3	14,2	9,4	4,4	1	<b>9,3</b>
höchstes Monatsmittel	5,0	6,2	7,6	13,2	16,1	19,8	23,6	21,1	17,9	12,5	7,4	5,2	<b>13,0</b>
mittleres Tagesmaximum	2,8	4,3	8,8	14,8	19,8	22,1	24,7	24,2	19,3	13,7	7,1	3,2	<b>13,7</b>
niedrigstes Monatsmittel	-7,3	-7,2	-0,3	6,6	10,3	14,3	16,0	15,5	11,2	6,0	0,0	-4,5	<b>5,1</b>
mittleres Tagesmaximum	-2,5	-2,0	0,7	4,1	8,7	11,6	13,9	13,6	10,1	5,9	1,7	-1,4	<b>5,4</b>
Sommertage (Maximum $\geq 25$ °C) Anzahl	0	0	0	1,2	5,3	8,5	13,8	13,6	3,4	0,1	0	0	<b>45,9</b>
Anzahl Hitzetage (Maximum $\geq 30$ °C) Anzahl	0	0	0	0,1	0,6	1,8	4,9	3,2	0,1	0	0	0	<b>10,7</b>
Tropennächte (Minimum $\geq 20$ °C) Anzahl	0	0	0	0	0	0,03	0,3	0,13	0	0	0	0	<b>0,5</b>
Frosttage (Minimum $< 0$ °C) Anzahl	19,2	18,2	12,8	3,4	0	0	0	0	0	1,9	10	18,4	<b>83,8</b>
Eistage (Maximum $< 0$ °C) Anzahl	8,2	4,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	1,4	7,1	<b>22</b>
<b>Sonnenscheindauer in Stunden</b>	<b>55</b>	<b>77</b>	<b>120</b>	<b>187</b>	<b>232</b>	<b>220</b>	<b>242</b>	<b>224</b>	<b>160</b>	<b>122</b>	<b>60</b>	<b>45</b>	<b>1742</b>
<b>Niederschlag Summen in mm</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>42</b>	<b>34</b>	<b>57</b>	<b>61</b>	<b>61</b>	<b>64</b>	<b>47</b>	<b>37</b>	<b>46</b>	<b>53</b>	<b>586</b>

Tab. 2.5: Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Dahlem (1981-2010) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.17:** Klimadiagramm Potsdam: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

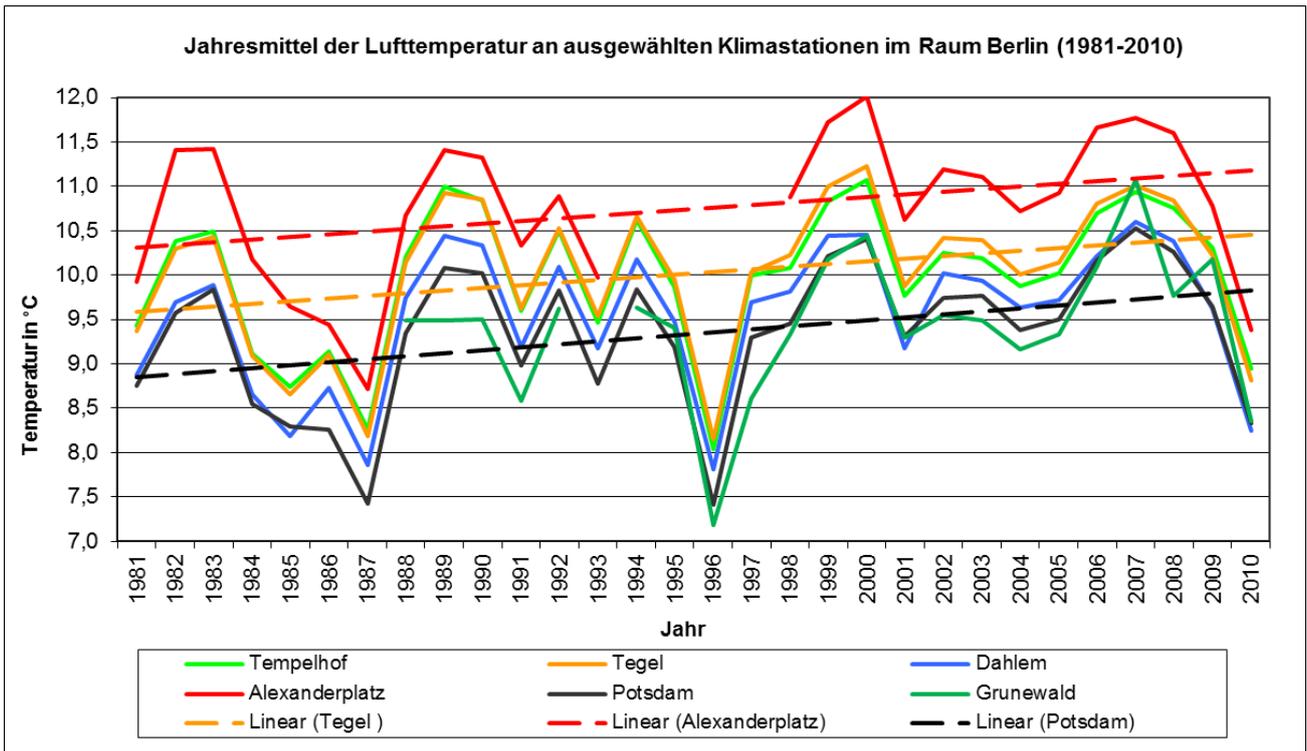


**Abb. 2.18:** Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Station Potsdam (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

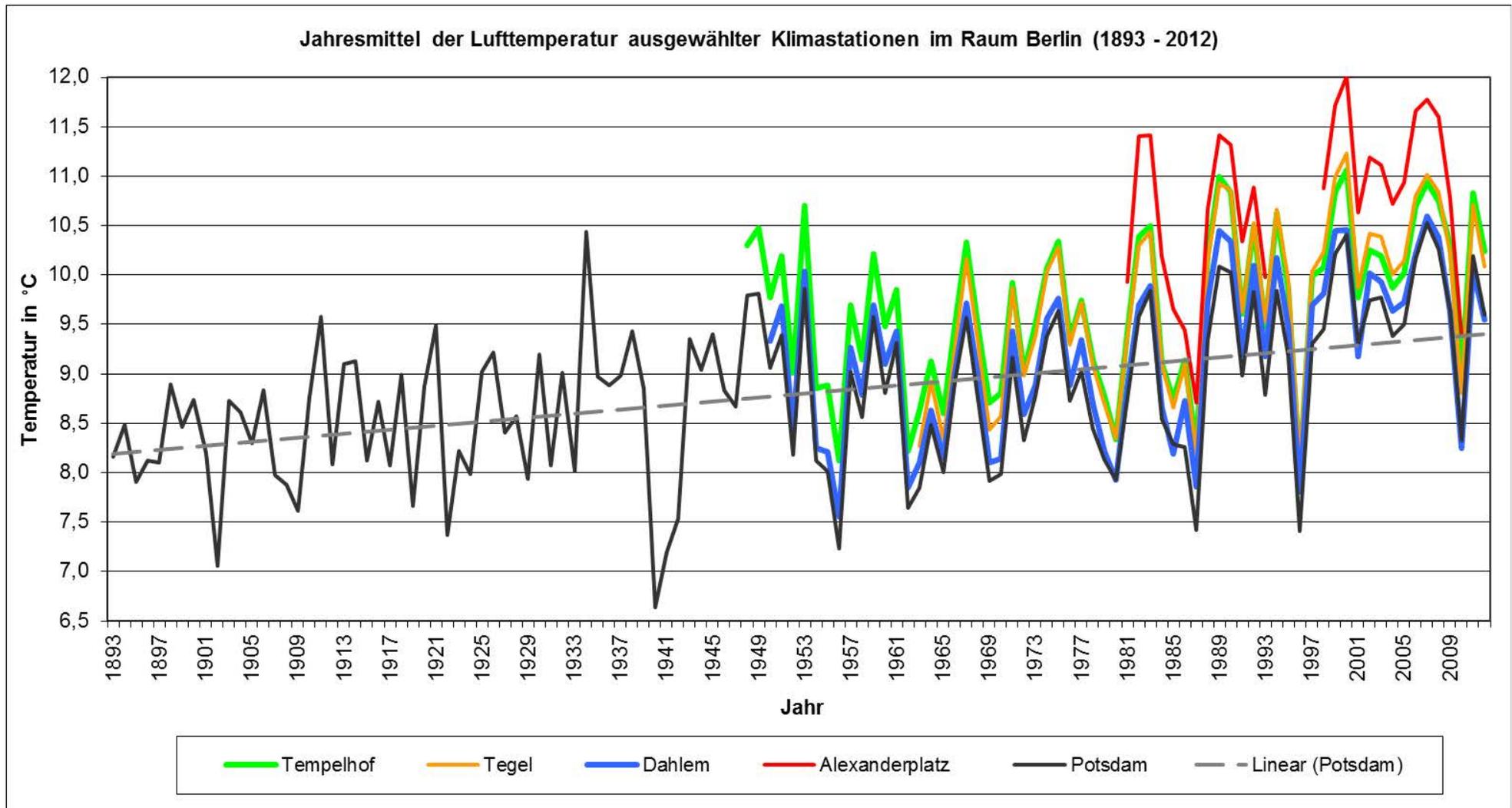
Die relativen Temperaturunterschiede der Messstationen für den hier gewählten Referenzzeitraum von 1981 bis 2010 verdeutlicht Abbildung 2.19. Für die Station Grunewald liegen erst ab 1988 Messwerte vor. Zusätzlich zu den Jahresmittelwerten der Lufttemperatur ist für die Stationen Alexanderplatz, Tegel und Potsdam der lineare Trend der Jahresmittelwerte als gestrichelte Linie dargestellt. An der Messstation Alexanderplatz traten im Zeitraum von 1992 bis 1998 häufiger Ausfälle auf, so dass diese Jahre in der Darstellung der Jahresmittelwerte nicht aufgeführt sind. Abbildung 2.20 zeigt den historischen Verlauf der Lufttemperaturen in der Region Berlin für die unterschiedlichen Aufzeichnungszeiträume der einzelnen Messstationen.

In der zeitlichen Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen zeigen sich bereits deutliche Unterschiede im Temperaturniveau der einzelnen Standorte. An der innerhalb eines lichten Kiefernbestandes gelegenen Messstation Grunewald wurden in der Regel die niedrigsten Jahresmittel der Lufttemperatur aufgezeichnet. Die Messungen an dieser Station kennzeichnen die klimatische Situation in dem angrenzenden Waldgebiet. Die Stationen Dahlem und Potsdam charakterisieren den städtischen Randbereich bzw. das stadtnahe Umland und weisen ein ähnlich niedriges Temperaturniveau auf, während die Station Alexanderplatz die innerstädtische Situation mit dichter Bebauung und hohem Versiegelungsgrad repräsentiert. Die Messstandorte Tegel und Tempelhof nehmen von ihrer räumlichen Lage wie auch dem Temperaturniveau eine Zwischenstellung ein. In ihrer zeitlichen Entwicklung bleibt die relative Temperaturdifferenz der Stationen untereinander weitestgehend erhalten. An der Station Potsdam wurden größtenteils die niedrigsten Jahresmittelwerte gemessen, in einzelnen Jahren wird das Jahresmittel von den in Dahlem gemessenen Temperaturen geringfügig unterschritten. Die Jahresmitteltemperaturen von Tegel und Tempelhof liegen auf einem vergleichbaren Niveau. Während die Temperaturen an der Station Tegel bis Anfang der 70er Jahre durchweg unter den in Tempelhof gemessenen Temperaturen lagen, unterscheiden sich die Messwerte danach bis Anfang der 90er Jahre kaum. Ab Mitte der 90er Jahre liegen die in Tempelhof gemessenen Temperaturen eher unterhalb des Temperaturniveaus der Station Tegel.

In den folgenden Kapiteln werden die Messreihen der einzelnen Stationen detaillierter betrachtet.



**Abb. 2.19:** Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in der 30-jährigen Periode von 1981 bis 2010 an ausgewählten Berliner Messstationen und der Station Potsdam. Die gestrichelten Linien stellen den linearen Trend einzelner Messreihen dar (Datengrundlage DWD, SenStadt; bearbeitet GEO-NET).



**Abb.2.20:** Jahresmittelwerte der Lufttemperatur an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam (Zeitreihen entsprechen ihrer Verfügbarkeit). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend der Messreihe Potsdam (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

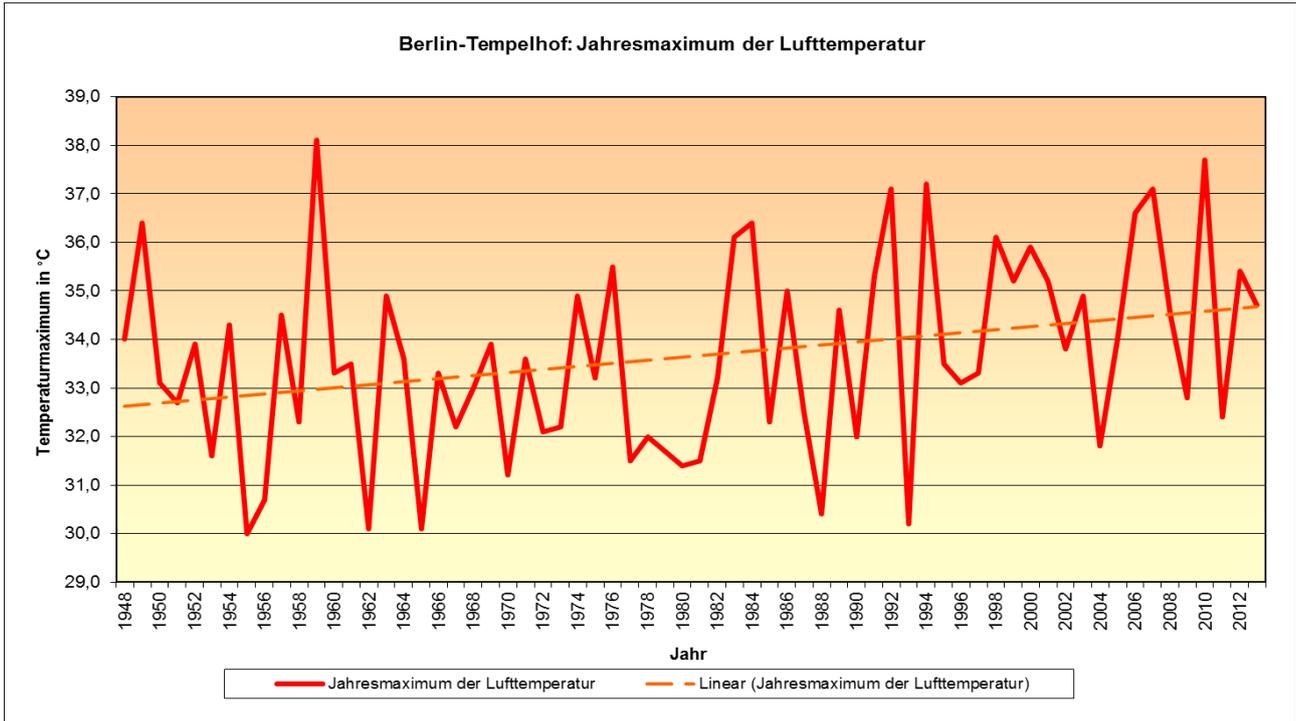
## 2.2 Messreihen der Station Berlin-Tempelhof für den Zeitraum 1948 bis 2013

Der Messstandort Tempelhof des Deutschen Wetterdienstes liegt im innerstädtischen Bereich auf dem durch Grün- und Freiflächen geprägten Tempelhofer Feld. Das Temperaturniveau am Messstandort ist bereits vergleichsweise hoch und spiegelt den städtischen Wärmeinseleffekt wieder. Exemplarisch werden für die Messreihe Berlin-Tempelhof die Auswertungen der Daten detailliert dokumentiert.

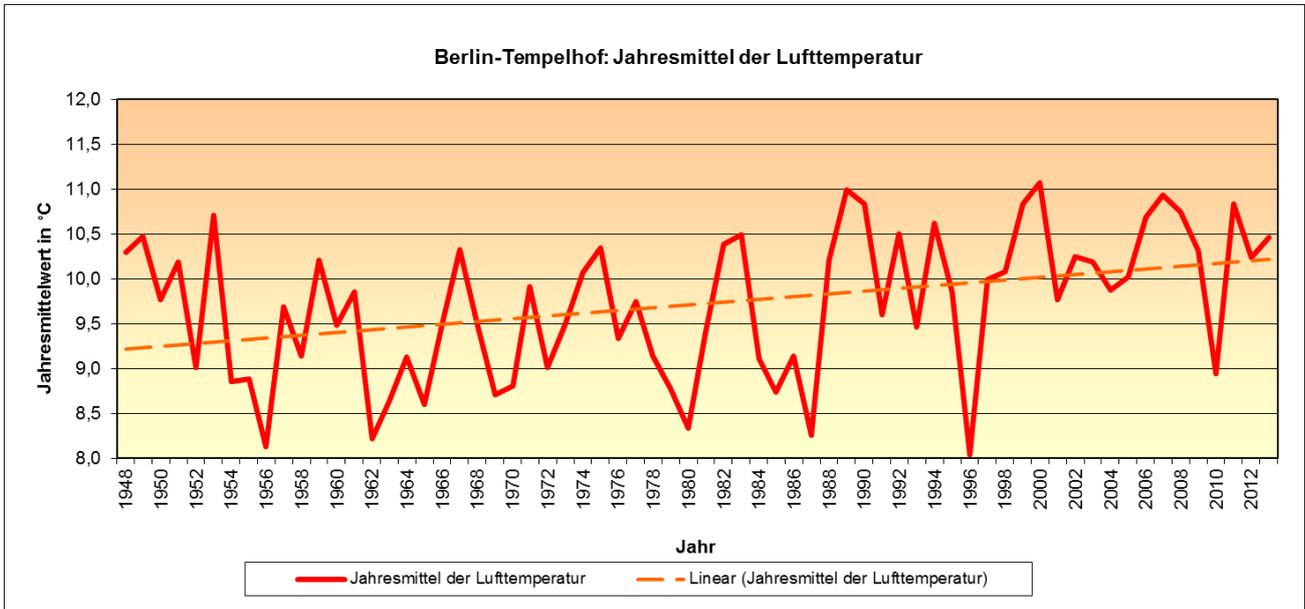
### 2.2.1 Entwicklung der Lufttemperaturen in 2 m Höhe im Zeitraum 1948 bis 2013

Die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in 2m Höhe zeigen in der Aufzeichnungsperiode von 1948 bis 2013 einen deutlichen Anstieg des mittleren Temperaturniveaus. Diese Tendenz lässt sich ebenso in der Entwicklung der innerhalb eines Jahres aufgetretenen Maximalwerte der Lufttemperatur wiederfinden. Während hohe Maximaltemperaturen auch schon vereinzelt zu Beginn der Messreihe registriert wurden, treten im Laufe der Zeit überdurchschnittlich hohe sommerliche Tagesmaxima mit größeren Häufigkeiten auf. Die höchsten Temperaturen der Messreihe wurden mit 38,1 °C im Sommer 1959 registriert. Eine Höchsttemperatur von mindestens 30 °C wurde in jedem Jahr der Aufzeichnungsperiode erreicht. Der lineare Trend für die zeitliche Entwicklung des Jahresmaximums der Lufttemperatur weist eine größere Steigung auf als der Trend der Jahresmitteltemperaturen.

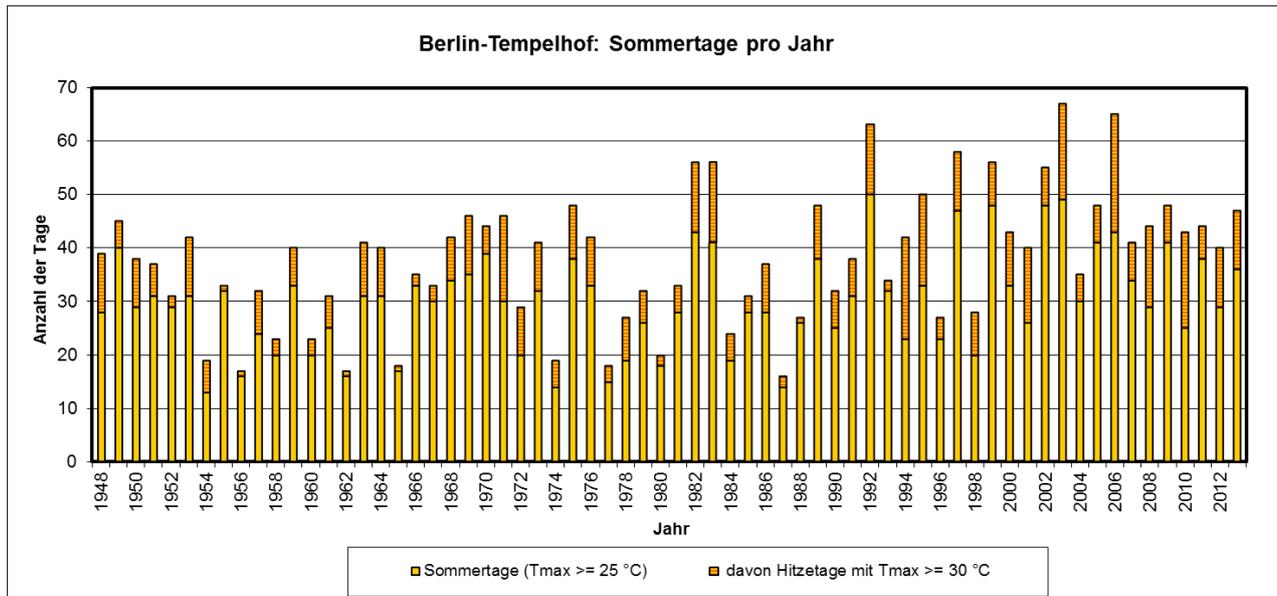
Sogenannte Sommertage, an denen das Maximum der Lufttemperatur einen Wert von mindestens 25 °C erreicht, traten bis zum Anfang der 80er Jahre an maximal 48 Tagen im Jahr auf. Im Zeitraum von 1982 bis 2006 wurden dagegen in 8 Jahren mindestens 50 Sommertage pro Jahr registriert. Die höchste Anzahl an Sommertagen wurde mit 67 Tagen im Jahr 2003 erreicht, der Sommer 1987 hatte mit nur 16 Sommertagen die geringste Anzahl an Sommertagen. Abbildung 2.23 zeigt graphisch die Häufigkeit mit der Sommertage in der Aufzeichnungsperiode aufgetreten sind. Dabei wurde die Anzahl sogenannter Hitzetage, an denen das Temperaturmaximum in 2 m Höhe mindestens einen Wert von 30 °C erreicht, zusätzlich farblich gekennzeichnet.



**Abb. 2.21:** Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in 2m Höhe an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.22:** Jährliches Maximum der Lufttemperatur in 2m Höhe an der Station Tempelhof (1948 – 2013). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.23:** Anzahl der Sommertage pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof (1948 – 2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

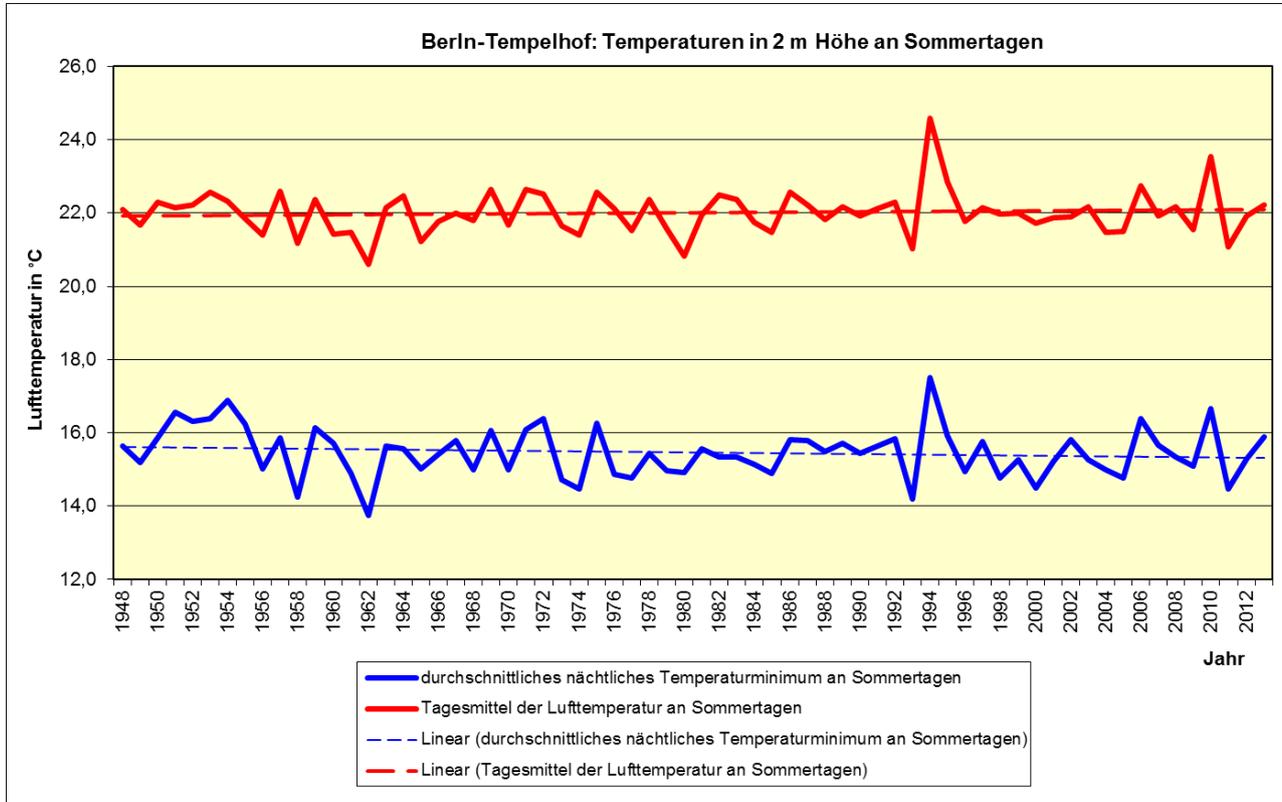
Da vor allem die sommerlichen Situationen häufig mit humanbiometeorologischen Belastungen verbunden sind, werden im Weiteren Sommertage genauer analysiert.

## 2.2.2 Sommertage

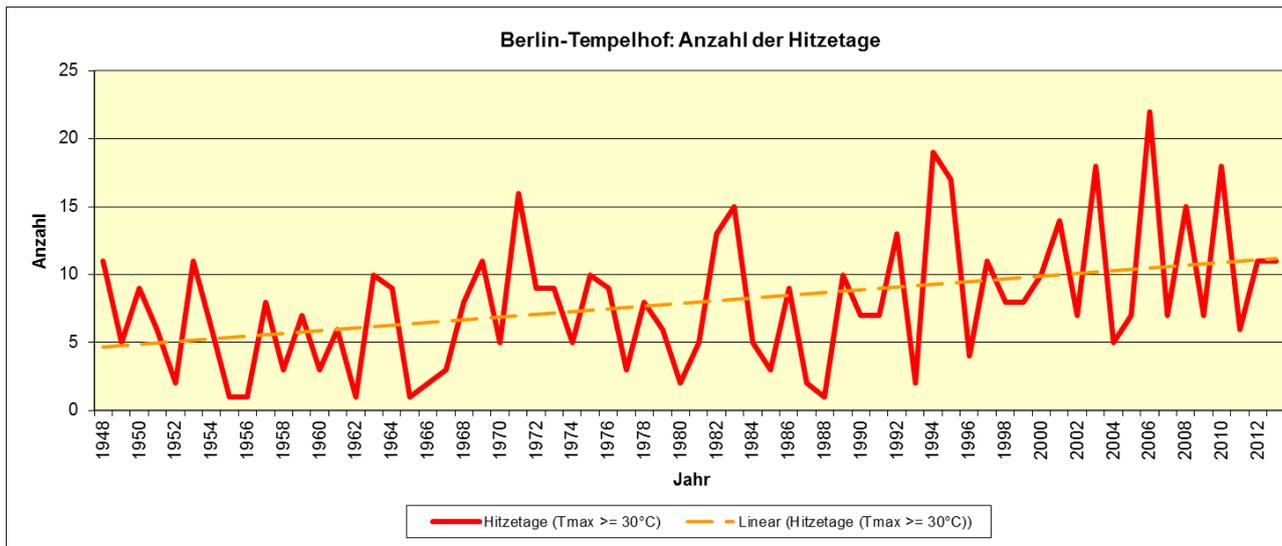
Die für Sommertage (Tage mit Maximaltemperaturen von mindestens 25 °C) ausgewerteten Tagesmittel der Lufttemperatur weisen über den betrachteten Zeitraum von gut 60 Jahren nur einen minimalen Trend zu höheren Werten auf. Das durchschnittliche nächtliche Temperaturminimum der Sommertage zeigt sich für den Standort Tempelhof ebenfalls nahezu unverändert, hier deutet sich eher eine minimal abnehmende Tendenz an. Dagegen zeigen die Tageshöchstwerte der Sommermonate eine zunehmende Tendenz, die auch zu einem vermehrten Auftreten von Hitzetagen (Tage mit Temperaturen von 30 °C und mehr) in dem betrachteten Zeitraum führt. Während die „extremen“ sommerlichen Ereignisse, wie die maximalen Tag- und auch Nachttemperaturen oder das Auftreten von Sommer- und Hitzetagen, eine zunehmende Tendenz aufweisen, zeigen sich die Temperaturmittelwerte an Sommertagen dagegen nahezu unverändert.

Eine Auswertung der Zeiträume in denen Sommertage auftreten können zeigt, dass das häufigere Auftreten von Sommer- oder Hitzetagen nicht mit einer Verlängerung des Sommerzeitraumes insgesamt einhergeht. Die Abbildungen 2.30 und 2.31 zeigen den Zeitpunkt des ersten und letzten Sommertages eines Jahres sowie das mittlere Zeitintervall pro Jahr in denen Sommertage aufgetreten sind. Während in einzelnen Jahren erste Sommertage bereits Anfang April und letzte Sommertage Anfang Oktober auftreten können, treten im langjährigen Mittel die ersten Sommertage an der Messstation um den 12. Mai und die letzten Sommertage um den 10. September auf. Eine anhand des ersten und letzten Auftretens der Sommertage gemessene Länge des Sommers zeigt eine Tendenz zu kürzeren Perioden für das Auftreten von Sommertagen wäh-

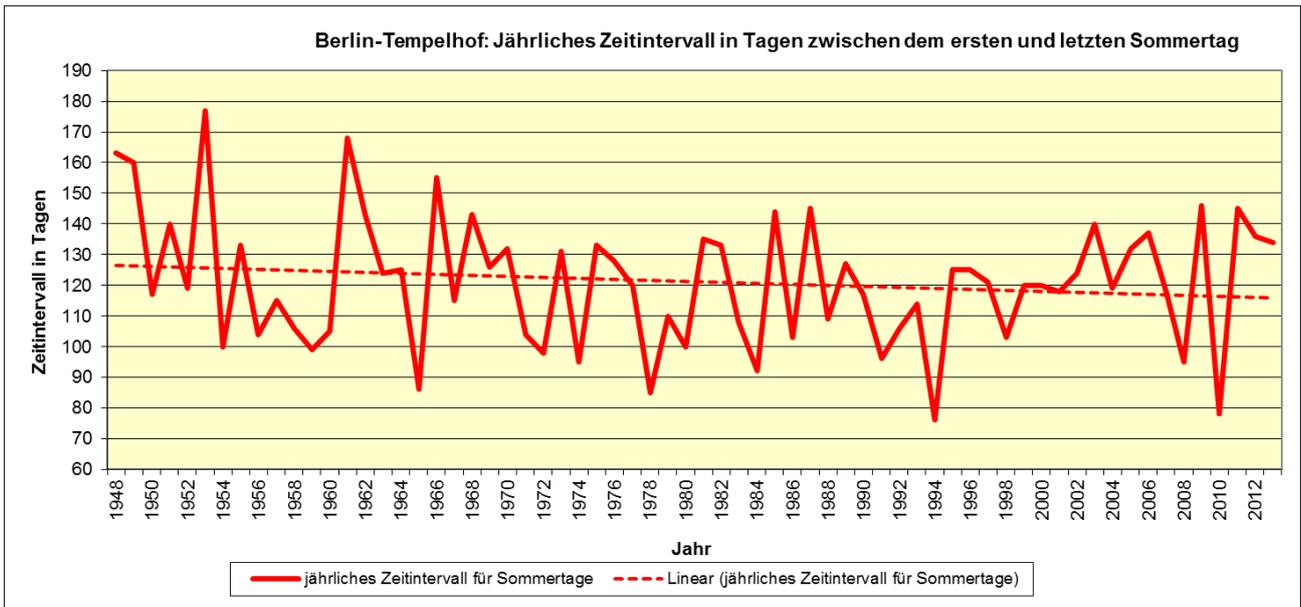
rend eines Jahres. Dabei scheint der Beginn des Sommers nahezu unverändert, während der letzte Sommertag eines Jahres tendenziell etwas früher auftritt.



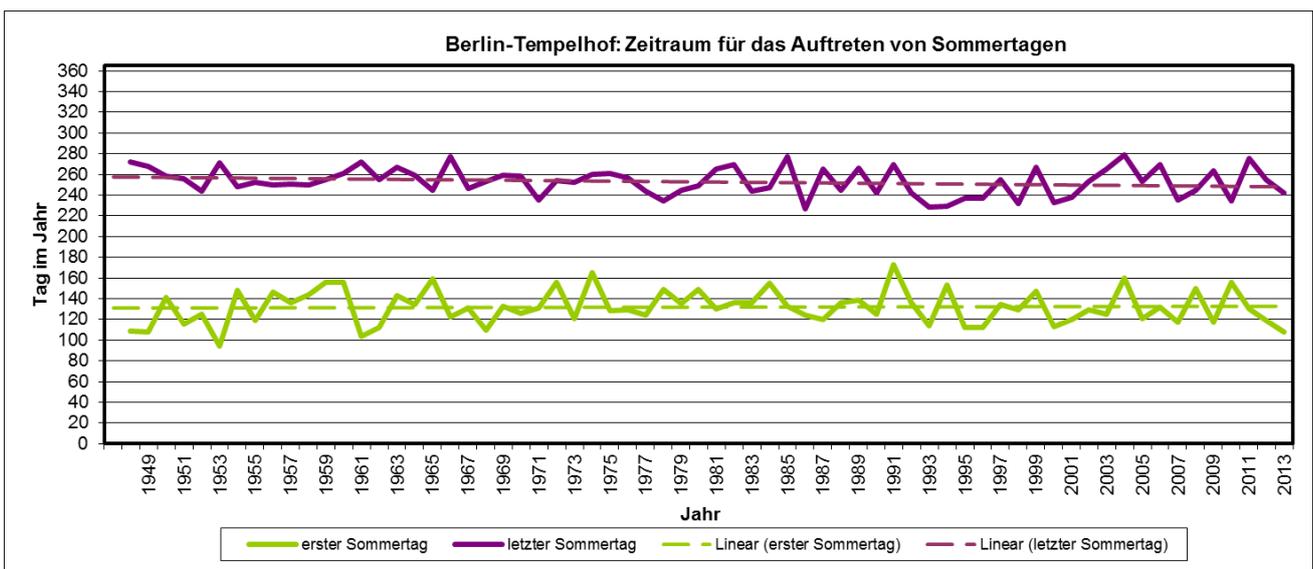
**Abb. 2.24:** Durchschnittliches Tagesmittel und nächtliches Minimum der Lufttemperatur an Sommertagen für den Zeitraum 1948 bis 2013 an der Station Berlin-Tempelhof. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.25:** Anzahl der Hitzetage mit Temperaturen von 30°C und höher pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof (1948 bis 2013). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.26:** Jährliches Zeitintervall zwischen dem Auftreten des ersten und letzten Sommertages an der Station Berlin-Tempelhof (1948 - 2013, Angabe in Tagen) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



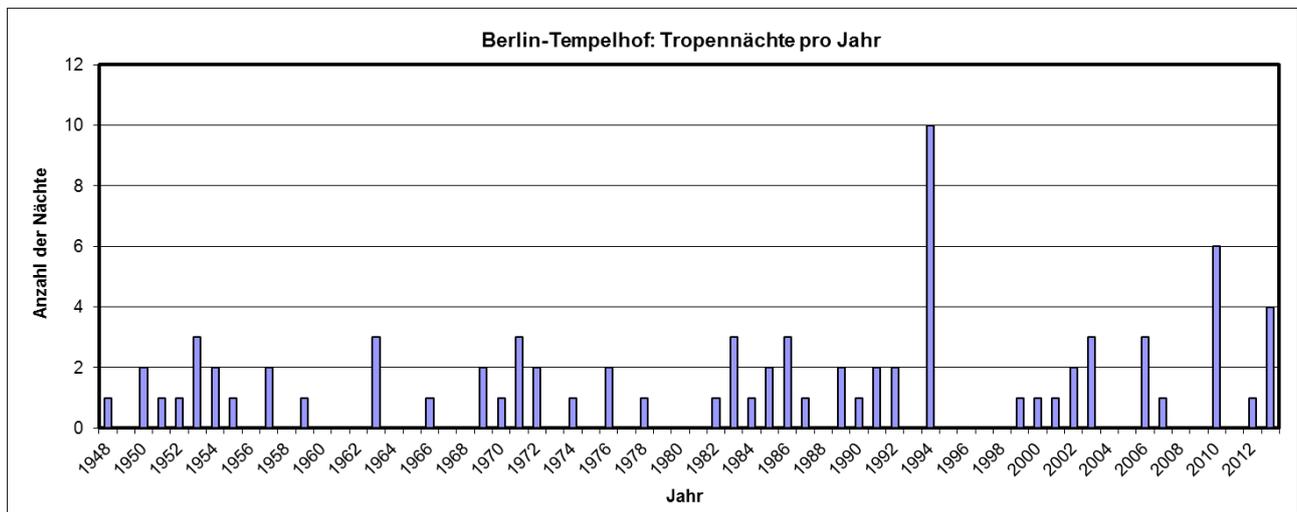
**Abb. 2.27:** Zeitfenster für das Auftreten von Sommertagen: Erster und letzter Sommertag eines Jahres an der Station Berlin-Tempelhof (1948 - 2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

### 2.2.3 Sommernächte

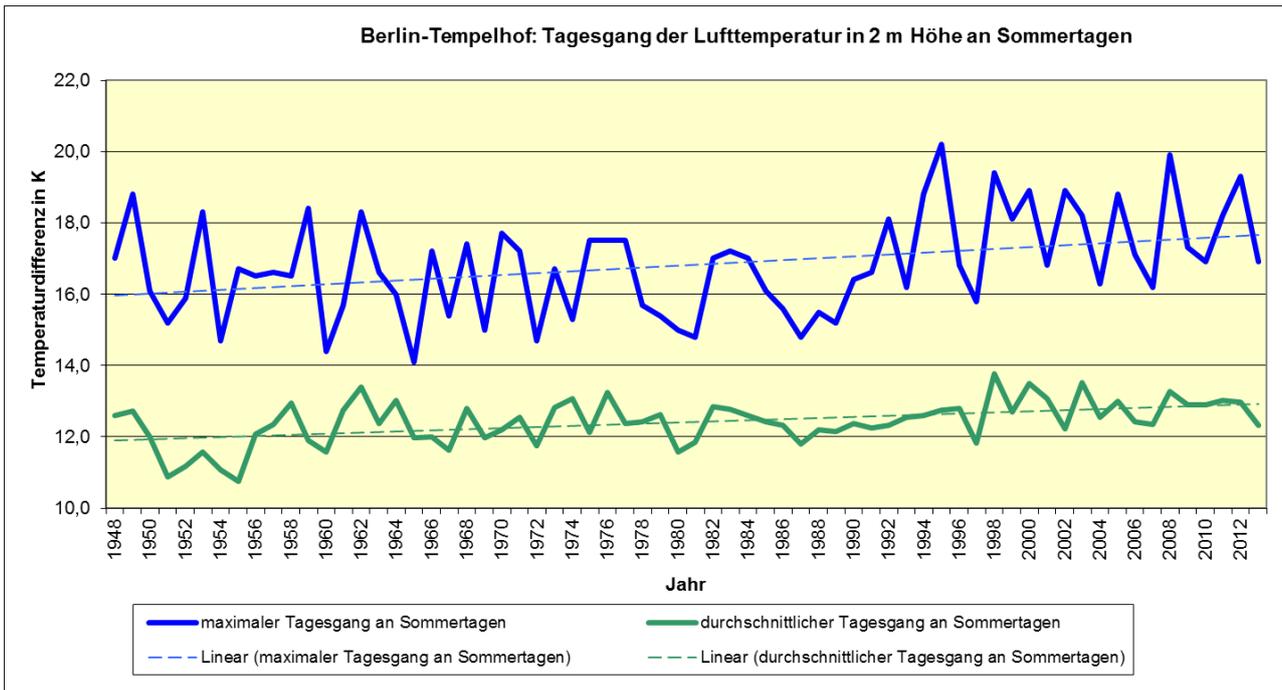
Für eine Beurteilung der humanbiometeorologischen Situation ist die nächtliche Abkühlung an Sommertagen von großer Bedeutung. Die höchsten nächtlichen Temperaturen an Sommertagen zeigen eine zunehmende Tendenz. Damit verbunden ist eine größere Auftretshäufigkeit von sogenannten Tropennächten in denen die Temperatur nachts nicht unter 20 °C absinkt. Während Tropennächte in den Jahren 1948 bis 1993 an höchstens 3 Tagen pro Jahr beobachtet werden konnten, wurden im Zeitraum 1994 bis 2013 in 3 Sommern auch größere Häufigkeiten registriert. Im Sommer 1994 trat bislang die höchste Anzahl mit bis zu 10 Tropennächten auf. Die wärmste Sommernacht wurde mit einer Minimumtemperatur von 23,4 °C im Sommer 2010 gemessen.

Als Maßstab für die tatsächlich stattfindende nächtliche Abkühlung kann der Tagesgang der Lufttemperatur herangezogen werden, der sich aus der Differenz von Temperaturmaximum und -minimum eines Tages ergibt. Die Auswertungen zeigen, dass der beobachtete leichte Anstieg des Temperaturniveaus an Sommertagen ( $T_{\max} \geq 25$  °C) gleichzeitig mit einer Zunahme des Tagesganges verbunden ist. Die jeweils für ein Jahr ausgewerteten durchschnittlichen, wie auch maximalen Tagesgänge zeigen eine zunehmende Tendenz. Auffällig ist hier eine Zunahme der maximal aufgetretenen Tagesgänge an Sommertagen ab Mitte der 90er Jahre.

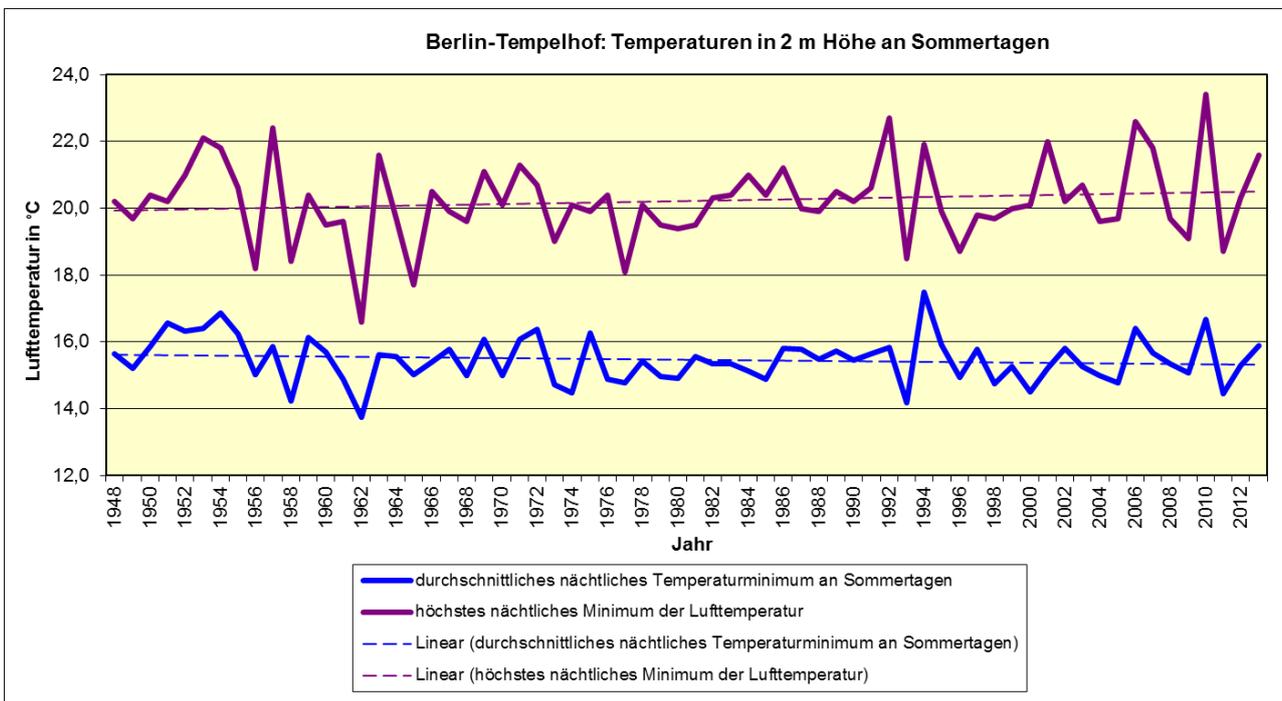
Die tendenziell größer werdende Amplitude des Tagesganges im Beobachtungszeitraum bewirkt, dass trotz Zunahme der sommerlichen Höchsttemperaturen an der Station Tempelhof das nächtliche Temperaturminimum im Mittel unverändert blieb.



**Abb. 2.28:** Anzahl an Tropennächten ( $T_{\min} \geq 20$  °C) pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof (1948 -2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.29:** Mittlerer und maximaler Tagesgang der Lufttemperatur an Sommertagen ( $T_{max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

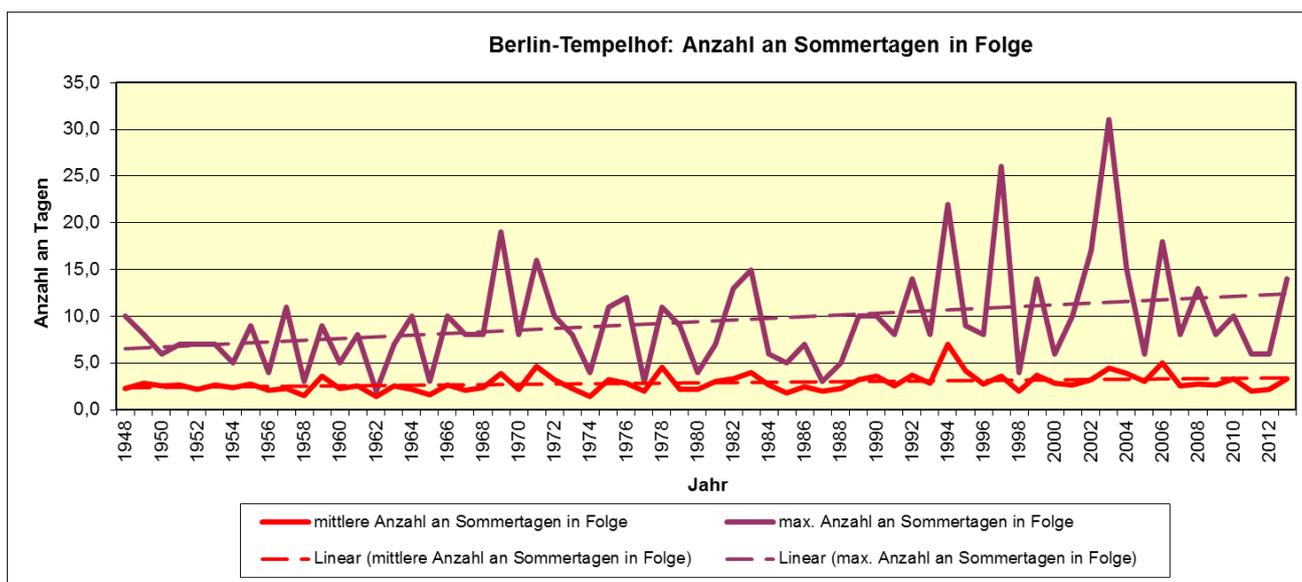


**Abb. 2.30:** Mittleres und höchstes Minimum der Lufttemperatur an Sommertagen ( $T_{max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

## 2.2.4 Entwicklung der Anzahl von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten

### Sommertage:

Wie bereits zuvor beschrieben ist an der Station Berlin-Tempelhof im Untersuchungszeitraum 1948-2013 eine deutliche Zunahme im Auftreten von Sommertagen erkennbar. Neben der reinen Anzahl dieser Tage wirkt sich auch die mittlere Andauer hochsommerlicher Wetterlagen auf die humanbiometeorologische Belastungssituation aus. Die folgende Abbildung verdeutlicht, dass die maximale Anzahl von Sommertagen in Folge großen Schwankungen unterliegt. Die längste hochsommerliche Phase trat im Jahr 2003 mit 31 Tagen in Folge auf, das Jahr 1962 hatte die kürzesten hochsommerlichen Situationen mit maximal 2 Sommertagen in Folge. Bei der maximalen Anzahl von Sommertagen in Folge zeichnet sich ein deutlicher Trend zu länger anhaltenden warmen Sommerphasen ab. Für die mittlere Anzahl von Sommertagen in Folge lässt sich in dem betrachteten Zeitraum von gut 60 Jahren eine leichte Zunahme erkennen, so dass hochsommerliche Phasen im Vergleich mit dem Ende der 40er Jahre heute durchschnittlich 1 Tag länger andauern.



**Abb. 2.31:** Maximale und mittlere Anzahl an Sommertagen in Folge an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2012). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden zwei Tabellen zeigen eine statistische Auswertung des Auftretens von Sommertagen an der Station Berlin-Tempelhof in dem 30-jährigen Zeitraum von 1981 bis 2010, der hier als Bezugszeitraum gewählt wurde. Unter der Voraussetzung, dass für den Messstandort Tempelhof sowie sein näheres Umfeld dieselben Wettersituationen das sommerliche Temperatursgeschehen geprägt haben, lässt sich aus der Temperaturdifferenz der Umgebung zum Messstandort die Häufigkeit der dort aufgetretenen Sommertage abschätzen. Für positive Abweichungen des sommerlichen Temperaturniveaus von 0,5 und 1 K gegenüber den Stationswerten wurden beispielhaft die mittleren Häufigkeiten des Auftretens und die mittlerer Andauer von Sommertagen in Folge ausgewertet. Die Auswertungen können ebenso zur Abschätzung von Häufigkeiten und mittlerer Andauer von Sommertagen an der Messstation selbst unter Berücksichtigung einer Anhebung des allgemeinen sommerlichen Temperaturniveaus um 0,5 und 1 K herangezogen werden.

Andauer in Tagen	Häufigkeiten von Sommertagen in Folge an der Station Berlin-Tempelhof		
	im Zeitraum 1981-2010	bei Temperaturdifferenz von +0,5 K	bei Temperaturdifferenz von +1,0 K
1	152	155	164
2	87	82	89
3	55	49	46
4	35	40	41
5	24	35	36
6	12	14	18
7	9	9	15
8	10	10	6
9	5	5	6
10	4	7	8
11	1	0	2
12	1	3	3
13	3	3	3
14	2	2	3
15	2	2	1
16	0	0	1
17	1	1	2
18	1	1	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	1	0
22	1	0	1
23	0	1	0
24	0	0	0
25	0	0	0
26	1	0	0
27	0	1	0
28	0	0	1
29	0	0	0
30	0	0	0
31	1	1	0
32	0	0	1
33	0	0	2
34	0	0	0
<b>Anzahl an Episoden in 30 Jahren</b>	<b>407</b>	<b>422</b>	<b>449</b>

**Tab. 2.6:** Andauer von Sommertageperioden und Häufigkeit des Auftretens im Zeitraum 1981 bis 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1 K zum Messstandort.

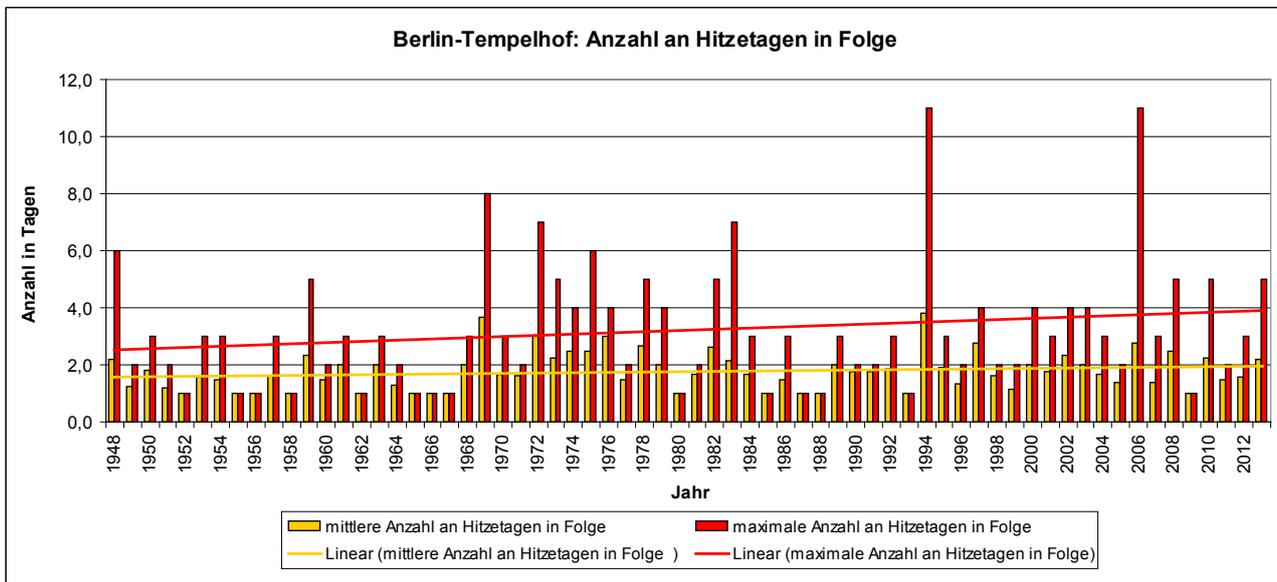
Sommertage (Berlin-Tempelhof)	Messperiode 1981-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1,0 K zum Messstandort
Summe an Sommertagen in 30 Jahren	1285	1413	1571
Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr	42,8	47,1	52,4
Mittlere Andauer von Sommertagen in Folge	3,2	3,3	3,5

**Tab. 2.7:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommertageperioden im Bezugszeitraum 1981-2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort.

**Hitzetage:**

Auch für das Auftreten von Hitzetagen lässt sich ein zunehmender Trend beobachten. Wie bei den Sommertagen unterliegt auch die maximale Andauer von Hitzetagen in Folge großen Schwankungen (Abb. 2.31). Ein Vergleich der Maxima der Auswertungen zu Sommer- und Hitzetagen verdeutlicht weiterhin, dass besonders lang anhaltende hochsommerliche Phasen mit zahlreichen Sommertagen in Folge nicht zwangsläufig maximale Hitzetage in Folge verursachen. Im „Rekordsommer“ 2003 mit seiner über einen Monat andauernden hochsommerlichen Wetterlage, wurden maximal 4 Hitzetage in Folge gemessen. In die 31-tägige Periode fielen aber insgesamt 13 Hitzetage und 3 Tropennächte.

In dem 14-jährigen Zeitraum zwischen 1969 und 1983 traten in 7 Sommern 5 und mehr Hitzetage in Folge auf. In dem 30-jährigen Zeitraum von 1984 bis 2013 wurden nur in 5 Sommern 5 und mehr Hitzetage in Folge registriert. Dafür traten in den Jahren 1994 und 2006 mit jeweils 11 Hitzetagen in Folge die bislang längsten Hitzeperioden im Beobachtungszeitraum auf.



**Abb. 2.32:** Maximale und mittlere Anzahl an Hitzetagen in Folge sowie der lineare Trend von 1948 bis 2013 an der Station Berlin-Tempelhof (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden zwei Tabellen zeigen eine statistische Auswertung des Auftretens von Hitzetagen in dem 30-jährigen Zeitraum von 1981 bis 2010. Für Abweichungen des sommerlichen Temperaturniveaus von 0,5 und 1,0 K wurden beispielhaft die mittleren Häufigkeiten des Auftretens und die mittlerer Andauer von Hitzetagen in Folge ausgewertet.

Andauer in Tagen	Berlin-Tempelhof: Häufigkeiten von Hitzetagen in Folge		
	im Zeitraum 1981-2010	Temperaturdifferenz von +0,5 K	Temperaturdifferenz von +1,0 K
1	79	97	113
2	44	48	53
3	14	17	22
4	9	7	10
5	3	9	8
6	0	0	3
7	1	1	1
8	0	0	1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	2	2	1
12	0	0	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
Anzahl an Episoden in 30 Jahren	152	181	213

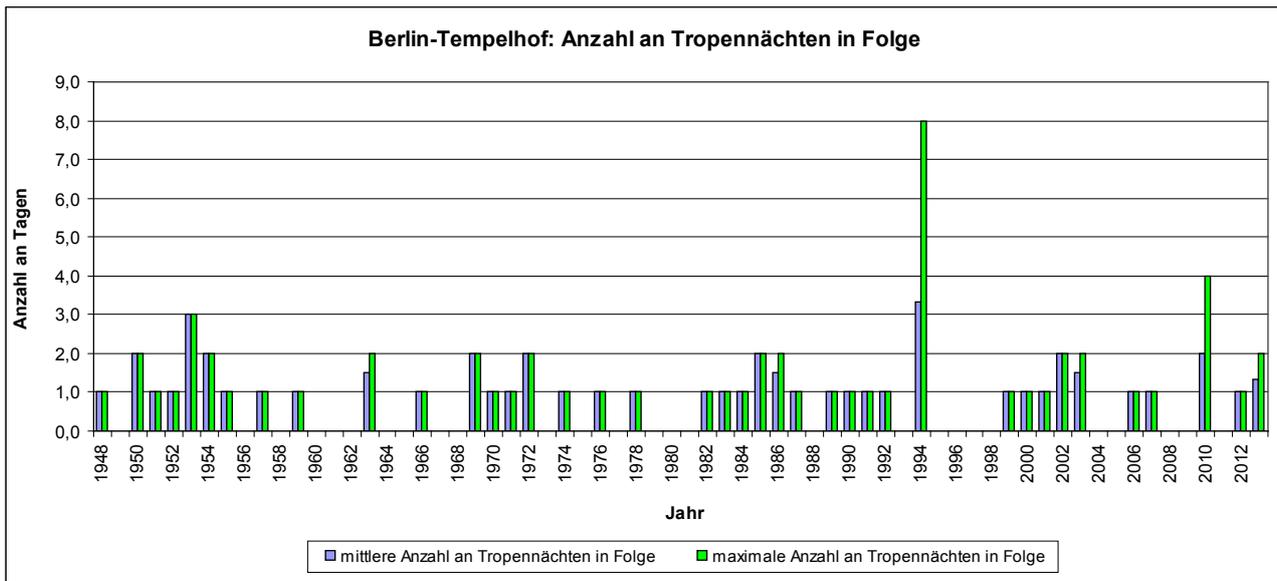
**Tab. 2.8:** Andauer von Hitzetagperioden und Häufigkeit des Auftretens im Zeitraum 1981 bis 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort.

Hitzetage (Berlin-Tempelhof)	Messperiode 1981-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1,0 K zum Messstandort
Summe an Hitzetagen in 30 Jahren	289	346	421
Mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr	9,6	11,5	14,0
Mittlere Andauer von Hitzetagen in Folge	1,9	1,9	2,0

**Tab. 2.9:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort.

**Tropennächte:**

Tropennächte treten an der Messstation Tempelhof noch vergleichsweise selten auf und sind in der Messperiode von 1948 bis Anfang der 80er Jahre durchweg an einzelne Wetterereignisse gebunden. Die folgende Abbildung verdeutlicht, dass zu Beginn der Messreihe die mittlere und die maximale Andauer von Tropennächten häufig identisch sind, da durchweg nur eine Wetterlage pro Sommer zu sehr hohen nächtlichen Temperaturen führte. In den Jahren 1994 und 2010 traten erstmals jeweils 3 Episoden mit Tropennächten auf.



**Abb. 2.33:** Maximale und mittlere Anzahl an Tropennächten in Folge an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Die folgenden Tabellen zeigen eine statistische Auswertung des Auftretens von Tropennächten in dem 30 jährigen Zeitraum von 1981 bis 2010. Da gerade nachts innerhalb der Bebauung deutlich höhere Temperaturunterschiede in Relation zu Freiflächen auftreten können als tagsüber, werden in Hinblick auf das Auftreten von Tropennächten Temperaturunterschiede bis +2 K betrachtet. Für Abweichungen des sommerlichen Temperaturniveaus von +0,5 bis +1 K werden beispielhaft die mittleren Häufigkeiten des Auftretens und die mittlere Andauer von Tropennächten in Folge tabellarisch aufgelistet.

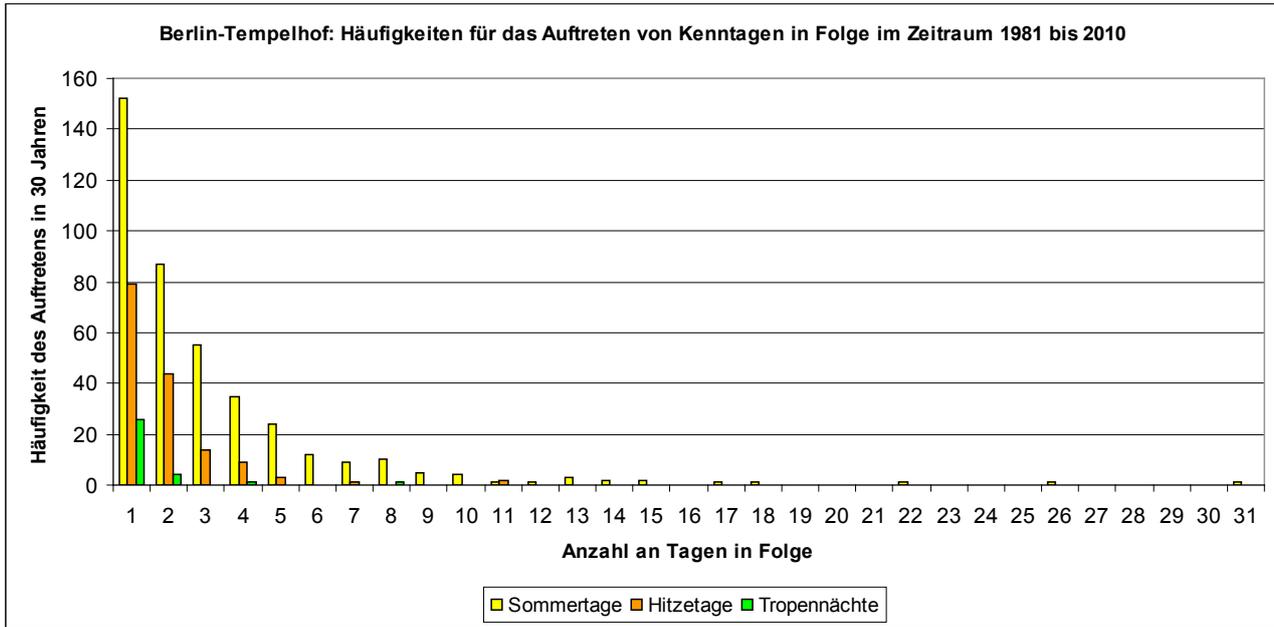
Abbildung 2.34 zeigt graphisch die Häufigkeiten, mit der Sommer- oder Hitzetage und Tropennächte in Folge in den letzten 30 Jahren an der Station Tempelhof aufgetreten sind.

Andauer in Tagen	Berlin-Tempelhof: Häufigkeiten von Tropennächten in Folge				
	im Zeitraum 1981 - 2010	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
1	26	43	54	59	73
2	4	10	16	28	36
3	0	1	3	8	11
4	1	1	0	1	7
5	0	0	1	0	2
6	0	0	1	2	1
7	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1
9	0	1	0	1	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	1	1	0
12	0	0	0	0	2
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
Anzahl der Episoden in 30 Jahren	32	56	76	100	133

**Tab. 2.10:** Andauer von Tropennächten in Folge und Häufigkeit des Auftretens im Zeitraum 1981 bis 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

Tropennächte (Berlin-Tempelhof)	Messperiode 1981-2010	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
Summe an Tropennächten in 30 Jahren	46	79	117	175	254
Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr	1,5	2,6	3,9	5,8	8,5
Mittlere Andauer von Tropennächten in Folge	1,4	1,4	1,5	1,8	1,9

**Tab. 2.11:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge im Zeitraum 1981-2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.34:** Häufigkeiten für das Auftreten von aufeinanderfolgenden Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten an der Station Berlin-Tempelhof in der Messperiode 1981 bis 2010 (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

## **2.3 Vergleich der Messreihen der Berliner Stationen Tempelhof, Tegel, Dahlem, Alexanderplatz und Grunewald sowie der Station Potsdam**

Die wesentlichen Messdaten an den hier betrachteten Stationen werden im Weiteren zusammen betrachtet um vor allem Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Messstandorte zu analysieren. Ausgewertet wird hierfür der Zeitraum von 1950 bis 2013, da in dieser Periode für die meisten der hier betrachteten Stationen Klimadaten vorliegen.

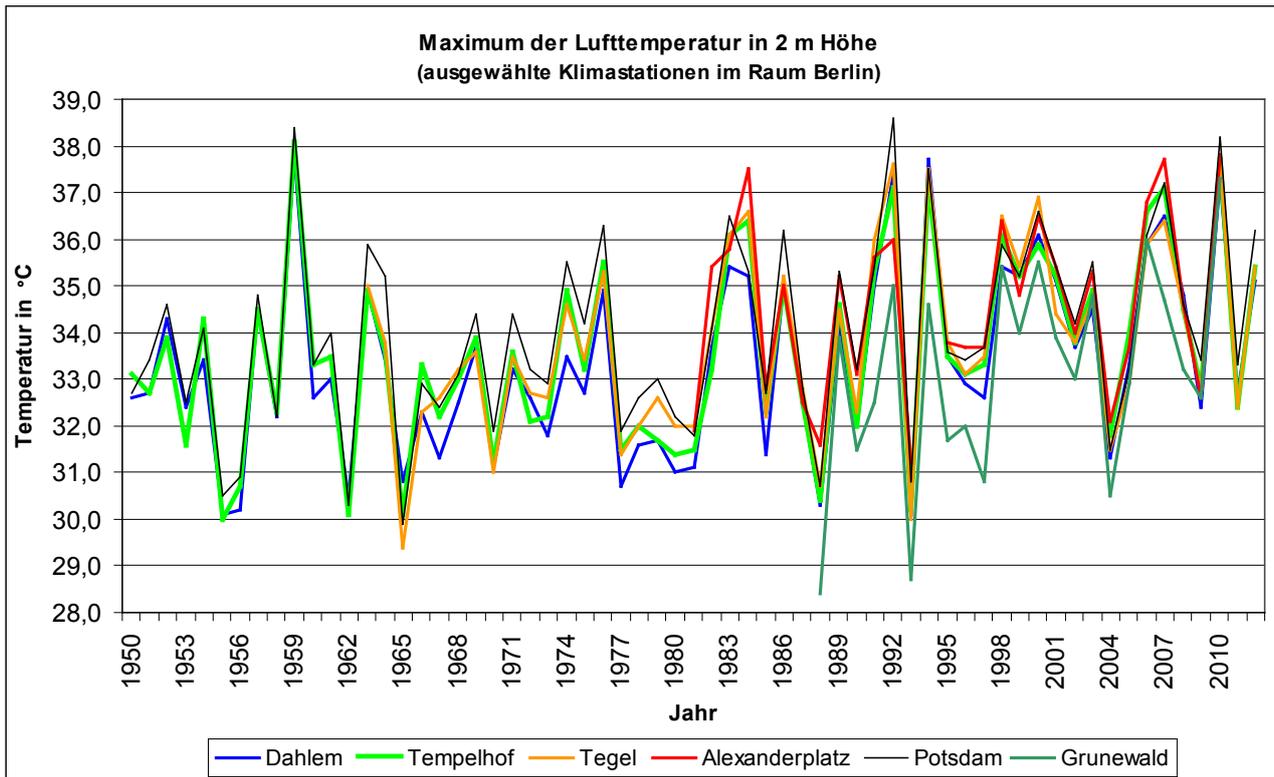
### **2.3.1 Entwicklung der sommerlichen Lufttemperaturen im Raum Berlin von 1950 bis 2013**

Die zeitliche Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen wurde bereits in Kapitel 2.2 dargestellt. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die an den Stationen registrierten sommerlichen Maximalwerte der Lufttemperatur und die durchschnittlichen nächtlichen Tiefsttemperaturen an Sommertagen. Die Abbildungen verdeutlichen, dass die maximalen Lufttemperaturen der einzelnen Messstandorte nicht stark voneinander abweichen während die nächtlichen Tiefstwerte an Sommertagen zum Teil deutliche Unterschiede zeigen.

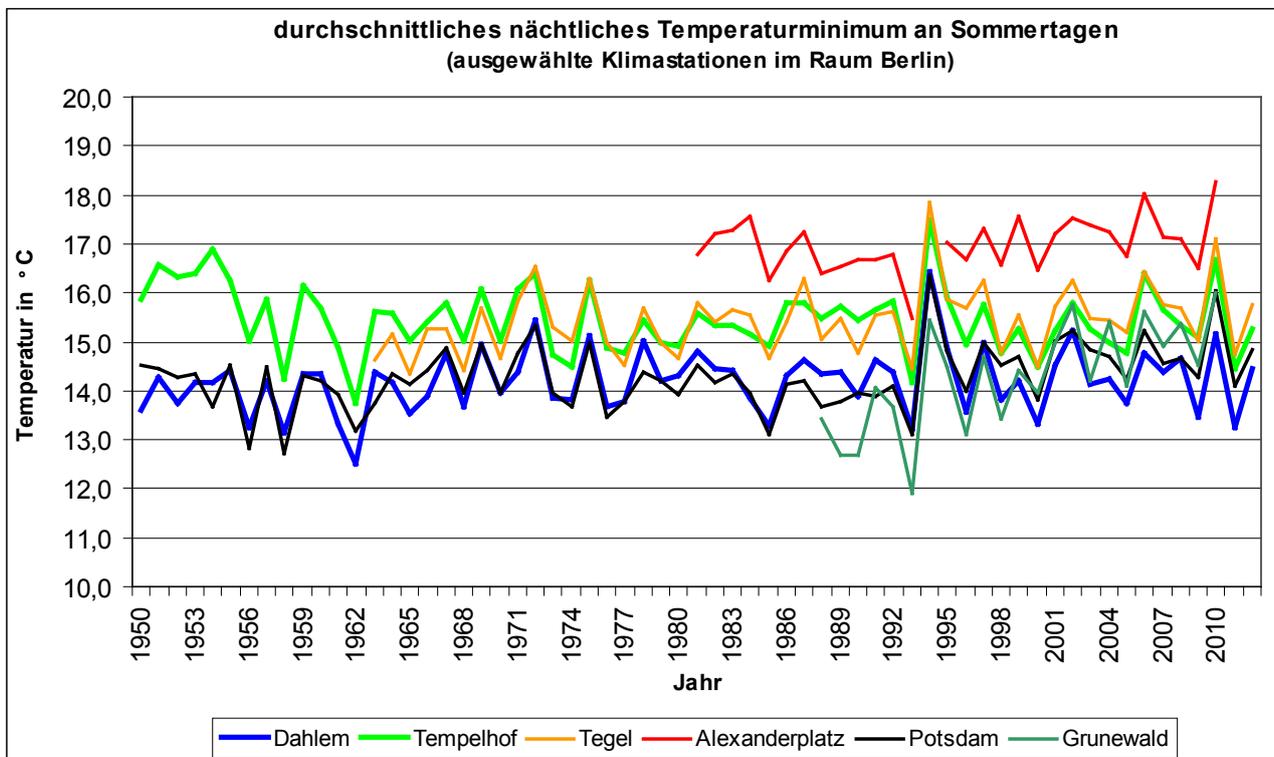
Typischerweise sind Temperaturunterschiede zwischen städtischen und ländlich geprägten Messstandorten bezüglich der Tagesmaxima geringer als hinsichtlich der nächtlichen Tiefsttemperaturen. Die nachmittags auftretenden Temperaturmaxima an Sommertagen unterscheiden sich deutlich weniger, da aufgrund der durchweg guten Durchmischung an Sommertagen Temperaturunterschiede während der Tagstunden eher ausgeglichen werden können. Nachts gibt die städtische Bebauung die gespeicherte Wärme nur langsam ab, die zunehmende Stabilität der Temperaturschichtung in den unteren Luftschichten und das „Einschlafen“ des Windes vermindern Ausgleichsprozesse.

Bei den durchschnittlichen nächtlichen Tiefsttemperaturen an Sommertagen zeichnet sich deutlich der beschriebene Einfluss der umgebenden Bebauung und damit der städtische Wärmeinseleffekt ab. Die höchsten nächtlichen Temperaturen wurden an der innerstädtischen Station Alexanderplatz registriert, während die niedrigsten Nachtwerte an den peripheren oder eher ländlich geprägt Standorten Dahlem und Potsdam gemessen wurden. In Relation zu den Standorten Dahlem und Potsdam steigt das nächtliche Temperaturniveau an der Station Grunewald im Laufe der Aufzeichnungsperiode insgesamt an. Die Standorte Tegel und Tempelhof nehmen in ihrem Temperaturniveau eine mittlere Position ein.

Bei den höchsten Temperaturen eines Sommers lässt sich die Lage der Messstandorte nicht eindeutig mit dem relativen Temperaturniveau, das die Stationen im Mittel untereinander aufweisen, verbinden. Während die Stationen Dahlem und Tempelhof häufig im unteren Bereich der Maximaltemperaturen zu finden sind, wurde an der Station Potsdam häufig die höchsten Maximalwerte erreicht. Das Temperaturniveau der innerstädtischen Station Alexanderplatz liegt ebenfalls auf einem sehr hohen Niveau. Die höchste Temperatur der betrachteten Messreihen wurde mit 38,6 °C im Jahr 1992 an der Station Potsdam erreicht.



**Abb. 2.35:** Jährliches Maximum der Lufttemperatur in 2m Höhe an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).



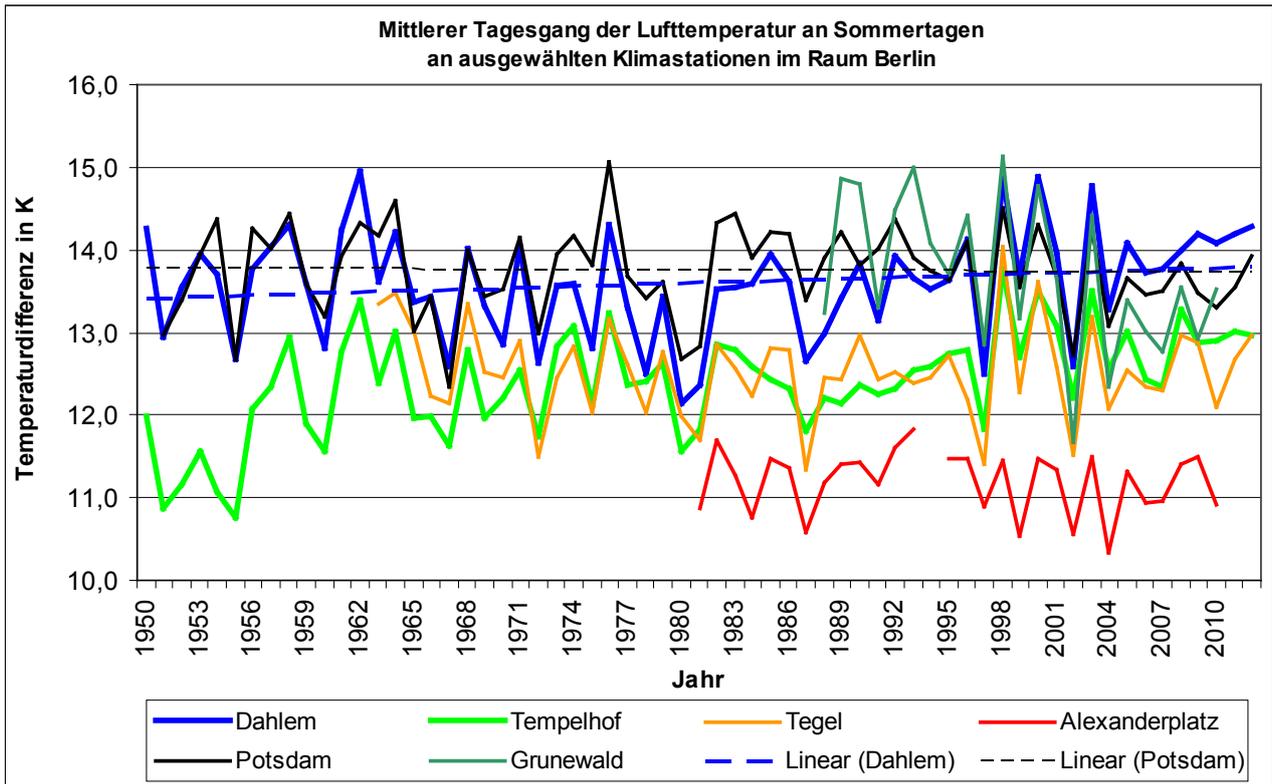
**Abb. 2.36:** Durchschnittliche nächtliche Tiefsttemperaturen in 2m Höhe an Sommertagen an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).

Der mittlere Tagesgang an Sommertagen spiegelt analog zu den durchschnittlichen Tiefsttemperaturen die Lage der Stationen im Stadtgebiet wieder (Abb. 2.36). Je größer der Einfluss der umgebenden Bebauung ist, desto geringer ist im Mittel die Amplitude des Tagesgangs. Für die Station Dahlem zeigt sich ebenso wie für die Station Tempelhof im zeitlichen Verlauf eine Zunahme des mittleren Tagesgangs an Sommertagen. Für die Stationen Tegel und Potsdam blieb der Tagesgang im Mittel nahezu unverändert, während an der innerstädtischen Station Alexanderplatz die Amplitude des Tagesganges tendenziell abgenommen hat. Zu- oder auch Abnahmen in der Amplitude des Tagesganges können über lokale Veränderungen des Wärmeinseleffektes in der Umgebung des Messstandortes verursacht werden.

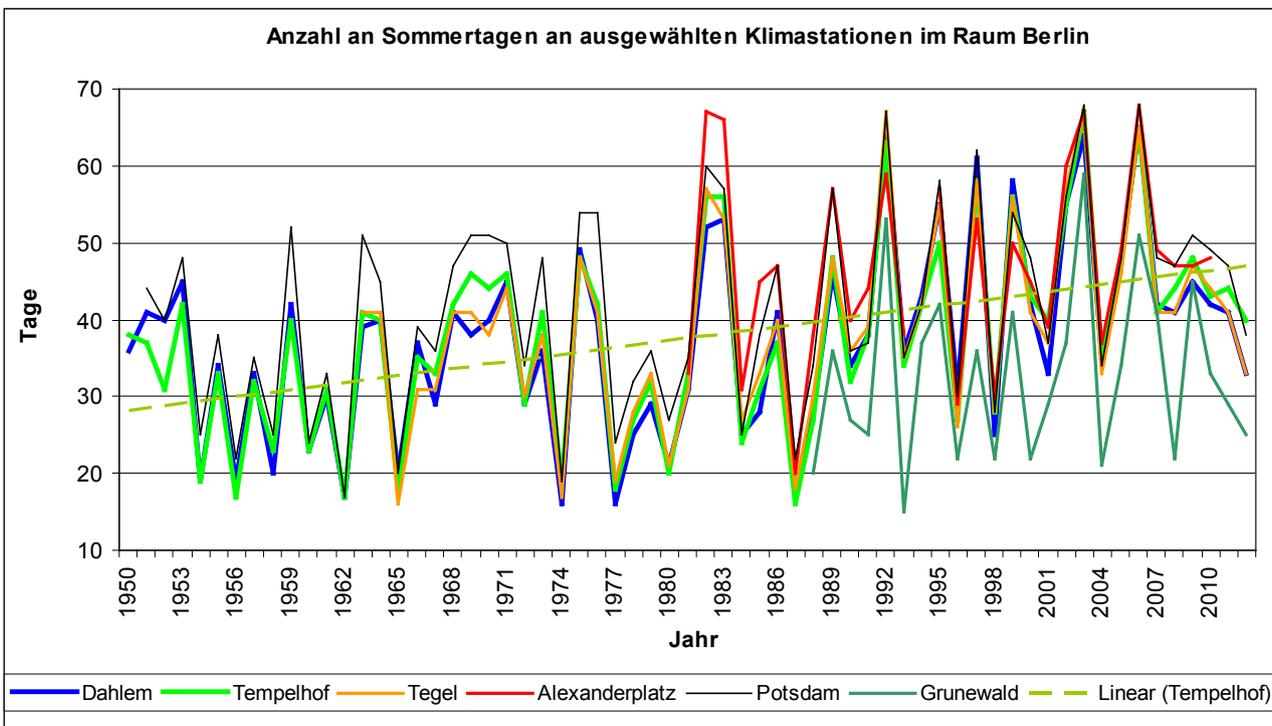
Eine Zunahme der aufgetretenen Sommertage zeigt sich für alle Stationen. Aufgrund der vergleichsweise homogenen sommerlichen Höchsttemperaturen innerhalb des Stadtgebietes weist die Anzahl der Sommertage an den unterschiedlichen Stationen keine großen Unterschiede auf. Abbildung 2.38 zeigt die zeitliche Entwicklung der Häufigkeiten für das Auftreten von Sommertagen. Die Verläufe der einzelnen Stationen sind z.T. nur schwer zu unterscheiden, da sich die Häufigkeiten der Sommertage nur unwesentlich unterscheiden. Auffällig ist auch hier, dass nicht nur das Temperaturniveau sondern auch die Häufigkeit von Sommertagen an der Station Potsdam bis Anfang der 90er Jahre im Vergleich zu den Stationen im Berliner Stadtgebiet vergleichsweise hoch ist.

Größere Unterschiede zeigen sich erwartungsgemäß bei der Anzahl der Tropennächte, da die nächtlichen Tiefsttemperaturen deutlicher den Bebauungsgrad der Umgebung widerspiegeln (Abb. 2.39). Hier hebt sich die innerstädtische Station Alexanderplatz durch ihre deutlich höhere Anzahl an Tropennächten hervor.

Das vermehrte Auftreten von Sommertagen ist auch bei den übrigen Stationen nicht mit einer Verlängerung des Zeitraumes verbunden, in dem Sommertage innerhalb eines Jahres beobachtet wurden. Es deutet sich eine Tendenz an, dass die letzten Sommertage eines Jahres geringfügig früher auftreten. Eine Auswertung der Zeiträume zwischen dem ersten und letzten Auftreten von Sommertagen innerhalb eines Jahres zeigt Abbildung 2.40.



**Abb. 2.37:** Mittlerer Tagesgang der Lufttemperaturen in 2 m Höhe an Sommertagen an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend der Messwerte (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).



**Abb. 2.38:** Anzahl der Sommertage ( $T_{max} \geq 25 \text{ °C}$ ) pro Jahr an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).

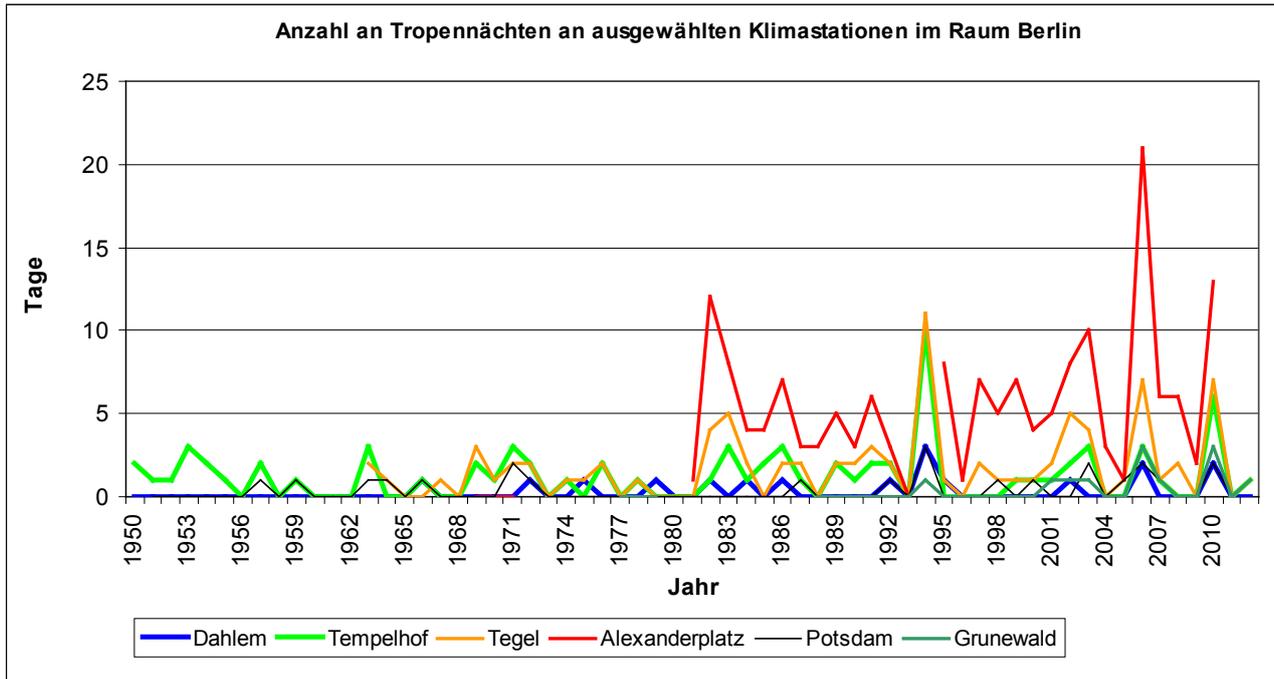


Abb. 2.39: Anzahl der Tropennächte ( $T_{min} \geq 20\text{ °C}$ ) pro Jahr an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

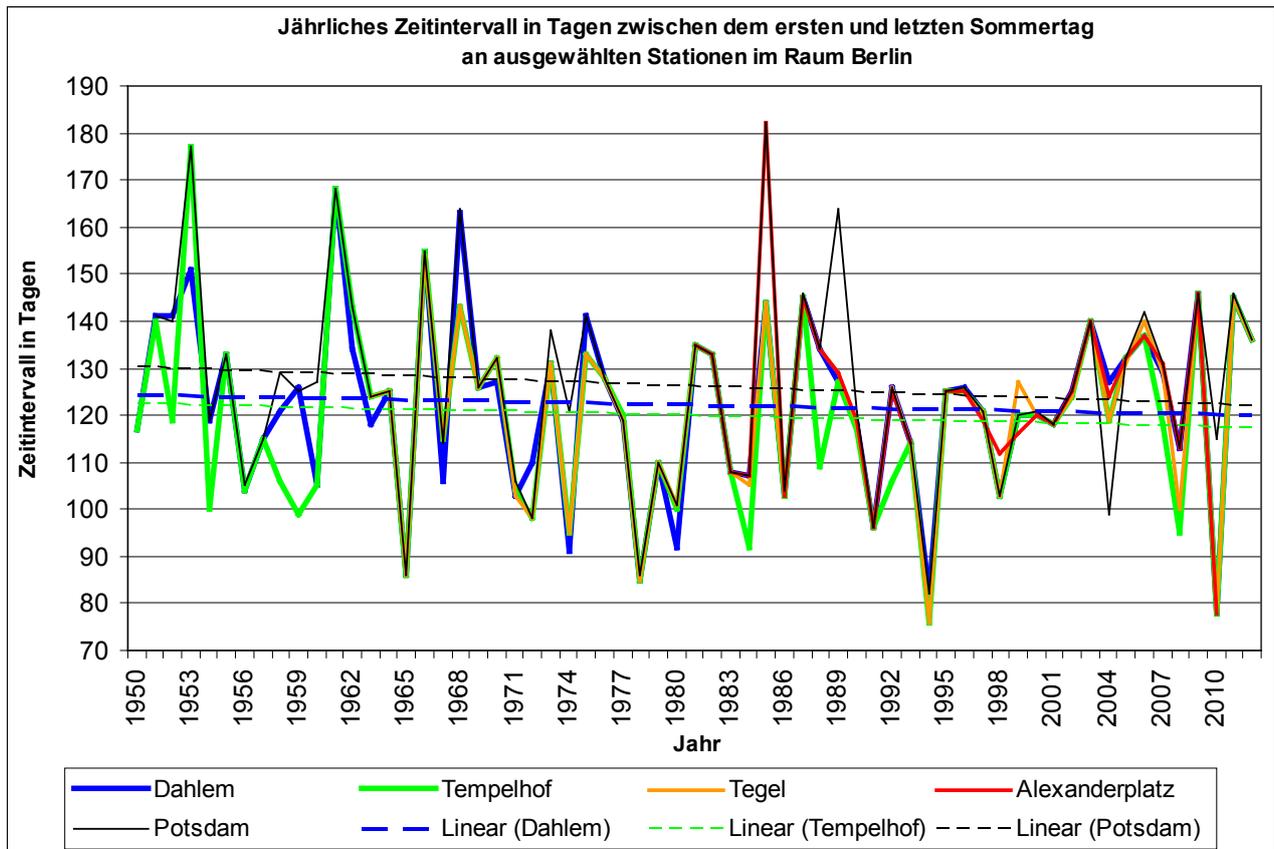
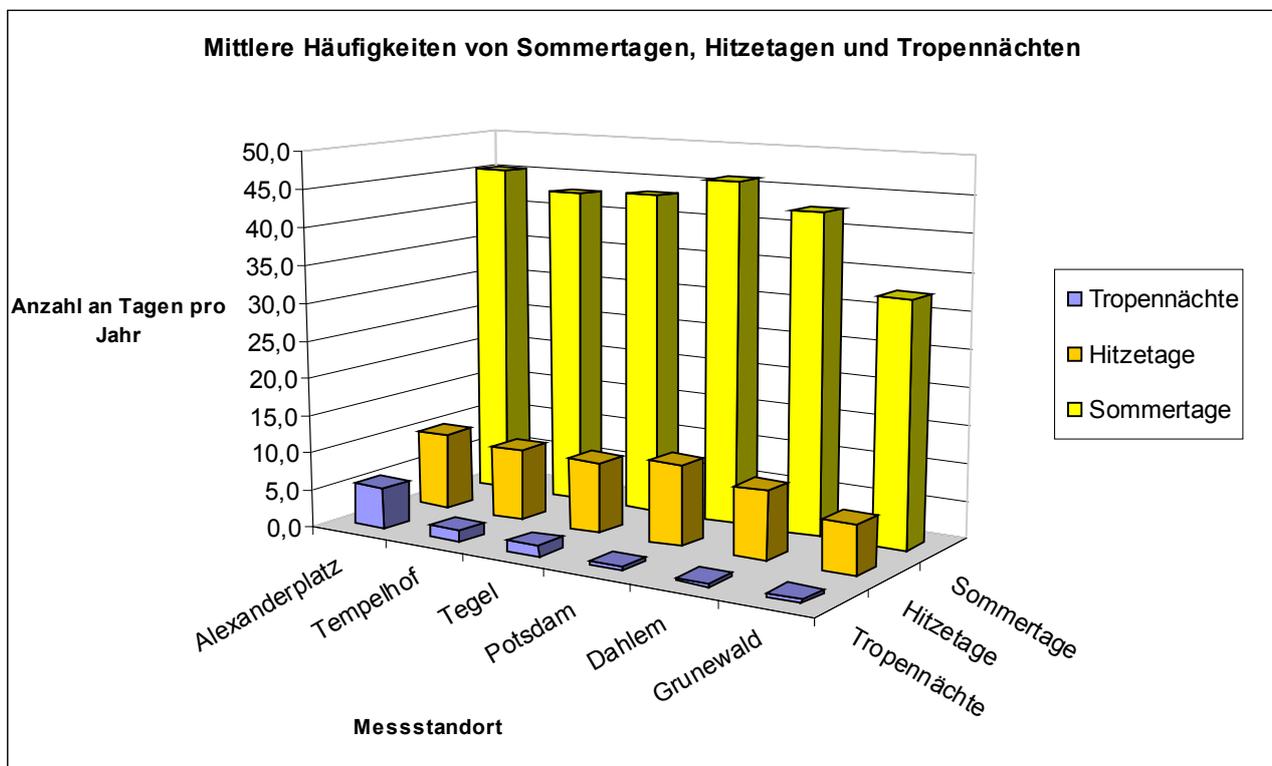


Abb. 2.40: Jährliches Zeitintervall in Tagen in dem Sommertage aufgetreten sind für ausgewählte Berliner Klimastationen und die Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend der Messwerte (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

### 2.3.2 Auswertungen der klimatologischen Kennwerte Sommer- und Hitzetage sowie Tropennächte an ausgewählten Klimastationen in Berlin und der Station Potsdam

Die mittleren Häufigkeiten für das Auftreten von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten werden für die einzelnen Stationen im Folgenden tabellarisch aufgelistet. Für die Stationen des Deutschen Wetterdienstes sowie die Station Dahlem wurde der 30-jährige Zeitraum von 1981 bis 2010 ausgewertet. Da für die Station Grunewald Messwerte nur für den 25-jährigen Zeitraum von 1988 bis 2012 vorliegen, wurden diese Daten hinsichtlich der Häufigkeit der Kenntage ausgewertet. Die folgende Abbildung zeigt graphisch die durchschnittlichen Häufigkeiten, die an den unterschiedlichen Messstandorten beobachtet wurden.



**Abb. 2.41:** Mittlere Häufigkeiten von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten pro Jahr an ausgewählten Klimastationen (Zeitreihe für Berlin-Alexanderplatz, -Dahlem, -Tegel, -Tempelhof sowie Potsdam: 1981–2010, Zeitreihe für die Station Grunewald: 1988-2012) (Datengrundlage DWD, SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).

**Berlin-Alexanderplatz:**

<b>Berlin-Alexanderplatz 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1 K zum Messstandort
<b>Sommertage</b>			
Summe an Sommertagen in 30 Jahren	1360	1507	1664
Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr	45,3	50,2	55,5
Mittlere Andauer von Sommertagen in Folge	3,4	3,4	3,6
<b>davon Hitzetage</b>			
Summe an Hitzetagen in 30 Jahren	307	382	461
Mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr	10,2	12,7	15,4
Mittlere Andauer von Hitzetagen in Folge	1,8	2,0	2,2

**Tab. 2.12:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Alexanderplatz. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

<b>Berlin-Alexanderplatz 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
<b>Tropennächte</b>					
Summe an Tropennächten in 30 Jahren	166	234	309	409	557
Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr	5,5	7,8	10,3	13,6	17,9
Mittlere Andauer von Tropennächten in Folge	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4

**Tab. 2.13:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Alexanderplatz. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

**Berlin-Tegel:**

<b>Berlin-Tegel 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1 K zum Messstandort
<b>Sommertage</b>			
Summe an Sommertagen in 30 Jahren	1298	1442	1600
Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr	43,3	48,1	53,3
Mittlere Andauer von Sommertagen in Folge	3,1	3,3	3,5
<b>davon Hitzetage</b>			
Summe an Hitzetagen in 30 Jahren	282	345	420
Mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr	9,4	11,5	14,0
Mittlere Andauer von Hitzetagen in Folge	1,8	1,9	2,0

**Tab. 2.14:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Tegel. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

<b>Berlin-Tegel 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
<b>Tropennächte</b>					
Summe an Tropennächten in 30 Jahren	70	104	149	196	284
Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr	2,3	3,5	5,0	6,5	9,5
Mittlere Andauer von Tropennächten in Folge	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0

**Tab. 2.15:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Tegel. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

**Berlin-Dahlem:**

<b>Berlin-Dahlem 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1 K zum Messstandort
<b>Sommertage</b>			
Summe an Sommertagen in 30 Jahren	1278	1409	1551
Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr	42,6	47,0	51,7
Mittlere Andauer von Sommertagen in Folge	3,0	3,2	3,3
<b>davon Hitzetage</b>			
Summe an Hitzetagen in 30 Jahren	270	325	402
Mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr	9,0	10,8	13,4
Mittlere Andauer von Hitzetagen in Folge	1,8	1,9	2,0

**Tab. 2.16:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Dahlem. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

<b>Berlin-Dahlem 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
<b>Tropennächte</b>					
Summe an Tropennächten in 30 Jahren	13	25	48	77	132
Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr	0,4	0,8	1,6	2,6	4,4
Mittlere Andauer von Tropennächten in Folge	1,1	1,1	1,2	1,2	1,5

**Tab.2.17:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Dahlem. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

**Berlin-Grunewald:**

<b>Berlin-Grunewald 1988 – 2012</b>	Messperiode 1988-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1,0 K zum Messstandort
<b>Sommertage</b>			
Summe an Sommertagen in 25 Jahren	812	929	1045
Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr	32,5	37,2	41,8
Mittlere Andauer von Sommertagen in Folge	2,8	2,8	3,0
<b>davon Hitzetage</b>			
Summe an Hitzetagen in 30 Jahren	162	197	247
Mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr	6,5	7,9	9,9
Mittlere Andauer von Hitzetagen in Folge	1,7	1,8	1,9

**Tab. 2.18:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1988-2012 an der Klimastation Grunewald. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).

<b>Berlin-Grunewald 1988 – 2012</b>	Messperiode 1988-2012	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
<b>Tropennächte</b>					
Summe an Tropennächten in 25 Jahren	12	15	29	47	82
Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr	0,5	0,6	1,2	1,9	3,3
Mittlere Andauer von Tropennächten in Folge	1,2	1,2	1,1	1,2	1,4

**Tab. 2.19:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1988-2012 an der Klimastation Grunewald. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).

**Potsdam:**

<b>Potsdam 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	Temperaturdifferenz +0,5 K zum Messstandort	Temperaturdifferenz +1 K zum Messstandort
<b>Sommertage</b>			
Summe an Sommertagen in 30 Jahren	1378	1528	1685
Mittlere Anzahl an Sommertagen pro Jahr	45,9	50,9	56,2
Mittlere Andauer von Sommertagen in Folge	3,4	3,6	3,6
<b>davon Hitzetage</b>			
Summe an Hitzetagen in 30 Jahren	321	392	471
Mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr	10,7	13,1	15,7
Mittlere Andauer von Hitzetagen in Folge	2,0	2,0	2,1

**Tab. 2.20:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Potsdam. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

<b>Potsdam 1981 – 2010</b>	Messperiode 1981-2010	bei Temperaturdifferenzen zum Messstandort von			
		+0,5 K	+1,0 K	+1,5 K	+2,0 K
<b>Tropennächte</b>					
Summe an Tropennächten in 30 Jahren	15	28	53	82	140
Mittlere Anzahl an Tropennächten pro Jahr	0,5	0,9	1,8	2,7	4,7
Mittlere Andauer von Tropennächten in Folge	1,3	1,5	1,4	1,5	1,7

**Tab. 2.21:** Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Potsdam. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).

### **3 Analyse von Ergebnissen des Regionalen Klimamodells WETTREG 2010 zur Abschätzung möglicher Klimawandeleffekte in Berlin**

#### **3.1 Einleitung**

In den folgenden Kapiteln wird die mögliche zukünftige Entwicklung des Klimas in Berlin bezogen auf die Auswertung dreier Klimastationen beschrieben: Berlin-Dahlem, Berlin-Tempelhof und Berlin-Tegel. Für diese Stationen liegen Prognose-Daten des Regionalisierungsmodells WETTREG vor, die zur Bewertung der zukünftigen Situation herangezogen wurden.

Die Ergebnisse der Modellierung eines möglichen zukünftigen Klimas sind in erster Linie von Annahmen darüber abhängig, welche Menge an Treibhausgasen die Menschheit in Zukunft emittieren oder allgemein gesprochen, welchen Entwicklungspfad sie einschlagen wird. Da die Zukunft niemals exakt vorhersehbar ist, können über die Entwicklungspfade allerdings nur begründete Vermutungen angestellt werden. Das IPCC<sup>2</sup> hat zur Konkretisierung dieser Annahmen daher bereits in seinem 3. Sachstandsbericht die vier SRES<sup>3</sup>-Szenarien A1, A2, B1 und B2 eingeführt (vgl. IPCC 2000). Zwar sind für den 2013/2014 erscheinenden 5. Sachstandsbericht des IPCC weiterentwickelte Szenarios angekündigt, ein Bruch mit den grundlegenden Annahmen ist aber nicht zu erwarten (Moss et al. 2010.).

So werden sich die Szenarien vermutlich auch zukünftig vor allem hinsichtlich des Grades der Ausprägung der verwendeten Randbedingungen unterscheiden (vgl. Abb. 3.1). Im Wesentlichen lassen sich diese auf die beiden Begriffspaare „Globalisierung – Regionalisierung“ und „ökonomisch orientiertes Wachstum - ökologisch orientiertes Wachstum“ verdichten. Konkrete Kriterien, die diese grundlegenden Entwicklungspfade determinieren, sind: Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Energieverbrauch und Ressourcenverfügbarkeit, Landnutzungsänderungen sowie Richtung und Geschwindigkeit des technischen Wandels. Die beiden A-Szenariofamilien repräsentieren dabei verschiedene Abstufungen einer eher auf hohes wirtschaftliches Wachstum hin orientierten Entwicklung, während den beiden B-Szenarien eher die Annahme nachhaltigen Handelns zugrunde liegt. Für die A-Szenariofamilien wird von einer höheren durchschnittlichen Erwärmung der globalen Mitteltemperatur ausgegangen als für die B-Szenariofamilien. Die Eintrittswahrscheinlichkeit aller Szenarien ist laut IPCC gleich hoch.

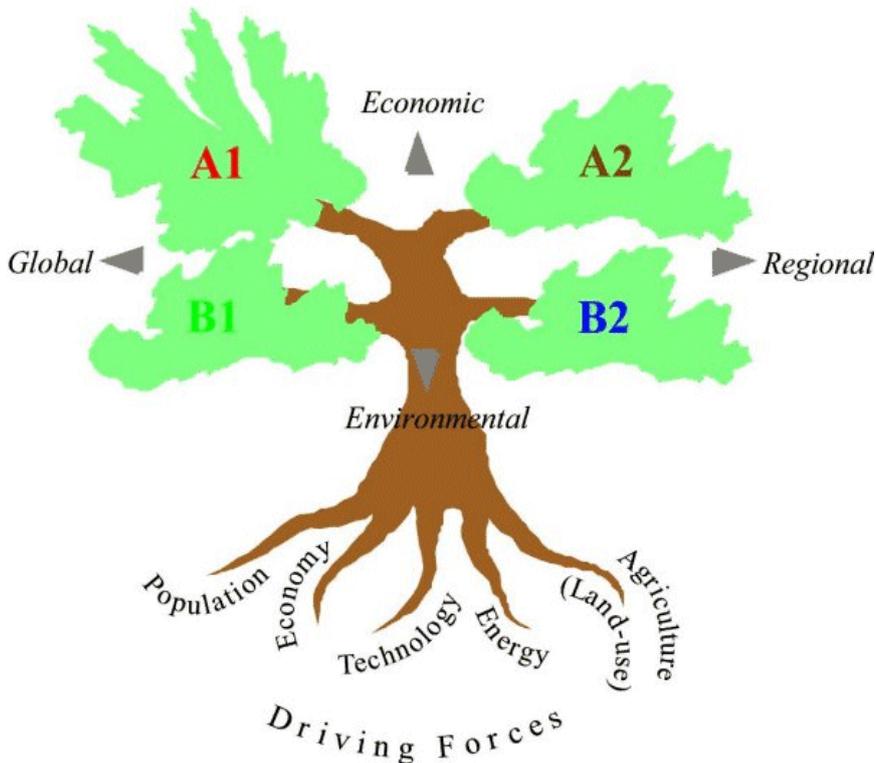
In der Praxis hat sich allerdings vor allem die Verwendung des A1B-Szenarios durchgesetzt. Es verkörpert ein Szenario, in dem die Menschheit den eingeschlagenen Weg der Akzentuierung auf das Wirtschafts-

---

<sup>2</sup> IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change, zu Deutsch: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen oder kurz Weltklimarat

<sup>3</sup> SRES = Special Report on Emissions and Scenarios

wachstum grundsätzlich beibehält. Bestandteil des Szenarios ist aber auch, dass der begonnene Ausbau der Nutzung von erneuerbaren Energieträgern weiter vorangetrieben wird und sich im Laufe des 21. Jahrhunderts relativ rasch ein ausgewogener Energiemix aus fossilen und regenerativen Energieträgern einstellen wird.



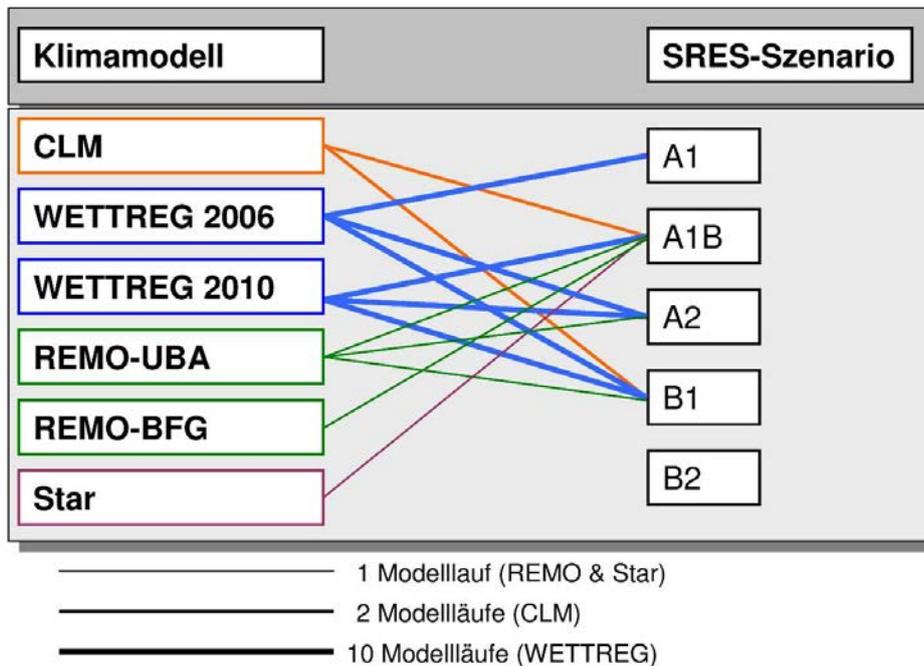
**Abb. 3.1:** Die vier IPCC-Klimaszenariofamilien, (verändert nach IPCC 2000)

Auf der Basis der Szenarien können globale und im zweiten Schritt regionale Klimamodelle angetrieben werden. Für Deutschland stehen über das Climate Service Center Germany (CERICS)<sup>4</sup> als Datenbasis gegenwärtig die vier regionalen Klimamodelle „Regional Climate Modelling“ (REMO), „Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode“ (WETTREG), „Climate Local Model“ (CLM) und „Statistical Regional Model“ (STAR) zur Verfügung.

Wie Abbildung 3.2 zeigt, sind diese Modelle mit einem oder mehreren SRES-Szenarien angetrieben worden. Aus dieser Kombination ergeben sich für den deutschen Raum gegenwärtig 69 potentiell verschiedene Zukunftsklimate. Die Zahl setzt sich zum einen aus den je Klimamodell verwendeten Szenarien (insgesamt 13 Kombinationen, repräsentiert durch die farbigen Kanten) und zusätzlich aus unter veränderten Eingangsbe-

<sup>4</sup> [http://www.climate-service-center.de/035548/index\\_0035548.html.de](http://www.climate-service-center.de/035548/index_0035548.html.de) (Stand 20.10.2015)

dingungen durchgeführten mehrfachen Modellläufen (weitere 56 Kombinationen, repräsentiert durch die Stärke der farbigen Kanten) zusammen. Alleine 60 und damit 87 % dieser Kombinationen stammen aus den beiden WETTREG-Modellen der Jahre 2006 und 2010.



**Abb. 3.2:** Für Deutschland frei verfügbare Klimamodelle und -szenarien (vgl. Beermann 2012)

Eine Beschreibung und ein Quervergleich aller 69 Varianten sind jedoch nicht praxistauglich und können auch im Rahmen dieses Projekts nicht geleistet werden. Stattdessen muss bei der Auswahl der zu analysierenden Klimaszenarien und -modelle das Ziel verfolgt werden, eine der Komplexität des Themas angemessene aber dennoch arbeitstechnisch zu bewältigende Kompromisslösung zu finden.

Für das vorliegende Projekt wurde folgender Lösungsansatz gewählt:

- Klimamodell WETTREG 2010, Szenario A1B, je 10 Modellläufe, 3 Berliner Klimastationen

Das regionale Klimamodell WETTREG ist ein statistisches Modell, mit dessen Hilfe die Auswirkungen globaler Modellierungen auf regionalen Ebenen beschrieben werden können. Es wurde vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegeben. Für die Modellierungen in Deutschland liegt das globale Klimamodell des IPCC<sup>5</sup> „ECHAM5/MPI-OM“<sup>6</sup> zu Grunde. WETTREG projiziert die zukünftige Entwicklung des Klimas für bestimmte

<sup>5</sup> IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change, zu Deutsch: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen oder kurz Weltklimarat

<sup>6</sup> ECHAM5/MPI-OM = coupled atmosphere-ocean-sea ice general circulation model, zu Deutsch: gekoppeltes Zirkulationsmodell für Atmosphäre, Ozeane und Meereis; entwickelt vom Max-Planck-Institut für Meteorologie

Klimastationen. Die Modellierungen stehen für 282 Klima- und 1695 Niederschlagsstationen zur Verfügung. Der Schwerpunkt der Betrachtung in dieser Arbeit liegt auf den temperaturbedingten Einflüssen auf das Humanbioklima.

Beim Humanbioklima handelt es sich um ein primär temperaturabhängiges Thema. Die bodennahe Temperatur ist ein vergleichsweise leicht zu modellierender Parameter, der neben dem atmosphärischen Antrieb (also der Wetterlage) in erster Linie von der Art der Bodennutzung und Höhe über NHN<sup>7</sup> abhängig ist. Die Temperatur weist in allen Szenarien und Modellen denselben Trend auf: Sowohl die Durchschnittstemperatur als auch die Extremtemperaturen werden sich um einige K nach oben verschieben. Einzig bezüglich des genauen Betrags dieser Änderung existieren zwischen den einzelnen Varianten Unterschiede, die eine Spannweite bis zu 30 K aufweisen. Um möglichst realistische Aussagen zur möglichen Entwicklung der untersuchten Parameter geben zu können, wurden daher die Ergebnisse der einzelnen Läufe gemittelt, so dass Extremwerte ausgeglichen und deren mögliche zukünftige Trends besser dargestellt werden können.

### **3.2 Ergebnisse des Regionalen Klimamodells WETTREG 2010 für drei ausgewählte Klimastationen in Berlin**

Das in Abhängigkeit von den städtischen Strukturen gegliederte klimatische System in Berlin wird für autochthone<sup>8</sup> Wetterlagen auch unter dem Einfluss des Klimawandels grundsätzlich erhalten bleiben. Aufgrund der allmählichen Erwärmung der Atmosphäre sind im Laufe des Jahrhunderts aber relevante Veränderungen für das humanbiometeorologische Belastungsniveau zu erwarten. Diese Entwicklungen werden in den folgenden Kapiteln quantifiziert. Hierbei wurden Daten der WETTREG-Simulation für das Szenario A1B für die Stationen Berlin-Dahlem, Berlin-Tegel und Berlin-Tempelhof ausgewertet. Dabei werden die für solche Untersuchungen üblichen Betrachtungszeiträume 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 unterschieden.

#### **3.2.1 Jahresmittelwerte der Lufttemperatur**

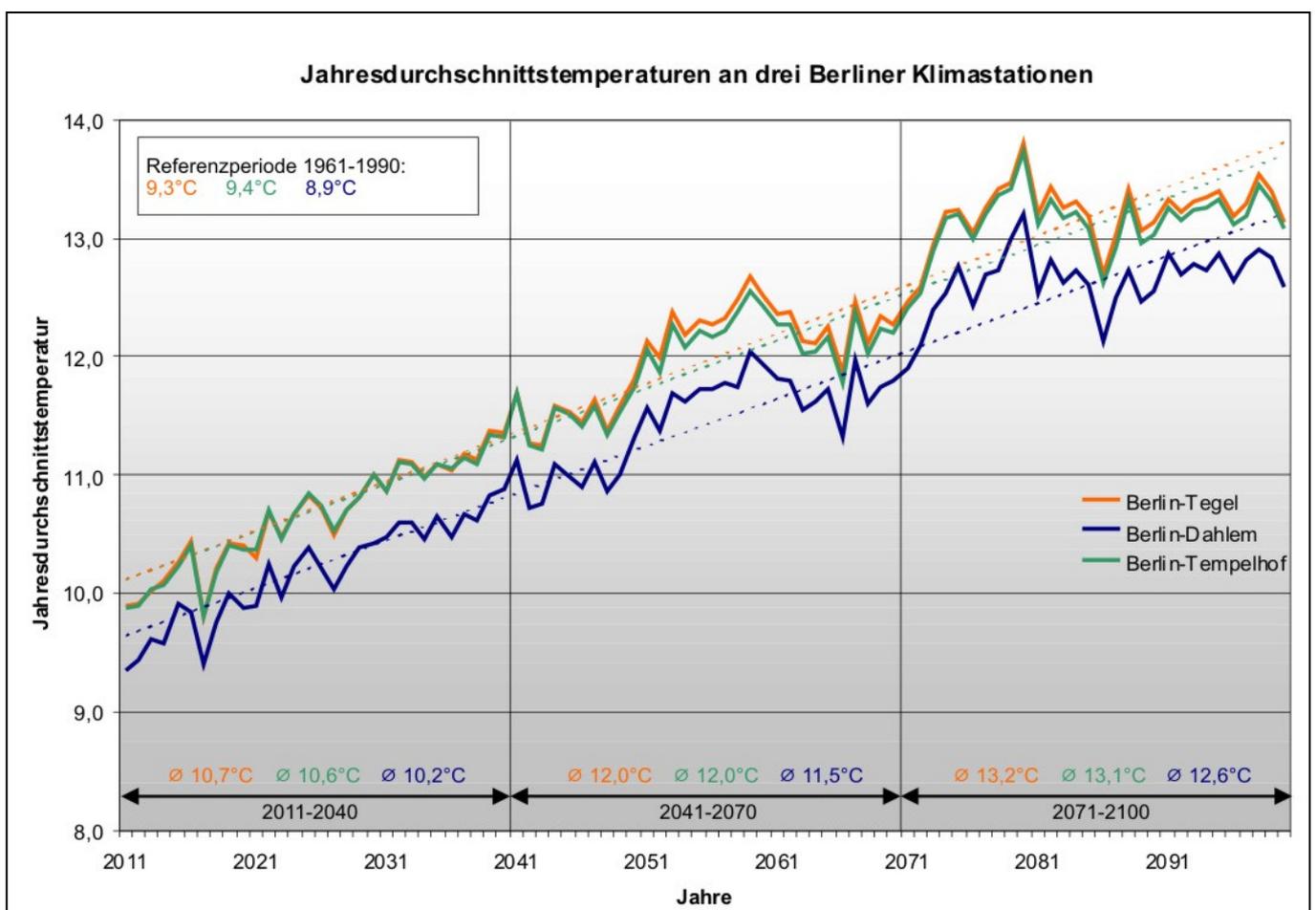
Ein erster Indikator für das Ausmaß der zukünftigen humanbiometeorologische Belastungssituation in Berlin ist die Entwicklung der lokalen bodennahen Jahresdurchschnittstemperatur. Diese ist seit dem Beginn der industriellen Revolution moderat aber stetig angestiegen und lag in der Klimanormalperiode 1961-1990 bei 8,9, 9,3 bzw. 9,4°C für die drei untersuchten Klimastationen in Berlin (siehe Abb. 3.3). Unter dem Einfluss des Klimawandels wird sich diese Entwicklung nicht nur fortsetzen, sondern bereits in den kommenden Jahrzehnten noch verstärken. Unter Zugrundlegung des Szenarios A1B ergibt sich kurzfristig (Klimaperiode 2011-2040) eine weitere Zunahme um +1,4 K (Tegel), +1,2 K (Tempelhof) und +1,3 K (Dahlem), mittelfristig (2041-2070) um +2,7 K (Tegel), +2,6 K (Tempelhof) und +2,6 K (Dahlem) und langfristig (2071-2100) um +3,9 K (Tegel), +3,7 K (Tempelhof) und +3,7 K (Dahlem). Wie in Abbildung 3.3 deutlich wird, ist mit einem

---

<sup>7</sup> Normalhöhennull

<sup>8</sup> Von Altgriechisch *autós* „selbst“ und *chthōn* „Erde“, also etwa „einheimisch“, „ortsfest“, „ursprünglich“.

kontinuierlichen Anstieg der Jahresdurchschnittstemperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts zu rechnen. Die Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen ist den natürlichen Schwankungen des Klimas unterworfen. Die Klimastationen Berlin-Tegel und Berlin-Tempelhof zeigen eine sehr ähnliche Entwicklung der Temperaturen. Die Station Dahlem weist durchgehend eine geringere Werteausprägung auf. Dies spiegelt die Lage der Klimastationen im städtischen Raum wieder. Während die Stationen Berlin-Tegel und Berlin-Tempelhof Entlastungsräume innerhalb verdichteter Stadtgebiete repräsentieren, weist die Station Berlin-Dahlem eine eher periphere Lage auf. Hier ist der Wärmeinseleffekt nicht so stark ausgeprägt wie an den anderen beiden Standorten. Daten einer Station mit einer sehr urbanen Lage in stark verdichteten Bereichen (z.B. Berlin-Alexanderplatz), in denen insgesamt noch höhere Temperaturen zu erwarten sind, liegen für diese Auswertung nicht vor.



**Abb. 3.3:** Projektion zukünftiger bodennaher Jahresmitteltemperaturen an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = linearer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET)

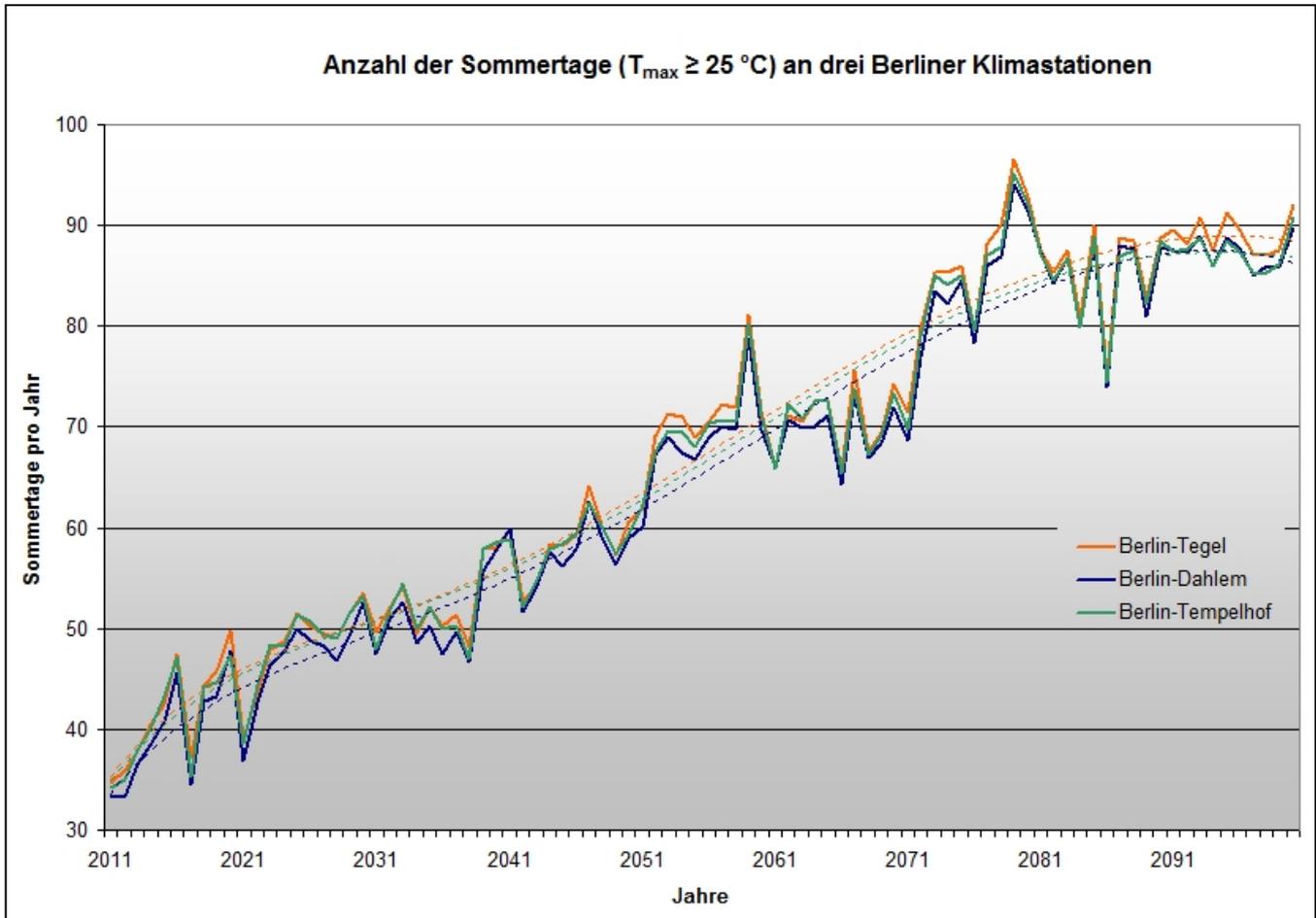
### 3.2.2 Auftrittshäufigkeit von meteorologischen Kenntagen

Eine allmähliche Erwärmung der bodennahen Luftschichten ist aus humanbiometeorologischer Sicht nur dann von Bedeutung, wenn mit ihr auch eine Intensivierung bzw. eine erhöhte Auftrittshäufigkeit von Belastungssituationen einhergehen. Die Entwicklung der Auftrittshäufigkeiten der meteorologischen Kenntage Sommertage ( $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ ), Hitzetage ( $T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ ) und Tropennächte ( $T_{\min} \geq 20 \text{ °C}$ ) stellen hierfür gute Indikatoren dar.

Betrachtet man die Ausprägungen der verschiedenen Parameter für die drei Berliner Klimastationen, so wird deutlich, dass sie sich lediglich in der Ausprägung der Tropennächte wesentlich unterscheiden. Auch hier setzt sich der Trend der zunehmenden Auftrittshäufigkeit der betrachteten Kenntage, der aus den Klimabeobachtungen der letzten Jahrzehnte (vgl. Kapitel 2.2 und 2.3) hervorgeht, weiter fort und wird zudem verstärkt.

#### Auftrittshäufigkeit von Sommertagen

Abbildung 3.4 zeigt die Anzahl der Sommertage an den drei ausgewerteten Klimastationen im zeitlichen Verlauf ab 2011 bis 2100. Als Sommertage gelten Tage mit einer Tages-Maximumtemperatur von  $25 \text{ °C}$  oder mehr. Die Entwicklung der Sommertage wird für alle drei Stationen sehr ähnlich projiziert. Während zu Beginn des Jahrhunderts die Zahl der Sommertage noch bei etwa 35 bis 37 pro Jahr liegt, steigt sie bis zum Ende des Jahrhunderts stark an bis auf 89 bis 92 Sommertage pro Jahr. Die polynomischen Trendlinien folgen hier den natürlichen Schwankungen der Werteausprägung, die auch dazu führen, dass die maximale Anzahl der Sommertage dieser Klimamodellierung mit WETTREG schon vor Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird. Für das Jahr 2079 wird für alle drei Stationen die größte Anzahl an Sommertagen projiziert. Dies sind für Dahlem 94,1 Tage, für Tempelhof 95,2 Tage und für Tegel 96,6 Tage.



**Abb. 3.4:** Projektion der Anzahl zukünftiger Sommertage an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linie = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET)

Die Tabelle 3.1 zeigt die durchschnittliche Anzahl von Sommertagen pro Jahr in den drei Perioden (2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100) für die ausgewählten Klimastationen. Auch hier wird die projizierte starke Zunahme der Sommertage pro Jahr deutlich. Die Anzahl der Sommertage pro Jahr verdoppelt sich fast vom Zeitraum 2011-2040 bis zum Zeitraum 2071-2100.

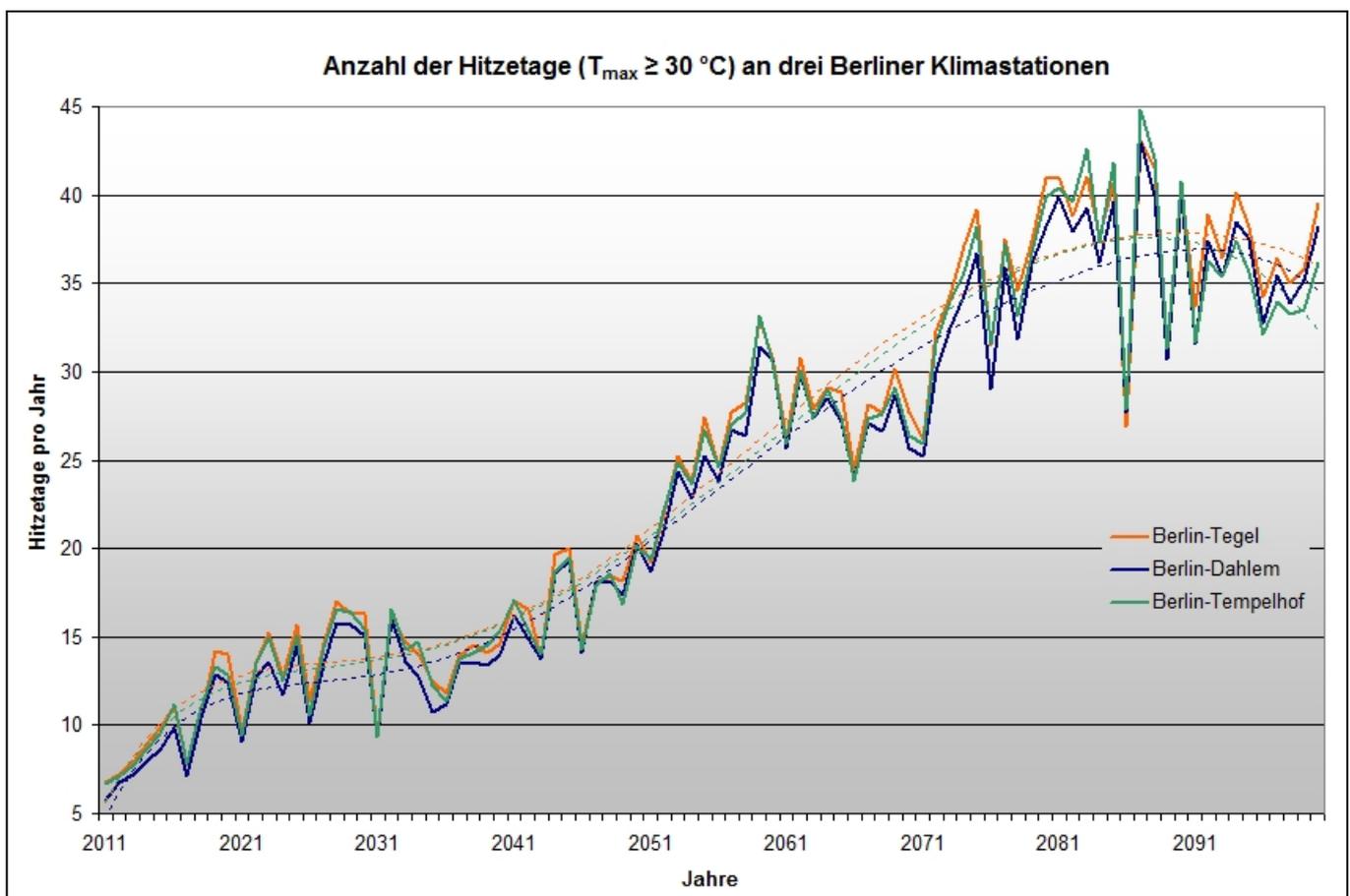
Zeitraum	Sommertage pro Jahr		
	Berlin-Dahlem	Berlin-Tegel	Berlin-Tempelhof
2011-2040	45,8	47,5	47,1
2041-2070	65,1	66,7	66,1
2071-2100	85,0	86,7	85,5

**Tab. 3.1:** Projektion der Anzahl zukünftiger Sommertage an drei Berliner Klimastationen (Betrachtungszeiträume 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100); WETTREG-Simulation, Szenario A1B (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).

## Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen

Als Hitzetage bzw. heiße Tage werden Witterungssituationen bezeichnet, an denen die Tageshöchsttemperatur 30 °C oder höher ist.

In Abbildung 3.5 wird die Entwicklung der Hitzetage von 2011 bis 2100 dargestellt. Hier werden die natürlichen Schwankungen des Klimas im Laufe eines Jahrhunderts deutlich sichtbar anhand der geschwungenen Trendlinie. Dennoch ist die Erhöhung der Anzahl der Hitzetage pro Jahr deutlich zu erkennen. Wie in Kapitel 2.2 und 2.3 beschrieben, steigt seit Jahrzehnten die Zahl der Hitzetage in Berlin an. Die Klimamodellierung durch WETTREG zeigt, dass in Zukunft dieser Anstieg sehr viel schneller von statten gehen wird. Wird im Jahr 2011 noch von 5 bis 7 Hitzetagen pro Jahr ausgegangen, so werden es 2100 voraussichtlich bereits 36 bis 39 Hitzetage pro Jahr sein. Die höchste Anzahl von Hitzetagen wird für das Jahr 2087 mit 43,1 Hitzetagen für die Station Berlin-Tegel und Berlin-Dahlem sowie mit 44,8 Tagen für Berlin-Tempelhof projiziert.



**Abb. 3.5:** Projektion der Anzahl zukünftiger Hitzetage an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011-2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET)

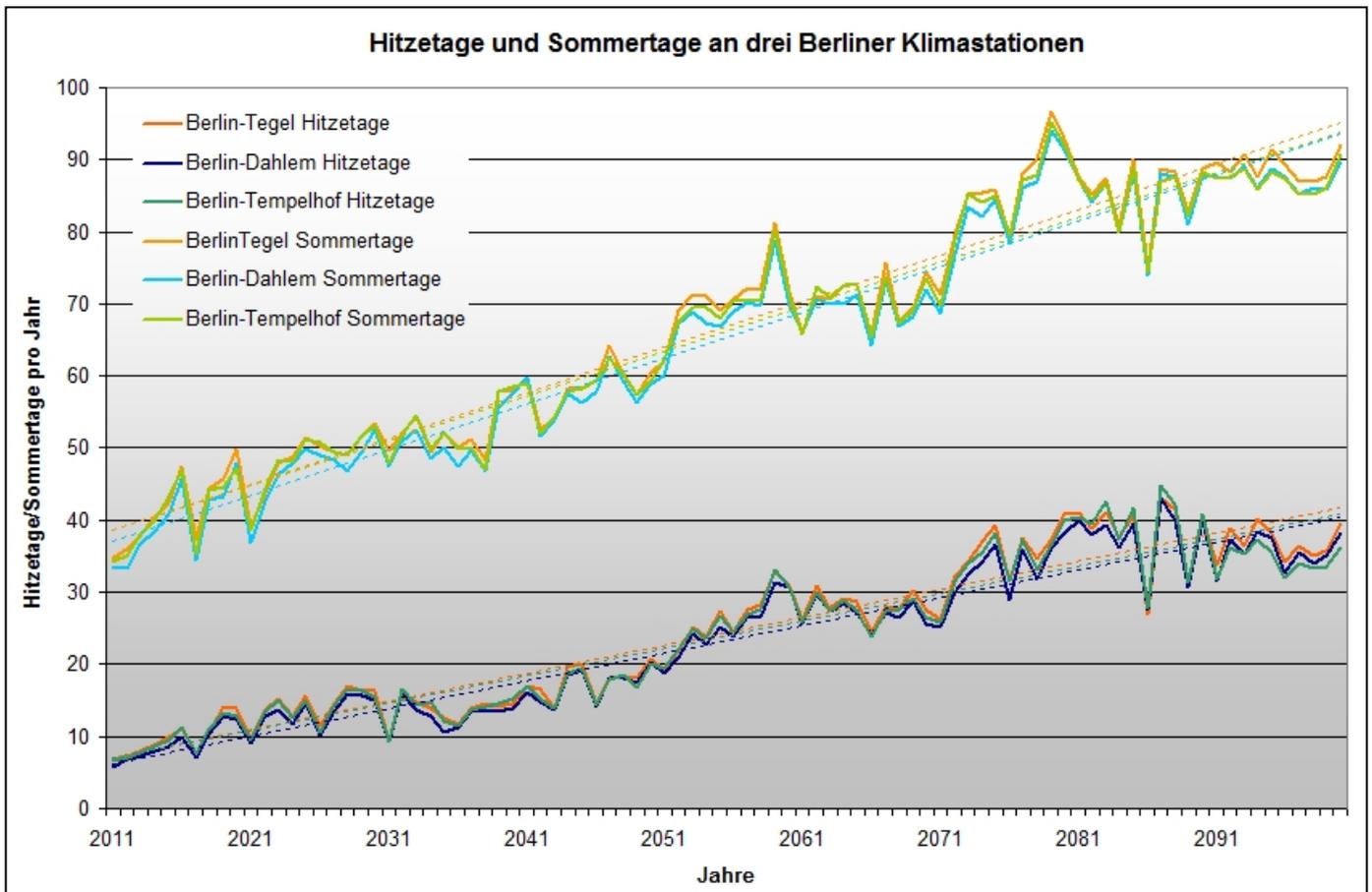
Auch bezogen auf die projizierte Entwicklung des Kennwertes Hitzetage gibt es keine relevanten Unterschiede zwischen den untersuchten Stationen, wie Tabelle 3.2 zeigt, in der die Anzahl von Hitzetagen für

jeweils drei Perioden dargestellt ist. Vom ersten Zeitraum am Anfang des Jahrhunderts kommt es bis zum letzten betrachteten Zeitraum zu einer Verdreifachung der Werte.

Zeitraum	Hitzetage pro Jahr		
	Berlin-Dahlem	Berlin-Tegel	Berlin-Tempelhof
2011-2040	11,6	12,6	12,4
2041-2070	23,1	24,0	23,5
2071-2100	35,3	36,7	35,9

**Tab. 3.2:** Projektion der Anzahl zukünftiger Hitzetage an drei Berliner Klimastationen (Betrachtungszeiträume 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100); WETTREG-Simulation, Szenario A1B (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).

Abbildung 3.6 zeigt zusammenfassend die Entwicklung der Sommer- und Hitzetage an den drei untersuchten Klimastationen. Zur besseren Veranschaulichung des Trends wurde hier eine lineare Darstellung gewählt. Deutlich wird, dass Sommer- und Hitzetage in ihrer Ausprägung korrelieren. Dennoch zeigt die Steigung der Trendlinien der Parameter, dass der Anstieg der Sommertage insgesamt schneller von statten geht, als der Anstieg der Hitzetage.

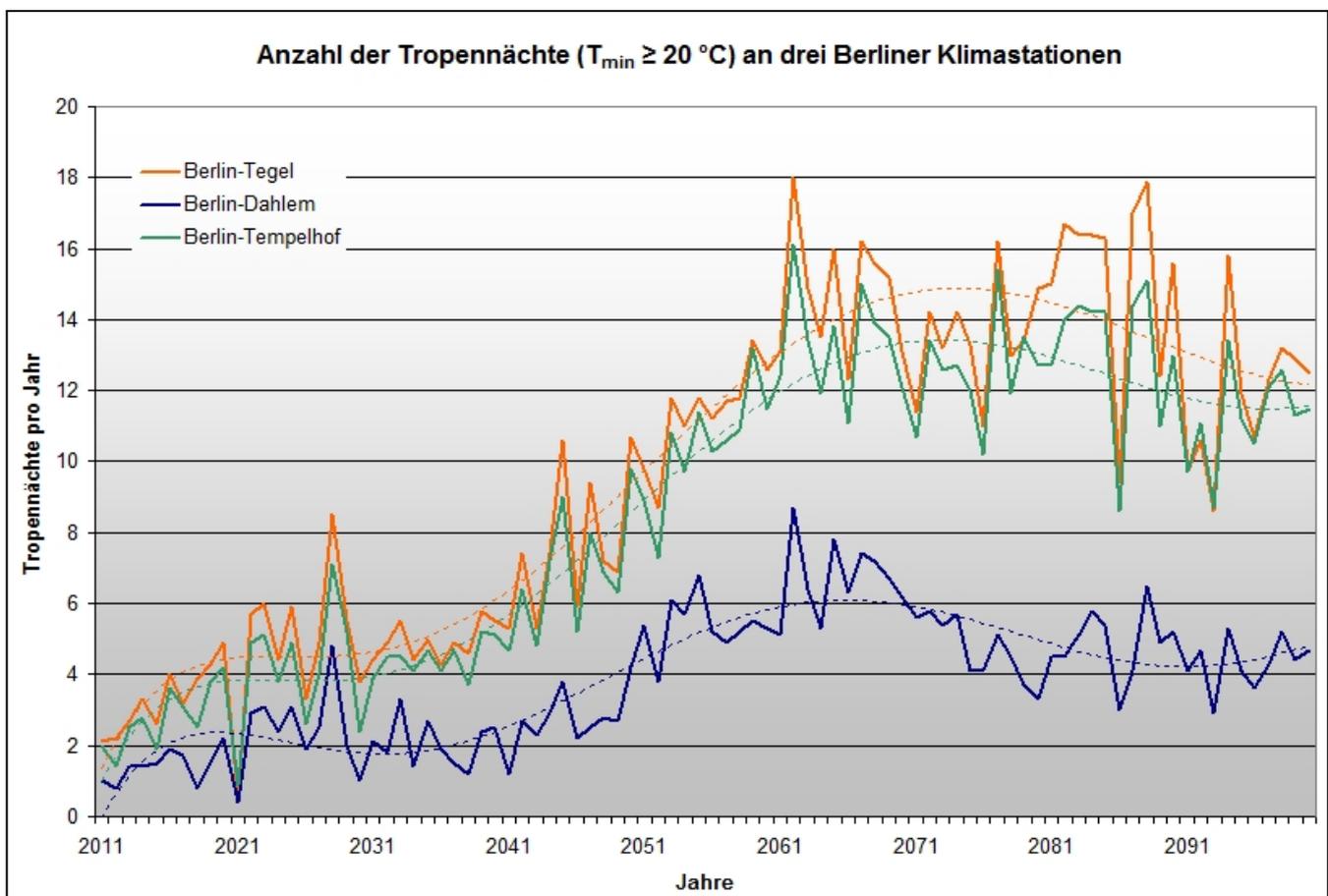


**Abb. 3.6:** Gemeinsame Projektion der Anzahl zukünftiger Sommer- und Hitzetage an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Projektion A1B, (gestrichelte Linien = linearer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).

## Auftrittshäufigkeit von Tropennächten

Als Tropennacht wird eine Situation bezeichnet, bei der die nächtliche Minimaltemperatur  $20^{\circ}\text{C}$  nicht unterschreitet. Damit geht eine erhebliche Wärmebelastung für den Menschen einher.

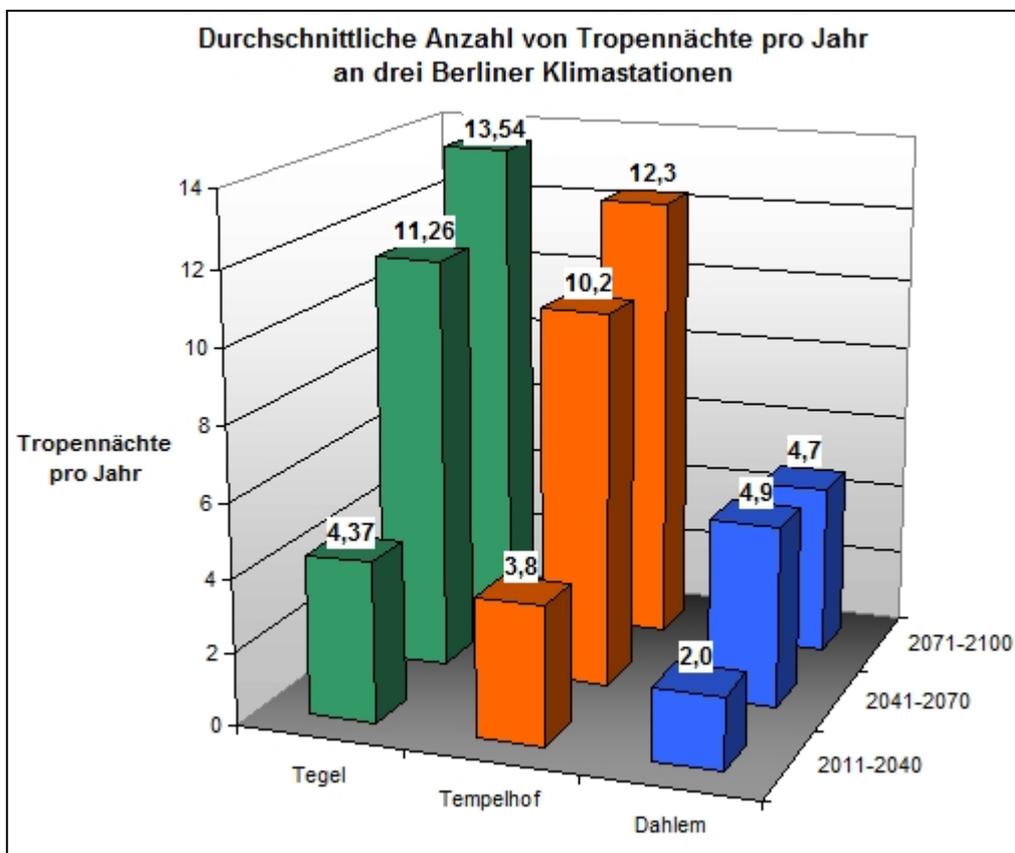
Insgesamt betrachtet steigt auch die Zahl der Tropennächte pro Jahr bis zum Ende des Jahrhunderts an. Hier lassen sich allerdings deutliche Unterschiede in der Ausprägung des Parameters zwischen den drei Klimastationen in Berlin erkennen. An der Station Berlin-Tegel werden für die gesamte untersuchte Periode die meisten Tropennächte pro Jahr projiziert. Hier liegt die Ausprägung zwischen 2 Tropennächten 2011 und zum Ende des Jahrhunderts 12,5 Tropennächten im Jahr 2100. Dies entspricht etwa einer Versechsfachung der Tropennächte in 90 Jahren. Für die Station Berlin-Tempelhof liegt die Modellierung für die Entwicklung der Tropennächte zumeist knapp unter der Modellierung für Berlin-Tegel. Hier entwickelt sich die Anzahl der Tropennächte pro Jahr von 2 im Jahr 2011 auf 11,5 im Jahr 2100. Deutlich darunter liegt die Ausprägung der Tropennächte für die Station Berlin-Dahlem. Die Entwicklung geht von 1 Tropennacht 2011 bis zu 4,7 Tropennächten im Jahr 2100 (vgl. Abb. 3.7). Somit sind für Berlin-Dahlem weniger als halb so viele Tropennächte projiziert wie für die anderen beiden Standorte in Berlin.



**Abb. 3.7:** Projektion der Anzahl zukünftiger Tropennächte an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET)

Der Verlauf der Entwicklung der Tropennächte an den drei Klimastationen ist grundsätzlich ähnlich, obwohl an der Station Dahlem die Steigung bis zum Jahr 2062 wesentlich geringer ist. Für alle drei Stationen gilt, dass das Maximum von Tropennächten im Jahr 2062 erreicht wird. In diesem Jahr werden für Dahlem 8,7 Tropennächte, für Tegel 18 Tropennächte und für Tempelhof 16,1 Nächte mit einem Temperaturmaximum über 20°C erreicht. Danach weist die Werteausprägung an allen drei Klimastationen eine leicht fallende Tendenz auf. Dies spiegelt die natürlichen Schwankungen des Klimas wieder. Auf Grund der eher geringen Ausprägung von Tropennächten im Vergleich zu Hitzetagen oder besonders Sommertagen, lassen sich die Schwankungen wesentlich deutlicher aus der dargestellten Graphik ablesen, als bei den zuvor untersuchten Parametern.

Abbildung 3.8 zeigt zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Werteausprägungen an den drei Standorten ein Diagramm, in dem die durchschnittliche Anzahl von Tropennächten pro Jahr in den drei Referenzperioden von je 30 Jahren bis zum Ende des 21. Jahrhunderts dargestellt ist.

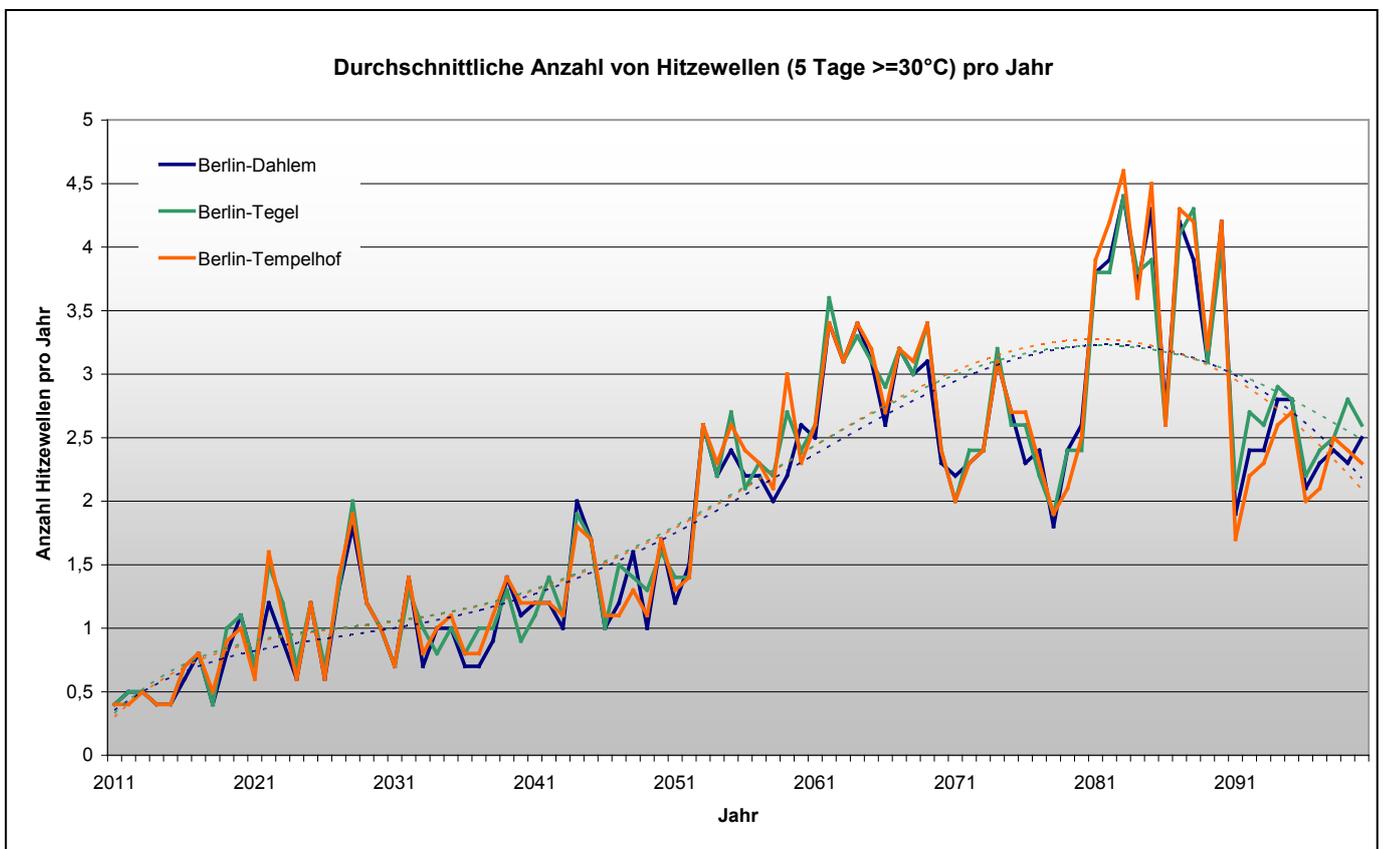


**Abb. 3.8:** Projektion der Anzahl zukünftiger Tropennächte an drei Berliner Klimastationen für die Referenzzeiträume 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).

## Auftrittshäufigkeit von Hitzewellen

Hohe Temperaturen sind insbesondere dann stark belastend, wenn sie über einen längeren Zeitraum andauern. Der Begriff Hitzewelle ist nicht klar definiert. Temperaturschwellenwerte und andere Rahmenbedingungen (z.B.: Luftfeuchte oder Dauer) unterscheiden sich je nach Land oder Region. Grund dafür sind die klimatischen Unterschiede, die auch eine unterschiedliche Akklimatisierung der Bevölkerung (bezogen auf einen gesunden Menschen durchschnittlichen Alters) an hohe Temperaturen mit sich bringen. In Deutschland gibt es keine offizielle Definition einer Hitzewelle. In dieser Untersuchung werden 5 Tage mit Maximaltemperaturen über 30°C als Hitzewelle angenommen.

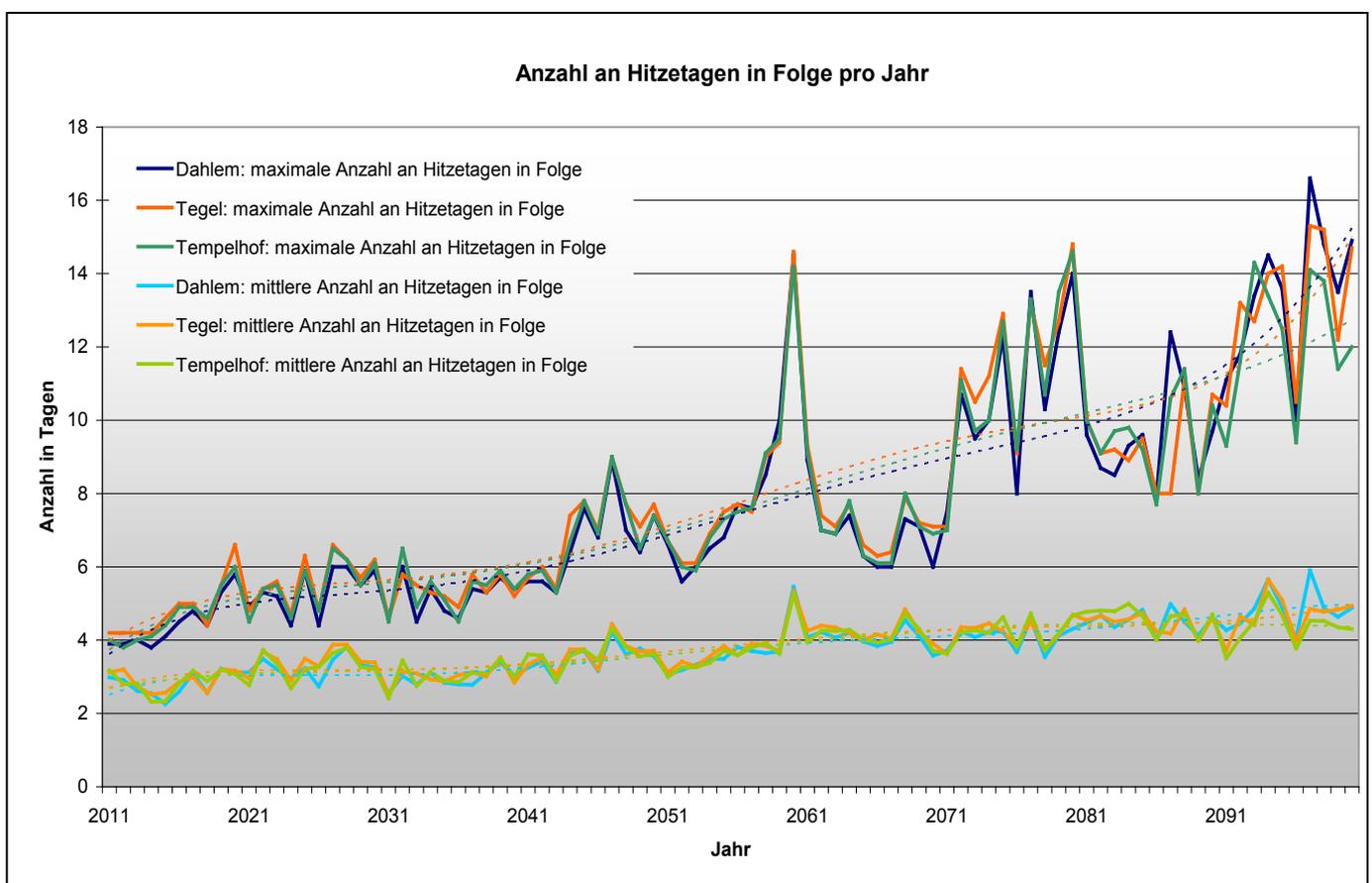
Abbildung 3.9 zeigt die projizierte Entwicklung von Hitzewellen bis zum Ende des Jahrhunderts. Zu Beginn der untersuchten Zeitreihe (2011) treten Hitzewellen an allen drei Standorten noch mit einer statistischen Häufigkeit von unter 0,5-mal pro Jahr auf. Bis ca. 2050 steigt die Häufigkeit von Hitzewellen zunächst nur moderat an und liegt bei etwa 1 bis 2 Hitzewellen pro Jahr. In der letzten Hälfte des Jahrhunderts ist dagegen ein stärkerer Anstieg zu erkennen. Etwa in den 2080er Jahren projiziert WETTREG die höchste jährliche Anzahl von Hitzewellen mit Auftrittswahrscheinlichkeiten von etwa 3- bis 4,5-mal pro Jahr. Zum Ende des 21. Jahrhunderts ist ein Rückgang der zu erwartenden Hitzewellen dargestellt. Diese Entwicklung korreliert mit den Ausprägungen der anderen untersuchten Parameter. Zwischen den drei untersuchten Stationen ist bei diesem Kennwert kein signifikanter Unterschied zu erkennen.



**Abb. 3.9:** Projektion der durchschnittlichen Anzahl zukünftiger Hitzewellen pro Jahr an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Projektion, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET)

Um die zukünftige Dauer von Hitzeperioden besser einschätzen zu können, sind in Abbildung 3.10 die maximale Anzahl an Hitzetagen in Folge pro Jahr und die mittlere Anzahl an Hitzetagen in Folge pro Jahr dargestellt. Auch hier korreliert die Ausprägung der Werte aller drei Berliner Klimastationen stark. Die mittlere Anzahl an aufeinander folgenden Hitzetagen weist nur einen leicht steigenden Trend auf. Sie steigt vom Anfang des Jahrhunderts (etwa 3 Tage) auf etwa 5 Tage am Ende des Jahrhunderts. Wesentlich deutlicher ist der Anstieg der maximalen Anzahl an Hitzetagen pro Jahr. Sie steigt von etwa 4 Tagen auf 12 bis 14 Tagen in 90 Jahren. Die Schwankungsbreite der Werte ist hoch.

Es wird deutlich, dass in Zukunft nicht nur mit häufiger auftretenden Hitzewellen zu rechnen ist, sondern auch mit länger andauernden. Extrem lange Hitzeperioden bleiben aber eher die Seltenheit, als die Regel, worauf die nur leicht steigende mittlere Anzahl an Hitzetagen pro Jahr hindeutet.



**Abb. 3.10:** Projektion der mittleren und maximalen Anzahl zukünftiger Hitzetage in Folge pro Jahr an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Projektion, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).

### 3.2.3 Zusammenfassung möglicher Klimawandeleffekte in Berlin

Die Analyse der WETTREG-Projektion bis zum Jahr 2100 für die drei Berliner Klimastationen Dahlem, Tegel und Tempelhof macht deutlich, dass der Trend der Zunahme der Temperaturen und vor allem der Zunahme von Extremwerten, der bereits in den letzten Jahrzehnten beobachtet werden konnte, sich weiter fortsetzen und in den nächsten Jahren und Jahrzehnten sogar noch verstärken wird.

Dies hat zur Folge, dass die humanbiometeorologischen Belastungen für die Bevölkerung nach dem jetzigen Stand der Kenntnis ansteigen werden. Besonders die untersuchten Parameter Hitzetage und Tropennächte stellen kritische Belastungssituationen für den menschlichen Organismus dar. An allen untersuchten Standorten wird es zu einer starken Steigerung der Anzahl der Hitzetage kommen, bei der Entwicklung der Tropennächte erweist sich lediglich Dahlem als vorteilhaft. Hier ist die Ausprägung der zu erwartenden Tropennächte bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wesentlich geringer als bei den anderen beiden Standorten. Dies ist auf die Lage der Klimastation außerhalb der Innenstadt im Bereich der Einzelhausbebauung zurückzuführen. Durch die stärker durchgrünte Umgebung der Station kann es nachts zu einer größeren Abkühlung als in den stärker versiegelten und städtischer geprägten Bereichen der anderen beiden Klimastationen kommen. Die wesentlich kühleren Nächte im Bereich Dahlem spiegeln sich auch in der projizierten Jahresmitteltemperatur für diese Station wieder, die dadurch konstant ca. ein halbes Grad unter den Temperaturen in Tegel und Tempelhof liegt. Auch der zunehmenden Belastung durch Hitzewellen, sowohl in der Anzahl ihres Auftretens als auch ihrer stärkeren Ausprägung, muss aufgrund der beschriebenen gesundheitlichen Relevanz Beachtung geschenkt werden.

Ohne dass die Station in diesen Vergleich einbezogen war, kann aufgrund der Auswertungen in Kapitel 2 erwartet werden, dass der Standort Alexanderplatz bedingt durch sein gegenüber Tempelhof und Tegel noch sehr viel stärker städtisch geprägtes Umfeld die Trenddarstellungen der einzelnen Kennwerte der Standorte Tegel und Tempelhof noch deutlich übertroffen hätte.

Es wird durch den Stationsvergleich und die Einbeziehung der jeweiligen stadtstrukturellen Umgebungsbedingungen deutlich, dass die Schaffung und Erhaltung klimatisch günstiger Bereiche im Stadtgebiet eine wichtige Rolle für die Entlastung der Bewohner bei Hitzestress spielt. Das Beispiel Dahlem zeigt, dass ein hoher Grünanteil vor allem nachts eine effektive Abkühlung erwirken kann und so den Bewohnern dieser Stadtviertel eine gute Möglichkeit der Erholung und Regeneration in den Nachtstunden ermöglicht.

## 4 Modellrechnung mit dem Klimamodell FITNAH 3-D

### 4.1 Eingesetztes Klimamodell FITNAH

#### Allgemeines

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten meso- und mikroskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse.

Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt oder einer Region im Maßstabbereich 1:25.000 bis 1:50.000. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis hin zu Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene müssen diese in die Mikro- und Mesoskala eingeordnet werden. Beispiele für solche mesoskaligen Phänomene sind der Einfluss orographischer Hindernisse auf den Wind wie Kanalisierung und Umströmungseffekte, Land-See-Winde, Flurwinde oder auch Düsenefekte in Straßen, sowie das Phänomen der urbanen Wärmeinsel.

Obwohl die allgemeine Struktur und die physikalischen Ursachen dieser lokalklimatischen Phänomene im Allgemeinen bekannt sind, gibt es nach wie vor noch offene Fragen hinsichtlich der räumlichen Übertragung auf andere Standorte oder der Sensitivität bezüglich der Wechselwirkungen einzelner Strömungssysteme untereinander. Ein Grund hierfür sind die relativ kleinen und kurzen Skalen der mesoskaligen Phänomene und deren unterschiedliches Erscheinungsbild in komplexem Gelände, was es extrem schwierig macht, mit Hilfe einer beschränkten Anzahl von Beobachtungen eine umfassende Charakterisierung zu erhalten. Auf Grundlage ergänzender Modelluntersuchungen kann dieser Nachteil überwunden werden.

Beginnend mit einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 1988) wurden gerade in Deutschland eine Reihe mesoskaliger Modelle konzipiert und realisiert. Der heutige Entwicklungsstand dieser Modelle ist hoch und zusammen mit den über die letzten Dekaden gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit diesen Modellen steht neben Messungen vor Ort und Windkanalstudien ein weiteres leistungsfähiges und universell einsetzbares Werkzeug zur Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen in kleinen, stadt- und landschaftsplanerisch relevanten Landschaftsausschnitten zur Verfügung.

#### Grundlagen

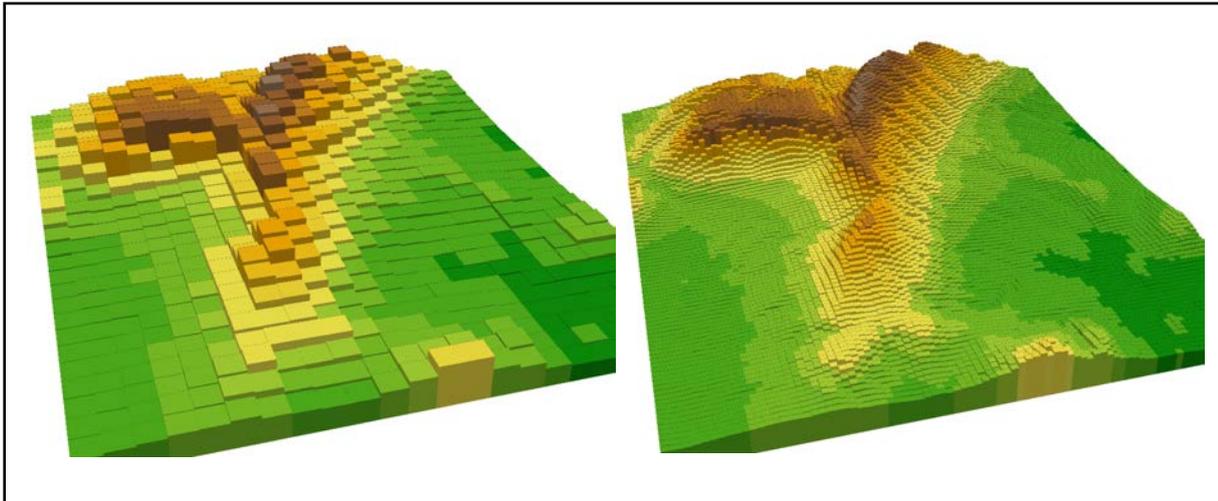
Die Verteilung der lokalklimatisch relevanten Größen wie Wind und Temperatur kann mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder

im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Mesoskalige Modelle wie FITNAH können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen, die nicht gemessen wurden und Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den großen Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert werden können und sich auf diese Art und Weise optimierte Lösungen ausarbeiten lassen.

### **Grundgleichungen**

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Alle Modelle basieren daher, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. Abb. 4.1). So kann z.B. die Immissionssituation in einer Straßenschlucht nur mit einem mikroskaligen Modell (mit einer Rasterweite  $< 5 * 5 \text{ m}^2$ ) realitätsnah simuliert werden.

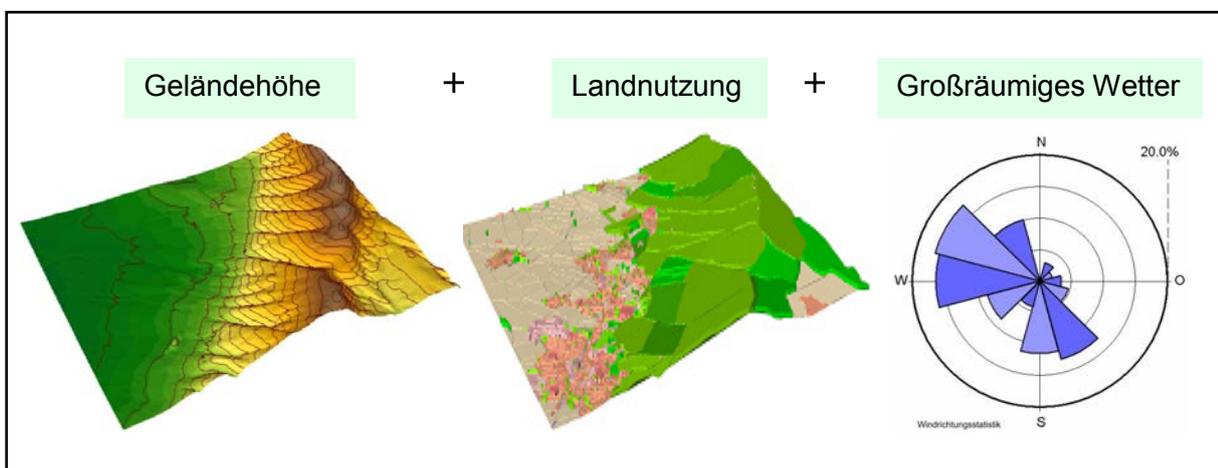


**Abb. 4.1:** Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite  $\Delta x$  10 m. Bei allen Modellrechnungen ist die vertikale Gitterweite nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen) sowie das Dachniveau in 22 m Höhe.

### Eingangsdaten

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (Abb. 4.2). Diese müssen zum einen die Oberflächenstruktur charakterisieren, für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll, und zum anderen auch die großskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.



**Abb. 4.2:** Eingangsdaten für die Modellrechnung

Alle Eingangsdaten sind jeweils als repräsentativer Wert je Rasterzelle bereit zu stellen:

- Geländedaten (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung)
- Nutzungsdaten (Verteilung der Landnutzung)
  - Bei urbanen Räumen: z.B. Gebäudehöhe, Überbauungsgrad, anthropogene Abwärme, Albedo,.....

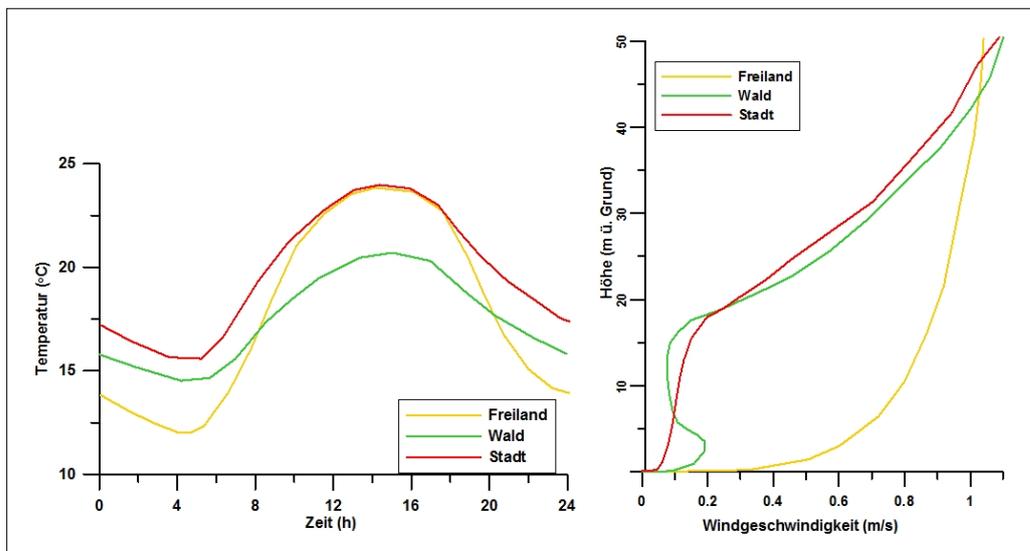
## 4.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Für das in Kap. 4.3 beschriebene Testgebiet wurde eine Vielzahl an meteorologischen Parametern berechnet. Neben der Tagsituation (14 Uhr) werden auch der Abend sowie der frühe Morgen zu den Zeitschnitten 22 Uhr und 04 Uhr simuliert. Die betrachteten Höhengniveaus liegen bei 2 m und 22 m über Grund. Zum einen können damit die Bedingungen bodennah im Aufenthaltsbereich der Menschen beurteilt werden. Bei dem in Berlin zumindest für die innerstädtische Blockbebauung heute noch üblichen Dachniveau von 22 m ist es zum anderen möglich, auch Aussagen für das Überdachniveau zu treffen.

Während autochthoner Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet. Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen entsprechend festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8,
- kein überlagernder geostrophischer Wind,
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.
- 19°C Lufttemperatur um 21 Uhr

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger hoher Ein- und Ausstrahlung können sich somit lokal humanbiometeorologische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden. In Abb. 4.8 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.



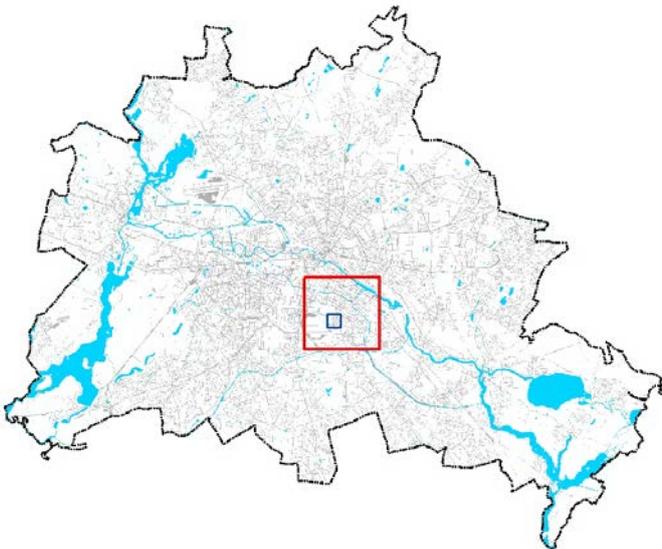
**Abb. 4.3:** Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen (eigene Abbildung GEO-NET)

Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich. Im Aufenthaltsbereich des Menschen sind daher über Freiland die Windgeschwindigkeiten am höchsten.

### 4.3 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis

Die Güte der Modellergebnisse hängt entscheidend vom Detaillierungsgrad der Eingangsdaten ab. Bislang wurde für klimatische Modellanwendungen in Berlin vorrangig auf blockbezogene Daten des Informationssystems Stadtentwicklung und Umwelt (ISU) zurückgegriffen. Die digitale Grundkarte Berlin (ISU5 2010) im Maßstab 1:5.000 stellt die Bezugsflächen für eine Vielzahl block(teilflächen)bezogener Angaben dar, u.a. zur realen Flächennutzung und zum Versiegelungsgrad (SenStadtUm 2011a-c) und ist damit eine gute Grundlage für mesoskalige Modellierungen in einer Auflösung von 50 m x 50 m. Allerdings bedeutet diese Rastergröße von je 2.500 m<sup>2</sup> auch, dass kleinräumigere Eingangsdaten wie etwa die für die aktuell vorliegende fortgeschriebene Fassung der Modellanwendung genutzten Gebäudedaten der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) nicht adäquat aufgelöst eingebunden werden können. Somit war für die im Grenzbereich zwischen der Mikroskala und der Mesoskala angesiedelte angestrebte Rasterauflösung von 10 m x 10 m ein erweiterter Ansatz zur Einbeziehung kleinräumiger Nutzungsdaten notwendig.

Entsprechende Vorbereitungen zur Ausstattung dieses Projektes mit Bebauungs- und Vegetationsdaten sehr hohen Detaillierungsgrades wurden im Rahmen der Arbeiten zur [Umweltatlas-Karte 06.10](#)<sup>9</sup> „Bestimmung von Gebäude- und Vegetationshöhen/-strukturen aus hochaufgelösten Luftbildern“ geleistet (SenStadtUm 2013). Die erfassten Sachdaten zu den einzelnen Gebäude- und Vegetationsobjekten erlauben neben den eigentlichen Objektdaten Flächengröße, maximale, minimale und gemittelte Höhe sowie Nutzung nach Nutzungsartenkatalog der ALK und Begrünung des Daches ja/nein auch Verknüpfungen zu den offiziellen Gebäudeschlüsseln sowie den Block(teil)flächenschlüsseln des ISU5 2010. Aufgrund ihres Detaillierungsgrades stellen diese Daten die wichtigste Grundlage für die vorgesehene gesamtstädtische Klimamodellierung mit einer 10 m Auflösung dar. Selbstverständlich werden darüber hinaus auch weitere notwendige Informationen des ISU einbezogen, auch wenn sie nur blockteilflächenbezogen vorliegen, soweit keine detaillierteren Quellen verfügbar sind. Alle verwendeten Datengrundlagen werden nachfolgend beschrieben. Im Rahmen der Erstellung des Arbeits- und Zeitplans des Projektes wurde vereinbart, vor einer Modellierung des gesamten Untersuchungsgebietes "Berlin und Umland" zunächst die Sensitivität des Klimamodells insbesondere auf diese Daten zu überprüfen, um gegebenenfalls modellinterne Anpassungen durchführen zu können. Dies erfolgt in einem abgestuften Verfahren. Zuerst wurde ein etwa 5 km x 5 km großes Testgebiet bestimmt, welches einen Großteil des Tempelhofer Feldes umfasst und sich nach Osten hin etwa bis zum Treptower Park erstreckt (vgl. roter Umriss Abb. 4.4).



**Abb. 4.4:** Lage der Test-Rechengebiete im Stadtgebiet Berlin

Die Abgrenzungskriterien waren vor allem eine möglichst große Vielfalt von Nutzungsstrukturen, d.h. sie sollten möglichst das gesamte Spektrum von unbebauter wiesenartiger Vegetation bis dichter innerstädtischer Bebauung umfassen. Ein weiterer Gesichtspunkt war die Tatsache, dass für Teile des Gebietes bereits umfangreiche Erfahrungen aus Modellierungen mit gleichfeiner Auflösung bestehen (z.B. GEO-NET 2013). Innerhalb dieses Gebietes wurde wiederum ein 1 km x 1 km großes Teilareal im Bereich des nordöstlichen Tempelhofer Feldes/Oderquartiers abgegrenzt, um die Anpassungen des Modells an neue Eingangs-

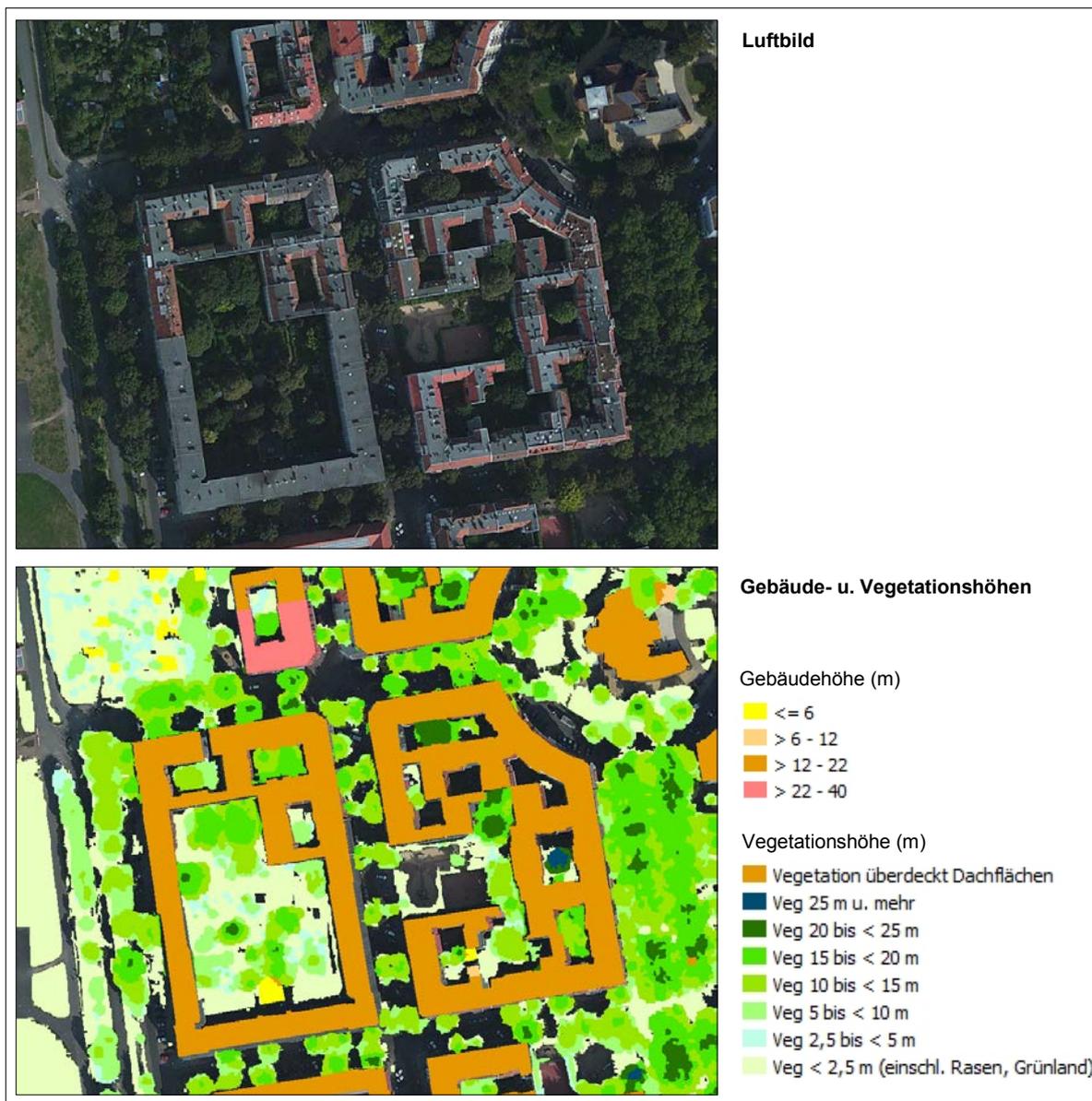
<sup>9</sup> <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i610.htm>

daten schneller auswerten und beurteilen zu können (blauer Umriss Abb. 4.4). Diese Parametrisierung wird in einem weiteren Schritt auf das 5 km x 5 km Testgebiet übertragen und nach weiterer Prüfung die Grundlage für die berlinweite Modellierung darstellen. Im Folgenden werden die verschiedenen aus dem Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) bereitgestellten Datenebenen sowie deren Verarbeitung beschrieben. Daran anschließend werden die Ergebnisse für das kleine 1 km x 1 km Testgebiet dargestellt.

### 4.3.1 Vegetations- und Gebäudestrukturen

Da die stadtklimatische Situation vor allem von den Baustrukturen sowie der Vegetationsausstattung beeinflusst werden, stellt die Umweltatlas-Karte 06.10 mit ihren hochauflösenden Gebäude- und Vegetationsobjekten sowie deren Höhenattributierung eine ganz wesentliche Informationsebene dar. Für die Aufbereitung der Modelleingangsdaten konnte auf das Datenfeld *ALK Gebäude* zurückgegriffen werden, welcher eine Höheninformation zugewiesen wurde. Darüber hinaus sind aber auch Gebäude enthalten, welche nicht Bestandteil des ALK sind. Dazu zählen Garagen, Schuppen sowie geplante oder im Bau befindliche Gebäude. Zudem werden weitere erhöhte Objekte wie Brückenbauwerke oder oberirdische Bahnanlagen klassifiziert und begrünte Dächer erfasst. Die Umrisse der Vegetationsstrukturen werden in Höhenstufen abgegrenzt, wobei für jede Einzelgeometrie eine individuelle Höhenangabe vorliegt. Weitere Hintergrundinformationen können dem Internetangebot des Umweltatlas entnommen werden (<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/i610.htm>).

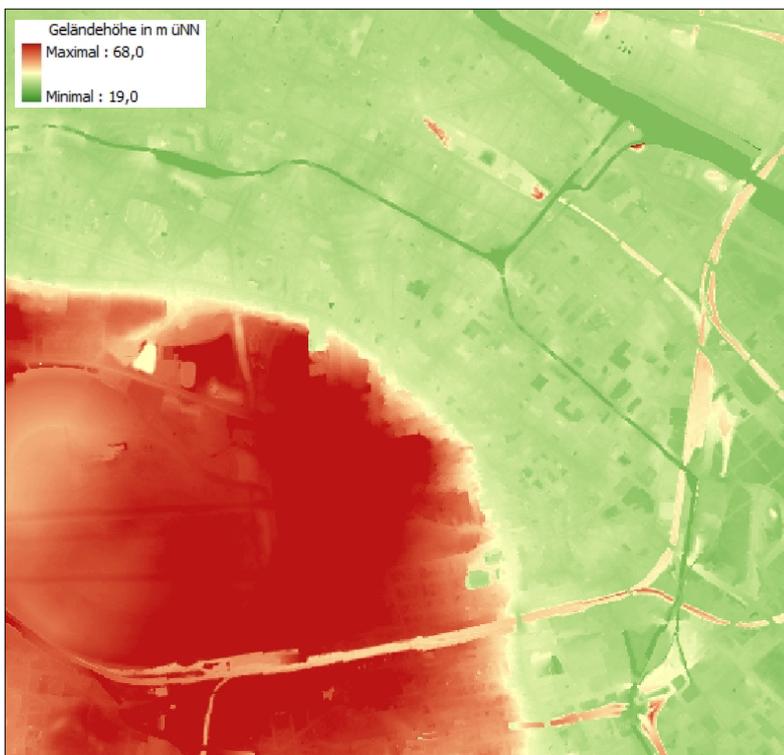
Gebäude- und Vegetationsstrukturen zeigt Abb. 4.5 exemplarisch für den Bereich Herrfurthstraße. Er umfasst eine geschlossene Blockrandbebauung mit teilweise begrünten Innenhöfen, wobei sich im Westen die Rasenlandschaft des Tempelhofer Feldes befindet und im Osten der breite Straßenraum der Schillerpromenade mit großen Straßenbäumen angrenzt. Die Gebäudehöhen der gründerzeitlichen Blockbebauung betragen fast durchgängig bis zu 22 m, wobei lediglich kleinere Nebengebäude in den Innenhöfen Höhen von weniger als 6 m aufweisen. Gleichzeitig sind auch die Vegetationsstrukturen dargestellt. Deren Bandbreite erstreckt sich von Grünland bis hin zu Bäumen mit einer Kronenhöhe von über 25 m. Sowohl in den Blockinnenhöfen als auch im Straßenraum sind zahlreiche Bäume anzutreffen. Auf Grundlage dieser hochauflösenden Strukturinformationen soll mit der Klimamodellierung der lokalklimatische Einfluss vor allem des Grünvolumens wiedergespiegelt werden. Wenngleich für die in Abb. 4.5 dargestellten Objekte individuelle Höheninformationen verarbeitet wurden, sind diese zur besseren Ablesbarkeit hier in Höhenstufen dargestellt.



**Abb. 4.5:** Vegetations- und Gebäudedaten im Bereich des Testgebietes am Beispiel der Oderstraße (Luftbilder: DOP20-C, SenStadtUm 2014)

### 4.3.2 Geländehöhe

Das Relief hat einen großen Einfluss auf den nächtlichen Kaltfluthaushalt und beeinflusst dessen Prozesse. Während auf vegetationsgeprägten geneigten Hängen mit mehr als 1° Neigung Kaltluftabflüsse entstehen, können Tiefenlinien wie z.B. Geländeeinschnitte von Fließgewässern die Kaltluft kanalisieren und als Leitbahnen fungieren. Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsinformationen für die Berechnung der meteorologischen Parameter wurde aus den Geländehöhendaten des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) mit einer Gitterweite von 1 m ein Geländemodell für den Untersuchungsraum erzeugt (vgl. Umweltatlas [Karte 01.08 Geländehöhe](#)<sup>10</sup>). Die Geländehöhe ist in Abb. 4.6 dargestellt, wobei der höchstgelegene Geländepunkt von bis zu 68 m üNN in der Hasenheide anzutreffen ist. Auf einem Großteil des Tempelhofer Feldes liegt ein Höhenniveau von 45 m bis 50 m vor, welches weiter östlich auf 50 m bis 55 m ansteigt. Nördlich einer Linie Hasenheide – Karl-Marx-Str. geht die Geländehöhe auf weniger als 40 m üNN zurück.



**Abb. 4.6:** Geländehöhe im Testgebiet

<sup>10</sup> <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia108.htm>

### 4.3.3 Bodeninformationen

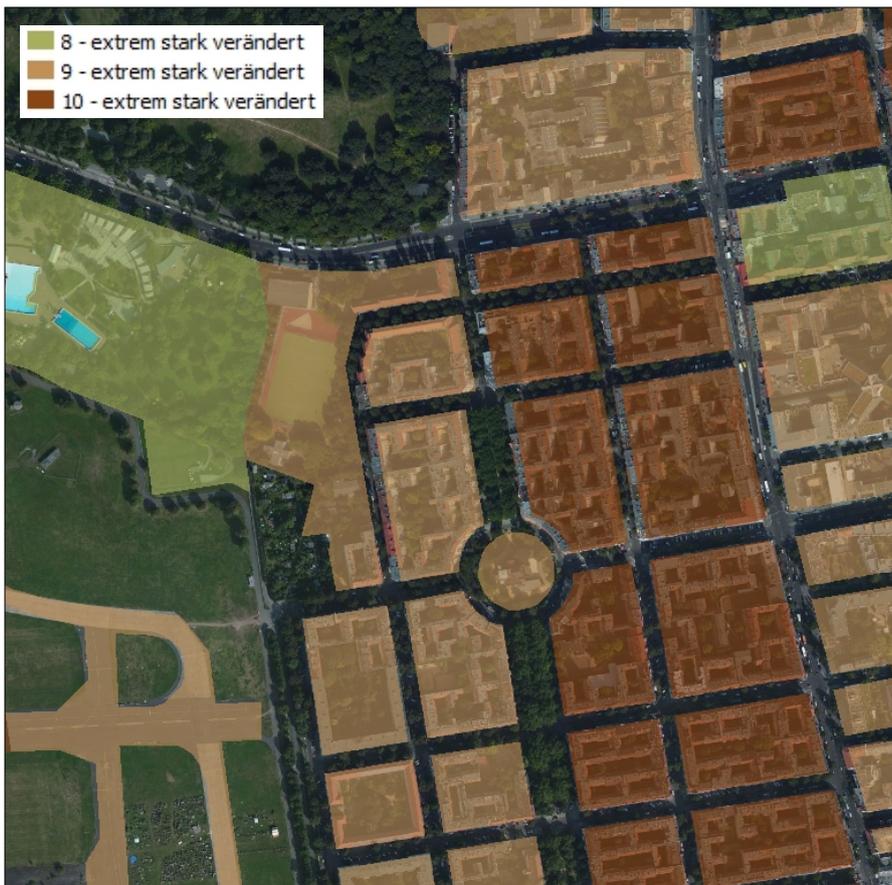
Bei der Simulation der von der Sonneneinstrahlung ausgehenden Wärmeflüsse innerhalb der Stadtstrukturen kommt dem Bodenwärmestrom eine große Bedeutung zu. Dieser beeinflusst, wie viel Energie am Tage von einer Oberfläche aufgenommen und im Material gespeichert bzw. in den Nachtstunden wieder an die bodennahe Atmosphäre abgegeben wird. Die Böden im Stadtgebiet Berlin sind großflächig durch menschliche Eingriffe geprägt und z.T. auch stark verändert worden. Dies hat Auswirkungen auf den Energiehaushalt. Lässt man weitere Einflussgrößen wie z.B. Bodenwassergehalt und Vegetation außen vor, wird ein naturferner Stadtboden in urbanem Umfeld tendenziell stärker verdichtet sein und mit höherer Lagerungsdichte auch mehr Wärme am Tage aufnehmen können. So wird eine Rasenfläche in bebauter Umgebung nachts weniger stark abkühlen als im Freiland. Um diesen Zusammenhang in die Modellparametrisierung aufnehmen zu können, wurden die Sachdaten der [Umweltatlas-Karte 01.11.3 Naturnähe](#)<sup>11</sup> (SenStadtUm 2013) verarbeitet und das Kriterium der Naturnähe herangezogen. Dieses beschreibt das Ausmaß der Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Ausgangszustand, wobei Aspekte wie Abtrag von Boden, Überlagerung mit Fremdmaterialien oder die Störung der natürlichen Bodenhorizontierung von Belang sind. Darüber hinaus gehen in die zehnstufige Bewertung der Naturnähe auch Informationen zu Bodengesellschaften, Nutzung, Nutzungstyp und zum Versiegelungsgrad ein. Für die Verarbeitung der Eingangsdaten bedeutet dies, dass die betreffenden Rasterzellen mit Rasen eine dahingehend angepasste Parametrisierung des Bodenwärmestroms erhalten. Gleiches gilt für Rasterzellen, bei denen sich Rasen unterhalb von Bäumen befindet. Die relevanten Stufen 8 bis 10 zeigt Tab. 4.1. Die Angabe zur Naturnähe der Böden bezieht sich auf die Blockteilflächen der Blockkarte 1:5.000 (ISU5) und ist in Abb. 4.4 mit einem Luftbild überlagert worden. Es zeigt sich, dass ein Großteil der Siedlungsfläche des Testgebietes eine extrem stark veränderte Bodensituation aufweist. Das Wiesenmeer des Tempelhofer Feldes sowie der Volkspark Hasenheide fallen hingegen nicht in diese Kategorie und sind als „mäßig verändert“ ausgewiesen (in Abb. 4.7 ohne Signatur).

	Ausmaß der Bodenveränderung	Beispielhafte Flächennutzungen	Kriterien	Naturnähe
8	extrem stark verändert	Sportplatz, Freibad; Siedlungsgebiet *) mit einem Versiegelungsgrad zwischen 30 und 60 %	stark im gesamten Bodenaufbau veränderte Böden, überwiegend Aufschüttungsböden	sehr gering
9		Stadtplatz; Gleisanlage; Siedlungsgebiet *) mit einem Versiegelungsgrad > 60 %	sehr stark im gesamten Bodenaufbau veränderte Böden, überwiegend Aufschüttungsböden	
10		Siedlungsgebiet *) mit einem Versiegelungsgrad > 90 %	durch Auf- und Abtrag, Verdichtung etc. völlig überformte Böden	

\*) Siedlungsgebiet umfasst die Nutzungen Wohngebiet, Mischgebiet, Gewerbe- und Industrie, Gemeinbedarf, Ver- und Entsorgung und Verkehrsfläche

**Tab. 4.1:** Bewertung der Naturnähe basierend auf Hemerobiestufen (Quelle: SenStadtUm 2013)

<sup>11</sup> <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ic111.htm>



**Abb. 4.7:** Naturnähe der Böden im Testgebiet (Luftbilder: DOP20-C, SenStadtUm 2014)

#### 4.3.4 Versiegelungsdaten

Daten zur Versiegelungssituation stellen eine weitere wichtige Informationsebene dar und ergänzen die vorhandene Datenbasis. Von besonderem Wert ist der Rasterdatenbestand, welcher mit der multispektralen SPOT5-Szene vom 8. Mai 2011 erstellt wurde und ein Zwischenergebnis der Versiegelungserfassung für die [Karte 01.02 Versiegelung](#)<sup>12</sup> des Umweltatlas darstellt (SenStadtUm 2012). Mit seiner hohen räumlichen Auflösung von 2,5 m x 2,5 m ermöglicht dieser Datensatz, auch die Versiegelungssituation unterhalb der von Bäumen bestandenen Areale zu bewerten und pauschale Zuordnungen zu vermeiden. Die Versiegelungssituation im Testgebiet bzw. eines Ausschnittes im Oderquartier zeigt Abb. 4.8.

<sup>12</sup> <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ic102.htm>

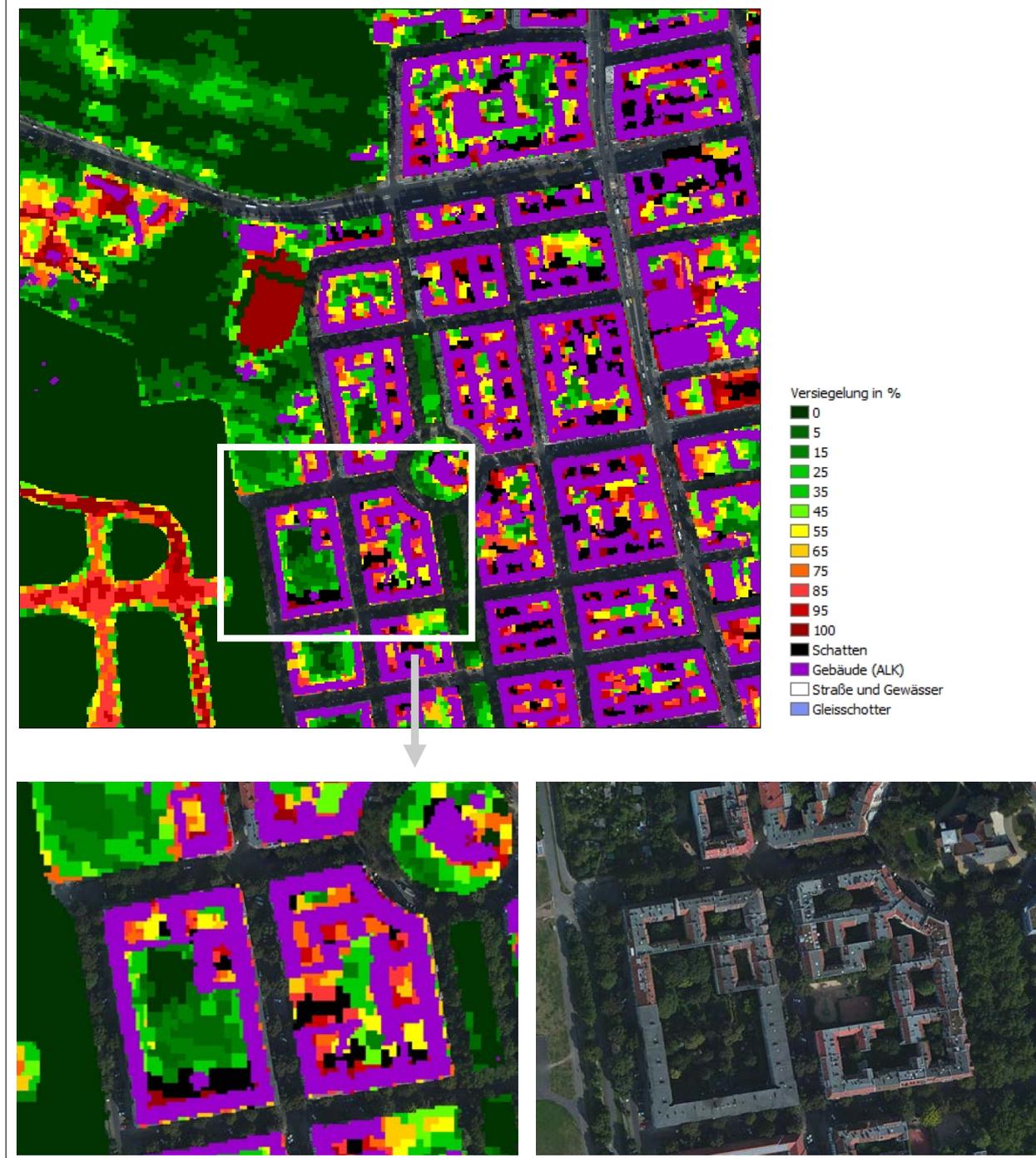


Abb. 4.8: Versiegelungssituation im Testgebiet

Der Datenbestand zur rasterbezogenen Versiegelungssituation differenziert pro Rasterfläche folgende Unterteilungen:

1. Für die unbebauten Flächen in zwölf Versiegelungsklassen,
2. den Gebäudebestand der ALK
3. Gleisschotterflächen sowie
4. Schattenlagen

Für Schattenlagen wurde zur Zuordnung von Versiegelungswerten einem Korrekturverfahren gefolgt, welches auch für die Blockaggregationen in der entsprechenden Umweltatlas-Karte genutzt wurde (SenStadtUm 2012). Im Detailausschnitt zeigt sich, dass der Innenhof des westlichen Baublockes kaum versiegelt ist (grüne Farbe), während innerhalb des östlichen Blocks die unbebaut versiegelten Flächenanteile überwiegen (Orange/Rot). Abgesehen von den als Rasen ausgewiesenen Bereichen wäre eine Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit allein auf Grundlage der eingangs beschriebenen Vegetationsstrukturen somit nicht zufriedenstellend möglich, da es keine Angabe zur Bodenoberfläche unterhalb verdeckender Vegetation gibt. Erst mit der Verknüpfung dieser Versiegelungsinformation lässt sich beispielsweise die Situation in einem Blockinnenhof realitätsnah repräsentieren. Für die Teilbereiche mit Schatten ist die mittlere Versiegelung der unbebauten Flächenanteile den jeweiligen Blockflächen zugewiesen worden. Im Rahmen der Verarbeitung der Versiegelungsdaten für das Modellraster wird ein Schwellenwert der Versiegelung von 25 % zugrunde gelegt, so dass Rasterzellen unterhalb dieses Schwellenwertes als unversiegelt betrachtet werden, das Attribut „Rasen“ zugewiesen bekommen und hinsichtlich der Energieflüsse entsprechend im Klimamodell parametrisiert werden. Areale, welche unversiegelt sind und keine Vegetation aufweisen, werden als Rasenfläche parametrisiert. Als modifizierender Faktor geht noch die Naturnähe der Böden ein. Lässt man den Aspekt einer umgebenden Bebauung außer Acht, kühlt beispielsweise der Rasen unter den Bäumen des Volksparks Hasenheide auf weniger stark beeinflusstem Boden in der Nacht theoretisch stärker ab als in den Blockinnenhöfen des Oderquartiers, wo ein eher verdichtetes Bodenmaterial mit höherem Bodenwärmestrom vorliegt.

### 4.3.5 Erzeugung des Modellrasters und Durchführung der Klimasimulation

Modellrechnungen verwenden rasterbezogene Repräsentationen von Eingangsvariablen. Für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten muss die Flächengeometrie daher auf die 10 m x 10 m Rasterzellen jeweils einheitlicher Nutzungsstruktur übertragen werden. Dies erfolgt mit einem Geographischen Informationssystem in einer mehrstufigen Abfrage, welche in Abb. 4.9 dargestellt ist. Wesentliche Grundlage dafür sind die beschriebenen Basisdaten.

In Teilbereichen werden die beschriebenen Modelleingangsdaten durch Nutzungsinformationen des ISU bzw. den Vektordaten der Blockkarte 1:5.000 (ISU5) ergänzt. Dies betrifft vor allem die Informationen zu Gewässer, Straßenraum und Gleisflächen. Die entsprechend dem Abfrageschema erfolgte Umsetzung in das Modellraster sowie die zugewiesenen Nutzungskategorien zeigt Abb. 4.10, wobei die Gebäude mit ihren Grundrissen überlagernd dargestellt sind. Der rote Umriss grenzt das kleinere Testgebiet ab, an dem die Modellanpassungen vorgenommen wurden. Die modellierten meteorologischen Parameter für dieses Areal werden in Kap. 4.4 dargestellt.

Während die hoch aufgelösten Gebäude- und Vegetationsdaten auch für das nahe Umland Berlins vorhanden waren, lagen die Versiegelungsinformationen nur für das Stadtgebiet Berlin vor. Weitere Daten zur Oberflächenstruktur konnten dem ALKIS der Landesvermessung Brandenburg entnommen werden.

Für die Simulation mit dem Klimamodell FITNAH wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen im Großraum Berlin zugrunde gelegt. Basis hierfür sind die in Kap. 2 beschriebenen Auswertungen mehrerer Messstationen. Diese werden auch für die Validierung der Modellergebnisse herangezogen. Ziel ist es, verschiedene meteorologische Parameter zur Analyse der klimaökologischen Situation in Berlin zu modellieren.

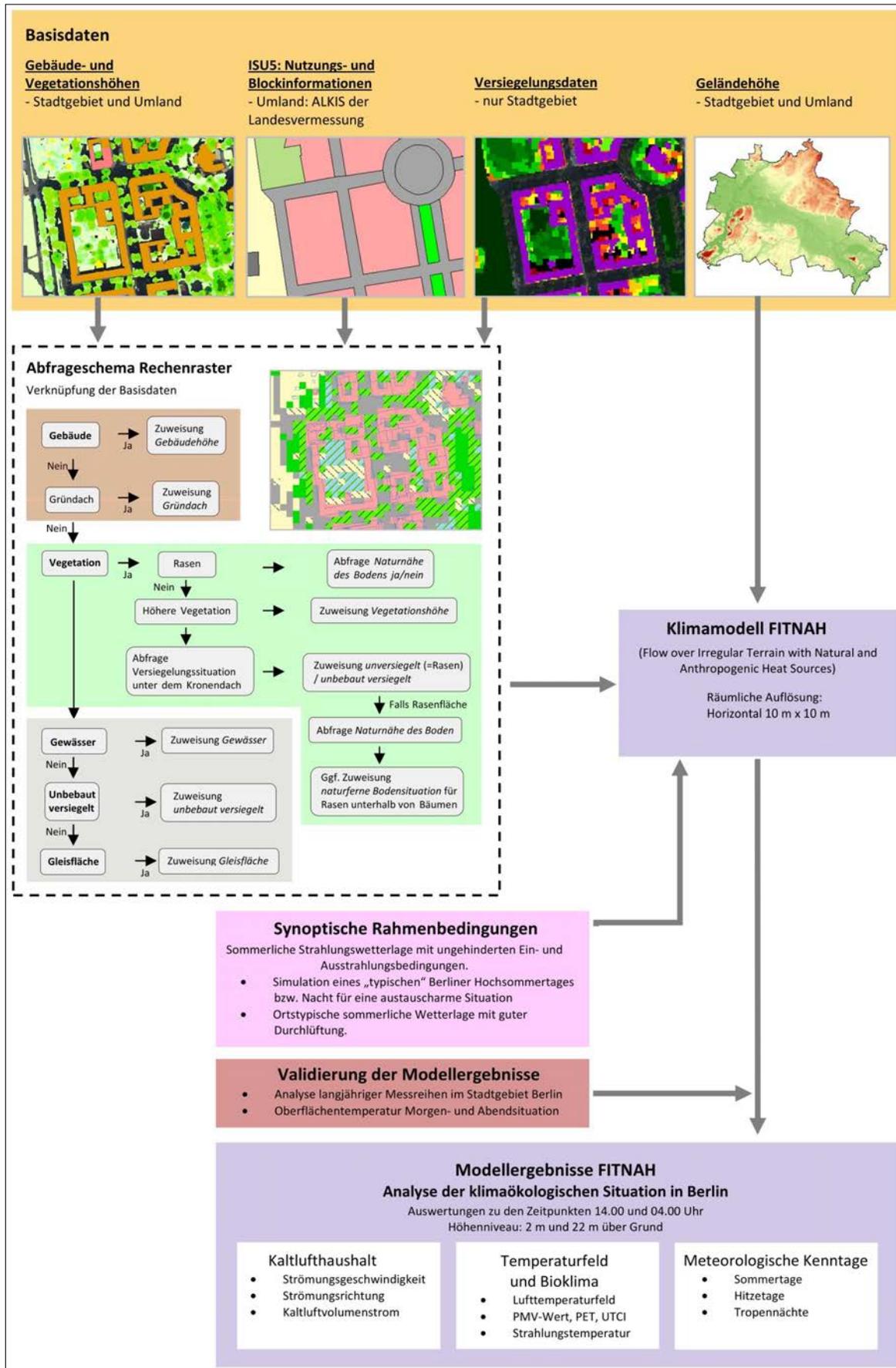
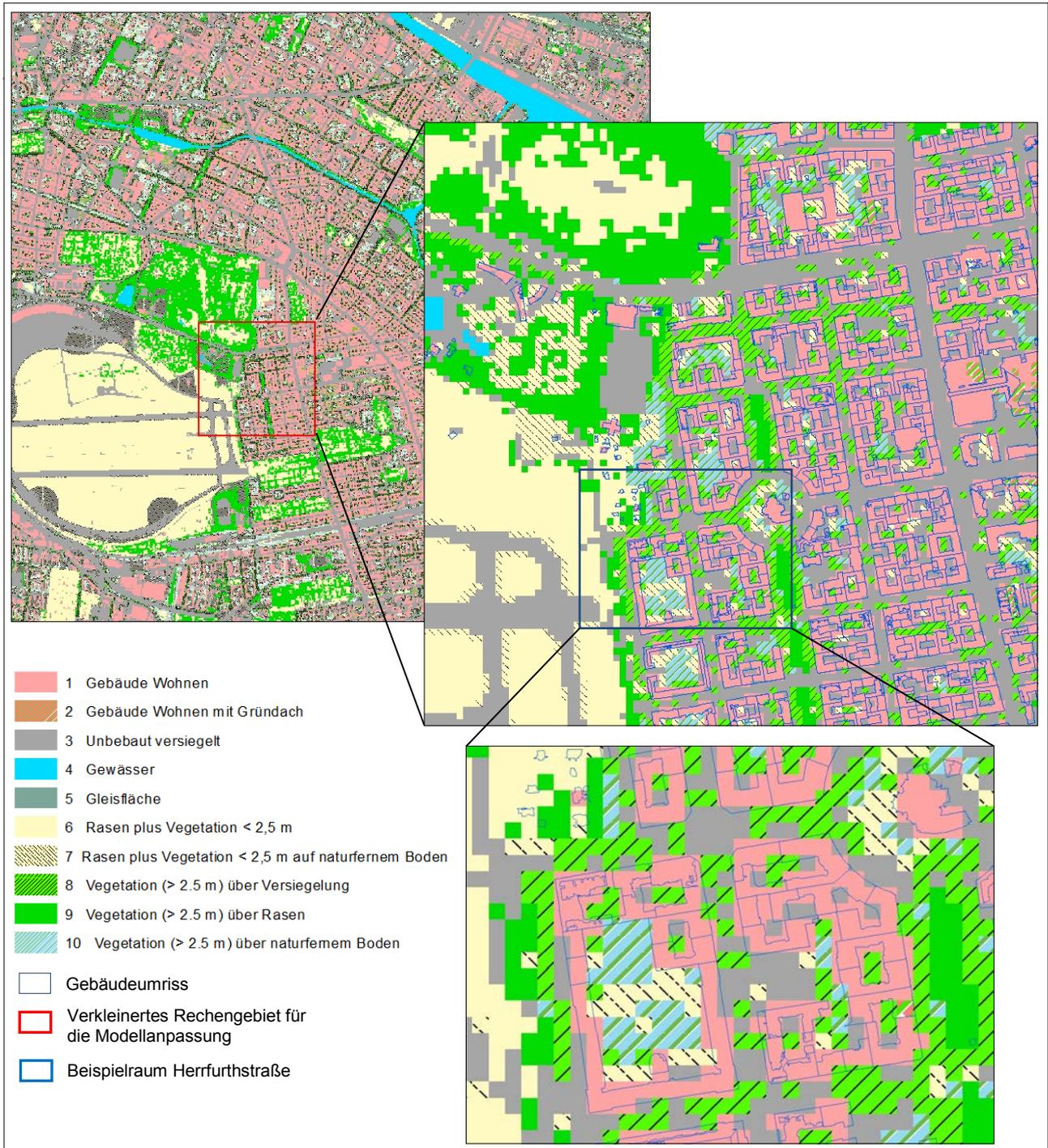


Abb. 4.9: Fließdiagramm für die Klimamodellierung



**Abb. 4.10:** Umsetzung der Vegetations- und Gebäudedaten in das Modellraster – Testgebiete

Abbildung 4.10 zeigt am Beispiel eines vergrößert dargestellten Ausschnittes im Bereich Oderstraße/Herrfurthplatz (blauer Umriss) die Verarbeitung der beschriebenen Nutzungsinformationen. Das Areal umfasst eine geschlossene Blockrandbebauung mit teilweise begrünten Innenhöfen, wobei sich im Westen das Tempelhofer Feld befindet und im Osten der breite Straßenraum der Schillerpromenade mit großen Straßenbäumen angrenzt. Im Straßenraum der Schillerpromenade sind Bäume sowohl über Versiegelung als auch über Rasen anzutreffen. Innerhalb der Baublöcke ergibt sich ein Mosaik aus Rasenfläche mit und ohne Bäumen, ebenerdiger Versiegelung sowie darüber stehenden Bäumen.

## 4.4 Ergebnisse

Neben der in Kap. 4.2 beschriebenen austauscharmen Wetterlage wurde auch eine „mittlere“ sommerliche Wetterlage mit übergeordneter Anströmung und somit guten Luftaustauschbedingungen simuliert. Da die Ausarbeitung von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte auf den Ergebnissen der austauscharmen Situation beruht, beziehen sich die folgenden Beschreibungen auf die windschwache Wetterlage.

### 4.4.1 Lufttemperatur

#### Allgemeines

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 7 K Temperaturabweichung einstellen kann. Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen.

Hierzu gehören:

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischer Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung. Doch auch die Luftvolumina über grüngerprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt. Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus.

## **Lufttemperatur zum Zeitpunkt 14 Uhr**

Die Lufttemperaturen an einen charakteristischen Sommertag zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt Abb. 4.9 für den bodennahen Bereich in 2 m über Grund bzw. für das das Überdachniveau in 22 m über Grund, wobei die Gebäude grau dargestellt sind. In 2 m über Grund treten die höchsten Werte von bis zu 31°C über den großflächig versiegelten Flächen auf, was auf die intensive Sonneneinstrahlung, den Mangel an Verschattung sowie der damit einher gehenden starken Erwärmung der darüber lagernden Luft zurückzuführen ist. Über den Rasenflächen beträgt die Temperatur verbreitet 28°C bis 29°C und steigt über dem Tempelhofer Feld auf bis zu 30°C an. Dieses Temperaturniveau liegt häufig auch in den Straßenräumen vor. Es wird dort unterbrochen, wo Straßenbäume aufgrund der Schattenwirkung lokal eine Temperaturabsenkung auf weniger als 26°C bewirken. Dies ist vor allem innerhalb der Schillerpromenade zu beobachten, wo das Kronendach der Straßenbäume zu großflächiger Verschattung führt. Die niedrigsten Temperaturen treten mit weniger als 22°C über den Wasserflächen auf. Innerhalb der Bebauung sind die niedrigsten Temperaturen von 24°C bis 25°C in schmalen Innenhöfen (etwa 100 bis 300 m<sup>2</sup>) mit Bäumen anzutreffen, da hier der solare Energieinput entsprechend gering bzw. die Verschattung und Kühlung durch die Transpiration der Bäume groß ist.

Verglichen mit dem bodennahen Bereich zeigt die Auswertung der Lufttemperatur auf Überdachniveau ein homogeneres Bild. Die Ausprägung der Temperatur in 22 m über Grund zeigt Abb. 4.11, wobei Gebäude mit Höhen von mehr als 22 m wiederum grau dargestellt sind. Die mit 30°C bis 31°C wärmsten Bereiche sind direkt über den Dachflächen anzutreffen. Diese werden von der Sonne stark aufgeheizt und stellen damit die Energieumsatzfläche dar, über welcher die Luftschicht entsprechend erwärmt wird. Über den Straßenräumen liegen meist 28°C bis 29°C vor.

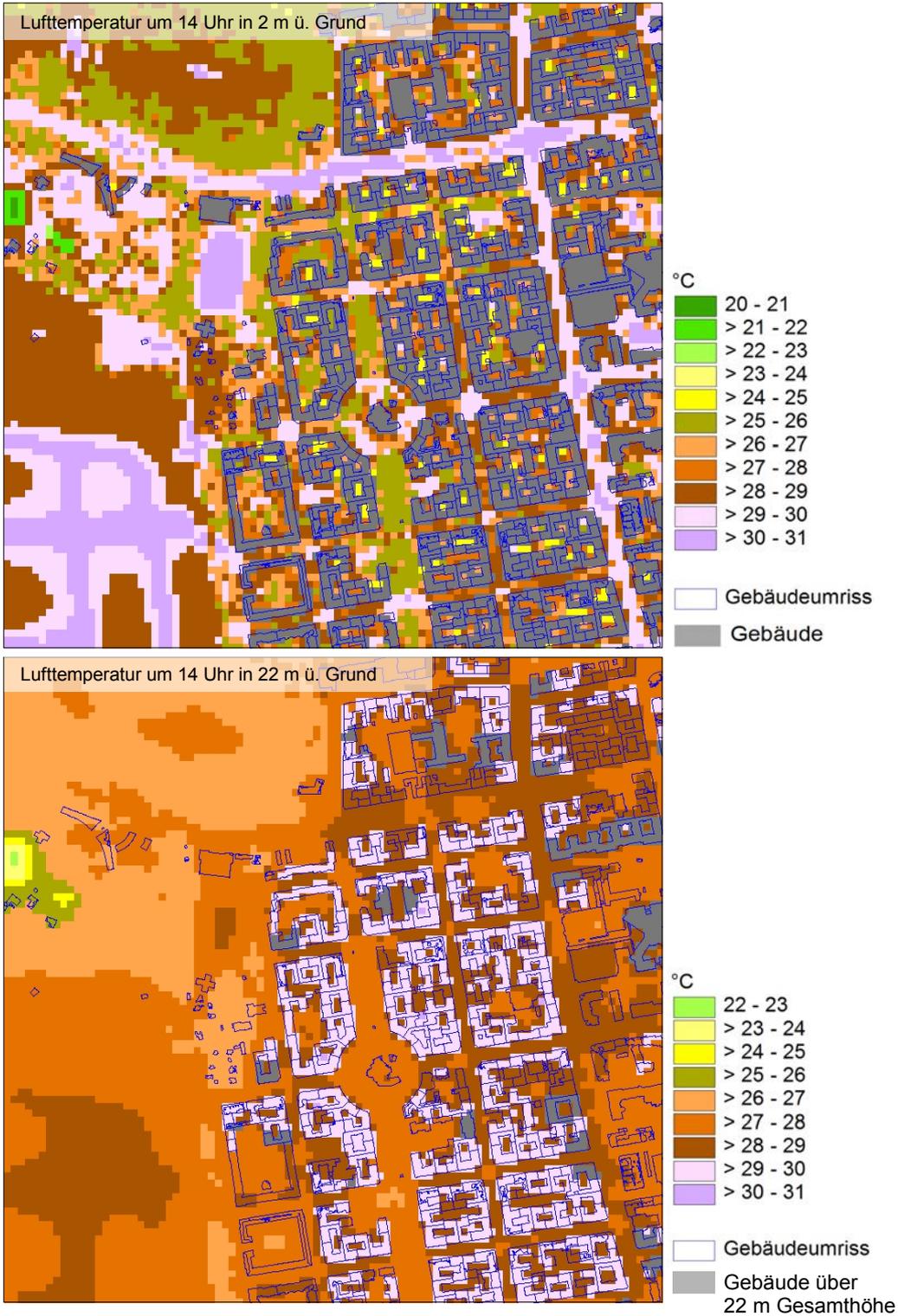


Abb. 4.11: Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr

## **Lufttemperatur zum Zeitpunkt 22 Uhr**

Die Lufttemperatur in 2 m sowie 22 m über Grund zeigt Abb. 4.12 für den Zeitpunkt 22 Uhr, wobei die als Gebäude definierten Rasterzellen eine graue Farbe haben. Die Spanne der zu diesem Zeitpunkt im bodennahen Bereich auftretenden Temperaturen reicht von 16,5°C bis 22,1°C. Die niedrigsten Werte treten über dem Tempelhofer Feld sowie den übrigen größeren Rasenflächen auf, da hier bereits eine deutliche Abkühlung erfolgt. In den bebauten Bereichen kann die Lufttemperatur kleinräumig deutlich variieren und wird stark durch die Parametrisierung der Oberflächenstrukturen beeinflusst. Während in den Straßenräumen über Asphalt verbreitet 19°C bis 20°C anzutreffen sind, können unter Straßenbäumen noch um 1 K höhere Temperaturen auftreten, da hier das Kronendach die nächtliche Auskühlung etwas dämpft. Innerhalb der Bebauung treten die niedrigsten Werte von 18°C bis 19°C über Rasen auf, während die Abkühlung innerhalb der sehr schmalen Innenhöfe mit Bäumen geringer ist. Aufgrund der im Tagesgang insgesamt niedrigeren Temperaturamplitude können lokal bis zu 22°C vorliegen.

Die Auswertung des Temperaturfeldes auf Überdachniveau (22 m über Grund) gibt einen zusätzlichen Hinweis auf die Beeinflussung der nächtlichen Lufttemperatur (Abb. 4.12). Analog zum Zeitpunkt 14 Uhr ist in diesem Höhenbereich die Spannweite der auftretenden Temperaturen geringer als in 2 m über Grund. Darüber hinaus verbleiben die kühleren Luftmassen aufgrund ihrer höheren Dichte in Bodennähe (Inversion). Da nach Sonnenuntergang mit den insgesamt windschwachen Wetterbedingungen eine stabile Schichtung der Atmosphäre einhergeht, kann die Abkühlung nur langsam in die Höhe gelangen. Über dem östlichen Tempelhofer Feld sowie der nördlich angrenzenden Hasenheide sind verbreitet 18°C bis 19°C zu beobachten, ebenso kleinräumig südlich des Herrfurthplatzes. Im Umfeld von Gebäuden können mit 20°C bis 21°C etwas höhere Werte auftreten.

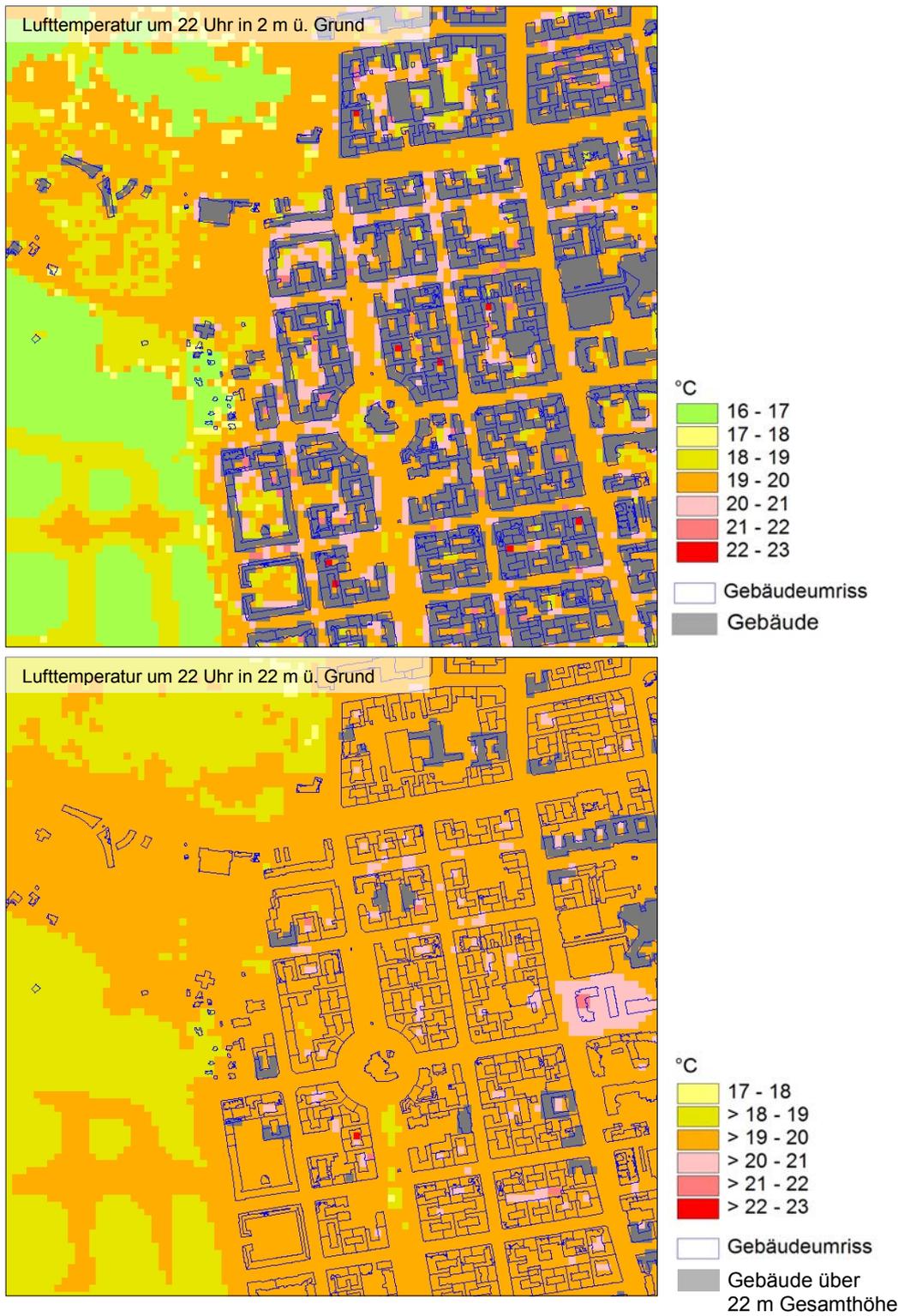


Abb. 4.12: Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr

## **Lufttemperatur zum Zeitpunkt 04 Uhr**

Abbildung 4.13 zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld zum Zeitpunkt 4 Uhr für den bodennahen Bereich sowie das Dachniveau. Im Temperaturfeld 2 m über Grund treten vor allem die durch Wiese/Rasen geprägten Bereiche der Tempelhofer Freiheit mit den niedrigsten Temperaturen von 11°C bis 12°C hervor, da hier eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der Luft erfolgen kann. Die an die Tempelhofer Freiheit angrenzenden Grünflächen wie der Volkspark Hasenheide weisen oberflächennahe Lufttemperaturen zwischen 14°C bis 16°C auf. Aufgrund des höheren Gehölz-/Baumanteils ist hier die nächtliche Wärmeausstrahlung der Erdoberfläche etwas geringer. Über den mit Rasen bestandenen Teilflächen treten ähnliche Tiefstwerte wie über dem Tempelhofer Feld auf. In den nicht begrünten Straßenräumen sind Temperaturen von 15°C bis 16°C zu beobachten, während diese unterhalb von Straßenbäumen mit 14°C bis 15°C etwas niedriger ausgeprägt sind. Die höchsten Temperaturen von bis zu 17,5°C treten vor allem in den kleineren Blockinnenhöfen auf. Das insgesamt homogene Temperaturniveau innerhalb des Straßenraums ist ein Hinweis darauf, dass der Einfluss der Baumasse auf die umgebende Luft zum Zeitpunkt des Testlaufes nicht optimal dargestellt wurde. Es war daher erforderlich, im weiteren ‚Tuning‘-Prozess die Parametrisierung hinsichtlich der Wärmeabgabe der Gebäude noch zu verfeinern.

Die Spannweite der auftretenden Temperaturen auf Überdachniveau in 22 m Höhe beträgt weniger als 14°C über dem Tempelhofer Feld und ca. 17,5°C innerhalb der Bebauung. Die Straßenräume zeigen mit 15°C bis 16°C ein wenig differenziertes Wertespektrum auf.

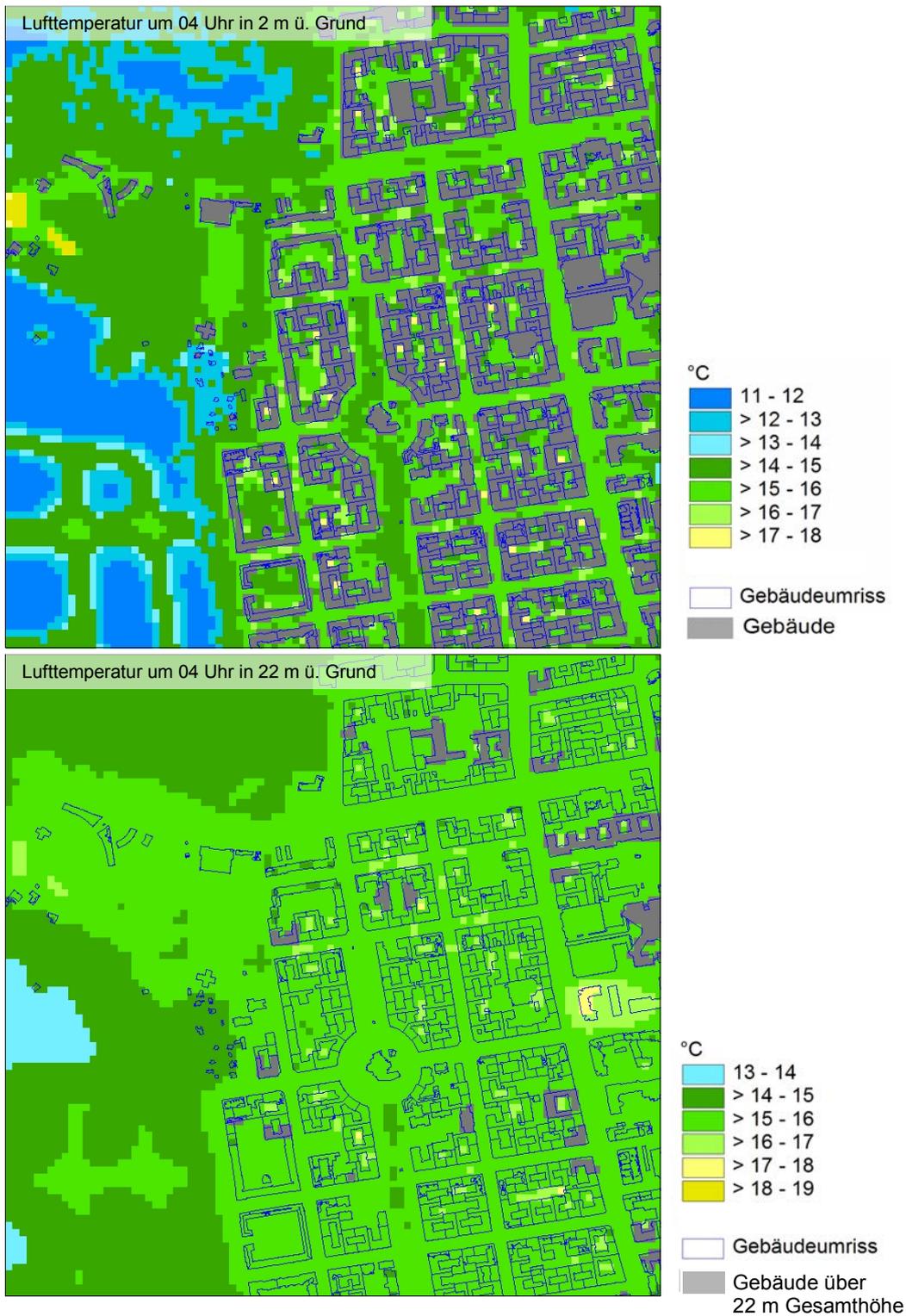
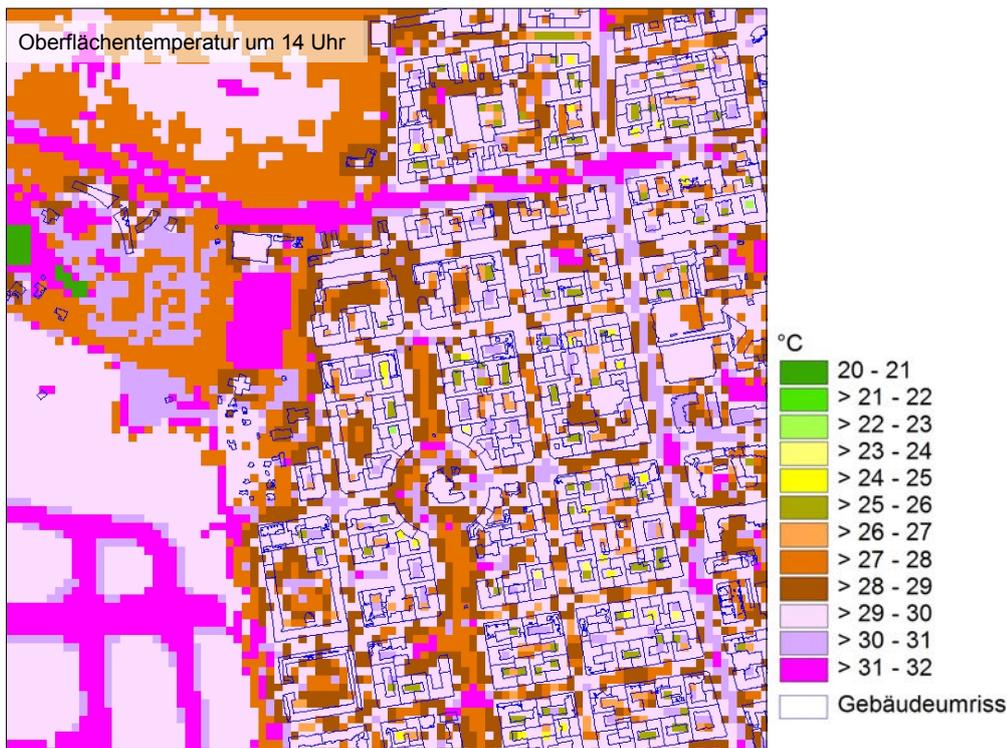


Abb. 4.13: Lufttemperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr

#### 4.4.2 Oberflächentemperatur

Die Ausprägung der Oberflächentemperatur wird über die physikalischen Eigenschaften der Oberflächenstrukturen bestimmt. Dazu zählen vor allem das Vermögen, Sonnenlicht zurückzustrahlen (Albedo), aber auch das (Bau-) Volumen, die spezifische Dichte sowie die Wärmeleitfähigkeit. Während der Tagsituation (14 Uhr mittags) trifft das Sonnenlicht auf die verschiedenen Oberflächen und erwärmt diese (Abb. 4.14).

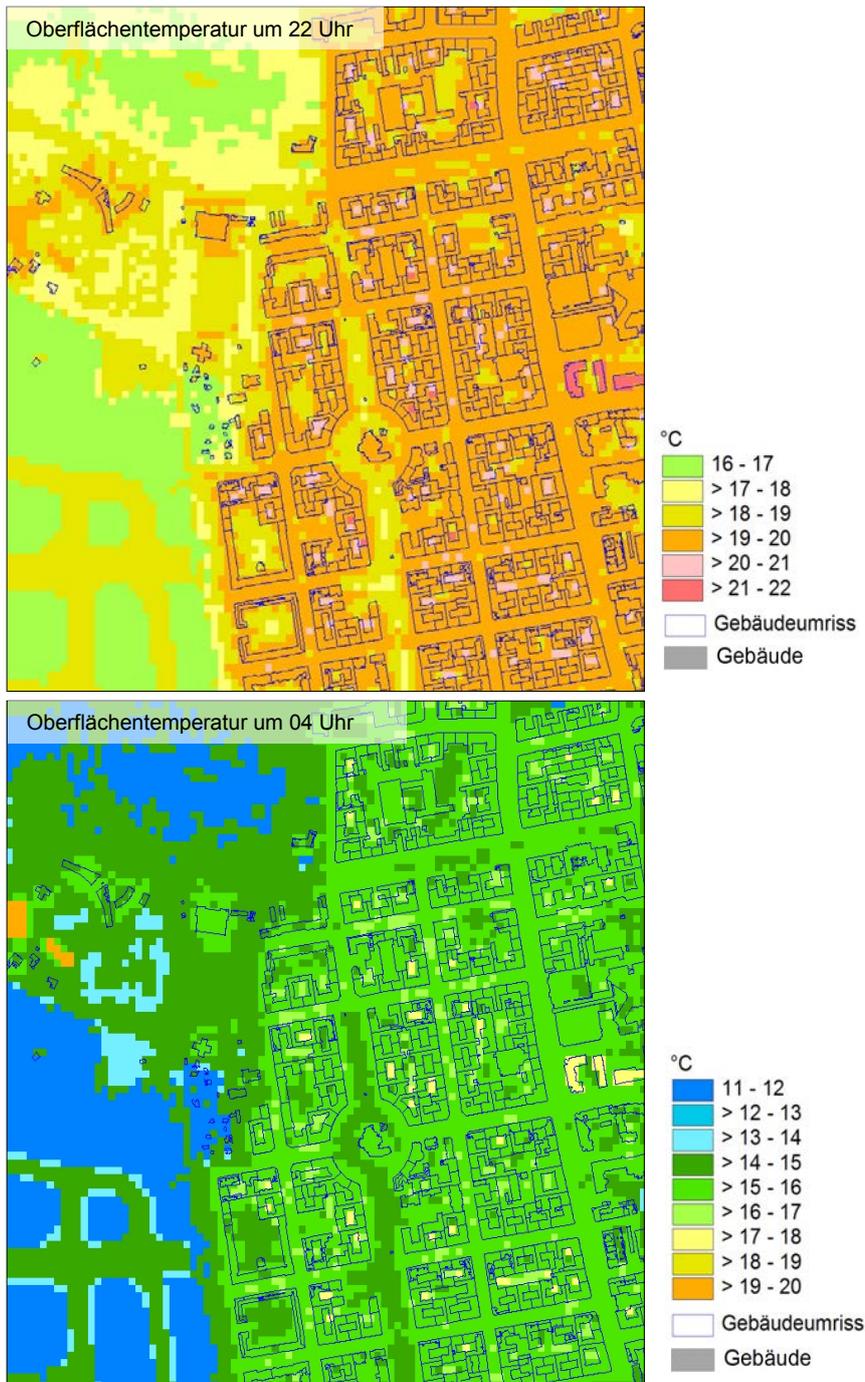


**Abb. 4.14:** Oberflächentemperaturen zum Zeitpunkt 14 Uhr

Dabei bestimmt die Albedo, wie viel der (kurzwelligigen) solaren Einstrahlung tatsächlich in (langwellige) Wärme umgesetzt wird und die darüber lagernde Luft erwärmt. So wird sich eine dunkle Asphaltfläche vergleichsweise stärker erwärmen als eine helle Betonoberfläche. Gleichzeitig nimmt das Material die Wärme auf und speichert diese, abhängig von der jeweiligen Dichte und des davon mitbestimmten Wärmestroms. Im dargestellten Rechengebiet beträgt die Spannweite der auftretenden Oberflächentemperaturen 20°C bis 32°C. Da das Wasser zwar ein geringes Rückstrahlvermögen hat, als turbulentes Medium gleichzeitig aber viel Wärme aufnehmen kann, sind dort die niedrigsten Werte anzutreffen. Das Kronendach der Bäume weist mit 26°C bis 29°C schon höhere Temperaturen auf, wenngleich sich hier noch die Transpiration der Vegetation bemerkbar macht. Die höchsten Oberflächentemperaturen sind mit 29°C bis 32°C auf den unbebaut versiegelten Flächen sowie den Dächern zu beobachten. Zudem können größere (trockene) Rasenflächen ähnliche Werte annehmen.

Während also am Tage vor allem die Albedo der besonnten Oberflächen die Höhe der Oberflächentemperatur bestimmt, kehrt sich in den Nachtstunden der Energiefluss um und ist nun zur Oberfläche hin gerichtet. Zu den Zeitpunkten 22 Uhr und 04 Uhr (Abb. 4.15) sind die höchsten Oberflächentemperaturen auf unbebaut versiegelter Fläche sowie den Dächern anzutreffen. In der zweiten Nachthälfte liegen um 04 Uhr die

niedrigsten Werte von knapp 12°C auf den größeren Rasenflächen vor und sind auf den im Vergleich zu Beton und Asphalt geringeren (Boden-) Wärmestrom zurückzuführen. Die Wärmeaufnahme des Bodens hängt vor allem von dessen Korngrößenzusammensetzung ab, da dieser das Hohlraumvolumen und damit den Luftanteil bestimmt. Da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist und isolierend wirkt, wird ein vorwiegend sandiger Boden mit hohem Luftanteil am Tage vergleichsweise weniger Wärme aufnehmen können als ein dichtes Material wie Beton. Ein hoher Wassergehalt im Boden würde dagegen die Wärmeleitfähigkeit erhöhen.



**Abb. 4.15:** Oberflächentemperaturen zu den Zeitpunkten 04 Uhr und 22 Uhr

### 4.4.3 Nächtliches Kaltluftströmungsfeld

Die bodennahe Temperaturverteilung während windschwacher Hochdruckwetterlagen mit wolkenlosem Himmel im Sommer bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen bzw. dem Umland einstellen. Die Windgeschwindigkeit dieses als Flur-/Strukturwind bezeichneten Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft bestimmt, d.h. dies löst eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entsteht, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (u.a. KIESE et al. 1992). Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die großräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden, nehmen an Intensität zu und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere größere Wiesen- und Ackerflächen wie die des Tempelhofer Feldes als kaltluftproduktiv, da diese, verglichen mit Waldflächen, besonders stark auskühlen können. Mit einsetzender Kaltluftproduktion über den Grünflächen geht die Entstehung von Kaltluftströmungen einher. Zu Beginn der Nacht ist die Kaltluftschicht noch von geringer Mächtigkeit (wenige Meter), nimmt in der zweiten Nachthälfte stetig zu und kann auf mehrere Dekameter ansteigen.

In Abb. 4.16 wird das sich zu den nächtlichen Analysezeitpunkten 22 Uhr und 04 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld dargestellt. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet. Die Größe des dargestellten Rechengebietes ist mit 1 km x 1 km vergleichsweise klein, so dass die auftretenden Flurwinde innerhalb der abgebildeten Flächenkulisse eher schwach ausgeprägt sind. Der Temperaturgradient zwischen den Kaltluft produzierenden Arealen und den wärmeren Siedlungsflächen ist aber groß genug, um Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 0,4 m/s zum Zeitpunkt 22 Uhr bzw. 0,5 m/s zum Zeitpunkt 04 Uhr entstehen zu lassen.

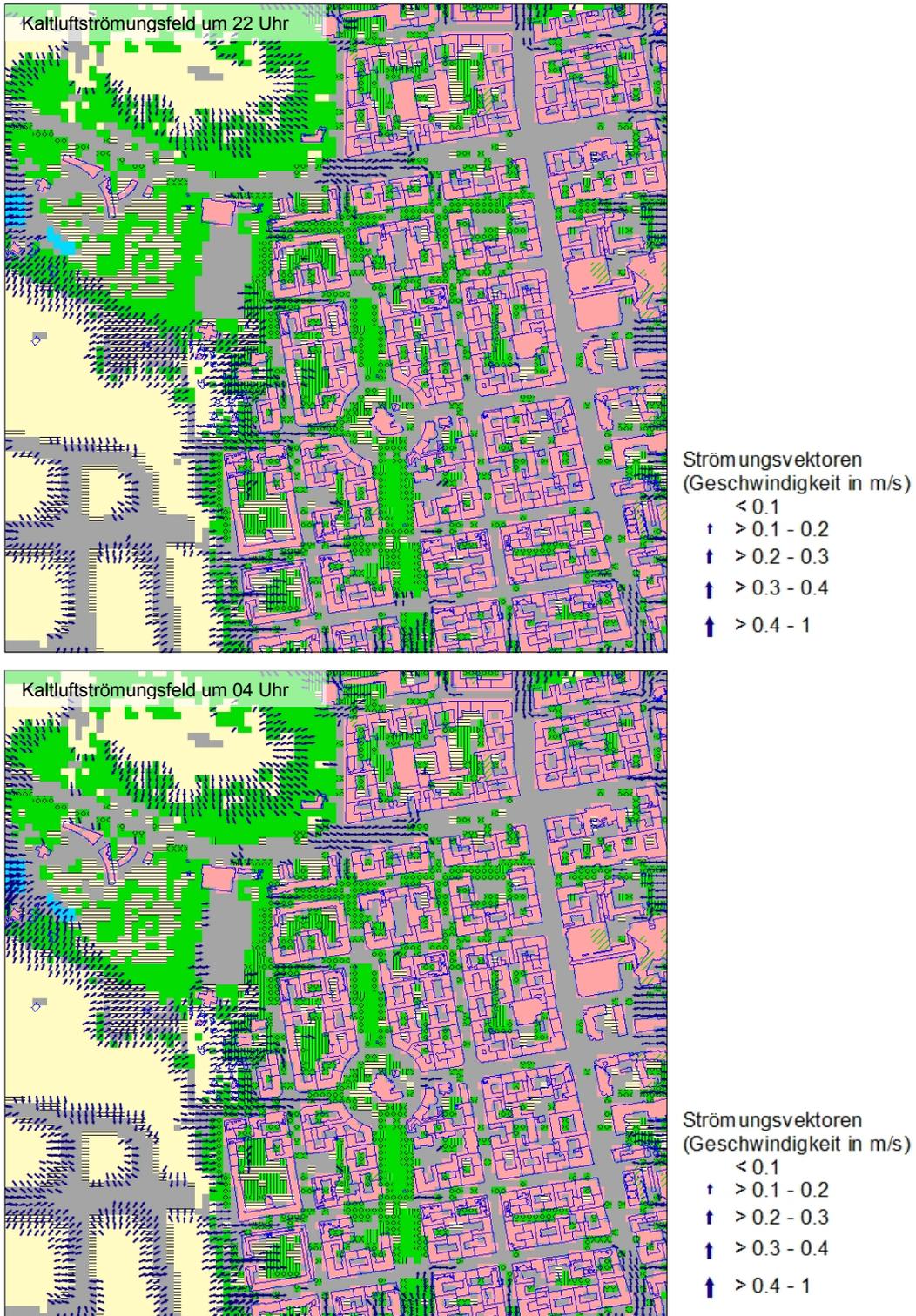


Abb. 4.16: Kaltluftströmungsfeld zu den Zeitpunkten 22 und 04 Uhr.

#### 4.4.4 Humanbiometeorologische Situation

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander auf den Menschen ein. Von besonderer Bedeutung ist die Bewertung des thermischen Wirkungskomplexes. Hier spielen alle Klimaparameter, die den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen eine Rolle: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und thermophysologisch wirksame Strahlung. Zur Beurteilung des thermischen Wirkungskomplexes wird in dieser Untersuchung unter anderem der Bewertungsindex Predicted Mean Vote (PMV<sup>13</sup>) berechnet, welcher in Wertestufen wiedergegeben wird. Dieser Parameter basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der „Behaglichkeit“ als mittlere subjektive Einschätzung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wieder. Mit steigendem PMV erhöht sich die humanbiometeorologische Belastung aufgrund der als Diskomfort empfundenen thermischen Beanspruchung des Körpers. Bei der Berechnung des PMV-Wertes müssen als wichtigste meteorologische Eingangsgrößen die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit, der Dampfdruck und die Strahlungstemperatur am Aufenthaltsort bekannt sein. Diese meteorologischen Parameter variieren innerhalb städtischer Strukturen in weiten Grenzen. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z. B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation (z. B. Wind, Luftmasseneigenschaften) kann die Ausprägung des nächtlichen PMV mit Hilfe des Modells FITNAH berechnet werden.

Neben dem PMV wurde auch die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) in Grad Celsius für eine „Standardperson“ berechnet. Die PET wurde aus dem Münchener Energiebilanzmodell MEMI abgeleitet und beruht auf dem Wärmeaustausch des Menschen mit seiner Umgebung (HÖPPE 1984). Im Gegensatz zum PMV wird die komplexe thermische Situation mit einem einfachen Wert beschreiben und ist durch die Angabe eines Temperaturwertes in Grad Celsius besser nachvollziehbar als der PMV. In Tab. 4.2 werden beide Parameter vergleichend gegenübergestellt. Bei einem PMV von 0 bzw. einer PET von 20°C stellt sich eine optimale Behaglichkeit ein. Bei höheren Werten liegt eine Wärmebelastung vor, während sich bei tieferen Werten Kältestress ergibt.

PMV	PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
-3,5	4°C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
-2,5	8°C	Kalt	Starke Kältebelastung
-1,5	13°C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
-0,5	18°C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
±0	20°C	<b>Behaglich</b>	<b>Keine Wärmebelastung</b>
0,5	23°C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
1,5	29°C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
2,5	35°C	Heiß	Starke Wärmebelastung
3,5	41°C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Tab. 4.2: Zuordnung von Schwellenwerten für PMV und PET (Quelle: MATZARAKIS 1996; VDI 2008).

<sup>13</sup> Predicted Mean Vote (FANGER 1972), für eine ausführliche Beschreibung siehe VDI 2008

Die räumliche Ausprägung der beiden Parameter zeigt Abb. 4.17 für den PMV und Abb. 4.18 für die PET. Bei den ausgewählten Zeitschnitten wird die große Bandbreite der auftretenden humanbiometeorologischen Bedingungen sichtbar. So zeigt sich zum Zeitpunkt 14 Uhr, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage vor allem über die Verschattung beeinflusst wird. Eine mäßige Wärmebelastung ist mit einem PMV-Wert von 1,5 bis 2,5 bzw. einer PET von 29°C bis 32°C insbesondere unter den größeren Baumbeständen anzutreffen. Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung häufig als stark einzustufen ist. Diese kann auf dem Tempelhofer Feld auch auf einen extremen Wert ansteigen.

In den Nachtstunden wird die humanbiometeorologische Situation vor allem über die Wärmeabgabe der verschiedenen Oberflächen gesteuert. Zum Zeitpunkt 22 Uhr liegt in den Straßenräumen bereits ein leicht kühles thermisches Empfinden vor, während es sich auf dem stärker abgekühlten Tempelhofer Feld bereits als kühl einordnen lässt. Mit weiterem Rückgang der bodennahen Lufttemperatur liegt um 04 Uhr morgens verbreitet eine als kühl bzw. kalt wahrgenommene Situation für einen leicht bekleideten Menschen vor, was angesichts einer Minimumtemperaturen von etwa 12°C über dem Tempelhofer Feld nachvollziehbar erscheint. Dabei sollte allerdings berücksichtigt werden, dass das 1 km x 1 km große Testgebiet lediglich das östliche Tempelhofer Feld sowie das angrenzende Oderquartier umfasst und die Wirkung der dicht bebauten Siedlungsflächen im weiteren Umfeld nicht abgebildet werden. Bei der Durchführung der gesamtstädtischen Modellrechnung war zum Zeitpunkt der Testläufe von einem insgesamt höheren Temperaturniveau und damit auch einer stärkeren Wärmebelastung in den Siedlungsflächen auszugehen.

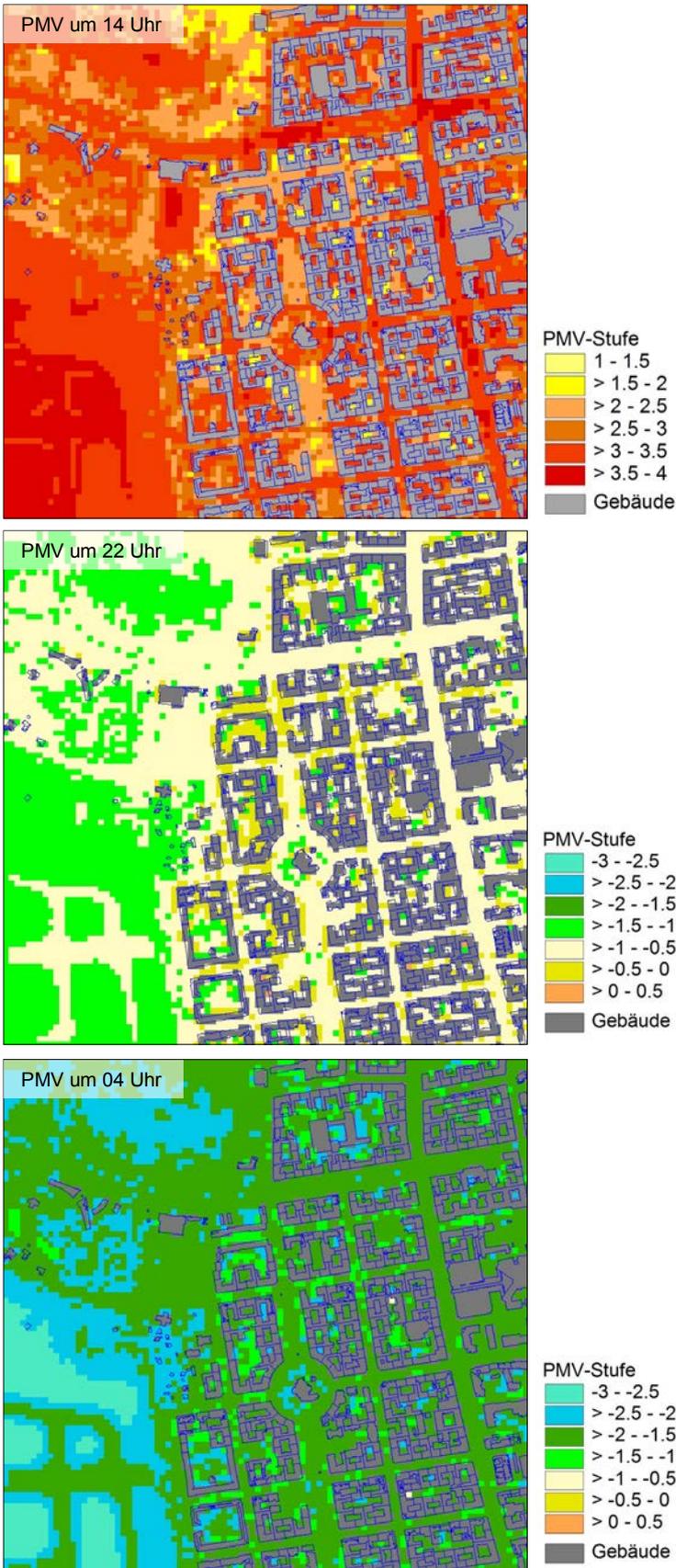


Abb. 4.17: Verteilung der PMV-Werte in 2 m Höhe zu den Zeitpunkten 14 Uhr, 22 Uhr und 04 Uhr

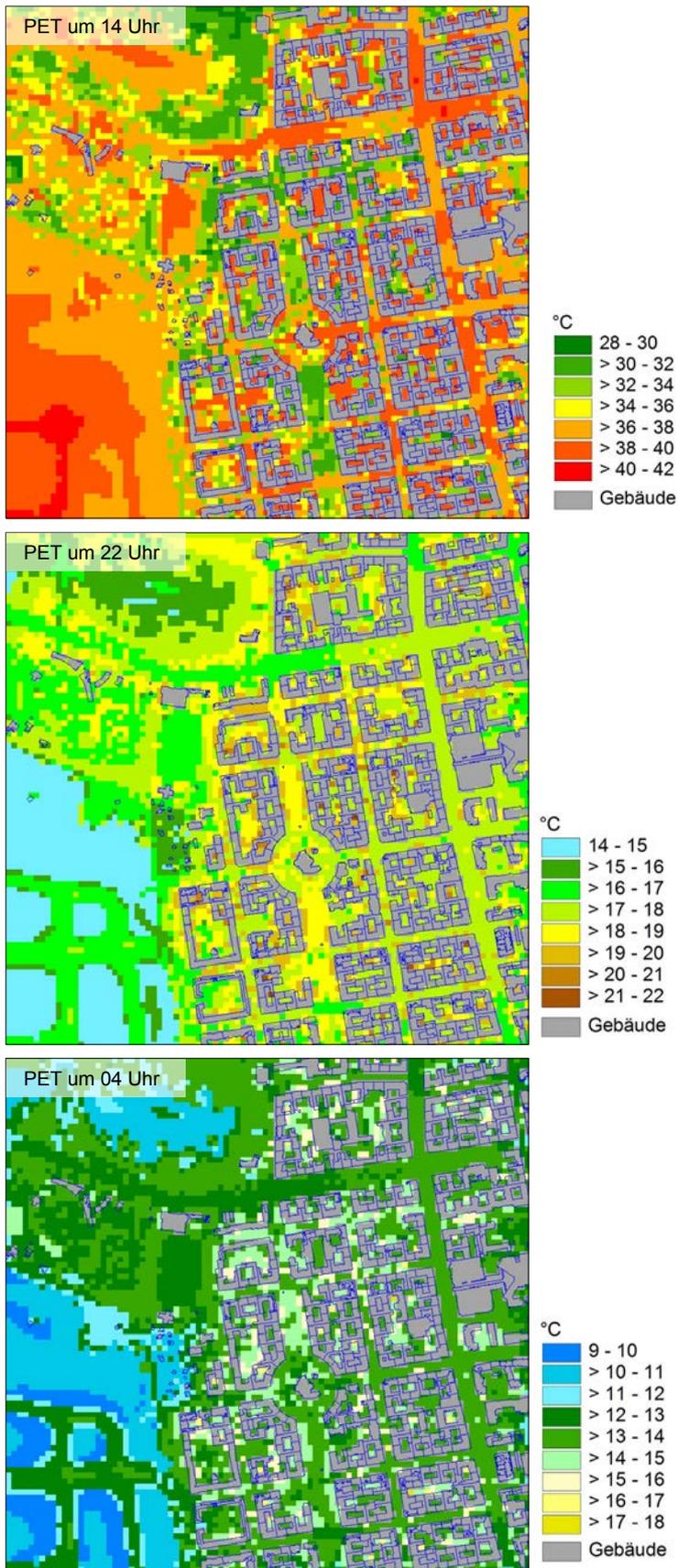


Abb. 4.18: Verteilung der PET-Werte in 2 m Höhe zu den Zeitpunkten 14 Uhr, 22 Uhr und 04 Uhr

## 4.5 Anpassung des Gebäudeeinflusses

Wie in Kap. 4.4 beschrieben, wurde der Einfluss der Gebäude auf das umgebende Luftvolumen in der Nachtsituation noch nicht zur Zufriedenheit abgebildet. Die mit den Modellläufen für das kleine Testgebiet durchgeführten Auswertungen haben in einem iterativen Prozess zu wertvollen Erkenntnissen für die Modellparametrisierung insgesamt geführt. So wurden besonders in den eng umbauten Innenhöfen des Oderquartiers etwas zu niedrige Temperaturen simuliert. Aufgrund der Ortskenntnis sollten diese Innenhöfe in den Nachtstunden um etwa 2 bis 3 K wärmer sein. Durch Veränderung des Bodenwärmestroms und insbesondere durch eine Modifikation der langwelligen Wärmestrahlung zwischen den Gebäuden konnten die Temperaturen angehoben und in eine bessere Übereinstimmung mit den Erkenntnissen vor Ort gebracht werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Temperaturfeld als Leitparameter – stellvertretend auch für die übrigen meteorologischen Größen - für die Zeitschnitte 22 Uhr und 04 Uhr dargestellt.

### Lufttemperatur zum Zeitpunkt 22 Uhr

Abbildung 4.19 zeigt die Lufttemperatur in 2 m sowie 22 m über Grund für den Zeitpunkt 22 Uhr, die als Gebäude definierten Rasterzellen sind schwarz dargestellt. Im Vergleich zum vorangegangenen Ergebnis (Kap. 4.4) ist das Wertenniveau nun ca. 3 K höher. Die Spanne der bodennahen auftretenden Temperaturen reicht von 19,3°C bis 25,8°C. Die niedrigsten Werte von weniger als 20°C treten über dem Tempelhofer Feld auf. Über der Hasenheide sowie den übrigen größeren Grünflächen sind die Temperaturen um ca. 1 K höher ausgeprägt. In den Straßenräumen liegen meist 22°C bis 24°C vor und steigen im Nahbereich größerer Gebäude auf bis zu 26°C an. Dies ist vor allem unter Straßenbäumen sowie auch innerhalb kleinerer mit Bäumen bestandener Blockinnenhöfe zu beobachten. Hier machen sich die Wärmeabgabe der Baukörper einerseits sowie das die Ausstrahlung dämpfende Kronendach andererseits bemerkbar. Innerhalb der Bebauung sind die mit 21°C bis 22°C wesentlich kühlere Bereiche über Rasen anzutreffen.

Im Höhenschnitt 22 m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr ist die Heterogenität der auftretenden Lufttemperaturen deutlich geringer, da der Einfluss bodennaher Nutzungsstrukturen abnimmt. Es dominiert ein Wertenniveau von 22°C bis 24°C, welches über dem Bereich Tempelhofer Feld/Hasenheide auf 21°C absinkt. Die bei den angenommenen windschwachen Bedingungen auftretende stabile Schichtung der Atmosphäre führt dazu, dass die kühlere Luft in Bodennähe verbleibt. Die höchsten Werte von mehr als 24°C treten häufig über den Grünflächen auf, wo durch ein Absinken der Luftmasse wärmere Luft vertikal in das Dachniveau eingemischt wird.

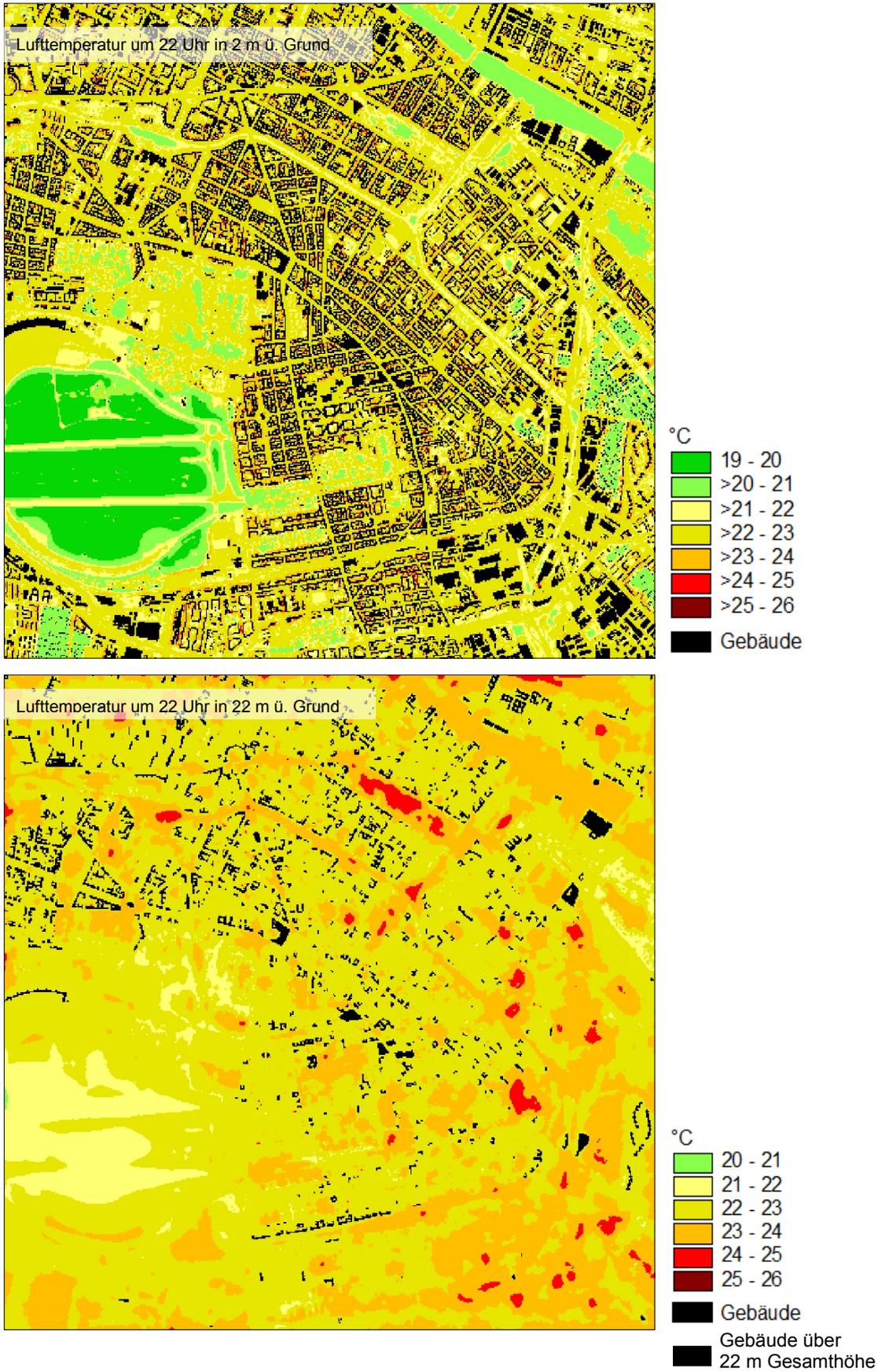


Abb. 4.19: Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr

## **Lufttemperatur zum Zeitpunkt 4 Uhr**

Das simulierte Temperaturfeld für den Zeitpunkt 4 Uhr zeigt Abb. 4.20 für den bodennahen Bereich sowie das Dachniveau. Im Höhenbereich 2 m über Grund liegen die mit 14°C bis 16°C niedrigsten Werte erwartungsgemäß über dem sich bis dahin stark abgekühlten Tempelhofer Feld vor. Über der Hasenheide sowie dem an das Tempelhofer Feld angrenzenden St. Thomas-Kirchhof dominieren Werte von 16°C bis 18°C, welche kleinräumig auch darunter absinken können. Diese Temperaturen sind auch innerhalb der übrigen größeren Grünareale wie Görlitzer und Treptower Park anzutreffen.

Gleichzeitig wird mit diesen Ergebnissen der Einfluss der Baumassen auf die bodennahe Luftschicht sichtbar. Dies zeigt sich vor allem im Umfeld der Schillerpromenade, wobei die an das Tempelhofer Feld angrenzenden Baublöcke in ihrer Temperatursprägung noch durch das kühle Tempelhofer Feld beeinflusst werden. Die stark durchgrüneten Innenhöfe weisen häufig Werte von 18°C bis 19°C auf, welche im Straßenraum auf bis zu 20°C ansteigen. Die Temperatur innerhalb der mit Bäumen bestandenen Schillerpromenade ist vergleichbar ausgeprägt. Östlich davon nimmt mit steigender baulicher Dichte und abnehmendem Einfluss des Tempelhofer Feldes auch die Lufttemperatur zu. Das Wertenniveau liegt sowohl im Straßenraum als auch im Nahbereich der Gebäude verbreitet bei 20°C bis 21°C und setzt sich in den ähnlich dicht bebauten Bereichen entlang der Flughafenstraße und Karl-Marx-Allee weiter fort. Ähnlich hohe Werte sind zudem in den kleineren Innenhöfen mit Baumbestand anzutreffen. Die Kombination aus Kronendach mit fehlender Ausstrahlung bei gleichzeitigem Gebäudeeinfluss führt hier modellbedingt zu den vergleichsweise hohen Temperaturen.

Auf Dachniveau in 22 m über Grund ist das auftretende Temperaturspektrum schmaler. Niedrige Werte von weniger als 18°C treten über Teilen des Tempelhofer Feldes, der Hasenheide sowie dem Treptower Park auf. Abhängig von den Luftaustauschprozessen kann lokal auch über Grünflächen wärmere Luft bis in das Dachniveau eingemischt werden. Im Verlauf der Karl-Marx-Allee lässt sich hingegen der Einfluss der Dachflächen auf die Lufttemperatur erkennen, der zu Temperaturen von mehr als 20°C führen kann.

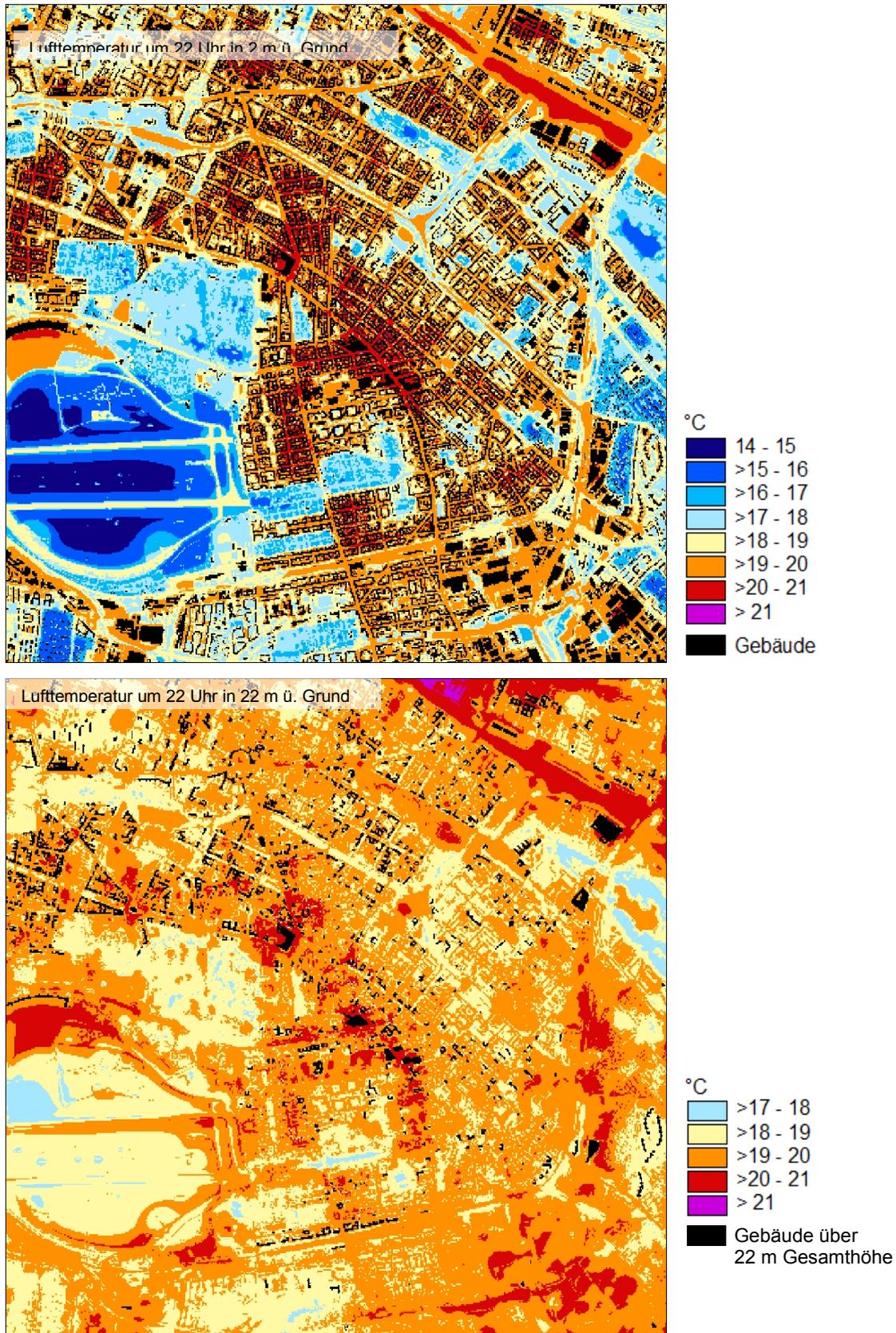


Abb. 4.20: Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr.

## 4.6 Fazit

Die Entscheidung, die Arbeitsschritte „Datenaufbereitung der Geo- und Sachdatenbasis“ – soweit sie die Modellebene betreffen – zunächst in einem eng begrenzten Testgebiet umzusetzen, hat sich als sinnvoll und unabdingbar erwiesen. Die bislang modellierten meteorologischen Parameter erschienen in ihrer absoluten Ausprägung in der Nachtsituation insgesamt zu niedrig. Mit den durchgeführten Modellanpassungen wird nun der gewünschte Einfluss bebauter Strukturen sichtbar, was sich vor allem an den Ergebnissen zum Zeitpunkt 04 Uhr beobachten lässt. Das heterogene Temperaturniveau sowohl innerhalb des Straßenraums als auch in den bebauten Strukturen zeigt, dass der Einfluss der Gebäudestrukturen auf das umgebende Luftvolumen nun zufriedenstellend umgesetzt ist. Damit sind die Voraussetzungen für die gesamtstädtische Modellanwendung gegeben und Gegenstand der sich nun anschließenden weiteren Arbeiten.

## 4.7 Gesamtstädtische Modellanwendung

Auf Grundlage der modifizierten Modellparametrisierung sind die meteorologischen Parameter für das Stadtgebiet Berlin sowie des nahen Umlandes erfolgreich modelliert worden. Die in diesem Kapitel zusammengefassten Ergebnisse stellen die Basis für die sich anschließende Ausarbeitung von Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte dar. Es entstand eine große Anzahl von Analysekarten, sowohl für die in Hinsicht auf die Bewertungskarten entscheidende austauscharme sommerliche Strahlungswetterlage als auch für die zu Vergleichszwecken gerechnete mittlere Sommerwetterlage mit übergeordneter Windanströmung. Alle Auswertungen liegen sowohl als kleinteilige Rasterdaten in je 100 m<sup>2</sup> - Auflösung über das gesamte Untersuchungsgebiet als auch als Mittelwerte mit Block(teil)flächenbezug für das Stadtgebiet von Berlin vor. Zusätzlich wurde noch die block(teil)flächenbezogene Verteilung klimatologischer Kennwerte gerechnet.

### 4.7.1 Modellergebnisse der Analyserechnungen

Die nachfolgende Liste umfasst alle im Analyseteil des Projektes erarbeiteten Themen:

## Bodennahes Windfeld und Kaltluftvolumenstrom

Windfeld in 2 / 22 m Höhe um 22, 04 Uhr [m/s]

jeweils Pfeildarstellung Richtung und Größe

*Flächendeckend:*

Raster: Kaltluftvolumenstrom zu den Zeiten 22, 04 Uhr [m<sup>3</sup>/s]

klassifizierter Wert

Siedlungsraum / Grün- und Freiflächen:

Block: Mittelwert Kaltluftvolumenstrom zu den Zeiten 22, 04 Uhr [m<sup>3</sup>/s]

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Block: Kaltluftvolumenstrom zu den Zeiten 22, 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

Öffentliche Straßen – Wege - Plätze:

Mittelwert Kaltluftvolumenstrom zu den Zeiten 22, 04 Uhr [m<sup>3</sup>/s]

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Kaltluftvolumenstrom zu den Zeiten 22, 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

## Verteilung Lufttemperatur / Strahlungstemperatur / Oberflächentemperatur

*Flächendeckend:*

Raster: Wert in 2 m / 22 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr [°C]

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Siedlungsraum / Grün- und Freiflächen:

Block: Mittelwert in 2 m / 22 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr [°C]

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Block: Wert in 2 / 22 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

Öffentliche Straßen Wege Plätze:

Mittelwert in 2 / 22 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr [°C]

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Wert in 2 / 22 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

### Nächtliche Abkühlungsrate:

*Flächendeckend:*

Raster: Nächtliche Abkühlung zwischen 22 und 04 Uhr [K]

Raster, klassifizierter Wert

Siedlungsraum / Grün- und Freiflächen:

Block: Mittelwert Nächtliche Abkühlung zwischen 22 und 04 Uhr [K]

klassifizierter Wert

Block: Nächtliche Abkühlung zwischen 22 und 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

Öffentliche Straßen Wege Plätze:

Mittelwert Nächtliche Abkühlung zwischen 22 und 04 Uhr [K]

klassifizierter Wert

Nächtliche Abkühlung zwischen 22 und 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

### Bewertungsindices Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) / Universal Thermal Climate Index (UTCI) / Predicted Mean Vote (PMV)

*Flächendeckend:*

Raster: Wert in 2 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Siedlungsraum / Grün- und Freiflächen:

Block: Mittelwert in 2 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Block: Wert in 2 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

Öffentliche Straßen Wege Plätze:

Mittelwert in 2 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr

klassifizierter Wert, eine Farbreihe

Wert in 2 m Höhe zu den Zeiten 14, 22 und 04 Uhr z-transformiert

ordinale 4-stufige Bewertung

**Anzahl meteorologischer Kenntage im langjährigen Mittel (1981-2010):**

Siedlungsraum / Grün- und Freiflächen:

Block: Anzahl der Sommer-, Hitzetage und Tropennächte klassifizierter Wert

Öffentliche Straßen Wege Plätze:

Bezugsfläche: Block: Anzahl der Sommer-, Hitzetage und Tropennächte klassifizierter Wert

Die folgenden Abbildungen zeigen eine Auswahl der gesamtstädtischen Modellergebnisse für die wind-schwache meteorologische Ausgangssituation im Sommer auf der Basis der rasterbasierten Modellierung. Bis auf die Karten der Oberflächentemperatur sind die Zellen, welche Gebäude repräsentieren, in Schwarz dargestellt. Über die im Kapitel 4.4 beschriebenen Parameter hinaus steht nun auch die Strahlungstemperatur der Oberflächen gesamtstädtisch zur Verfügung. Die Strahlungstemperatur (Abb. 4.26 und 4.27) ist eine wichtige Komponente für die Berechnung der bioklimatischen Indikatoren (PET, UTCI, PET) und wird nur für den (bodennahen) Aufenthaltsbereich des Menschen simuliert. Eine Darstellung des Dachniveaus erfolgt daher nicht. Die Abkühlungsrate (Abb. 4.30) zeigt die Abkühlung der nicht bebauten Oberflächen in K pro Stunde zwischen den Zeitpunkten 22 und 04 Uhr. Da sich das Windfeld in einer gesamtstädtischen Übersicht nicht sinnvoll abgebildet werden kann, erfolgt die Darstellung des Kaltluftströmungsfelds am Beispiel des rasterbasierten Kaltluftvolumenstroms (Abb. 4.25). Auf die Ergebnisse zum Zeitpunkt 22 Uhr wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da sie für die Verarbeitung in der Klimaanalyse- und Planungshinweiskarte nicht relevant ist.

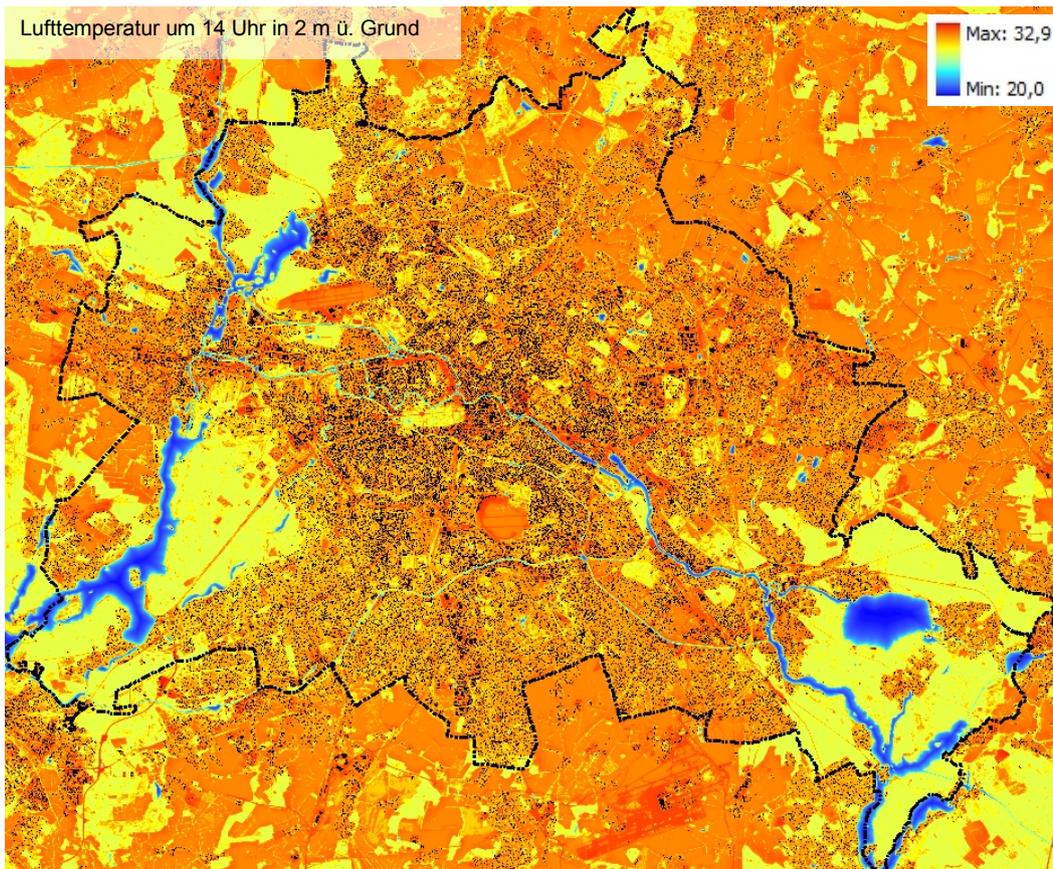


Abb. 4.21: Lufttemperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr

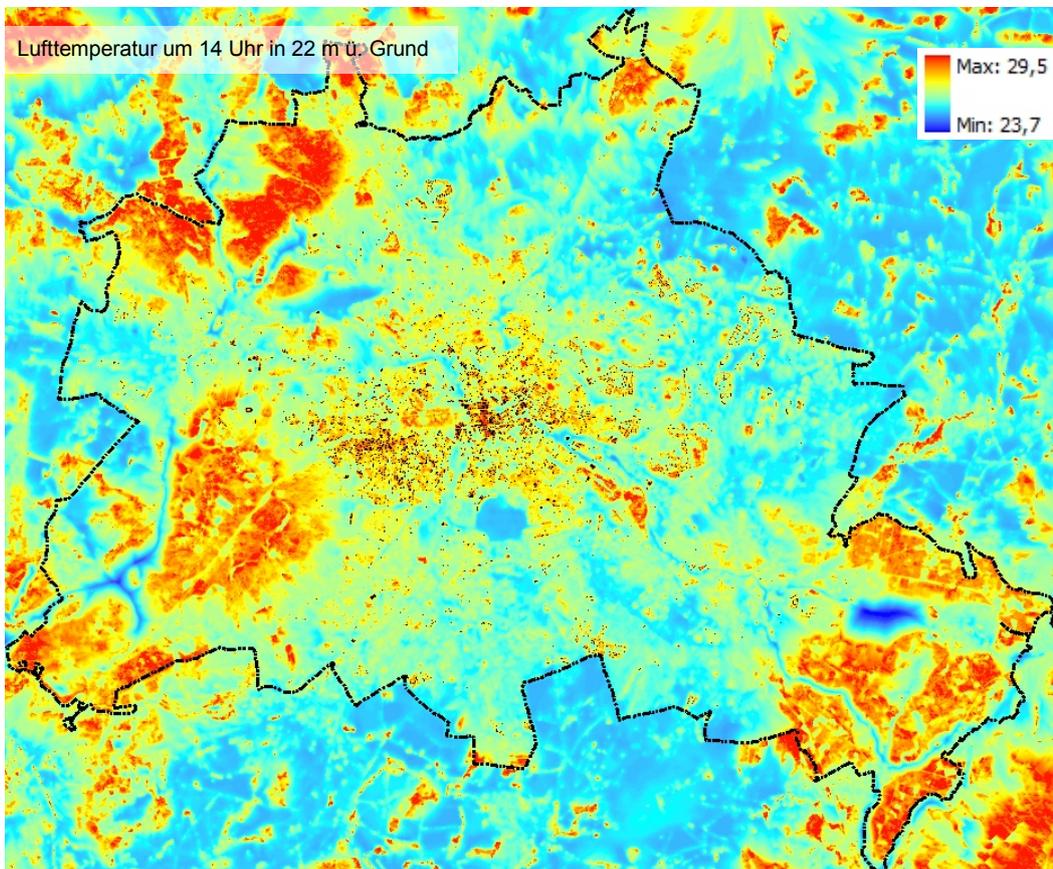


Abb. 4.22: Lufttemperatur in 22 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr

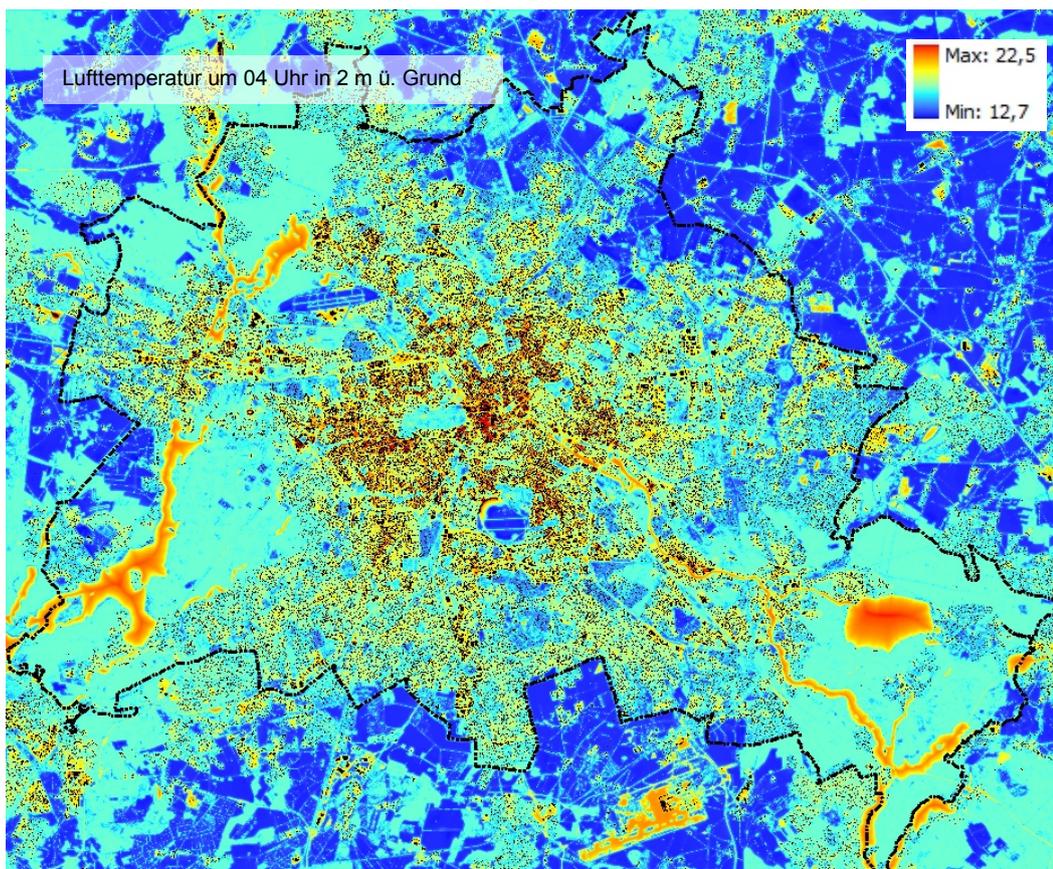


Abb. 4.23: Lufttemperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr

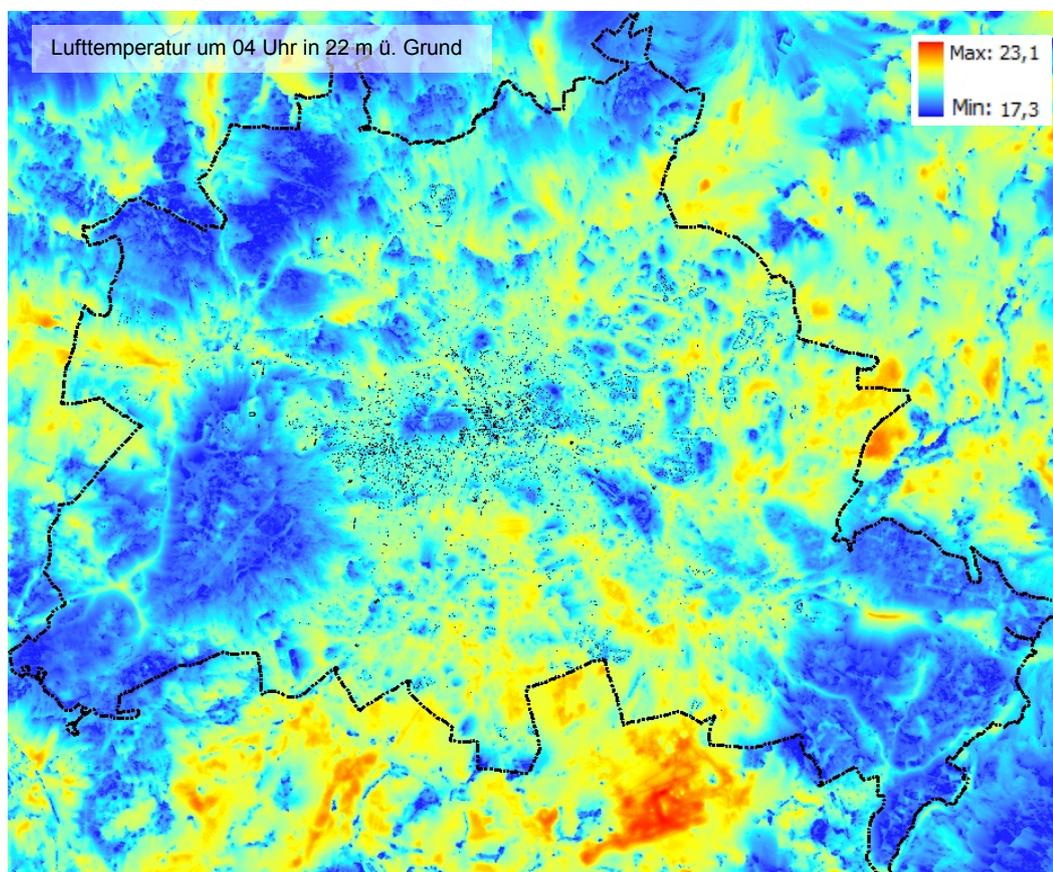


Abb. 4.24: Lufttemperatur in 22 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr

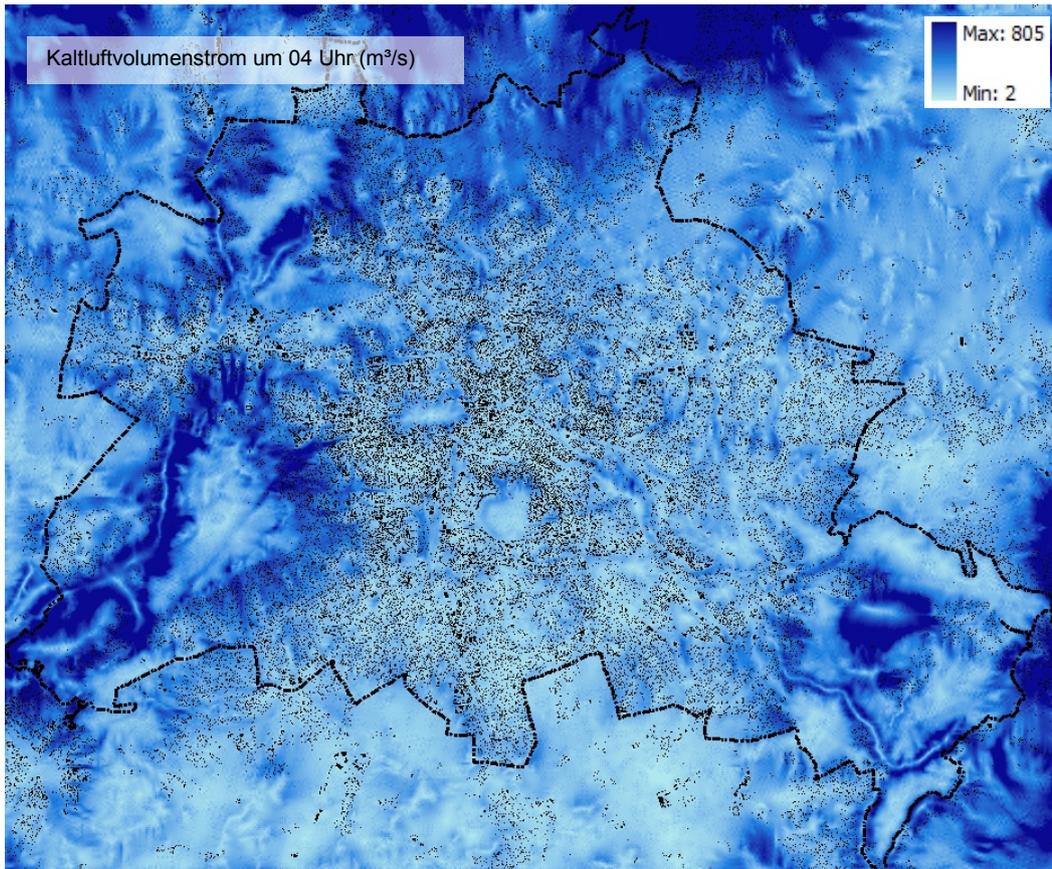


Abb. 4.25: Kaltluftvolumenstrom (m³/s) zum Zeitpunkt 04 Uhr

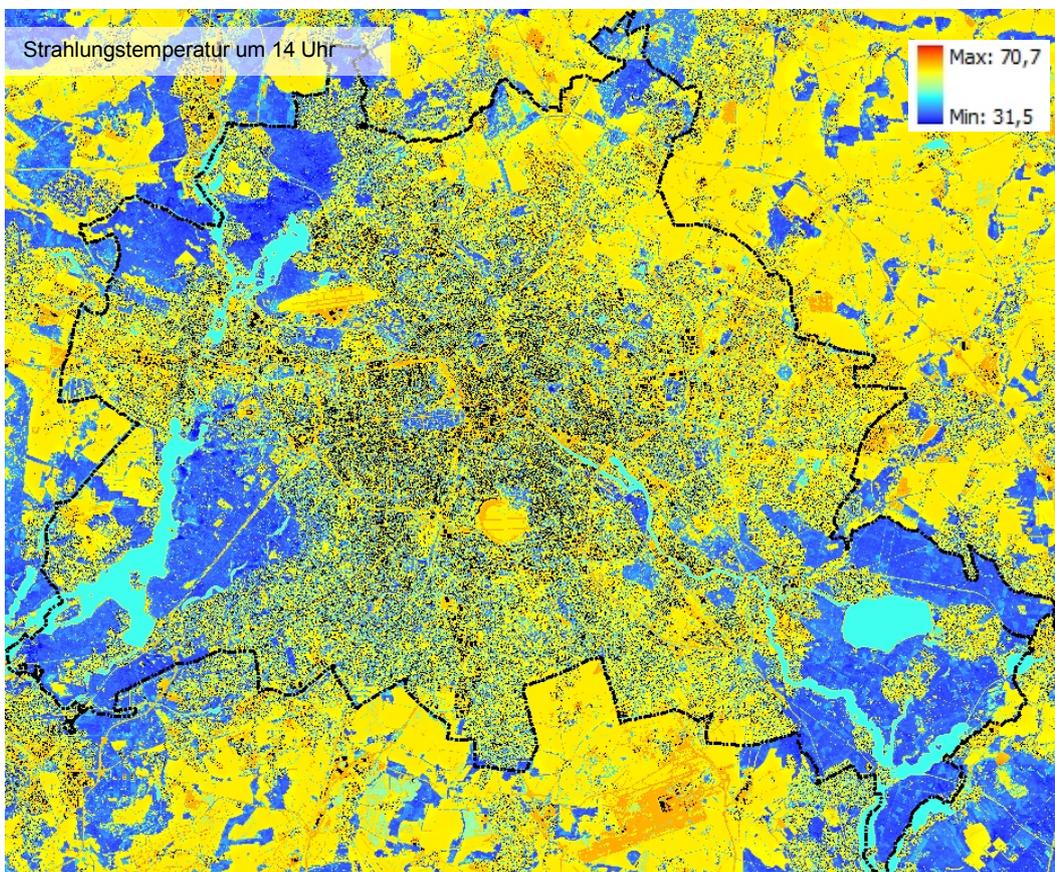


Abb. 4.26: Strahlungstemperatur (°C) zum Zeitpunkt 14 Uhr.

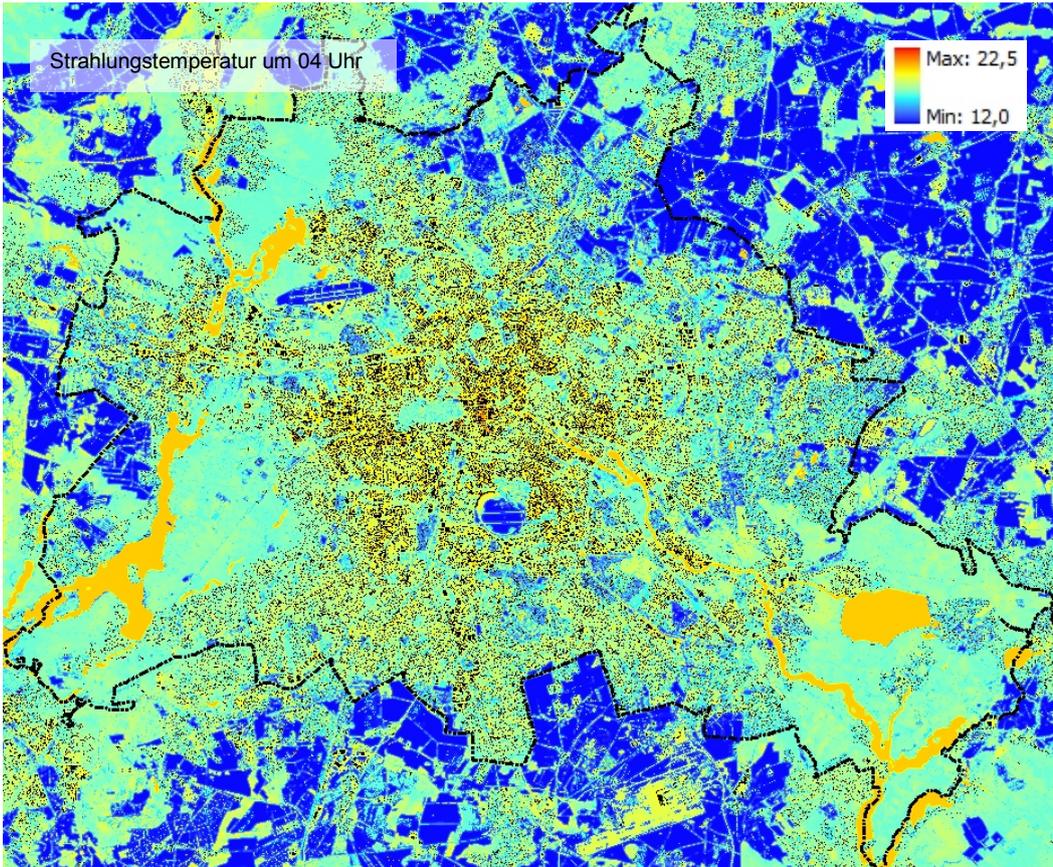


Abb. 4.27: Strahlungstemperatur (°C) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr

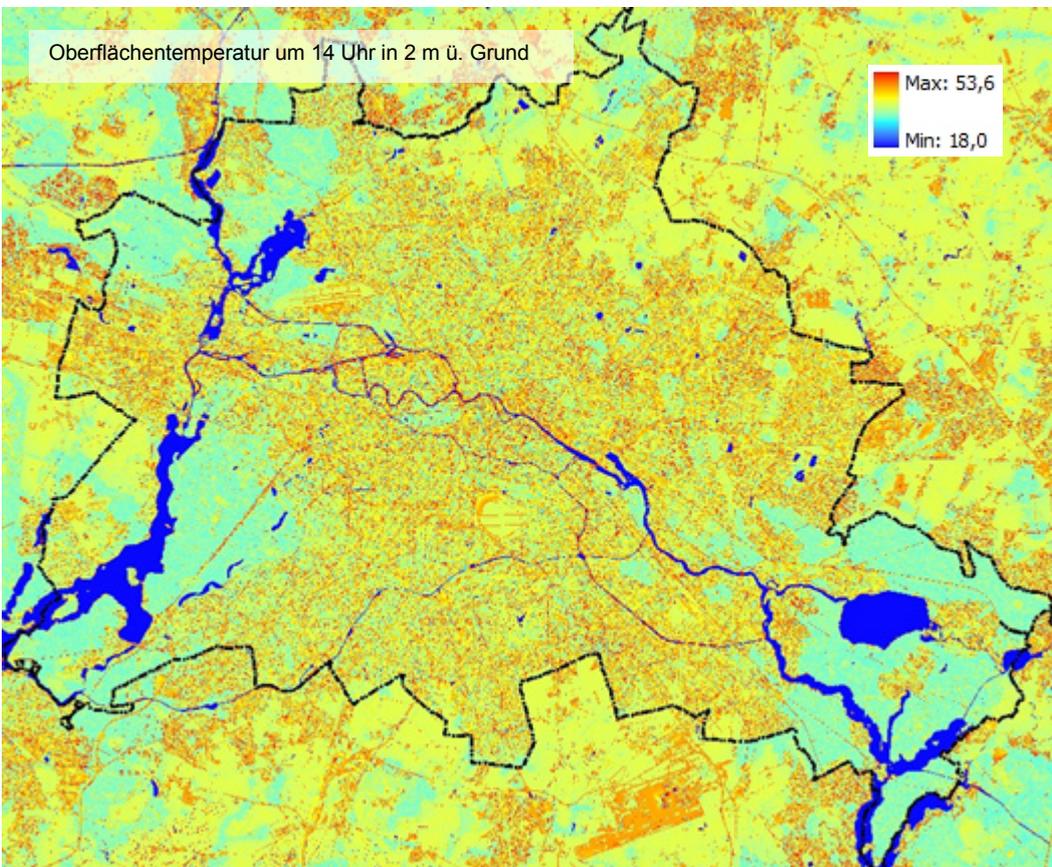


Abb. 4.28: Oberflächentemperatur (°C) zum Zeitpunkt 14 Uhr

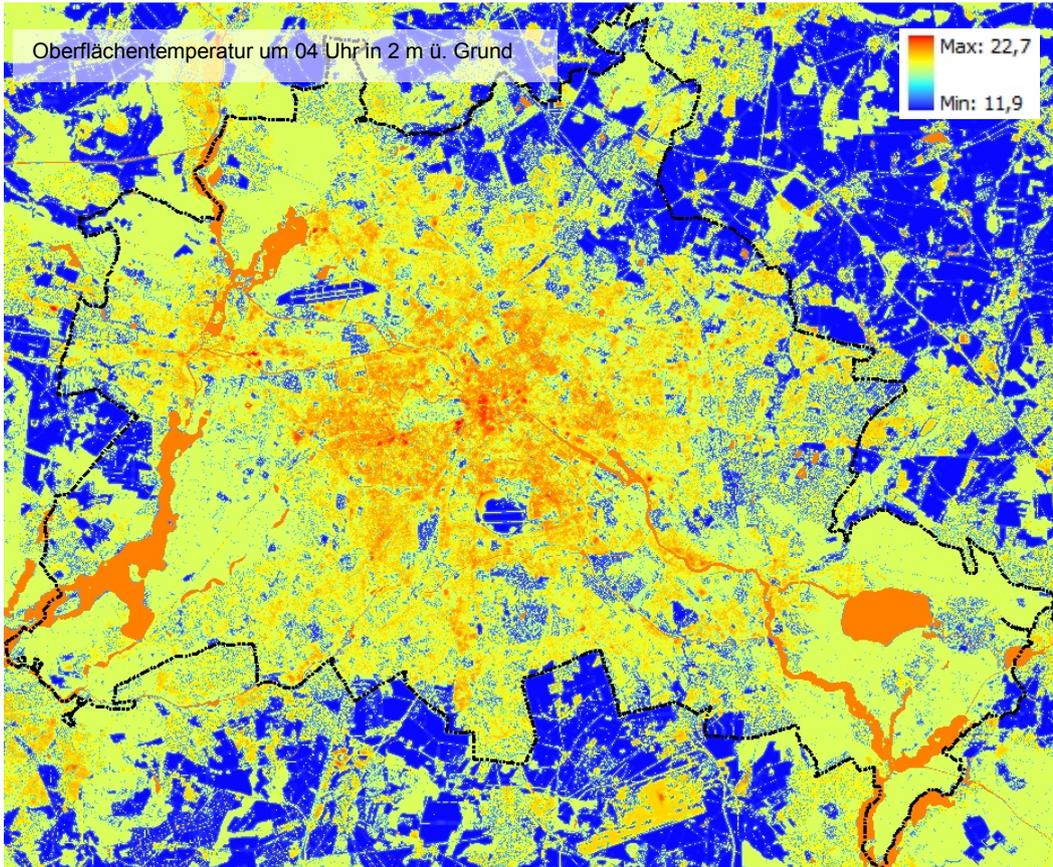


Abb. 4.29: Oberflächentemperatur (°C) zum Zeitpunkten 04 Uhr.

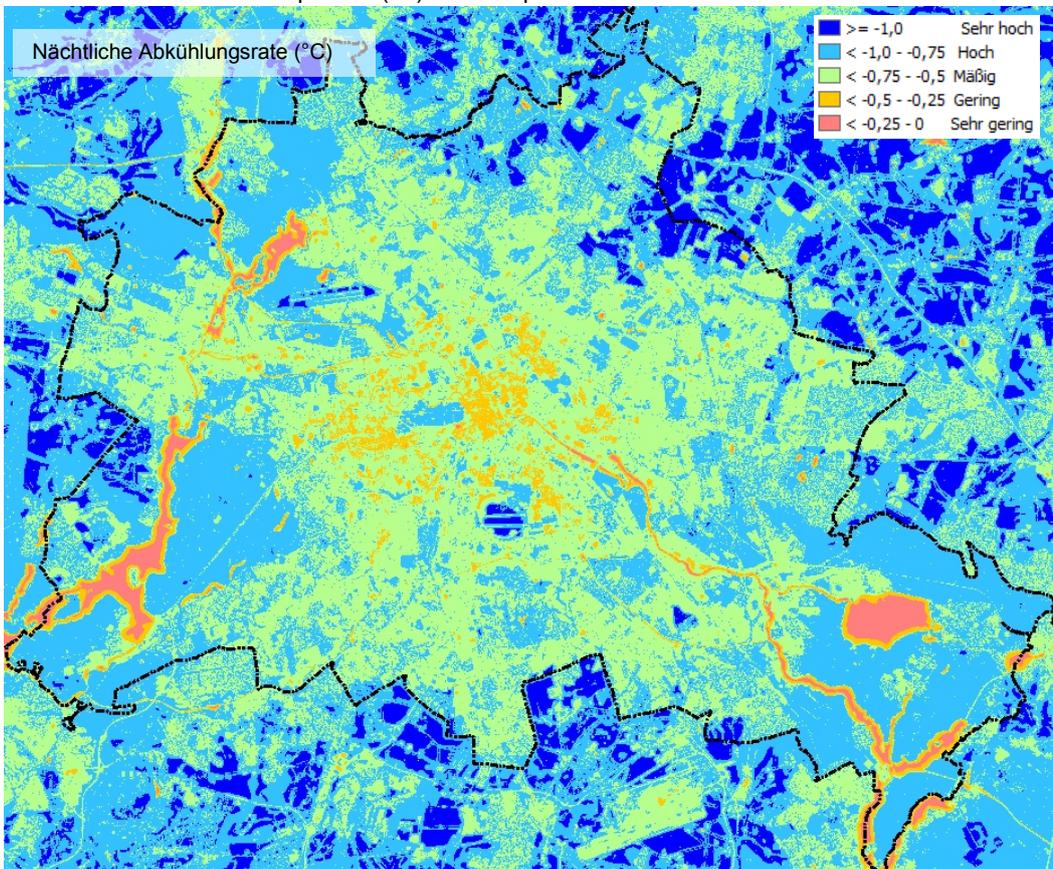
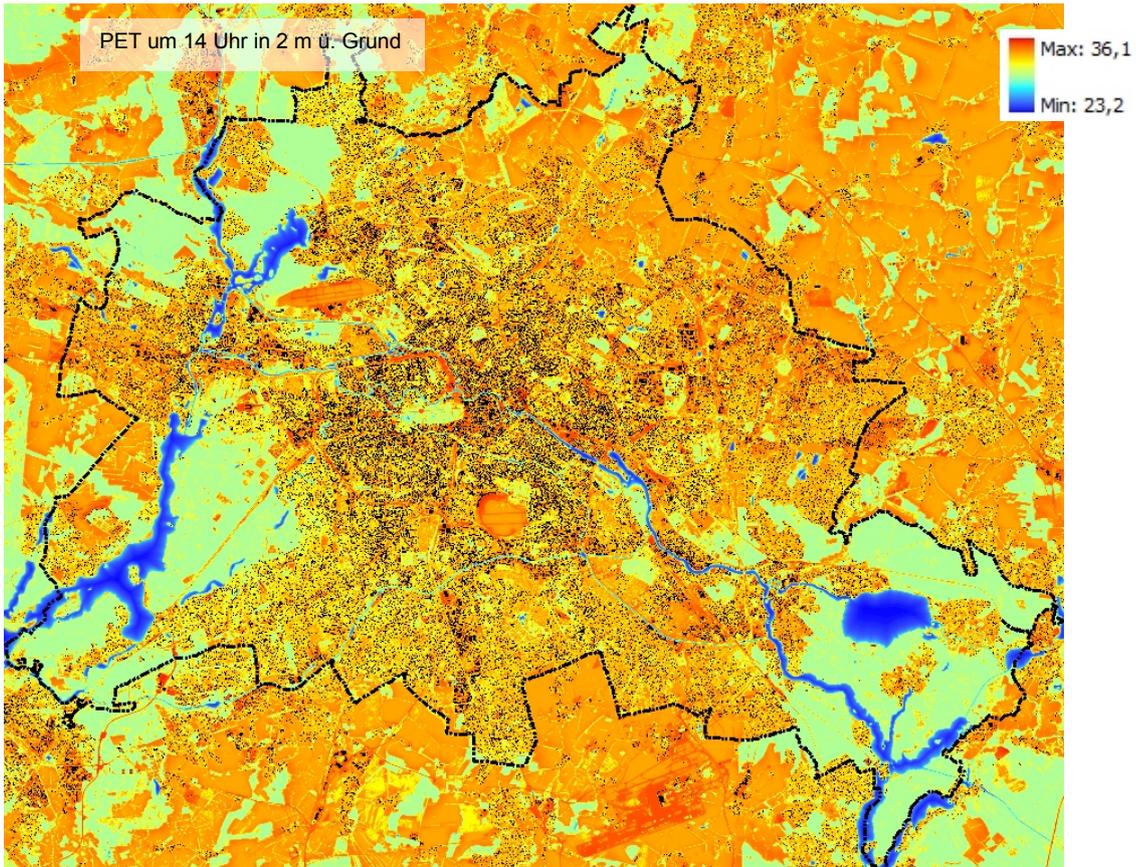
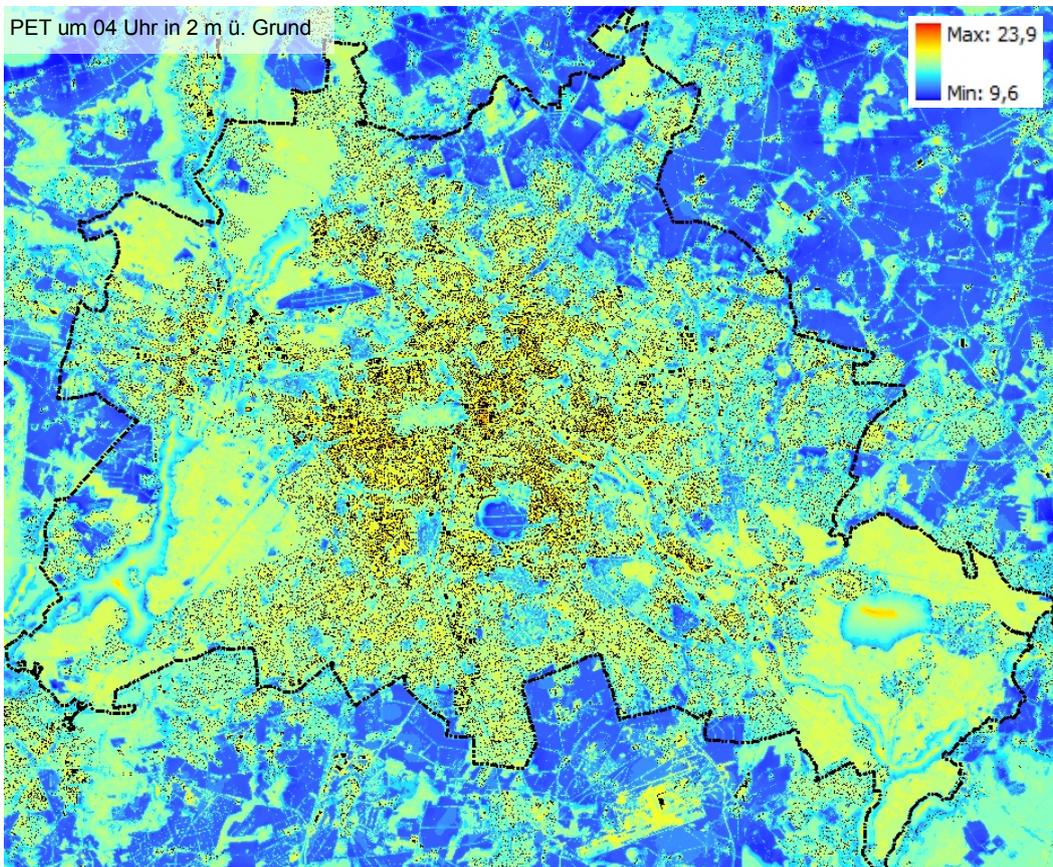


Abb. 4.30: Nächtliche Abkühlung der Oberfläche in K pro Stunde zwischen den Zeitpunkten 22 und 04 Uhr.



**Abb. 4.31:** Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (°C).



**Abb. 4.32:** Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (°C).

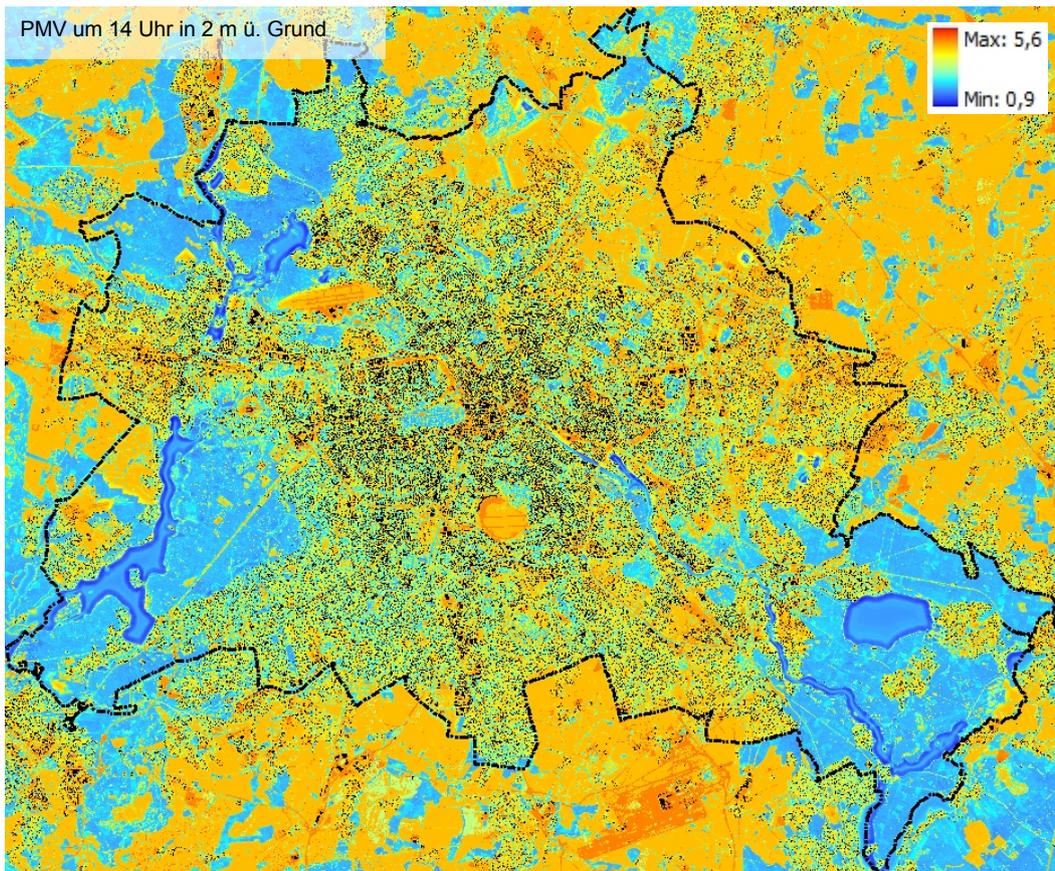


Abb. 4.33: Predicted Mean Vote (PMV) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr.

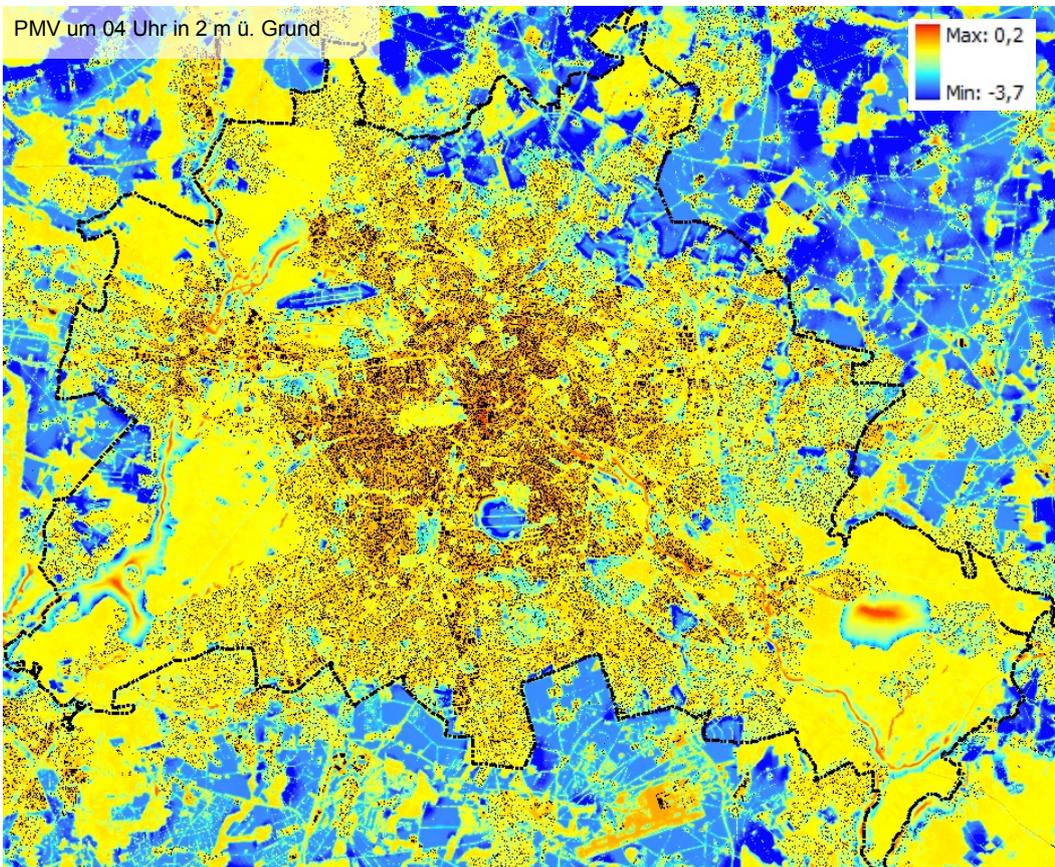


Abb. 4.34: Predicted Mean Vote (PMV) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr.

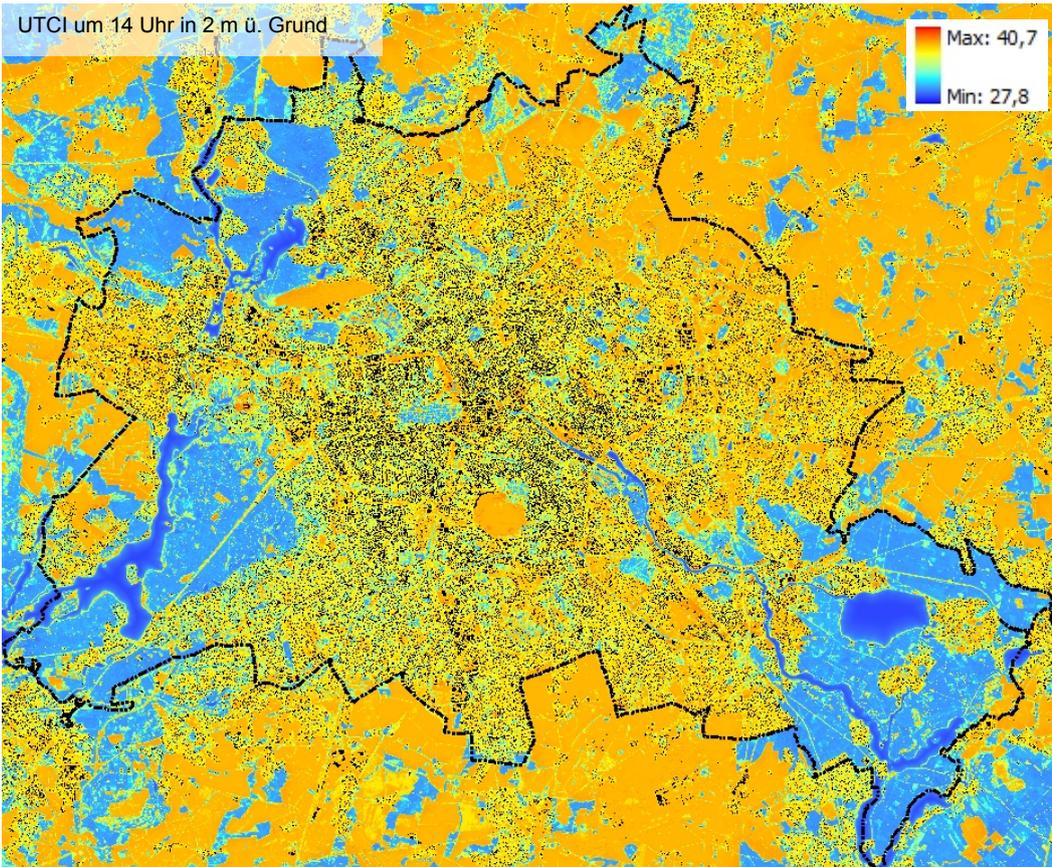


Abb. 4.35: Universal Thermal Climate Index (UTCI) (°C) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr.

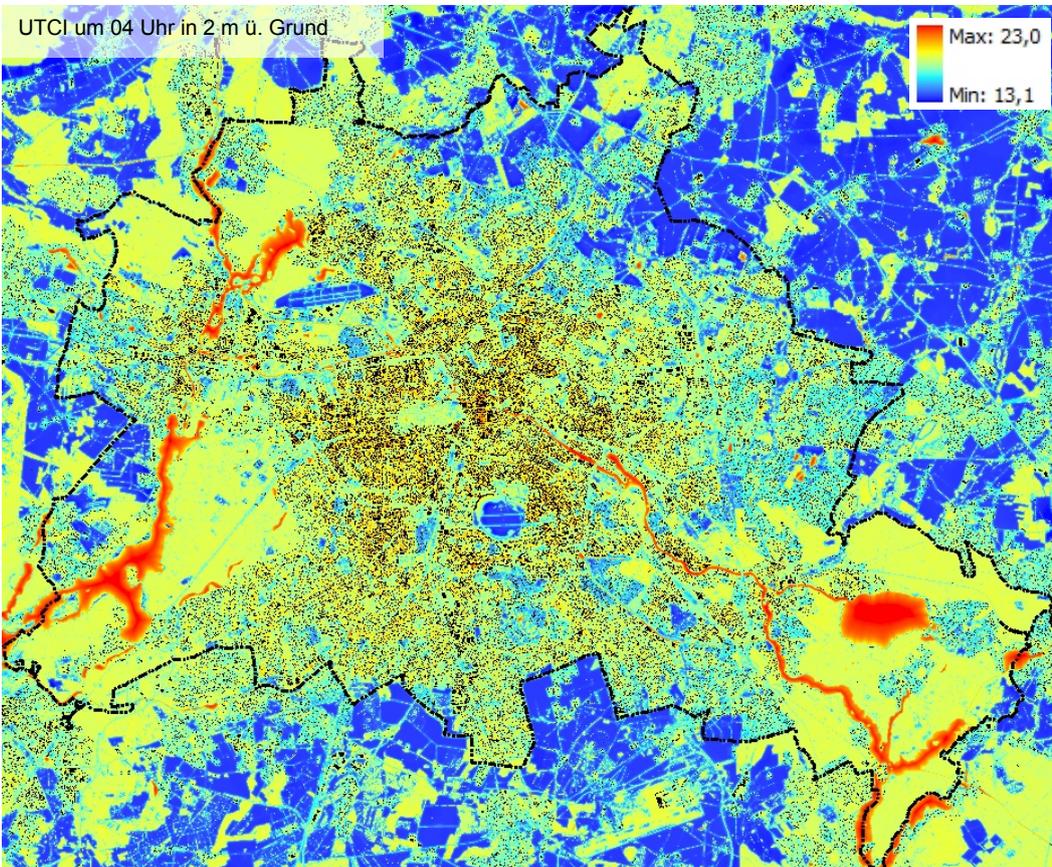


Abb. 4.36: Universal Thermal Climate Index (UTCI) (°C) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr.



## 4.8 Nachführungskonzept zur Anpassung des Analyseteils an veränderte Flächennutzungsstrukturen ohne Modelleinsatz

Im ursprünglichen Arbeitskonzept die Entwicklung eines Konzeptes vorgesehen, welches es ermöglicht, in Bereichen, in denen Nutzungsänderungen stattgefunden haben, jährlich den Strömungseinfluss dieser Strukturänderungen zu bewerten, ohne die Gesamtmodellebene anstoßen zu müssen. Im Lauf der Bearbeitung hat sich jedoch herausgestellt, dass ein solches Konzept nicht praxisnah einsetzbar ist. Zum einen hat die ursprünglich als Referenz vorgesehene Gebäudedatei der Liegenschaftskarte ALK einen für den geplanten Zweck zu großen und in Berlin aufgrund der bezirkswisen Erstellung auch zu heterogenen Nachlauf hinter der realen Entwicklung, zum anderen wäre auch eine bezirkswise Abfrage bzw. umgekehrt eine bezirkswise Meldung neuer Flächen bzw. von Abriss organisatorisch nicht leistbar gewesen. Um das Thema in der dynamischen Entwicklung Berlins jedoch nicht unberücksichtigt zu lassen, soll auf die beim Amt für Statistik Berlin-Brandenburg jährlich aktualisierten Aufstellungen zu Baufertigstellungen bzw. – abgängen Bezug genommen werden, die den Blockteilflächen der ISU5 zugeordnet werden. Anhand einer Kriterienliste werden in Abhängigkeit vom Bauumfang im Blockteil und der bereits vorhandenen Gebäudenzahl Marker im Sachdatenbestand gesetzt, die dem Nutzer einen Hinweis darauf geben, dass durch das Klimamodell erstellten Informationen ggf. zu überprüfen sind.

## 4.9 3D-Videosequenz

Zur Veranschaulichung der komplexen Luftaustauschprozesse wurde für einen Vertiefungsbereich im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf eine 3D-Animation bodennaher Kaltluftströmungen erstellt. Im Mittelpunkt steht der Übergangsbereich vom Grunewald als bedeutende Kaltluft produzierende Grünfläche und der angrenzenden Bebauung. Grundlage für die Darstellung ist der Kaltluftvolumenstrom, der, ausgehend vom Zeitpunkt 22 Uhr abends, in einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten bis 05 Uhr morgens ausgewertet wurde. Angesichts der Größe des gesamtstädtischen Untersuchungsraums und des damit einhergehenden Datenvolumens von insgesamt 29 Einzelrastern erfolgte die Kaltluftsimulation in einem separaten 5 km x 5 km großen Modellgebiet. Den Untersuchungsraum zeigt Abb. 4.38, welcher sich vom Autobahndreieck Funkturm im Norden bis zur Königin-Luise-Straße im Süden erstreckt.

Die rote Pfeilsignatur kennzeichnet die in Abb. 4.39 dargestellt Blickachse nach Südwesten hin vom Hohenzollerndamm aus in Richtung Grunewaldsee. Bis zum Zeitpunkt 03 Uhr morgens wird die an den Grunewald angrenzende niedrige Bebauung entlang der Clayallee Bebauung flächenhaft von Kaltluft überströmt. Das Punkthochhaus in der Bildmitte sowie die nach Osten hin höhere Bebauung ragen hingegen deutlich aus der bodennahen Kaltluft heraus. Im Ergebnis entstand aus der Kombination aller Einzelebenen eine Videosimulation des nächtlichen Kaltluftvolumenstroms.



Abb. 4.38: Vertiefungsgebiet Kaltluftanimation

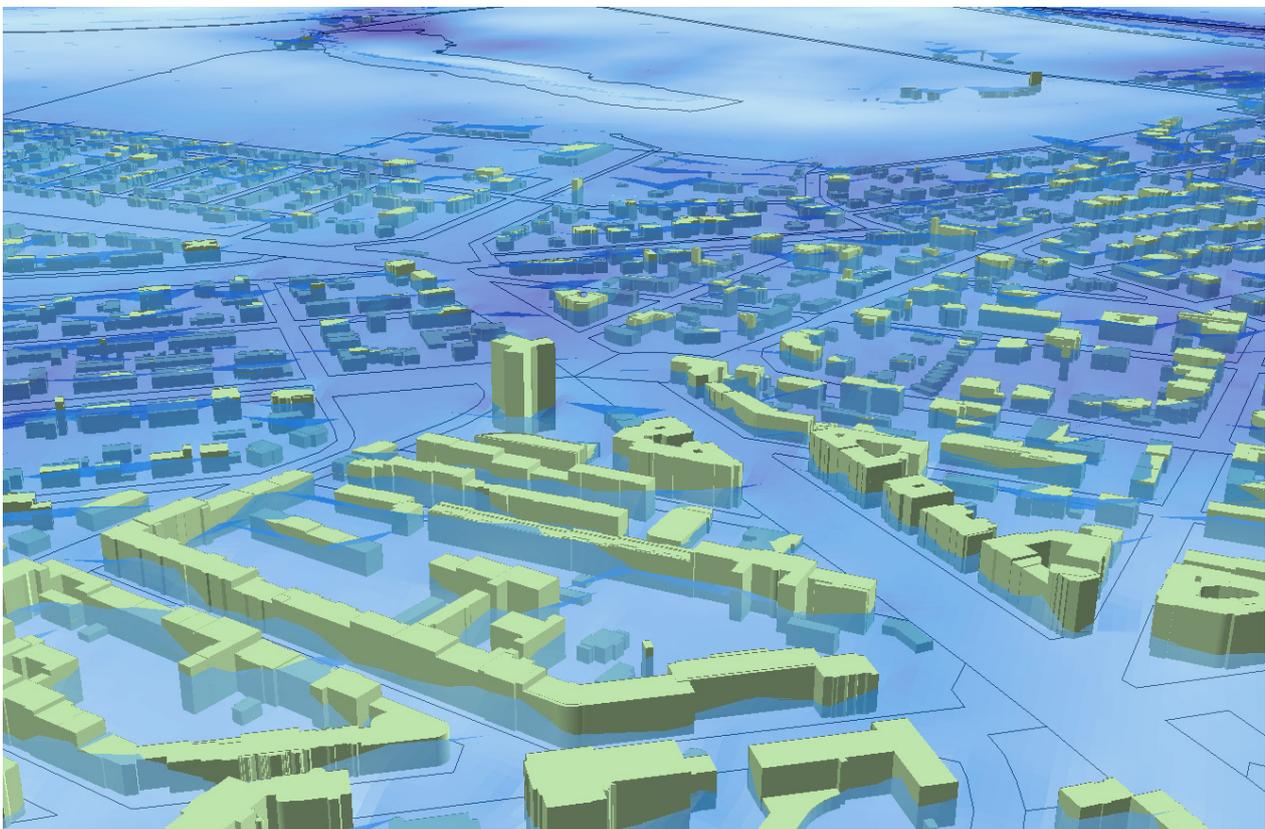


Abb. 4.39: Kaltluftsimulation zum Zeitpunkt 03 Uhr im Bereich Hohenzollerndamm (Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf)

## 4.10 Bewertungskarten

Die durchgeführte Untersuchung hat in der Bewertungsphase des Projektes zum Ziel, die unterschiedlichen Teilflächen der Stadt Berlin nach ihren klimatischen Funktionen, d.h. ihrer Wirkungen auf andere Räume, abzugrenzen und die klimaökologisch wichtigen Raumstrukturen in Form einer Klimaanalysekarte herauszuarbeiten (letztere wurde aus systematischen Gründen dem Arbeitsteil Analyse zugeordnet (siehe Kap. 4.7.2). Den entscheidenden Raum innerhalb der Bewertungsphase nahmen die methodischen Diskussionen und Umsetzungen zur Ableitung der „Planungshinweiskarte 2015“ ein. Den entscheidenden Raum innerhalb der Bewertungsphase nahmen die methodischen Diskussionen und Umsetzungen zur Ableitung der „Planungshinweiskarte 2015“ ein.

Grundsätzliche Ansatzpunkte sind Bewertung der Empfindlichkeiten der in der Klimaanalysekarte dargestellten Funktionen gegenüber strukturellen Veränderungen und die daraus abzuleitenden Planungshinweise. Die Umsetzung in raumspezifische klima- und immissionsökologische Qualitätsziele mündet in der Forderung nach Handlungsempfehlungen. Durch konkrete Zuordnung planungsrelevanter Aussagen zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z.B. Kaltluftentstehungsflächen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden sollen.

Die Planungshinweiskarte (PHK) stellt damit die planerische Inwertsetzung der im Projekt erzeugten Modelldaten sowie der Klimaanalysekarte dar. Sie stellt die zentrale Informationsbasis für Abwägungs- und Entscheidungsprozesses rund um die (stadt)klimagerechte Stadtentwicklung dar.

Als Ergebnis des intensiven Beteiligungsprozesses (vgl. Kap. 5) ist die neue Ausgabe gegenüber den Versionen aus 2004 und 2009 inhaltlich erweitert und noch stärker auf die Bedürfnisse der Zielgruppe ausgerichtet worden. Die PHK 2015 besteht nun erstmals aus drei sich ergänzenden Kartenwerken:

- einer Hauptkarte
- ergänzenden Planungshinweisen sowie
- Maßnahmen

Dieses Vorgehen trägt zum einen der hohen Komplexität des Themas, dem gestiegenen Stellenwert innerhalb der Berliner Stadtentwicklungspolitik sowie den erhöhten Anforderungen an Aussagegenauigkeiten seitens der Bau- und Umweltämter Rechnung. Zum anderen war es das erklärte Ziel des Projektes, nicht mehr von der gedruckten, sondern von der digitalen Karte her zu denken und dabei die technischen Möglichkeiten des FIS-Brokers umfänglich auszunutzen.

Die „Hauptkarte“ (Abb. 4.40) ist das (inhaltlich erweiterte und räumlich konkretisierte) Äquivalent zu den PHK-Ausgaben 2004 (Datenstand 2001) und 2009 (Datenstand 2005). Sie enthält eine flächendeckende Bewertung der stadtklimatischen Belastungssituationen und Entlastungsfunktionen und stellt damit die fachliche Abwägungsgrundlage sowohl für gesamtstädtisch als auch für bezirklich ausgerichtete Planungen dar (vor allem Flächennutzungs- und Landschaftsplanung sowie Verbindliche Bebauungsplanung).

Nicht zuletzt dient die Planungshinweiskarte auch der Information der Öffentlichkeit für eine möglichst fundierte Beteiligung im Rahmen von Planungsverfahren.

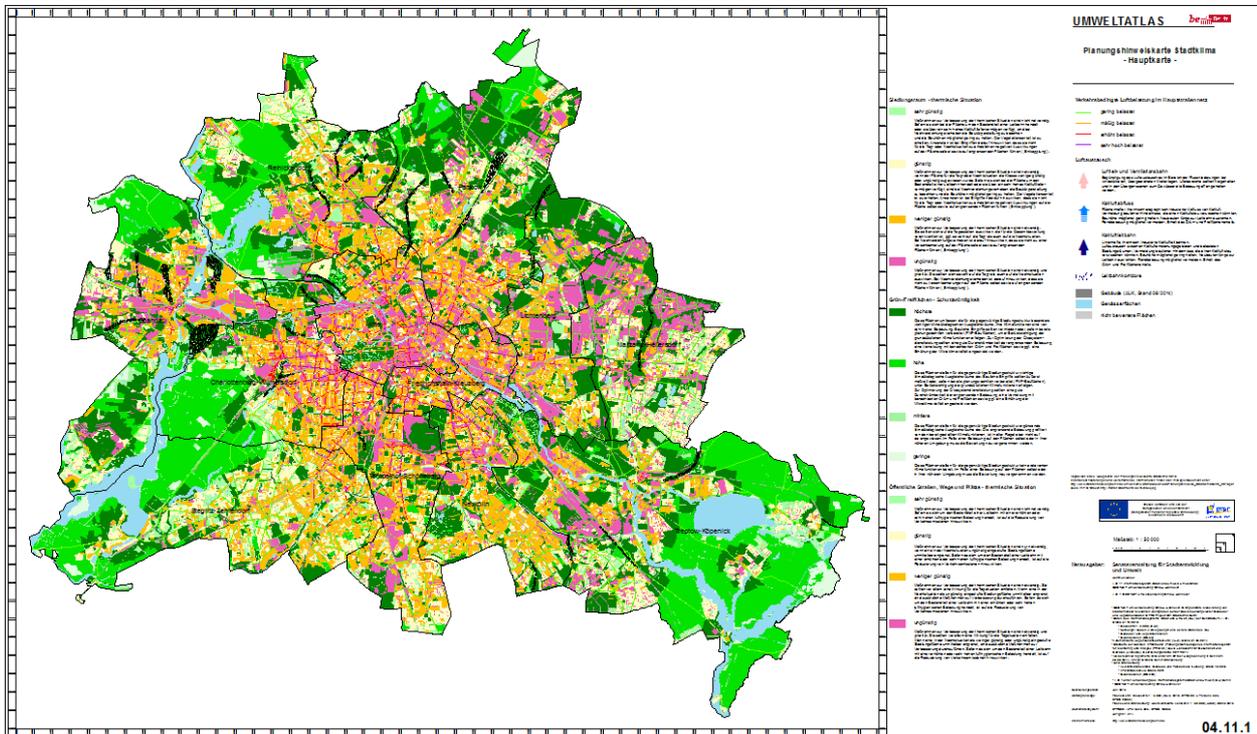


Abb. 4.40: Planungshinweiskarte Stadtklima 2015 (Hauptkarte)

In den „Ergänzenden Planungshinweisen“ 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, Erschließung der Bauflächenpotentiale, sensible Nutzungen, Demographie). Die „Maßnahmenebene“ enthält schließlich eine flächentypabhängige, raumkonkrete Zuordnung von 30 Einzelmaßnahmen zu allen ISU5-Block(teil)flächen sowie zu allen Abschnitten des 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. Um die Zielgruppe bei der Verwendung der neuen PHK zu unterstützen, wurde ein *Begleitdokument* erstellt (siehe Anhang). Das Begleitheft hat zum einen die Aufgabe, die methodische Herleitung der über den FIS-Broker abrufbaren kartographischen Darstellungen und textlichen Aussagen zu dokumentieren. Darüber hinaus stellt es inhaltlich vertiefende Informationen und zusätzliche Analyseergebnisse zur Verfügung.

## 5 Beteiligungsprozess

Entsprechend dem Projektansatz, die Ansprüche der unterschiedlichen internen und (professionellen) externen Nutzergruppen möglichst umfassend und zielgerichtet zu berücksichtigen, wurde ein intensiver Beteiligungsprozess organisiert, durchgeführt und ausgewertet.

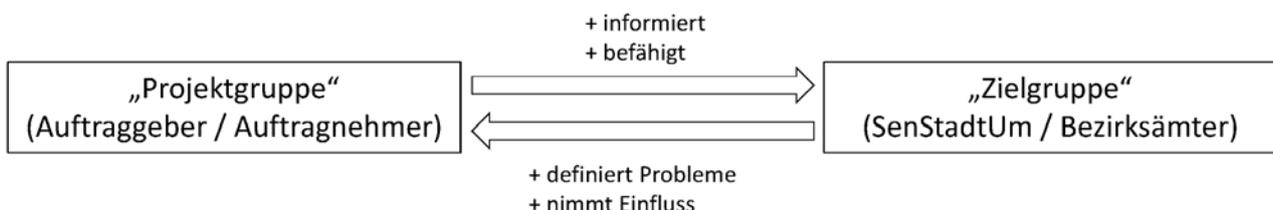
Die Zielgruppe bestand daher in erster Linie aus folgenden Akteuren:

- Mitarbeiter der Bezirksamter
- Mitarbeiter der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
- Mitarbeiter von privaten Planungsbüros

Grundsätzlich wurde gezielt die „Sachbearbeiterebene“ angesprochen, die im Rahmen der Bauleitplanung für die Berücksichtigung des Stadtklimas in den Abwägungsprozessen verantwortlich ist. Die durchzuführenden Veranstaltungen richten sich vor allem an die Akteure der Zielgruppe, stehen aber auch im begrenzten Umfang weiteren Akteuren der Fachöffentlichkeit offen (z. B. der Wissenschaft).

Der Beteiligungsprozess verfolgte vor allem zwei Ziele. Zum einen sollen die Akteure der Zielgruppe gezielt über das Projekt und seine Ergebnisse informiert werden. Das Hauptanliegen war dabei, den Bekanntheitsgrad der Planungshinweiskarte Stadtklima zu erhöhen und die Akteure zur Implementierung der Karte in ihre tägliche Arbeit zu befähigen. Gleichzeitig wurde mit den Veranstaltungen aber auch das Ziel verfolgt, ein vertieftes Verständnis der Arbeitsweise und einen Einblick in die Herausforderungen des stadtklimarelevanten Arbeitsalltages der Zielgruppe zu erlangen, um die PHK 2015 dadurch gezielt auf ihre Bedürfnisse abstimmen zu können. Zur Unterstützung dieses Ziels wurde eine ergänzende Fragebogenaktion durchgeführt.

Das Grundkonzept des Beteiligungsprozess war also als Gegenstromprinzip eines voneinander Lernens und gemeinsamen Gestaltens angelegt (Abb. 5.1). Dieser Ansatz konnte im Prozessverlauf soweit ausgebaut werden, dass sich eine „AG PHK 2015“ konstituierte, in der einzelne Akteure der Zielgruppe direkten Einfluss auf die Inhalte und das Layout der PHK ausüben konnten.



**Abb. 5.1:** Grundkonzept des Beteiligungsprozesses

## 5.1 Analyse der Zielgruppe

Die im Rahmen des Beteiligungsprozesses anzusprechenden Akteure wurden auf der Basis von bilateralen Gesprächen mit dem Auftraggeber und eigenen Erfahrungen ermittelt. Dem Projektansatz entsprechend lag der Fokus auf solchen Akteuren der Senatsverwaltungen, der Bezirksamter und privater Stadt- und Landschaftsplanungsbüros, die im Rahmen von Stadtentwicklungsprojekten die Berücksichtigung von stadtklimatischen Belangen in Planungs-, Bewertungs- und Abwägungsprozesse inhaltlich umzusetzen bzw. zu verantworten haben („Sachbearbeiterebene“).

Konkret wurden folgende Verwaltungsstellen identifiziert und angesprochen:

- Stadtplanungs-, Bau-, und Umweltämter sowie Klimaschutzleitstellen der Bezirke
- Informationssystem Stadt und Umwelt, Umweltatlas (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt)
- Landschafts- und Artenschutzprogramm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt)
- Stadtentwicklung, Kulturwirtschaft, Nachhaltige Entwicklung (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt)
- Flächennutzungsplanung (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt)
- Landschaftsplanung (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt)
- In Berlin ansässige Stadt- und Landschaftsplanungsbüros (u.a. BGMR, Gruppe F Landschaftsarchitekten)

Über diese Kernzielgruppe hinaus, bestand auch bei weiteren Akteuren der Fachöffentlichkeit Interesse, sich in das Projekt einzubringen (z. B. TU und FU Berlin, DLR, Projektgesellschaften Wohnungsbau).

## 5.2 Zielgruppenbefragung

Die Befragung wurde in Form einer standardisierten Fragebogenaktion im Rahmen der Veranstaltungsreihe durchgeführt. Es wurde zum einen das Ziel verfolgt, ein Grundverständnis von der Zusammensetzung der sich beteiligenden Akteure, ihrer Arbeitsbereiche, ihrer Erfahrungen mit der PHK 2005 und ihrer Erwartungen an die PHK 2015 zu entwickeln.

### 5.2.1 Ergebnisse

An der Befragung nahmen 26 Personen teil. Wie Abb. 5.2 zeigt, stammt der überwiegende Teil (>80 %) aus den Bezirksverwaltungen, der Senatsverwaltung und privaten Planungsbüros. Folglich ist es gelungen, die anvisierte Zielgruppe anzusprechen und zu aktivieren.

**Abb. 5.2:** Ergebnis Frage - Bei welcher Institution sind Sie beschäftigt?

Der primäre Aufgabenbereich der Befragten ist sehr heterogen (Abb. 5.3). Die häufigsten Nennungen entfallen der Zusammensetzung der Teilnehmerschaft entsprechend auf die verbindliche Bauleitplanung und die Grünordnung. Einen ähnlich hohen Anteil machen aber auch „andere“ Aufgabenbereiche aus. Hierzu zählen u.a. die Leitungsebene, die Landschaftsplanung oder die Leitstelle für Nachhaltigkeit und Umweltschutz.

Diese beiden Hintergrundinformationen machen deutlich, dass in Berlin ganz unterschiedliche Institutionen mit ganz unterschiedlichen Aufgabenbereichen, das Stadtklima als ein für sie relevantes Themenfeld betrachten. Wie in anderen deutschen Städten auch, handelt es sich beim Stadtklima also um ein hochgradig querschnittsorientiertes Thema, dass einer engen Abstimmung zwischen den beteiligten Ressorts bedarf.

**Abb. 5.3:** Ergebnis Frage - Welches ist Ihr primärer Aufgabenbereich?

Die Frage, ob Ihnen die Existenz der PHK Klima 2005 vor der Befragung bekannt gewesen sei, bejahten 61,5% der Befragten. Fast 40% der Teilnehmer hatten demnach noch nichts von der PHK gehört, unter den Teilnehmern der Bezirksverwaltungen war der Anteil mit 44% sogar noch ein wenig höher. Das macht deutlich, dass der Bekanntheitsgrad der PHK einen wesentlichen Erfolgsfaktor darstellen wird. Diese Einschätzung wird dadurch gestützt, dass von denjenigen, die die PHK 2005 kennen, sie zu fast 90% auch schon mindestens einmal in ihre Arbeit haben einfließen lassen und sie dabei zu einem deutlich überwiegenden Teil als hilfreich oder sehr hilfreich eingeschätzt haben (Abb. 5.4).

**Abb. 5.4:** Ergebnis Frage - Als wie hilfreich haben Sie Arbeit mit der „Planungshinweiskarte Klima 2005“ insgesamt empfunden?

Ähnlich heterogen wie die Teilnehmerschaft und ihre Aufgabenbereiche stellen sich auch die konkreten Anwendungsfälle für die PHK 2005 dar auf die sich die Bewertungen beziehen. Mit einem Anteil von fast 50% der Nennungen entfallen die häufigsten Nennungen auf die Kategorien „Abgabe einer Stellungnahme“ und „Erstellen eines Umweltberichtes“. Auch die „Gutachtenprüfung“ und die „Grünordnungsplanung“ weisen relevante Antwortanteile auf (Abb. 5.5). Unter den rd. 15% „anderen“ Anwendungsfällen finden sich u.a. Klimaschutzkonzepte und Bezirksprofile. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass es für die Planungshinweiskarte Klima 2005 nicht den einen klar definierten Anwendungsfall gab, sondern dass aus ihr Aussagen für ganz unterschiedliche Fragestellungen abgeleitet wurden sind.

**Abb. 5.5:** Ergebnis Frage - In welchem Zusammenhang ist die „Planungshinweiskarte Klima 2005“ in Ihre Arbeit eingeflossen?

Dieser Umstand ist auch für die PHK 2015 zu beachten, in dem die Teilnehmer über den bisherigen inhaltlichen Umfang hinaus auch noch weitere Themenfelder in den Fokus gerückt sehen wollen. Hierzu gehört insbesondere die Definition von Maßnahmen (auch im Zusammenhang mit der Klimafolgenanpassung). Aber auch die übrigen Themen von der Verkehrsentwicklung über die Siedlungswasserwirtschaft bis hin zum Demographischen Wandel sollte nach Auffassung der Teilnehmer in die neue PHK implementiert werden (Abb. 5.6).

**Abb. 5.6:** Ergebnis Frage - Auf einer Skala von 1 – 10, als wie wichtig schätzen Sie die Implementierung folgender Themen in die im Rahmen des EFRE-Projektes weiterzuentwickelnde Planungshinweiskarte Klima ein? 1 bedeutet dabei „Thema sollte auf keinen Fall in die neue PHK implementiert werden“ und 10 bedeutet „Thema sollte unbedingt in die neue PHK implementiert werden“

### 5.2.2 Fazit und Schlussfolgerungen

Es war nicht das Ziel der Befragung, eine Vollerhebung<sup>14</sup> durchzuführen oder im wissenschaftlichen Sinne repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Vielmehr sollte der über die Jahre entstandene Eindruck des Projektteams empirisch überschlägig überprüft und erste Ideen für die Ausgestaltung der PHK 2015 gesammelt werden. Zusammenfassend lassen sich folgende Erkenntnisse festhalten, die bei der weiteren Projektbearbeitung eine besondere Berücksichtigung erfahren werden:

- Sowohl die Aufgabenbereiche der Akteure als auch die Anwendungsfälle der PHK sind sehr heterogen. Die PHK 2015 sollte versuchen diesem Umstand graphisch und inhaltlich noch besser gerecht zu werden, als ihre Vorgängerversion
- Der Bekanntheitsgrad der PHK 2005 ist geringer als erwartet. Es bedarf einer über das Projekt hinausgehenden Informations- und Schulungskampagne der Zielgruppe.
- Der Maßnahmenebene sollte bei der Aktualisierung der PHK eine besondere Rolle zugedacht werden. Dies gilt sowohl für den Bestand als auch für Neubebauungen / Nachverdichtungen

---

<sup>14</sup> Da die absolute Anzahl der sich in Berlin mit dem Thema Stadtklima beschäftigten Akteure unbekannt ist, kann auch keine quantitative Aussage zum Anteil der Stichprobe an der Grundgesamtheit getroffen werden. Es wird daher angeregt, eine entsprechende Akteurs-/Clusteranalyse durchzuführen.

## 5.1 Veranstaltungsreihe

Die Veranstaltungsreihe bestand aus zwei Strängen: Informations- und Diskussionsworkshops zum Gesamtprojekt sowie einer „Arbeitsgruppe Planungshinweiskarte Stadtklima 2015 (AG PHK 2015)“. Im Verlauf des Projektes fanden insgesamt vier Veranstaltungen statt (vgl. Tab. 5.1). Aus der Veranstaltungsreihe haben sich darüber hinaus eine Reihe von bilateralen Abstimmungsgesprächen zwischen dem Auftragnehmer und einzelnen Akteuren zu ganz speziellen Themenfeldern ergeben. Hierzu gehörten u.a. Abstimmungsprozesse zur gegenseitigen Befruchtung zwischen dem Projekt und der zeitlich parallel stattfindenden Fortschreibung des StEP Klima oder zu einzelnen methodischen Projektbausteinen (vor allem die „Ergänzenden Planungshinweise“ der Planungshinweiskarte betreffend).

Veranstaltung	Termin	Hauptziel
<b>Workshop I</b>	03.06.2014	Information der Zielgruppe, Problemverständnis bei der Projektgruppe schärfen
<b>AG PHK 2015 I</b>	13.01.2015	Vorstellung 1. Entwurf Klimaanalysekarte, Abstimmung über Inhalte der PHK 2015
<b>Workshop II</b>	11.02.2015	Vorstellung Projektzischenergebnisse, Diskussion 1. Entwurf PHK 2015, Anwendungsbeispiele
<b>AG PHK 2015 II</b>	10.03.2015	„Beschluss“ der PHK 2015

**Tab. 5.1:** Durchgeführte Veranstaltungen im Projektverlauf

Bei den beiden durchgeführten Workshops handelte es sich um kombinierte Informations- und Diskussionsveranstaltungen, die zwar inhaltlich aufeinander aufbauten, aber die den Akteuren ggf. auch als Einzelveranstaltung wertvolle Erkenntnisse zum Projekt liefern konnten. Zu den Workshops wurden jeweils alle Akteure der identifizierten Zielgruppen eingeladen (vgl. Kapitel 5.1). In einer morgendlichen Session wurde jeweils der aktuelle Projektstand vorgestellt sowie durch Impulsvorträge zu projektrelevanten, aber -externen Aktivitäten in Berlin ergänzt (u.a. Vorträge von Mitarbeitern der Bezirksämter, von der TU Berlin sowie vom Projektkonsortium zum Berliner Klimaanpassungskonzept).

Am Nachmittag wurden dann in Kleingruppen bzw. im World-Café Format ganz bestimmte Teilthemen des Projektes diskutiert. In Workshop I waren dies:

- Potentielle Maßnahmen zur Verbesserung der klimaökologischen Situation am Beispiel einer bestehenden Blockrandbebauung in Charlottenburg
- B- Plangebiet Lichterfelde Süd als Beispiel für größere städtebauliche Projekte „auf der grünen Wiese“
- Klimaökologische Optimierung eines B- Plangebietes als Beispiel für innerstädtische Nachverdichtungsprojekte

Beim zweiten Workshop wurde anhand von folgenden Leitfragen diskutiert:

- Welche Themen fehlen Ihnen bislang im Entwurf der Planungshinweiskarte 2015? Welche finden Sie ggf. überflüssig?
- Halten Sie die Formulierung eines Leitbildes „gesundes Stadtklima Berlin“ für sinnvoll? Für welche Themen würden Sie ggf. gerne klimaökologische Qualitätsziele festgesetzt sehen?
- Halten Sie es für sinnvoll, klimaökologische Bau-Tabuflächen und Sanierungsgebiete in der PHK 2015 auszuweisen?

Die Erkenntnisse fanden anschließend - soweit realisierbar - unmittelbaren Eingang in das Projekt. So wurden beispielsweise konkrete Vorstellungen zu Inhalten der PHK 2015 und deren Veröffentlichung im FIS-Broker bzw. Umweltatlas formuliert. Auch wurde der Wunsch geäußert, die finalen Ergebnisse im Rahmen einer Schulungsveranstaltung anhand konkreter Fragestellungen diskutieren zu können. Ein wichtiges Ergebnis von Workshop II war u.a. auch, dass die Formulierung des anvisierten klimaökologischen Leitbildes zwar grundsätzlich zu begrüßen sei, sich das Thema aber als zu komplex darstellen würde, um es im Rahmen des Projektes zu einem fruchtbaren Ende zu bringen (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die zentralen Ergebnisse der Veranstaltung wurden in Bild und Schrift dokumentiert und den Teilnehmern im Nachgang zur Verfügung gestellt.

**Abb. 5.7:** Impressionen aus den beiden Workshops

Den zweiten Beteiligungsstrang bildete die „AG PHK 2015“. Die Konstitution der Arbeitsgruppe fand im Rahmen von Workshop I statt und erwuchs der Einsicht, dass bestimmte in der PHK 2015 zu thematisierende Inhalte einer detaillierten und fokussierteren Diskussion bedürfen, als dies während des Workshops oder in Einzelgesprächen möglich gewesen wäre. Die AG setzte sich neben dem Projektteam aus Mitarbeitern der Bezirksamter, der betroffenen Senatsverwaltungen sowie privater Planungsbüros zusammen, so dass alle Mitglieder der Zielgruppe vertreten waren.

Die Arbeitsgruppensitzungen fanden jeweils im Nachgang zu den beiden Workshops statt, so dass die dort gewonnenen Eindrücke unmittelbar verarbeitet und vertieft werden bzw. Workshop II auch direkt von den Empfehlungen der AG profitieren konnte. Wichtige Erkenntnisse, die sich neben notwendigen Abstimmungen zu einzelnen methodischen Bausteinen aus den AG-Sitzungen heraus ergeben haben, waren u.a. die inhaltliche Dreiteilung der Planungshinweiskarte, die textliche Beschreibung der Bewertungsklassen zur thermischen Situation bzw. zur Schutzwürdigkeit der Grün- und Freiflächen sowie der endgültige „Beschluss“, die Leitbildentwicklung als zu ambitioniert nicht zu Ende zu führen. Eine Dokumentation der Sitzungen wurde den Teilnehmern zur Verfügung gestellt.

Insgesamt hat sich der Beteiligungsprozess als äußerst fruchtbar erwiesen, sowohl was das gegenseitige Verständnis zwischen Dienstleister und Zielgruppe anbelangt als auch bezüglich der inhaltlichen Qualität der erzeugten Daten und dem Bekanntheitsgrad der PHK 2015.

## 6 Fachliches Leitbild – Klimaökologische Qualitätsziele für Berlin

Die Erarbeitung einer „klimaökologischen Sollstruktur“ für Berlin war Gegenstand des Projektarbeitsplans. Anlass hierfür war das im StEP-Klima nicht näher konkretisierte Ziel eines gesunden Berliner Stadtklimas. Die Umsetzung dieses Bausteins sollte durch die Formulierung eines übergeordneten Leitbildes und seine Operationalisierung in Form eines Zielsystems erfolgen.

Zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber wurden entsprechende Entwürfe abgestimmt, die allerdings einer intensiven Diskussion im Rahmen des Beteiligungsprozesses nicht standhalten konnten. Dies lag allerdings weniger in der inhaltlichen Qualität der Entwürfe begründet als vielmehr an dem fehlenden politischen Mandat der Projektgruppe einerseits sowie der enormen Komplexität des Themas sowie den nicht überschaubaren Konsequenzen für die Berliner Stadtentwicklung andererseits. Die logische Konsequenz dieser mehrheitlich ablehnenden Haltung, hat dazu geführt, dass die Arbeiten am Leitbild nicht endgültig abgeschlossen werden konnten.

Da unter den Akteuren aber Einigkeit darüber herrschte, dass ob der politisch zur Kenntnis genommenen Zielformulierung eines gesunden Berliner Stadtklimas eine entsprechende Operationalisierungsdiskussion sowohl auf der fachlichen wie auf der politischen Ebene dringend angeraten ist, wird der erreichte Stand im Folgenden als Basis für einen etwaigen weiteren Leitbildprozess dokumentiert.

### 6.1 Hintergrund und Anliegen

Der StEP Klima verfolgt das oberste Ziel, die „Lebensqualität in der Stadt unter den Vorzeichen des Klimawandels zu sichern und sie wo immer möglich zu verbessern“ (SenStadtUm 2011c). Ein Baustein dieser Zielformulierung ist es, „gesundheitliche Beeinträchtigungen der Bürgerinnen und Bürger durch Hitzebelastungen im bebauten und unbebauten Bereich zu verhindern“ (SenStadtUm 2011c). Die Senatsverwaltung erhebt damit ein gesundes Stadtklima zu einem Oberziel der Berliner Stadtentwicklung. Auf eine Operationalisierung dieser Zielformulierung wird im StEP Klima allerdings verzichtet. Auch die einschlägigen Rechtsnormen (z. B. BImSchG) und Richtlinien (z. B. VDI 2008, VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2) definieren lediglich für ausgewählte lufthygienische Parameter konkrete Ziele (39. BImSchV). Für den thermischen Wirkungskomplex existieren keine vergleichbaren Zielvorgaben.

Wie die Erfahrung mit Grenzwerten von Verkehrsemissionen oder auch anderen komplexen umweltbezogenen Themenfeldern (z. B. dem Klimaschutz) zeigt, ist gerade der politische Beschluss von vollständig operationalisierten Zielen eine zwingend notwendige Grundlage für ein erfolgreiches Handeln und damit für ein Erreichen von unbestimmten Oberzielen, so auch einem gesunden Stadtklima. Genau genommen können sogar erst auf der Basis konkreter klimaökologischer Qualitätsziele objektive und jederzeit reproduzierbare Bewertungen des stadtklimatischen Ist-Zustandes sowie von Eingriffen in das Stadtklima (z. B. durch Nachverdichtungsvorhaben) bewertet und ggf. zielgerichtete Maßnahmen vorgeschlagen und umgesetzt werden.

Der Projektgruppe fehlt zwar das politische Mandat, um für Berlin entsprechende Qualitätsziele zu beschließen, sie besaß jedoch die Fachkompetenz um solche zumindest vorzuschlagen. Dieses sollte zum einen in Form eines übersichtlich visualisierten Zielsystems geschehen, aus dem alle relevanten Zusammenhänge und Zielformulierungen hervorgehen. Zum anderen sollte dieses Zielsystem in Form eines Leitbildes<sup>15</sup> ausformuliert und inhaltlich konkretisiert werden. Es wurde angestrebt, diese beiden Produkte als Konsens der AG PHK 2015 zu verabschieden und als Bewertungs- und Entscheidungshilfe über den Umweltatlas zugänglich zu machen.

## 6.2 Entwurf eines Leitbildes

- 
- 
- 
- 
- 

---

<sup>15</sup> Ein Leitbild beschreibt „den angestrebten Zustand für einen bestimmten Raumausschnitt oder Sachverhalt in umfassender Weise, wobei unterschiedliche primäre Ziele ihrem beigemessenen Gewicht entsprechend Berücksichtigung finden“ (Gaede und Härtling 2010, 96)

- 
-



### 6.3 Entwurf eines Zielsystems

Abb. 6.1 zeigt den ersten Entwurf des vollständig operationalisierten Zielsystems für ein gesundes Berliner Stadtklima. Auf der primären Zielebene wird auf den Schutz der Menschlichen Gesundheit in Art.2 GG Bezug genommen. Daraus lässt sich nach Auffassung der Projektgruppe neben vielen weiteren Oberzielen auch dasjenige eines gesunden Stadtklimas ableiten. Für den lufthygienischen Wirkungskomplex wurden die Qualitätsziele nachrichtlich aus der 39. BImSchV übernommen, die beispielhaft aufgeführten Maßnahmen sind dem aktuell gültigen Luftreinhalteplan entnommen. Eine über die Festsetzungen in den genannten Quellen hinaus gehende Formulierung von Zielen und Maßnahmen wird nicht für notwendig erachtet. Die Qualitätsziele für den thermischen Wirkungskomplex lehnen sich für die Tagsituation an die in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 formulierten Schwellenwerte für eine extreme Wärmebelastung an. Für die Nachtsituation wurde zusätzlich das fachgutachterliche Ziel einer Lufttemperatur von  $<20\text{ °C}$  formuliert. Die ggf. zur Erreichung bzw. Sicherung dieser Qualitätsziele notwendigen Maßnahmen stellen eine beispielhafte, nicht abschließende Aufzählung dar und dienen lediglich der Veranschaulichung.

**Abb. 6.1:** Erster Entwurf eines Zielsystems „Gesundes Stadtklima Berlin“

## 7. Literatur

- BlmSchV 39 (2009): 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV), BGBl. I Nr. 40 vom 05.8.2010.
- Beermann, B. (2012): Kommunales Klimafolgenmanagement. E-Dissertation.  
Internet:  
<https://repositorium.uni-osnabrueck.de/handle/urn:nbn:de:gbv:700-2012122110601>  
(Zugriff 07.12.2015)
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.) (2013): Bestimmung von Gebäude und Vegetationshöhen im Berliner Stadtgebiet, Ergebnisdokumentation.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/0610\\_Ausgabe2013\\_Endbericht\\_Gebaeude\\_Vegetationshoehen\\_Berlin.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/0610_Ausgabe2013_Endbericht_Gebaeude_Vegetationshoehen_Berlin.pdf)  
(Zugriff 07.12.2015)
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2013): Klimadaten-online: [www.dwd.de](http://www.dwd.de); Stundenwerte ausgewählter Stationen; Bereitstellung von stündlichen Winddaten ausgewählter Stationen.  
Internet:  
<ftp://gds17927@ftp-outgoing2.dwd.de>  
(Zugriff 07.12.2015)
- FANGER P. O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering, New York: Mc Graw Hill
- Gaede, M., Härtling, J. W., (2010): Umweltbewertung und Umweltprüfung. Westermann: Braunschweig. 319 S.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2013): Klimaökologische Untersuchung „Tempelhofer Freiheit“ in Berlin.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2009): Aktualisierung der gesamtstädtischen Klimaanalyse Berlin auf Basis einer GIS-gestützten Modellierung von stadtklimatisch und lufthygienisch relevanten Kenngrößen mit dem 3D-Klimamodell FITNAH.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2003): Modellgestützte Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen und deren planerische Umsetzung im Stadtgebiet von Berlin.
- Gross, G., 2013: On the parametrization of urban land use in mesoscale models. Boundary-Layer Meteorology.
- Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Juli 2010 (BGBl. I S. 944) geändert worden ist.
- Hoppe, P., 1984: Die Energiebilanz des Menschen. Münchener Universitätschriften, Meteorol. Inst., Wiss. Mitt. 49.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Matzarakis, A., Mayer, H., 1996: Another Kind of Environmental Stress: Thermal Stress. NEWSLETTERS No. 18, 7-10. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. A., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer R. J., Thomson A. M., Weyant, J. P. und Wilbanks, T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: Nature, 463, 747-754.

- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2009): Umweltatlas Berlin, Klimamodell Berlin-Analysekarten 04.10.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_04.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_04.htm)  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011a: Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2011, Karte 06.01 Reale Nutzung der bebauten Flächen und 06.02 Grün- und Freiflächenbestand, 1:50 000, Berlin.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_06.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_06.htm)  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011b: Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2011, Karte 06.07 Stadtstruktur, 1:50 000, Berlin.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_06.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_06.htm)  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011c: Stadtentwicklungsplan (StEP) Klima.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/>  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2012a: Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2012, Karte 01.02 Versiegelung, 1:50 000, Berlin.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_01.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_01.htm)  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2012b: Luftreinhalteplan 2011-2017, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/>  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2013: Umweltatlas Berlin, Karte 01.11.3 Naturnähe, 1:50 000, Berlin.  
Internet:  
<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da11103.htm>  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2013): Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2013, Karte 06.10 Gebäude- und Vegetationshöhen.  
Internet:  
[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_06.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_06.htm)  
(Zugriff 07.12.2015)
- SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2014): Digitale Orthophotos 2014 für das Stadtgebiet Berlin mit einer Bodenauflösung von 0,20 m im Blattschnitt 2 km x 2 km.  
Internet:  
<http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>  
(Zugriff 07.12.2015)
- VDI (2008): VDI Richtlinie 3785 Blatt 1 , Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2008): Richtlinie VDI 3787, Blatt 2, Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima- und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil 1: Klima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2015): VDI Richtlinie 3787 Blatt 1, Umweltmeteorologie –Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

Internet:

<https://www.vdi.de/technik/artikel/umweltmeteorologie-klima-und-lufthygienekarten-fuer-staedte-und-regionen-1/>

(Zugriff 07.12.2015)

## 8. Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 2.1:</b> Lage der ausgewerteten Berliner Klimastationen im Stadtgebiet von Berlin. Die Messstandorte sind durch gelbe Kreise gekennzeichnet. Die Station Potsdam liegt außerhalb des dargestellten Bereiches. ....	9
<b>Abb. 2.2:</b> Klimadiagramm Berlin-Tempelhof: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	11
<b>Abb. 2.3:</b> Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Station Berlin-Tempelhof (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	11
<b>Abb. 2.4:</b> Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Klimastation Berlin-Tempelhof (Messhöhe 10 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 %. (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	12
<b>Abb. 2.5:</b> Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Klimastation Berlin-Tempelhof in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET). ....	12
<b>Abb. 2.6:</b> Mittlere Häufigkeiten der Windrichtungen im Sommer- und Winterhalbjahr an der Klimastation Berlin-Tempelhof (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	12
<b>Abb. 2.7:</b> Klimadiagramm Berlin-Tegel: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	14
<b>Abb. 2.8:</b> Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Klimastation Berlin-Tegel (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	14
<b>Abb. 2.9:</b> Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Flugwetterwarte Berlin-Tegel (Messhöhe 10 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 % (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	15
<b>Abb. 2.10:</b> Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Flugwetterwarte Berlin-Tegel in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	15
<b>Abb. 2.11:</b> Klimadiagramm Berlin-Dahlem: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	17
<b>Abb. 2.12:</b> Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Station Berlin-Dahlem (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET). ....	17
<b>Abb. 2.13:</b> Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Messstation Berlin-Dahlem (Messhöhe 26 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 % (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	18
<b>Abb. 2.14:</b> Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Messstation Berlin-Dahlem in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET). ....	18
<b>Abb. 2.15:</b> Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Messstation Berlin-Grundwald (Messhöhe 27 m, ca. 7 m über 20 m hohem Baumbestand), (Datenbereitstellung SenStadt, bearbeitet GEO-NET). ....	20
<b>Abb. 2.16:</b> Häufigkeiten der Windrichtungen im Jahresmittel an der Messstation Berlin-Grundwald in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Datenbereitstellung SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).....	20
<b>Abb. 2.17:</b> Klimadiagramm Potsdam: Mittlere monatliche Lufttemperaturen und Niederschlagsmengen (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	22

<b>Abb. 2.18:</b> Mittlere monatliche Sonnenscheindauer an der Station Potsdam (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	22
<b>Abb. 2.19:</b> Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in der 30-jährigen Periode von 1981 bis 2010 an ausgewählten Berliner Messstationen und der Station Potsdam. Die gestrichelten Linien stellen den linearen Trend einzelner Messreihen dar (Datengrundlage DWD, SenStadt; bearbeitet GEO-NET).....	24
<b>Abb.2.20:</b> Jahresmittelwerte der Lufttemperatur an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam (Zeitreihen entsprechen ihrer Verfügbarkeit). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend der Messreihe Potsdam (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	25
<b>Abb. 2.21:</b> Jahresmittelwerte der Lufttemperatur in 2m Höhe an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	27
<b>Abb. 2.22:</b> Jährliches Maximum der Lufttemperatur in 2m Höhe an der Station Tempelhof (1948 – 2013). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	27
<b>Abb. 2.23:</b> Anzahl der Sommertage pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof (1948 – 2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	28
<b>Abb. 2.24:</b> Durchschnittliches Tagesmittel und nächtliches Minimum der Lufttemperatur an Sommertagen für den Zeitraum 1948 bis 2013 an der Station Berlin-Tempelhof. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	29
<b>Abb. 2.25:</b> Anzahl der Hitzetage mit Temperaturen von 30°C und höher pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof (1948 bis 2013). Die gestrichelte Linie kennzeichnet den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	29
<b>Abb. 2.26:</b> Jährliches Zeitintervall zwischen dem Auftreten des ersten und letzten Sommertages an der Station Berlin-Tempelhof (1948 - 2013, Angabe in Tagen) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	30
<b>Abb. 2.27:</b> Zeitfenster für das Auftreten von Sommertagen: Erster und letzter Sommertag eines Jahres an der Station Berlin-Tempelhof (1948 - 2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	30
<b>Abb. 2.28:</b> Anzahl an Tropennächten ( $T_{min} \geq 20 \text{ °C}$ ) pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof (1948 -2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	31
<b>Abb. 2.29:</b> Mittlerer und maximaler Tagesgang der Lufttemperatur an Sommertagen ( $T_{max} \geq 25 \text{ °C}$ ) an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	32
<b>Abb. 2.30:</b> Mittleres und höchstes Minimum der Lufttemperatur an Sommertagen ( $T_{max} \geq 25 \text{ °C}$ ) an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	32
<b>Abb. 2.31:</b> Maximale und mittlere Anzahl an Sommertagen in Folge an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2012). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	33
<b>Abb. 2.32:</b> Maximale und mittlere Anzahl an Hitzetagen in Folge sowie der lineare Trend von 1948 bis 2013 an der Station Berlin-Tempelhof (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	35
<b>Abb. 2.33:</b> Maximale und mittlere Anzahl an Tropennächten in Folge an der Station Berlin-Tempelhof (1948-2013) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	37
<b>Abb. 2.34:</b> Häufigkeiten für das Auftreten von aufeinanderfolgenden Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten an der Station Berlin-Tempelhof in der Messperiode 1981 bis 2010 (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	39

<b>Abb. 2.35:</b> Jährliches Maximum der Lufttemperatur in 2m Höhe an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).....	41
<b>Abb. 2.36:</b> Durchschnittliche nächtliche Tiefsttemperaturen in 2m Höhe an Sommertagen an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).....	41
<b>Abb. 2.37:</b> Mittlerer Tagesgang der Lufttemperaturen in 2 m Höhe an Sommertagen an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend der Messwerte (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).....	43
<b>Abb. 2.38:</b> Anzahl der Sommertage ( $T_{max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pro Jahr an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).....	43
<b>Abb. 2.39:</b> Anzahl der Tropennächte ( $T_{min} \geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pro Jahr an ausgewählten Berliner Klimastationen und der Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013 (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	44
<b>Abb. 2.40:</b> Jährliches Zeitintervall in Tagen in dem Sommertage aufgetreten sind für ausgewählte Berliner Klimastationen und die Station Potsdam während des Betrachtungszeitraumes 1950-2013. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den linearen Trend der Messwerte (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	44
<b>Abb. 2.41:</b> Mittlere Häufigkeiten von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten pro Jahr an ausgewählten Klimastationen (Zeitreihe für Berlin-Alexanderplatz, -Dahlem, -Tegel, -Tempelhof sowie Potsdam: 1981–2010, Zeitreihe für die Station Grunewald: 1988-2012) (Datengrundlage DWD, SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).....	45
<b>Abb. 3.1:</b> Die vier IPCC-Klimaszenariofamilien, (verändert nach IPCC 2000).....	52
<b>Abb. 3.2:</b> Für Deutschland frei verfügbare Klimamodelle und -szenarien (vgl. Beermann 2012).....	53
<b>Abb. 3.3:</b> Projektion zukünftiger bodennaher Jahresmitteltemperaturen an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = linearer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	55
<b>Abb. 3.4:</b> Projektion der Anzahl zukünftiger Sommertage an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linie = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	57
<b>Abb. 3.5:</b> Projektion der Anzahl zukünftiger Hitzetage an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011-2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	58
<b>Abb. 3.6:</b> Gemeinsame Projektion der Anzahl zukünftiger Sommer- und Hitzetage an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Projektion A1B, (gestrichelte Linien = linearer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	59
<b>Abb. 3.7:</b> Projektion der Anzahl zukünftiger Tropennächte an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	60
<b>Abb. 3.8:</b> Projektion der Anzahl zukünftiger Tropennächte an drei Berliner Klimastationen für die Referenzzeiträume 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100; WETTREG-Simulation, Szenario A1B (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	61

**Abb. 3.9:** Projektion der durchschnittlichen Anzahl zukünftiger Hitzewellen pro Jahr an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Projektion, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET) .....62

**Abb. 3.10:** Projektion der mittleren und maximalen Anzahl zukünftiger Hitzetage in Folge pro Jahr an drei Berliner Klimastationen für den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2100; WETTREG-Projektion, Szenario A1B, (gestrichelte Linien = polynomischer Trend). (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET). .....63

**Abb. 4.1:** Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell.....67

**Abb. 4.2:** Eingangsdaten für die Modellrechnung.....67  
69

**Abb. 4.3:** Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen (eigene Abbildung GEO-NET).....69

**Abb. 4.4:** Lage der Test-Rechengebiete im Stadtgebiet Berlin.....70

**Abb. 4.5:** Vegetations- und Gebäudedaten im Bereich des Testgebietes am Beispiel der Oderstraße (Luftbilder: DOP20-C, SenStadtUm 2014) .....72

**Abb. 4.6:** Geländehöhe im Testgebiet .....73

**Abb. 4.7:** Naturnähe der Böden im Testgebiet (Luftbilder: DOP20-C, SenStadtUm 2014).....75

**Abb. 4.8:** Versiegelungssituation im Testgebiet.....76  
79

**Abb. 4.10:** Umsetzung der Vegetations- und Gebäudedaten in das Modellraster – Testgebiete .....80

**Abb. 4.11:** Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr .....83

**Abb. 4.12:** Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr .....85

**Abb. 4.13:** Lufttemperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr .....87

**Abb. 4.14:** Oberflächentemperaturen zum Zeitpunkt 14 Uhr.....88

**Abb. 4.15:** Oberflächentemperaturen zu den Zeitpunkten 04 Uhr und 22 Uhr.....89

**Abb. 4.16:** Kaltluftströmungsfeld zu den Zeitpunkten 22 und 04 Uhr. ....91

**Abb. 4.17:** Verteilung der PMV-Werte in 2 m Höhe zu den Zeitpunkten 14 Uhr, 22 Uhr und 04 Uhr .....94

**Abb. 4.18:** Verteilung der PET-Werte in 2 m Höhe zu den Zeitpunkten 14 Uhr, 22 Uhr und 04 Uhr .....95

**Abb. 4.19:** Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 22 Uhr .....97  
99

**Abb. 4.20:** Lufttemperatur in 2 m und 22 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr. ....99

**Abb. 4.21:** Lufttemperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr .....104

**Abb. 4.22:** Lufttemperatur in 22 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr .....104

**Abb. 4.23:** Lufttemperatur in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr .....105

**Abb. 4.24:** Lufttemperatur in 22 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr .....105

**Abb. 4.25:** Kaltluftvolumenstrom (m³/s) zum Zeitpunkt 04 Uhr.....106

**Abb. 4.26:** Strahlungstemperatur (°C) zum Zeitpunkt 14 Uhr.....106

**Abb. 4.27:** Strahlungstemperatur (°C) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr .....107

**Abb. 4.28:** Oberflächentemperatur (°C) zum Zeitpunkt 14 Uhr .....107

**Abb. 4.29:** Oberflächentemperatur (°C) zum Zeitpunkten 04 Uhr. ....108

<b>Abb. 4.30:</b> Nächtliche Abkühlung der Oberfläche in K pro Stunde zwischen den Zeitpunkten 22 und 04 Uhr.....	108
<b>Abb. 4.31:</b> Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr (°C).....	109
<b>Abb. 4.32:</b> Physiologische Äquivalenttemperatur (PET) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr (°C).....	109
<b>Abb. 4.33:</b> Predicted Mean Vote (PMV) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr.....	110
<b>Abb. 4.34:</b> Predicted Mean Vote (PMV) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr.....	110
<b>Abb. 4.35:</b> Universal Thermal Climate Index (UTCI) (°C) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 14 Uhr.....	111
<b>Abb. 4.36:</b> Universal Thermal Climate Index (UTCI) (°C) in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 04 Uhr.....	111
<b>Abb. 4.37:</b> Klimaanalysekarte.....	112
<b>Abb. 4.38:</b> Vertiefungsgebiet Kaltluftanimation.....	114
<b>Abb. 4.39:</b> Kaltluftsimulation zum Zeitpunkt 03 Uhr im Bereich Hohenzollerndamm (Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf).....	114
<b>Abb. 4.40:</b> Planungshinweiskarte Stadtklima 2015 (Hauptkarte).....	116
<b>Abb. 5.1:</b> Grundkonzept des Beteiligungsprozesses.....	117
<b>Abb. 5.2:</b> Ergebnis Frage - Bei welcher Institution sind Sie beschäftigt?.....	119
<b>Abb. 5.3:</b> Ergebnis Frage - Welches ist Ihr primärer Aufgabenbereich?.....	120
<b>Abb. 5.4:</b> Ergebnis Frage - Als wie hilfreich haben Sie Arbeit mit der „Planungshinweiskarte Klima 2005“ insgesamt empfunden?.....	121
<b>Abb. 5.5:</b> Ergebnis Frage - In welchem Zusammenhang ist die „Planungshinweiskarte Klima 2005“ in Ihre Arbeit eingeflossen?.....	122
<b>Abb. 5.6:</b> Ergebnis Frage - Auf einer Skala von 1 – 10, als wie wichtig schätzen Sie die Implementierung folgender Themen in die im Rahmen des EFRE-Projektes weiterzuentwickelnde Planungshinweiskarte Klima ein? 1 bedeutet dabei „Thema sollte auf keinen Fall in die neue PHK implementiert werden“ und 10 bedeutet „Thema sollte unbedingt in die neue PHK implementiert werden“.....	123
<b>Tab. 5.1:</b> Durchgeführte Veranstaltungen im Projektverlauf.....	124
<b>Abb. 5.7:</b> Impressionen aus den beiden Workshops.....	126
<b>Abb. 6.1:</b> Erster Entwurf eines Zielsystems „Gesundes Stadtklima Berlin“.....	132

## 9. Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 2.1:</b> Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Tempelhof (1981-2010), (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	10
<b>Tab. 2.2:</b> Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Tegel (1981-2010) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	13
<b>Tab. 2.3:</b> Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Dahlem (1981-2010) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	16
<b>Tab. 2.4:</b> Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Grunewald (1988-2012), (Datenbereitstellung durch SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).....	19
<b>Tab. 2.5:</b> Monatsmittelwerte von Klimaparametern an der Station Berlin-Dahlem (1981-2010) (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	21
<b>Tab. 2.6:</b> Andauer von Sommertageperioden und Häufigkeit des Auftretens im Zeitraum 1981 bis 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1 K zum Messstandort. ....	34
<b>Tab. 2.7:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommertageperioden im Bezugszeitraum 1981- 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort.....	34
<b>Tab. 2.8:</b> Andauer von Hitzetagperioden und Häufigkeit des Auftretens im Zeitraum 1981 bis 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort.....	36
<b>Tab. 2.9:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort.....	36
<b>Tab. 2.10:</b> Andauer von Tropennächten in Folge und Häufigkeit des Auftretens im Zeitraum 1981 bis 2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der Häufigkeit des Auftretens bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	38
<b>Tab. 2.11:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge im Zeitraum 1981-2010 an der Station Berlin-Tempelhof sowie Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	38
<b>Tab. 2.12:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Alexanderplatz. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	46
<b>Tab. 2.13:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Alexanderplatz. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	46
<b>Tab. 2.14:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Tegel. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	47
<b>Tab. 2.15:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Tegel. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	47

<b>Tab. 2.16:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Dahlem. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	48
<b>Tab.2.17:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Berlin-Dahlem. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	48
<b>Tab. 2.18:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1988-2012 an der Klimastation Grunewald. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage SenStadtUm; bearbeitet GEO-NET).....	49
<b>Tab. 2.19:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1988-2012 an der Klimastation Grunewald. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage SenStadtUm, bearbeitet GEO-NET).....	49
<b>Tab. 2.20:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Sommer- und Hitzetagen in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Potsdam. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 und +1,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	50
<b>Tab. 2.21:</b> Mittlere Häufigkeit und Andauer von Tropennächten in Folge in der Zeitreihe 1981-2010 an der Klimastation Potsdam. Abschätzung der mittleren Werte bei Temperaturdifferenzen von +0,5 bis +2,0 K zum Messstandort (Datengrundlage DWD, bearbeitet GEO-NET).....	50
<b>Tab. 3.1:</b> Projektion der Anzahl zukünftiger Sommertage an drei Berliner Klimastationen (Betrachtungszeiträume 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100); WETTREG-Simulation, Szenario A1B (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	57
<b>Tab. 3.2:</b> Projektion der Anzahl zukünftiger Hitzetage an drei Berliner Klimastationen (Betrachtungszeiträume 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100); WETTREG-Simulation, Szenario A1B (Datengrundlage WETTREG2010, bearbeitet GEO-NET).....	59
<b>Tab. 4.1:</b> Bewertung der Naturnähe basierend auf Hemerobiestufen (Quelle: SenStadtUm 2013).....	74
<b>Tab. 4.2:</b> Zuordnung von Schwellenwerten für PMV und PET (Quelle: MATZARAKIS 1996; VDI 2008).....	92

## 10. Verwendete Datengrundlagen

- GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover: GIS-gestützte Modellierung von stadtklimatisch relevanten Kenngrößen auf der Basis hochaufgelöster Gebäude- und Vegetationsdaten; EFRE Projekt 027 Stadtklima Berlin
- Daten des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, III D, Stand 31.12.2010:
  - Blockkarte 1: 5.000 (ISU5)
  - Nutzungs-, Boden, Versiegelungs-(2011) und weitere Daten des ISU
  - Gebäude- und Vegetationshöhen (2009/2010)
  - Verkehrsbedingte Luftbelastung (2009)
  - Geländehöhen (DGM5, 2009)
- Automatisierte Liegenschaftskarte Berlin (ALK), Stand 01.06.2014
- Standorte der sozialen Infrastruktur (Planungsraumbezogenes Informationssystem für Monitoring und Analyse (PRISMA) sowie Landesamt für Gesundheit und Soziales (LaGeSo), Bearbeitungsstände:
  - Sport: 31.12.2011
  - Bibliotheken: 31.12.2011
  - Kita/Horte: 31.12.2012
  - Öffentliche Spielplätze 08/2014
  - Krankenhaus-, Seniorenheim - und Seniorenfreizeitstätten: Fachlisten des LaGeSo 06.2014; Download:  
[http://www.berlin.de/lageso/assets/gesundheit/publikationen/krankenhausverzeichnis\\_2014.pdf](http://www.berlin.de/lageso/assets/gesundheit/publikationen/krankenhausverzeichnis_2014.pdf)
- Melderechtlich registrierte Einwohner am Ort der Hauptwohnung in Berlin am 30.06.2014, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg
- Landschaftsprogramm Berlin, Klassifikation der Grün-Versorgungsstufen in Verbindung mit der Umweltatlas-Karte 06.05 Versorgung mit öffentlichen, wohnungsnahen Grünanlagen (Ausgabe 2013)
- Detailnetz Berlin (detailliertes Modell des Straßennetzes 2014))
- Land Brandenburg:
  - ALKIS-Datenbestand Gebäude und Tatsächliche Nutzung, Stand 10/2013
  - Geländehöhen (DGM25)



## **11.1 Anhang 1: ‚Maßnahmenblatt 010‘ als Beispiel für eines der 413 teilflächenbezogenen Maßnahmenblätter<sup>16</sup>**

---

<sup>16</sup> Downloadlink: [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb\\_daten/fotos/PHK/ID\\_010.pdf](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb_daten/fotos/PHK/ID_010.pdf)

## Maßnahmenkatalog zur Planungshinweiskarte Stadtklima (Umweltatlas, Ausgabe 2015)

### Anmerkung:

Bei der Maßnahmenzuweisung für die von Ihnen ausgewählte Fläche handelt es sich um einen fachgutachterlichen Vorschlag, bei dem nicht alle Besonderheiten des konkreten Einzelfalls berücksichtigt werden können. Die Maßnahmen werden im Begleitdokument zur Planungshinweiskarte inhaltlich konkretisiert:

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

	Kurztitel	Geeignet für die ausgewählte Fläche
Maßnahme 01	Verschattung von Straßen und Gehwegen	
Maßnahme 02	Begrünung und Verschattung von Parkplätzen	
Maßnahme 03	Reduktion anthropogener Wärmeemissionen	
Maßnahme 04	Begrünung von Gleistrassen	
Maßnahme 05	Rückbau (Entdichtung)	
Maßnahme 06	Entsiegelung	
Maßnahme 07	Schaffung von Pocket-Parks	
Maßnahme 08	Verbesserung der Erreichbarkeit von öffentlichen Parks und Grünflächen	
Maßnahme 09	Innen-/Hinterhofbegrünung	
<b>Maßnahme 10</b>	<b>Verschattung von Gebäuden</b>	<b>ja</b>
<b>Maßnahme 11</b>	<b>Erhöhung der Oberflächen-Albedo</b>	<b>ja</b>
Maßnahme 12	Wasser im öffentlichen Raum	
<b>Maßnahme 13</b>	<b>Energetische Gebäudesanierung</b>	<b>ja</b>
<b>Maßnahme 14</b>	<b>Dachbegrünung</b>	<b>ja</b>
<b>Maßnahme 15</b>	<b>Fassadenbegrünung</b>	<b>ja</b>
<b>Maßnahme 16</b>	<b>Sommerlicher Wärmeschutz an Gebäuden</b>	<b>ja</b>

Maßnahme 17	Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	
Maßnahme 18	Technische Gebäudekühlung	
<b>Maßnahme 19</b>	<b>Baukörperstellung bei Neubauten beachten</b>	<b>ja</b>
<b>Maßnahme 20</b>	<b>Stadtklimatische Entkopplung von Neubau- und Nachverdichtungsgebieten</b>	<b>ja</b>
<b>Maßnahme 21</b>	<b>Ausbau sozialer Infrastruktur und Netzwerke</b>	<b>ja</b>
Maßnahme 22	Erhöhung der mikroklimatischen Vielfalt	
Maßnahme 23	Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen	
Maßnahme 24	Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen	
Maßnahme 25	Vermeidung von Austauschbarrieren	
Maßnahme 26	Verbesserung der Luftqualität in Kaltluftleitbahnen	
Maßnahme 27	Schutz bestehender großflächiger Parks / Grünflächen	
Maßnahme 28	Anlage neuer großflächiger Parks / Grünflächen	
Maßnahme 29	Schutz von Waldflächen	
Maßnahme 30	Schutz von offenen Wasserflächen	

## 11.2 Anhang 2: „Begleitdokument zur Planungshinweiskarte Stadtklima 2015“<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Downloadlink: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Planungshinweise\\_StadtklimaBerlin\\_2015.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Planungshinweise_StadtklimaBerlin_2015.pdf)

Geoinformation

# Planungshinweiskarte Stadtklima 2015

## Begleitdokument zur Online-Version



## Informationssystem Stadt und Umwelt, Umweltatlas

[http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_o4.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_o4.htm)

Klimamodell Berlin, Planungshinweiskarte Stadtklima 2015

Dokumentation zur Karte, Maßnahmenvorschläge und Planungshinweise

### Auftraggeber:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt III D 1

Fehrbelliner Platz 1

10707 Berlin

Jörn Welsch III D 11

Tel.: (030) 90139 5256

[Joern.welsch@senstadtum.berlin.de](mailto:Joern.welsch@senstadtum.berlin.de)

### Auftragnehmer:

**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a

30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

[www.geo-net.de](http://www.geo-net.de)

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross

Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),

Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und

Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

**Berlin, im Oktober 2015**



Dieses Vorhaben wird von der  
Europäischen Union kofinanziert  
(Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Investition in die Zukunft!



# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>I</b>
<b>1. VORWORT</b>	<b>1</b>
<b>2. GRUNDLAGEN FÜR DIE PHK 2015</b>	<b>2</b>
2.1 Struktur der PHK 2015	2
2.2 Betrachtete Raumeinheiten	3
2.3 Meteorologische Randbedingungen	5
<b>3. DIE HAUPTKARTE</b>	<b>8</b>
3.1 Siedlungsraum	8
3.2 Öffentliche Strassen, Wege und Plätze	15
3.3 Luftaustausch	19
3.4 Frei- und Grünflächen	26
<b>4. ERGÄNZENDE PLANUNGSHINWEISE FÜR EINE KLIMAGERECHTE BERLINER STADTENTWICKLUNG</b>	<b>31</b>
4.1 Flächen mit besonderen stadtklimatischen Misständen	31
4.2 Flächen mit einer besonderen Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima	38
4.2.1 Besondere Vulnerabilitäten Aufgrund der demographischen Zusammensetzung	38
4.2.2 Besondere Vulnerabilitäten Aufgrund stadtklimasensibler Gebäude-/Flächennutzungen	42
4.2.3 Besondere Vulnerabilitäten Aufgrund einer Grünflächenunterversorgung	48
<b>5. MAßNAHMENKATALOG</b>	<b>51</b>
5.1 M01 - Verschattung im Öffentlichen Raum	54
5.2 M02 - Begrünung und Verschattung von Parkplätzen	56
5.3 M03 - Reduktion anthropogener Wärmeemissionen aus dem Verkehr	58
5.4 M04 - Begrünung von Gleistrassen	59
5.5 M05 - Rückbau/Entdichtung	61

5.6	M06 - Entsiegelung	62
5.7	M07 - Schaffung von Pocket-Parks	64
5.8	M08 - Verbesserung der Erreichbarkeit von Grünflächen	66
5.9	M09 - Innen-/Hinterhofbegrünung	67
5.10	M10 - Verschattung von Gebäuden	69
5.11	M11 - Erhöhung der Oberflächen-Albedo	71
5.12	M12 - Anlage von offenen Wasserflächen im öffentlichen Raum	73
5.13	M13 - Energetische Gebäudesanierung	75
5.14	M14 - Dachbegrünung	76
5.15	M15 - Fassadenbegrünung	78
5.16	M16 - sommerlicher Wärmeschutz an Gebäuden	80
5.17	M17 - Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	82
5.18	M18 - Technische Gebäudekühlung	83
5.19	M19 - Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten	85
5.20	M20 - Stadtklimatische Entkopplung von Neubau- und Nachverdichtungsgebieten	87
5.21	M21 - Förderung stadtgesellschaftlicher sozialer Netzwerke und Projekte	88
5.22	M22 - Erhöhung der Mikroklimatischen Vielfalt in öffentlichen Grünflächen	91
5.23	M23 - Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen	93
5.24	M24 - Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen	95
5.25	M25 - Vermeidung von Austauschbarrieren	97
5.26	M26 - Verbesserung der Luftqualität in Kaltluftleitbahnen	99
5.27	M27 - Schutz bestehender grossflächiger Parks / Grünflächen	100
5.28	M28 - Anlage neuer grossflächiger Parks / Grünflächen	101
5.29	M29 - Schutz von Waldflächen	103
5.30	M30 - Schutz von offenen Wasserflächen	105

<b>ANHANG</b>	<b>106</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>116</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>121</b>
<b>QUELLENVERZEICHNIS</b>	<b>122</b>
<b>VERWENDETE DATENGRUNDLAGEN</b>	<b>129</b>

# 1. Vorwort

Ein zentrales Ziel der Berliner Stadtentwicklung ist der Erhalt bzw. die Schaffung eines für den Menschen gesunden Stadtklimas (SenStadtUm 2011, 2015). Mit der Planungshinweiskarte (PHK) Stadtklima steht der Verwaltung seit 2004 ein Instrument zur Unterstützung dieses Ziels zur Verfügung. Gemäß VDI-Richtlinie 3787 sind im urbanen Raum vor allem der thermische und der lufthygienische Wirkungskomplex zu berücksichtigen (VDI 2008). Für letzteren verfügt die Stadt Berlin durch den Luftreinhalteplan 2011-2017 in Verbindung mit verkehrsbezogenen Emissionsberechnungen über eine fundierte fachliche Grundlage (SenStadtUm 2013).

Das vorliegende Dokument beinhaltet den Erläuterungstext zur digitalen PHK 2015<sup>1</sup>, die den Fokus auf die thermische Komponente des Berliner Stadtklimas richtet ohne den lufthygienischen Bereich gänzlich auszuklammern. Das Begleitheft hat zum einen die Aufgabe, die methodische Herleitung der über den FIS-Broker abrufbaren kartographischen Darstellungen und textlichen Aussagen zu dokumentieren. Darüber hinaus stellt es inhaltlich vertiefende Informationen und zusätzliche Analyseergebnisse zur Verfügung.

Die PHK stellt die zweite Aktualisierung der Fachkarte dar und löst mit ihrer Veröffentlichung im FIS-Broker (Stand 2005) bzw. im Umweltatlas (Ausgabe 2009) die vorherige Version 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<sup>2</sup>. Gegenüber der 2009er Version 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 den jeweils zuständigen Abteilungen auf Senats- und Bezirksebene abgestimmt
- Der betrachtete Maßnahmenkatalog ist sehr viel umfangreicher, inhaltlich differenzierter und individueller auf die betrachteten Teilflächen ausgerichtet

---

<sup>1</sup> [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=wmsk\\_0411021\\_planungshin\\_haupt@senstadt](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=showMap&mapId=wmsk_0411021_planungshin_haupt@senstadt)

<sup>2</sup> [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Projektbericht\\_StadtklimaBerlin\\_SenStadtUm\\_IID\\_2015.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/Projektbericht_StadtklimaBerlin_SenStadtUm_IID_2015.pdf)

## 2. Grundlagen für die PHK 2015

### 2.1 STRUKTUR DER PHK 2015

Die Ausgaben 2004 und 2009 der Planungshinweiskarte Stadtklima bestanden jeweils aus einer Karte sowie kurzen erläuternden Texten für den Umweltatlas<sup>3</sup>. Die PHK 2015 besteht nun erstmals aus drei sich ergänzenden Kartenwerken sowie dem vorliegenden Begleitdokument:

- einer Hauptkarte
- ergänzenden Planungshinweisen sowie
- Maßnahmen

Dieses Vorgehen trägt zum einen der hohen Komplexität des Themas, dem gestiegenen Stellenwert innerhalb der Berliner Stadtentwicklungspolitik sowie den erhöhten Anforderungen an Aussagegenauigkeiten seitens der Bau- und Umweltämter Rechnung. Zum anderen war es das erklärte Ziel des Projektes, nicht mehr von der gedruckten, sondern von der digitalen Karte her zu denken und dabei die technischen Möglichkeiten des FIS-Brokers umfänglich auszunutzen.

Auch mit der neuen Struktur richtet sich das Kartenwerk nach wie vor insbesondere an potentielle Nutzer innerhalb der Senats- und Bezirksverwaltungen sowie etwaig von ihnen beauftragte Unternehmen aus dem Umweltbereich (z.B. im Zusammenhang mit der Erstellung von Umweltberichten). Die Erfahrung zeigt zudem, dass die Karte und die ihr zugrunde liegenden Informationen auch von der Wissenschaft genutzt werden (z.B. Scherber 2014), so dass auch deren Ansprüchen genüge getan werden sollte.

Die „Hauptkarte“ ist das (inhaltlich erweiterte und räumlich konkretisierte) Äquivalent zu den PHK-Ausgaben 2004 (Datenstand 2001) und 2009 (Datenstand 2005). Sie enthält eine flächendeckende Bewertung der stadtklimatischen Belastungssituationen und Entlastungsfunktionen und stellt damit die fachliche Abwägungsgrundlage sowohl für gesamtstädtisch als auch für bezirklich ausgerichtete Planungen dar (vor allem Flächennutzungs- und Landschaftsplanung sowie verbindliche Bebauungsplanung). Nicht zuletzt dient die Planungshinweiskarte auch der Information der Öffentlichkeit für eine möglichst fundierte Beteiligung im Rahmen von Planungsverfahren.

In den „ergänzenden Planungshinweisen“ 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, Erschließung der Bauflächenpotentiale, sensible Nutzungen, Demographie). Die „Maßnahmenebene“ enthält schließlich eine flächentypabhängige, raumkonkrete Zuordnung von 30 Einzelmaßnahmen zu allen ISU5-Block(teil)flächen sowie zu allen Abschnitten des Straßennetzes. Die Ebene fokussiert vor allem auf die Verbesserung oder den Erhalt des Status Quo im Bestand.

---

<sup>3</sup> Siehe [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/din\\_411.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/din_411.htm)

Es werden aber auch solche Maßnahmen thematisiert, die insbesondere für die intensiven Neubauvorhaben in Berlin eine Relevanz besitzen.

## 2.2 BETRACHTETE RAUMEINHEITEN

In allen drei Kartenebenen 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 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 mit Stand vom 31.12.2010. Jede Fläche ist dabei eindeutig einer der drei Nutzungskategorien zugeordnet worden. Die Zuordnung erfolgte auf der Basis der sog. Flächentypen (vgl. SenStadtUm 2011). 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. Dieses Vorgehen liegt darin begründet, dass der geometrische Zuschnitt der Straßenflächen im ISU5-Datensatz für stadtklimatische Fragestellungen nicht sinnhaftig verwendet werden kann und darüber hinaus auf diesem Wege eine räumliche Verknüpfung zwischen dem lufthygienischen und thermischen Belastungsniveau im Straßenraum ermöglicht werden konnte.

Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung der drei Nutzungskategorien. Von den rund 890 km<sup>2</sup> des Berliner Stadtgebietes sind 373 km<sup>2</sup> (41,9 %) als Siedlungsraum, 351 km<sup>2</sup> (39,5 %) als Grün- und Freifläche 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 keinem Umwandlungs- oder Entwicklungsdruck unterliegen, werden sie in der PHK lediglich nachrichtlich dargestellt.

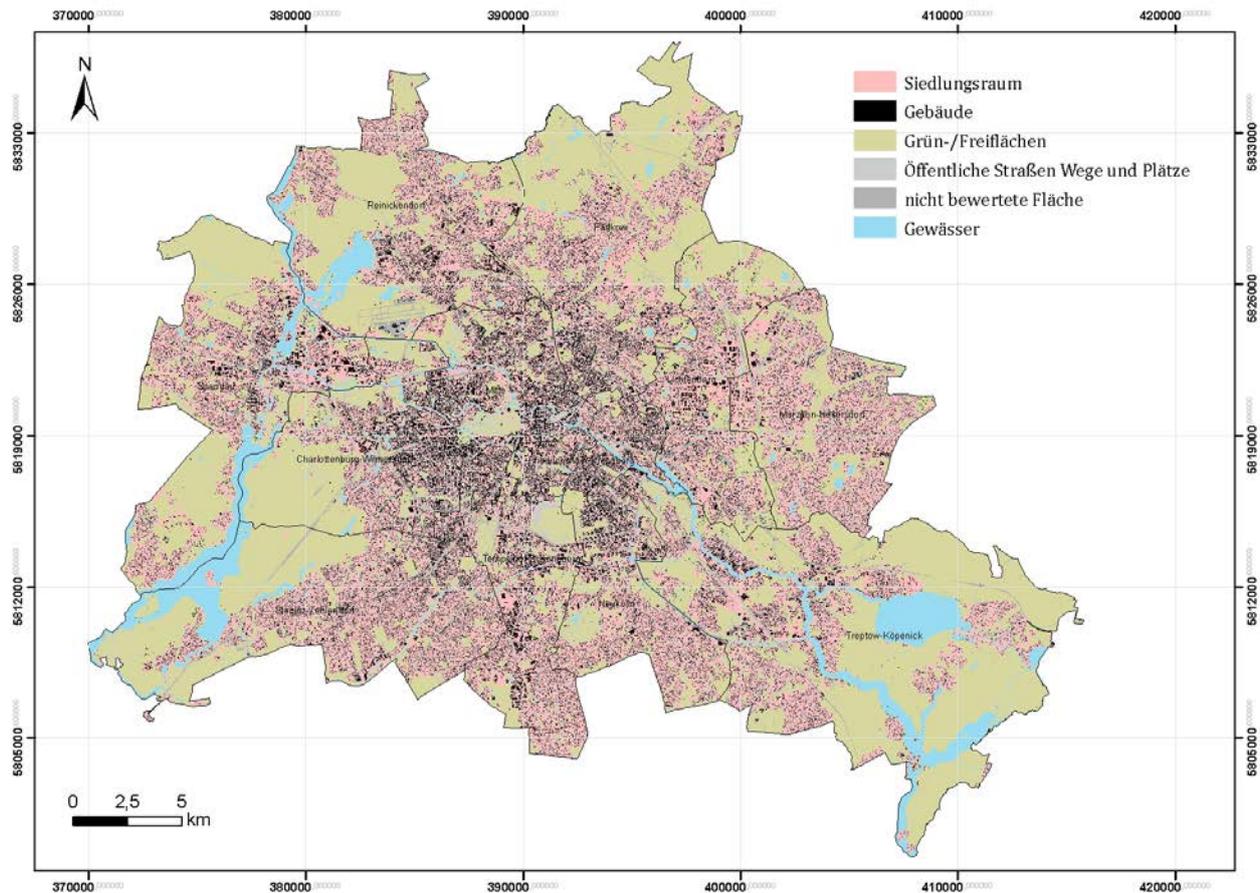


Abbildung 1: Räumliche Verteilung der Nutzungskategorien in der PHK Stadtklima 2015

Neben diesen drei Haupteinheiten weist die PHK noch zwei weitere Raumeinheiten aus. Hierbei handelt es sich zum einen um Gewässer, für die zwar keine Bewertungen vorgenommen, denen aber aufgrund ihrer Bedeutung für das stadtklimatische Prozessgeschehen Berlins Maßnahmen/Planungshinweise zugewiesen worden sind. Zum anderen werden „nicht bewertete (Verkehrs-)flächen“ ausgewiesen. Hierbei handelt es sich zu einem überwiegenden Anteil<sup>4</sup> um Flächen, die keiner der anderen Raumeinheiten zugeordnet werden können und/oder auf denen sich in aller Regel keine Menschen aufhalten und die auch keine nennenswerte Klimafunktion erfüllen (u.a. Gleiskörper, Autobahnen). Der Anteil dieser Flächen am gesamten Stadtgebiet liegt bei lediglich rd. 2 %.

<sup>4</sup> Ein kleiner Teil sind auch Splitterflächen, die sich aus der automatisierten Geodatenverarbeitung der Straßenabschnitte ergeben haben.

## 2.3 METEOROLOGISCHE RANDBEDINGUNGEN

Im Rahmen des Gesamtprojektes wurden mit dem mesoskaligen Klimamodell FITNAH zwei Modellläufe für eine hochsommerliche Wetterlage mit einer horizontalen Auflösung von 10 m durchgeführt<sup>5</sup>. Der erste Modelllauf basiert auf einer in Berlin während der Sommermonate relativ häufig auftretenden allochthonen Westwindwetterlage (Abbildung 2). 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 Kenn-tage abgeleitet. Insgesamt stehen also drei sich ergänzende flächendeckende Datensätze zur Verfügung.

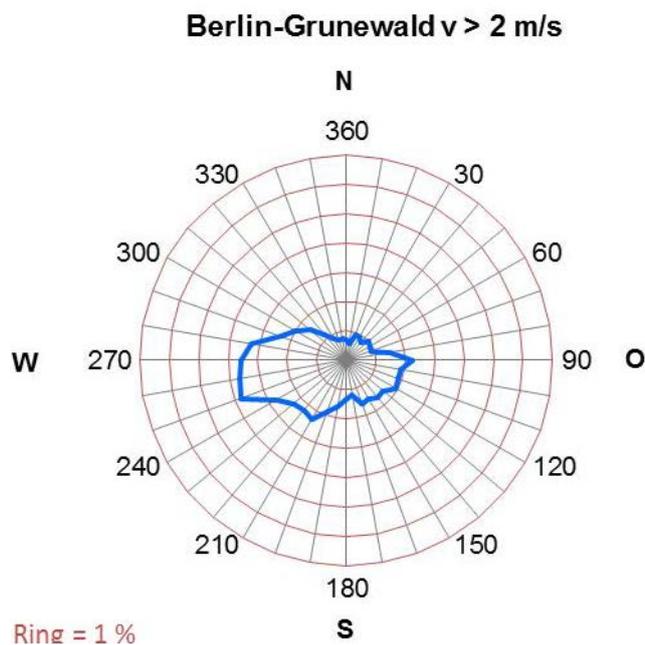


Abbildung 2: Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Klimastation Berlin-Grunewald (Messhöhe 27 m, ca. 7 m über 20 m hohem Baumbestand)). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 %. (SenStadtUm 2014)

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 übrigen beiden Datensätze relevant sein können, sind sämtliche Analyseparameter im FIS-Broker abrufbar oder werden bei Bedarf auf Anfrage von Abteilung III D 11 der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt bereitgestellt.

<sup>5</sup> Detailliertere Informationen zum Modell können dem Abschlussbericht des Projektes entnommen werden:

[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)

Bei dem gewählten Modelllauf handelt es sich bewusst nicht um ein Extremereignis wie es etwa im Juli/August 2003 oder August 2015 aufgetreten ist, sondern um einen Zustand wie er in Berlin mindestens einmal jährlich vorkommt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil die Stadtentwicklung eher auf mittlere meteorologische Lastfälle ausgerichtet sein sollte, die sich durch eine nachhaltige Stadtentwicklung und entsprechende Maßnahmen beherrschen lassen. Extremereignisse hingegen sind zu selten und zu intensiv um alleine auf ihrer Basis stadtplanerische Entscheidungen treffen zu können. Vergleichbar mit Sturzfluten sollten auch Hitzeperioden zukünftig tendenziell eher Gegenstand des Katastrophenschutzes sein. Dennoch entschärfen alle Maßnahmen, die auf der Basis einer mittleren meteorologischen Situation umgesetzt werden auch die Belastung während einzelner, seltener Extremwetterlagen.

Tabelle 1 zeigt, welche meteorologischen Parameter des gewählten Modelllaufs in die PHK 2015 eingeflossen sind. Es wird deutlich, dass der hochkomplexe Gesamtkatalog der Modellausgabegrößen hinsichtlich verwendeter Parameter, Höhenstufen und Tageszeiten fachgutachterlich verdichtet wurde. Dieses Vorgehen stellt den bestmöglichen Kompromiss zwischen einem aussagekräftigen, qualitativ hochwertigen und dennoch nachvollziehbaren und reproduzierbaren Kartenwerk dar.

Tabelle 1: In die PHK 2015 eingeflossene stadtklimatisch relevanter Parameter

Meteorologischer Parameter	Verwendung für	Relevant für
human-biometeorologischer Index PET in °C (14:00 Uhr, 2m über Grund)	Bewertung der thermischen Belastung am Tage	Siedlungsraum, Grün- und Freiflächen, Öffentliche Straßen, Wege und Plätze
bodennahe Lufttemperatur in °C (04:00 Uhr, 2m über Grund)	Bewertung der thermischen Belastung in der Nacht	Siedlungsraum
Kaltluftvolumenstrom in m <sup>3</sup> /sm (04:00 Uhr, variable Höhe ü. NN)	Bewertung der Klimafunktion Kaltluftliefervermögen	Siedlungsraum, Grün- und Freiflächen
Windfeld in m/s (04:00 Uhr, 2m über Grund)	Bewertung der Klimafunktion Leitbahn	Siedlungsraum, Grün- und Freiflächen, Öffentliche Straßen, Wege und Plätze
Index der Luftbelastung für PM <sub>10</sub> und NO <sub>2</sub> (nachrichtliche Übernahme aus UA-Karte 03.11.2)	Bewertung der lufthygienischen Belastung	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze

Sämtliche Parameter werden vom Modell in einer horizontalen Auflösung von 10 m ausgegeben, das heißt es liegt eine Klimainformation pro 100 m<sup>2</sup> vor. Da ausnahmslos alle ISU<sub>5</sub> Block(teil)flächen und auch die Straßenabschnitte einen größeren Flächeninhalt aufweisen, beziehen sich die vorgenommenen blockbezogenen Bewertungen auf ein statistisches, nicht gewichtetes Raummittel aus allen die Block(teil)fläche schneidenden Rastern. Daraus folgt, dass innerhalb einer Block(teil)fläche in aller Regel höhere und/oder niedrigere Werte vorkommen, als in die Bewertung eingeflossen sind. Minimum, Maximum und Varianz der auftretenden Werte können der Sachdatentabelle der Online-Version entnommen werden. Durch die ebenfalls im FIS-Broker verfügbare Zuschaltung der 10 m Rasterinformationen erhält man Einsicht in die räumliche Verteilung der Parameter innerhalb der Blockflächen.

Neben meteorologischen Kenngrößen spielen für die Planungshinweiskarte auch noch weitere Sach- und Geodaten eine nicht unwesentliche Rolle (Tabelle 2). Sie dienen in erster Linie als Entscheidungsgrundlage für die flächenspezifische Zuweisung von Maßnahmen und Planungshinweisen. Auch hier wurde ein Raummittelwert gebildet.

Tabelle 2: Sonstige relevante Sach- und Geodaten, die in die PHK 2015 eingeflossen sind

Sach- /Geodatum	Verwendung für	Relevant für
Mit Bäumen überstandener Flächenanteil [%]	Zuordnung von Maßnahmen zu Block(teil)flächen	Straßenraum, Grün- und Freiflächen
Anteil offener Wasserflächen [%]	Zuordnung von Maßnahmen zu Block(teil)flächen	Grün- und Freiflächen
Grünvolumendichte [m <sup>3</sup> /ha]	Zuordnung von Maßnahmen zu Block(teil)flächen	Siedlungsraum
Gebäudevolumendichte [m <sup>3</sup> /ha]	Zuordnung von Maßnahmen zu Block(teil)flächen	Siedlungsraum
Anteil Risikogruppen an der Bevölkerung [%]	Zuordnung von Maßnahmen zu Block(teil)flächen	Siedlungsraum
Versiegelungsgrad [%]	Zuordnung von Maßnahmen zu Block(teil)flächen	Siedlungsraum

## 3. Die Hauptkarte

Die Hauptkarte besteht aus vier Themenbereichen. Zum einen wird die klimaökologische Belastungssituation im Siedlungsraum sowie auf öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen bewertet (Kap. 3.1 und 3.2). Zum anderen wird die klimaökologische Schutzwürdigkeit von Frei- und Grünflächen beurteilt und die Bedeutung der Komponenten des Berliner Luftaustauschsystems erläutert (Kap. 3.3 und 3.3).

### 3.1 SIEDLUNGSRAUM

Der Siedlungsraum stellt zusammen mit dem Öffentlichen (Straßen-)Raum den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar<sup>6</sup>. Die räumlich hochaufgelöste und tageszeitlich differenzierte Beurteilung der thermischen Situation im Wirkungsraum unter Berücksichtigung des Aufenthalt- bzw. Nutzungszeitpunktes durch die Berliner Bevölkerung sowie deren Verknüpfung zu einem wertgebenden Gesamtindikator stellen wesentliche Ziele und einen deutlichen Fortschritt der PHK 2015 dar. Im Folgenden wird die Herleitung der thermischen Gesamtsituation geschildert sowie die entsprechenden Ergebnisse beschrieben<sup>7</sup>. Die zugrundeliegende Methode orientiert sich an der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 und sieht eine 4-stufige Klassifizierung zwischen „sehr günstig“ und „ungünstig“ vor (VDI 2008).

Zur Bewertung der Tagsituation ist der humanbioklimatische Index PET (=Physiologisch Äquivalente Temperatur) herangezogen worden (vgl. Höpfe und Mayer 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes wie dem bei der 2009er Version der PHK Stadtklima verwendeten PMV (=Predicted Mean Vote) hat PET vor allem den Vorteil, aufgrund seiner °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei dem PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, so dass sich die Ergebnisse aus Berlin grundsätzlich auch mit denen aus anderen Städten (auch außerhalb Deutschlands) vergleichen lassen.

Grundsätzlich empfiehlt das mit der Erstellung der PHK 2015 beauftragte Gutachterkonsortium, darauf hinzuwirken, dass für die gewählte meteorologische Situation eine starke Wärmebelastung vermieden wird. Per Definition liegt eine solche ab einem PET von 35 °C vor (vgl. Tabelle 15 im Anhang). Da aber nicht jeder Mensch dasselbe Wärmeempfinden hat und einige Menschen bereits bei geringeren Werten Belastungen empfinden (Fanger 1982), wurden die starren Klassengrenzen zugunsten eines flexiblen Übergangsbereichs aufgelöst und aus Vorsorgegesichtspunkten bereits PET-Werten  $\geq 34$  °C die höchste thermische Belastungsstufe zugeordnet („ungünstige thermische Situation“)<sup>8</sup>.

Entsprechend der gewählten meteorologischen Situation bezieht sich diese Bewertung auf eine regelmäßig auftretende Sommersituation. Da während Hitzeperioden aber auch noch deutlich höhere Temperatu-

---

<sup>6</sup> Da einige Teilflächen der Raumeinheit auch bedeutende Klimafunktionen aufweisen (z.B. stark durchgrünte Wohngebiete), können sie zusätzlich auch dem Ausgleichsraum zugeordnet werden (vgl. Kapitel 3.3).

<sup>7</sup> Analyseergebnisse getrennt nach Tag- und Nachtsituation können Abbildung 97 bis Abbildung 102 im Anhang entnommen werden

<sup>8</sup> Eine VDI-Richtlinie zur Standardisierung dieses Vorgehens ist unter dem Titel VDI 3787 – „Umweltmeteorologie – Richtwerte für thermische Belange“ gegenwärtig in Arbeit.

ren erreicht werden und der Klimawandel das PET-Niveau eines durchschnittlichen Sommertages allmählich anheben wird, sind Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation auch schon bei kleineren PET-Werten zu empfehlen, die der Klasse „weniger günstig“ zugeordnet worden sind. Für die spezifische Konstellation in Berlin liegt dieser Wert im Siedlungsraum bei PET 33,6 °C. Der Wert und damit auch die übrigen drei Belastungsklassen wurden mithilfe des in der VDI-Richtlinie empfohlenen statistischen Verfahrens der Z-Transformation abgeleitet, das im Wesentlichen auf dem Grad der Abweichung vom Mittelwert beruht.

Der PET bezieht sich (wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes auch) auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist er damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. In der Nacht ist allerdings weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Würde man den Index auch zur Bewertung der Nachtsituation heranziehen, besteht die große Gefahr eines Fehlschlusses. Denn in Berlin liegen selbst während der modellierten hochsommerlichen Wetterlage die PET Werte im Siedlungsraum nachts lediglich zwischen 13 und 22 °C, was einer mäßig bis schwachen Kältebelastung bzw. einem thermischer Komfort und damit eben keiner Wärmebelastung entspricht.

Die VDI Richtlinie weist in diesem Zusammenhang daher darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ (VDI 2008, 25) für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann. Zwar werden Tropennächte mit einer nächtlichen Minimumtemperatur von >20 °C gemeinhin als besonders problematisch bezeichnet und optimale Schlaftemperaturen mit 16 bis 18°C angegeben (UBA 2015), eine mit PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum (noch) nicht<sup>9</sup>. Allerdings zeigt das in der Modellierung für den Siedlungsraum auftretende Wertespektrum der bodennahe Lufttemperatur von 14,5 – 21,2 °C, dass für Berlin schon in durchschnittlichen hochsommerlichen Tagen mit einer nächtlichen Wärmebelastung gerechnet werden kann. Für die PHK 2015 erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher auf der Basis einer Z-Transformation des Temperaturfeldes.

In Wohn- und Mischgebieten (Stadtstrukturtypen 1-13) und den Flächentypen „46 – Krankenhaus“, „51 – sonstige Jugendeinrichtungen (u.a. Kinder- und Jugendheime)“ und „29 – Kerngebiet“ wird für die Bewertung der thermischen Gesamtsituation sowohl das Belastungsniveau am Tage (Zeitpunkt: 14:00 Uhr) als auch in der Nacht (04:00 Uhr) berücksichtigt, da sich der Mensch hier sowohl tagsüber (Arbeit, Freizeit, Mobilität) als auch nachts (Schlaf) aufhält. Für reine Gewerbe-/Industriegebiete und Gemeinbedarfsflächen der Stadtstrukturtypen 14-17 hingegen stellt die Tagsituation die bewertungsrelevante Größe dar. Den Beurteilungsmaßstab bilden hier Arbeitnehmer und Kunden/Gäste. Für diejenigen, die in den Nachtstunden arbeiten müssen, stellt das in Berlin auftretende thermische Belastungsniveau selbst während Extremsituationen in aller Regel keine Gesundheitsgefährdung dar (Tabelle 3).

---

<sup>9</sup> Vor allem auch deswegen, weil die flächendeckende (modell- oder messtechnische) Herleitung der Werte aufgrund der Heterogenität der Gebäude bezgl. Art, Größe, Exposition, Material und Nutzungsverhalten deutlich schwieriger ist, als bei den vergleichsweise homogenen Bedingungen des Außenraums. Dennoch ist perspektivisch mit Methoden zu rechnen, die eine individuellere Bewertung nach Gebäudetypologien und Etagen erlaubt (Pfafferott und Becker 2008).

Tabelle 3: Klassenstufen und Methode zur Bewertung der thermischen Situation im Siedlungsraum

Tageszeit	Bewertungsstufen	Methode	Relevant für
<b>Tagsituation</b>	Gemäß VDI 3785, Bl.1 1= sehr günstig 2= günstig 3= weniger günstig 4= ungünstig	PET 14:00 Uhr z-Wert < -1 z-Wert ≥ -1 und ≤ 0 z-Wert > 0 und ≤ 0,44 ≥ 34°C	<b>Stadtstrukturtypen 1-13</b> („Wohn-/Mischgebiete“) <b>Stadtstrukturtypen 14-17</b> („Gewerbe/Industrie/Gemeinbedarf“)
<b>Nachtsituation</b>	Gemäß VDI 3785, Bl.1 1= sehr günstig 2= günstig 3= weniger günstig 4= ungünstig	T 04:00 Uhr z-Wert < -1 z-Wert ≥ -1 und ≤ 0 z-Wert > 0 und ≤ 1 z-Wert > 1	<b>Stadtstrukturtypen 1-13</b> („Wohn-/Mischgebiete“) sowie Flächentypen 29, 46 und 51

Zur Beurteilung der Situation in den Wohn-/und Mischgebieten sind die Einzelergebnisse für die Tag- und Nachtsituation aggregiert worden. Aufgrund des ordinalen Skalenniveaus der Bewertungsstufen ist eine statistische Mittelwertbildung mathematisch nicht zulässig. Daher erfolgte eine gutachterliche Zuordnung, welche Klassenkombination zu welchem Gesamtergebnis führt (Tabelle 4).

Demnach sind den beiden Klassen 4 = ungünstig und 1 = sehr günstig je vier und den Klassen 3 = weniger günstig und 2 = günstig je 5 Kombinationen zugewiesen worden. Sofern sich für die beiden Tageszeiten identische Einzelergebnisse ergeben (z. B. die Kombination günstig/günstig), erfolgt die Zuweisung für die Gesamtbewertung in die entsprechende Klasse (günstig). Bei allen anderen Kombinationen wurde eine individuelle, gutachterliche Zuordnung vorgenommen.

Die Flächenanteile der einzelnen Klassen variieren zwischen wenigen Zehntel (u.a. die Kombination ungünstig/ungünstig) und 18,4 Prozentpunkten für das Wertepaar Tag = günstige thermische Situation und Nacht = weniger günstige thermische Situation. Da ein erholsamer Schlaf für die menschliche Gesundheit hier als relevanter eingeschätzt wird, als die Tagsituation, während der die Anpassungskapazität der Bevölkerung an den Hitzestress grundsätzlich als höher einzustufen ist, wurde die Kombination in der Gesamtbewertung in die Klasse 3 (ungünstig) eingestuft.

Tabelle 4: Verrechnungsvorschrift zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation

Bewertungsstufe Tagsituation	Bewertungsstufe Nachtsituation	Gesamtbewertung	Auftrittshäufigkeit [Blockteiflächen]	Flächenanteil Siedlungsraum
4= ungünstig	4= ungünstig	4= ungünstig	210	0,8%
4= ungünstig	Irrelevant	4= ungünstig	1323	14,8%
4= ungünstig	3= weniger günstig	4= ungünstig	792	4,5%
3= weniger günstig	4= ungünstig	4= ungünstig	851	2,6%
4= ungünstig	2= günstig	3= weniger günstig	211	0,9%
3= weniger günstig	Irrelevant	3= weniger günstig	749	6,0%
3= weniger günstig	3= weniger günstig	3= weniger günstig	1.476	8,9%
2= günstig	3= weniger günstig	3= weniger günstig	3117	19,5%
2= günstig	4= ungünstig	3= weniger günstig	1.043	4,4%
1= sehr günstig	4= ungünstig	3= weniger günstig	1	0,0%
4= ungünstig	1= sehr günstig	2= günstig	219	1,4%
3= weniger günstig	2= günstig	2= günstig	564	2,8%
3= weniger günstig	1= sehr günstig	2= günstig	1.010	6,2%
2= günstig	Irrelevant	2= günstig	958	5,8%
2= günstig	2= günstig	2= günstig	1.912	11,2%
1= sehr günstig	3= weniger günstig	2= günstig	130	1,1%
2= günstig	1= sehr günstig	1= sehr günstig	853	5,4%
1= sehr günstig	2= günstig	1= sehr günstig	369	2,5%
1= sehr günstig	Irrelevant	1= sehr günstig	146	0,9%
1= sehr günstig	1= sehr günstig	1= sehr günstig	20	0,1%
<b>gesamt</b>			<b>15.684</b>	<b>99,9%<sup>1</sup></b>

<sup>1</sup>: Abweichung von 100% ist rundungsbedingt

Basierend auf dieser Methode wurde die thermische Situation in rd. 60 % des Siedlungsraumes als „ungünstig“ oder „weniger günstig“ eingestuft. Insbesondere für die Bewertungsstufe „ungünstig“ sind proaktive Maßnahmen zur Verbesserung der Situation sowie ein Verzicht auf weitere Bebauung dringend anzuraten (vgl. Kapitel 5). Mit Blick auf Extremereignisse sowie den Klimawandel lässt sich dieser Hinweis auf die Flächen der Klasse „weniger günstig“ ausweiten. 40 % des Siedlungsraumes sind demgegenüber als günstig oder sehr günstig einzustufen (Abbildung 3). Hier ist bei Eingriffen (z. B. Nachverdichtungsvorhaben) darauf hinzuwirken, dass sie nicht für die Tag- oder Nachtsituation zu erheblichen negativen Auswirkungen auf der Fläche selbst sowie auf angrenzenden Flächen führen.

Gegenüber der Ausgabe 2009 ist eine moderate Zunahme bei den oberen Belastungsklassen zu beobachten (von ca. 55 % auf rd. 60 %). Dies liegt vor allem darin begründet, dass bei der aktuellen Ausgabe auch die Tagsituation in die Gesamtbewertung eingeflossen ist<sup>10</sup>. Darüber hinaus wurden einige Anpassungen bei der Raumkulisse des Siedlungsraumes vorgenommen. Nicht zuletzt wird auch die intensive bauliche Aktivität in Berlin einen Anteil an dieser Entwicklung haben.

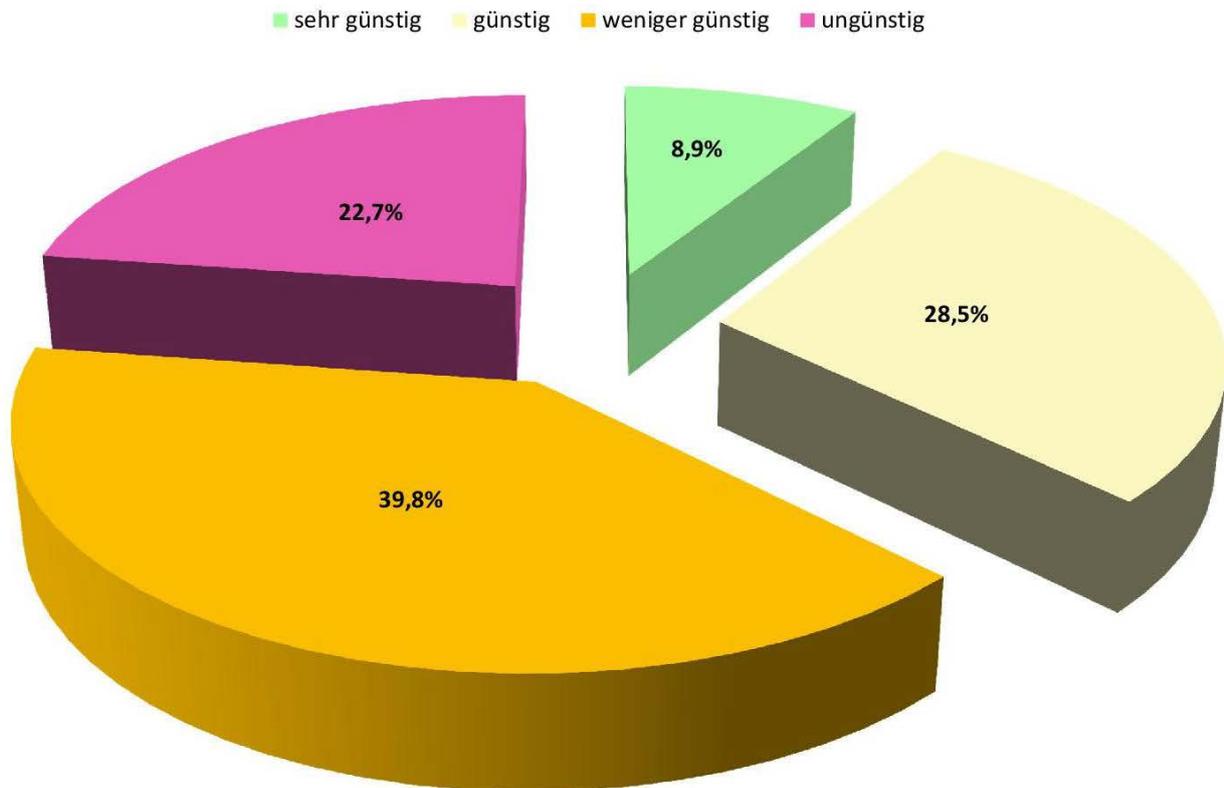


Abbildung 3: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Gesamtsituation in den Siedlungsräumen (Verknüpfung von Tag- und Nachtsituation)

Die räumlichen Schwerpunkte der tageszeitlich kombinierten thermischen Belastung liegen in den Bezirken Friedrichshain-Kreuzberg und Mitte (Abbildung 4 und Abbildung 5). Hier fallen jeweils >80 % des Siedlungsraumes in die Klassen „weniger günstig“ oder „ungünstig“, womit eine Empfehlung zur Verbesserung der Situation einhergeht. Geschlossene Blockrandbebauungen (Flächentypen 2 und 7) sowie Gewerbe- und Industriegebiete und großflächiger 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 vergleichsweise hohen Belastungen vor allem in der Nacht, in Teilräumen aber auch am Tage (vgl. Abbildung 98 und Abbildung 101 im Anhang).

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

<sup>10</sup> Methodisch wäre ein Vergleich zwischen der Ausgabe 2009 und 2015 auf Basis der Nachtsituation zulässig. Eine solche ergibt dieselbe Rangfolge in den Flächenanteilen der Klassengrößen: weniger günstig > günstig > sehr günstig > ungünstig. Die prozentualen Abweichungen liegen mit Werten zwischen 0,2% und 3,6% auf sehr niedrigem Niveau. Auch die Flächenkulisse zeigt ähnliche Muster (siehe Anhang).

notwendig sind. Den Bezirken kommen zum einen ihr hoher Grünanteil und dessen Anschluss an die Kaltluftentstehungsgebiete 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 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 (vgl. Kapitel 3.2 und Abbildung 101 im Anhang). Gerade auch unter Umweltgerechtigkeitsgesichtspunkten<sup>11</sup> sollte allen besonders betroffenen den Ortsteilen, die die durch Mehrfachbelastungen im Umwelt- und Sozialbereich auffallen, zukünftig eine größere Aufmerksamkeit bei der Verfolgung des Ziels eines gesunden Stadtklimas für alle Berliner gewidmet werden.

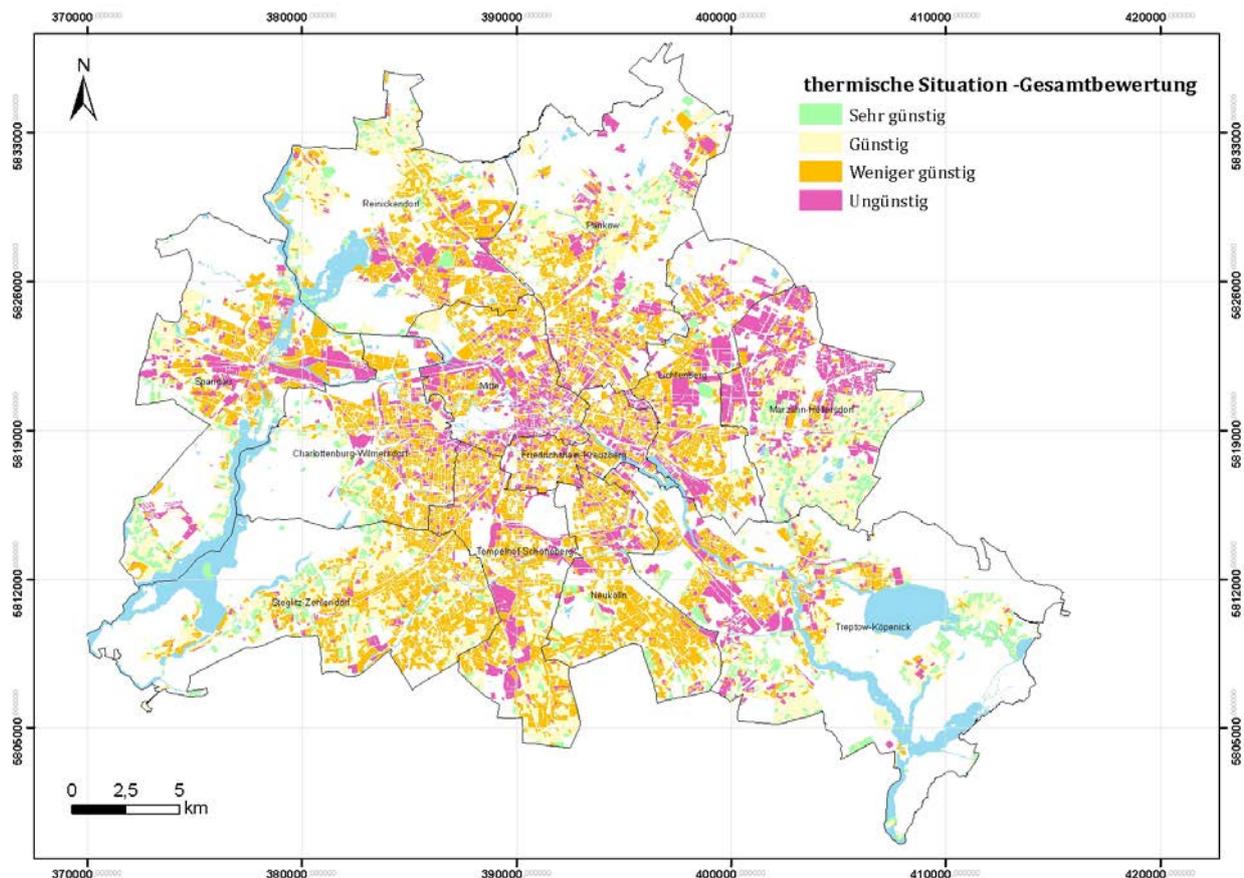


Abbildung 4: räumliche Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Gesamtsituation in den Siedlungsräumen (Verknüpfung von Tag- und Nachtsituation)

<sup>11</sup> [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh\\_09.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_09.htm)

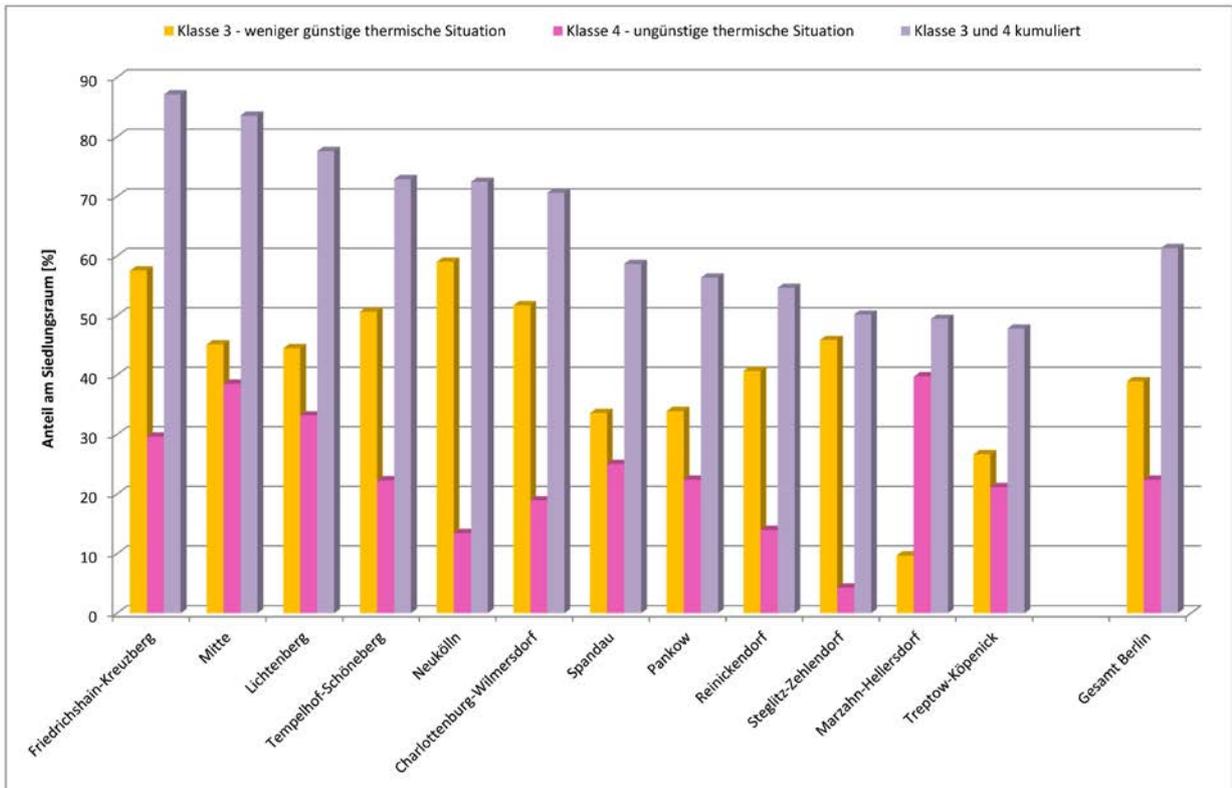


Abbildung 5: Bilanzierung der thermischen Gesamtsituation im Siedlungsraum der 12 Bezirke Berlins

### 3.2 ÖFFENTLICHE STRASSEN, WEGE UND PLÄTZE

Öffentliche Straßen, Wege und Plätze bilden gemeinsam mit dem Siedlungsraum den Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens Berlins<sup>12</sup>. Straßenquerschnitte weisen in aller Regel einen Durchmesser von wenigen Dekametern auf, so dass sie in den vorangegangenen Versionen der PHK Stadtklima aufgrund der im Vergleich geringeren horizontalen Auflösung (200 m bzw. 50 m) der zugrunde liegenden Modellierungen nicht individuell analysiert werden konnten.

Allerdings stellen öffentliche Straßen, Wege und Plätze ein zentrales Mosaikstück für eine stadtklimarechte Stadtentwicklung dar. Dieses ist zum einen darauf zurückzuführen, dass der öffentliche Außenraum traditionell das Kernuntersuchungsobjekt der (mikroskaligen) Stadtklimatologie war und es gegenwärtig auch noch ist. Aus stadtplanerischer Sicht dürfte allerdings entscheidender sein, dass die Öffentliche Hand in diesem Raum als zentraler Akteur mit weitgehenden Handlungs- und Entscheidungsbefugnissen auftreten kann, während sie im privaten (Gebäude-)Bestand allenfalls Anreize schaffen kann (z.B. über die Stadtsanierung). Insofern ist die Bereitstellung von stadtklimatischem Abwägungsmaterial für den öffentlichen Raum eine zentrale Innovation in der PHK 2015.

Auf öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen spielt neben der thermischen auch der lufthygienische Wirkungskomplex eine zentrale Rolle. Bedingt durch rechtliche Vorgaben aus der „Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa“ (EU 2008) in Verbindung mit der „39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes“ (Bundesregierung 2010) wird der Reinhaltung der Luft gegenwärtig gemeinhin eine noch höhere Relevanz beigemessen als der thermischen Belastung. Mit Blick auf den Klimawandel und eine zunehmende Elektrifizierung des Straßenverkehrs ist allerdings mittel- bis langfristig davon auszugehen, dass sich dieses Ungleichgewicht allmählich auflösen wird und beide Komplexe gleichwertig betrachtet werden.

Da dieser Paradigmenwechsel gegenwärtig noch nicht abgeschlossen ist und vor allem auch deswegen, weil Wirkungszusammenhänge, Zuständigkeiten und Maßnahmen sehr unterschiedlich sein können, wurde in der Hauptkarte PHK 2015 darauf verzichtet, die beiden Komplexe miteinander zu „verrechnen“. Sie werden stattdessen einzeln bewertet und gleichwertig nebeneinander dargestellt.

Für die Bewertung der lufthygienischen Situation wurden die Daten aus der Umweltatlas Karte 03.11.2 „Verkehrsbedingte Luftbelastung“ nachrichtlich übernommen. In der Karte sind mit dem Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und dem Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) die beiden zentralen verkehrsbedingten Luftschadstoffe zu einem Immissionsindex verknüpft worden. Auf eine detaillierte Diskussion der Ergebnisse wird an dieser Stelle zur Vermeidung von Redundanzen verzichtet und auf den entsprechenden UA-Text verwiesen<sup>13</sup>. Grundsätzlich ist aber zu erkennen, dass die höchsten Belastungen innerhalb des S-Bahnringes (vor allem im südwestlichen Ringviertel) auftreten.

---

<sup>12</sup> Da einige Teilflächen der Raumeinheit auch bedeutende Klimafunktionen (z.B. Leitbahncharakter) aufweisen, können sie zusätzlich auch dem Ausgleichsraum zugeordnet werden (vgl. Kapitel 3.3).

<sup>13</sup> <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ib311.htm>

Analog zum Siedlungsraum wurde für die Bewertung der thermischen Situation am Tage der humanbiometeorologische Index PET herangezogen. Da sich nachts deutlich weniger Menschen im Öffentlichen (Straßen-)Raum aufhalten und sich das Belastungsniveau für diese Menschen in Berlin im Bereich des thermischen Komforts bewegt, beruht die in der PHK 2015 dargestellte Bewertung gänzlich auf der Tagsituation (Tabelle 5). PET Werte  $\geq 34$  °C wurden der höchsten Belastungsklasse zugewiesen, die übrigen drei Bewertungsklassen wurden mithilfe des statistischen Verfahrens der Z-Transformation abgeleitet (Details zu diesem Vorgehen siehe Kapitel 3.1).

Tabelle 5: Klassenstufen und Methode zur Bewertung der thermischen Situation auf Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen

Tageszeit	Bewertungsstufen	Methode
<b>Tagsituation</b>	Gemäß VDI 3787, Bl.2 1= sehr günstig 2= günstig 3= weniger günstig 4= ungünstig	PET 14:00Uhr z-Wert < -1 z-Wert $\geq -1$ und $\leq 0$ z-Wert > 0 und $\leq 0,34$ $\geq 34$ °C

Im Ergebnis lassen sich rd. 55 % der öffentlichen Straßen, Wege und Plätze Berlins den beiden höchsten Belastungsklassen zuordnen<sup>14</sup> (Abbildung 6). 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 in der Nacht eine 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 wurden (vgl. Kapitel 4.1).

Mittelfristig sind Maßnahmen aber auch schon auf Teilflächen zu empfehlen, denen im Gutachten 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 PET-Niveau 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.

<sup>14</sup> Da anders als bei der verkehrsbedingten Luftbelastung nicht eine Linien- sondern eine Flächengeometrie bewertet wurde (vgl. Kapitel 2.1), ist die Klasse 4 „ungünstige thermische Situation“ moderat überrepräsentiert: Neun der zehn flächenmäßig größten Teilflächen entfallen auf diese Klasse.

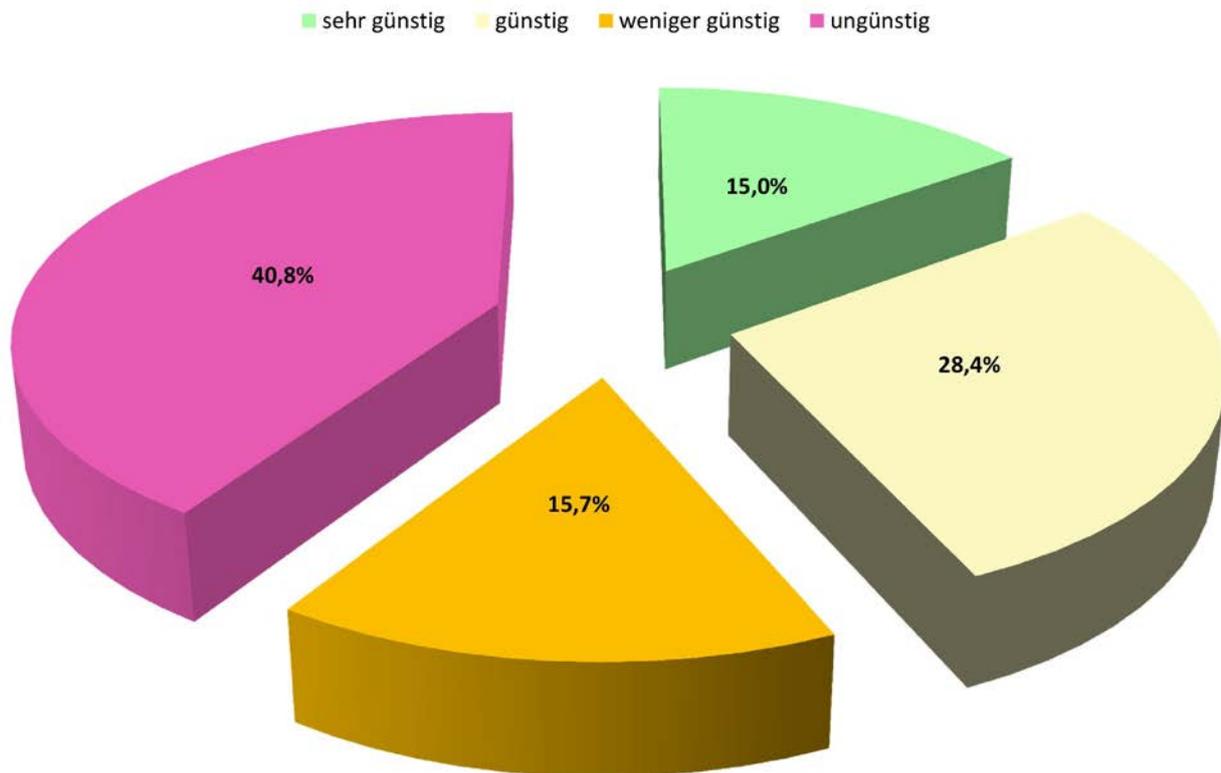


Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Gesamtsituation auf Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen

Die räumlichen Schwerpunkte der thermischen Belastung auf den Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen weisen einen engen Zusammenhang mit dem Grünvolumen bzw. dem Anteil der von Straßenbäumen bedeckten Grundfläche der Straßenabschnitte auf. Letzterer liegt im Bezirk Marzahn-Hellersdorf bei lediglich durchschnittlich 8 %. Auch beim Grünvolumen im Öffentlichen Raum bildet der Bezirk das eindeutige Schlusslicht: Der Bezirk Steglitz-Zehlendorf weist in dieser Bewertungseinheit in etwa das 2,5 fache Grünvolumen auf, selbst zum „Vorletzten“ in diesem Ranking, dem Bezirk Treptow-Köpenick, fehlen rund 25% oder 2.500 m<sup>3</sup>. Beide Phänomene in Kombination führen dazu, dass in Marzahn-Hellersdorf >85% der Fläche den Klassen „weniger günstige oder ungünstige thermische Situation“ zugeordnet werden müssen (Abbildung 7 und Abbildung 8).

In den meisten übrigen Bezirken liegt dieser Flächenanteil zwischen 55 % und 65 %. Das angenehmste Bioklima im Öffentlichen Straßenraum herrscht im Bezirk Steglitz-Zehlendorf. Lediglich ein Viertel der Flächen weist hier ein Defizit auf. Ebenfalls vergleichsweise günstig ist die thermische Situation in Charlottenburg-Wilmersdorf und Reinickendorf. Hier beträgt der kumulierte Flächenanteil der Klassen 3 und 4 nur knapp über bzw. 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 genannten Bezirke zwischen 14 % und 16 %.

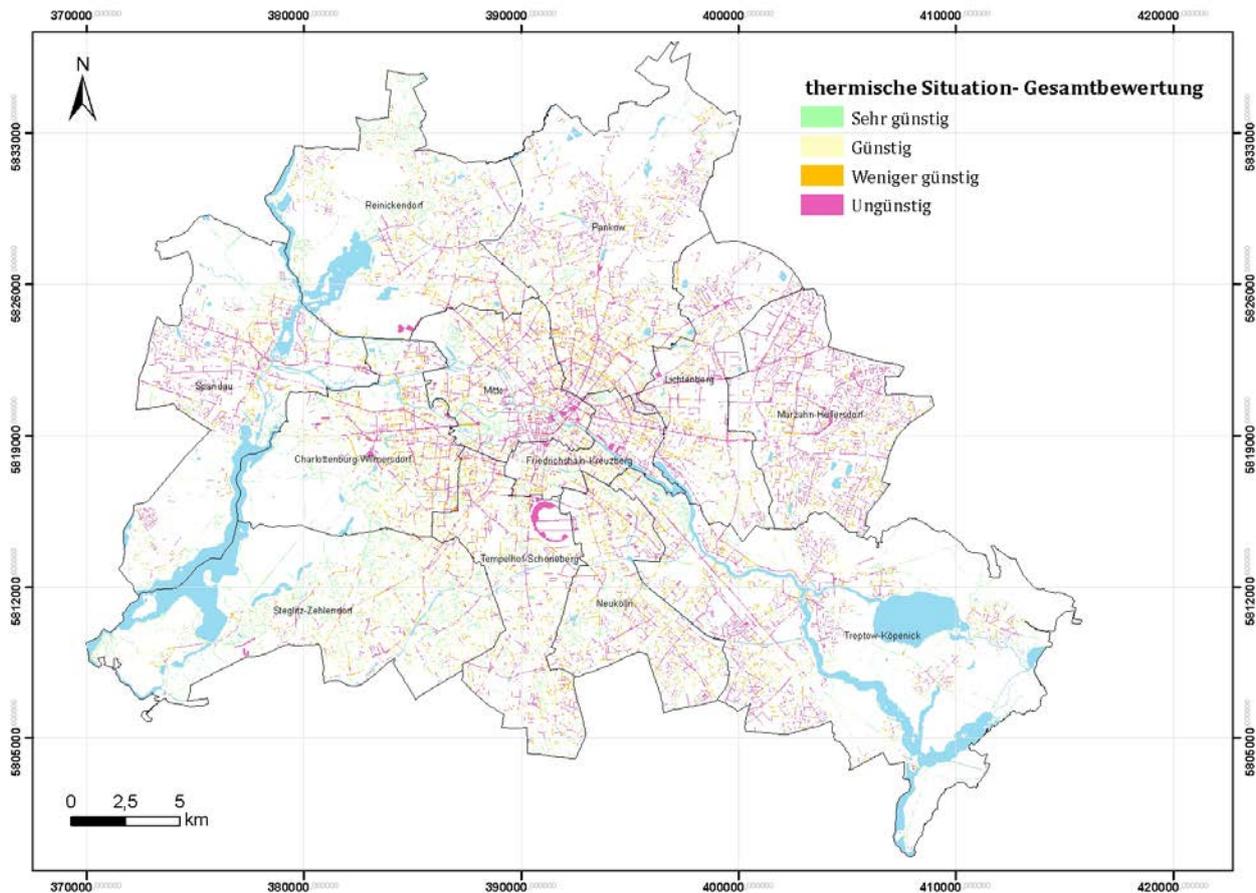


Abbildung 7: Gesamtbewertung der thermischen Situation auf Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen

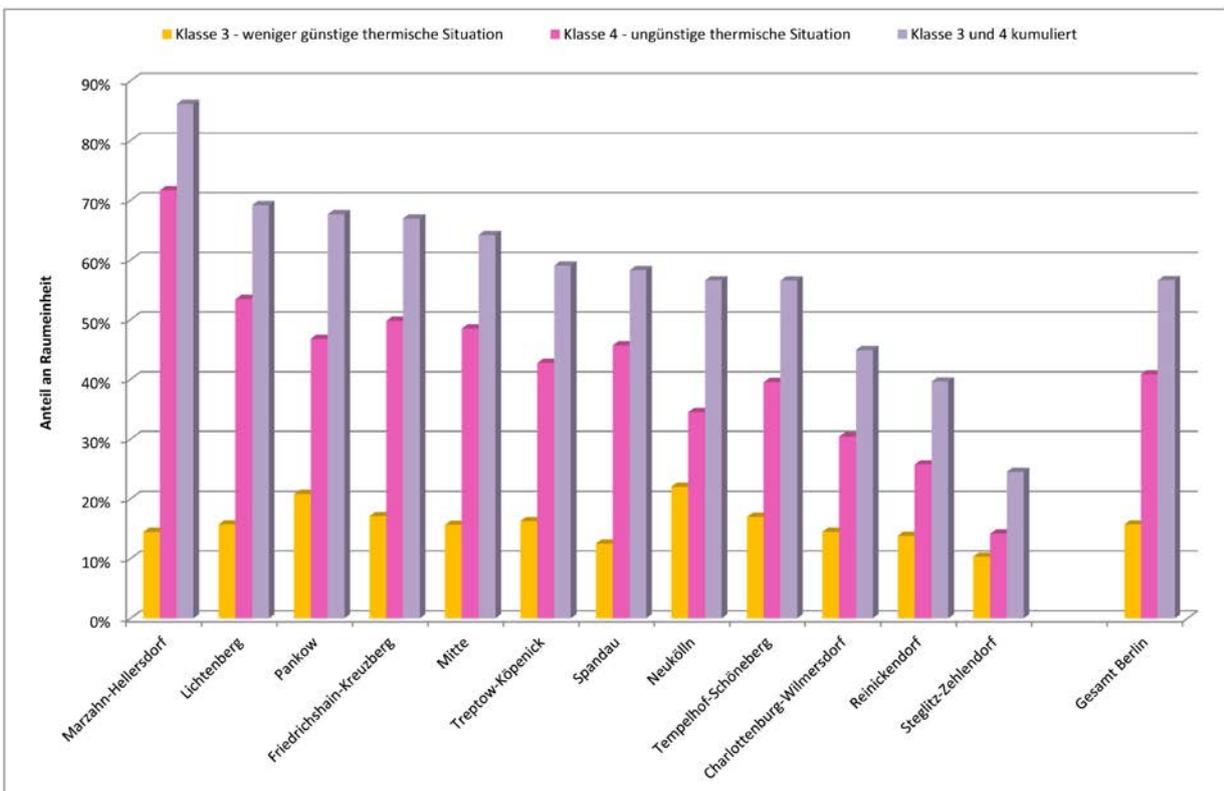


Abbildung 8: Bilanzierung der thermischen Belastungssituation auf den Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen der 12 Bezirke Berlins

### 3.3 LUFTAUSTAUSCH

Der bodennahe Luftaustausch zwischen einer Stadt und ihrem Umland erfolgt über Leitbahnen. Sie sind definiert über ihre Induktion, Ausrichtung, Oberflächenbeschaffenheit und Breite (Mayer et al. 1994). Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume – vor allem Grün- und Freiflächen) mit thermischen und lufthygienischen Belastungsbereichen (Wirkräume – Siedlungsraum und Öffentliche Straßen, Wege, Plätze). Sie tragen dadurch zur Reduktion der städtischen Wärmeinsel und zur Entlastung der thermischen Belastung in der Nacht sowie zum Abtransport von lufthygienisch verunreinigter Luft bei. Leitbahnen sind somit elementarer Bestandteil des stadtklimatischen Prozessgeschehens und hochgradig schutzwürdig.

Das großräumige Luftaustauschsystem Berlins besteht vor allem aus drei Komponenten (Abbildung 9):

- Luftleit- und Ventilationsbahnen
- Orographisch-thermisch induzierte, flächenhafte Kaltluftabflüsse
- Thermisch induzierte, linienhafte Kaltluftleitbahnen

Das System wird ergänzt durch den lokalen Kaltluftaustritt aus Grün- und Freiflächen (vgl. Kapitel 3.4). Mit der Bereitstellung von im Vergleich zur Stadtluft kühlerer und lufthygienisch unbelasteter Luft weisen die Komponenten grundsätzlich dieselben klimaökologischen Funktionen auf. Die prozessuale Entstehung der Ökosystemdienstleistungen und mit Ihnen die Intensität und räumliche Bedeutung ist jedoch für die einzelnen Komponenten unterschiedlich.

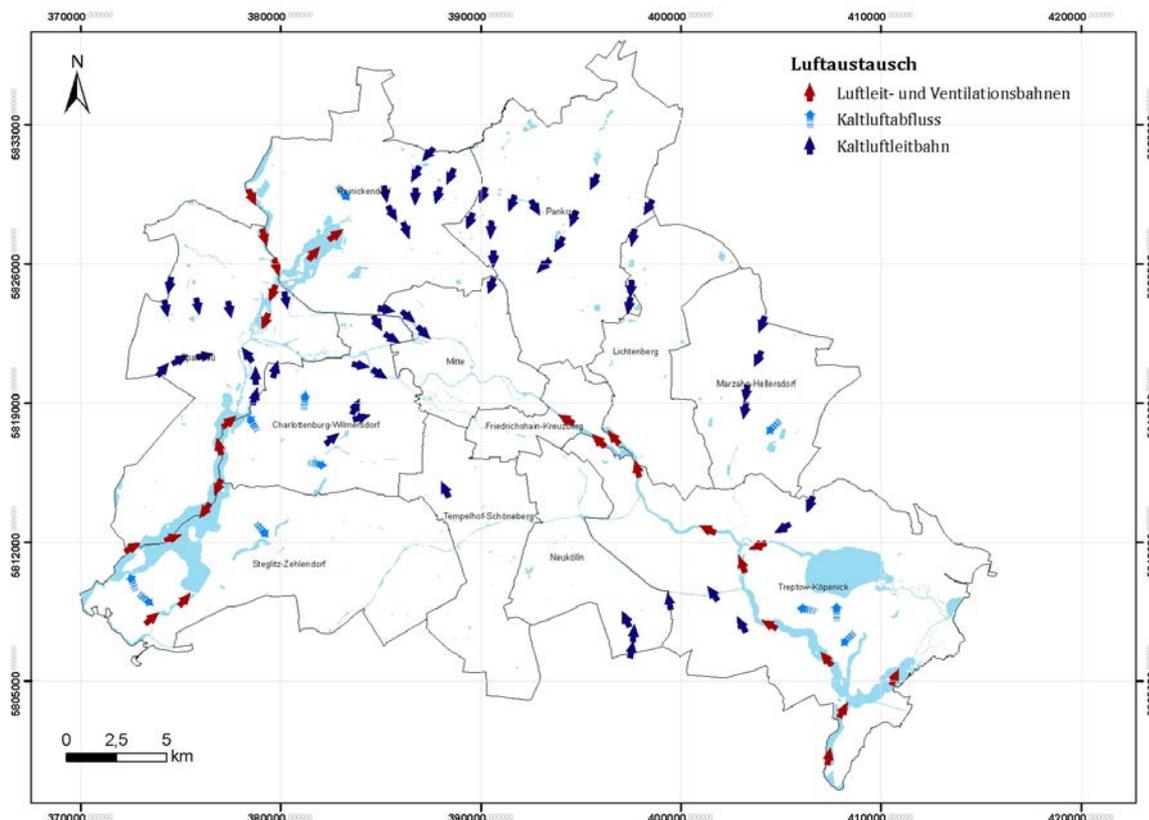


Abbildung 9: Das großräumige Luftaustauschsystem Berlins

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. Dabei herrschen westliche Windrichtungen vor

(Abbildung 10). 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.

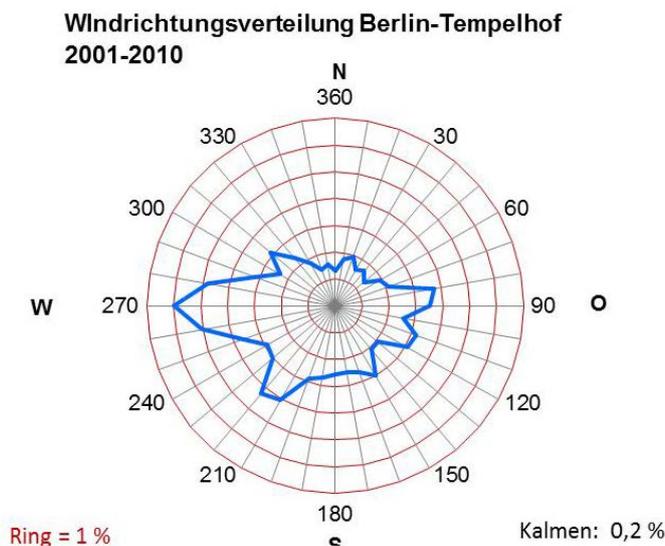


Abbildung 10: Mittlere Windrichtungsverteilung im Zeitraum 2001 bis 2010 an der Klimastation Berlin-Tempelhof (Messhöhe 10 m). Die Ringlinien kennzeichnen die Häufigkeiten des Auftretens der Windrichtungen, ihr Abstand beträgt 1 %. (SenStadtUm 2014).

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 Flurwindssysteme die Versorgung der Stadt mit Kalt-/Frischlufte.

Der thermisch-orographisch induzierte Kaltluftabfluss ist auf Reliefunterschiede zurückzuführen, die in den frühen Morgenstunden zu einem hangparallelen Abfluss der sich abkühlenden Luft führen. Die Voraussetzung für planungsrelevante Kaltluftabflussvolumina ist eine großflächige Hangneigung von > 1 %, die zudem in Richtung einer (thermisch belasteten) Siedlungsfläche ausgerichtet sein sollte. Aufgrund der geringen Reliefunterschiede im Berliner Stadtgebiet ist dieser Teil des Luftaustauschsystems auf fünf Bereiche begrenzt (Abbildung 11). 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. Letzteres gilt für die übrigen vier Bereiche in deutlich geringerem Umfang. Insbesondere im zu erwartenden Einflussbereich des Kaltluftabflusses „Ludwigshöhe“ (Müggelberge) existieren (bislang) kaum Wohngebiete.

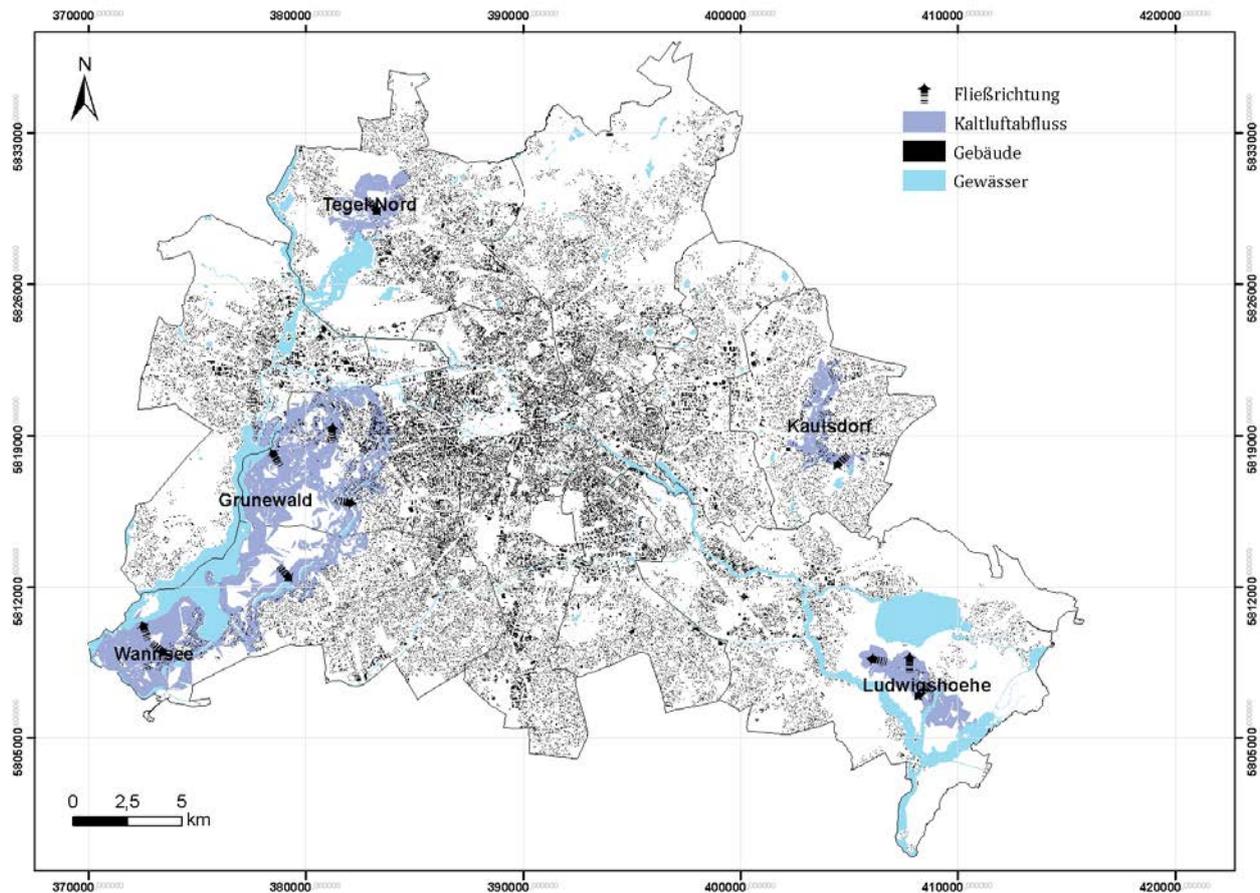


Abbildung 11: Bereiche mit Kaltluftabflusspotential

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 dem Umland oder größeren Grün-/Freiflächen ersetzt wird.

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 2014; vgl. auch Kapitel 4.1).

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) mindestens einer zusätzlichen gutachterlichen Einschätzung.

Für das Berliner Stadtgebiet wurden insgesamt 21 Leitbahnen identifiziert (Abbildung 12). 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.

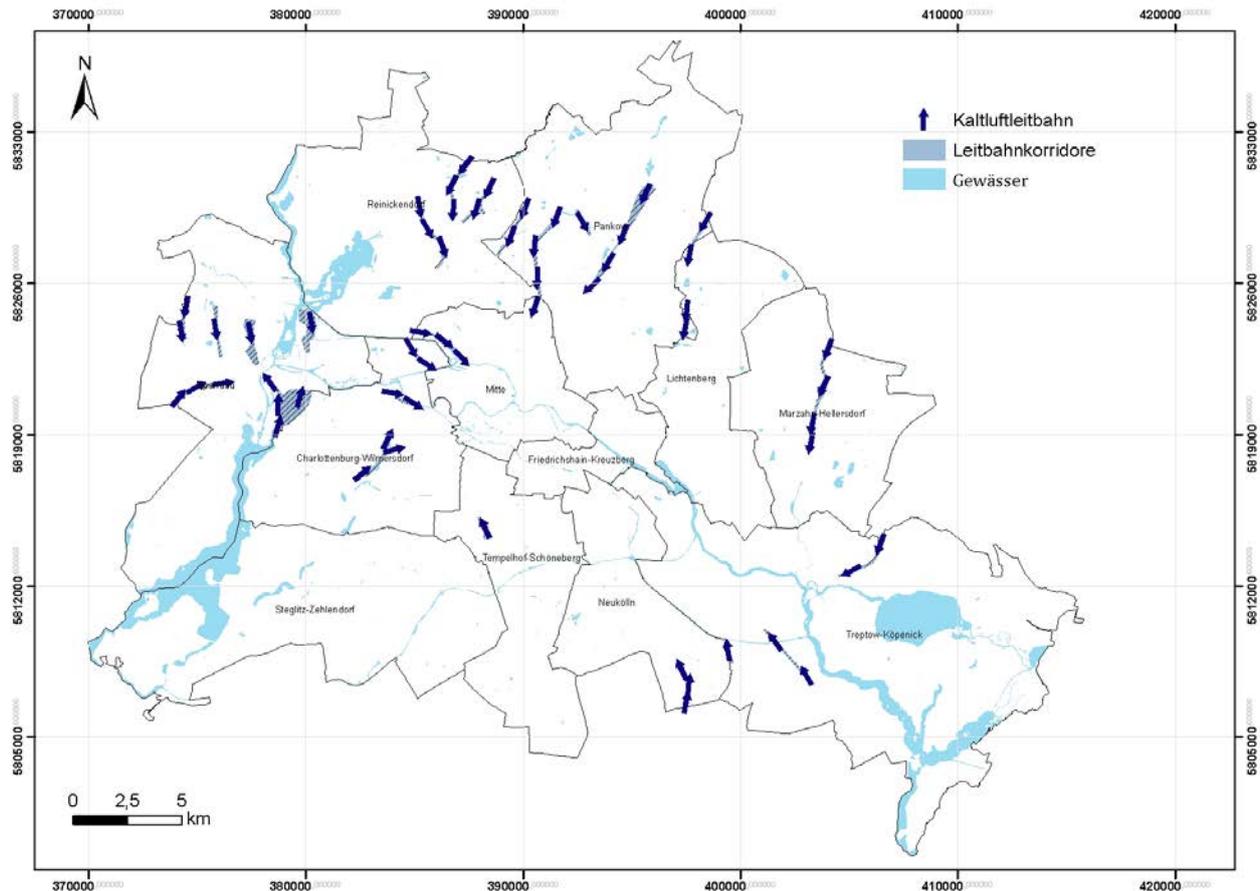


Abbildung 12: Kernzonen der großräumigen Kaltluftleitbahnen („Leitbahnkorridore“)

Auf eine vergleichende Bewertung der 21 Kaltluftleitbahnen wurde aufgrund der grundsätzlich zentralen Klimafunktionen aller Strukturen bewusst verzichtet. Sollte eine solche im Rahmen von politisch-planerischen Abwägungsprozessen dennoch notwendig werden, wird empfohlen eine multikriterielle Bewertung durchzuführen. Als Leitparameter kann dabei der Flächeninhalt ihrer Kernzonen herangezogen werden (Abbildung 13). Die flächenmäßig größten Leitbahnen sind „Spandau-Süd“ und „Spandau-Nord“ und „Niederschönhausen-Ost“. Sie machen gemeinsam mehr als ein Drittel der gesamten Leitbahnkorridorkulisse aus (38,6 %). Weitere wichtige Parameter sind u.a. die Belastungssituation und die demographische Zusammensetzung sowie das Vorhandensein von klimasensiblen Flächen- oder Gebäudenutzungen in den angrenzenden Wohnquartieren. Auch kurz-, mittel- und langfristige städtebauliche Entwicklungspläne im Bereich der Leitbahnen stellen wichtige Priorisierungsfaktoren dar (vgl. Kapitel 4).

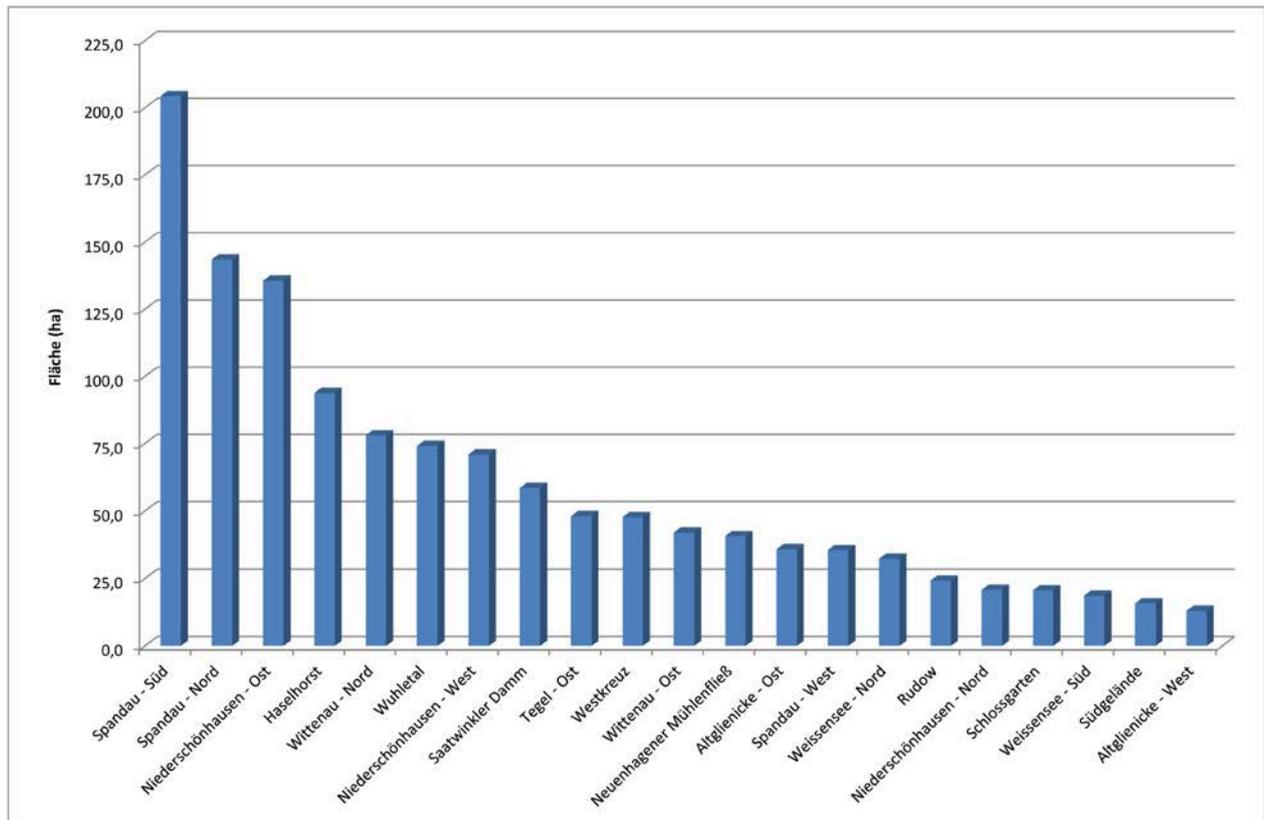


Abbildung 13: Flächenbilanzierung der Kernzonen der Berliner Kaltluftleitbahnen

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-/Geodaten abgeleitet werden können. Eine flächenscharfe bzw. komponentenspezifische Abgrenzung ihrer spezifischen Einwirkungsgebiete - die in aller Regel deutlich über die oben dargestellten Flächen hinausgehen – kann allerdings aufgrund von gegenseitiger räumlicher Überlagerung und Beeinflussung ohne weitere vertiefende Untersuchungen hier nicht mit ausreichender Sicherheit geleistet werden.

Es ist allerdings möglich, den gesamthaften Kaltlufteinwirkungsbereich des Berliner Austauschsystems abzubilden und zu bilanzieren (Abbildung 14)<sup>15</sup>. Bestandteil dieser Analyse ist auch die aus den vielen kleineren und größeren Grünflächen sowie den stark durchgrüneten 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 (betrifft u.a. die Bezirke Mitte und Friedrichshain-Kreuzberg, vgl. Abbildung 99 im Anhang).

<sup>15</sup> Dargestellt sind die Block(teil)flächen der Raumeinheit „Siedlungsraum“, die zu  $\geq 30\%$  mit einem Kaltluftvolumenstrom  $> 48 \text{ m}^3/\text{s}$  (entspricht  $z = -0,5$ ) durchflossen werden

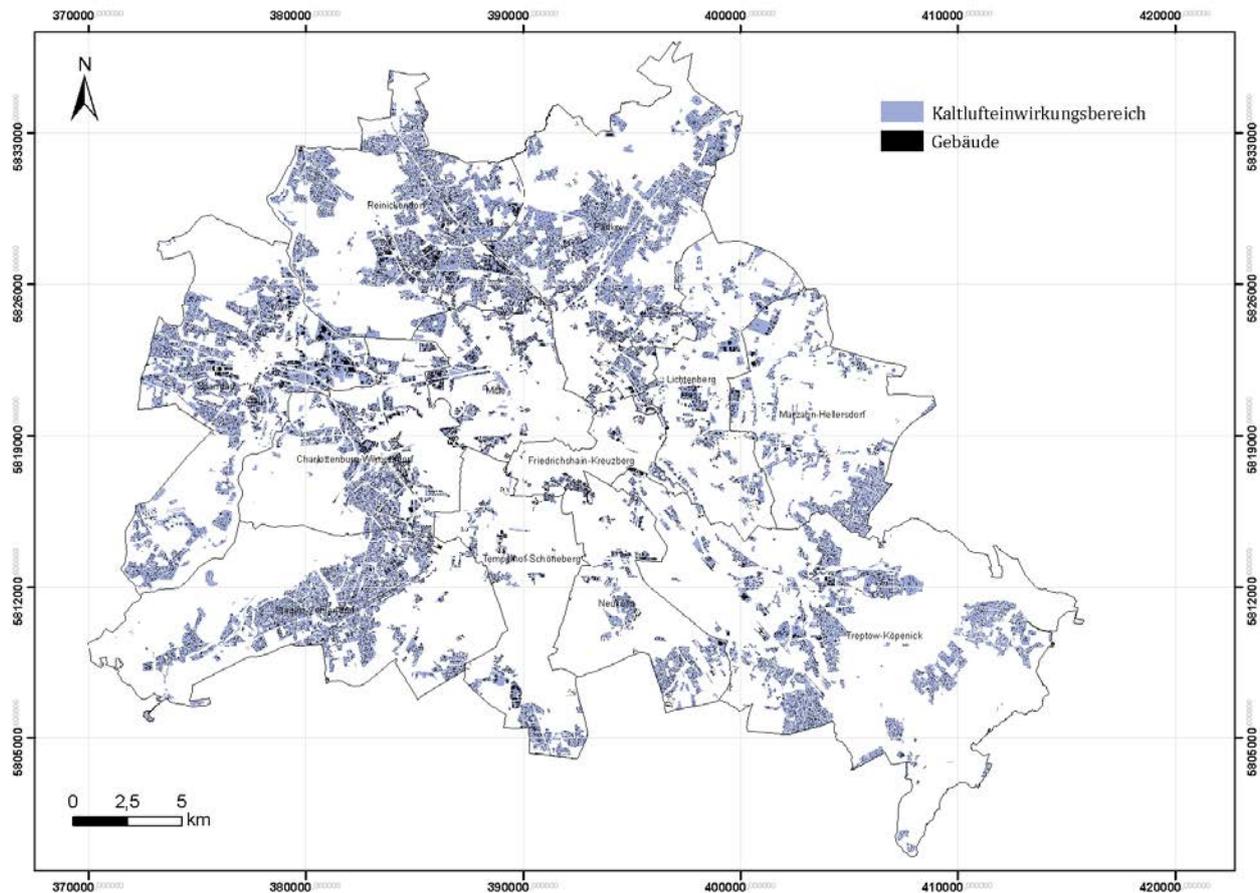


Abbildung 14: Summarischer Einwirkungsbereich der großräumigen und lokalen Komponenten des Berliner Luftaustauschsystems bei autochthonen Wetterlagen

Wie Abbildung 15<sup>16</sup> 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 vorderen drei 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 (vgl. Abbildung 99 im Anhang).

<sup>16</sup>In die Bilanzierung sind auch diejenigen Block(teil)flächen einbezogen worden, die zu < 30% mit einem Kaltluftvolumenstrom von > 48 m<sup>3</sup>/s (entspricht z = -0,5) durchflossen werden. Da aus Datenschutzgründen vom Amt für Statistik lediglich Einwohnerdaten auf Block(teil)ebene bereitgestellt werden konnten, war eine – durch die hohe Modellaufösung mögliche - gebäudescharfe Auswertung nicht möglich. Bei der Auswertung wurde daher der vom oben genannten Kaltluftvolumenstrom profitierende Einwohneranteil gleich dem durchflossenen Flächenprozentsatz gesetzt. Da die Block(teil)flächen in > 2/3 der Fälle entweder gar nicht (0 %) oder vollständig (100 %) unter Kaltlufteinfluss stehen, führt dieser methodische Kompromiss aller Wahrscheinlichkeit nach aber nicht zu signifikanten Abweichungen gegenüber einem detaillierteren Vorgehen.

Dieser Zusammenhang lässt sich in umgekehrter Weise auch für die Bezirke Tempelhof-Schöneberg und vor allem Friedrichshain-Kreuzberg unterstellen. In beiden Bezirken profitieren nur wenig mehr als 20.000 Einwohner (entspricht < 10 %) von den Kaltluftflüssen. Insgesamt profitieren in Berlin gegenwärtig 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 Kaltluftthaushaltes für Berlin. Sie zeigen zum anderen aber auch ein Verbesserungspotential auf, das mithilfe der in Kapitel 5 dargestellten Maßnahmen genutzt werden kann.

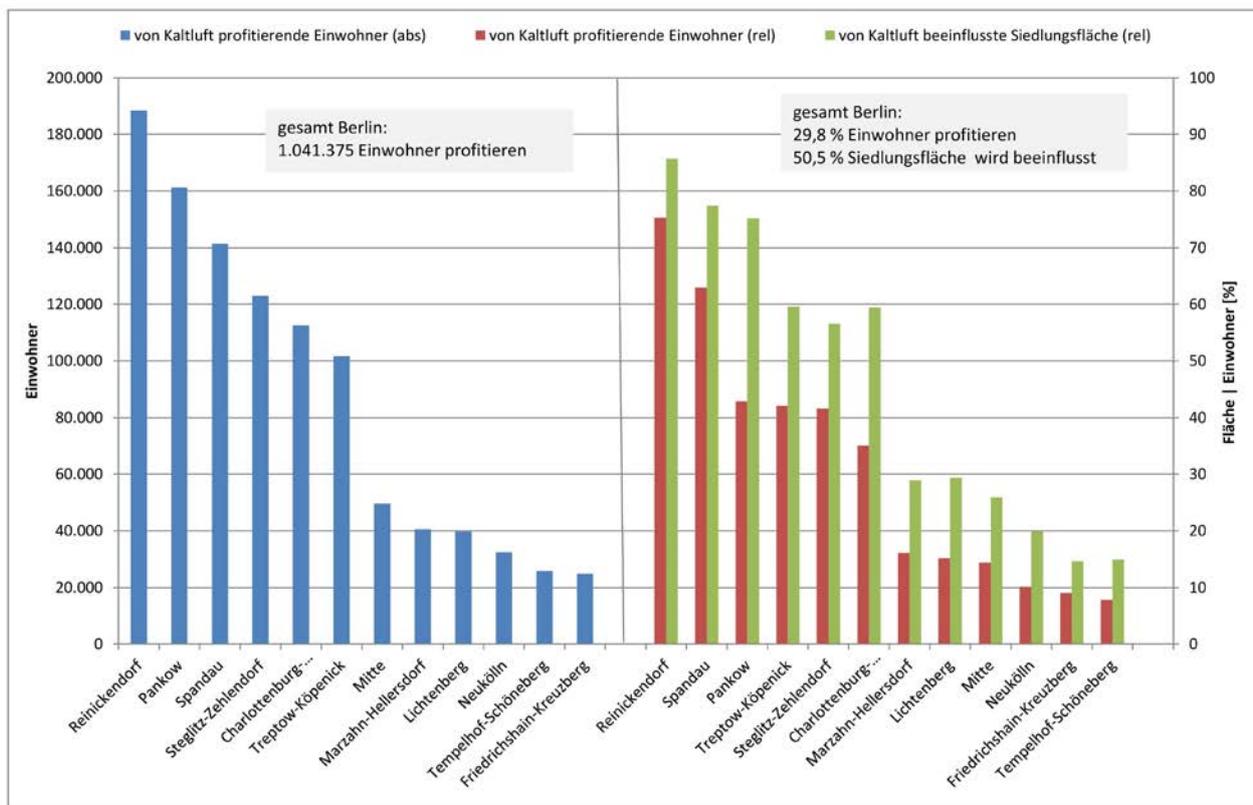


Abbildung 15: Bilanzierung der Kaltlufteinwirkung auf den Siedlungsraum nach Bezirken

### 3.4 FREI- UND GRÜNFLÄCHEN

Die innerstädtischen und siedlungsnahen Grün- und Freiflächen Berlins nehmen im stadtklimatischen Ausgleichs-Wirkungsraum-Gefüge der Stadt eine wichtige Doppelfunktion ein. Zum einen produzieren sie Kalt- und ggf. Frischluft, die über Leitbahnen in die Stadt transportiert bzw. direkt an die angrenzenden Wohngebiete geliefert werden. Wichtige Einflussgrößen sind hierfür die geographische Lage innerhalb der Stadt, die Flächengröße und -typ, das Gefälle und die Exposition sowie der Grad der Wasserversorgung (vgl. auch Kapitel 5). Tagsüber entfaltet sich ihre Wohlfahrtswirkung insbesondere innerhalb der Flächen selbst. Unter der Prämisse eines ausreichenden Grünvolumens ist die thermische Belastung hier gegenüber dem Wohn- oder Arbeitsumfeld der Besucher deutlich herabgesetzt.

Insbesondere Flächen, die beide Ökosystemdienstleistungen in Kombination und hoher Qualität bzw. Quantität anbieten, haben eine exponierte Bedeutung für ein gesundes Stadtklima in Berlin. Diesem Umstand ist bei der 4-stufigen Bewertung der stadtklimatischen Schutzwürdigkeit der Berliner Grün- und Freiflächen Rechnung getragen worden (Abbildung 16). Dabei wurde die gegenwärtige Siedlungsstruktur zugrunde gelegt. Im Falle planungsrechtlicher Vorbereitungen (FNP-Bauflächen) sollten die bauliche Entwicklung unter Berücksichtigung der Klimafunktionen erfolgen und klimaverträgliche Lösungen angestrebt werden.

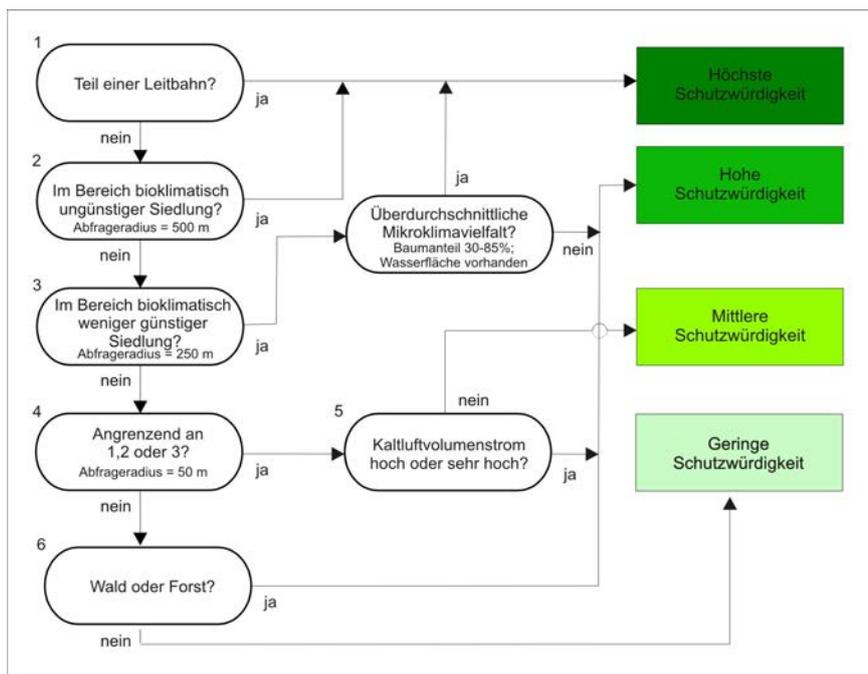


Abbildung 16: Entscheidungsbaum zur Bewertung der Schutzwürdigkeit der Grün- und Freiflächen

Demnach erhalten solche Flächen die höchste Schutzwürdigkeit,

- die Bestandteil einer Kaltluftleitbahn sind oder
- in deren 500 m Radius sich Siedlungsräume mit einer ungünstigen thermischen Situation befinden oder
- in deren 250 m Radius sich Siedlungsräume mit einer weniger günstigen thermischen Situation befinden und die zusätzlich eine überdurchschnittliche Mikroklimavielfalt aufweisen.

Die Zuordnung von Grün-/Freiflächen zu den einzelnen Kaltluftleitbahnen erfolgt auf der Basis einer Überlagerung mit den Leitbahnkorridoren (vgl. Kapitel 3.3). Auch außerhalb dieser traditionell als sehr hochwertig eingestuften Flächen existieren weitere Teilräume, denen eine höchste Schutzwürdigkeit zuzuweisen ist. Voraussetzung hierfür ist, dass sich die Flächen einem thermisch belasteten Siedlungsraum zuordnen lassen, der von den Ökosystemleistungen profitieren kann.

Dieses trifft zum einen auf Grün/Freiflächen zu, in deren näherer Umgebung (500 m) Siedlungsräume mit der höchsten thermischen Belastungsstufe auftreten. Sie liefern zwar augenscheinlich nicht ausreichend Kaltluft, um alle angrenzenden Siedlungsräume signifikant abzukühlen. Allerdings stellen sie am Tage eine Kühlnsel dar, die von der Bevölkerung aktiv zur Erholung aufgesucht werden kann. Auch kleinere, innerstädtische Grünflächen (z.B. Görlitzer Park) oder Friedhöfe (u.a. Friedhof Steglitz oder Kirchhof Luisenstadt) sind daher in Berlin hochgradig schutzwürdig.

Zum anderen sind hier auch solche Flächen subsummiert, in deren unmittelbarer Umgebung (250 m) sich Siedlungsräume mit einer weniger günstigen thermischen Situation befinden und die eine besondere Mikroklimavielfalt besitzen. Letzteres ist erfüllt, wenn ein Baumanteil  $> 30\%$  und  $< 85\%$  sowie eine Wasserfläche vorhanden ist und der überwiegende Teil der restlichen Fläche mit Rasen oder niedrigen Gräsern bestanden ist (vgl. auch Kapitel 1.1 und Abbildung 103 im Anhang). Diese Flächen liefern zum einen relevante Mengen an Kaltluft zur Abkühlung der angrenzenden Quartiere und weisen gleichzeitig noch eine hohe Aufenthaltsqualität am Tage auf.

Die genannten Prämissen treffen auf mehr als die Hälfte der Berliner Grün- und Freiflächen zu (Abbildung 17). Ihre Klimafunktionen sind in vollem Umfang zu erhalten. Auf eine Bebauung oder einen sonstigen Eingriff sollte verzichtet werden. Sofern die Flächen bereits planungsrechtlich vorbereitet sind (FNP-Bauflächen) sollte die bauliche Entwicklung unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollten eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung, eine Vernetzung mit benachbarten Grün- und Freiflächen sowie ggf. eine Erhöhung der Mikroklimavielfalt angestrebt werden (vgl. Kapitel 5). 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 (Abbildung 18).

Eine hohe Schutzwürdigkeit ist solchen Flächen zugewiesen worden,

- in deren 250 m Radius sich Siedlungsräume mit einer weniger günstigen thermischen Situation befinden und die keine überdurchschnittliche Mikroklimavielfalt aufweisen oder
- oder bis zu 50 m außerhalb der 250 m und 500 m Abfrageradien liegen und einen hohen oder sehr hohen Kaltluftvolumenstrom aufweisen oder
- Wald und Forstflächen sind.

In der Kategorie „hohe Schutzwürdigkeit“ sind demnach Flächen zusammengefasst, von denen insbesondere eine der beiden zentralen klimaökologischen Dienstleistungen erbracht werden. In den ersten beiden Punkten steht ihr Kaltluftliefervermögen im Fokus, das entweder aufgrund einer unmittelbaren Nähe zu thermisch belasteten Siedlungsräumen oder aufgrund eines besonders hohen, siedlungsgerichteten Volumenstroms zu einer thermischen Entlastung ihres Wirkraumes beiträgt.

Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom (KVS) versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Die Beurteilung des Kaltluftvolumenstroms orientiert sich am mittleren Wertenniveau des Stadtgebietes und den innerhalb dieses Raumes auftretenden Abweichungen vom Gebietsmittelwert. Mit Hilfe des statistischen Verfahrens der z-Transformation können dem KVS Ausprägungen zwischen gering und sehr hoch zugeordnet werden. Für Berlin können Volumenströme ab  $> 79 \text{ m}^3/\text{s}$  als planungsrelevant eingestuft werden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Bewertung des Kaltluftvolumenstroms innerhalb von Grün- und Freiflächen

Bewertungskategorie	Raummittel des z-Wertes	Kaltluftvolumenstrom in $\text{m}^3/\text{s}$
sehr hoch	$> 1$	$> 126$
hoch	1 bis $> 0$	$> 79$ bis $\leq 126$
mäßig	0 bis -1	$> 32$ bis 79
gering	$< -1$	$\leq 32$

Bei den Wald- und Forstflächen tritt die Bedeutung des (durchaus vorhandenen) Kaltluftvolumenstroms im Allgemeinen hinter der unmittelbaren Erholungsfunktion am Tage zurück. Denn zum einen ist die nächtliche Abkühlungsrate im Stammraum geringer als auf offenen Flächen und zum anderen stellen die Kraut- und Strauchschicht im relativ ebenen Terrain der Berliner Waldbestände Fließhindernisse für den bodennahen Kaltluftstrom dar. Die Berliner Wälder wird somit in erster Linie deswegen eine hohe Schutzwürdigkeit zugesprochen, weil sie am Tage deutlich kühler sind, als alle übrigen Flächen.

Rund einem Drittel aller Frei- und Grünflächen Berlins kann unter Anwendung dieser Methode eine hohe Schutzwürdigkeit beigemessen werden (Abbildung 17 und Abbildung 18). Den mit ca. 85 % weitaus überwiegenden Anteil daran machen die ausgedehnten Stadtwaldgebiete Berlins aus (GRZ<sup>17</sup> = 100; vor allem Grunewald, Forst Müggelberge sowie der Spandauer und Tegeler Forst). Unter dem übrigen Flächenanteil dominieren vor allem Parkanlagen (GRZ 130), Kleingärten (GRZ 160) und Brachflächen (GRZ 171-173).

Auf all diesen Flächen sollten bauliche Eingriffe äußerst maßvoll und unter der Prämisse der Sicherung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Sofern die Flächen bereits planungsrechtlich vorbereitet sind (FNP-Bauflächen) sollte die bauliche Entwicklung unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollten eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung, eine Vernetzung mit benachbarten Grün- und Freiflächen sowie ggf. eine Erhöhung der Mikroklimavielfalt angestrebt werden.

<sup>17</sup> GRZ = Grünzahl; eingehende Beschreibung siehe

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

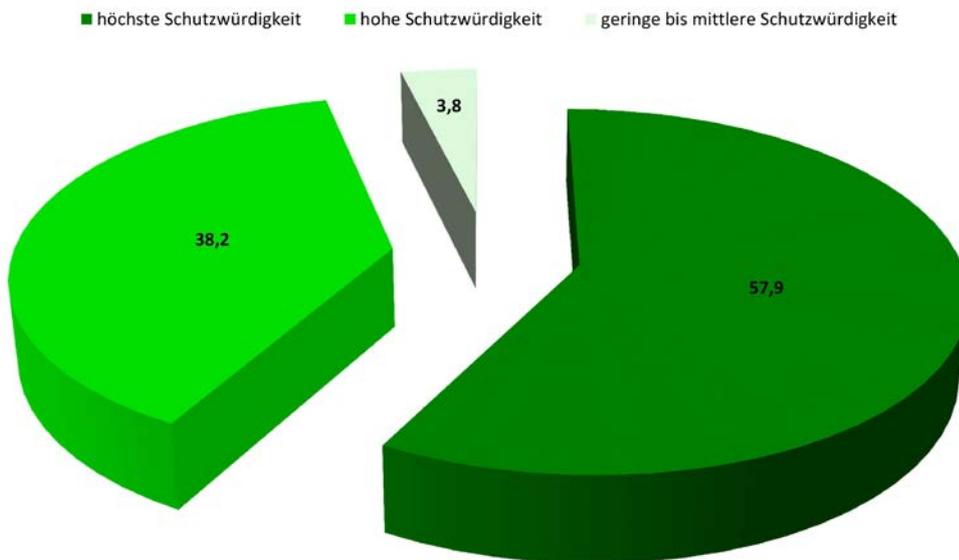


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur klimaökologischen Schutzwürdigkeit von Frei-/und Grünflächen

Damit weisen rd. 95 %<sup>18</sup> aller Berliner Grün- und Freiflächen eine hohe bis sehr hohe und weniger als 5 % eine geringe bis mittlere klimaökologische Schutzwürdigkeit auf<sup>19</sup>, was deren herausragende Relevanz für ein gesundes Berliner Stadtklima unterstreicht. 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. Zugehörige Flächen liegen bis zu 50 m außerhalb der 250 m und 500 m Abfrageradien und weisen einen unterdurchschnittlichen Kaltluftvolumenstrom auf. 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.

<sup>18</sup> In der 2009er Version der PHK lag dieser Wert ebenfalls bei > 90 %.

<sup>19</sup> Aus darstellerischen Gründen wurden in Abbildung 17 die Klassen mittlere und geringe Schutzwürdigkeit zu einer Klasse zusammengefasst.



## 4. Ergänzende Planungshinweise für eine klimagerechte Berliner Stadtentwicklung

Als Erweiterung zur Hauptkarte (vgl. Kapitel 3) stellt die digitale PHK ergänzende Planungshinweise zu drei ausgewählten Themenbereichen zur Verfügung. Hierbei wird das Ziel verfolgt, nicht unmittelbar aus der Hauptkarte ableitbare Zusatzinformationen und Entscheidungsgrundlagen für spezifische Fachplanungen bzw. Fragestellungen im Zusammenhang mit der Berliner Stadtentwicklung zu vermitteln.

Hierzu gehören zum einen Hinweise auf Gebiete mit prioritärem Handlungsbedarf, die sich vor allem an die Stadtsanierung bzw. den Stadtumbau richten (Kapitel 4.1). Zum zweiten wird der Fokus auf die Verknüpfung des Stadtklimas zu weiteren Vulnerabilitätskriterien gerichtet, was vor allem im Zusammenhang mit Fragestellungen der Umweltgerechtigkeit und der Klimawandelanpassung von Relevanz ist (Kapitel 4.2). Mit der Ausweisung von Konfliktflächen für das Spannungsfeld Stadtklima und Nachverdichtung / Neubebauung wird drittens die zentrale Frage einer klimagerechten Berliner Stadtentwicklung beleuchtet: Wie kann in den kommenden Jahrzehnten die notwendige bauliche Entwicklung in Einklang mit einem gesunden Stadtklima gebracht werden (Kapitel 4.2.3)?

Die Ergebnisse für alle drei Themenbereiche basieren zum einen auf einer zusätzlichen gutachterlichen Interpretation der in der Hauptkarte dargestellten Bewertungsergebnisse sowie zum anderen auf deren Verknüpfung mit weiteren räumlich hochaufgelösten Sach- und Geodaten. Wie die Ergebnisse der Hauptkarte haben auch die ergänzenden Planungshinweise unmittelbaren Einfluss auf die Zuordnung bestimmter Maßnahmen zu bestimmten Block(teil)flächen.

### 4.1 FLÄCHEN MIT BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTÄNDEN

In den Kapitel 3.1 und 3.2 wurde darauf hingewiesen, dass für alle Block(teil)flächen des Siedlungsraumes bzw. Straßenabschnitte mit einer weniger günstigen und vor allem mit einer ungünstigen thermischen Situation die Umsetzung von Maßnahmen notwendig erscheint. Darüber hinaus existiert auch für einige Frei- und Grünflächen ein Potential zur Verbesserung ihrer ganzheitlichen klimatischen Ökosystemdienstleistungen (z.B. im Zusammenhang mit der Mikroklimavielfalt). Bei Flächen mit einem besonderen stadtklimatischen Missstand handelt es sich nun um denjenigen Ausschnitt dieser Flächenkulissen, 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 der Hauptkarte geben zu können, werden im Folgenden sechs Flächenkategorien unterschieden (Tabelle 7). 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 Kapitel 4.2.

Tabelle 7: Kategorien und Methoden für die Ausweisung von Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen

Raumeinheit	Flächenkategorie	Zuweisungsmethode
<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= Wohnzahl; eingehende Beschreibung siehe [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e\\_text/kd607.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e_text/kd607.pdf)

Abbildung 19 zeigt die räumliche Verteilung der Flächen mit einem besonderen stadtklimatischen Missstand. 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 20).

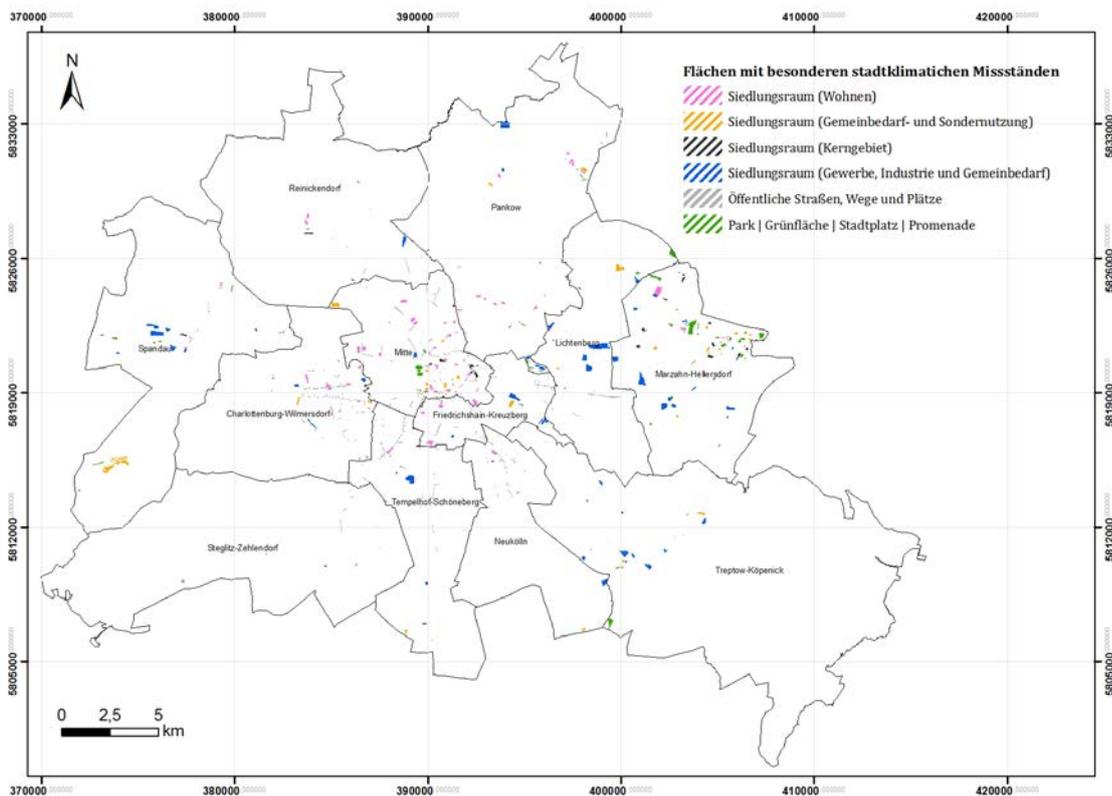


Abbildung 19: Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen

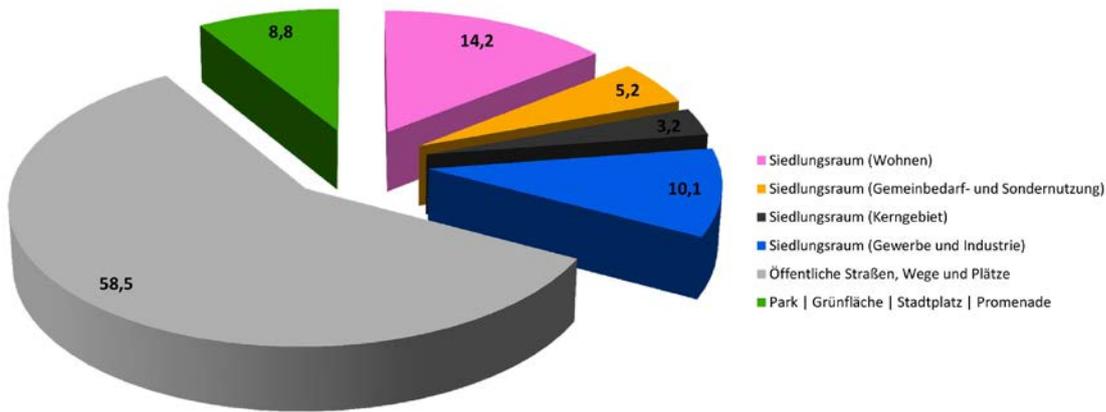


Abbildung 20: prozentuale Verteilung der Flächenkategorien mit besonderen stadtklimatischen Missständen

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 (vor allem der Straßenraum von Bedeutung). Hier 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 21).

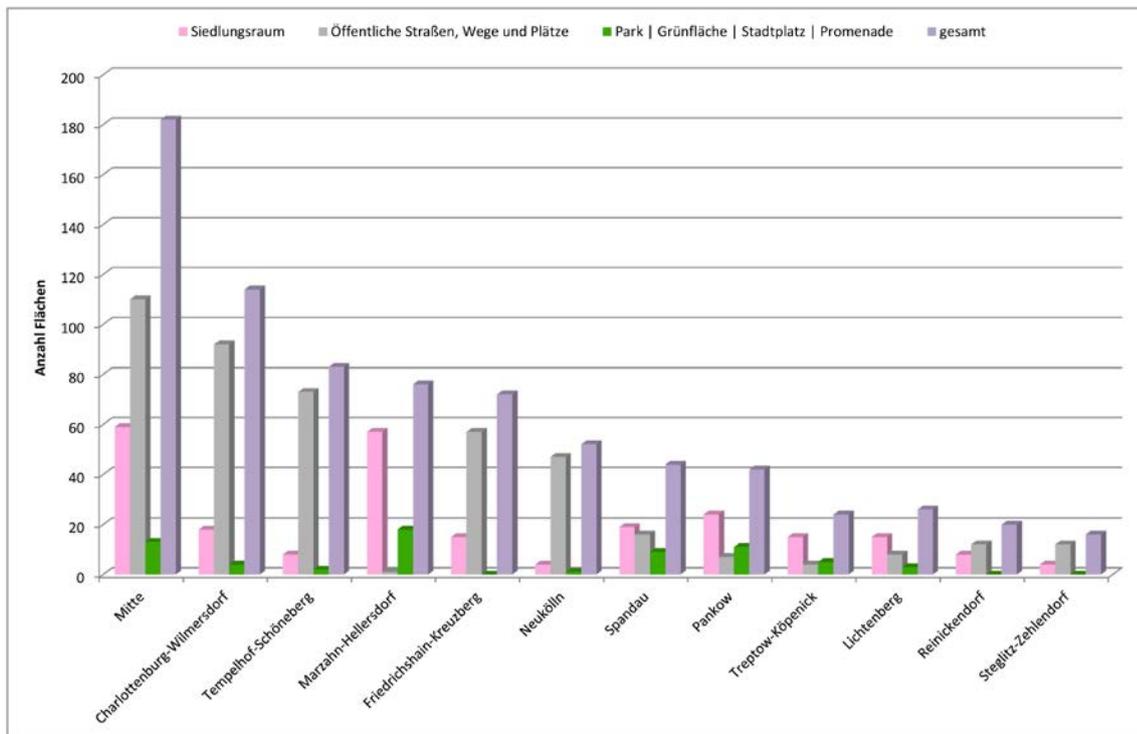


Abbildung 21: Bilanzierung der Flächen mit besonderen stadtklimatischen Missständen für die 12 Berliner Bezirke

In der Flächenkategorie Siedlungsraum (Wohnen) sind etwas mehr als 7.000 Einwohner betroffen und in rund ¾ der Gebiete besteht eine hohe oder sehr hohe demographische Vulnerabilität (vgl. Kapitel 4.2.1).

Allen Flächen ist gemein, dass sie im Vergleich zu anderen Blöcken desselben Flächentyps über einen sehr hohen Versiegelungsgrad bzw. ein sehr hohes Bauvolumen sowie ein sehr geringes Grünvolumen verfügen. Zudem sind sie in aller Regel zusätzlich negativ durch ihre ungünstige thermische Umgebung beeinflusst (Abbildung 22).

Typ 2 (Bezirk: Charlottenburg-Wilmersdorf)



Typ 73 (Bezirk: Pankow)



Typ 9 (Bezirk: Mitte)



Abbildung 22: (Schräg-)Luftbilder ausgewählter Block(teil)flächen mit (primärer) Wohnfunktion, die einen besonderen stadtklimatischen Missstand aufweisen (Quellen: Google Maps - © 2015 Google)

Hinsichtlich der Gebäude-/Grundstückstypologie und dem Baualter handelt es sich allerdings um sehr unterschiedliche Typen, was für die Auswahl von Maßnahmen äußerst relevant sein kann (vgl. Kapitel 5). Die drei am häufigsten auftretenden Flächentypen machen gemeinsam fast 80 % der gesamten Flächenkulisse aus. Neben Altbauten in geschlossener Blockstruktur sowie Großsiedlungen und Punkthochhäusern gehört zu dieser Gruppe auch der Geschosswohnungsbau der letzten 20 Jahre. Die übrigen Typen treten deutlich seltener oder sogar lediglich 1-2-mal auf (Abbildung 23).

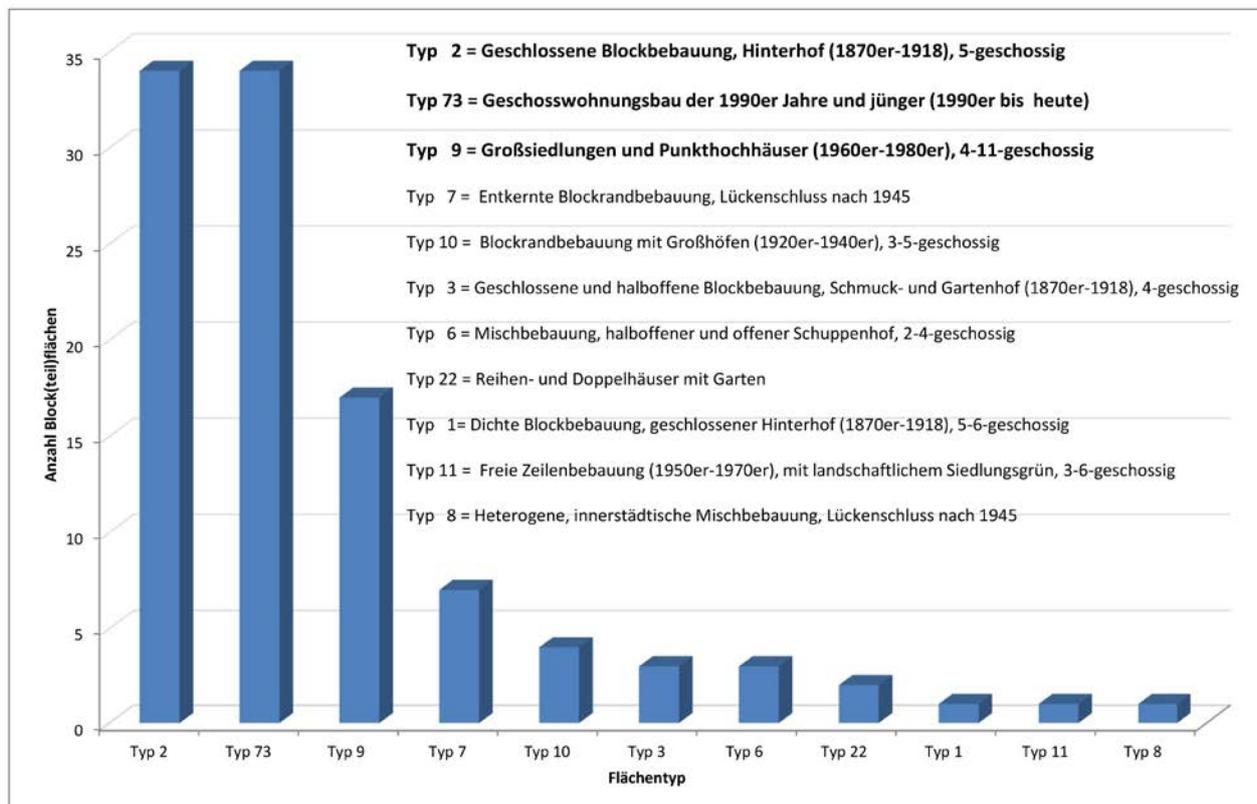


Abbildung 23: Bilanzierung der Block(teil)flächen mit (primärer) Wohnfunktion, die einen besonderen stadtklimatischen Missstand aufweisen

In den übrigen drei Siedlungsraumkategorien (Gewerbe/Industrie, Kerngebiet und Gemeinbedarf/Sondernutzung) herrschen stark versiegelte Flächen mit großen Gebäudekubaturen und einem äußerst geringen Verschattungsanteil durch natürliche Vegetation vor (Abbildung 24). Daraus ergibt sich zum einen eine hohe thermische Belastung für die Kunden, Besucher und Arbeitskräfte direkt auf dem Gelände oder im (nicht klimatisierten) Gebäudeinneren. Zum anderen tragen diese Gebiete aber auch zur verminderten nächtlichen Abkühlung etwaig angrenzender Wohnquartiere bei, so dass flächenindividuelle Maßnahmen eine doppelte Wohlfahrtswirkung entfalten können (vgl. Kapitel 5).

Typ 30 (Bezirk: Marzahn-Hellersdorf)



Typ 31 (Bezirk: Tempelhof-Schöneberg)



Typ 29 (Bezirk: Mitte)



Typ 44 (Bezirk: Treptow-Köpenick)



Abbildung 24: (Schräg-)Luftbilder ausgewählter Block(teil)flächen der Flächenkategorien Siedlungsraum (Gewerbe, Industrie), Siedlungsraum (Gemeinbedarf) und Siedlungsraum (Kerngebiet), die einen besonderen stadtklimatischen Missstand aufweisen (Quelle: Google Maps - © 2015)

Bei der Sanierungskategorie „Öffentliche Straßen, Wege und Plätze“ handelt es sich entsprechend der Auswahlmethode ausschließlich um Straßenabschnitte (vgl. Tabelle 7). Hier ist neben der thermischen Situation auch das Maß der lufthygienischen Belastung durch den Straßenverkehr bekannt.

Da für den Straßenraum auch die verkehrsbedingten Luftbelastungen als weiteres Bewertungskriterium einbezogen wurden, konnten für diese Raumeinheit sowohl die klimatischen als auch lufthygienischen, z.T. parallel auftretenden, Einflüsse berücksichtigt werden. Dies ist in der Regel während der Nachmittagsstunden einer hochsommerlichen autochthonen Wetterlage der Fall, wenn die Rushhour mit einem hohen stop-and-go Anteil einsetzt und gleichzeitig der Tagesgang der Temperaturen im Straßenraum sein Maximum erreicht. Durch die verkehrsbedingten Wärmeemissionen wird dieser Effekt noch einmal zusätzlich verstärkt. Aufgrund dieser Zusammenhänge sollte den rd. 450 identifizierten Straßenabschnitten bei der Umsetzung von Maßnahmen eine hohe Relevanz beigemessen werden.

Der räumliche Schwerpunkt liegt zwar in den Bezirken Mitte, Charlottenburg-Wilmersdorf, Tempelhof-Schöneberg und Friedrichshain-Kreuzberg (Beispiele siehe Abbildung 25). Allerdings finden sich auch in allen übrigen Bezirken diverse Straßenabschnitte mit hohen thermischen und/oder lufthygienischen Belastungen, denen mit der Umsetzung von (weiteren) Maßnahmen begegnet werden sollte (vgl. Kap. 5).

Dudenstraße im Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg



Torstraße im Bezirk Mitte



Bismarckstraße im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf



Tempelhofer Damm im Bezirk Tempelhof-Schöneberg



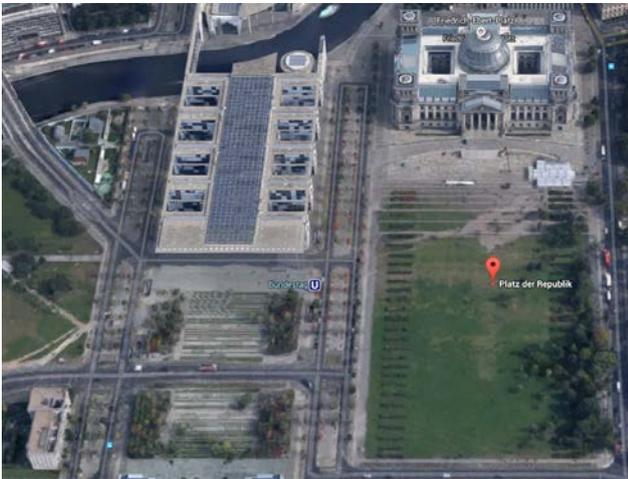
Abbildung 25: (Schräg-)Luftbilder ausgewählter Straßenabschnitte der Raumeinheit Öffentliche Straßen, Wege und Plätze, die einen besonderen stadtklimatischen Missstand aufweisen (Quelle: Google Maps - © 2015)

In der Flächenkategorie „Park | Grünfläche | Stadtplatz | Promenade“ liegt der Fokus auf den Grünflächentypen, die primär der Erholung am Tage dienen sollten. Der Missstand ist also auf ein vergleichsweise hohes thermisches Belastungsniveau aufgrund eines unzureichenden Verschattungsangebotes durch Vegetation oder fehlender sonstiger kühlender Kleinklimate (z.B. offene Wasserflächen) zurückzuführen. Klimafunktionen für den nächtlichen Kaltlufthaushalt sind bei der Flächenausweisung demzufolge ausgeklammert worden, da diese bereits Gegenstand der Hauptkarte sind (vgl. Kapitel 3.3).

Insgesamt wurden 66 Flächen ausgewiesen, deren thermisches Belastungsniveau am Tage auf einen besonderen stadtklimatischen Missstand hindeutet. Der Flächentyp 53 „Grünanlage/Park“ dominiert dabei deutlich gegenüber dem Typus 54 „Stadtplatz/Promenade“ (Verhältnis 63:3). Es handelt sich vor allem um Flächen geringerer Größe innerhalb im Zusammenhang bebauter Wohn-/Mischgebiete (u.a. Park-Triologie, Wellenpark und Altlandsberger Platz). Mehr als 50 % sind kleiner als 1 ha. Eine Ausnahme bildet der rd. 16 ha umfassende Wiesenpark im Bezirk Marzahn-Hellersdorf (Abbildung 26). Die Flächenkategorie ist die einzige, für die nicht in allen Bezirken Ausweisungen vorgenommen worden sind. In Friedrichshain-Kreuzberg, Reinickendorf und Steglitz-Zehlendorf ist die Qualität der betrachteten Flächen - die thermi-

sche Situation betreffend - demzufolge besser als in den anderen Bezirken. Der räumliche Schwerpunkt der zu sanierenden Flächen liegt in den Bezirken Mitte, Marzahn-Hellersdorf, Spandau und Pankow.

Platz der Republik im Bezirk Mitte



Wiesenpark im Bezirk Marzahn-Hellersdorf



Abbildung 26: (Schräg-)Luftbilder ausgewählter Grün-/Freiflächen, die einen besonderen stadtklimatischen Missstand aufweisen (Quelle: Google Maps - © 2015)

Über diese Flächenkulisse hinaus kann auch dem Tempelhofer Feld ein stadtklimatischer Missstand attestiert werden<sup>20</sup> (Abbildung 27). Es besitzt für die angrenzenden Wohngebiete zwar nachts eine hochgradig relevante Kaltluftlieferfunktion, tagsüber heizt sich das ehemalige Rollfeld aber aufgrund fehlender Schatten- und Wasserflächen ähnlich stark auf, wie z.B. stark versiegelte Parkplätze oder Straßenräume, was zu einer nicht unerheblichen thermischen Belastung für die Erholungssuchenden führt. In einem Gutachten wurde bereits modelltechnisch nachgewiesen, dass ein gewisser Anteil der Fläche mit Bäumen bepflanzt werden können, ohne dass die Kaltluftproduktion wesentlich gestört werden würde (GEO-NET 2010). Die Erhöhung der Mikroklimavielfalt ist also auch und gerade für das Tempelhofer Feld eine wichtige Maßnahme (vgl. Kapitel 1.1).



Abbildung 27: Das Tempelhofer Feld als Beispiel für eine Grün-/Freifläche mit einem stadtklimatischen Missstand (Quelle: Google Maps - © 2015)

<sup>20</sup> Das Tempelhofer Feld wird in der Nutzungsdatei der Blockkarte ISU<sub>5</sub> des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) z.Z. noch als Brachfläche und nicht als Park geführt und ist daher nicht Bestandteil der eigentlichen Flächenkulisse.

## 4.2 FLÄCHEN MIT EINER BESONDEREN VULNERABILITÄT GEGENÜBER DEM STADTKLIMA

Die in Kapitel 4.1 vorgenommene 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“ (vgl. Kapitel 2.2) 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 (Kapitel 4.2.1). Darüber hinaus sind auch das Vorhandensein bestimmter sensibler Gebäude-/Flächennutzungen (Kapitel 4.2.2) sowie der Versorgungsgrad von Wohngebieten mit adäquaten Grünflächen (4.2.3) Faktoren, die einen Einfluss auf das Vulnerabilitätsniveau ausüben.

### 4.2.1 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-Kreislauferkrankungen sowie Kleinkinder bis 6 Jahre (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)<sup>21</sup>.

In Berlin leben ~ 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 (Abbildung 28).

---

<sup>21</sup> Darüber hinaus kann die thermische Belastung auch Auswirkungen auf weitere Bevölkerungsgruppen haben. Allen voran Personen mit Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems. Aber auch die Konzentrations-/Leistungsfähigkeit bzw. Produktivität am Arbeitsplatz wird mit dem thermischen Komfort in Zusammenhang gebracht (Jendritzky et al. 2007).

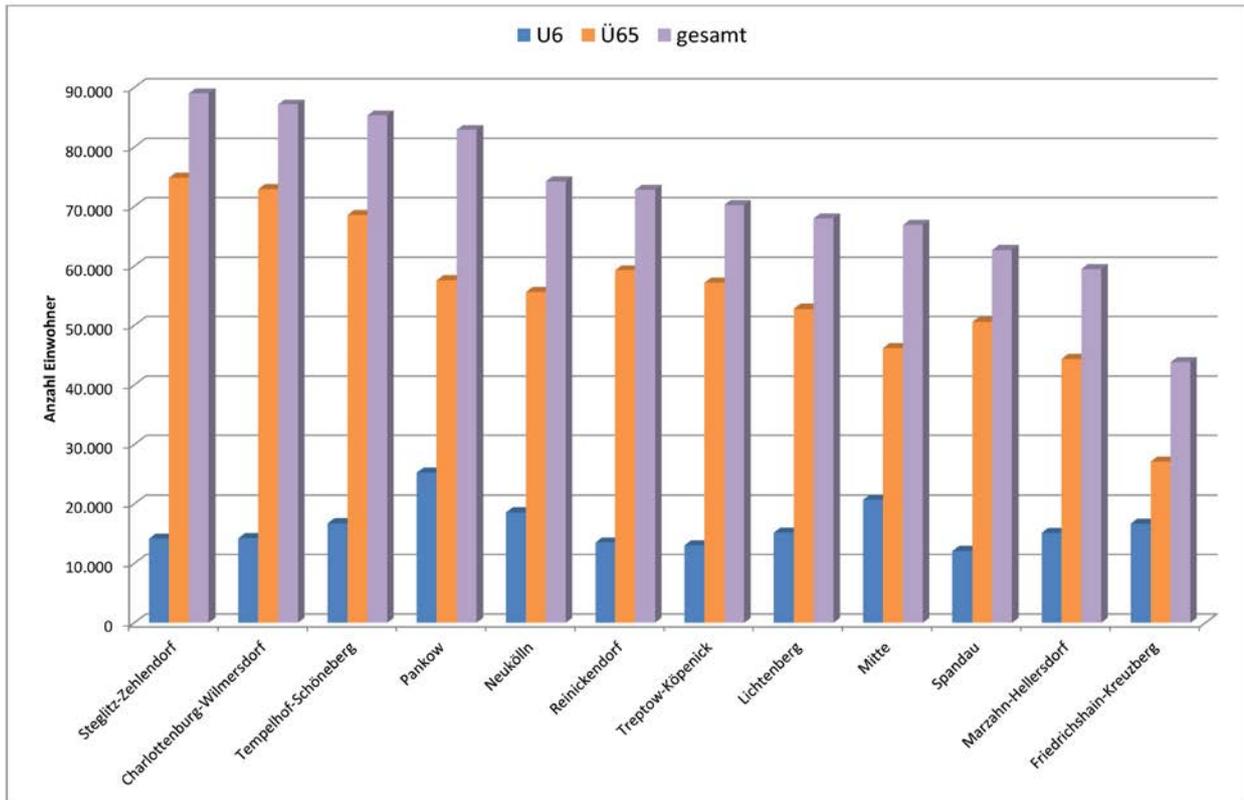


Abbildung 28: Bilanzierung der thermisch sensiblen Bevölkerungsgruppen auf der Ebene der Berliner Bezirke (Stand der Einwohnerdaten 06/2014, Statistik BBB 2014)

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. Um einen gesamtstädtischen Eindruck über diese Fragestellung zu vermitteln, wurde zunächst mithilfe von Daten des Amtes für Statistik Berlin-Brandenburg (Statistik BBB 2014) die durchschnittlichen Anteile an U6- und Ü65-jährigen in den bewohnten Block(teil)flächen der Wohn- und Mischgebiete (Stadtstrukturtypen 1-13) ermittelt. Diese liegen bei 5,6 % bzw. 19,2 %.

Denjenigen Block(teil)flächen, bei denen ein überdurchschnittlicher Anteil beider Risikogruppen auftritt und eine als „weniger günstig“ oder „ungünstig“ bewertete thermische Gesamtsituation vorherrscht, wurde eine „sehr hohe demographische Vulnerabilität“ gegenüber der örtlichen Ausprägung des Stadtklimas zugeordnet. Eine „hohe demographische Vulnerabilität“ besteht dort, wo ein überdurchschnittlicher hoher Anteil nur einer Risikogruppe wohnt. Für alle übrigen bewohnten Blöcke besteht ebenfalls eine, wenn auch vergleichsweise „geringe demographische Vulnerabilität“. Auch in diesen Gebieten wohnen altersbedingt vulnerable Menschen. Allen Block(teil)flächen der Stadtstrukturtypen 13-17 wurde keine demographische Vulnerabilität zugeordnet, da sie (weitgehend) unbewohnt sind. Allerdings können sie diverse klimasensible Nutzungen enthalten (vgl. Kapitel 4.2.2).

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 (~ 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 (Tabelle 8 und Abbildung 29).

Tabelle 8: Demographische Vulnerabilität gegenüber der thermischen Belastung - Methode und zusammengefasste Ergebnisse auf Ebene der Blockteilflächen der Blockkarte 1:5.000 (ISU5)

demographische Vulnerabilität	Stadtstrukturtyp	Methode	Anteil Blockteilflächen	Anteil an sensitivem Bevölkerungsteil	Sensitiver Anteil an Gesamtbevölkerung
<b>3 = Sehr hoch</b>	Wohn-/Mischgebiet (SST* 1-13)	Thermische Situation 3= weniger günstig oder 4= ungünstig und überdurchschnittlicher Anteil U6 und Ü65	5,5%	13,5%	3,3%
<b>2 = hoch</b>	Wohn-/Mischgebiet (SST* 1-13)	Thermische Situation 3= weniger günstig oder 4= ungünstig und überdurchschnittlicher Anteil entweder U6 oder Ü65	30,7%	61,0%	15,1%
<b>1 = gering</b>	Wohn-/Mischgebiet (SST* 1-13)	Thermische Situation 3= weniger günstig oder 4= ungünstig und unterdurchschnittlicher Anteil U6 und Ü65; Thermische Situation 1= sehr günstig oder 2= günstig	40,7%	25,5%	6,3%
<b>0 = keine</b>	Gewerbe/ Gemeinbedarf (SST* 14-17)	Entfällt, da weitgehend unbewohnt	23,1%	0%	0%
<b>gesamt</b>			100,0%	100,0%	24,7%

\* = Stadtstrukturtyp

Eine räumliche differenzierte Analyse auf Ebene der Berliner Bezirke zeigt, dass zwar eine grundsätzliche Übereinstimmung in der Verteilung der klimasensiblen Bevölkerungsgruppen (vgl. Abbildung 28) mit den Raummustern der tatsächlichen demographischen Vulnerabilität besteht, dass aber doch einige wesentliche Unterschiede bestehen (Abbildung 29 und Abbildung 30).

So stellt der Bezirk Steglitz-Zehlendorf zwar die größte Gruppe an thermisch sensiblen Personen (vgl. Abbildung 28), 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 (vgl. Kapitel 3.1). 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.

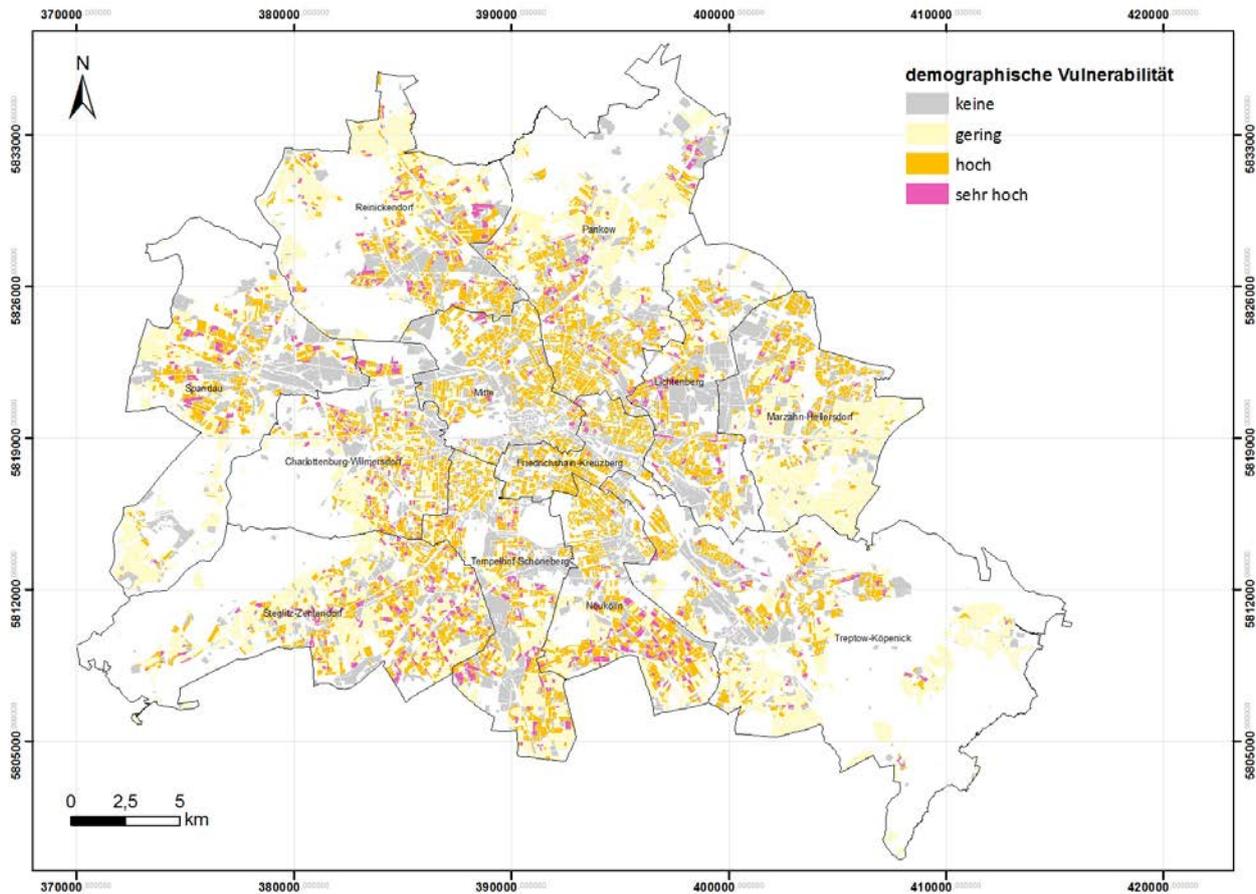


Abbildung 29: Demographische Vulnerabilität gegenüber der thermischen Belastung – Räumliche Analyse auf Ebene der Block(teil)flächen

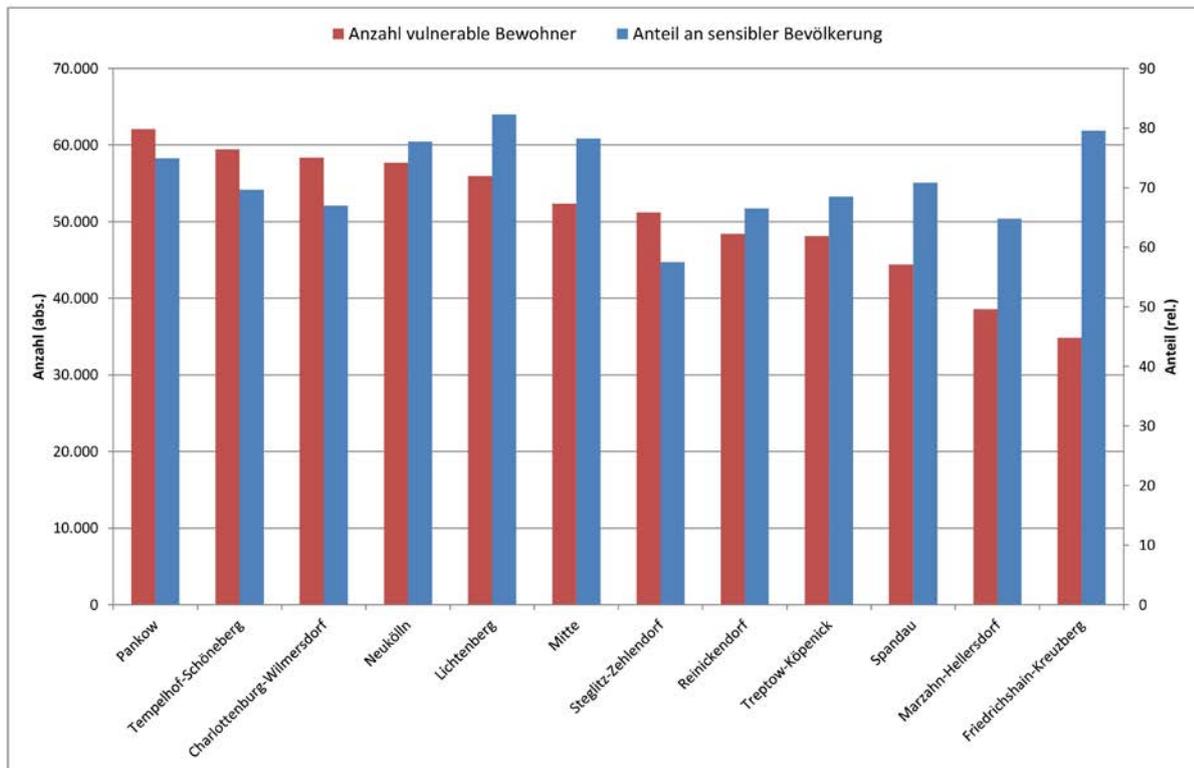


Abbildung 30: Demographische Vulnerabilität gegenüber der thermischen Belastung – Bilanzierung auf Ebene der Bezirke

#### 4.2.2 BESONDERE VULNERABILITÄTEN AUFGRUND STADTKLIMASENSIBLER GEBÄUDE- /FLÄCHENNUTZUNGEN

Als aus stadtklimatischer Perspektive sensible Flächen-/Gebäudenutzungen können vor allem solche bezeichnet werden, die bevorzugt von den in Kapitel 4.2.1 beschriebenen 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 gegenwärtig insgesamt rd. 7.300 entsprechende Einzelnutzungen (Stand der Erfassung: 2011-2014). Den Hauptanteil machen mit etwa 64 % Spielplätze und Kindertagesstätten aus (Abbildung 31).

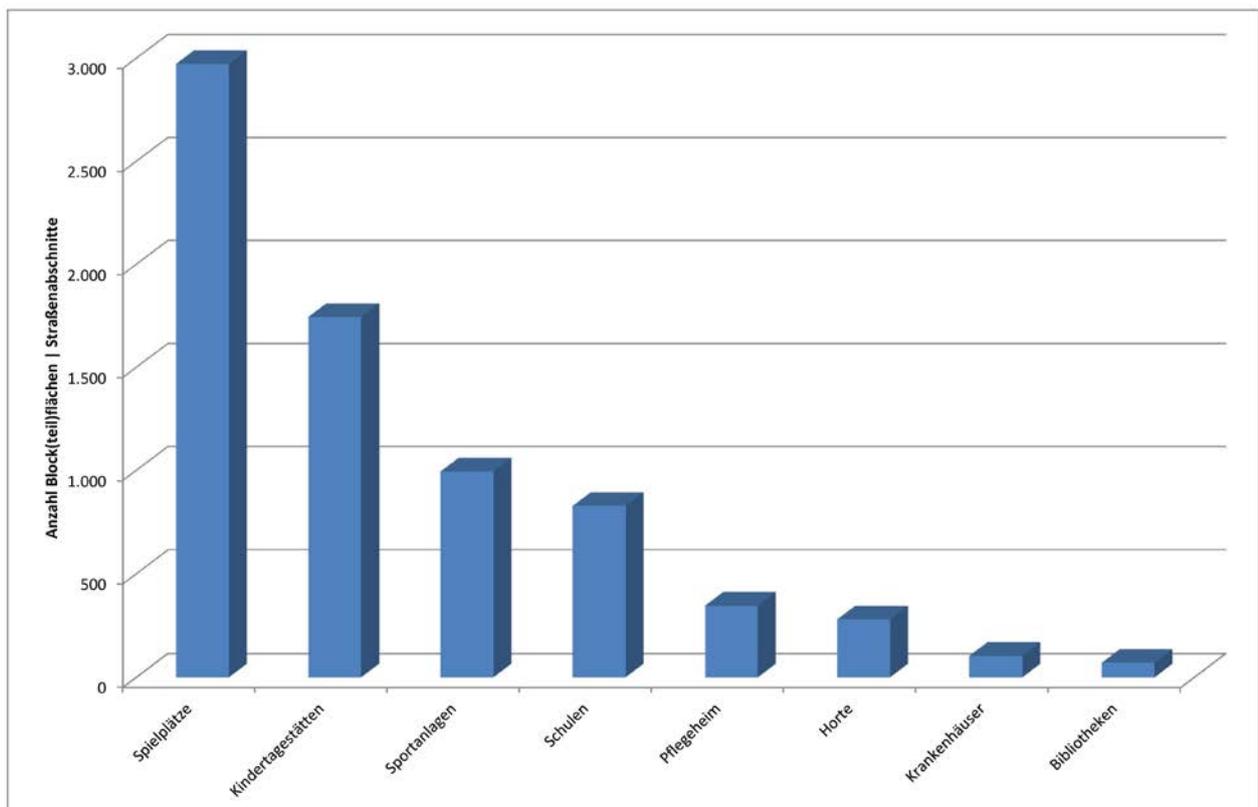


Abbildung 31: Aggregierte Auftretshäufigkeit der stadtklimatisch sensiblen Gebäude-/Flächennutzungen in den Teilflächen der drei Raumeinheiten „Siedlungsraum“, „Grün- und Freiflächen“ sowie „Öffentliche Straßen, Wege und Plätze“

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<sup>22</sup>. 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. Ein Beispiel für ein solches Quartier befindet sich im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf zwischen Bundesallee und Landhausstraße (Abbildung 32).

<sup>22</sup> In den Raumeinheiten „Siedlungsraum“ und „Grün- und Freiflächen“ kommen alle Nutzungstypen vor, bei „Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen“ lediglich die Typen „Spielplätze“ und „Sportanlagen“.

- 1= Friedrich von Bodelschwingh Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie
- 2= Altenpflegeheim Barbara von Renthe-Fink
- 3= Kita der Schwedischen Victoriagemeinde e.V.
- 4= Schulhort der Johannes-Schule-Berlin
- 5= Schwedische Schule in Berlin und Johannes-Schule Berlin
- 6= Spielplatz Landhausstraße



Abbildung 32: Beispiel für ein Cluster mit sechs verschiedenen klimasensiblen Nutzungstypen im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf (Stand der Erfassung der Standorte: 2013/2014)

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 bevölkerungsärmste Bezirk Spandau am unteren Ende auf etwas mehr als 350 Block(teil)flächen mit mindestens einer klimasensiblen Nutzung kommt (Abbildung 33 und Abbildung 34). Die Auswertung zeigt, dass auch für dieses Thema eine Relevanz in allen Berliner Bezirken besteht.

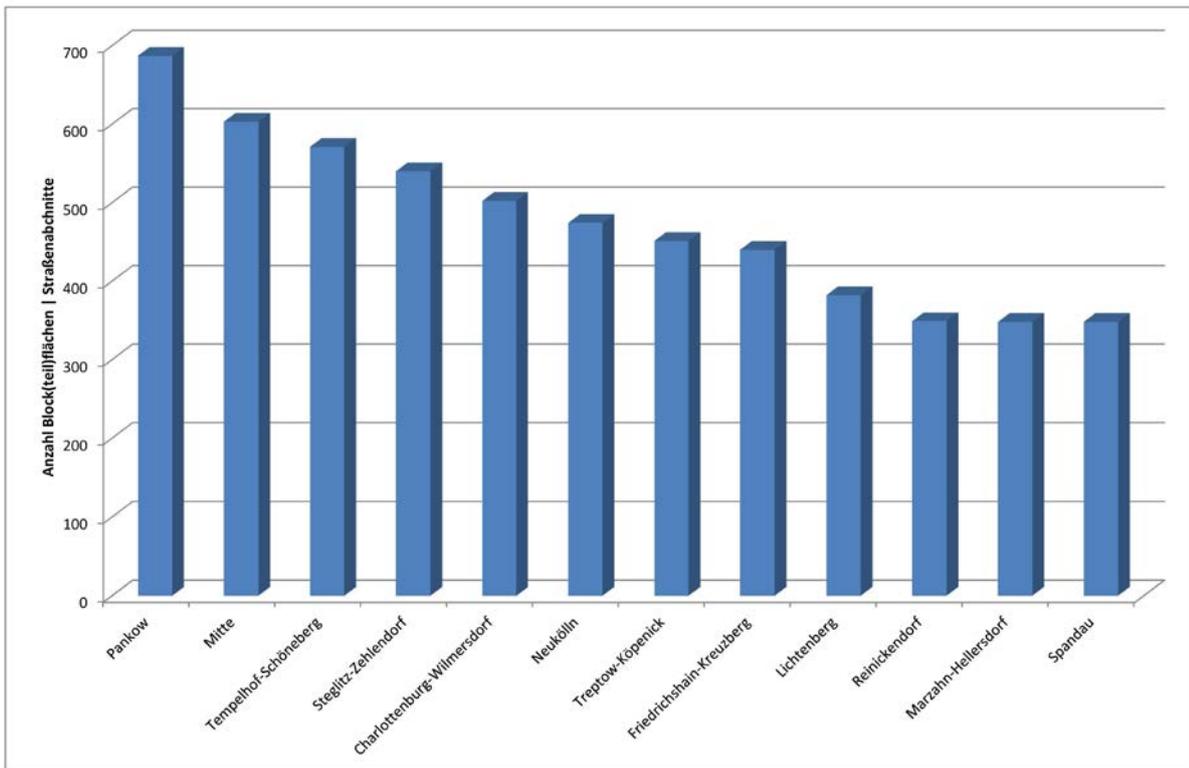


Abbildung 33: Anzahl der Einzelflächen mit klimasensiblen Gebäude-/Flächennutzungen in den Teilflächen der drei Raumeinheiten „Siedlungsraum“, „Grün- und Freiflächen“ sowie „Öffentliche Straßen, Wege und Plätze“ – Aggregation auf Bezirksebene

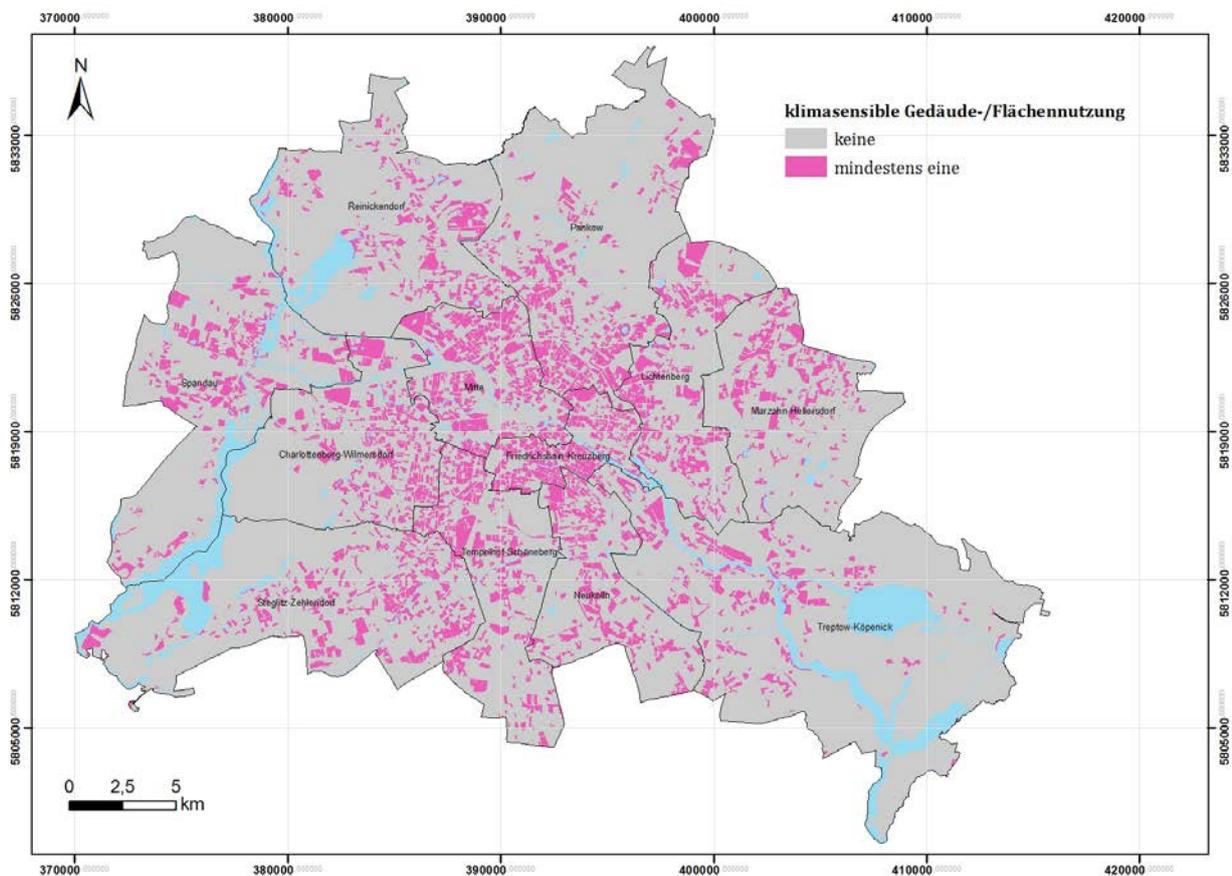


Abbildung 34: Räumlich aggregierte Darstellung der klimasensiblen Gebäude-/Flächennutzungen in den Teilflächen der drei Raumeinheiten „Siedlungsraum“, „Grün- und Freiflächen“ sowie „Öffentliche Straßen, Wege und Plätze“

Inwiefern sich aus dieser räumlichen Verteilung eine tatsächliche Vulnerabilität der einzelnen Gebiete ergibt, hängt im Wesentlichen von der geographischen Lage im differenzierten Belastungsfeld ab. Um einen gesamtstädtischen Eindruck über diese Fragestellung zu vermitteln, wurde zunächst für jeden Nutzungstypus entsprechend seines Nutzungszeitpunktes festgelegt, welche Tageszeit(en) jeweils bewertungsrelevant sind.

Demnach sind für Krankenhäuser und Pflegeheime sowohl die Tag- als auch die Nachtsituation zu berücksichtigen, während alle übrigen Typen ausschließlich tagsüber genutzt werden. In Abhängigkeit dieser Festlegung wurden anschließend individuelle Vulnerabilitätsalgorithmen festgelegt. Für die Raumeinheiten „Siedlungsraum“ und „Öffentliche Straßen, Wege und Plätze“ erfolgte eine Verknüpfung mit den Bewertungsergebnissen aus der Hauptkarte (vgl. Kap. 3). Da dort für die Grün-/Freiflächen keine vergleichbare Bewertung der thermischen Situation vorgenommen wurde, beruht die Vulnerabilitätseinstufung für diese Raumeinheit auf den Analyseergebnissen von Kapitel 4.1 (Tabelle 9).

Tabelle 9: Methode zur Ableitung der thermischen Belastung von klimasensiblen Gebäude- und Flächennutzungen

Nutzungstyp	Tagsituation relevant	Nachtsituation relevant	Methode zur Ableitung der Vulnerabilität im Siedlungsraum	Methode zur Ableitung der Vulnerabilität auf Öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen	Methode zur Ableitung der Vulnerabilität auf Grün-/Freiflächen
Krankenhaus	ja	ja	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische Gesamtsituation	-	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Pflegeheim	ja	ja	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische Gesamtsituation	-	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Spielplatz	ja	nein	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Kindertagesstätte	ja	nein	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	-	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Hort	ja	nein	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	-	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Schule	ja	nein	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	-	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Sportanlage	ja	nein	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden
Bibliothek	ja	nein	„weniger günstige“ oder „ungünstige“ thermische am Tage	-	Besonderer stadtklimatischer Missstand vorhanden

Allen Flächen, die die in Tabelle 9 genannten Bedingungen erfüllen, ist die Bewertungsstufe „hohe Vulnerabilität“ zugeordnet worden. Eine „geringe Vulnerabilität“ erhalten alle Flächen, die zwar mindestens eine sensible Nutzungen aufweisen, aber nicht in einem thermisch belasteten Umfeld liegen. Die Teilflächen, die keine sensible Nutzung aufweisen, besitzen keine besondere Vulnerabilität bezgl. ihrer Flächeninanspruchnahme.

Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen die räumlichen Muster, die sich unter Anwendung dieser Methode ergeben. Die absolut betrachtet am meisten Flächen mit vulnerablen Nutzungen liegen im Bezirk Pankow, der auch die größte Anzahl sensibler (also potentiell vulnerabler) Flächen-/Gebäudenutzungen aufweist (vgl. Abbildung 33). Abgesehen von diesem Umstand lässt das Ergebnis keinerlei Zusammenhang mehr zwischen der Auftretshäufigkeit vulnerabler und sensibler Nutzungen bzw. der Bevölkerungsstärke 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.

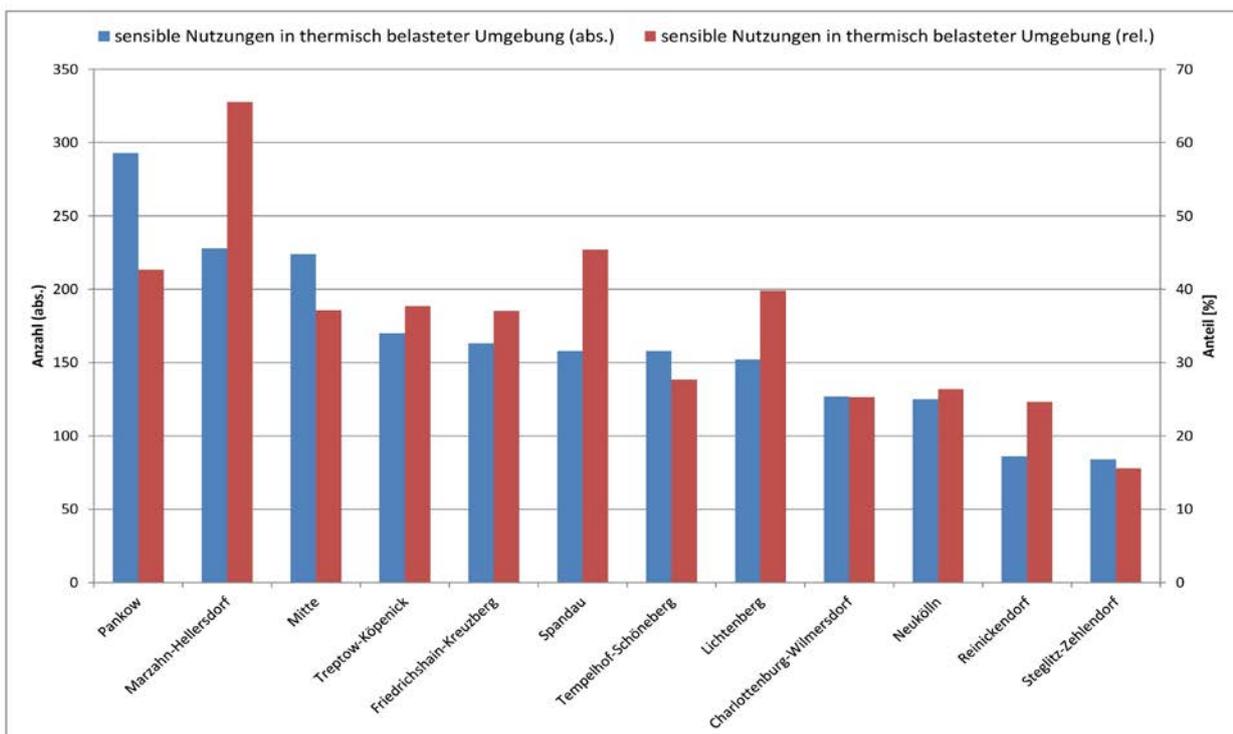


Abbildung 35: absolute Anzahl und relativer Anteil aggregierter sensibler Nutzungen in thermisch belasteter Umgebung in den 12 Berliner Bezirken

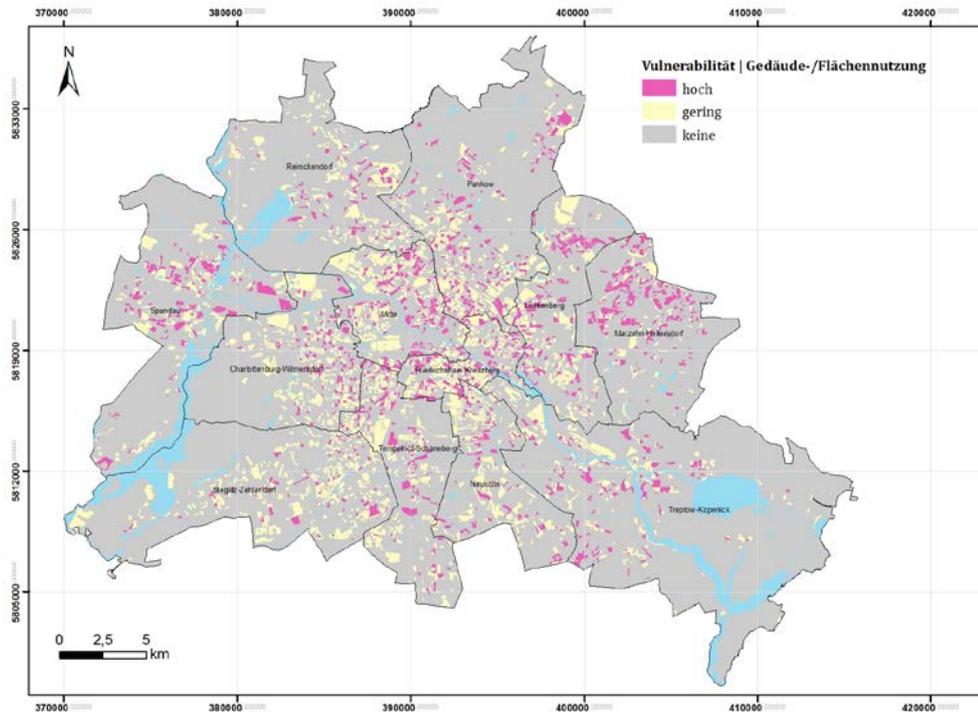


Abbildung 36: räumliche Verteilung von stadtklimasensiblen Gebäude-/Flächennutzungen

Demgegenüber entspricht die Rangfolge der absoluten Anzahl der vulnerablen Nutzungstypen exakt derjenigen der Rangordnung für die sensiblen Typen (vgl. Abbildung 31). 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.

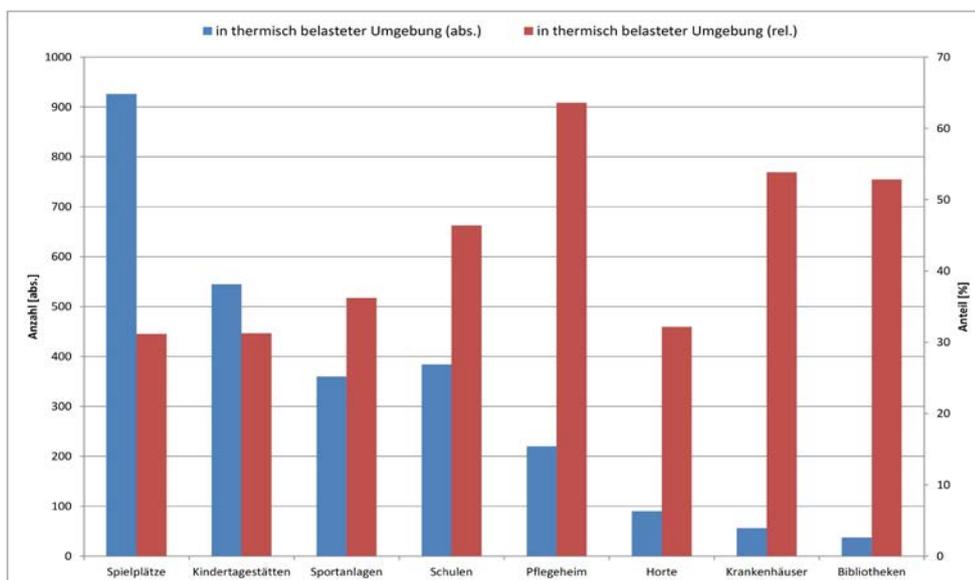


Abbildung 37: absolute Anzahl und relativer Anteil der sensiblen Nutzungstypen in thermisch belasteter Umgebung

### 4.2.3 BESONDERE VULNERABILITÄTEN AUFGRUND EINER GRÜNFLÄCHENUNTERVERSORGUNG

Über die Bereitstellung von Kaltluft (vgl. Kapitel 3.3) hinaus stellen die Berliner Frei- und Grünflächen noch eine zweite zentrale klimaökologische Dienstleistungen 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 (vgl. Kapitel 6).

Das Belastungsniveau am Tage kann aus den in Kapitel 3.1 dokumentierten Bewertungen entnommen werden. Demnach besteht für alle Wohn- und Mischgebiete (Stadtstrukturtypen 1-13) mit einer „weniger günstigen“ oder „ungünstigen“ thermischen Situation ein Bedarf an hochwertigen Grünflächen. Die im Berliner Landschaftsprogramm enthaltene Versorgungsanalyse stellt die benötigten Informationen bzgl. des Versorgungsgrades bereit (SenStadtUm 2013a). Die Klassen 4,7,8,10 und 11 stellen den Suchraum für die vulnerablen Blockflächen dar. Sie repräsentieren das Cluster, das aufgrund der Kombination aus einer unzureichenden Versorgung mit benachbarten öffentlichen Grünanlagen und einer mangelhaften Ausstattung mit privatem Grün entsteht (Tabelle 10)<sup>23</sup>.

Tabelle 10: Stufen der „Versorgungsanalyse Grün“ im Landschaftsprogramm Berlin

		Versorgung mit privaten Grünflächen			
		gering	mittel	gut	
Versorgung mit öffentlichen Grünflächen	Klasse 1	1	2	3	> 6 m <sup>2</sup> Grün
	Klasse 2	4	5	6	> 6 m <sup>2</sup> - 3,1 m <sup>2</sup>
	Klasse 3	7	8	9	3,0 m <sup>2</sup> - 0,1 m <sup>2</sup>
	Klasse 4	10	11	12	<0,1 m <sup>2</sup>

Die fett gedruckten Klassen sind im Sinne der verwendeten Methode mit Grünflächen unterversorgt

<sup>23</sup> Für 153 Blockteilflächen des Stadtstrukturtypen 1-13 (=1,5 % des Siedlungsraumes) standen keine Informationen aus der Versorgungsanalyse zur Verfügung.

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 (vgl. Kapitel 4.2.1) 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 (vgl. Abbildung 102 im Anhang), 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 38 und Abbildung 39).

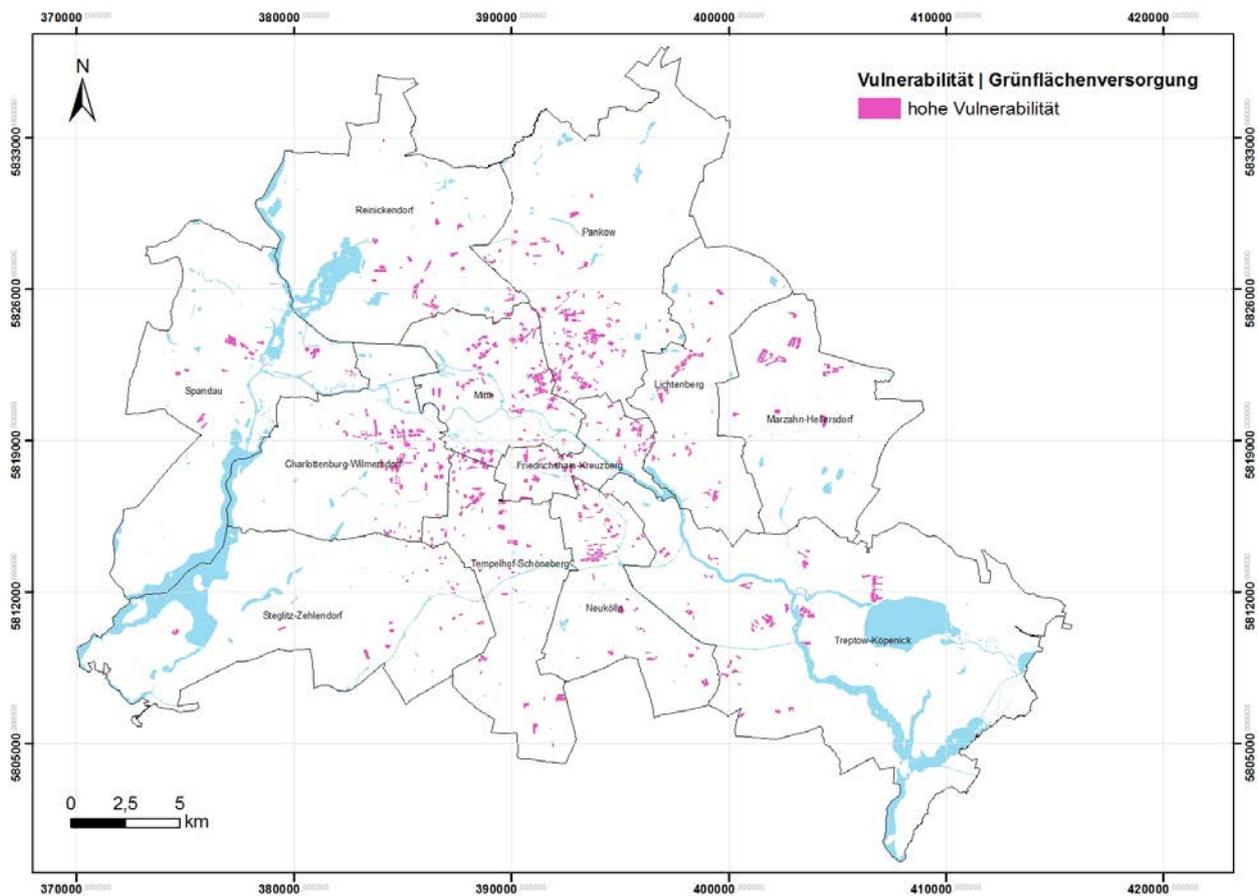


Abbildung 38: Räumliche Darstellung von Flächen mit einer besonderen Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima aufgrund einer Grünflächenunterversorgung

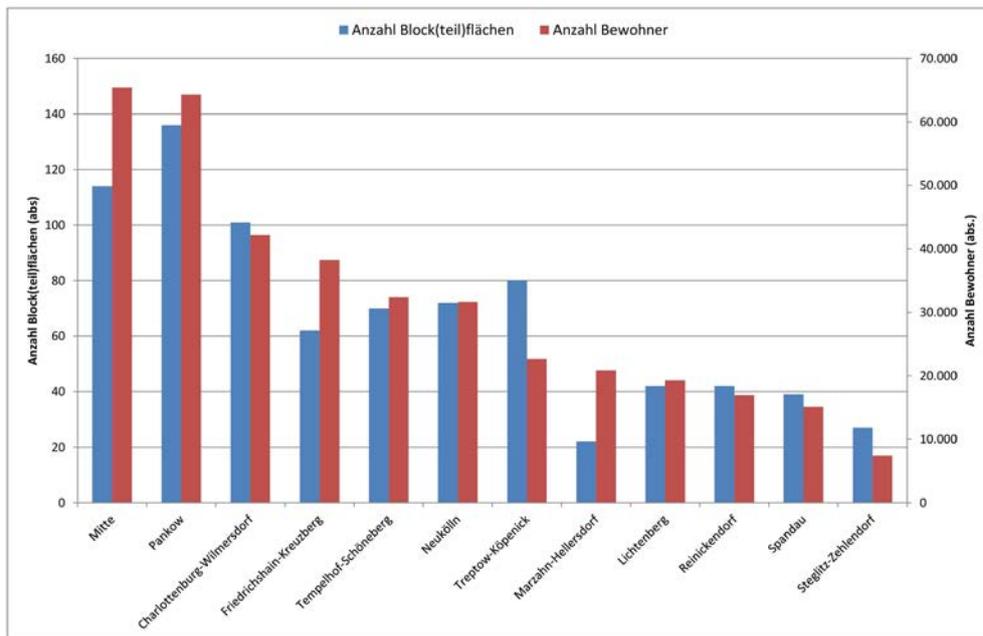


Abbildung 39: Bilanzierung der Vulnerabilität gegenüber dem Stadtklima aufgrund einer Grünflächenunterversorgung in den 12 Berliner Bezirken

# 5. Maßnahmenkatalog

In der dritten Hauptebene der PHK 2015 sind den rund 45.000 Block(teil)flächen und Straßenabschnitten 421 individuelle Kombinationen aus 30 verschiedenen Maßnahmen und Planungshinweisen zugeordnet worden (Tabelle 11). Mit 316 verschiedenen Maßnahmenkombinationen entfällt ein Großteil davon auf den Siedlungsraum, was auch in den Flächenkulissen der Einzelmaßnahmen deutlich wird (Kapitel 4.2). Des Weiteren entfallen auf Grün-/Freiflächen 92 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 (vgl. Kapitel 3) sowie in den ergänzenden Planungshinweisen (vgl. Kapitel 4) sowie ggf. einiger zusätzlicher Sach- und Geoinformationen ab (vgl. Tabelle 14 im Anhang). Aufgrund des gesamtstädtischen Maßstabes konnten nicht alle Flächenspezifika umfassend in die Analyse einbezogen werden, so dass die in Tabelle 11 zusammengefassten Ergebnisse ebenso wie die in den Kapiteln 1.1 bis 1.1 dargestellten Flächenkulissen als Vorschläge zu verstehen sind, die bei der Betrachtung einer konkreten Fläche oder einer spezifischen Maßnahme einer erneuten Überprüfung bedürfen. Tiefergehende Potential- und Wirkungsanalysen der Maßnahmen werden dringend angeraten. In diesem Zusammenhang sollte dann auch eine vertiefte Diskussion über unterstützende Instrumente und Werkzeuge zur Umsetzung der Maßnahmen erfolgen.

Die Informationen richten sich vorrangig an die für die Umsetzung der Maßnahmen zuständigen Stellen der Senatsverwaltungen und der bezirklichen Verwaltungen. Insbesondere im Zusammenhang mit Maßnahmen im Bestand sind aber auch Architekten, Investoren, Hausbesitzer und Mieter die Zielgruppe (Abbildung 40).

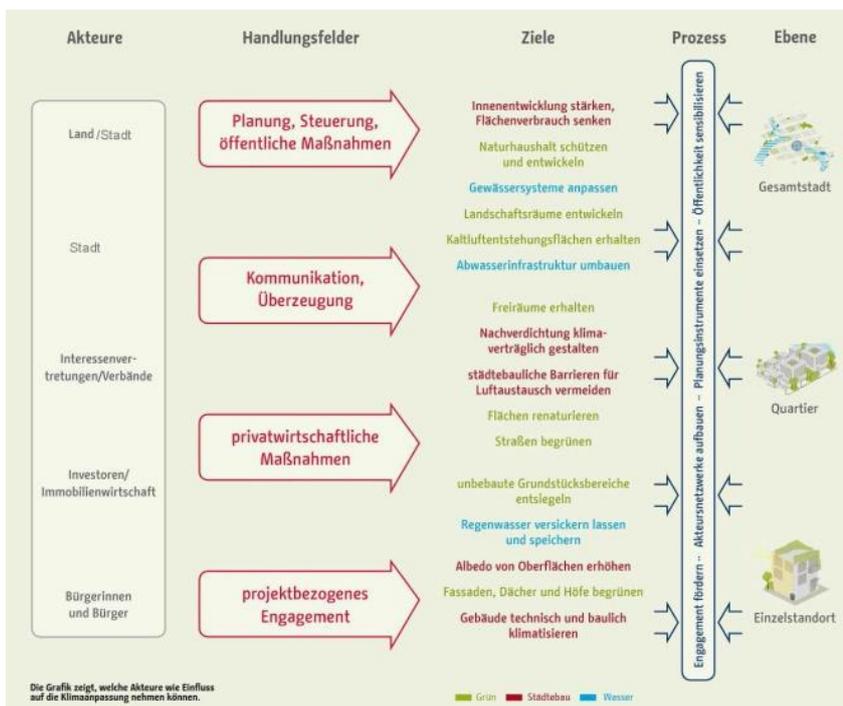


Abbildung 40: Handlungsebenen und Akteure der Klimaanpassung in Berlin (Quelle: SenStadtUm 2011)

Tabelle 11: Empfehlungen zu raumeinheitenspezifischen Maßnahmen als dritte Hauptebene der Planungshinweiskarte Stadtklima 2015

	Kurztitel	Empfohlen für die Raumeinheit			
		Siedlungsraum	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
	<b>gesamt</b>	<b>22</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>2</b>

Im Folgenden wird der für Berlin identifizierte Maßnahmenkatalog textlich beschrieben. Die 30 Einzelsteckbriefe bieten berlinspezifisches kartographisches und erläuterndes Abwägungsmaterial, Entscheidungsgrundlagen und (sofern vorhanden) Umsetzungsbeispiele in Berlin. Analog zur PHK 2015 bzw. dem gesamten Begleitdokument richtet sich der Katalog in erster Linie an die vorbereitende Bauleit- und Landschaftsplanung, die verbindliche Bauleitplanung, sowie die Stadtsanierung. Darüber hinaus können aber auch Privatpersonen und Unternehmen das Portfolio als Anregung für Maßnahmen außerhalb des Zuständigkeitsbereichs der Öffentlichen Hand verwenden.

Die Beschreibung der Maßnahmen und ihrer Wirkungen erfolgt weitgehend qualitativ. Auf die Bereitstellung von quantitativen Informationen bezogen auf das Humanbioklima wird bei den meisten Maßnahmen ganz bewusst verzichtet. Zum einen stehen verifizierte Daten nur sehr vereinzelt für ganz spezielle Fallstudien zur Verfügung. Zum anderen hängt die Wirkung sehr stark von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen, ihrer Kombination mit anderen Maßnahmen, ihrer Lage im Stadtgebiet sowie der betrachteten vertikalen und horizontalen Entfernung von der Maßnahme ab. Grundsätzlich sind aber alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Berliner Stadtbevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung des Ziels eines gesunden Berliner Stadtklimas beizutragen.

Weitere Informationen können neben dem Berliner Stadtentwicklungsplan Klima (SenStadtUm 2011) und seiner Fortschreibung (SenStadtUm 2015c) u.a. der Städtebaulichen Klimafibel (MVI 2012) sowie dem Handbuch Stadtklima (MUNLV 2010) entnommen werden, die beide kostenlos über das Internet bezogen werden können.

## 5.1 M01 - VERSCHATTUNG IM ÖFFENTLICHEN RAUM

Straßen, (Geh- und Fahrrad-)Wege sowie Stadtplätze sind der zentrale öffentliche Aufenthaltsbereich der Stadtbevölkerung und der Berlintouristen im Außenraum. Die Flächen werden entweder zum längeren Aufenthalt aufgesucht (z.B. Alexanderplatz) oder aber als Mittel zum Zweck genutzt, um ein Bewegungsziel zu erreichen (z. B. Arbeits- oder Einkaufsweg, Sightseeing). Mit Blick auf den Klimawandel (häufigere und intensivere Hitzeperioden), dem demographischen Wandel (höherer Anteil an hitzesensiblen Bevölkerungsgruppen), dem zunehmenden Fußgänger- und Fahrradverkehr sowie den weiter steigenden Touristenzahlen sollte einer nicht gesundheitlich belastenden thermischen Situation auf diesen Flächen besondere Beachtung geschenkt werden.



Abbildung 41: Begrünter Mittelstreifen, Heylstraße, Schöneberg (Fotos: Dominika Leßmann)

Die gezielte Verschattung stellt eine zentrale Maßnahme zur Erreichung dieses Ziels dar. Neben der Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Straßenraum im engeren Sinne stehen bei der Verschattung auch die Wege der gezielt zur Erholung aufgesuchten Grün-/Freiflächen im Fokus (Abbildung 42).

Die Verschattung erfolgt gegenwärtig in aller Regel mittels Bäumen und Sträuchern, vereinzelt auch durch Gebäudeanbauten (z. B. Markisen in Fußgängerzonen) oder Kleinbauten (z. B. Wartehäuschen an ÖPNV-Haltestellen). Perspektivisch ist auch der großflächigere Einsatz künstlicher Materialien denkbar (z. B. Sonnensegel).

Die Verschattung verringert die thermische Belastung durch die direkte Sonneneinstrahlung am Tage. Die beschatteten Straßen und versiegelten Gehwege speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten. Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeinseleffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden.

Modellierungen und Messungen zeigen eine kühlende Wirkung der Verschattung von mehreren Kelvin im unmittelbaren Umfeld der Maßnahmen. In der Studie zur klimatologischen Untersuchung im Bereich „Tempelhofer Freiheit“ wurde eine Reduktion der bodennahen Lufttemperatur durch Straßenbäume um 4-5 K um 14:00 Uhr modelliert (SenStadtUm 2011). Darüber hinaus übernehmen Bäume und Sträucher im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung der Maßnahme sollte darauf geachtet werden, dass der vertikale Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem

motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei mehrspurigen Straßen bieten sich begrünte Mittelstreifen zur Baumpflanzung an (Beispiel siehe Abbildung 41). Im Bereich von Luftleitbahnen dürfen Verschattungselemente zudem keine Barriere für Kalt- und Frischluftströmungen darstellen und sollten möglichst nicht quer zur Fließrichtung angelegt werden.

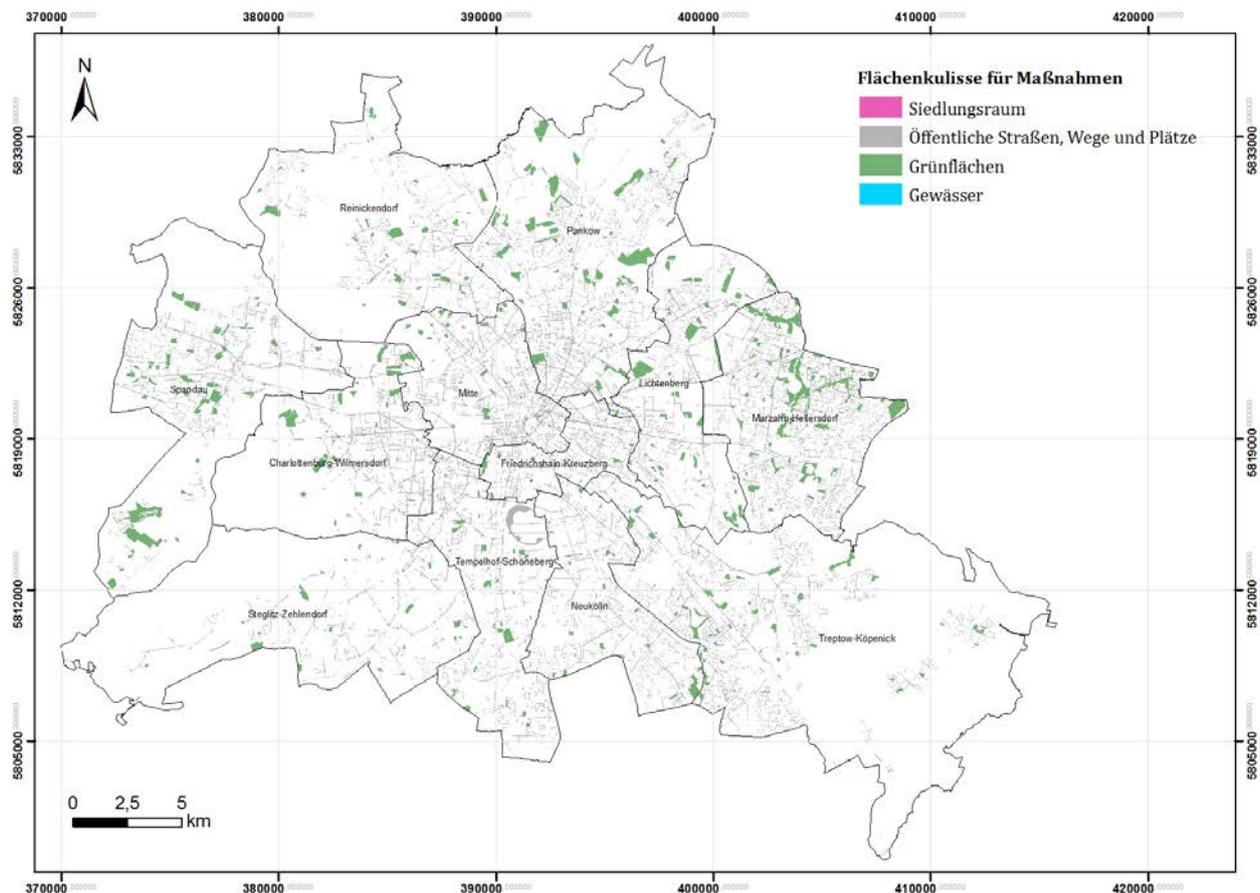


Abbildung 42: Raumbildung - Empfehlungen für Maßnahmen 01 Verschattung im Öffentlichen Raum

Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (Klima-Arten-Matrix von Rolof A. et al., 2008). Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen aufweisen, die zur Bildung von Ozon beitragen. Die wichtigsten Instrumente zur Umsetzung der Maßnahmen sind in Berlin Stadtumbau/Stadtsanierung, Verkehrswegebau/Verkehrswegesanierung sowie die Stadtbaukampagne (Abbildung 43).



Abbildung 43: Baumpflanzung finanziert aus der Berliner Stadtbaukampagne (Foto: Björn Büter)

## 5.2 M02 - BEGRÜNUNG UND VERSCHATTUNG VON PARKPLÄTZEN

Die zumeist ungehinderte Einstrahlung führt tagsüber zu einer hohen Wärmebelastung direkt auf der Parkfläche. Die hohe Wärmespeicherkapazität des Bodenbelags (Asphalt, Beton, Schotter) kann darüber hinaus auch die Abkühlung in den angrenzenden Wohngebieten verringern.

Der Einsatz von Vegetation kann diese Effekte reduzieren. Zusätzlich wird die Wärmeemission der an- und abfahrenden Kraftfahrzeuge durch Verschattung und Verdunstungskühlung kompensiert und auch der Aufheizung der PKW-Innenräume wird vorgebeugt. Alternativ oder ergänzend können Überdachungen, Sonnensegel oder ähnliche Schatten liefernde Bauten eingesetzt werden. Aufgrund der fehlenden Verdunstung, ist ihre Wirkung im Vergleich zu Bepflanzung jedoch herabgesetzt. Darüber hinaus übernehmen Bäume und Sträucher im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Durch die Begrünung wird das Gelände ästhetisch aufgewertet (Abbildung 44).



Abbildung 44: Begrünte Parkplätze: Heylstraße, Schöneberg (links) und Eschengraben, Pankow (rechts) (Fotos: Dominika Leßmann)

Die Umsetzung der Maßnahme kann beim Errichten von neuen Parkplätzen und beim Stadtumbau erfolgen. Beim Pflanzen der Bäume und Aufstellen von Sonnensegel etc. muss auf die Verkehrssicherheit geachtet werden. Es muss genügend Platz und gute Sichtbarkeit für die Einparkmanöver vorhanden sein. Je nach Besitzverhältnissen können entweder die Öffentliche Hand, Unternehmen oder Privatpersonen die zentralen Akteure darstellen.

Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (Klima-Arten-Matrix von Rolof A. et al., 2008) Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen.

Stark versiegelte Parkplätze sind in Berlin vielerorts anzutreffen, so dass ihre Begrünung und Verschattung auf thermisch belasteten Teilflächen aller Raumeinheiten empfohlen wird. Der Siedlungsraum (u.a. Parkplätze in Blockinnenhöfen oder als Bestandteil von großen Gewerbebauten) sowie Parkraum als Bestandteil öffentlicher Straßen und Plätze sind von besonderer Bedeutung (Abbildung 45).

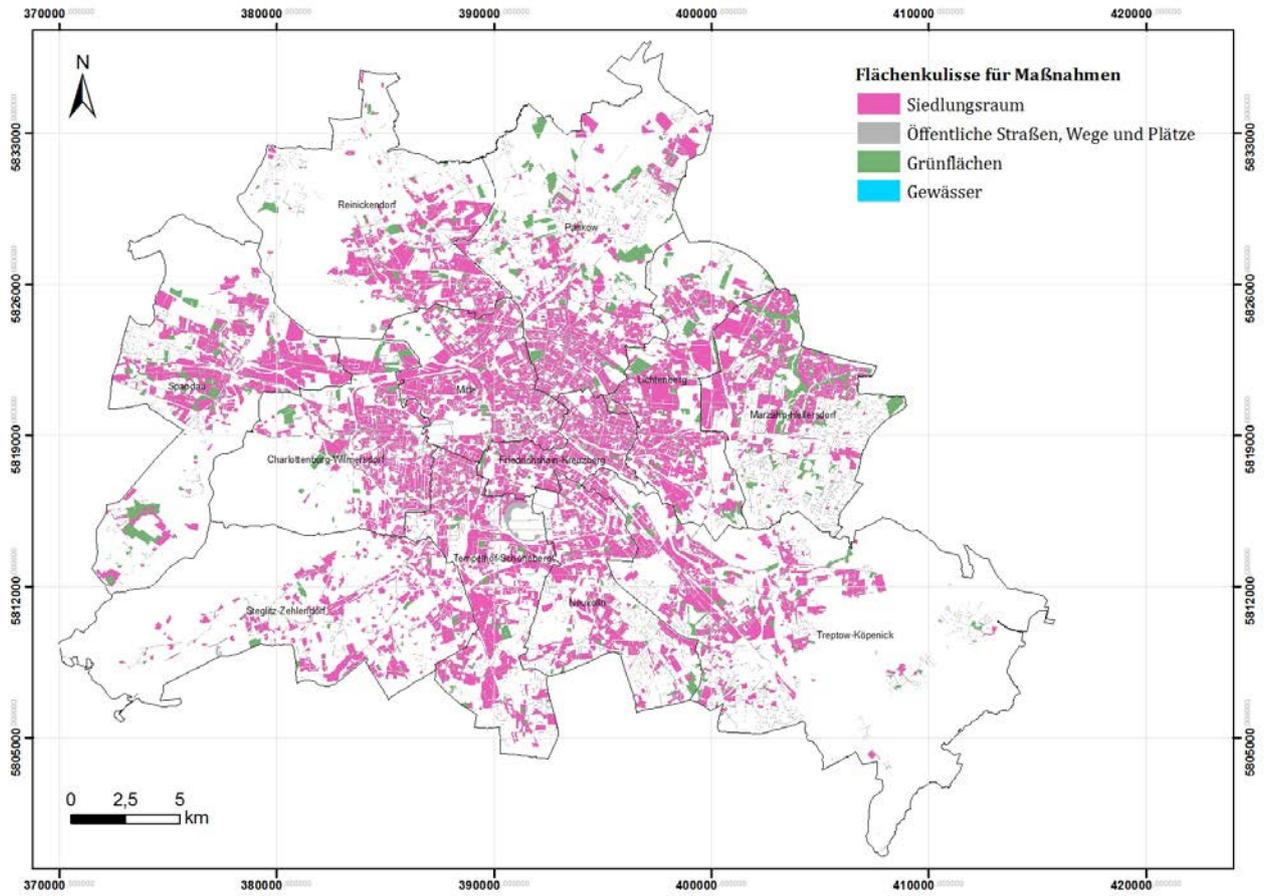


Abbildung 45: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 02 Begrünung und Verschattung von Parkplätzen

### 5.3 M03 - REDUKTION ANTHROPOGENER WÄRMEEMISSIONEN AUS DEM VERKEHR

Kraftfahrzeuge erzeugen Abwärme, die in Berlin vor allem in viel befahrenen Straßenabschnitten und stark frequentierten Industrie- und Gewerbegebieten zu einer zusätzlichen Aufheizung der Stadtmosphäre beitragen kann. Insbesondere auf diesen Flächen besitzt die Maßnahme daher eine besondere Relevanz (Abbildung 46).

Untersuchungen aus London zeigen, dass der Effekt der Größenordnung der Nettostrahlungsbilanz an einem Sommertag entspricht und somit in Großstädten einen erheblichen Beitrag zur Ausbildung der städtischen Wärmeinsel haben kann (MEGAPOLI, 2010). Das primäre Ziel der Maßnahme ist daher die Minderung der Wärmebelastung durch eine nachhaltige Reduktion der anthropogenen Wärmeemissionen aus dem Individualverkehr und dem öffentlichen Personennahverkehr.

Dies kann beispielsweise durch eine Förderung der Elektromobilität, Verkehrsberuhigungen, Einbahnstraßenregelungen, Tempolimits oder die Verbesserung des modal splits erreicht werden. Diese nicht abschließende Aufzählung macht deutlich, dass die Maßnahme vielfältige Synergieeffekte mit der Luftreinhaltung aufweist. Das zentrale Umsetzungsinstrument für Berlin stellt daher der Luftreinhalteplan 2011-2017 (SenStadtUm 2013) und somit die Öffentliche Hand den zentralen Akteur dar.

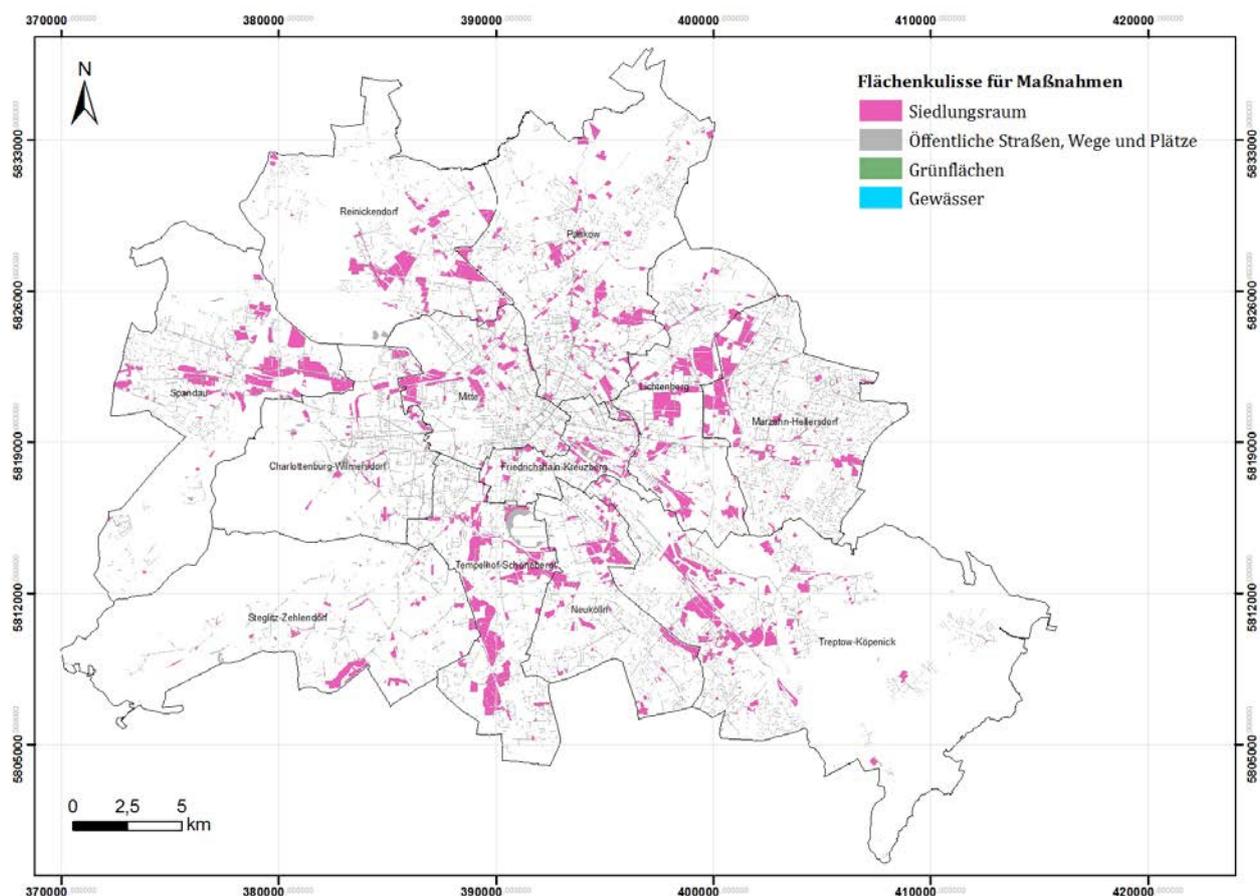


Abbildung 46: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 03 Reduktion anthropogener Wärmeemissionen aus dem Verkehr

## 5.4 M04 - BEGRÜNUNG VON GLEISTRASSEN

Straßenräume mit integrierten Tramgleisen können durch Entsiegelung und Begrünung der Gleistrassen bioklimatisch aufgewertet werden (Abbildung 47). Die Verantwortlichkeit hierfür liegt bei der Öffentlichen Hand und den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG). In Berlin besteht darüber hinaus seit 2011 ein von Unternehmen und Forschungseinrichtungen gegründetes Netzwerk, das die Entwicklung von innovativen Systemlösungen für die Gleisbegrünung unterstützt. Für die Gleisbegrünung eignet sich niedrige Vegetation wie Rasen oder Sedum. Es gibt verschiedene Ausführungsmöglichkeiten, die aufgrund der Gleisverlegung nicht nur rein gärtnerische aber auch bautechnische Aspekte beinhalten. Ausführliche Informationen liefert das Handbuch Gleisbegrünung (Grüngleisnetzwerk 2014).

Während ein mit dunklem Schotter bedeckter Gleiskörper im Sommer Oberflächentemperaturen von mehr als 50°C aufweist, wärmt sich die Vegetation nur auf etwa 25-30°C auf. Die Lufttemperatur im näheren Umfeld wird durch die Transpirationskühlung der Begrünung gesenkt. Besonders effektiv sind großflächige Begrünungen auf langen Strecken (Siegl et al. 2010 und Henze et al. 2003).



Abbildung 47: Gleisbegrünung auf der Berliner Allee (Foto: SenStadtUm Berlin)

Auch die lufthygienische Situation vor Ort verbessert sich dank der Gleisvegetation. Sie bietet ein Potenzial zur Deposition und Bindung von Feinstaub aus den Abriebprozessen der Bahnräder und aus dem benachbarten Verkehr. Bei hochliegenden Vegetationssystemen, bei denen die Schienen größtenteils eingebettet sind, wirkt die Begrünung lärmindernd. Grüne Gleise verbessern deutlich die Ästhetik der Straßen. Die optische Aufwertung hat einen positiven Einfluss auf das psychische Wohlbefinden der Straßenbahnfahrer und der BewohnerInnen (Berliner Grüngleisnetzwerk 2012).

An Stellen wo Versickerung aus wasserwirtschaftlicher Sicht gewünscht ist (keine zu hohen Grundwasserstände), kann die Gleisbegrünung zur Reduktion des Regenwasserabflusses beitragen. Großflächige Gleisbegrünung bewirkt einen guten Wasserrückhalt selbst bei starken Niederschlägen. Im Durchschnitt werden in den Sommermonaten ca. 90% der Niederschlagsmenge im Gleissubstrat gehalten (Henze et al. 2003). Sind begrünte Gleise an das kommunale Abwassernetz angeschlossen, so fließen nach einer Regenwasserspitze erst später und viel kleinere Mengen an Abflusswasser in die Kanalisation, als im Falle nicht begrünter Gleise. Zusätzlich ist das Abwasser sauberer, da es durch das Begrünungssystem gefiltert wird (Grüngleisnetzwerk 2014).

Trotz einiger guter Beispiele besteht in Berlin noch ein großes Potential auf thermisch belasteten Straßenabschnitten (Abbildung 48).

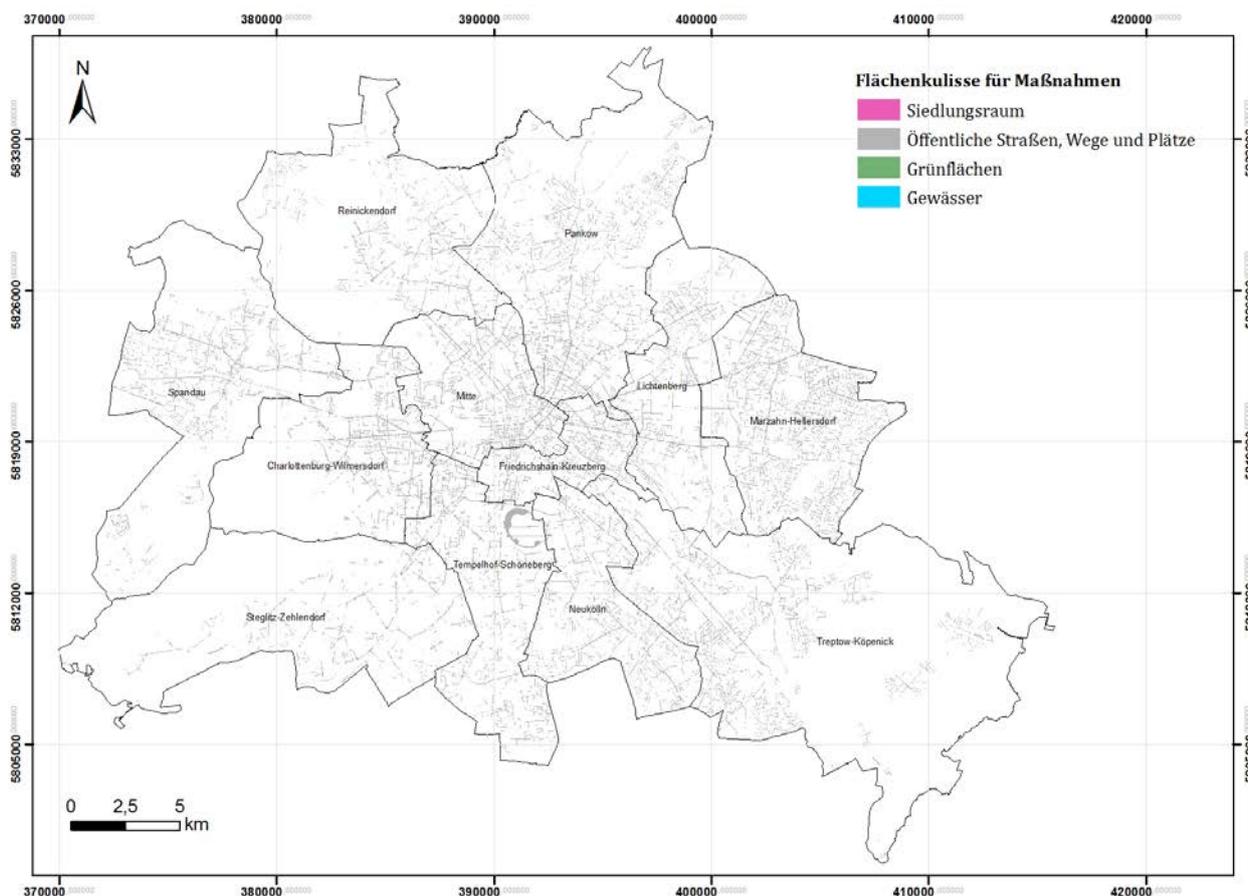


Abbildung 48: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 04 Begrünung von Gleistrassen

## 5.5 M05 - RÜCKBAU/ENTDICHTUNG

Durch den Rückbau von Gebäuden werden die Bebauungsdichte und das Bauvolumen verringert, wodurch wiederum der Wärmeineffekt lokal reduziert wird. Auf frei werdenden Flächen können klimatische Entlastungsgebiete entstehen (z.B. Pocket Parks, vgl. Kapitel 5.7). Die geringere Bebauung führt zur Verbesserung der Durchlüftung. Der erhöhte Vegetationsanteil senkt die umgebende Lufttemperatur und es kommt zur Verringerung des Regenwasserabflusses. Die Siedlung gewinnt an Ästhetik und bietet Erholungsmöglichkeiten vor Ort. Es entstehen neue Lebensräume, die im Idealfall mit weiteren vernetzt werden können.

Rückbaumaßnahmen mit anschließender Begrünung sind am konfliktärmsten in Stadtteilen mit Bevölkerungsrückgang zu realisieren. Für Städte wie Berlin mit einem flächendeckend hochdynamischen Wachstum beschränkt sich das Potential vor allem auf Blockinnenhöfe (z.B. Garagen oder Lagerhallen) sowie alte Bahnanlagen (z.B. Gleisdreieck), perspektivisch ggf. auch Industrie- und Gewerbebrachen (Abbildung 49). Folglich liegt die Verantwortung für die Umsetzung der Maßnahme eher im privaten Bereich, die Öffentliche Hand kann hier aber unterstützend tätig sein (z.B. im Rahmen des Stadtumbaus).

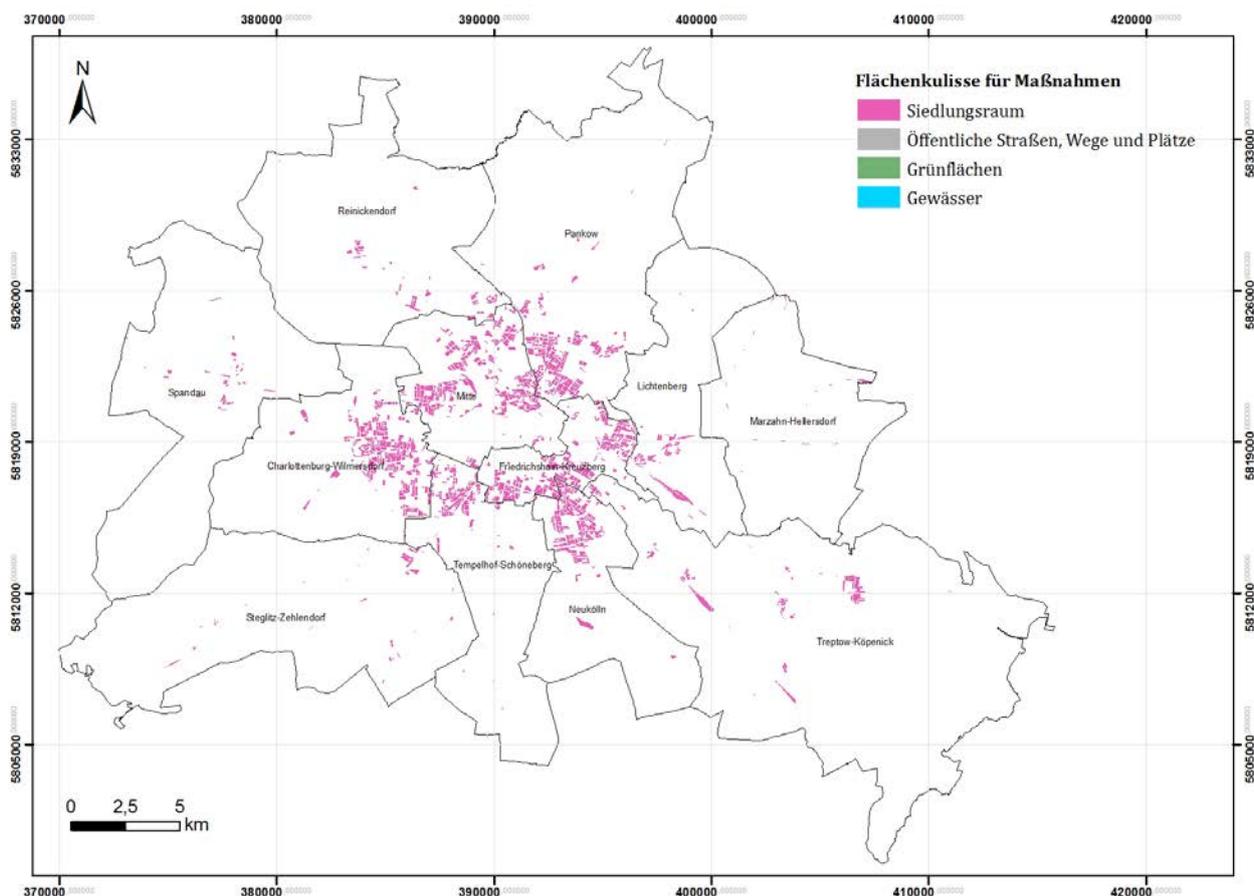


Abbildung 49: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 05 Rückbau/Entdichtung

## 5.6 M06 - ENTSIEGELUNG

Unter Entsiegelung wird der Austausch von komplett versiegelten Flächen zugunsten von teilversiegelnden Oberflächenmaterialien (z.B. Rasengittersteine, Fugenpflaster, Sickerpflaster). Auch eine Komplettentsiegelung mit anschließender Begrünung ist möglich (Sieker, 2014). Das Ziel der Maßnahme ist die (teilweise) Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktionen (Abbildung 50). Aus klimatischer Sicht sind vor allem die Effekte einer reduzierten Wärmespeicherung sowie einer erhöhten Verdunstungskühlung von Bedeutung.



Abbildung 50: Reihensteinpflaster am Reichstagufer (links) und Plattenbahn im Rasen, Zum großen Windkanal, Adlershof (rechts) (Fotos: SenStadtUm Berlin)

Entsiegelungsprojekte entsprechen zudem den Zielen des Bodenschutzes, des Hochwasserschutzes sowie eines naturnahen Wasserkreislaufs und unterstützen den Ansatz einer dezentralen Siedlungswasserwirtschaft. Die Maßnahme kann daher als multieffektiv bezeichnet werden. In Berlin ist sie insbesondere auf Gehwegen, Parkplätzen, wenig befahrenen Straßen sowie Hinter-, Innen- und Betriebshöfen umsetzbar (Abbildung 51). Insofern können sowohl die Öffentliche Hand als auch Privatpersonen und die Privatwirtschaft als zentrale Akteure identifiziert werden.

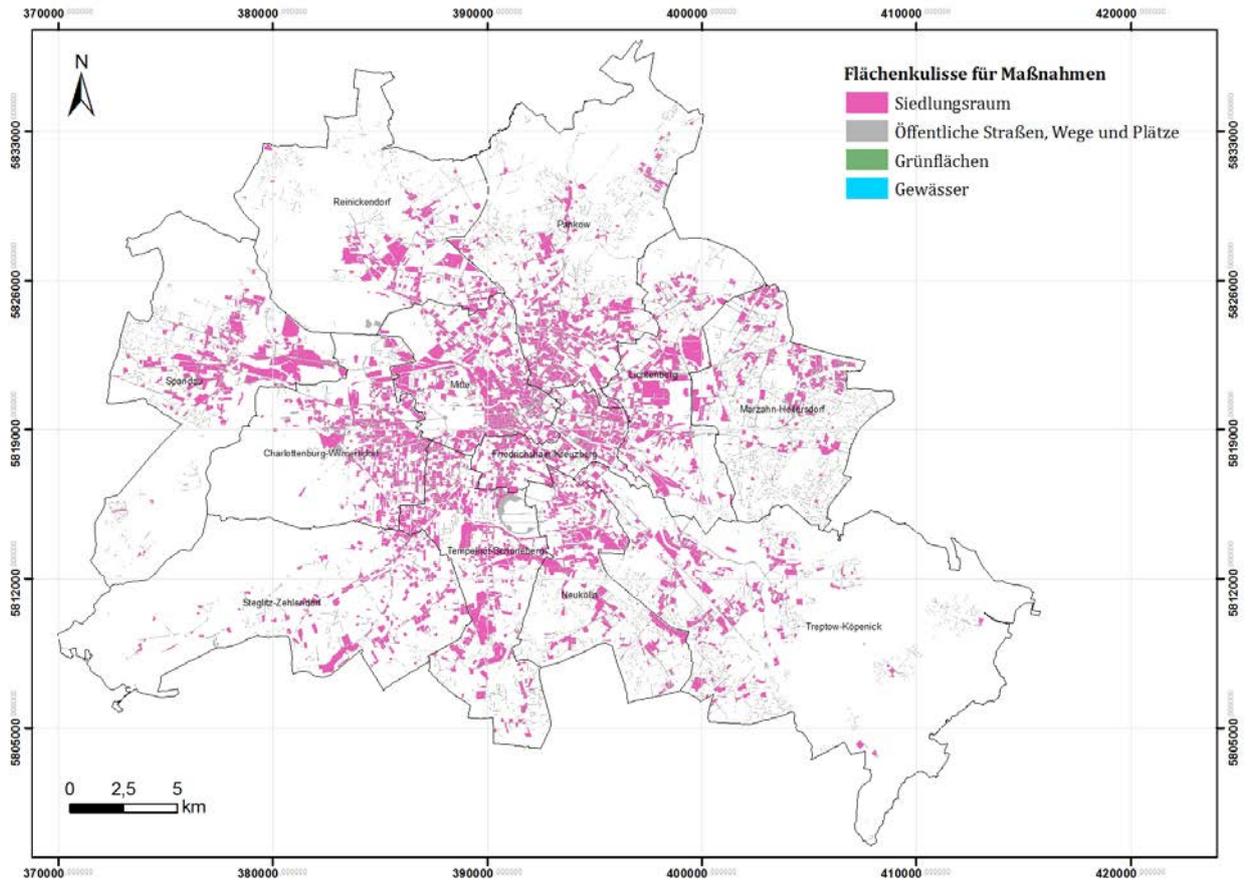


Abbildung 51: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme o6 Entsiegelung

## 5.7 M07 - SCHAFFUNG VON POCKET-PARKS

Pocket-Parks sind kleine (manchmal auch gärtnerisch gestaltete) Grünflächen im innerstädtischen Raum. Sie werden vornehmlich auf ungenutzten oder brachliegenden Flächen oder Baulücken errichtet, so dass die zentralen Akteure von den jeweiligen Besitzverhältnissen abhängig sind. Ihre Ausstattung reicht von einfachen Pflanzenbeeten und Bänken unter Bäumen bis hin zu Gartenkunst mit hochwertiger Gestaltung (Abbildung 52).



Abbildung 52: Pocket Park mit großer Mikroklimavielfalt am Bayerischen Platz

Dominieren auf der Fläche Bäume und/oder offene Wasserflächen, bieten sie an heißen Sommertagen eine lokale Kühlinselform zum Abbau des thermischen Stresses. Ein dichtes Netz aus Pocket-Parks stellt die Nutzbarkeit durch alle zu jederzeit sicher. Sind die Pocket-Parks so verteilt, dass sie zur Vernetzung größerer Grünflächen beitragen, kann ihre bioklimatische Wirkung verstärkt werden (Scherer 2007). Darüber hinaus dienen die Anlagen auch einer Verbesserung der Biotopvernetzung.

In Berlin besteht ein Bedarf an Pocket-Parks vor allem im Bereich von thermisch belasteten Wohngebieten mit einer Grünflächenunterversorgung (Abbildung 53; vgl. auch Kapitel 4.2.3). Im Wettbewerb „Urbane Paradise – unsere grünen Stadträume“ werden besonders gelungene Pocket Parks ausgezeichnet (Grüne Liga Berlin 2015).

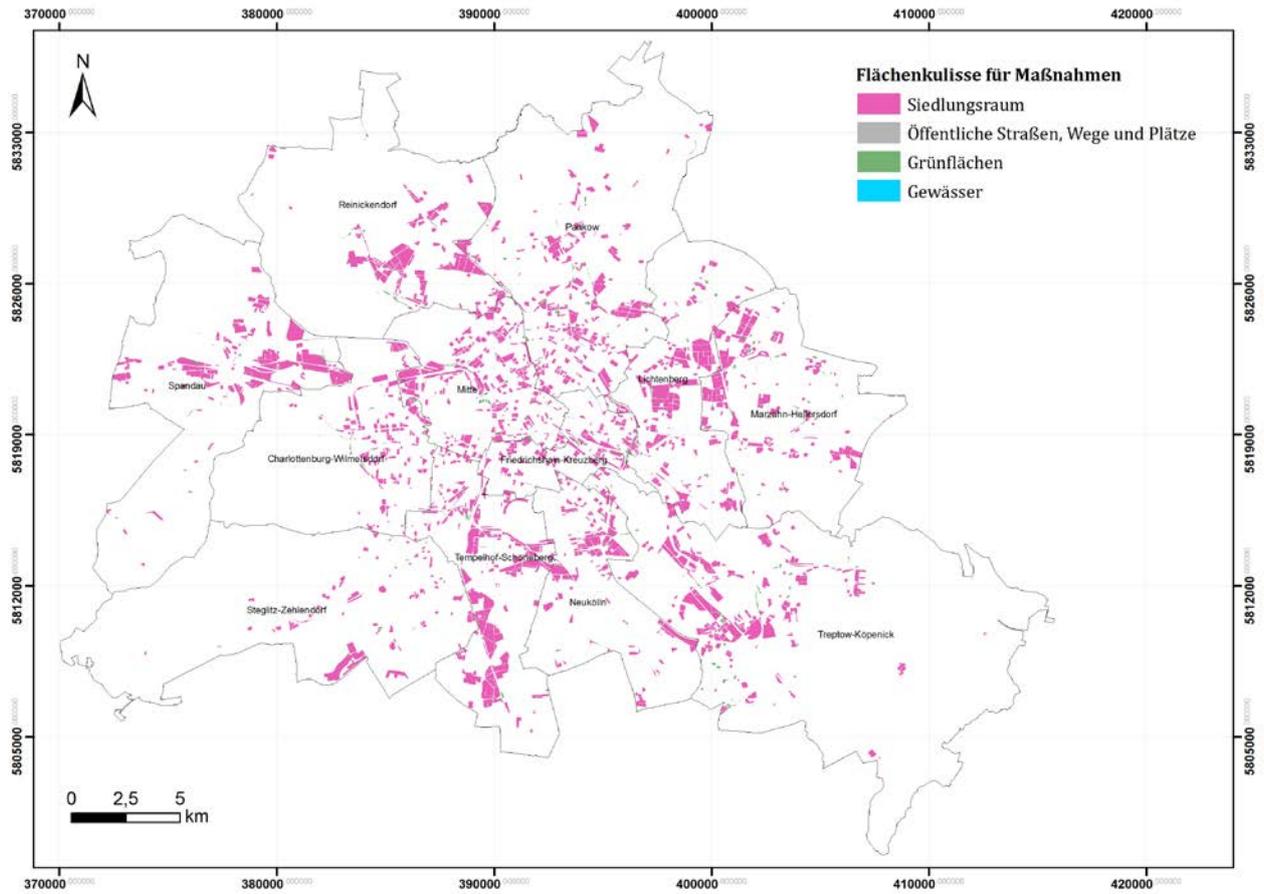


Abbildung 53: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 07 Schaffung von Pocket-Parks

## 5.8 M08 - VERBESSERUNG DER ERREICHBARKEIT VON GRÜNFLÄCHEN

Berlin gehört mit ca. 13 000 ha städtischer Grünanlagen zu einer der grünsten Hauptstädte Europas. Allerdings ist die Erreichbarkeit dieser Areale nicht in allen Stadtteilen bzw. -quartieren gleich gut. Gemäß der „Versorgungsanalyse Grün“ (SenStadtUm 2013a) sollten jedem Berliner mindestens 6 m<sup>2</sup> wohnungsnahe Grünflächen in einer Entfernung von fußläufig maximal 500 m zur Verfügung stehen. Tatsächlich werden diese Werte nicht überall erreicht, der Mittelwert liegt bei 5 m<sup>2</sup> (Kabisch und Haase 2011).

Aus humanbioklimatischer Sicht ist die Verbesserung dieser Situation vor allem in den thermisch belasteten und mit Grünflächen unterversorgten Wohngebieten prioritär (Abbildung 54). Dies kann zum einen durch die Anlage neuer Grünflächen erfolgen (vgl. Kapitel 4.2.3, 1.1 und 5.28). Zum Teil kann aber auch schon eine verbesserte verkehrliche Anbindung der Quartiere an größere und kleine Parkanlagen ausreichend sein. Hierzu gehören vor allem die Beseitigung oder Erleichterung der Querbarkeit von baulichen oder natürlichen Barrieren (Fließgewässer, Gleise oder stark befahrene Straßen), so dass die Öffentliche Hand den zentralen Akteur zur Umsetzung der Maßnahme darstellt.

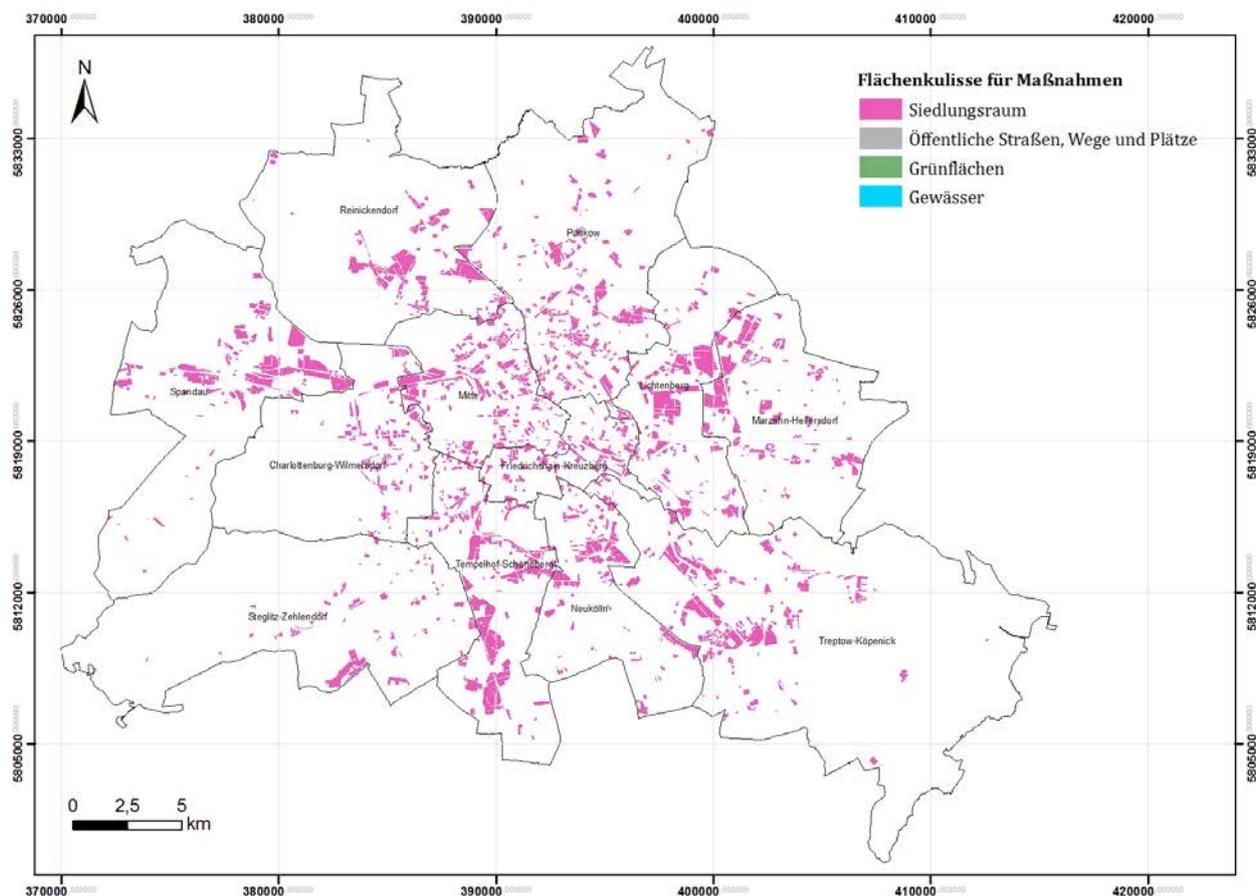


Abbildung 54: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme o8 Verbesserung der Erreichbarkeit von Grünflächen

## 5.9 M09 - INNEN-/HINTERHOFBEGRÜNUNG

Das Ziel von Innen-/Hinterhofbegrünungen liegt in der Verbesserung des Mikroklimas direkt am Ort des Eingriffs. Dabei steht die Verbesserung der Tagsituation durch die Bereitstellung von Schattenflächen im Fokus. In Kombination mit einer Entsiegelung und einer Verschattung von sonnenexponierten Gebäude-seiten kann auch eine unmittelbare Verbesserung der thermischen Situation im Gebäudeinneren insbesondere auch für die Nachtsituation erreicht werden (Abbildung 55).



Abbildung 55: Grüne Hinterhöfe in der Rosenheimerstraße im Stadtteil Schöneberg (Fotos: Dominika Leßmann)

In Berlin bieten sich insbesondere diejenigen thermisch belasteten Flächentypen für die Umsetzung der Maßnahme an, die auch über Innen- oder Hinterhöfe verfügen und nicht bereits entkernt worden sind oder einer anderen Nutzung (z.B. einer Nachverdichtung) zugeführt werden sollen (Abbildung 56). Zentrale Akteure bei der Maßnahmenumsetzung sind zum einen Privatpersonen (EigentümerInnen und BewohnerInnen) und die Privatwirtschaft (Wohnungsbaugesellschaften). Wettbewerbe und Förderprogramme können für diese Gruppe aktivierend wirken. Als effektiv haben sich in vielen Städten auch Nachbarschaftsaktionen zur Gestaltung der Hinterhöfe erwiesen (Netzwerk Nachbarschaft 2015). Zum anderen kann die Öffentliche Hand in ihren eigenen Liegenschaften auch direkt tätig werden.

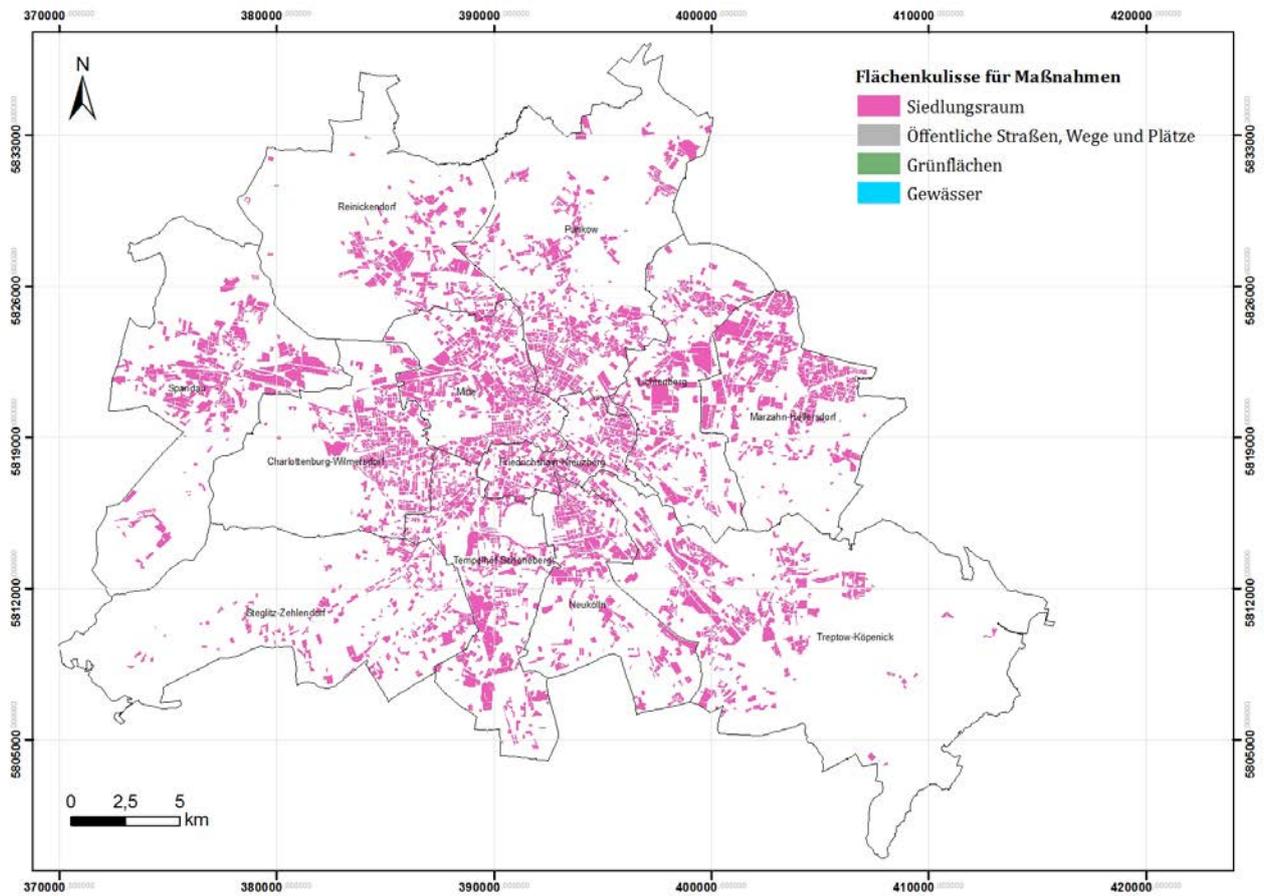


Abbildung 56: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 09 Innen-/Hinterhofbegrünung

## 5.10 M10 - VERSCHATTUNG VON GEBÄUDEN

Gebäude können durch Bäume oder Gebäudebegrünung oder auch durch bautechnische Maßnahmen verschattet werden. Das primäre Ziel ist es, die direkte Aufheizung sowie die Wärmespeicherung der Gebäude über die Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster) zu verringern. Sonnenexponierte Gebäudeseiten sind dabei von besonderer Bedeutung. Großkronige Laubbäume sind gegenüber Nadelbäumen zu bevorzugen, da sie im Winter einen vergleichsweise geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können (Abbildung 57). Bei Neupflanzungen sollte auf die Kompatibilität mit dem Klimawandel geachtet werden (vgl. Kapitel 1.1.).



Abbildung 57: Verschattete Balkone am Schmollerplatz im Stadtteil Alt-Treptow, Neukölln (Foto: Ulrich Reinheckel, SenStadtUm Berlin)

Die meisten architektonischen Möglichkeiten bieten Neubauten, viele bautechnische Elemente lassen sich aber auch nachrüsten. Ausführungsbeispiele hierfür sind Vordächer, Vertikallamellen, Markisen und Sonnensegel. Für die Maßnahmen direkt am Gebäude trägt der (private) Eigentümer die Verantwortung. In den eigenen Liegenschaften sowie im Grenzbereich zwischen Straßenraum und Privatgrundstück kann die Öffentliche Hand direkt tätig werden. Eine Verschattung ist in fast allen Flächentypen möglich und sinnvoll (Abbildung 57).

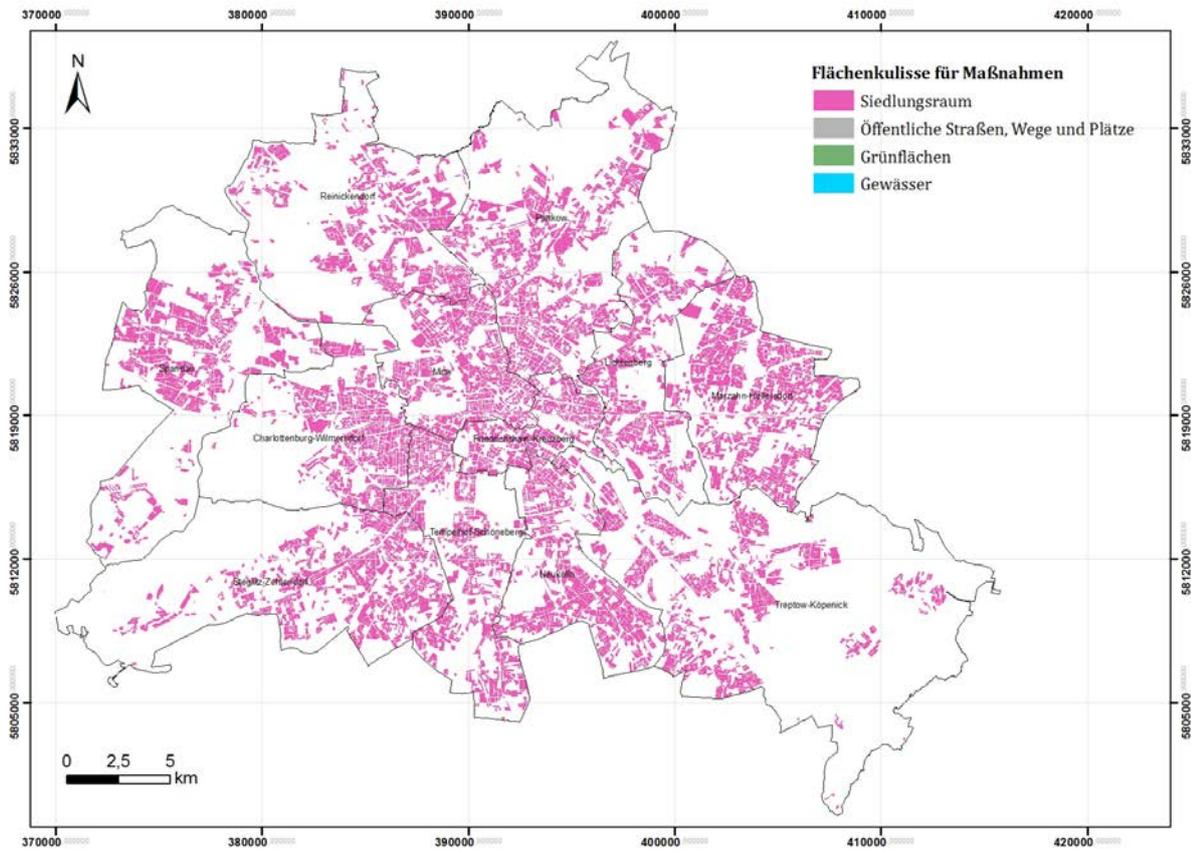


Abbildung 58: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 10 Verschattung von Gebäuden

## 5.11 M11 - ERHÖHUNG DER OBERFLÄCHEN-ALBEDO

Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Ausbildung der urbanen Wärmeinsel ist die Beschaffenheit der städtischen, nicht natürlichen Oberflächen (vor allem Gebäude, Dächer, Straßen). Sie bestimmt die Wärmeleitfähigkeit ins Gebäude (bzw. in den Boden) sowie die Oberflächentemperatur und damit die Lufttemperatur im angrenzenden Außenraum (Kuttler 2013).

Ein Maß für das Rückstrahlvermögen von Oberflächen ist die Albedo. Sie gibt das Verhältnis von einfallender zu reflektierter Strahlung an und wird in Werten von null bis eins angegeben. Eine hohe Albedo hat aus thermischer Perspektive sowohl eine positive Auswirkung auf die Wärmeleitung als auch auf die Lufterwärmung. Je höher also die Albedo der Baumaterialien oder der Fassadenanstriche („cool colors“) ist, desto mehr einfallende Sonnenstrahlung wird von ihnen reflektiert und desto geringer fällt die Erwärmung der Oberfläche und der angrenzenden Luftmassen aus. Auch die Entsiegelung und Begrünung führen oft zu einer Albedoerhöhung, da Pflanzen ein höheres Rückstrahlvermögen als beispielsweise dunkler Asphalt aufweisen.

Die Maßnahme kann zum einen beim Neubau von Gebäuden und Straßen angewendet werden. Vor allem bei Südfassaden, die der stärksten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, ist ein heller Anstrich empfehlenswert. Ein gutes Beispiel sind die „Treskow Höfe“ im Lichtenberger Stadtteil Karlshorst (Abbildung 59).



Abbildung 59: Treskow Höfe im Lichtenberger Stadtteil Karlshorst (Quelle: Berliner Morgenpost vom 19.06.2015)

Das weitaus größere Potential besteht allerdings im thermisch belasteten Bestand. Praktisch bei jedem Gebäude und jeder Flächen im Straßenraum kann im Rahmen der Instandhaltung oder Sanierung die Albedo der Fassade, des Daches oder ebenerdig versiegelten Flächen erhöht werden (Abbildung 60). Entsprechend vielfältig sind auch die entscheidenden Akteure.

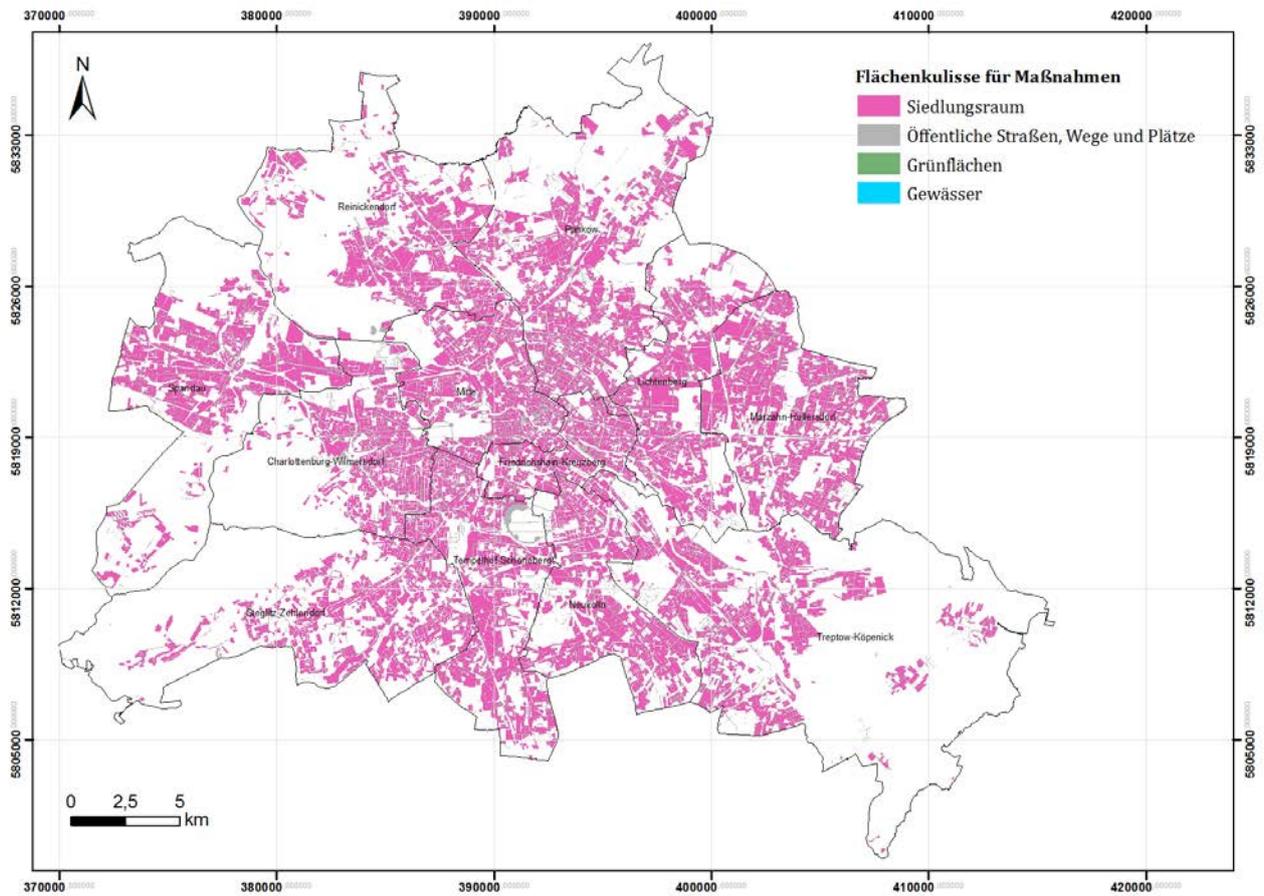


Abbildung 6o: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 11 Erhöhung der Oberflächen-Albedo

## 5.12 M12 - ANLAGE VON OFFENEN WASSERFLÄCHEN IM ÖFFENTLICHEN RAUM

Offene Wasserflächen weisen eine positive Wirkung auf die thermische Situation auf. Dies gilt insbesondere für die Tagsituation. Hier findet Verdunstung statt, die Energie aus der umgebenden Luft benötigt und diese abkühlt („Verdunstungskühlung“). Je größer die Wasseroberfläche, desto stärker ist die kühlende Wirkung. Bewegtes Wasser erzielt eine stärkere kühlende Wirkung als stehendes Gewässer, da die verdunstungsfähige Oberfläche bei der Bewegung vergrößert wird (Xue et al. 2014). In Sommernächten verbessern Wasserflächen aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität hingegen eher nicht den thermischen Komfort. Während langer Wärmeperioden können sie in den Nachtstunden sogar wärmer werden als die umgebende Luft und somit deren Abkühlung verringern (Kuttler 2013).

Ausführungsbeispiele für die Maßnahme sind Brunnen, Wasserspielplätze, künstliche Wasserfälle, Regenrückhaltebecken oder Teiche. Aus hygienischen Gründen ist in Berlin das Betreten nur bei ausgewählten Anlagen erlaubt (Stadt Berlin 2015). Im Rahmen des Vorhabens „Flussbad Berlin“ sollen 840 m des Spreekanals auf der Höhe der Museuminsel in ein Schwimmbecken verwandelt werden (Flussbad Berlin 2015). Ein weiteres gutes Beispiel ist das urbane Gewässer am Potsdamer Platz (Abbildung 61). Es ist Bestandteil des Entwässerungskonzeptes für das gesamte Quartier und zeigt das hohe Synergiepotential zwischen der dezentralen Siedlungswasserwirtschaft und dem Stadtklima auf, das auch Gegenstand aktueller Forschungen ist (KURAS 2015).

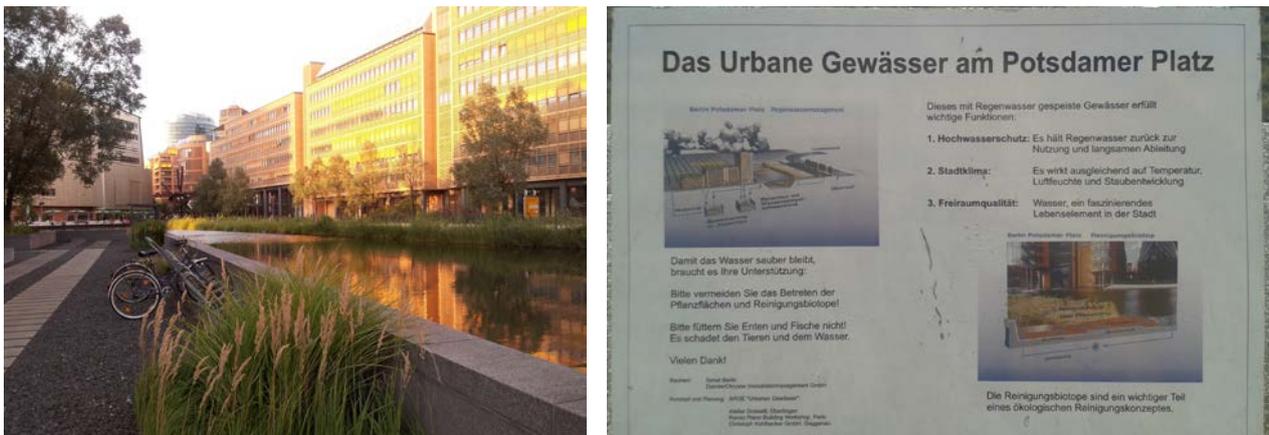


Abbildung 61: Regenwasserteich am Potsdamer Platz (Fotos: Miriam Lübbecke links, Björn Büter rechts)

Ein Potential zur Umsetzung besteht vor allem auf thermisch belasteten Flächen des Öffentlichen Raumes, so dass die Öffentliche Hand (ggf. in private public partnerships) den entscheidenden Akteur zur Umsetzung der Maßnahme darstellt (Abbildung 62).

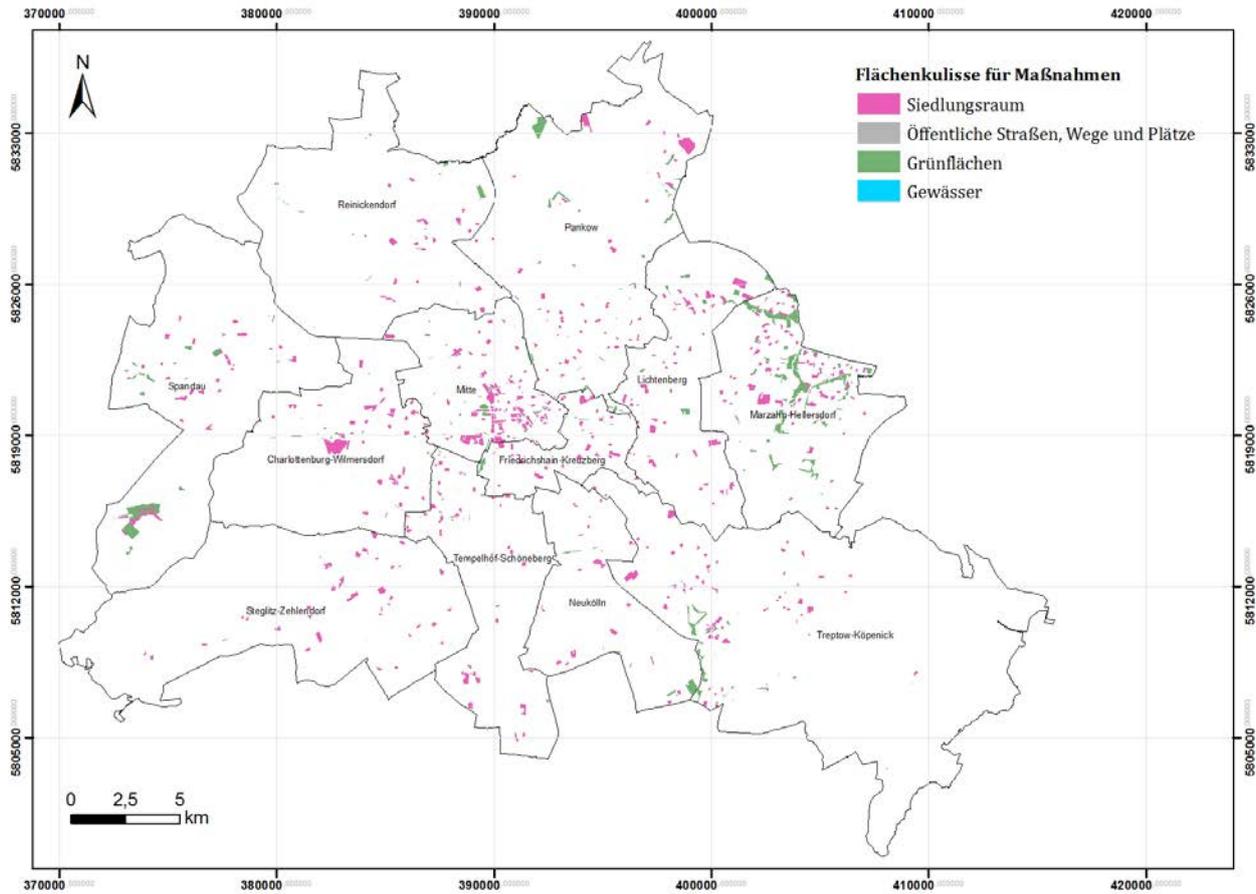


Abbildung 62: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 12 Anlage von offenen Wasserflächen im öffentlichen Raum

### 5.13 M13 - ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG

Die energetische Gebäudesanierung ist in erster Linie eine Klimaschutzmaßnahme, die durch technische und bauliche Maßnahmen den (Heiz-)Energiebedarf der zu sanierenden Gebäude verringern soll. Allerdings weisen die gängigen Dämmmaterialien auch einen geringeren Wärmedurchgang von außen nach innen auf, so dass im Sommer auch der thermische Komfort im Innenraum verbessert wird. Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2013) regelt die einzuhaltende Qualität der Dämmstoffe. Es besteht eine enge Verbindung zu M11 – Erhöhung der Oberflächenalbedo, auch Fassaden- und Dachbegrünungen weisen dämmende Eigenschaften auf (vgl. Kapitel 5.11, 5.14 und 1.1).

Angesichts einer jährlichen Sanierungsquote von ca. 1 % ist das Potential der Maßnahme auch in Berlin weiterhin sehr groß (Küchen 2015). Sanierungsmöglichkeiten der Gebäudehülle bestehen bei fast allen Flächentypen des Siedlungsraumes (Abbildung 63). Relevante Akteure sind die jeweiligen Eigentümer der Gebäude, aber auch finanzierende Banken spielen eine entscheidende Rolle (z.B. die Kreditanstalt für Wiederaufbau).

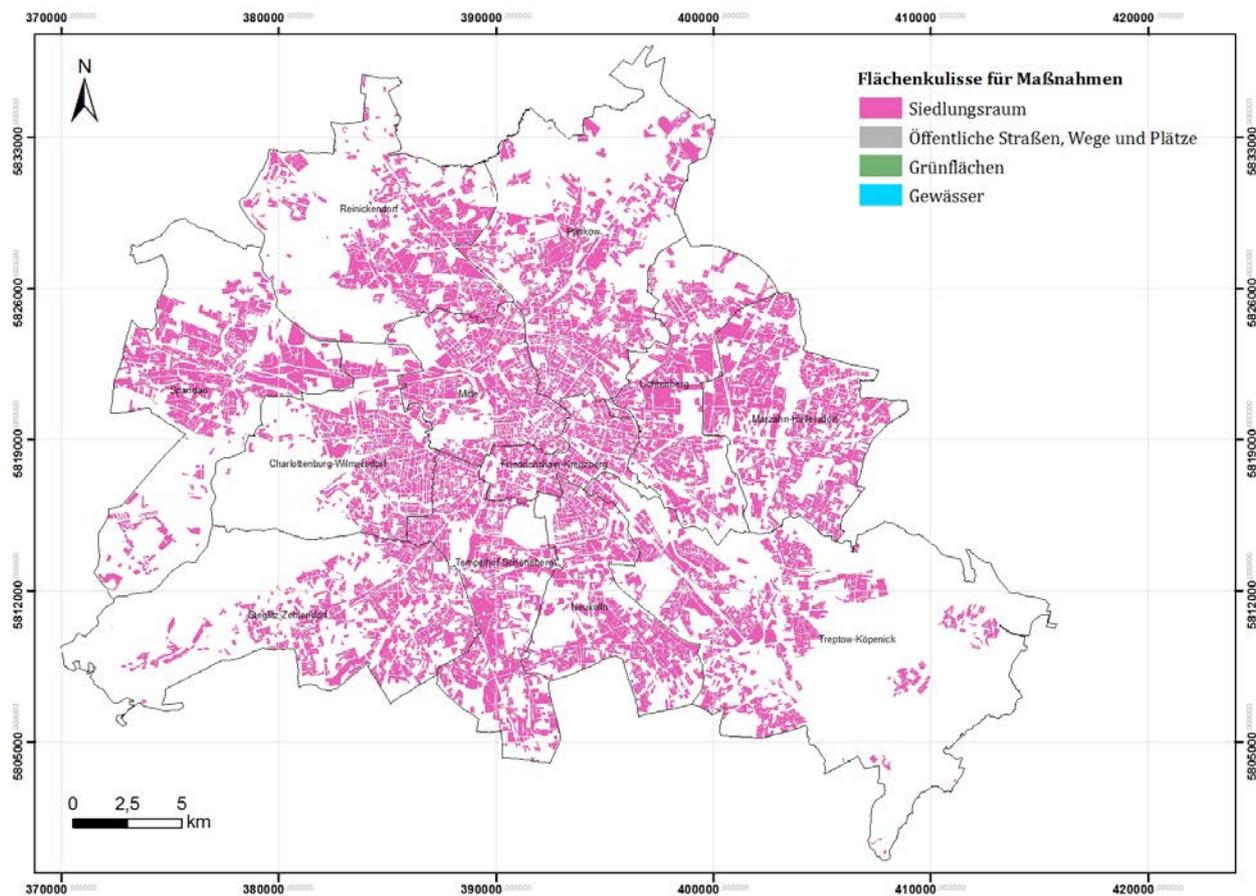


Abbildung 63: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 13 Energetische Gebäudesanierung

## 5.14 M14 - DACHBEGRÜNUNG

Es gibt grundsätzlich zwei Formen einer Dachbegrünung (Abbildung 68). Extensive Dachbegrünungen haben eine dünne Substratschicht und eine rasenartige Vegetation. Intensive Dachbegrünungen hingegen zeichnen sich durch mehrere Substratschichten und höhere Vegetation auf. Sie können je nach Platzverfügbarkeit eine Gartenlandschaft mit Bäumen, Teichen, Sumpfbzonen und Wegen darstellen und bedürfen im Regelfall einer Pflege, sowie ggf. einer Bewässerung und Düngung (FLL 2002, DDV 2011). In Berlin existieren bereits diverse umgesetzte Beispiele (Abbildung 64).



Abbildung 64: links: Extensive Dachbegrünung auf dem Dach der Marcel-Bräuer-Schule im Pankower Ortsteil Weißensee (Foto: Kompetenzzentrum Wasser Berlin); rechts: Intensive Dachbegrünung der Veranstaltungshallen 'Max-Schmeling' und 'Velodrom', Friedrichshain (Foto: Ulrich Reinheckel)

Die kühlende Wirkung einzelner Dachbegrünungen beschränkt sich auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche. Mit der Maßnahme lässt sich also vor allem das Innenraumklima in den darunter liegenden Dachgeschoßwohnungen verbessern (Groß 2012). Es kann allerdings begründet angenommen werden, dass eine Begrünung vieler Dächer auch einen signifikanten Effekt auf die gesamtstädtische Wärmeinsel aufweist. Intensive Gründächer können zudem begangen werden und bieten damit auch unmittelbar eine thermische Komfortzone. Dachbegrünungen sind mit vielen weiteren Synergieeffekten verbunden. Hierzu zählen u.a. Reduktion des Niederschlagsabflusses, Lärminderung und die Erhöhung der Biodiversität (Pfoser et al. 2013).

Alle Dachbauweisen bis ca. 45° sind für Begrünungen grundsätzlich geeignet. Eine Prüfung der statischen Verhältnisse ist erforderlich. Vor allem für die intensive Begrünung ist eine massive Baukonstruktion unabdingbar. Außerdem muss das Dach wasserdicht sein und gegen Durchwurzeln geschützt werden (FLL 2008). In Abhängigkeit dieser bautechnischen Vorgaben besteht in Berlin ein vielfältiges Potential für Dachbegrünungen in thermisch belasteten Räumen (Abbildung 65). Die entscheidenden Akteure sind die Gebäudeeigentümer, so dass für die Öffentliche Hand für ihre eigenen Liegenschaften eine unmittelbare Umsetzungskompetenz besteht.

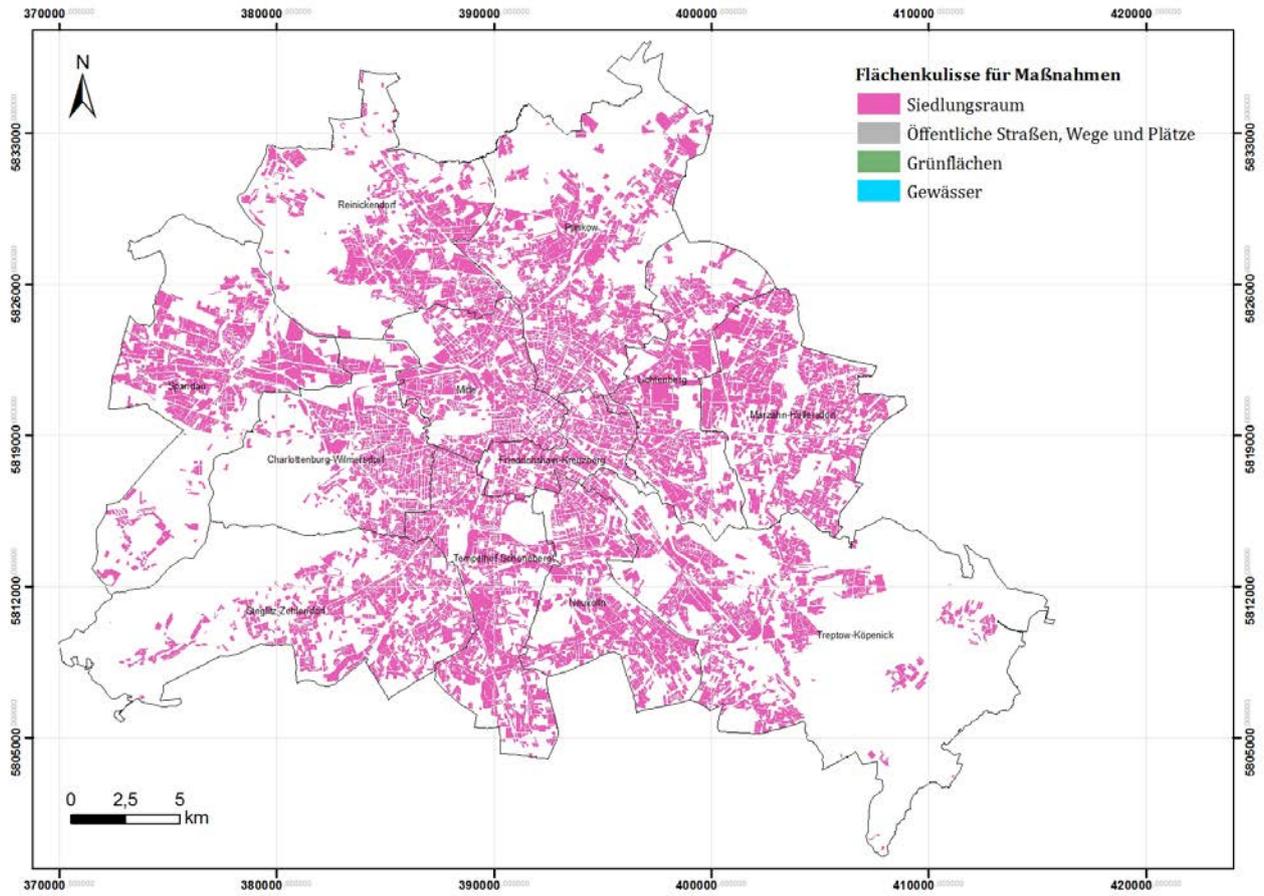


Abbildung 65: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 14 Dachbegrünung

## 5.15 M15 - FASSADENBEGRÜNUNG

Der planmäßige und kontrollierte Bewuchs geeigneter oder speziell vorgerichteter Fassaden mit Pflanzen wird als Fassadenbegrünung bezeichnet. Es wird zwischen erd- und fassadengebundenen Systemen unterschieden (Abbildung 66).

In erster Linie wirkt die Grünfassade dämmend auf das Gebäude und führt zu Abmilderung der Innentemperaturextreme im Tages- und Jahresverlauf. Das schattenwerfende Blattwerk, die Luftschicht zwischen der Vegetation und der Hauswand sowie die Evaporation verringern die Wärmeaufnahme und die Oberflächentemperatur der Gebäudehülle und erhöhen den thermischen Komfort in allen Stockwerken des Gebäudeinneren sowie im unmittelbar angrenzenden Außenklima. Ein weiterer positiver Effekt ist die Verbesserung der Luftqualität in der Nähe der Fassadenbegrünung. Die relativ große Pflanzenoberfläche adsorbiert und absorbiert den Feinstaub und andere Luftschadstoffe. Auch eine lärmindernde Wirkung der Fassadenbegrünung ist messtechnisch nachgewiesen. Ähnlich wie Dachbegrünung tragen auch Fassadenbegrünungen zur Speicherung und Verdunstung von Niederschlagswasser und damit zum Hochwasserschutz sowie zur Erhöhung der Biodiversität bei (Pfoser et al. 2013).



Abbildung 66: links: Erdgebundene Fassadenbegrünung in der Münchenerstraße im Ortsteil Schöneberg (Foto: Dominika Leßmann) rechts: systemgebundene Fassadenbegrünung des Physik-Instituts der Humboldt Universität zu Berlin (Foto: Kompetenzzentrum Wasser Berlin)

Es gibt diverse Ausführungsmöglichkeiten einer Fassadenbegrünung. Die Entscheidung hängt hauptsächlich von den Bauwerkseigenschaften ab und sollte gut geplant werden, um eventuelle Schäden am Gebäude oder der Begrünung zu vermeiden. Dabei ist sowohl der Aufbau (Pflanzenart, Befestigungsart und die entstehende Last) zu berücksichtigen als auch die späteren pflegerischen Maßnahmen (Bewässerung, Pflanzschnitt) (FLL 2000).

Das Potential der Fassadenbegrünung ist in Berlin enorm und besteht grundsätzlich in allen thermisch belasteten Siedlungsräumen (Abbildung 71). Aufgrund seiner umfassenden humanbioklimatischen Wirkung und seiner Multieffektivität in Bezug zu anderen Schutzgütern (s.o.) kann die Maßnahme als absolut prioritär bezeichnet werden. Analog zur Dachbegrünung liegt auch hier die Verantwortung für die Umsetzung der Maßnahme vor allem bei den Gebäudeeigentümern.

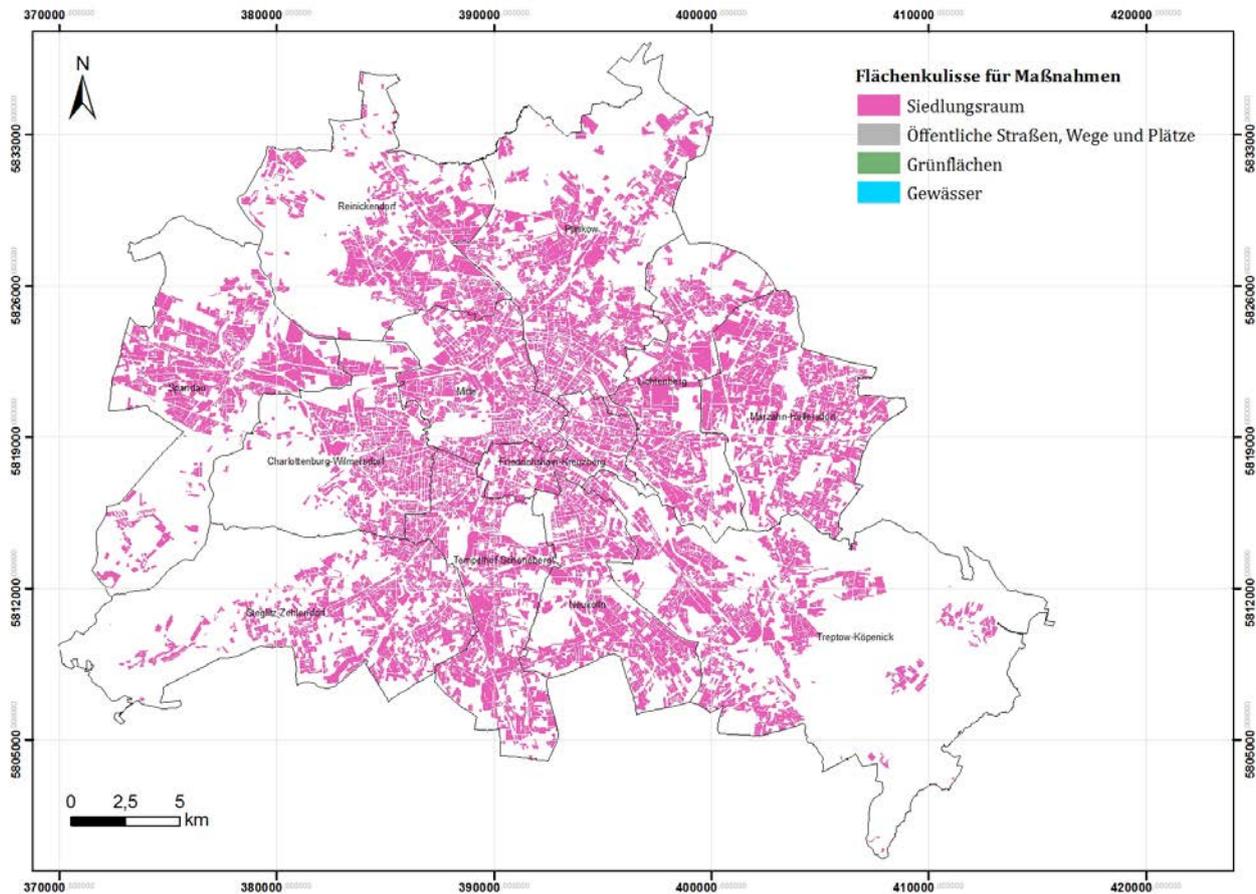


Abbildung 67: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 15 Fassadenbegrünung

## 5.16 M16 - SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ AN GEBÄUDEN

Der Überhitzung von Räumen vorzubeugen ist das wesentliche Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes. Dabei geht es darum, ein behagliches Innenraumklima während der Sommermonate sicherzustellen und gleichzeitig den Energieverbrauch für die Kühlung möglichst gering zu halten. Der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz ist in der EnEV geregelt und für neu zu errichtende Wohngebäude und Nichtwohngebäude verpflichtend (EnEV 2013 in Verbindung mit DIN 4108-2 2005). Auch für die Höhe der Raumtemperatur in Arbeitsstätten gibt es Technische Regeln (ASTA 2010).

Folgende Faktoren beeinflussen das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden (Baunetz 2015):

- Standort
- Ausrichtung des Gebäudes nach Himmelsrichtungen
- Bauweise
- Art des Sonnenschutzes und der Verglasung
- Lüftung und Nutzerverhalten

Effektive Maßnahmen um möglichst wenig Wärme in das Gebäude zu lassen, beziehen sich vor allem auf Fenster- und sonstige Glasflächen. Hier sind insbesondere außen liegende Sonnenschutzelemente wie Jalousien, Markisen und Fensterläden zu nennen. Eine weitere Möglichkeit stellt reflektierendes oder absorbierendes Sonnenschutzglas oder -folie dar (Abbildung 68). Innenliegende Elemente sind deutlich weniger effektiv, aber z.B. bei bestimmten Vorgaben des Denkmalschutzes eine gute Alternative (Baudialog, 2015).



Abbildung 68: Sonnenschutzglas am Berliner Hauptbahnhof und Marie-Elisabeth-Lüders-Haus (Fotos: Baunetz (yk), Berlin)

Neben der Verglasung sind aber auch die verwendeten Baumaterialien entscheidend. Je geringer ihre Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit sind, desto weniger tragen sie zur Aufheizung des Innenraums bei bzw. unterstützen dessen nächtliche Auskühlung. Dieser Effekt wird durch Beschattung der Gebäudehülle unterstützt (vgl. 1.1). Zum sommerlichen Wärmeschutz gehört ebenfalls eine geeignete Raumlüftung durch die Bewohner. Sie sollte nur dann erfolgen, wenn die Temperatur der Außenluft unter derjenigen der Innenraumluft liegt, also in den Nacht- oder frühen Morgenstunden. Tagsüber kann eine Lüftung hingegen zu einer zusätzlichen Erwärmung der Räume führen (Baunetz 2015).

Auch wenn der gesetzlich geregelte sommerliche Wärmeschutz speziell für Neubauten gilt, besteht das weitaus größere Potential im Bestand (Abbildung 73). Hier sind vor allem sämtliche Ansätze, die in Verbindung mit der Verglasung stehen, von Relevanz.

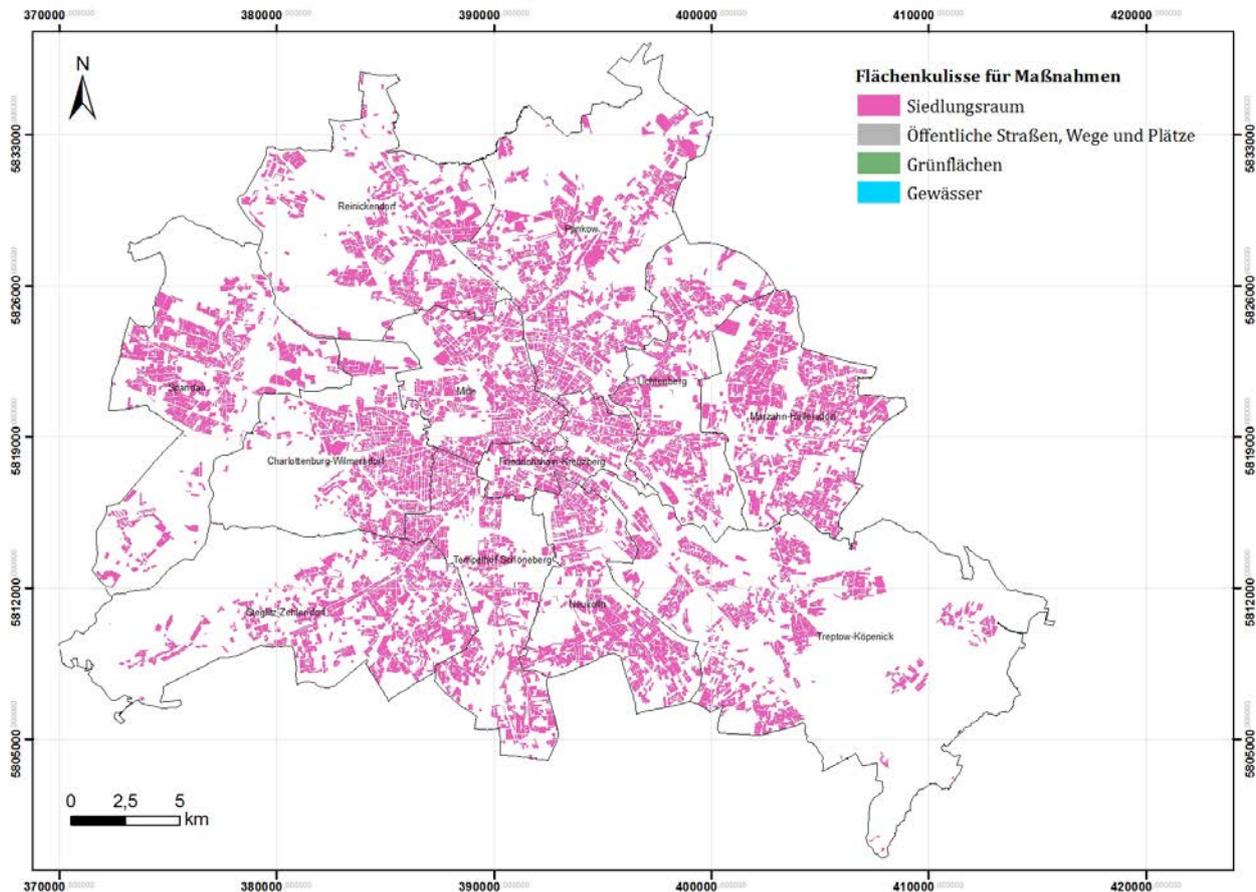


Abbildung 69: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 16 sommerlicher Wärmeschutz an Gebäuden

## 5.17 M17 - ANPASSUNG DES RAUMNUTZUNGSKONZEPTEES

Innerhalb von Wohngebäuden sind Schlafräume, Kinderzimmer und Arbeitszimmer als besonders hitzeschutzbedürftig einzustufen. In Büroräumen soll die Temperatur 26°C nicht übersteigen (ASTA 2010). Bei klimasensiblen Gebäudenutzungen sollte grundsätzlich in von den Risikogruppen genutzten Zimmern ein angenehmes – oder zumindest nicht belastendes - Raumklima herrschen (vgl. Kapitel 4.2.2). In Krankenhäusern gilt dies ganz besonders für die Säuglings- und Kinderstation sowie für die Kardiologie.

Neben Maßnahmen, die zu einer unmittelbaren Verringerung der Lufttemperatur im Innenraum führen, stellt die Anpassung des Raumnutzungskonzeptes in Bestandsgebäuden bzw. die Optimierung des Grundrisses bei Neubauten eine weitere Option zur Verringerung von thermischem Stress dar. Dies bedeutet vor allem, dass – sofern möglich – sensible Räume (s.o.) nach den Himmelsrichtungen zwischen Norden und Osten (N, NNO, NO, ONO und O) ausgerichtet werden und damit nicht dauerhaft einer unmittelbaren Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind.

In Berlin kann die Maßnahme vorrangig in Gebäuden mit klimasensiblen Nutzungen sowie in Einfamilienhaussiedlungen umgesetzt werden (Abbildung 70), die einer thermischen Belastung ausgesetzt sind.

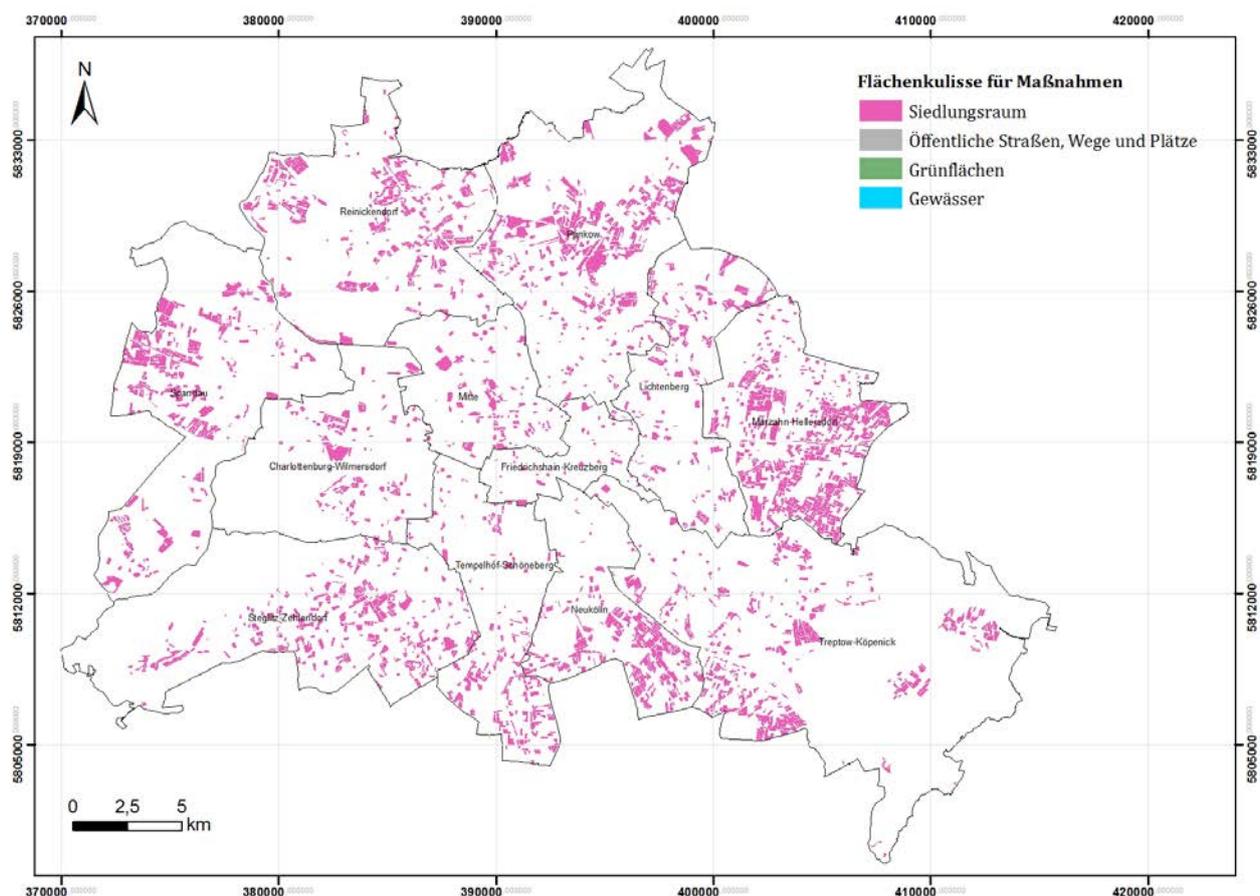


Abbildung 70: Raumnutzungskonzept - Empfehlungen für Maßnahme 17 Anpassung des Raumnutzungskonzeptes

## 5.18 M18 - TECHNISCHE GEBÄUDEKÜHLUNG

Technische Gebäudekühlung dient der Reduktion der Wärmebelastung in Innenräumen, in denen passive Maßnahmen nicht oder nicht ausreichend angewendet werden können. Aktuell werden nur rund 1-2 % der Wohngebäude aber 50 % aller Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland technisch gekühlt (Bettgenhäuser et al. 2011). Dies erfolgt auf der Basis von DIN 13779.

Klassische Klimaanlage weisen aufgrund ihres hohen Energiebedarfs sowie ihrer klimaschädlichen Kältemittel eine schlechte Ökobilanz auf (UBA 2015a). Ressourcenschonende Lösungen sind die Erdkältenutzung oder die adiabate Abluftkühlung, in der Regenwasser genutzt wird. Auch Adsorptionskältemaschinen, die durch solare Energie oder KWK-Abwärme angetrieben werden, werden derzeit erprobt und weiterentwickelt (SenStadtUm Berlin 2010a).

Ein gutes Beispiel für eine nachhaltige Gebäudeklimatisierung in Berlin sind die Gebäudekomplexe am Potsdamer Platz. Sämtliche Bürokomplexe (z.B. der Bahntower), Botschaften, Ministerien sowie die Mall of Berlin werden über eine klimaneutral arbeitende Kältezentrale gekühlt (Abbildung 71; Tagesspiegel 2015).



Abbildung 71: links: Bahntower (Foto Miguel Silva Barral); rechts: Mall of Berlin (Holger Siems/BerlinOnline)

Aber auch sonstige Gebäude des Gemeinbedarfs und der sozialen Infrastruktur müssen in Berlin gekühlt werden. Die TU Berlin und die Berliner Charité untersuchen daher gemeinsam die Wirkung von gekühlten Krankenzimmern auf die Genesung lungenkranker Patienten (TU Berlin 2015, Berliner Zeitung 2015). Abbildung 72 weist die Flächenkulisse für Berlin aus, die sowohl thermisch belastet ist als auch das Potential für eine technische Kühlung besitzen, unabhängig davon, ob die Gebäude bereits klimatisiert sind.

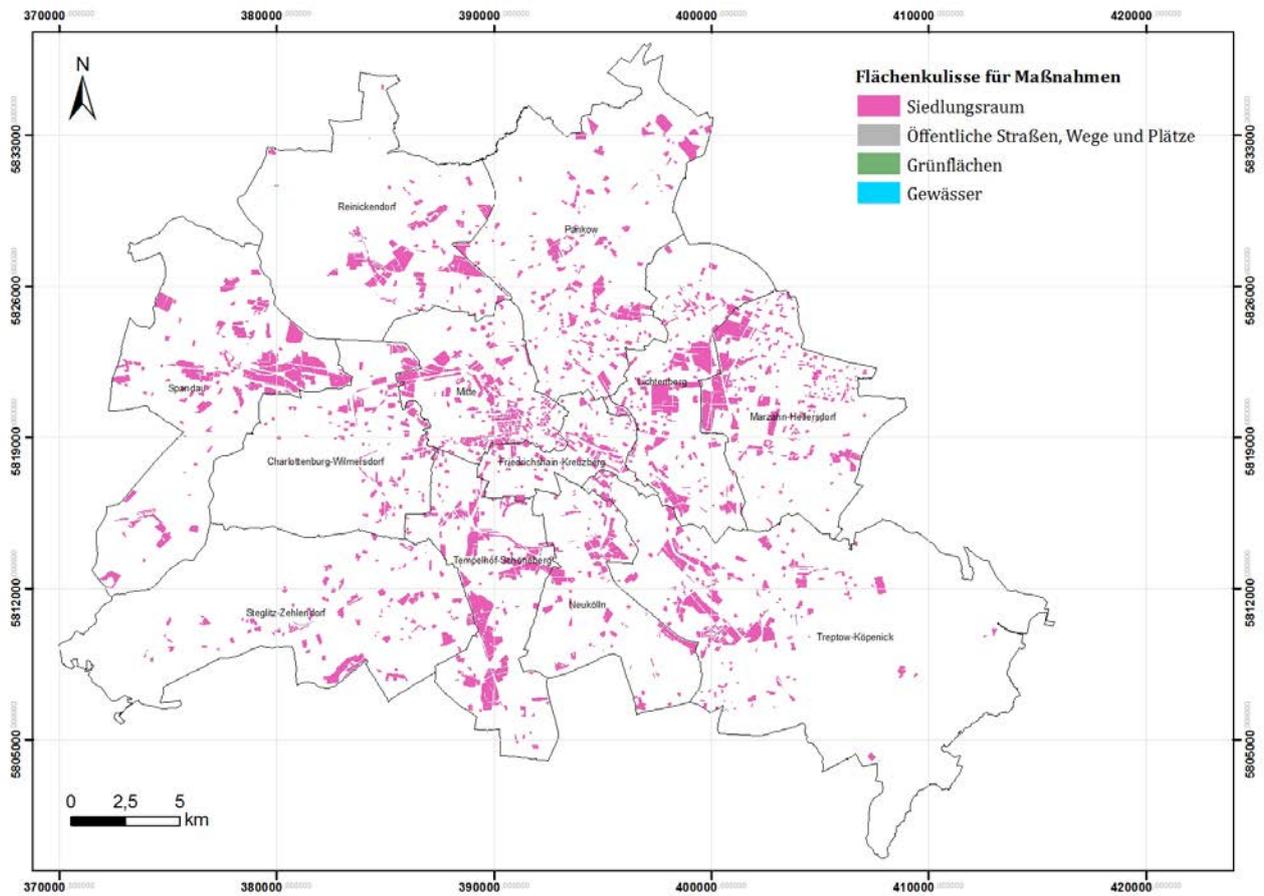


Abbildung 72: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 18 Technische Gebäudekühlung

## 5.19 M19 - OPTIMIERUNG DER GEBÄUDEAUSRICHTUNG UND DER BEBAUUNGSDICHTE BEI NEUBAUTEN

Die Maßnahme der Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten verfolgt zum einen das Ziel, vorhandene Kaltluftströme und -abflüsse optimal zu nutzen und damit die Versorgung sowohl der neuen Quartiere als auch der Bestände im Umfeld zu sichern. Um dies zu gewährleisten, sollten die Gebäude parallel zur Fließrichtung der Kaltluft angeordnet und nicht zu hoch sein sowie ausreichend (grüne) Freifläche zwischen ihnen erhalten bleiben (Abbildung 73).

Zum anderen kann über die gewählte Bebauungsdichte auch der Grad der gegenseitigen Verschattung der Gebäude gesteuert werden. Hier ist allerdings zu beachten, dass der sommerliche thermische Komfort nicht das einzige Kriterium ist, das die Entscheidung für die Konfiguration von neuen Quartieren bestimmt. So kann eine Optimierung der sommerlichen Verschattung beispielsweise zu einem erhöhten Heizenergiebedarf oder Lichtmangel im Winter führen. Einzelfallbetrachtungen sind daher auch bei dieser Maßnahme unumgänglich.

Da die Festsetzung von Baufeldern, Geschöß- und Grundflächenzahlen in den Bebauungsplänen erfolgt, stellen die verbindliche Bauleitplanung aber auch die Berliner Bauberatung zentrale Instrumente zur Umsetzung dieser wichtigen Maßnahme dar.

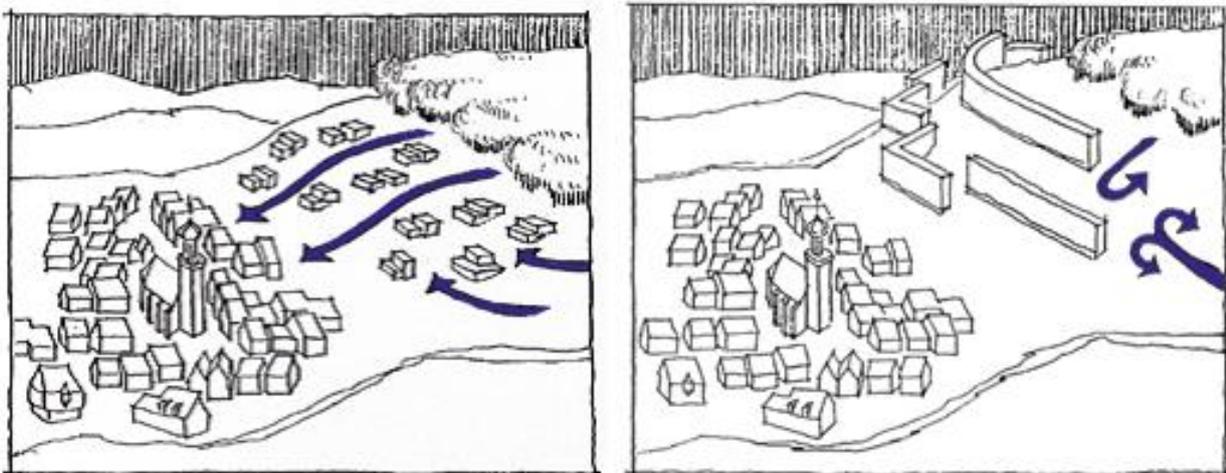


Abbildung 73: Durchlässige Bebauung am Hang, bei der auch die Talströmung nicht behindert wird (links) und Barrieren-Bebauung am Hang (rechts) (Quelle: MVI Baden-Württemberg 2012)

Für die intensiven Bautätigkeiten in Berlin ist diese Maßnahme vor allem auf denjenigen Flächen des Siedlungsraumes und der Frei- und Grünflächen von Relevanz die kurz-, mittel- oder langfristig bebaut werden sollen und entweder in einer Leitbahn liegen oder über einen relevanten Kaltluftvolumenstrom verfügen (Abbildung 74). Die Flächenkulisse macht deutlich, dass die Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte einen wichtigen Aspekt bei der stadtklimagerechten Stadtentwicklung Berlins darstellt.

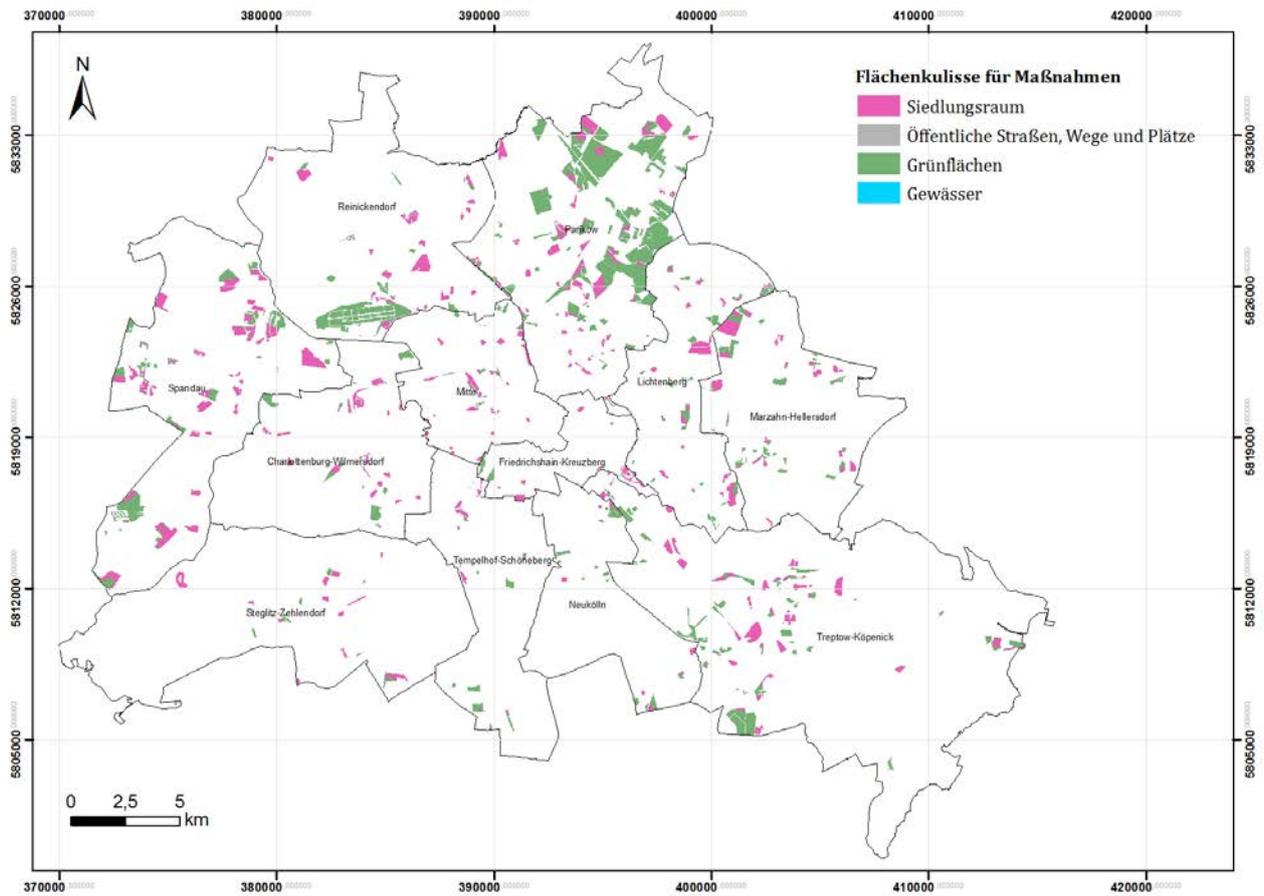


Abbildung 74: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 19 Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte bei Neubauten

## 5.20 M20 - STADTKLIMATISCHE ENTKOPPLUNG VON NEUBAU- UND NACHVERDICH- TUNGSGEBIETEN

Zwischen der intensiven Umsetzung des städtebaulichen Leitbildes der Innenentwicklung und dem Erhalt bzw. dem Erreichen eines gesunden Stadtklimas kündigt sich in Berlin ein starker Zielkonflikt an. Die Senatsverwaltung möchte der Herausforderung u.a. mit der Strategie der „Entkopplung“ begegnen (SenStadtUm 2015c).

Im klimaökologischen Sinne ist unter einer Entkopplung die weitgehende Vermeidung negativer humanbioklimatischer Auswirkungen durch Stadtentwicklungsprojekte auf angrenzende Quartiere sowie auf die BewohnerInnen der neu zu errichtenden Quartiere selbst zu verstehen. Die Bewertung des Entkopplungsgrades kann mithilfe von mikroskaligen Modellierungen erfolgen, bei denen auch die Wirkung einzelner Maßnahmen oder Maßnahmenkombinationen individuell evaluiert werden sollte. Wichtige Kriterien für die Evaluierung können u.a. die durch die Bebauung hervorgerufenen Veränderungen von Klimafunktionen, im Kaltfluthaushalt sowie beim Niveau humanbioklimatischer Indizes darstellen.

Damit handelt es sich bei der Entkopplung weniger um eine Maßnahme im engeren Sinne als vielmehr um einen strategischen Leitgedanken, der erst durch die konkrete Auswahl individueller Maßnahmen(pakete) für einzelne städtebauliche Projekte inhaltlich gefüllt wird. Auch wenn eine (politisch legitimierte) Operationalisierung dieser Strategie ähnlich wie beim Ziel eines gesundes Stadtklimas noch aussteht, sollte ihr Mehrwert im Rahmen von zukünftigen Bauvorhaben getestet und verifiziert werden.

Beispiele aus der jüngeren Vergangenheit, bei denen die Art der Umsetzung eine klimaökologische Entkopplung zumindest vermuten lässt, sind in Berlin bislang noch relativ selten. Als Projekt mit Vorbildcharakter kann die Wohnanlage BIGYard in der Zelterstraße im Ortsteil Prenzlauer Berg eingestuft werden. Hier entstanden in einer Baulücke 45 Town- und Penthäuser mit weißer Fassade und Gründächern. Auch der Innenhof ist durchgrünt und mit hellen Gehwegen ausgestattet (Abbildung 75).

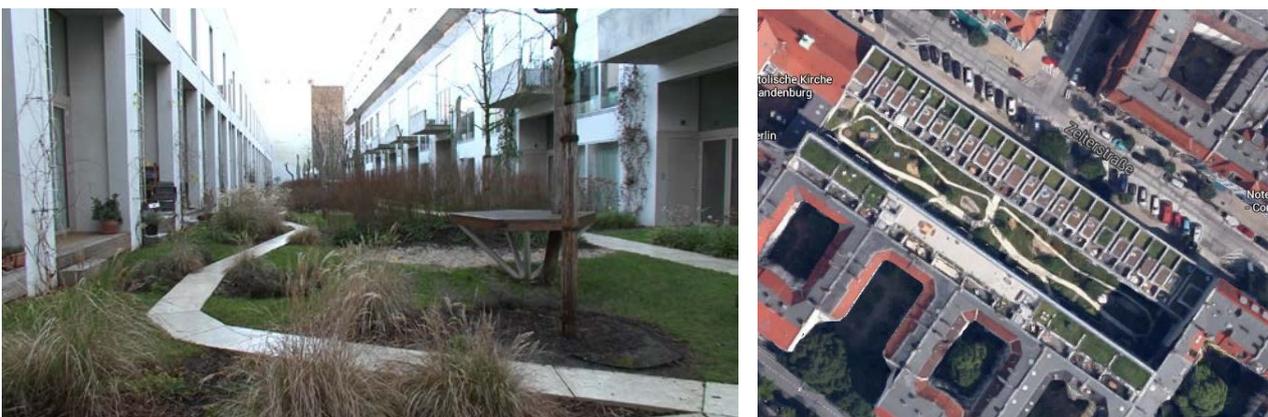


Abbildung 75: Die Wohnanlage BIGYARD im Ortsteil Prenzlauer Berg (Quelle: links: GdW Bundesverband rechts: Google Maps - © 2015 Google)

Die Strategie der klimaökologischen Entkopplung ist in Berlin grundsätzlich überall dort anwendbar, wo kurz-, mittel- oder langfristige Stadtentwicklungsprojekte durchgeführt werden sollen.

## 5.21 M21 - FÖRDERUNG STADTGESELLSCHAFTLICHER SOZIALER NETZWERKE UND PROJEKTE

Unter der Förderung stadtgesellschaftlicher sozialer Netzwerke werden sämtliche Maßnahmen subsumiert, in denen zwischenmenschliche Beziehungen genutzt werden, um die Vulnerabilität der QuartiersbewohnerInnen gegenüber thermischem Stress zu reduzieren.

Aus städtebaulicher Sicht kann hierbei allen Projekten im Zusammenhang mit dem Programm der deutschen Städtebauförderung „Soziale Stadt“ bzw. dem öffentlich finanzierten Stadtteil- und Quartiersmanagement ein großes Potential zugeschrieben werden. Die Projekte werden in aller Regel unter intensiver Einbeziehung der QuartiersbewohnerInnen und damit der vulnerablen Gruppen durchgeführt. Ein aktuelles Beispiel aus Berlin ist das Projekt „KiezKlima – Gemeinsam für ein besseres Klima im Brunnenviertel“ (L.I.S.T. 2015; Abbildung 76).

Über diese Projekte können beispielsweise Maßnahmen wie die vom Deutschen Städtetag geforderten „Trinkpatenschaften“ (Deutscher Städtetag 2012) initiiert oder auch „Hitzestuben“ für Obdachlose eingerichtet werden (in Anlehnung an die für Kälteeinbrüche in Berlin eingerichteten „Kältestuben“; vgl. Berliner Morgenpost 2010).



**KiezKlima**  
Gemeinsam für ein besseres  
Klima im Brunnenviertel

Abbildung 76: Das Projekt KiezKlima (Quelle: <http://www.list-gmbh.de/partizipation/kiezklima>)

Gemeinnützig organisierte Sozialverbände und privatwirtschaftliche Pflegedienste bieten persönliche und telefonische Betreuung von Senioren an, bei der sich u.a. regelmäßig über das Wohlbefinden der Personen informiert wird. Auch die Deutsche Post ermittelt im Pilotprojekt „Postpersönlich“ das wirtschaftliche und soziale Potential entsprechender Dienstleistungen (Deutsche Post 2014). Über diesen Weg lassen sich u.a. ältere Menschen zur Aufnahme von Flüssigkeit während Hitzeperioden animieren.

Neben diesen eher top-down initiierten Formen zur Förderung des sozialen Zusammenhalts existieren auch primär bottom-up veranlasste Ansätze. Hierzu zählt u.a. das in Berlin sehr beliebte Urban Gardening, die gärtnerische Nutzbarmachung städtischer Brachflächen (z.B. Prinzessinnengarten oder der Kids`Garden in Neukölln; Abbildung 77). Das gemeinschaftliche Gärtnern kann zum einen direkt dem Stadtklima zugutekommen, z. B. wenn Industrie- oder Gewerbebrachen entsiegelt und umgenutzt werden oder sogar als lokal bedeutsame Kaltluftproduktionsflächen fungieren. Zum anderen bieten die gemeinschaftlichen gärtnerischen Projekte auch Möglichkeiten mit vulnerablen Quartiersbewohnern in Kontakt zu kommen und so ggf. Nachbarschaftshilfemodelle zu initiieren.



Abbildung 77: Beispiele für Urban Gardening Projekte in Berlin; links: Kids`Garden, rechts: Prinzessinnengarten (Fotos: FU Berlin)

Persönliche soziale Kontakte werden heute zunehmend durch Begegnungen in digitalen Medien ergänzt. Über soziale Netzwerke, Apps, Spiele etc. kann den StadtbewohnerInnen das Hitzeproblem zum einen anschaulich nahe gebracht werden, zum anderen besitzen diese Instrumente aber auch das Potential Nachbarn mit einander zu verknüpfen.

In Berlin besteht Bedarf an der Förderung stadtgesellschaftlicher sozialer Netzwerke und Projekte insbesondere dort, wo hohe thermische Belastungssituationen mit einem überdurchschnittlichen Anteil der stadtklimatischen Risikogruppen an der Quartiersbevölkerung einhergehen (Abbildung 78).

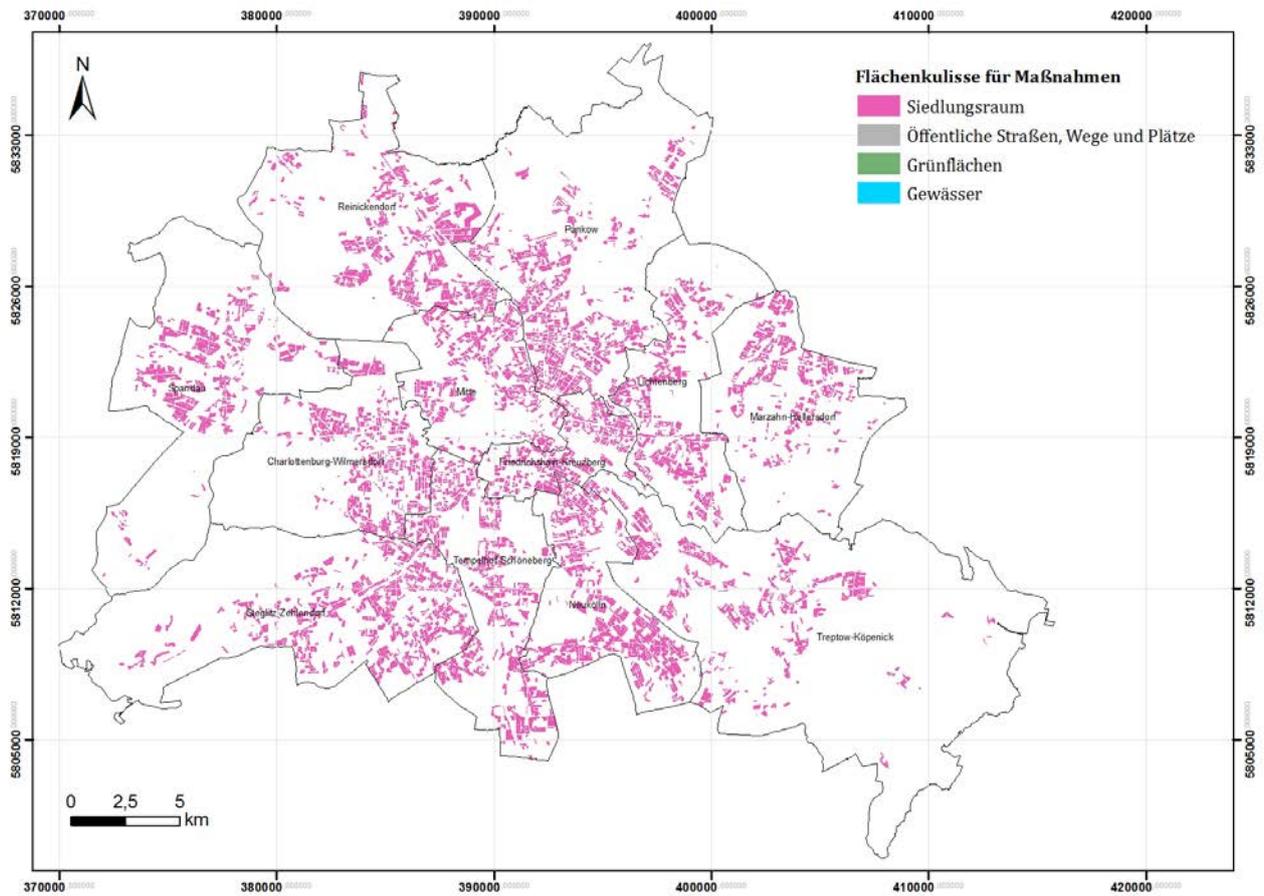


Abbildung 78: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 21 Förderung stadtgesellschaftlicher sozialer Netzwerke und Projekte

## 5.22 M22 - ERHÖHUNG DER MIKROKLIMATISCHEN VIELFALT IN ÖFFENTLICHEN GRÜN-FLÄCHEN

Damit innerstädtische Grün- und Freiflächen ihr Potential an klimaökologischen Dienstleistungen sowohl für die Tag- als auch für die Nachtsituation umfänglich ausschöpfen können, sollten sie möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen. Als Leitbild kann der erweiterbare, für jedermann kostenlos begehbare „Savannentyp“ (Kuttler 2013, 271) dienen.

Er besteht zu einem großen Anteil aus gut wasserversorgten Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregeneignisse), Hügellandschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind. Die Übergangsbereiche zur angrenzenden Bebauung sollten offen gestaltet sein. Unter der Prämisse einer angemessen großen Fläche von mindestens 1-2 ha wird durch diese Konfiguration sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Kaltluftproduktion und der -abfluss gewährleistet sind als auch der Aufenthalt am Tage für alle Ziel- und Risikogruppen optimiert ist (Abbildung 79 links).



Abbildung 79: links: Schema einer klimaökologisch optimierten innerstädtischen Grünfläche (Quelle: GEO-NET); rechts: Luftbild vom Britzer Garten (Quelle: Google Earth - © 2015 Google)

In Berlin wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes 234 Block(teil)flächen des GRZ-Typs Grünanlage/Park das Prädikat „besondere Mikroklimavielfalt“ verliehen. Neben vielen anderen kommt der 90 ha große Britzer Garten in Neukölln dem oben beschriebenen Leitbild sehr nahe (Abbildung 84 rechts). Allerdings besteht in einigen anderen Grün-/Freiflächen auch noch ein Verbesserungspotential hinsichtlich der Bereitstellung vielfältiger Mikroklimata (Abbildung 80). Unter diesen Flächen befindet sich auch das Tempelhofer Feld, dessen Potential zur mikroklimatischen Aufwertung bereits im Rahmen der Diskussionen um die „Parklandschaft Tempelhof“ aufgezeigt worden ist (GEO-NET 2010).

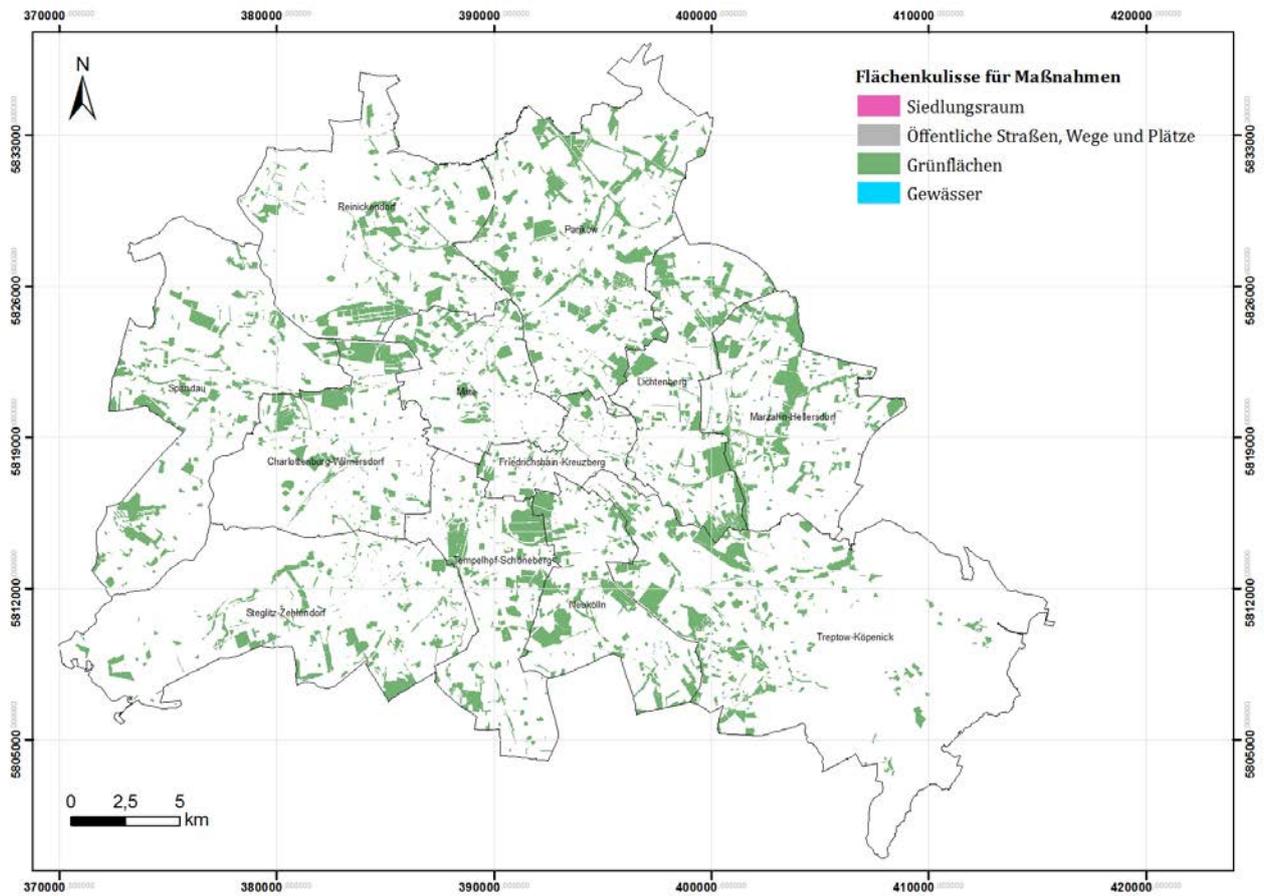


Abbildung 8o: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 22 Erhöhung der Mikroklimatischen Vielfalt in öffentlichen Grünflächen

### 5.23 M23 - SCHUTZ VON FÜR DEN KALTLUFTHAUSHALT RELEVANTE FLÄCHEN

Großräumige, gut wasserversorgte und durch flache Vegetation geprägte Freiflächen wie Wiesen, Felder, Kleingartenanlagen und Parklandschaften sind Quellen für Kalt- und Frischluft und bedürfen daher eines besonderen Schutzes. Die bodennahen Luftmassen kühlen hier nachts sehr viel schneller ab als über den versiegelten Oberflächen urbaner Räume. Die entstehende Kaltluft ist für die Stadtbevölkerung nur dann von Relevanz, wenn sie über hindernisarme Leitbahnen (z.B. zusammenhängende Grünzüge, Gleistrassen, breite Straßen und Fließgewässer) in Richtung der thermisch belasteten Siedlungsräume transportiert werden kann.

Grünland produziert während seiner nächtlichen Abkühlung Kaltluftmengen in der Größenordnung von etwa  $10 - 12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ . Bei fehlendem Abfluss würde sich in der Zeit eine 12 m hohe Kaltluftschicht bilden, die nur durch stark ausgeprägte Hindernisse abgebremst werden könnte. Auch Wälder können Kaltluftquellgebiete darstellen, die nächtlichen Abkühlungsraten sind aber geringer als über dem Freiland. Allerdings sind Wälder in der Lage, auch am Tage Kaltluft für angrenzende Siedlungsflächen zu erzeugen. Besonders wirksam für die Abkühlung am Tage sind stadtnahe Wälder an Nord- und Osthängen (MVI 2012).

Auch wenn ihre Wirkung meist überschätzt wird, nehmen neben den großen Kaltluftentstehungsgebieten im städtischen Umland auch größere Grün- und Parkanlagen im innerstädtischen Bereich eine wichtige Funktion für den lokalen Kaltlufthaushalt ein. Für Berlin sind hier insbesondere das Tempelhofer Feld, der große Tiergarten und der Grunewald hervorzuheben (Abbildung 81). Auch stark durchgrünte Siedlungstypen können einen Beitrag zum Kaltlufthaushalt leisten (vgl. Kapitel 3.3).

In Berlin sind alle Grün- und Freiflächen aufgrund ihres Beitrages zum Kaltlufthaushalt schützenswert, die einen hohen oder sehr hohen Kaltluftvolumenstrom aufweisen und/oder innerhalb einer Leitbahn liegen (Abbildung 82; vgl. auch Kapitel 3.3). Der besonderen Schutzbedürftigkeit kann beispielsweise über eine entsprechende Festsetzung in den Programmplänen des Landschaftsprogramms (SenStadtUm 1994) bzw. in den bezirklichen Landschaftsplänen Rechnung getragen werden. Die Verantwortlichkeit für den nachhaltigen Schutz liegt damit vorrangig bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt sowie Umweltämtern der Bezirke.



Abbildung 81: Kaltluftentstehungsgebiete in Berlin - oben links: Freizeitpark Lübars, oben rechts: Havelwiesen am Grimnitzsee; links unten: Großer Tiergarten; rechts unten: Grunewald (Fotos: SenStadtUm Berlin, beedubz, Berlin.de / Tobias Kneschke)

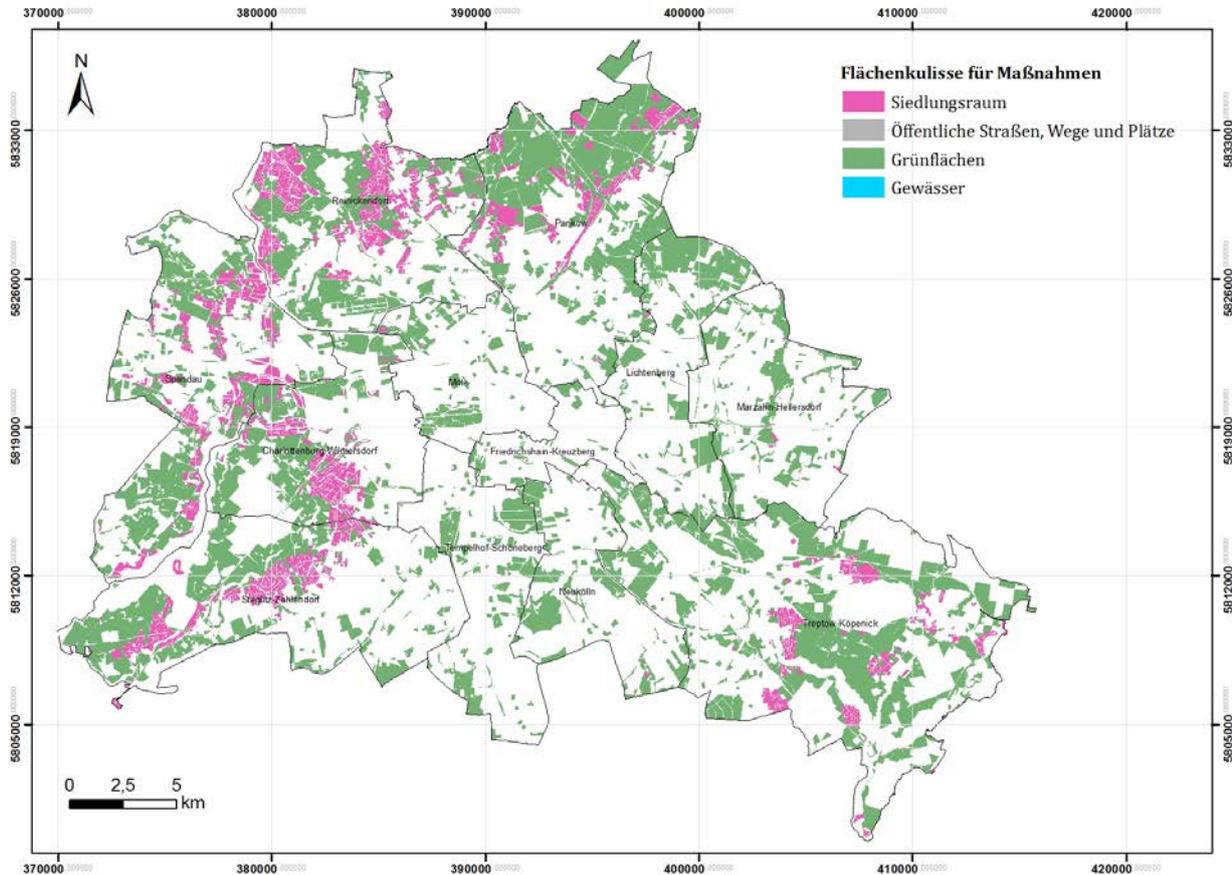


Abbildung 82: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 23 Schutz von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen

## 5.24 M24 - VERNETZUNG VON FÜR DEN KALTLUFTHAUSHALT RELEVANTE FLÄCHEN

Die Vernetzung von (urbanen) Frei- und Grünflächen ist eine insbesondere im Zusammenhang mit dem Biotop- und Artenschutz schon länger bekannte Maßnahme (Jedicke 1994). Aber auch für das Stadtklima ist die proaktive Vernetzung von zuvor unzusammenhängenden Grünflächen mithilfe von grünen Trittsteinen eine wichtige Option.

Zum einen können auf diese Weise neue großräumige und lokale Leitbahnen geschaffen und damit das übergeordnete und kleinräumige Luftaustauschsystem ausgebaut werden. Neben der Wohlfahrtswirkung für den nächtlichen Kaltlufthaushalt tritt die Erhöhung des Erholungsangebotes für vom Hitzestress am Tage Betroffene. Hier besteht eine enge Verknüpfung zu der Schaffung von Pocket Parks und großflächiger Park- und Grünanlagen (vgl. Kapitel 5.7 und 5.28).

Die Vernetzung muss allerdings nicht zwangsläufig durch die Schaffung neuer Parks und Grünanlagen erfolgen, auch begrünte Radwege und Gleisflächen können eine entsprechende Funktion erfüllen. Aufgrund des Ausströmens der Kaltluft aus den Grünflächen ist auch eine unmittelbare räumliche Verknüpfung nicht unbedingt erforderlich, wenn die trennende Bebauung locker, nicht zu hoch und im Idealfall durch Vorgärten oder grüne Wege geprägt ist. Ein Beispiel für eine klimaökologisch sinnvolle Vernetzung ist die Grünfläche entlang des ehemaligen Luisenstädtischen Kanals. Sie erstreckt sich auf einer Länge von ca. 1,5 km und vernetzt kleinere grüne Plätze und Parks miteinander. Der Rudolf-Wilde-Park, der Volkspark Wilmersdorf und der Fennsee sind zwar durch Straßen getrennt, bilden aber insgesamt einen etwa 2,5 km langen Streifen aus sehr nahe bei einander liegenden Grünflächen. Zusätzlich grenzt der Friedhof Wilmersdorf direkt an das grüne Areal rund um den Fennsee an. In der direkten Nachbarschaft liegen auch das Stadion, das Sommerbad Wilmersdorf und die großflächige Kleingartenanlage Oeynhaus (Abbildung 83).



Abbildung 83: links: Grünfläche entlang des ehemaligen Luisenstädtischen Kanals (Foto: Ulrich Reinheckel, SenStadtUm Berlin ; rechts: Grünflächenverbund Volkspark Wilmersdorf – Rudolf-Wilde-Park (Quelle: Esri maps and data)

Ein Schutz bestehender Vernetzungen sowie die Neuvernetzung von Frei- und Grünflächen sind in Berlin überall dort angeraten, wo relevante Mengen an Kaltluft produziert werden. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Verknüpfung einzelner grüner Oasen im innerstädtischen Bereich gelegt werden. Entsprechende Festsetzungen können in den Programmplänen des Landschaftsprogramms (SenStadtUm 1994) bzw. in den bezirklichen Landschaftsplänen erfolgen. Entscheidende Akteure sind damit die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt sowie die Umweltämter der Bezirke (Abbildung 84).

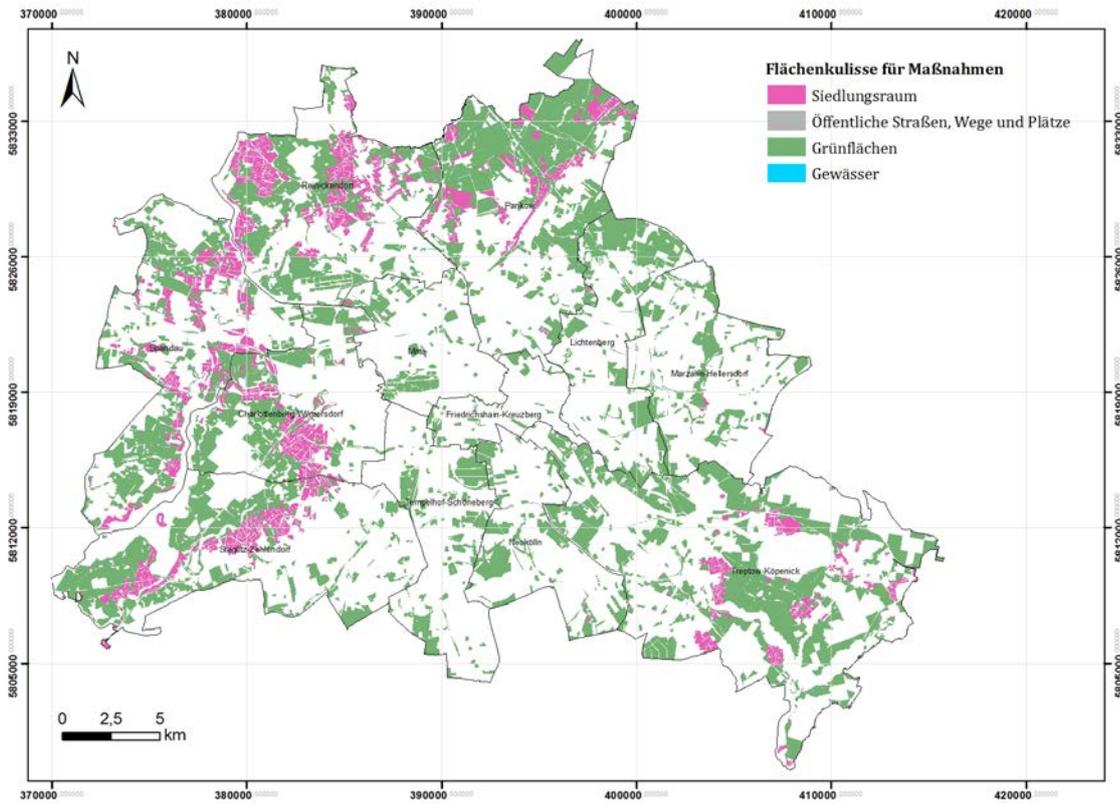


Abbildung 84: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 24 Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen

## 5.25 M25 - VERMEIDUNG VON AUSTAUSCHBARRIEREN

Der Schutz und die Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevante Flächen (vgl. Kapitel 1.1 und 1.1) können ihre anvisierte Wirkung nur dann entfalten, wenn auch sichergestellt ist, dass die entstehende Kalt- bzw. Frischluft aus den Flächen möglichst ungehindert ausströmen kann. Die Wirkung einer Kaltluftleitbahn ist desto besser je hindernisfreier sie ist.

Austauschbarrieren sollten daher im Einflussbereich von Kaltluftflüssen grundsätzlich vermieden werden. Das gilt für Wälder, Parks, landwirtschaftliche Flächen und Gewässer gleichermaßen. Bei Barrieren kann es sich um quer zur Fließrichtung der Kaltluft verlaufende natürliche (z.B. Baumgruppen) oder bauliche Hindernisse (z.B. Bahndämme, Gebäude) handeln. In Einzelfällen kann eine vorhandene oder absichtlich errichtete Barriere auch der Umleitung von Kaltluft dienen und dadurch die Durchlüftung einer Siedlung verbessern (Abbildung 85).

Relativ dicht aneinander stehende und vor allem hohe Hindernisse verursachen örtliche Turbulenzen. Dieser Effekt führt zwar lokal zu einer Durchmischung der Luftmassen und somit ggf. zur Verdünnung der Luftschadstoffe, aber er führt auch zum Abbremsen des Lufttransports und erschwert so die Belüftung der ferner liegenden Bebauung (Stadt Sindelfingen 2001).

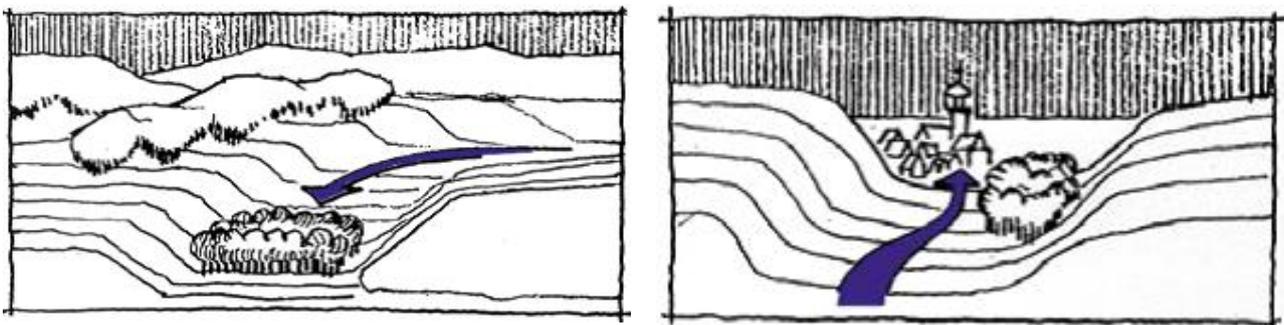


Abbildung 85: Baumgruppen als Austauschbarrieren (links) sowie zur Umleitung von Kaltluftabflüssen (rechts) (Quelle: MVI 2012)

Mit Blick auf die dynamische Berliner Stadtentwicklung ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass nicht jede Bebauung im Randbereich oder Übergangsbereich einer Grün-/Freifläche auch gleichzeitig ein relevantes Austauschhindernis darstellen muss. Mithilfe von auf die individuelle Situation abgestimmten Gebäudeausrichtungen und Bebauungsdichten lassen sich hier in aller Regel Kompromisse finden, sofern klimaökologische Belange möglichst frühzeitig in die Planung einbezogen werden (vgl. Kapitel 5.19). Die Bauberatung und die verbindliche Bauleitplanung bieten hierfür entsprechende Mechanismen an.

Nichtsdestotrotz gilt für alle Flächen mit einem relevanten Beitrag zum Berliner Luftaustauschsystem, dass Austauschbarrieren möglichst vermieden werden sollten. Die raumkonkreten Hinweise in Abbildung g1 sollten daher bereits auch auf der Ebene der Flächennutzungsplanung besonders beachtet werden.

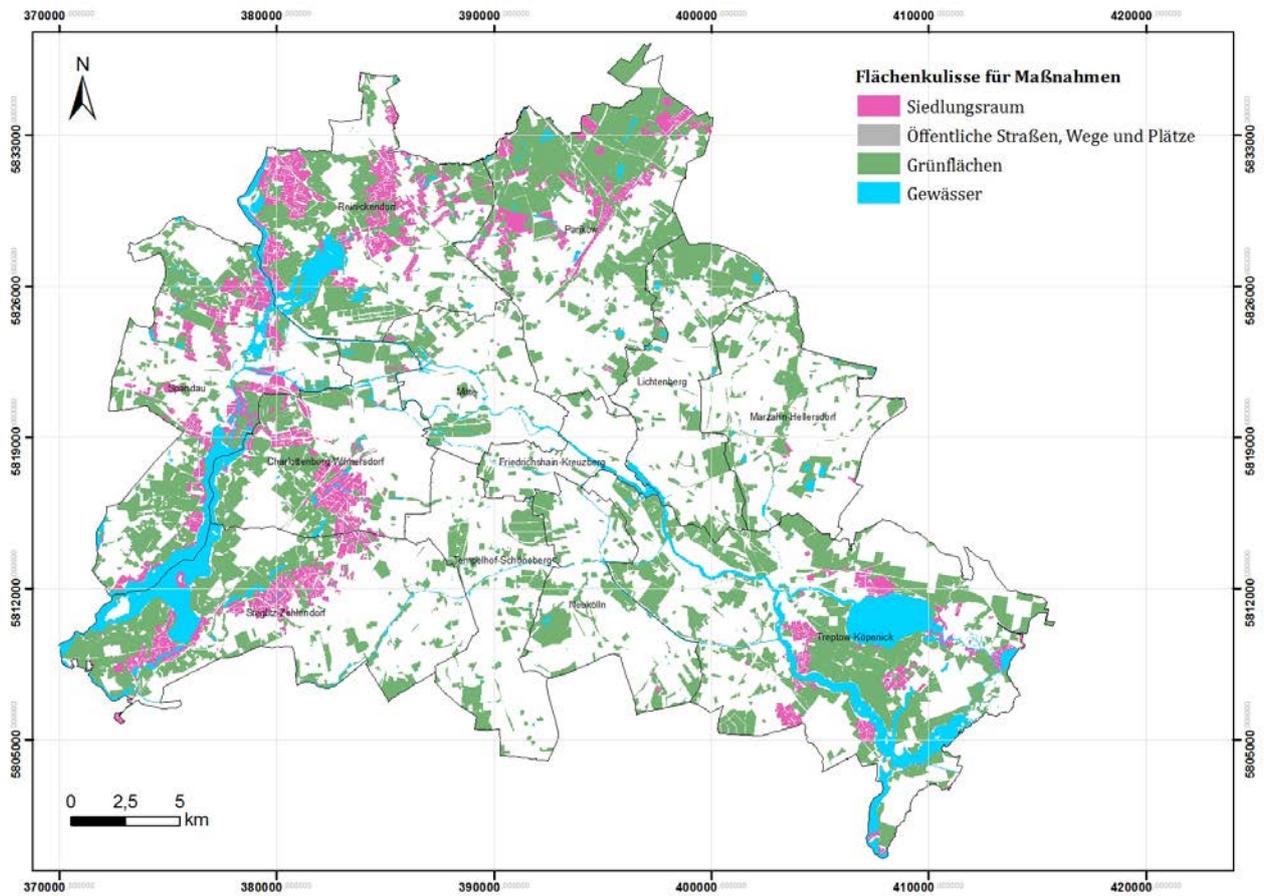


Abbildung 86: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 25 Vermeidung von Austauschbarrieren

## 5.26 M26 - VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT IN KALTLUFTLEITBAHNEN

Die über das Luftaustauschsystem einer Stadt bereitgestellten Luftvolumina sind im Regelfall frisch und sauber. Quert die herangeführte Frischluft beispielsweise eine vielbefahrene Straße oder ist diese ggf. sogar selbst Bestandteil einer Kaltluftleitbahn, besteht die Gefahr einer relevanten lufthygienischen Verunreinigung der Luftmassen. Weitere Emissionsquellen neben dem Verkehr sind der winterliche Hausbrand und industrielle Abgase.

Maßnahmen, die Emittenten in Leitbahnen eliminieren bzw. die Emissionen reduzieren, können demnach von großer Bedeutung für die gesamtstädtische Lufthygiene sein. Die Emissionsminderung kann in Straßen durch verkehrsplanerische Maßnahmen, wie z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsvermeidung oder Umleitung von Verkehrsströmen erfolgen. Auch Straßenbegleitgrün und Fassadenbegrünung können durch ihre Staubfilterfunktion die lufthygienische Situation in den Straßenräumen verbessern ohne die Strömungsgeschwindigkeit nachteilig zu beeinflussen. In Berlin stellt der Luftreinhalteplan das zentrale Instrument zur Umsetzung der Maßnahmen dar (SenStadtUm 2013).

Darüber hinaus können gemäß BauGB im Bebauungsplan Flächen festgesetzt werden, in denen bestimmte luftverunreinigende Stoffe nicht oder nur beschränkt verwendet werden können. Diese als „Verbrennungsverbot“ für fossile Brennstoffe bekannte Festsetzung erfordert zwar eine städtebauliche Begründung, die aber durch die Lage der Frischluftschneisen und die damit verbundene starke Luftverschmutzung gegeben ist (MVI 2012).

Klimaökologisch lässt sich die Umsetzung der Maßnahmen freilich nur dort begründen, wo auch entsprechende Probleme festzustellen sind. Für Berlin hat die vorliegende Analyse lediglich elf Straßenabschnitte ergeben, die sowohl Bestandteil einer Kaltluftleitbahn sind als auch eine erhöhte oder sehr hohe Luftbelastung aufweisen (Tabelle 12). Das heißt auf der einen Seite, dass das Problem nur sehr kleinräumig besteht. Andererseits ließe es sich aber vermutlich mit überschaubarem Aufwand gänzlich beseitigen.

Tabelle 12: Lufthygienisch belastete Straßenabschnitte mit Kaltluftleitbahnfunktion

Straßenname	Anzahl betroffener Straßenabschnitte	Bezirk
<b>Neue Kantstraße</b>	2	Charlottenburg-Wilmersdorf
<b>Tegeler Weg / Schlossbrücke</b>	2	Charlottenburg-Wilmersdorf
<b>Waldstraße</b>	2	Reinickendorf
<b>Ruhlebener Straße</b>	1	Spandau
<b>Sachsendamm/Naumannstraße</b>	4	Tempelhof-Schöneberg

## 5.27 M27 - SCHUTZ BESTEHENDER GROSSFLÄCHIGER PARKS / GRÜNFLÄCHEN

Großflächige Park- und Grünanlagen sind nicht nur aufgrund ihrer Bedeutung für den Kaltlufthaushalt (vgl. Kapitel 1.1) besonders schützenswert, sondern auch, weil sie wichtige Erholungsflächen darstellen, die von den StadtbewohnerInnen inklusive der klimasensiblen Bevölkerungsgruppen am Tage gezielt aufgesucht werden. Die große Fläche bietet auch Schutz vor Lärmimmissionen. Eine besondere Rolle nehmen in diesem Zusammenhang städtische Wälder ein (Kapitel 1.1).

Aufgrund der hohen Einwohnerdichte sind die einschlägig bekannten Park- und Grünanlagen im innerstädtischen Bereich besonders schützenswert (Abbildung 87). Über das Landschaftsprogramm und den Flächennutzungsplan kann und wird der besonderen Schutzwürdigkeit dieser Flächen Rechnung getragen werden.

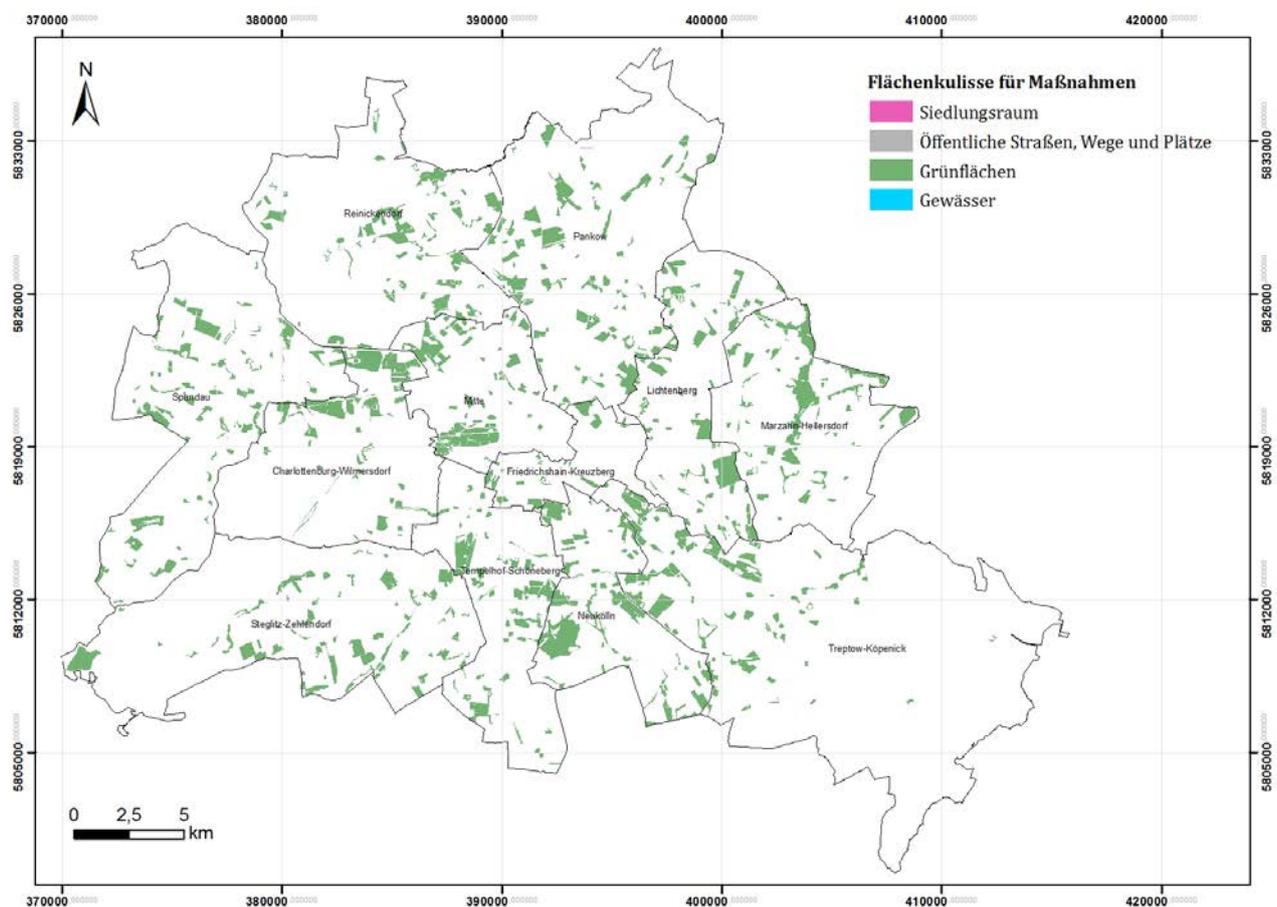


Abbildung 87: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 27 Schutz bestehender großflächiger Parks / Grünflächen

## 5.28 M28 - ANLAGE NEUER GROSSFLÄCHIGER PARKS / GRÜNFLÄCHEN

Die Neuanlage großflächiger Parkanlagen unterstützt unmittelbar das Ziel eines gesunden Berliner Stadtklimas. Ihre Bedeutung für den nächtlichen Kaltlufthaushalt und die Erholung vom thermischen Stress am Tage wurde bereits mehrfach betont (vgl. Kapitel 1.1 und 5.27). Bei der Neuanlage sollte vor allem auf eine ausreichende Mikroklimavielfalt (vgl. Kapitel 1.1) sowie auf eine Vermeidung von Austauschbarrieren geachtet werden (vgl. Kapitel 1.1).

Dass die Anlage neuer Grünanlagen auch in dynamisch wachsenden Städten wie Berlin möglich ist, zeigt das zumindest aus stadtklimatischer Perspektive gute Umsetzungsbeispiel auf dem Gleisdreieckgelände. Ost- und Westpark besitzen sowohl ein relevantes Kaltluftliefervermögen als auch hohe Aufenthaltsqualitäten für die erholungssuchenden Anwohner (Abbildung 88).

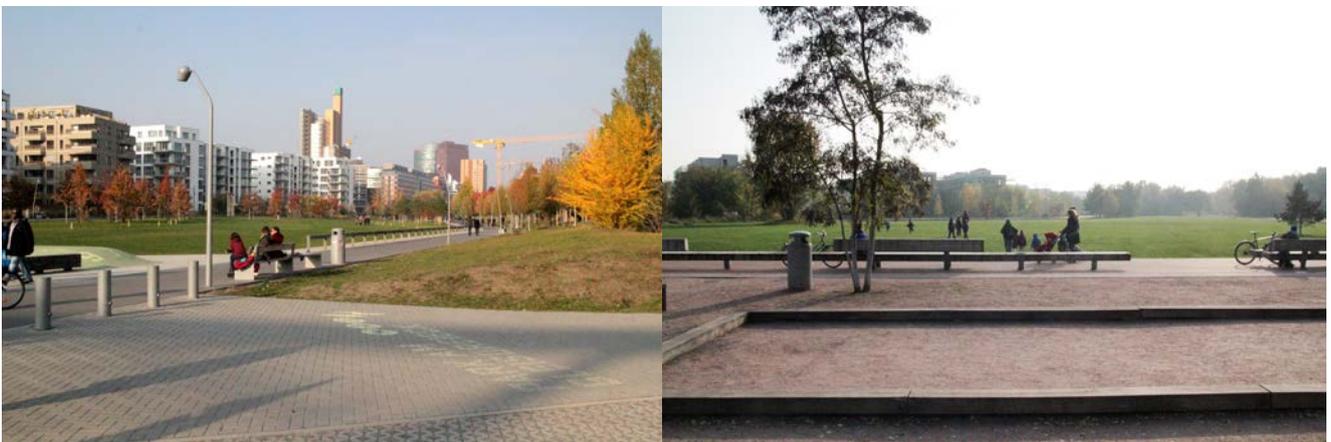


Abbildung 88: Westpark (links) und Ostpark (rechts) auf dem Gleisdreieckgelände (Fotos: Andreas Machate)

Auch für die Zukunft bestehen bei frühzeitiger Berücksichtigung stadtklimatischer Belange in Berlin gute Aussichten, großflächige Grünanlagen mit entsprechenden klimaökologischen Funktionen zu realisieren. So handelt es sich bei rund 5 % der in Berlin zum Zeitpunkt 02/2015 kurz- bis mittelfristig geplanten Stadtentwicklungsprojekte um Park- und Grünanlagen. Zusätzlich existieren auch noch einige Brachflächen, für die in Teilen noch keine Nachnutzung festgelegt worden ist. Insgesamt besteht so für über 400 Block(teil)flächen das Potential, entsprechend den Hinweisen dieses Maßnahmenkatalogs klimaökologisch inwertgesetzt zu werden (Abbildung 89).

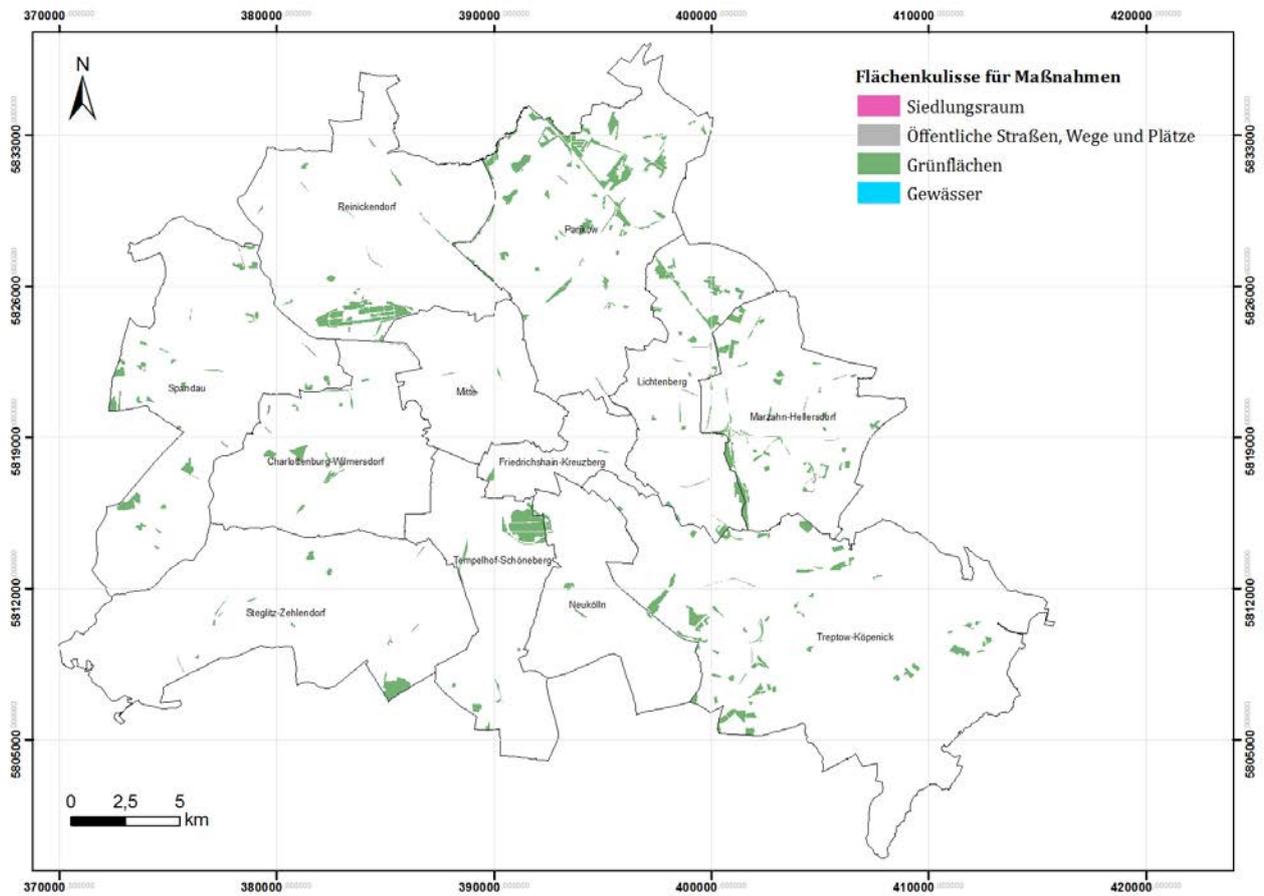


Abbildung 89: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 28 Anlage neuer großflächiger Parks / Grünflächen

## 5.29 M29 - SCHUTZ VON WALDFLÄCHEN

Wälder gehören zu den besonders schützenswerten Biotopen. Die Waldfunktionen reichen von der CO<sub>2</sub> Deposition über den Arten- und Biotopschutz sowie die Grundwasserneubildung und den Bodenschutz bis hin zur Quelle für nachhaltige Rohstoffe und Energie. Mit Bezug zum Stadtklima stellen Wälder darüber hinaus drei wichtige Ökosystemdienstleistungen bereit.

Auch wenn ihr nächtliches Kaltluftliefervermögen im Vergleich zum Freiland weniger stark ausgeprägt ist, sind Waldflächen dennoch elementarer Bestandteil des Luftaustauschsystems (vgl. Kapitel 3.3). Der Energieumsatz erfolgt zu einem großen Teil an den Grenzflächen zwischen dem weitgehend geschlossenen Kronendach und den darüber liegenden Luftschichten, so dass der Erdboden verschattet und seine Erwärmung auf diese Weise gegenüber dem Freiland verringert ist, was tagsüber im Vergleich zum Freiland zu einem angenehmeren Bioklima führt.

Der gleiche Effekt führt nachts dazu, dass die bodennahen Luftschichten sich nicht so schnell abkühlen. Hieraus resultieren im Vergleich zum Offenland geringere Kaltluftvolumina, deren Ausströmen durch die Kraut- und Strauchschicht zusätzlich behindert wird, wenn es nicht durch Hangneigungen von > 1° zu Kaltluftabflüssen kommt. Besonders wirksam sind daher stadtnahe Wälder an Nord- und Osthängen. Neben diesen beiden thermischen Effekten, erfüllen Stadtwälder durch ihre große Oberfläche auch eine wichtige Filterfunktion für Luftschadstoffe (MVI 2012).

Für das Berliner Stadtgebiet sichert der Forstliche Rahmenplan den Erhalt der Waldfunktionen und die Verbesserung der Waldstruktur. Er enthält die für die forstlichen Belange relevanten raumbezogenen Informationen, die auch Eingang in das Landschaftsprogramm und die bezirklichen Landschaftspläne finden. Aufgrund ihrer Relevanz für das Stadtklima sind u.a. Forst Grunewald, Forst Müggelberge sowie der Spandauer und Tegeler Forst schützenswerte Waldgebiete (Abbildung 90).

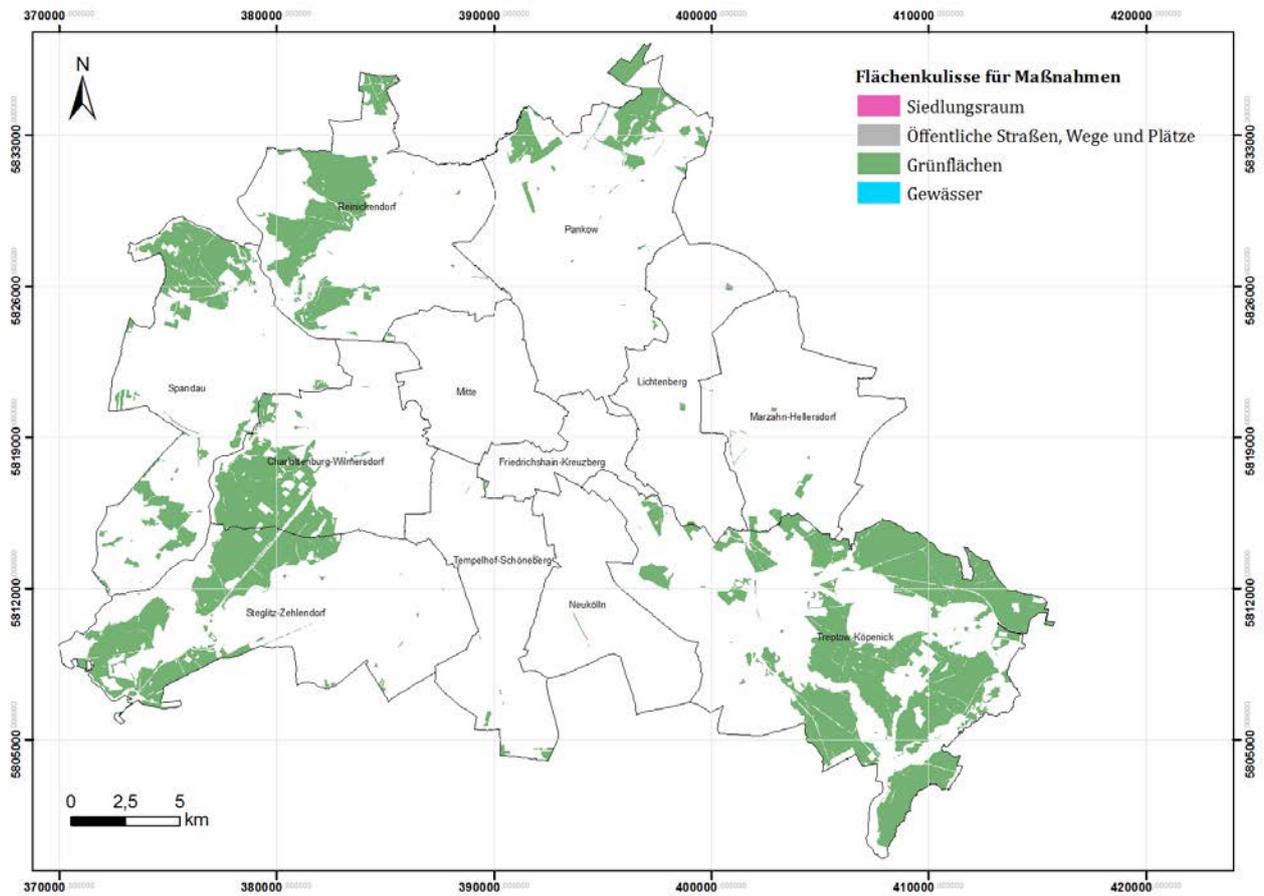


Abbildung 90: Raumkulisse - Empfehlungen für Maßnahme 29 Schutz von Waldflächen

### 5.30 M30 - SCHUTZ VON OFFENEN WASSERFLÄCHEN

Größere Fließ- und Standgewässer weisen für das Stadtklima grundsätzlich eine doppelte Wohlfahrtswirkung auf. Zum einen stellen sie ruhigkeitsarme Ventilationsbahnen dar, über die vor allem bei allochthonen Wetterlage Kalt- und Frischluft z.B. vom Umland in die Innenstadt transportiert wird. Die glatte Wasseroberfläche lässt auch die thermisch induzierten Kaltluftflüsse besser als über einer rauen Landschaft strömen, weshalb die Übergangsbereiche der Gewässer möglichst barrierefrei im klimaökologischen Sinne gestaltet werden sollten (vgl. Kapitel 1.1). Die Strömungsgeschwindigkeit ist von der Wassertemperatur und dem Volumenstrom abhängig. Wärmt sich das Gewässer tagsüber bzw. über mehrere Tage stark auf, so kann es einen, vor allem geringen, Volumenstrom der nächtlichen Kaltluft auch weiter verringern.

Zum anderen weisen offene Wasserflächen aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherkapazität gegenüber den bodennahen Luftschichten einen sehr viel ausgeglicheneren Jahres- und Tagesverlauf auf. Während der Sommermonate und speziell während Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld dadurch tagsüber kühlend. Auch bei kleineren Gewässern, Wasserspielplätzen oder Brunnen in Parks und auf Stadtplätzen kommt dieser Effekt zum Tragen. Nachts kann ihre oberflächennahe Temperatur allerdings auch über der umgebenden Lufttemperatur liegen, weshalb sie in den Nachtstunden „den thermischen Komfort kaum verbessern“ (Kuttler 2013, 271) oder sogar die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel verstärken können. Die Wirkung von Gewässern ist daher durchaus ambivalent und im Einzelfall zu beurteilen.

Die für Berlin wichtigen Luftleit- und Ventilationsbahnen folgen den Tälern von Havel, Dahme und Spree. Kleinere offene Wasserflächen befinden sich darüber hinaus auch in einigen Grün- und Parkanlagen (Abbildung 91).

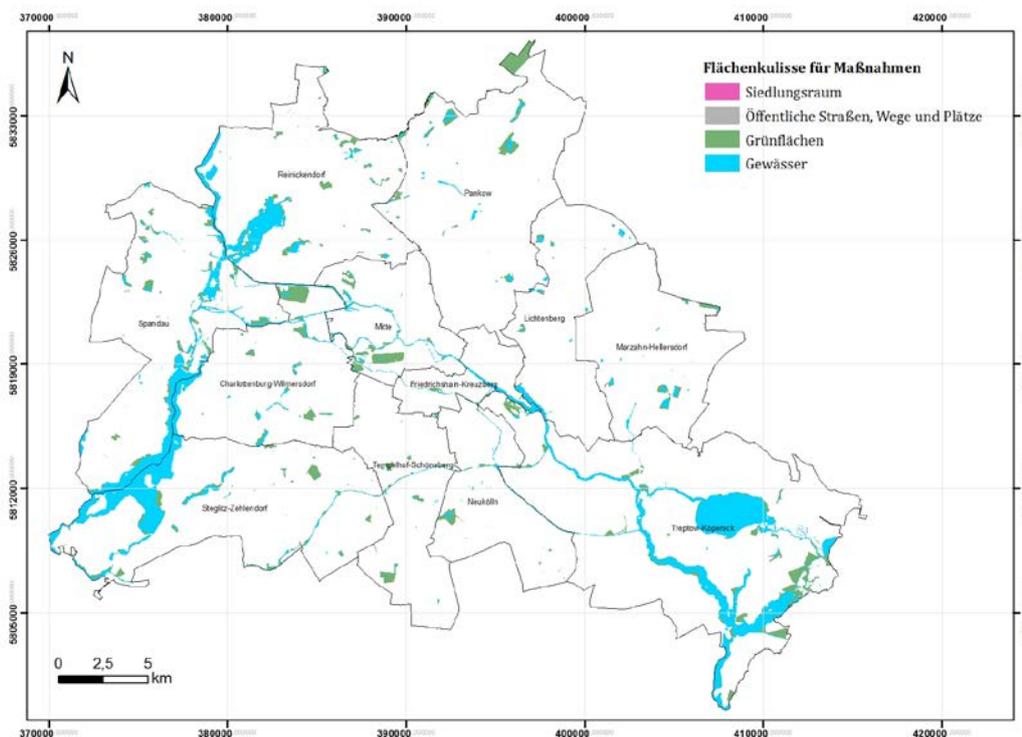


Abbildung 91: Raumbildung - Empfehlungen für Maßnahme 30 Schutz von offenen Wasserflächen

# Anhang

Tabelle 13: Zusammenhang zwischen den humanbioklimatischen Indizes PMV/PET und der physiologischen Belastungsstufe

PMV	PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
-3,5	4 °C	sehr kalt	extreme Kältebelastung
-2,5	8 °C	kalt	starke Kältebelastung
-1,5	13 °C	kühl	mäßige Kältebelastung
-0,5	18 °C	leicht kühl	schwache Kältebelastung
±0	20 °C	behaglich	keine thermische Belastung
0,5	23 °C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
1,5	29 °C	warm	mäßige Wärmebelastung
2,5	35 °C	heiß	starke Wärmebelastung
3,5	41 °C	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

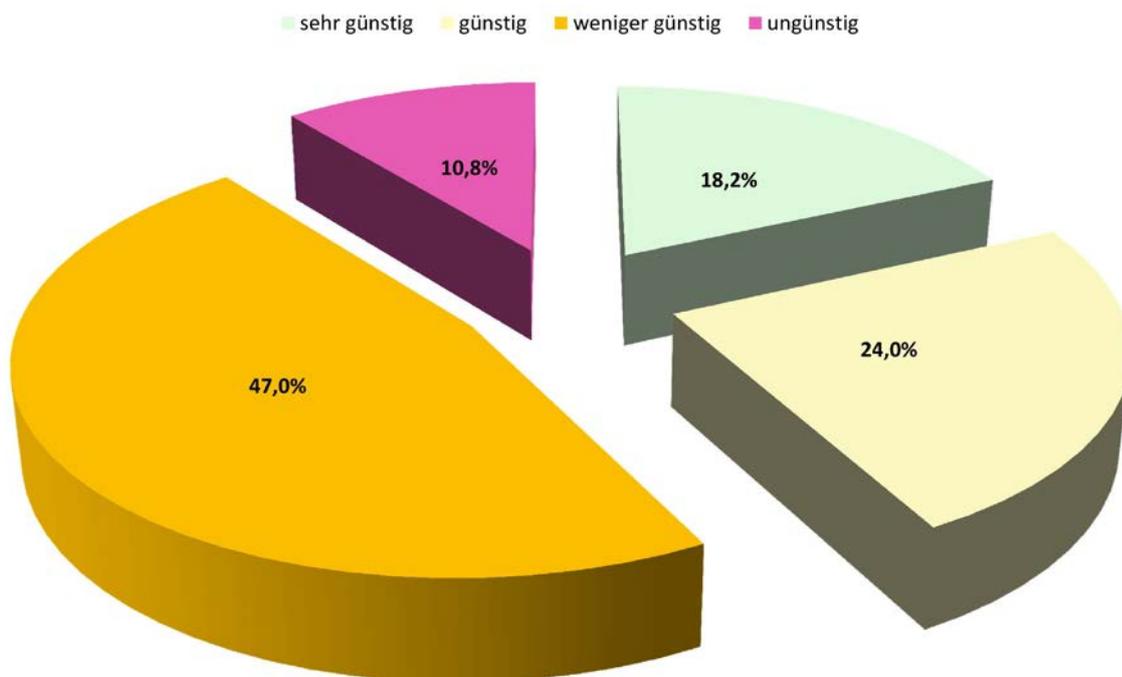


Abbildung 92: prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur nächtlichen thermischen Situation in den Siedlungsräumen

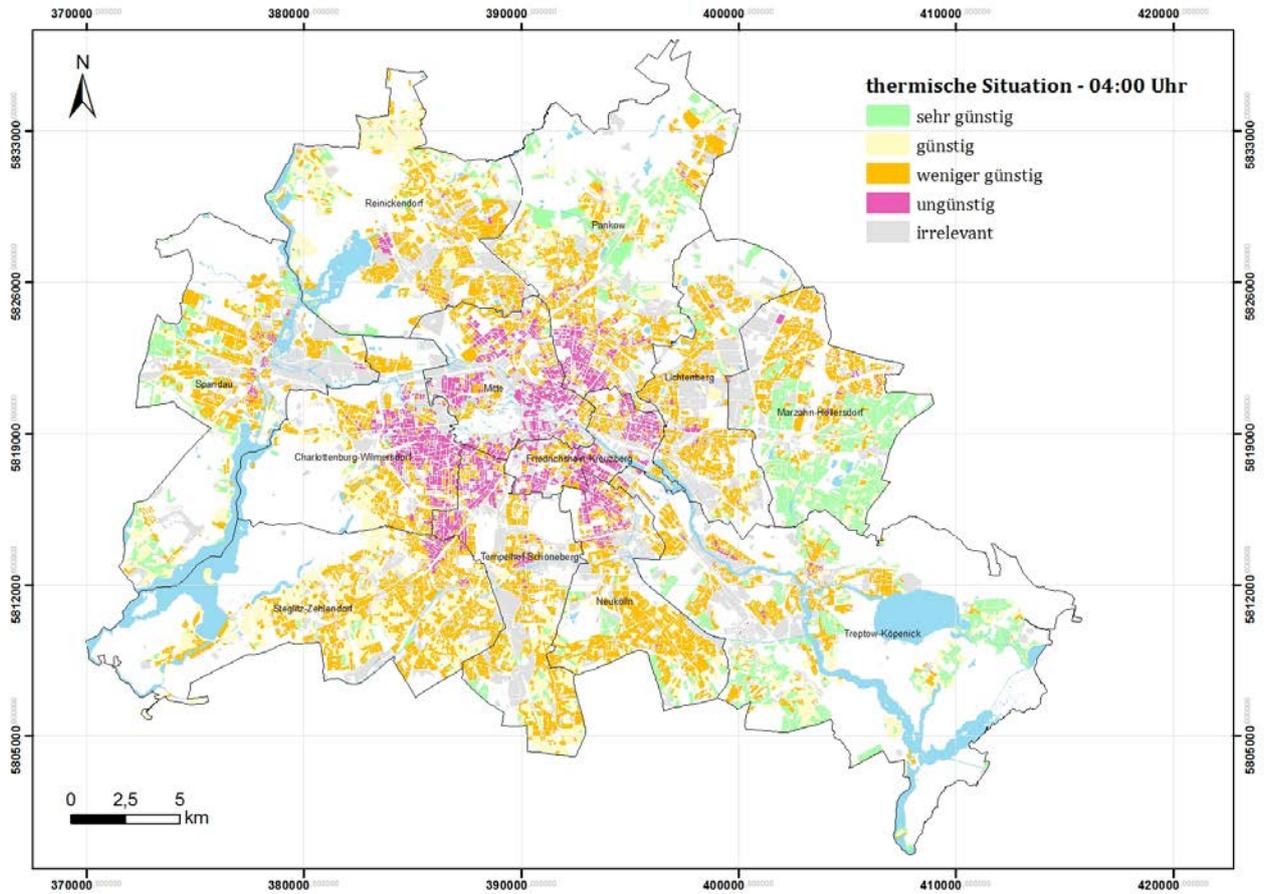


Abbildung 93: räumliche Verteilung der Bewertungsklassen zur nächtlichen thermischen Situation in den Siedlungsräumen

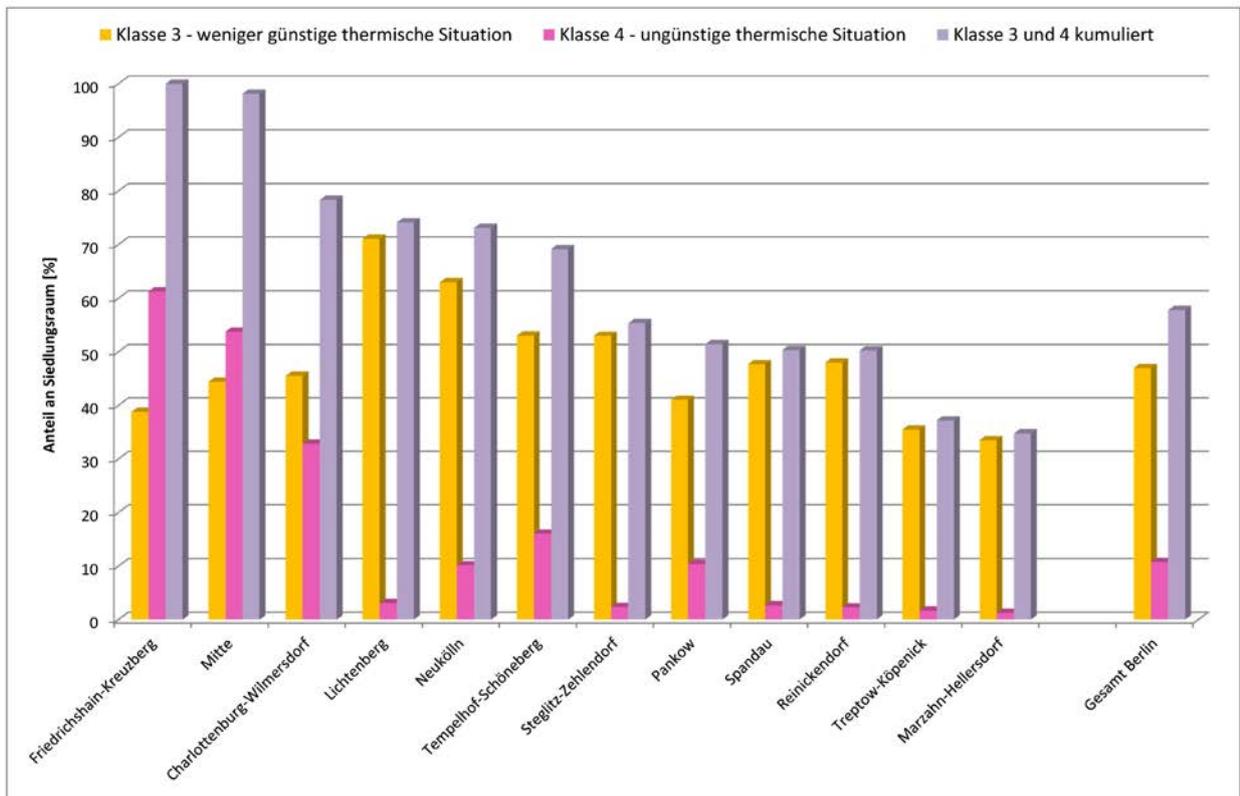


Abbildung 94: Bilanzierung der thermischen Situation in der Nacht im Siedlungsraum der 12 Bezirke Berlins

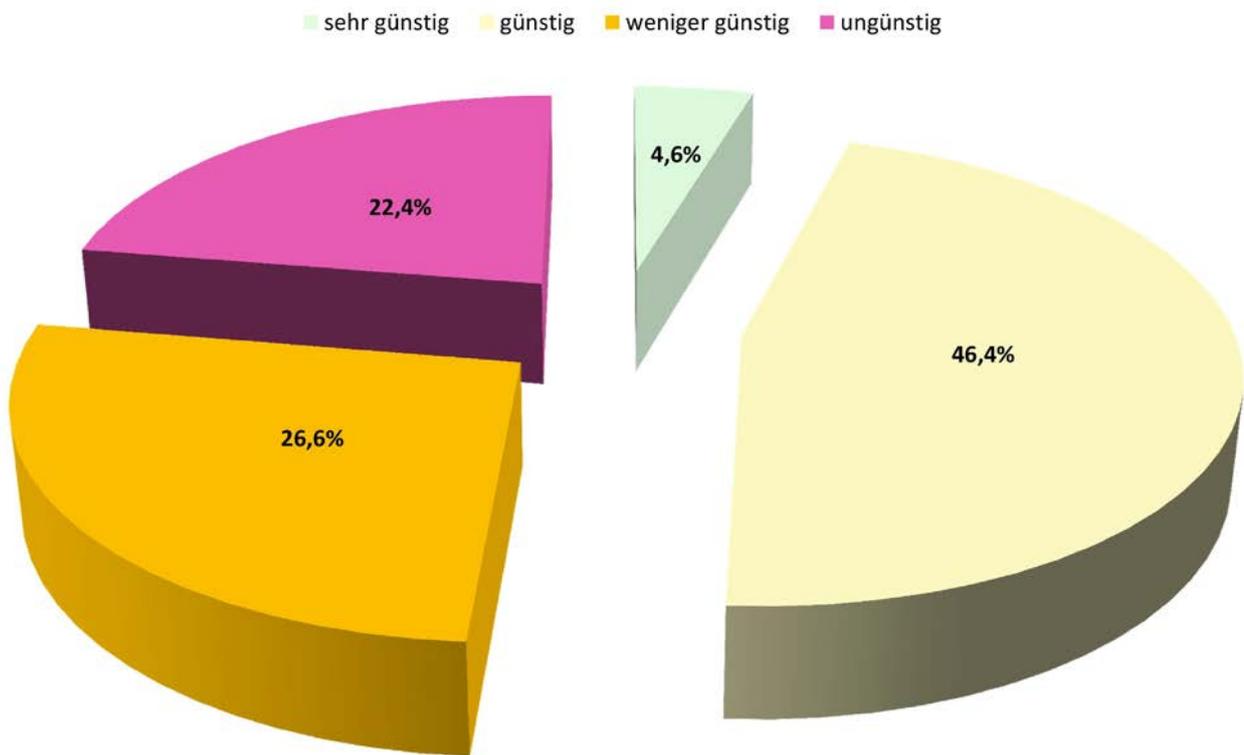


Abbildung 95: Prozentuale Verteilung der Bewertungsklassen zur thermischen Situation in den Siedlungsräumen am Tage

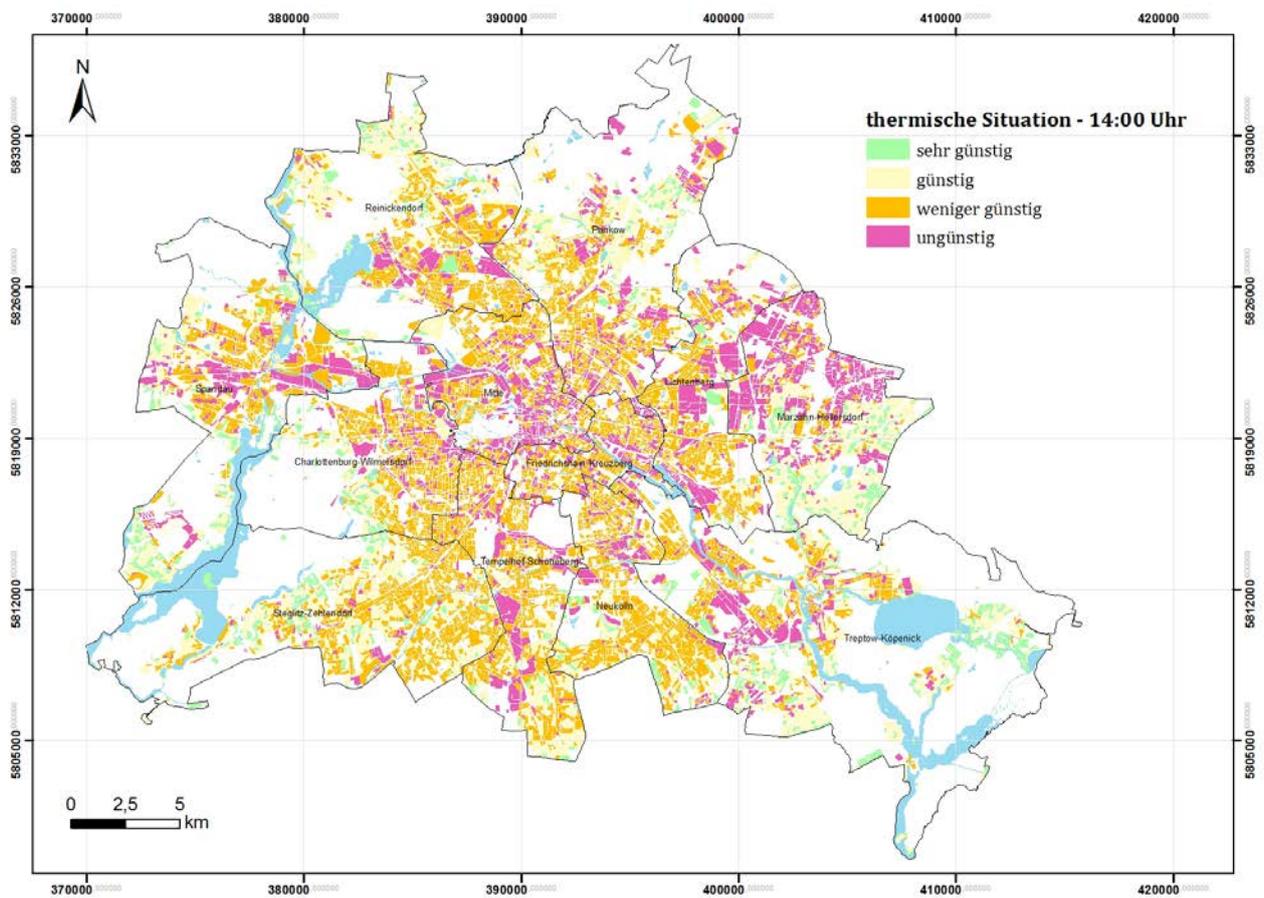


Abbildung 96: räumliche Verteilung der Bewertungsklassen thermischen Situation in den Siedlungsräumen am Tage

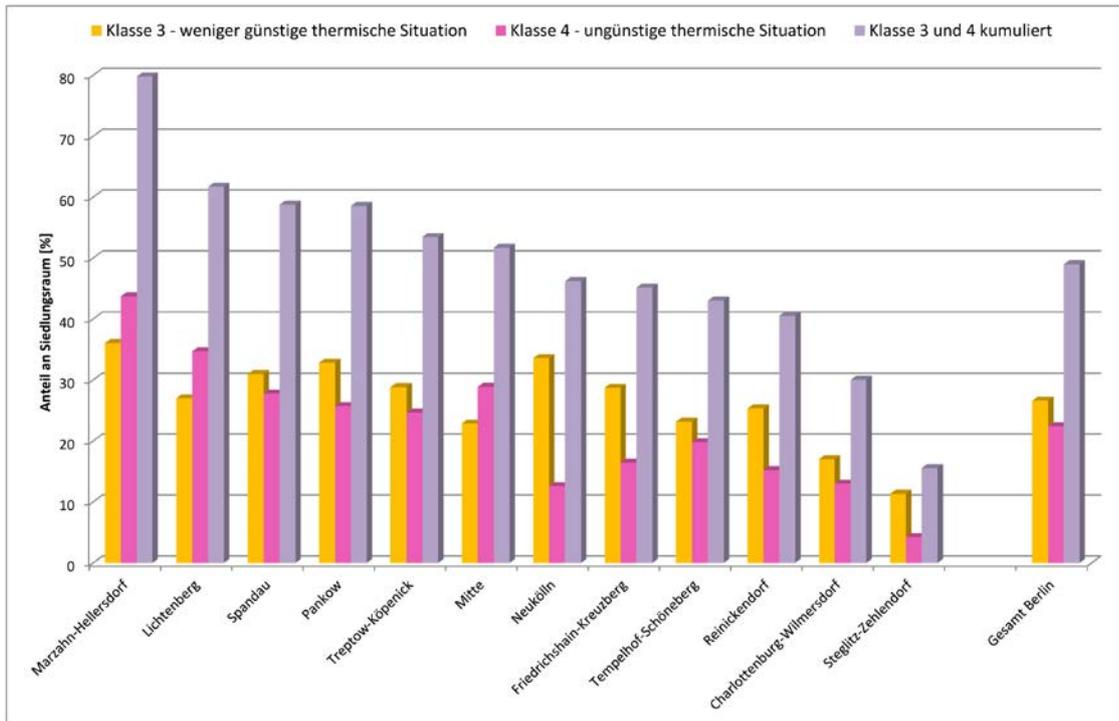


Abbildung 97: Bilanzierung der thermischen Situation am Tage im Siedlungsraum der 12 Bezirke Berlins

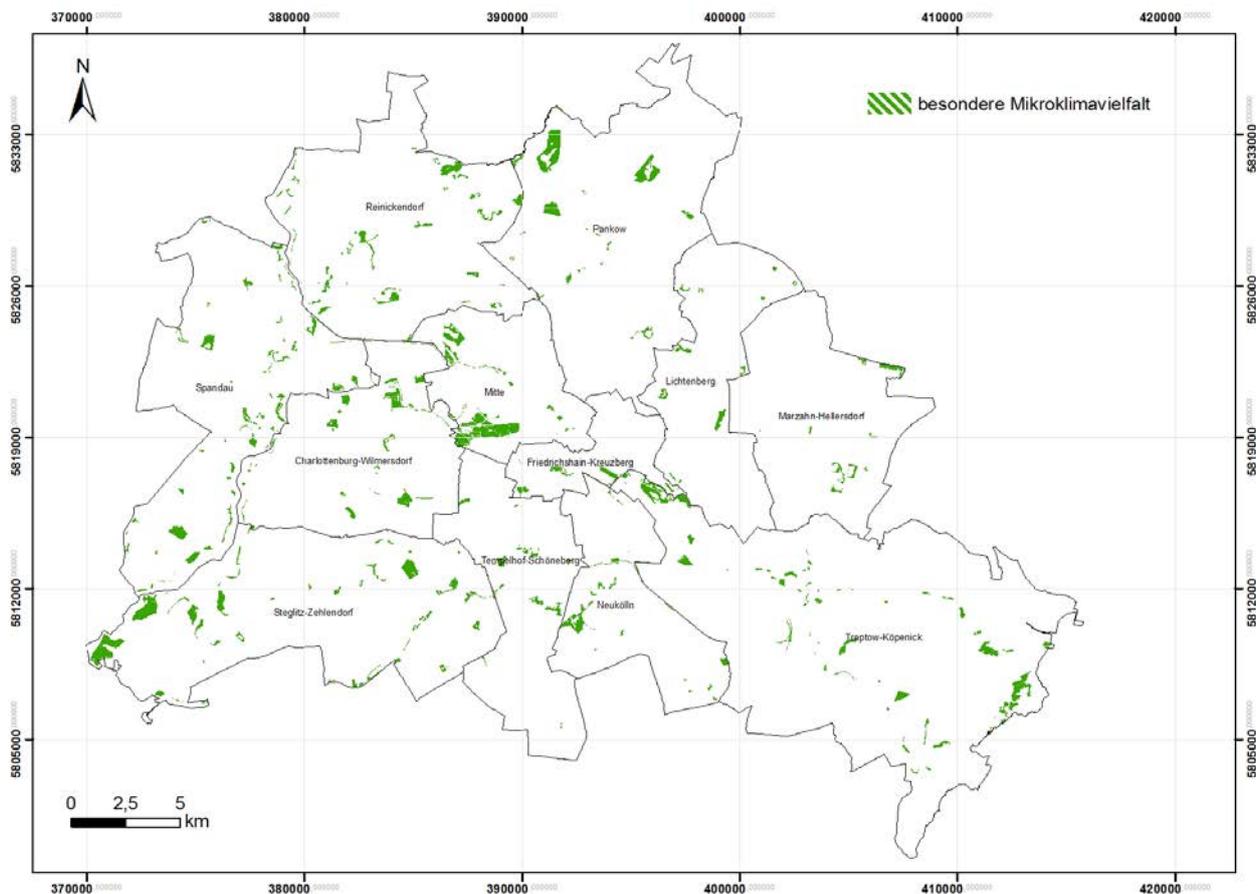


Abbildung 98: Grün-/Freiflächen mit einer besonderen Mikroklímaviefalt

Tabelle 14: Zuordnungsvorschriften für Maßnahmen zu Raum- und Kartiereinheiten

Maßnahme	Raumeinheit	vorkommende Kartiereinheit(en)	ggf. zusätzliche Zuordnungsbedingung	Anteil an Gesamtfläche der Raumeinheit
01	Siedlungsraum	-		0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 54, 94	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	55,1 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,130, 140, 150, 160, 190	Schutzwürdigkeit > gering und PET 14 Uhr > 34°C	7,6 %
	Gewässer	-		0,0 %
02	Siedlungsraum	Typ 2,6,7,8,9,10,11,46,47,49, 51,72,73,	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	48,6 %
		Typ 12,13,17, 30,31,32,33, 38,41,43, 44,45,60,92,93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 91, 94	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	56,3 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,130, 150, 160, 190	Schutzwürdigkeit > gering und PET 14 Uhr > 34°C	7,5 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
03	Siedlungsraum	Typ 30,31,33,38,92,93	thermische Belastung Tage $\geq$ weniger günstig	14,9 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 91, 94	thermische Belastung Tage $\geq$ weniger günstig	56,3 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
04	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 94	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	54,9 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
05	Siedlungsraum	Typ 1,2,6	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	6,8 %
		Typ 92	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
06	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,11,21,25,29, 46, 51, 72,73	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig und Versiegelungsgrad überdurchschnittlich	26,8 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,33,38,41, 43,44,45, 47,49,60,92,93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig und Versiegelungsgrad überdurchschnittlich	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte Typ 54,91,94	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	56,6 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %

Maßnahme	Raumeinheit	vorkommende Kartiereinheit(en)	ggf. zusätzliche Zuordnungsbedingung	Anteil an Gesamtfläche der Raumeinheit
07	Siedlungsraum	Typ 1,2,6,7,8,9,10,25,73	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig und unterversorgt mit Grünflächen	18,7 %
		Typ 30,31,33,38,43, 44	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Typ 54,91	<2ha und im Umkreis von 500m von Siedlungsräumen mit thermischer Belastung am Tage $\geq$ weniger günstig und einer Grünflächenunterversorgung	0,9 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 171,172,173	<2ha und im Umkreis von 500m von Siedlungsräumen mit thermischer Belastung am Tage $\geq$ weniger günstig und einer Grünflächenunterversorgung	0,5 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
08	Siedlungsraum	Typ 1,2,6,7,8,9,10,25,29,73	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig und unterversorgt mit Grünflächen	18,7 %
		Typ 30,31,33,38,43,44	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
09	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,11,21, 25,29, 46, 51, 72,73	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig und Grünvolumen unterdurchschnittlich	36,9 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,33, 38, 41,43, 44,45,47,49,60	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig und Grünvolumen unterdurchschnittlich	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
10	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,21,22, 23, 24,25,29,46,51,59,72,73	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	60,1 %
		Typ 12,13,17,32,33,38,41, 43, 44, 45, 47,49,60	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %

Maßnahme	Raumeinheit	vorkommende Kartiereinheit(en)	ggf. zusätzliche Zuordnungsbedingung	Anteil an Gesamtfläche der Raumeinheit
11	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,21,22,23,24,25,29,46,51,59,72,73,	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	74,0 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,33,38,41,43,44,45,47,49,60,92,93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte sowie Typ 54,91,94	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	56,6 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
12	Siedlungsraum	Typ 12,13,17,43,44,45,46, 51, 60, 93	Thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	4,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Typ 54	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig und kein Gewässer vorhanden	0,2 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 130,140	Schutzwürdigkeit > gering und kein Gewässer vorhanden und PET >34 °C	2,1 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
13	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,11,21,22,23,24,25,29,46,51,59,72	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	72,0 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,33,38,41,43,44,45,47,60	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
14	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,11,21,22,23,24,25,29,46,51,59,72,73	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	74,0 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,33,38,41,43,44,45,47,49,60,92,93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
15	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,11,21,22,23,24,25,29,46,51,59,72,73,	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	74,0 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,33,38,41,43,44,45,47,49,60,92,93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %

Maßnahme	Raumeinheit	vorkommende Kartiereinheit(en)	ggf. zusätzliche Zuordnungsbedingung	Anteil an Gesamtfläche der Raumeinheit
16	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,6,7,8,9,10,11,21,22,23,24,25,29,46,51,59,72,73,	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	59,1 %
		Typ 12,13,17,32,41,43, 44,45, 47,60, 93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
17	Siedlungsraum	Typ 21,22,23,24,46,51,59	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	25,7 %
		Typ 12,13,41,43, 44,47,60	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
18	Siedlungsraum	Typ 29,46,51	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig	21,9 %
		Typ 12,13,17,30,31,32,41,43,44, 45, 47,93	thermische Belastung Tag $\geq$ weniger günstig	
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
19	Siedlungsraum	Typ 2,3,7,8,9,11,12,13,17,21, 22,23,24,25,29,30,31,32,41,43, 44,46,47,49,51,59,60,72,73,92,93	Bauflächenpotential vorhanden und Lage innerhalb Kaltluftleitbahn oder $>30\%$ der Fläche ist Kaltlufteinwirkungsbereich	5,7 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,100,121,122,130,140,150, 160,171,172,173,190,200	Bauflächenpotential vorhanden und Lage innerhalb Kaltluftleitbahn oder $>30\%$ der Fläche ist Kaltlufteinwirkungsbereich	9,1 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
20	Siedlungsraum	Typ 1,2,3,7,8,9,10,11,12,13,17, 21,22,23,24,25,29,30,31,32,33, 38,41,43,44,45,46,47,49,51,59, 60,72,73,92,93	Bauflächenpotential vorhanden	9,5 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,100,121,122,130,140,150, 160,171,172,173,190,200	Bauflächenpotential vorhanden	11,2 %
	Gewässer	-	-	0,0 %

Maßnahme	Raumeinheit	vorkommende Kartiereinheit(en)	ggf. zusätzliche Zuordnungsbedingung	Anteil an Gesamtfläche der Raumeinheit
21	Siedlungsraum	1,2,3,6,7,8,9,10,11,21,22,23,24,25,29,59,72,73	thermische Belastung Tag oder Nacht $\geq$ weniger günstig und Anteil Ü65 oder U6 überdurchschnittlich	33,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
22	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,130,140,150,160,171, 172, 173,190	Schutzwürdigkeit > gering und ohne besondere Mikroklimavielfalt oder PET >34°C	38,5 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
23	Siedlungsraum	Typ 2,3,6,7,9,10,11,12,13,17,21, 22,23,24,25,29,30,31,32,33,38,41, 43,44,45, 46,47,49,51,59,60,72, 73,92	Kaltluftvolumenstrom sehr hoch oder Lage innerhalb einer Kaltluftleitbahn	14,9 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 54,91	Bestandteil einer Leitbahn	2,5 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,100,121,122,130,140,150, 160, 171,172, 173,190,200	Schutzwürdigkeit > gering und Kaltluftvolumenstrom hoch bis sehr hoch oder Lage innerhalb einer Kaltluftleitbahn	16,8 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
24	Siedlungsraum	Typ 2,3,6,7,9,10,11,12,13,17,21, 22,23,24,25,29,30,31,32,33,38,41, 43,44,45, 46,47,49,51,59,60,72, 73,92	Kaltluftvolumenstrom sehr hoch oder Lage innerhalb einer Kaltluftleitbahn	14,9 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 54,91	Bestandteil einer Leitbahn	2,5 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,100,121,122,130,140,150, 160, 171,172, 173,190,200	Schutzwürdigkeit > gering und Kaltluftvolumenstrom hoch bis sehr hoch oder Lage innerhalb einer Kaltluftleitbahn	16,8 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
25	Siedlungsraum	Typ 2,3,6,7,9,10,11,12,13,17,21, 22,23,24,25,29,30,31,32,33,38,41, 43,44,45, 46,47,49,51,59,60,72, 73,92	Kaltluftvolumenstrom sehr hoch oder Lage innerhalb einer Kaltluftleitbahn	14,9 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte, Typ 54,91	Bestandteil einer Leitbahn	2,5 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,100,121,122,130,140,150, 160, 171,172, 173,190,200	Schutzwürdigkeit > gering und Kaltluftvolumenstrom hoch bis sehr hoch oder Lage innerhalb einer Kaltluftleitbahn	16,8 %
	Gewässer	Typ 100	-	100,0 %

Maßnahme	Raumeinheit	vorkommende Kartiereinheit(en)	ggf. zusätzliche Zuordnungsbedingung	Anteil an Gesamtfläche der Raumeinheit
26	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	Straßenabschnitte	Bestandteil einer Leitbahn und Luftbelastung $\geq$ hoch	0,1 %
	Grün- und Freiflächen	-	-	0,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
27	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 0,130,140,150,160	Schutzwürdigkeit > gering und >2ha	22,9 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
28	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 171,172,173	>2ha und im Umkreis von 500m von Siedlungsraum mit thermischer Belastung am Tage oder in der Nacht $\geq$ weniger günstig	8,0 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
29	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 100	-	44,8 %
	Gewässer	-	-	0,0 %
30	Siedlungsraum	-	-	0,0 %
	Öffentliche Straßen, Wege und Plätze	-	-	0,0 %
	Grün- und Freiflächen	GRZ 100,121,130,150,160,171,172,173,19,200	Schutzwürdigkeit > gering und Wasserfläche vorhanden	7,0 %
	Gewässer	TYP 100	.	100,0 %

# Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: RÄUMLICHE VERTEILUNG DER NUTZUNGSKATEGORIEN IN DER PHK STADTKLIMA 2015 .....	4
ABBILDUNG 2: MITTLERE WINDRICHTUNGSVERTEILUNG IM ZEITRAUM 2001 BIS 2010 AN DER KLIMASTATION BERLIN-GRUNEWALD (MESSHÖHE 27 M, CA. 7 M ÜBER 20 M HOHEM BAUMBESTAND)). DIE RINGLINIEN KENNZEICHNEN DIE HÄUFIGKEITEN DES AUFTRETENS DER WINDRICHTUNGEN, IHR ABSTAND BETRÄGT 1 %. (SENSTADTUM 2014) .....	5
ABBILDUNG 3: PROZENTUALE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR THERMISCHEN GESAMTSITUATION IN DEN SIEDLUNGSRÄUMEN (VERKNÜPFUNG VON TAG- UND NACHTSITUATION) .....	12
ABBILDUNG 4: RÄUMLICHE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR THERMISCHEN GESAMTSITUATION IN DEN SIEDLUNGSRÄUMEN (VERKNÜPFUNG VON TAG- UND NACHTSITUATION) .....	13
ABBILDUNG 5: BILANZIERUNG DER THERMISCHEN GESAMTSITUATION IM SIEDLUNGSRAUM DER 12 BEZIRKE BERLINS .....	14
ABBILDUNG 6: PROZENTUALE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR THERMISCHEN GESAMTSITUATION AUF ÖFFENTLICHEN STRAßEN, WEGEN UND PLÄTZEN .....	17
ABBILDUNG 7: GESAMTBEWERTUNG DER THERMISCHEN SITUATION AUF ÖFFENTLICHEN STRAßEN, WEGEN UND PLÄTZEN .....	18
ABBILDUNG 8: BILANZIERUNG DER THERMISCHEN BELASTUNGSSITUATION AUF DEN ÖFFENTLICHEN STRAßEN, WEGEN UND PLÄTZEN DER 12 BEZIRKE BERLINS.....	18
ABBILDUNG 9: DAS GROßRÄUMIGE LUFTAUSTAUSCHSYSTEM BERLINS .....	19
ABBILDUNG 10: MITTLERE WINDRICHTUNGSVERTEILUNG IM ZEITRAUM 2001 BIS 2010 AN DER KLIMASTATION BERLIN-TEMPELHOF (MESSHÖHE 10 M). DIE RINGLINIEN KENNZEICHNEN DIE HÄUFIGKEITEN DES AUFTRETENS DER WINDRICHTUNGEN, IHR ABSTAND BETRÄGT 1 %. (SENSTADTUM 2014). .....	20
ABBILDUNG 11: BEREICHE MIT KALTLUFTABFLUSSPOTENTIAL .....	21
ABBILDUNG 12: KERNZONEN DER GROßRÄUMIGEN KALTLUFTLEITBAHNEN („LEITBAHNKORRIDORE“) .....	22
ABBILDUNG 13: FLÄCHENBILANZIERUNG DER KERNZONEN DER BERLINER KALTLUFTLEITBAHNEN .....	23
ABBILDUNG 14: SUMMARISCHER EINWIRKUNGSBEREICH DER GROßRÄUMIGEN UND LOKALEN KOMPONENTEN DES BERLINER LUFTAUSTAUSCHSYSTEMS BEI AUTOCHTHONEN WETTERLAGEN .....	24
ABBILDUNG 15: BILANZIERUNG DER KALTLUFTEINWIRKUNG AUF DEN SIEDLUNGSRAUM NACH BEZIRKEN.....	25
ABBILDUNG 16: ENTSCHEIDUNGSBAUM ZUR BEWERTUNG DER SCHUTZWÜRDIGKEIT DER GRÜN- UND FREIFLÄCHEN	26
ABBILDUNG 17: PROZENTUALE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR KLIMAÖKOLOGISCHEN SCHUTZWÜRDIGKEIT VON FREI-/UND GRÜNFLÄCHEN .....	29
ABBILDUNG 18: RÄUMLICHE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR KLIMAÖKOLOGISCHEN SCHUTZWÜRDIGKEIT DER GRÜN-/FREIFLÄCHEN .....	30
ABBILDUNG 19: FLÄCHEN MIT BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTÄNDEN.....	32
ABBILDUNG 20: PROZENTUALE VERTEILUNG DER FLÄCHENKATEGORIEN MIT BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTÄNDEN .....	33
ABBILDUNG 21: BILANZIERUNG DER FLÄCHEN MIT BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTÄNDEN FÜR DIE 12 BERLINER BEZIRKE .....	33
ABBILDUNG 22: (SCHRÄG-)LUFTBILDER AUSGEWÄHLTER BLOCK(TEIL)FLÄCHEN MIT (PRIMÄRER) WOHNFUNKTION, DIE EINEN BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTAND AUFWEISEN (QUELLEN: GOOGLE MAPS - © 2015 GOOGLE) .....	34

ABBILDUNG 23: BILANZIERUNG DER BLOCK(TEIL)FLÄCHEN MIT (PRIMÄRER) WOHNFUNKTION, DIE EINEN BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTAND AUFWEISEN .....	34
ABBILDUNG 24: (SCHRÄG-)LUFTBILDER AUSGEWÄHLTER BLOCK(TEIL)FLÄCHEN DER FLÄCHENKATEGORIEN SIEDLUNGSRAUM (GEWERBE, INDUSTRIE), SIEDLUNGSRAUM (GEMEINBEDARF) UND SIEDLUNGSRAUM (KERNGEBIET), DIE EINEN BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTAND AUFWEISEN (QUELLE: GOOGLE MAPS - © 2015).....	35
ABBILDUNG 25: (SCHRÄG-)LUFTBILDER AUSGEWÄHLTER STRAßENABSCHNITTE DER RAUMEINHEIT ÖFFENTLICHE STRAßEN, WEGE UND PLÄTZE, DIE EINEN BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTAND AUFWEISEN (QUELLE: GOOGLE MAPS - © 2015).....	36
ABBILDUNG 26: (SCHRÄG-)LUFTBILDER AUSGEWÄHLTER GRÜN-/FREIFLÄCHEN, DIE EINEN BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTAND AUFWEISEN (QUELLE: GOOGLE MAPS - © 2015) .....	37
ABBILDUNG 27: DAS TEMPELHOFER FELD ALS BEISPIEL FÜR EINE GRÜN-/FREIFLÄCHE MIT EINEM STADTKLIMATISCHEN MISSSTAND (QUELLE: GOOGLE MAPS - © 2015) .....	37
ABBILDUNG 28: BILANZIERUNG DER THERMISCH SENSIBLEN BEVÖLKERUNGSGRUPPEN AUF DER EBENE DER BERLINER BEZIRKE (STAND DER EINWOHNERDATEN 06/2014, STATISTIK BBB 2014) .....	39
ABBILDUNG 29: DEMOGRAPHISCHE VULNERABILITÄT GEGENÜBER DER THERMISCHEN BELASTUNG – RÄUMLICHE ANALYSE AUF EBENE DER BLOCK(TEIL)FLÄCHEN .....	41
ABBILDUNG 30: DEMOGRAPHISCHE VULNERABILITÄT GEGENÜBER DER THERMISCHEN BELASTUNG – BILANZIERUNG AUF EBENE DER BEZIRKE.....	41
ABBILDUNG 31: AGGREGIERTE AUFTRITTSHÄUFIGKEIT DER STADTKLIMATISCH SENSIBLEN GEBÄUDE-/FLÄCHENNUTZUNGEN IN DEN TEILFLÄCHEN DER DREI RAUMEINHEITEN „SIEDLUNGSRAUM“, „GRÜN-UND FREIFLÄCHEN“ SOWIE „ÖFFENTLICHE STRAßEN, WEGE UND PLÄTZE“ .....	42
ABBILDUNG 32: BEISPIEL FÜR EIN CLUSTER MIT SECHS VERSCHIEDENEN KLIMASENSIBLEN NUTZUNGSTYPEN IM BEZIRK CHARLOTTENBURG-WILMERSDORF (STAND DER ERFASSUNG DER STANDORTE: 2013/2014).....	43
ABBILDUNG 33: ANZAHL DER EINZELFLÄCHEN MIT KLIMASENSIBLEN GEBÄUDE-/FLÄCHENNUTZUNGEN IN DEN TEILFLÄCHEN DER DREI RAUMEINHEITEN „SIEDLUNGSRAUM“, „GRÜN-UND FREIFLÄCHEN“ SOWIE „ÖFFENTLICHE STRAßEN, WEGE UND PLÄTZE“ – AGGREGATION AUF BEZIRKSEBENE .....	44
ABBILDUNG 34: RÄUMLICH AGGREGIERTE DARSTELLUNG DER KLIMASENSIBLEN GEBÄUDE-/FLÄCHENNUTZUNGEN IN DEN TEILFLÄCHEN DER DREI RAUMEINHEITEN „SIEDLUNGSRAUM“, „GRÜN-UND FREIFLÄCHEN“ SOWIE „ÖFFENTLICHE STRAßEN, WEGE UND PLÄTZE“ .....	44
ABBILDUNG 35: ABSOLUTE ANZAHL UND RELATIVER ANTEIL AGGREGIERTER SENSIBLER NUTZUNGEN IN THERMISCH BELASTETER UMGEBUNG IN DEN 12 BERLINER BEZIRKEN .....	46
ABBILDUNG 36: RÄUMLICHE VERTEILUNG VON STADTKLIMASENSIBLEN GEBÄUDE-/FLÄCHENNUTZUNGEN .....	47
ABBILDUNG 37: ABSOLUTE ANZAHL UND RELATIVER ANTEIL DER SENSIBLEN NUTZUNGSTYPEN IN THERMISCH BELASTETER UMGEBUNG.....	47
ABBILDUNG 38: RÄUMLICHE DARSTELLUNG VON FLÄCHEN MIT EINER BESONDEREN VULNERABILITÄT GEGENÜBER DEM STADTKLIMA AUFGRUND EINER GRÜNFLÄCHENUNTERVERSORGUNG .....	49
ABBILDUNG 39: BILANZIERUNG DER VULNERABILITÄT GEGENÜBER DEM STADTKLIMA AUFGRUND EINER GRÜNFLÄCHENUNTERVERSORGUNG IN DEN 12 BERLINER BEZIRKEN .....	50
ABBILDUNG 40: HANDLUNGSEBENEN UND AKTEURE DER KLIMAAANPASSUNG IN BERLIN (QUELLE: SENSTADTUM 2011) .....	51
ABBILDUNG 41: BEGRÜNTER MITTELSTREIFEN, HEYLSTRAßE, SCHÖNEBERG (FOTOS: DOMINIKA LEßMANN).....	54
ABBILDUNG 42: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 01 VERSCHATTUNG IM ÖFFENTLICHEN RAUM ...	55
ABBILDUNG 43: BAUMPFLANZUNG FINANZIERT AUS DER BERLINER STADTBAUMKAMPAGNE (FOTO: BJÖRN BÜTER).	55

ABBILDUNG 44: BEGRÜNTE PARKPLÄTZE: HEYLSTRAÙE, SCHÖNEBERG (LINKS) UND ESCHENGRABEN, PANKOW (RECHTS) (FOTOS: DOMINIKA LEßMANN).....	56
ABBILDUNG 45: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 02 BEGRÜNUNG UND VERSCHATTUNG VON PARKPLÄTZEN .....	57
ABBILDUNG 46: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 03 REDUKTION ANTHROPOGENER WÄRMEEMISSIONEN AUS DEM VERKEHR .....	58
ABBILDUNG 47: GLEISBEGRÜNUNG AUF DER BERLINER ALLEE (FOTO: SENSTADTUM BERLIN) .....	59
ABBILDUNG 48: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 04 BEGRÜNUNG VON GLEISTRASSEN .....	60
ABBILDUNG 49: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 05 RÜCKBAU/ENTDICHTUNG .....	61
ABBILDUNG 50: REIHENSTEINPFLASTER AM REICHSTAGUFER (LINKS) UND PLATTENBAHN IM RASEN, ZUM GROßEN WINDKANAL, ADLERSHOF (RECHTS) (FOTOS: SENSTADTUM BERLIN).....	62
ABBILDUNG 51: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 06 ENTSIEGELUNG.....	63
ABBILDUNG 52: POCKET PARK MIT GROßER MIKROKLIMAVIELFALT AM BAYERISCHEN PLATZ .....	64
ABBILDUNG 53: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 07 SCHAFFUNG VON POCKET-PARKS .....	65
ABBILDUNG 54: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 08 VERBESSERUNG DER ERREICHBARKEIT VON GRÜNFLÄCHEN.....	66
ABBILDUNG 55: GRÜNE HINTERHÖFE IN DER ROSENHEIMERSTRAÙE IM STADTTEIL SCHÖNEBERG (FOTOS: DOMINIKA LEßMANN).....	67
ABBILDUNG 56: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 09 INNEN-/HINTERHOFBEGRÜNUNG.....	68
ABBILDUNG 57: VERSCHATTETE BALKONE AM SCHMOLLERPLATZ IM STADTTEIL ALT-TREPTOW, NEUKÖLLN (FOTO: ULRICH REINHECKEL, SENSTADTUM BERLIN) .....	69
ABBILDUNG 58: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 10 VERSCHATTUNG VON GEBÄUDEN .....	70
ABBILDUNG 59: TRESKOW HÖFE IM LICHTENBERGER STADTTEIL KARLSHORST (QUELLE: BERLINER MORGENPOST VOM 19.06.2015) .....	71
ABBILDUNG 60: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 11 ERHÖHUNG DER OBERFLÄCHEN-ALBEDO .....	72
ABBILDUNG 61: REGENWASSERTEICH AM POTSDAMER PLATZ (FOTOS: MIRIAM LÜBBECKE LINKS, BJÖRN BÜTER RECHTS).....	73
ABBILDUNG 62: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 12 ANLAGE VON OFFENEN WASSERFLÄCHEN IM ÖFFENTLICHEN RAUM.....	74
ABBILDUNG 63: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 13 ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG .....	75
ABBILDUNG 64: LINKS: EXTENSIVE DACHBEGRÜNUNG AUF DEM DACH DER MARCEL-BRÄUER-SCHULE IM PANKOWER ORTSTEIL WEIßENSEE (FOTO: KOMPETENZZENTRUM WASSER BERLIN); RECHTS: INTENSIVE DACHBEGRÜNUNG DER VERANSTALTUNGSHALLEN "MAX-SCHMELING_ UND 'VELODROM', FRIEDRICHSHAIN (FOTO: ULRICH REINHECKEL) .....	76
ABBILDUNG 65: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 14 DACHBEGRÜNUNG.....	77
ABBILDUNG 66: LINKS: ERDGEBUNDENE FASSADENBEGRÜNUNG IN DER MÜNCHENERSTRAÙE IM ORTSTEIL SCHÖNEBERG (FOTO: DOMINIKA LEßMANN) RECHTS: SYSTEMGEBUNDENE FASSADENBEGRÜNUNG DES PHYSIK-INSTITUTS DER HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN (FOTO: KOMPETENZZENTRUM WASSER BERLIN) .....	78
ABBILDUNG 67: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 15 FASSADENBEGRÜNUNG .....	79
ABBILDUNG 68: SONNENSCHUTZGLAS AM BERLINER HAUPTBAHNHOF UND MARIE-ELISABETH-LÜDERS-HAUS (FOTOS: BAUNETZ (YK), BERLIN) .....	80
ABBILDUNG 69: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 16 SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ AN GEBÄUDEN .....	81

ABBILDUNG 70: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 17 ANPASSUNG DES RAUMNUTZUNGSKONZEPTES .....	82
ABBILDUNG 71: LINKS: BAHNTOWER (FOTO MIGUEL SILVA BARRAL); RECHTS: MALL OF BERLIN (HOLGER SIEMS/BERLINONLINE).....	83
ABBILDUNG 72: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 18 TECHNISCHE GEBÄUDEKÜHLUNG .....	84
ABBILDUNG 73: DURCHLÄSSIGE BEBAUUNG AM HANG, BEI DER AUCH DIE TALSTRÖMUNG NICHT BEHINDERT WIRD (LINKS) UND BARRIEREN-BEBAUUNG AM HANG (RECHTS) (QUELLE: MVI BADEN-WÜRTTEMBERG 2012) .....	85
ABBILDUNG 74: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 19 OPTIMIERUNG DER GEBÄUDEAUSRICHTUNG UND DER BEBAUUNGSDICHTE BEI NEUBAUTEN.....	86
ABBILDUNG 75: DIE WOHNANLAGE BIGYARD IM ORTSTEIL PRENZLAUER BERG (QUELLE: LINKS: GDW BUNDESVERBAND RECHTS: GOOGLE MAPS - © 2015 GOOGLE)) .....	87
ABBILDUNG 76: DAS PROJEKT KIEZKLIMA (QUELLE: <a href="http://www.list-gmbh.de/partizipation/kiezklima">HTTP://WWW.LIST-GMBH.DE/PARTIZIPATION/KIEZKLIMA</a> ).....	88
ABBILDUNG 77: BEISPIELE FÜR URBAN GARDENING PROJEKTE IN BERLIN; LINKS: KIDS`GARDEN, RECHTS: PRINZESSINNENGARTEN (FOTOS: FU BERLIN) .....	89
ABBILDUNG 78: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 21 FÖRDERUNG STADTGESELLSCHAFTLICHER SOZIALER NETZWERKE UND PROJEKTE .....	90
ABBILDUNG 79: LINKS: SCHEMA EINER KLIMAÖKOLOGISCH OPTIMIERTEN INNERSTÄDTISCHEN GRÜNFLÄCHE (QUELLE: GEO-NET); RECHTS: LUFTBILD VOM BRITZER GARTEN (QUELLE: GOOGLE EARTH - © 2015 GOOGLE) ...	91
ABBILDUNG 80: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 22 ERHÖHUNG DER MIKROKLIMATISCHEN VIELFALT IN ÖFFENTLICHEN GRÜNFLÄCHEN .....	92
ABBILDUNG 81: KALTLUFTENTSTEHUNGSGEBIETE IN BERLIN - OBEN LINKS: FREIZEITPARK LÜBARS, OBEN RECHTS: HAVELWIESEN AM GRIMNITZSEE; LINKS UNTEN: GROßER TIERGARTEN; RECHTS UNTEN: GRUNEWALD (FOTOS: SENSTADTUM BERLIN, BEEDUBZ, BERLIN.DE / TOBIAS KNESCHKE) .....	94
ABBILDUNG 82: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 23 SCHUTZ VON FÜR DEN KALTFLUFTHAUSHALT RELEVANTE FLÄCHEN .....	94
ABBILDUNG 83: LINKS: GRÜNFLÄCHE ENTLANG DES EHEMALIGEN LUISENSTÄDTISCHEN KANALS (FOTO: ULRICH REINHECKEL, SENSTADTUM BERLIN ; RECHTS: GRÜNFLÄCHENVERBUND VOLKSPARK WILMERSDORF – RUDOLF- WILDE-PARK (QUELLE: ESRI MAPS AND DATA) .....	95
ABBILDUNG 84: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 24 VERNETZUNG VON FÜR DEN KALTFLUFTHAUSHALT RELEVANTE FLÄCHEN.....	96
ABBILDUNG 85: BAUMGRUPPEN ALS AUSTAUSCHBARRIEREN (LINKS) SOWIE ZUR UMLEITUNG VON KALTFLUFABFLÜSSEN (RECHTS) (QUELLE: MVI 2012).....	97
ABBILDUNG 86: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 25 VERMEIDUNG VON AUSTAUSCHBARRIEREN .	98
ABBILDUNG 87: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 27 SCHUTZ BESTEHENDER GROSSFLÄCHIGER PARKS / GRÜNFLÄCHEN .....	100
ABBILDUNG 88: WESTPARK (LINKS) UND OSTPARK (RECHTS) AUF DEM GLEISDREIECKGELÄNDE (FOTOS: ANDREAS MACHATE).....	101
ABBILDUNG 89: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 28 ANLAGE NEUER GROßFLÄCHIGER PARKS / GRÜNFLÄCHEN.....	102
ABBILDUNG 90: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 29 SCHUTZ VON WALDFLÄCHEN .....	104
ABBILDUNG 91: RAUMKULISSE - EMPFEHLUNGEN FÜR MAßNAHME 30 SCHUTZ VON OFFENEN WASSERFLÄCHEN ...	105
ABBILDUNG 92: PROZENTUALE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR NÄCHTLICHEN THERMISCHEN SITUATION IN DEN SIEDLUNGSRÄUMEN .....	106

ABBILDUNG 93: RÄUMLICHE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR NÄCHTLICHEN THERMISCHEN SITUATION IN DEN SIEDLUNGSRÄUMEN .....	107
ABBILDUNG 94: BILANZIERUNG DER THERMISCHEN SITUATION IN DER NACHT IM SIEDLUNGSRAUM DER 12 BEZIRKE BERLINS .....	107
ABBILDUNG 95: PROZENTUALE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN ZUR THERMISCHEN SITUATION IN DEN SIEDLUNGSRÄUMEN AM TAGE .....	108
ABBILDUNG 96: RÄUMLICHE VERTEILUNG DER BEWERTUNGSKLASSEN THERMISCHEN SITUATION IN DEN SIEDLUNGSRÄUMEN AM TAGE .....	108
ABBILDUNG 97: BILANZIERUNG DER THERMISCHEN SITUATION AM TAGE IM SIEDLUNGSRAUM DER 12 BEZIRKE BERLINS .....	109
ABBILDUNG 98: GRÜN-/FREIFLÄCHEN MIT EINER BESONDEREN MIKROKLIMAVIELFALT.....	109

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: IN DIE PHK 2015 EINGEFLOSSENE STADTKLIMATISCH RELEVANTER PARAMETER .....	6
TABELLE 2: SONSTIGE RELEVANTE SACH- UND GEODATEN, DIE IN DIE PHK 2015 EINGEFLOSSEN SIND .....	7
TABELLE 3: KLASSENSTUFEN UND METHODE ZUR BEWERTUNG DER THERMISCHEN SITUATION IM SIEDLUNGSRAUM	10
TABELLE 4: VERRECHNUNGSVORSCHRIFT ZUR VERKNÜPFUNG DER BEWERTUNG VON TAG- UND NACHTSITUATION..	11
TABELLE 5: KLASSENSTUFEN UND METHODE ZUR BEWERTUNG DER THERMISCHEN SITUATION AUF ÖFFENTLICHEN STRABEN, WEGEN UND PLÄTZEN.....	16
TABELLE 6: BEWERTUNG DES KALTLUFTVOLUMENSTROMS INNERHALB VON GRÜN-UND FREIFLÄCHEN.....	28
TABELLE 7: KATEGORIEN UND METHODEN FÜR DIE AUSWEISUNG VON FLÄCHEN MIT BESONDEREN STADTKLIMATISCHEN MISSSTÄNDEN .....	32
TABELLE 8: DEMOGRAPHISCHE VULNERABILITÄT GEGENÜBER DER THERMISCHEN BELASTUNG - METHODE UND ZUSAMMENGEFASSTE ERGEBNISSE AUF EBENE DER BLOCKTEILFLÄCHEN DER BLOCKKARTE 1:5.000 (ISU5) .....	40
TABELLE 9: METHODE ZUR ABLEITUNG DER THERMISCHEN BELASTUNG VON KLIMASENSIBLEN GEBÄUDE- UND FLÄCHENNUTZUNGEN .....	45
TABELLE 10: STUFEN DER „VERSORGUNGSANALYSE GRÜN“ IM LANDSCHAFTSPROGRAMM BERLIN.....	48
TABELLE 11: EMPFEHLUNGEN ZU RAUMEINHEITENSPEZIFISCHEN MAßNAHMEN ALS DRITTE HAUPTEBENE DER PLANUNGSHINWEISKARTE STADTKLIMA 2015 .....	52
TABELLE 12: LUFTHYGIENISCH BELASTETE STRABENABSCHNITTE MIT KALTLUFTLEITBAHNFUNKTION .....	99
TABELLE 13: ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEN HUMANBIOKLIMATISCHEN INDIZES PMV/PET UND DER PHYSIOLOGISCHEN BELASTUNGSSTUFE.....	106
TABELLE 14: ZUORDNUNGSVORSCHRIFTEN FÜR MAßNAHMEN ZU RAUM- UND KARTIEREINHEITEN.....	110

## Quellenverzeichnis

- Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) (2010): Technische Regel für Arbeitsstätten: Raumtemperatur, ASR A3.5, Quelle: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)(28.08.2015). Internet: <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/1108456/publicationFile/89166/ASR-A3-5.pdf> (Zugriff: 26.10.2015)
- Baudialog (2015): Sommerlicher Wärmeschutz. Internet: <http://www.baudialog.de/bauen/infos-fuer-bauherren/sommerlicher-waermeschutz> (Zugriff: 26.10.2015)
- Baunetz Wissen (2015): Winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz.  
net: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade\\_Begrenzung-des-Energieeintrages\\_154561.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Fassade_Begrenzung-des-Energieeintrages_154561.html) (Zugriff: 26.10.2015)
- Berliner Grüngleisnetzwerk (2012): Wirkung und Funktion grüner Gleise.  
net: [www.gruengleisnetzwerk.de](http://www.gruengleisnetzwerk.de) (Zugriff: 26.10.2015)
- Berliner Morgenpost (2010): Sorge um Berlins Obdachlose nach Kälteeinbruch. Zeitungsartikel vom 27.11.2010. Internet: <http://www.morgenpost.de/berlin/article1464109/Sorge-um-Berlins-Obdachlose-nach-Kaelteeinbruch.html> (Zugriff: 26.10.2015)
- Berliner Zeitung (2015): Gegen den Hitzetod: Berlin testet gekühlte Krankenzimmer. Onlineartikel vom 21.07.2015. Internet: <http://www.berliner-zeitung.de/wissen/gegen-den-hitzetod--berlin-testet-gekuehlte-krankenzimmer,10808894,31276504.html> (Zugriff: 26.10.2015)
- Bettgenhäuser et al. (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Schriftenreihe Climate Change des UBA. UFO-Planvorhaben 3708 41 110.
- Borgwardt et al. (1994): Versickerung auf befestigten Verkehrsflächen - Planerische Möglichkeiten des Einsatzes wasserdurchlässiger Pflastersysteme. SF-Kooperation GmbH, Bremen.
- Bundesregierung (2010): 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
- Deutsche Post (2014): postpersönlich. Internet: <http://www.deutschepost.de/de/p/postpersoenlich.html> (Zugriff: 26.10.2015)
- Deutscher Städtetag (2012): Positionspapier Anpassung an den Klimawandel - Empfehlungen und Maßnahmen der Städte.  
net: [http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/positionspapier\\_klimawandel\\_juni\\_2012.pdf](http://www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/positionspapier_klimawandel_juni_2012.pdf) (Zugriff: 26.10.2015)
- DIN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme.

- DIN 4108-2 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den WärmeschutzEnEV (2005): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV).
- DDV (=Deutscher Dachgärtner Verband e.V.) (2011): Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen. Nutzen, Fördermöglichkeiten, Praxisbeispiele.
- EnEV (2013): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV).
- EU (=Europäische Union) (2008): Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa
- Fanger, P.O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering. New York: McGraw, Hill.
- Fenner, D., Mücke, H.-G. und Scherer, D. (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. In: UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst, 1, 2015. Dessau: Umweltbundesamt, Dessau.
- FLL (=Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2000): Fassadenbegrünungsrichtlinie – Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen von Kletterpflanzen.
- FLL (=Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2002): Pflege und Wartung von Begrüntem Dächern. FLL: Selbstverlag.
- FLL (=Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2008): Dachbegrünungsrichtlinie - Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. FLL: Selbstverlag.
- Flussbad Berlin (2015): Projekt Flussbad Berlin. Im Internet:  
<http://www.flussbad-berlin.de/flussbad/idee/> (Zugriff: 26.10.2015)
- Freese, E. (2006): Stratifikation. [https://de.wikipedia.org/wiki/Stratifikation\\_%28%C3%96kologie%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Stratifikation_%28%C3%96kologie%29)  
(Zugriff: 26.10.2015)
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2010): Fachbeitrag Stadtklima zum landschaftsplanerischen Wettbewerb „Parklandschaft Tempelhof in Berlin“. Unveröffentlicht.
- Groß, G. (2012): Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing. In: Meteorologische Zeitschrift, Vol. 21, No. 2, 173-181.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2013): Klimaökologische Untersuchung „Tempelhofer Freiheit“ in Berlin. Unveröffentlicht.

- Grüne Liga Berlin e.V. (2015): Urbane Paradiese – unsere grünen Stadträume. Im net: <https://www.grueneliga-berlin.de/themen-projekte2/garten-nebenan/wettbewerb-2015/> (Zugriff: 26.10.2015)
- Grüngleisnetzwerk (2014): Handbuch Gleisbegrünung. Planung – Ausführung – Pflege. Hamburg: Eu-railPress.
- Henze; H.J., Kappis, C., Model, N., Siemsen, M., Tapia, O., Treffkorn, A., Tschuikowa, S.: (2003): Grundlagenforschung und Entwicklung von Schienenfahrwegen für den regionalen Personenverkehr - Prognosemodelle ANIRAIL zur Emissionsminderung von schienengebundenen Fahrwegen unter Nutzung von Gleisbett-Naturierungen (LERM), Abschlussbericht Forschungsvorhaben
- Höppe, P. und H. Mayer (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. Landschaft und Stadt 19 (1), S. 22–29.
- Jedicke, E. (1994): Biotopverbund: Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie. Stuttgart: Ulmer Verlag (2.Auflage).
- 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.
- Jendritzky G, Fiala D, Havenith G et al. (2007): Thermische Umweltbedingungen. In: promet Jahrg. 33, Biometeorologie des Menschen, Nr. 3/4: 83–94. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), Offenbach a.M.
- Kabisch N., Haase D. (2011): Gerecht verteilt? Grünflächen in Berlin, Zeitschrift für amtliche Statistik, Berlin Brandenburg, 6/11
- Kuttler, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13.
- Kuttler W. (2011): Climate change in urban areas Part 2, Measures; Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen, Environmental Sciences Europe, Im net: <http://www.enveurope.com/content/23/1/21> (Zugriff: 26.10.2015)
- Kuttler, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).
- KURAS (2015): Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme. BMBF-gefördertes Verbundvorhaben 2013-2016. Im Internet: <http://www.kuras-projekt.de/> (Zugriff: 26.10.2015)

- Küchen, C. (2015): BDI-Strategie für hohe Effizienz im Wärmemarkt. Vortrag im Rahmen der Berliner Energietage 2015.  
Im Internet: [http://www.berliner-energietage.de/fileadmin/user\\_upload/2015/Tagungsmaterial/Vortragsfolien/Berliner\\_Energietage\\_2015\\_VA\\_2.11\\_5\\_Kuechen.pdf](http://www.berliner-energietage.de/fileadmin/user_upload/2015/Tagungsmaterial/Vortragsfolien/Berliner_Energietage_2015_VA_2.11_5_Kuechen.pdf) (Zugriff: 26.10.2015)
- L.I.S.T. GmbH (2015). KiezKlima. Gemeinsam für ein besseres Klima im Brunnenviertel. Im Internet: <http://www.kiezklima.de/>
- Mayer, H.; Beckröge, W.; und A. Matzarakis (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. In: UVP-Report 5, S. 265 – 268.
- Megapoli (2010): MEGAPOLI Scientific Report 10-01, Global to City Scale Urban Anthropogenic Heat.
- MUNLV (=Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2010): Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel. Im Internet: [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/handbuch\\_stadtklima\\_kurzfassung.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/handbuch_stadtklima_kurzfassung.pdf) (Zugriff: 26.10.2015)
- MVI (=Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg) (2012): Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- Netzwerk Nachbarschaft (2015): Aktion gesunde Nachbarschaften. Im Internet: <http://www.netzwerk-nachbarschaft.net/wettbewerbe/aktion-gesunde-nachbarschaften.html> (Zugriff: 26.10.2015)
- Pfafferoth, J. und Becker, P. (2008): Erweiterung des Hitzewarnsystems um die Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen. In: BAUPHYSIK, 30.
- Pfoser et al. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld, Forschungsbericht, Technische Universität Darmstadt.
- Roloff A., Gillner S., Bonn S., TU Dresden (2008): Klima-Arten-Matrix (KLAM- Stadt) aus der Broschüre des Bundes Deutscher Baumschulen e.V. (BdB): Forschungsstudie Klimawandel und Gehölze.
- Scherber, K. (2014): Auswirkungen von Wärme- und Luftschadstoffbelastungen auf vollstationäre Patientenaufnahmen und Sterbefälle im Krankenhaus während Sommermonaten in Berlin und Brandenburg. Im Internet: <http://edoc.hu-berlin.de/docviews/abstract.php?id=40898> (Zugriff: 26.10.2015)

- Scherer, D. (2007): Viele kleine Parks verbessern Stadtklima. Mit Stadtplanung Klima optimieren. TASPO Report Die grüne Stadt, 15.
- Scherer D, Fehrenbach U, Lakes T et al. (2013): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. In: Die Erde 144 (3-4): 238–259. DOI: 10.12854/erde-144-17.
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (1994): Landschaftsprogramm Artenschutzprogramm 1994.
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2011): Flächennutzung und Stadtstruktur. Dokumentation der Kartiereinheiten und Aktualisierung des Datenbestandes 2010. Im net: [http://senstadt.spz.de/umwelt/umweltatlas/download/Nutzungen\\_Stadtstruktur\\_2010.pdf](http://senstadt.spz.de/umwelt/umweltatlas/download/Nutzungen_Stadtstruktur_2010.pdf) (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2010a): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung; Bearbeitung: Technische Universität Berlin, Hochschule Neubrandenburg.
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2011): Stadtentwicklungsplan Klima. Im net: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/de/klima/> (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2013): Weniger Schadstoffe. Mehr Lebensqualität. Der Luftreinhalteplan 2011-2017 des Landes Berlin. Im Internet: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/> (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2013a): Versorgung mit öffentlichen, wohnungsnahen Grünanlagen (Ausgabe 2013). Im net: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da605\\_03.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/da605_03.htm) (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2014): Umweltatlas Karte 04.13 Langjährige Entwicklung ausgewählter Klimaparameter (Ausgabe 2015). Im Internet: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d413\\_07.htm](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/d413_07.htm) (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2015): Fortschreibung StEP-Klima.

- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2015a): Flächenmonitoring Berlin; Stand 02/2015 Im  
net: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/basisdaten\\_stadtentwicklung/flaechen\\_monitoring/](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/basisdaten_stadtentwicklung/flaechen_monitoring/) (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2015b): Ausstellung Ökologische Gebäudekonzepte. Im  
net: [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/de/ausstellung/index.shtml](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/ausstellung/index.shtml) (Zugriff: 26.10.2015)
- SenStadtUm (=Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) (2015c): Stadtentwicklungsplan Klima Berlin Leitthemen und Handlungsempfehlungen.
- Sieker, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. mbH (2014): Arbeitsmaterialien Forschungsprojekt KURAS - Maßnahmensteckbriefe. Internes Dokument
- Siegl, A., Kirchner, L., Böhme, D. (2010): Wasserverfügbarkeit, Wasserbedarf und klimatische Auswirkungen von Rasengleisen, Berliner Geographische Arbeiten 116, Das Grüne Gleis - Vegetationstechnische, ökologische und ökonomische Aspekte der Gleisbettbegrünung, Berlin 2010, S. 123-132
- Stadt Berlin (2015): Plantschen und Wasserspielplätze. Im Internet: <http://www.berlin.de/kultur-und-tickets/tipps/kinder/2190358-2186128-planschen-wasserspielplaetze.html> (Zugriff: 26.10.2015)
- Stadt Sindelfingen (2001): Belüftungsanalyse für das Stadtgebiet von Sindelfingen Im net: [http://www.ima-umwelt.de/fileadmin/Dokumente/Klima/belueftungsanalyse\\_sindelfingen.pdf](http://www.ima-umwelt.de/fileadmin/Dokumente/Klima/belueftungsanalyse_sindelfingen.pdf) (Zugriff: 26.10.2015)
- Statistik BBB (2014): Amt für Statistik Berlin-Brandenburg: 'Melderechtlich registrierte Einwohnerinnen und Einwohner am Ort der Hauptwohnung am 30.06.2014'.
- Tagesspiegel (2015): Wo die kühle Luft für Berliner Läden und Büros herkommt. Im net: <http://www.tagesspiegel.de/berlin/kaeltezentrale-von-vattenfall-wo-die-kuehle-luft-fuer-berliner-laeden-und-bueros-herkommt/12186420.html> (Zugriff: 26.10.2015)
- TU Berlin (2015): Der Kampf gegen Hitzestress in der Stadt. Wie Klimatologen, Ingenieure, Ärzte und Stadtplaner zusammenarbeiten. Im Internet: [http://www.pressestelle.tu-berlin.de/newsportal/news\\_detail/?tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=2042&tx\\_ttnews\[backCat\]=98&tx\\_ttnews\[backPid\]=146768&cHash=b6d81fbd27](http://www.pressestelle.tu-berlin.de/newsportal/news_detail/?tx_ttnews[tt_news]=2042&tx_ttnews[backCat]=98&tx_ttnews[backPid]=146768&cHash=b6d81fbd27) (Zugriff: 26.10.2015)

- UBA (=Umweltbundesamt)(2015): Heizen, Raumtemperatur – Gewusst wie. Im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/heizen-raumtemperatur> (Zugriff: 26.10.2015)
- UBA (=Umweltbundesamt)(2015a): Gebäudeklimatisierung in Deutschland. Im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung> (Zugriff: 26.10.2015)
- VDI (=Verband Deutscher Ingenieure) (2008): Richtlinie 3787, Blatt 2 – Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung.
- VDI (=Verband Deutscher Ingenieure) (2014): Richtlinie 3787, Blatt 1 – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Weißdruck
- Xue, F., Xiaofeng Li, Zhiqin Zhang (2014): Numerical Study on Thermal Environment around the Fountain, Proceedings 7. Japanes-German Meeting, Hannover

## Verwendete Datengrundlagen

- GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover: GIS-gestützte Modellierung von stadtklimatisch relevanten Kenngrößen auf der Basis hochaufgelöster Gebäude- und Vegetationsdaten; EFRE Projekt 027 Stadtklima Berlin
- Daten des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) der SenStadtUm, III D, Stand 31.12.2010:
  - Blockkarte 1: 5.000 (ISU5)
  - Nutzungs-, Boden, Versiegelungs-(2011) und weitere Daten des ISU
  - Gebäude- und Vegetationshöhen (2009/2010)
  - Verkehrsbedingte Luftbelastung (2009)
  - Geländehöhen (DGM5, 2009)
- Automatisierte Liegenschaftskarte Berlin (ALK), Stand 01.06.2014
- Standorte der sozialen Infrastruktur (Planungsraumbezogenes Informationssystem für Monitoring und Analyse (PRISMA) sowie Landesamt für Gesundheit und Soziales (LaGeSo), Bearbeitungsstände:
  - Sport: 31.12.2011
  - Bibliotheken: 31.12.2011
  - Kita/Horte: 31.12.2012
  - Öffentliche Spielplätze 08/2014
  - Krankenhaus-, Seniorenheim - und Seniorenfreizeitstätten: Fachlisten des LaGeSo 06.2014; Download:  
[http://www.berlin.de/lageso/\\_assets/gesundheits/publikationen/krankenhausverzeichnis\\_2014.pdf](http://www.berlin.de/lageso/_assets/gesundheits/publikationen/krankenhausverzeichnis_2014.pdf)
- Melderechtlich registrierte Einwohner am Ort der Hauptwohnung in Berlin am 30.06.2014, Amt für Statistik Berlin-Brandenburg
- Landschaftsprogramm Berlin, Klassifikation der Grün-Versorgungsstufen in Verbindung mit der Umweltatlas-Karte 06.05 Versorgung mit öffentlichen, wohnungsnahen Grünanlagen (Ausgabe 2013)
- Detailnetz Berlin (detailliertes Modell des Straßennetzes 2014))
- Land Brandenburg:
  - ALKIS-Datenbestand Gebäude und Tatsächliche Nutzung, Stand 10/2013
  - Geländehöhen (DGM25)

