

KiezKlima – Meilenstein 2

DAS: Partizipative Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen am Beispiel des Berliner Brunnenviertels als innovative Strategie in der Stadtteilentwicklung

Bericht zu den klimatischen Bedingungen im Pilotgebiet

Bearbeitung durch: Daniel Fenner*
Ute Fehrenbach
Fred Meier
Dieter Scherer

Fachgebiet Klimatologie, Institut für Ökologie
Technische Universität Berlin
Rothenburgstraße 12
12165 Berlin
*daniel.fenner@tu-berlin.de

21. Dezember 2015

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Einleitung..... | 3 |
| 2. | Studiengebiet und Pilotgebiet von KiezKlima..... | 4 |
| 3. | Methodik und Untersuchungsskalen..... | 6 |
| 4. | Regionale Klimabedingungen..... | 7 |
| 4.1 | Allgemeine Bedingungen..... | 7 |
| 4.2 | Hitze | 8 |
| 4.3 | Kälte | 10 |
| 4.4 | Starkregen | 10 |
| 4.5 | Trockenperioden | 11 |
| 4.6 | Stürme | 12 |
| 4.7 | Zukünftige Extreme..... | 12 |
| 4.8 | Stadtklima Berlins..... | 14 |
| 5. | Lokalklima | 16 |
| 5.1 | Lufttemperatur und thermische Situation | 16 |
| 6. | Mikroklimatische Verhältnisse | 20 |
| 6.1 | Thermische Belastung am Tag..... | 20 |
| 6.2 | Thermische Belastung in der Nacht..... | 23 |
| 7. | Zusammenfassung und Ausblick..... | 25 |
| 8. | Quellen..... | 26 |
| | Anhang..... | 28 |
| a. | Klimatologische Kenntage vergangener Perioden..... | 28 |
| b. | EURO-CORDEX | 31 |
| c. | SOLWEIG-Modellkonfiguration und PET-Berechnungsschritte..... | 32 |

1. Einleitung

Die klimatischen Bedingungen, wie sie im Pilotgebiet vom KiezKlima-Projekt im Berliner Brunnenviertel herrschen, werden auf unterschiedlichen räumlichen Skalen bestimmt. Großräumige, regionale Bedingungen auf der Mesoskala (mehrere Kilometer bis mehrere hunderte Kilometer) prägen maßgeblich das Wetter und Klima im Berlin-Brandenburger Raum. Diese großräumigen Bedingungen werden innerhalb der Stadt modifiziert und überprägt, so dass sich charakteristische klimatische Bedingungen auf der Lokalskala (wenige hunderte Meter bis mehrere Kilometer) ausbilden, wie beispielsweise im Brunnenviertel (BV). Innerhalb des Pilotgebiets selber liegen darüber hinaus mikroskalige (wenige Meter bis mehrere hunderte Meter) Unterschiede und Besonderheiten vor. Diese drei räumlichen Skalen sollen in dieser vorliegenden Analyse adressiert werden. In der Analyse soll der Schwerpunkt auf klimatische Bedingungen gelegt werden, welche für die Akteure, das BV und die Entwicklung von Klimaanpassungsmaßnahmen bereits heute relevant sind oder im Hinblick auf den globalen Klimawandel relevant werden können. Die Analyse bezieht sich auf klimatische Aspekte, lufthygienische Fragestellungen werden nicht bearbeitet.

Primäres Ziel dieser Analyse soll die Untersuchung und Charakterisierung der klimatischen Gegebenheiten im Pilotgebiet von KiezKlima sein. Damit soll ermöglicht werden, im weiteren Projektverlauf die Klimaanpassungsmaßnahmen hinsichtlich der relevanten klimatischen Aspekte zu planen und zu gestalten. Darüber hinaus soll die Untersuchung es den lokalen Akteuren ermöglichen, relevante Informationen zu den klimatischen Bedingungen im Pilotgebiet zu erhalten.

2. Studiengebiet und Pilotgebiet von KiezKlima

Die Stadt Berlin liegt im Osten Deutschlands und ist mit rund 3,4 Mio. Einwohnern und einer Fläche von 892 km² die bevölkerungsreichste und größte Stadt Deutschlands. Die größte Ausdehnung des Stadtgebiets beträgt 38 km in Nord-Süd-Richtung und 45 km in Ost-West-Richtung (Abbildung 1). Das Stadtgebiet besteht zu rund 41 % aus Gebäude- und Freiflächen, ca. 18 % Waldflächen, rund 15 % Verkehrsflächen, 12 % Erholungsflächen und ca. 7 % Wasserflächen (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2014).

Berlins Relief ist wenig ausgeprägt, einzelne höhere Erhebungen sind die Arkenberge (122 m ü. NN) die Müggelberge und der Teufelsberg (je 115 m ü. NN) sowie die Ahrenfelder Berge (112 m ü. NN) (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2014). Das innerstädtische Gebiet liegt im Berliner Urstromtal mit Höhen von rund 30 m ü. NN, die nördlichen und südlichen Stadtbereiche liegen auf Grundmoränenflächen der Barnimer Platte und der Teltower Platte mit Höhen bis 60 m ü. NN (Hupfer und Chmielewski, 1990).

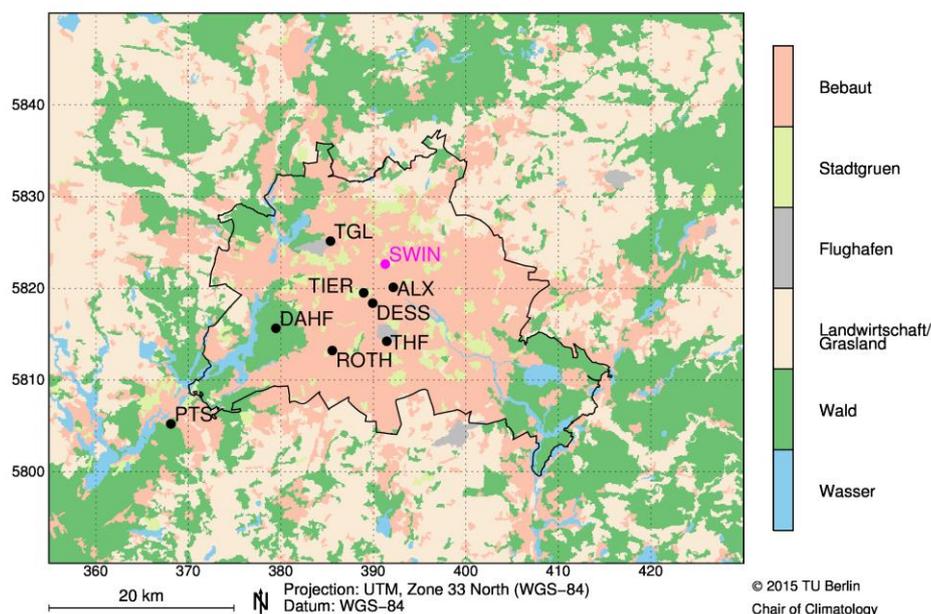


Abbildung 1: Stadtgebiet Berlin und Umgebung. Die in der Analyse verwendeten Messstationen sind als Punkte markiert, die Messstation SWIN im Pilotgebiet ist zusätzlich pink markiert. Datengrundlage: CORINE (Büttner et al., 2012), eigene Darstellung.

Das Pilotgebiet befindet sich rund 2,7 km nördlich vom Alexanderplatz und bildet den östlichen Teil des BV, welches sich östlich und westlich der Brunnenstraße im Bezirk Berlin-Mitte befindet (Abbildung 2). Das Pilotgebiet erstreckt sich auf einer Länge von 1150 m (SSO-NNW-Richtung) und einer Breite von 550 m (ONO-WSW-Richtung) mit einer Gesamtfläche von ca. 0,58 km². Es wird im Norden vom Gleisbett und Bahnhof Gesundbrunnen, im Osten vom Mauerpark, im Süden von der Bernauer Straße und im Westen von der Brunnenstraße begrenzt. Rund 24 % der Fläche sind bebaut, 42 % mit Vegetation bedeckt und 34 % unbebaut versiegelt oder offener Boden (SenStadtUm, 2014). Die mittlere Gebäudehöhe im Pilotgebiet beträgt 16,3 m, die mittlere Vegetationshöhe ca. 7 m (SenStadtUm, 2014). Die Bebauungsstruktur im BV unterscheidet sich von der typischen Blockrandbebauung Berlins. Im Pilotgebiet liegt hauptsächlich eine Zeilen-/Blockbebauung mit offenen und großen „grünen“ Innenhöfen vor (Abbildung 2, Abbildung 3). Im westlichen Teil des BV gibt es zudem größere Flächen mit Hallen und versiegelten Höfen und Parkplätzen. Bezüglich der Bevölkerungs- und Sozialstruktur im Gebiet sei auf das Quartiersportfolio verwiesen, welches im Rahmen vom KiezKlima-Projekt erstellt wurde (L.I.S.T. GmbH, 2015).

Nördlich an das Pilotgebiet anschließend liegt der Bahnhof Gesundbrunnen mit breiten Gleisbetten und einem großen Bahnhofsbereich. Nördlich davon befinden sich Kleingartenanlagen sowie eine dichte

Blockrandbebauung im Stadtteil Wedding, durchsetzt von Parks. Östlich des BV befindet sich der Mauerpark mit einzelnen Baumgruppen, insbesondere aber großen Rasenflächen und versiegelten Flächen. Östlich davon befinden sich die Max-Schmeling-Halle, der Friedrich-Ludwig-Jahn-Sportpark sowie der Park Falkplatz. Daran schließt sich eine dichte Blockrandbebauung an, welche sich bis in die Bereiche südlich des BV zieht (Abbildung 2). Westlich vom BV befinden sich der Park am Nordbahnhof mit Rasenflächen und Baumgruppen sowie zahlreiche Beachvolleyballfelder. Daran schließen dichter bebaute Quartiere an. Nordwestlich grenzt der Humboldtthain auf dem Trümmerberg des ehemaligen Flakturms an das Pilotgebiet an. Es handelt sich hierbei um eine große Parkfläche mit dichter Vegetation, einem Schwimmbad und einzelnen Rasenflächen.

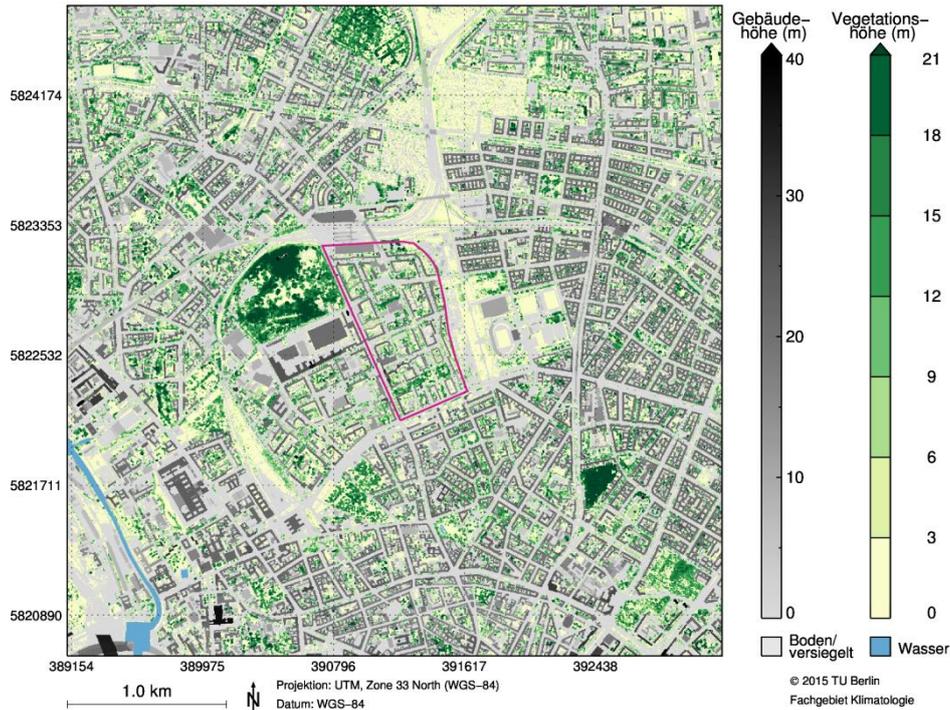


Abbildung 2: Lage des Pilotgebiets (pink umrandet) und umgebende Stadtquartiere. Dargestellt sind Gebäude- und Vegetationshöhen. Datengrundlage: SenStadtUm (2014).

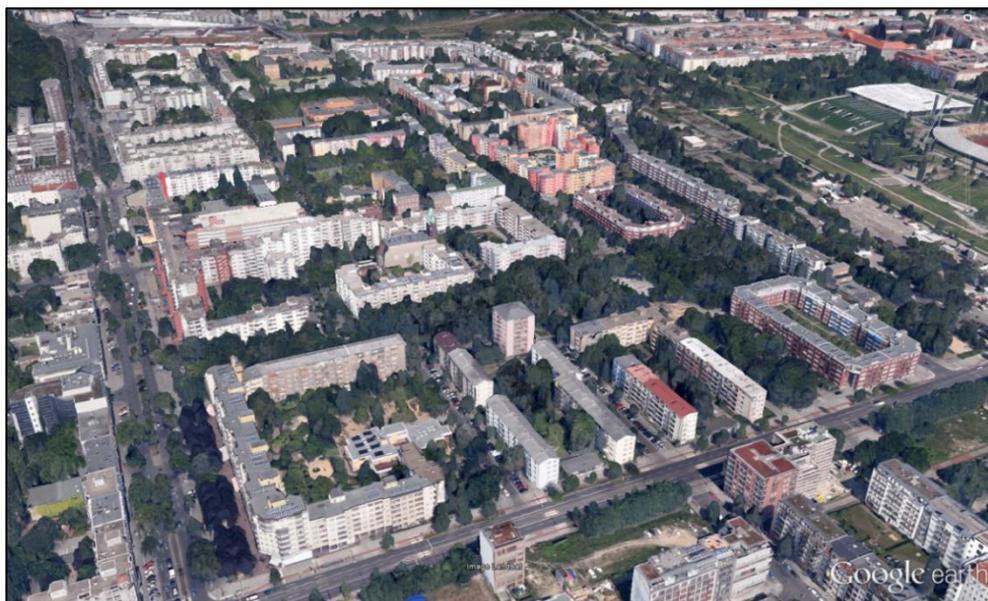


Abbildung 3: Pilotgebiet von KiezKlima im Berliner Brunnenviertel von Süden aus gesehen. Quelle: Google Earth, Landsat, 2015.

3. Methodik und Untersuchungsskalen

Regionale Klimabedingungen (Mesoskala)

Die großräumigen, regionalen klimatischen Bedingungen im Raum Berlin-Brandenburg bestimmen maßgeblich das Wetter und Klimageschehen für die Menschen im BV. Die Untersuchung dieser Bedingungen umfasst zum einen eine Charakterisierung der heutigen klimatischen Gegebenheiten und zum anderen die Änderung dieser Gegebenheiten durch den globalen Klimawandel. Der Schwerpunkt der Analyse liegt auf Themenbereichen, welche für die Akteure im BV und die Maßnahmenentwicklung relevant sind. Dies sind:

- Hitze → Wärmebelastung für Menschen, ökonomische Relevanz
- Kälte → Kältebelastung für Menschen, ökonomische Relevanz
- Starkregen → mögl. Sachschäden
- Trockenperioden → Auswirkungen auf Vegetation
- Stürme → mögl. Sach- und Personenschäden

Wesentliche Datenquellen:

- Meteorologische Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD)
- Regionale Klimaprojektionen der EURO-CORDEX Initiative

Lokale Klimabedingungen (Lokalskala)

Auf lokaler Skala werden die großräumigen klimatischen Bedingungen vom BV und den umliegenden Stadtquartieren durch die Landbedeckung/Landnutzung und die Gebäude- und Vegetationsstruktur überprägt. Dieser Teil der klimatischen Analyse bezieht sich im Wesentlichen auf die Charakterisierung der lokalklimatischen Gegebenheiten hinsichtlich Lufttemperatur.

Wesentliche Datenquellen:

- Meteorologische Messdaten des DWD
- Messdaten vom Stadtklima-Messnetz des Fachgebiets (FG) Klimatologie, Technische Universität Berlin (TUB)
- Analysen und Karten der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (SenStadtUm)

Kleinräumige Klimabedingungen (Mikroskala)

Innerhalb des Pilotgebiets werden durch mikroskalige Unterschiede in der Gebäude- und Vegetationsstruktur die lokalen klimatischen Bedingungen modifiziert. Dabei ist insbesondere die bioklimatische Belastung der Menschen im Sommer von Relevanz. Die Analyse besteht aus zwei Teilbereichen:

- Charakterisierung der thermischen Belastung am Tag
- Charakterisierung der thermischen Belastung in der Nacht

Wesentliche Datenquellen:

- Messdaten des FG Klimatologie, TUB
- Simulationen mit dem SOLWEIG-Modell
- Analysen und Karten von SenStadtUm

4. Regionale Klimabedingungen

Die großräumigen klimatischen Bedingungen werden in dieser Analyse, neben einer allgemeinen Beschreibung des Klimas im Großraum Berlin-Brandenburg, vornehmlich mittels klimatologischer Kenntage charakterisiert. Diese werden mit den Daten der DWD-Messstationen Potsdam und Berlin-Tempelhof für 30-Jahres-Perioden ab dem Jahr 1961 (Perioden 1961 – 1990, 1971 – 2000, 1981 – 2010) berechnet. Die beiden Stationen eignen sich für diese Analyse, da einerseits Langzeitdaten seit über fünfzig Jahren zur Verfügung stehen und andererseits sind beide Stationen für die Großräume Brandenburg (Potsdam) und Berlin (Berlin-Tempelhof) repräsentativ. Zusätzlich werden langfristige Trends für den 50-Jahres-Zeitraum 1961 – 2010 sowie ausgewählte klimatologische Kenntage für 10-Jahres-Zeiträume berechnet (Anhang). Die Veränderung der Kenntage durch den globalen Klimawandel wird für zwei zukünftige Perioden untersucht und charakterisiert (Perioden 2021 – 2050, 2071 – 2100).

4.1 Allgemeine Bedingungen

Das Regionalklima Berlins wird anhand der Köppen-Geiger Klassifikation als feucht-warm gemäßigtes Klima (Cfb) klassifiziert. Die prägenden klimatischen Bedingungen der Stadt lassen sich als Übergangsverhältnisse zwischen einem maritimen und einem kontinentalen Klima beschreiben (Hupfer und Chmielewski, 1990). Durch die Größe und Struktur Berlins bildet sich ein definiertes Stadtklima aus (s. Abschnitt 4.8).

Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt in Berlin bei 9,4 °C (Periode 1961 – 1990, Berlin-Tempelhof), sie ist im Zeitraum 1961 – 2010 um rund 0,3 K¹ pro Dekade angestiegen. Anhand der niedrigeren Durchschnittstemperatur für Potsdam ($T_{mean} = 8,7$ °C) wird bereits der großräumige Einfluss von Berlin auf die Lufttemperatur deutlich (s. auch Anhang a, Tabelle 10).

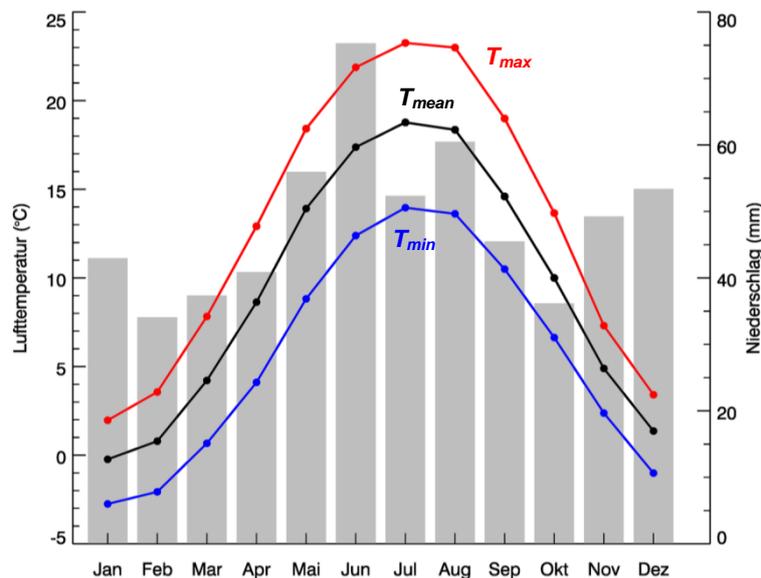


Abbildung 4: Klimadiagramm der Station Berlin-Tempelhof (52,4686° N; 13,4039° O, 34 m ü. NN) für die Periode 1961 – 1990. Für die Lufttemperatur ist jeweils die mittlere maximale Lufttemperatur (T_{max} , rot), die mittlere Lufttemperatur (T_{mean} , schwarz) und die mittlere minimale Lufttemperatur (T_{min} , blau) pro Monat dargestellt. Datengrundlage: DWD (2015a), eigene Darstellung.

¹Kelvin (K) ist eine Temperatureinheit, die auch für Temperaturdifferenzen bzw. -änderungen verwendet wird. Unterschiede bzw. Änderungen der Temperatur werden in K angegeben und entsprechen dem gleichen Wert in °C. Für konkrete Temperaturangaben gilt: 273,15 K = 0 °C (Gefrierpunkt des Wassers) sowie 0 K = -273,15 °C (absoluter Nullpunkt).

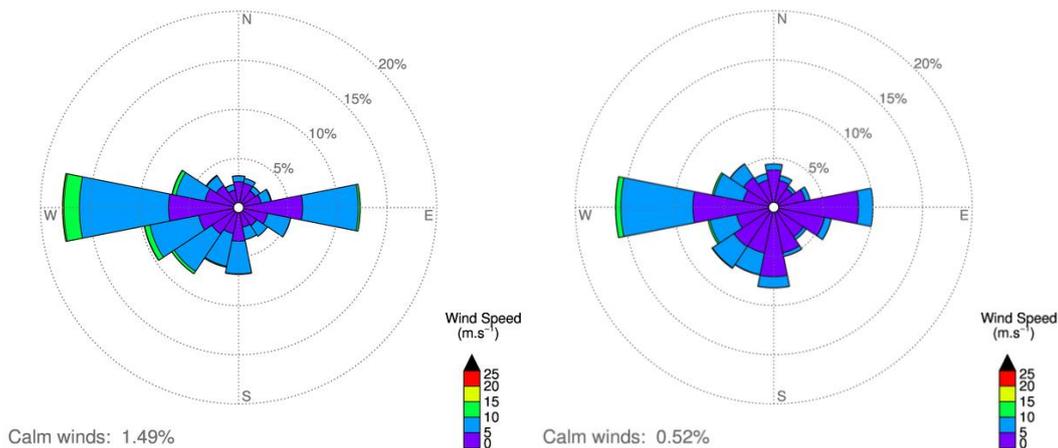


Abbildung 5: Windrosen für die Stationen Potsdam (links, Periode 1961 – 1990) und Berlin-Tempelhof (rechts, Periode 1981 – 2010). Die Windgeschwindigkeit ist farblich dargestellt. Windgeschwindigkeiten von 0,0 m/s sind als „calm winds“ angegeben. Datengrundlage: DWD (2015a), eigene Darstellung.

Abbildung 4 zeigt das Klimadiagramm für die Station Berlin-Tempelhof in der Periode 1961 – 1990. Deutlich wird der ausgeprägte Jahresgang der Lufttemperatur mit dem wärmsten Monat Juli (Durchschnittstemperatur 18,8 °C) und dem kältesten Monat Januar (Durchschnittstemperatur -0,2 °C). Der Niederschlag ist in allen Monaten ausreichend, um ein immerfeuchtes (vollhumides) Klima zu schaffen. Der mittlere Jahresniederschlag in der Periode 1961 – 1990 betrug 589 mm, die niederschlagsreichste Zeit im Jahr sind die Monate Mai bis August (Maximum im Juni mit 75,3 mm/Monat) sowie die Monate November und Dezember. Für die vergangenen fünf Dekaden (1961 – 2010) kann für die jährlichen Niederschlagssummen kein statistisch signifikanter Trend nachgewiesen werden. In trockenen Jahren fallen in Berlin lediglich rund 400 mm/a Niederschlag, in niederschlagsreichen Jahren fallen dagegen mehr als 800 mm/a Niederschlag, also ca. 30 % weniger, bzw. mehr als im Durchschnitt.

Die Verteilung der Windgeschwindigkeit und Windrichtung für die Stationen Potsdam und Berlin-Tempelhof ist in Abbildung 5 dargestellt. Vorherrschende Windrichtungen sind West bis Südwest und Ost. An der Station Berlin-Tempelhof ist die mittlere Windgeschwindigkeit niedriger als in Potsdam. Dies ist deutlich sichtbar an der Häufigkeit niedrigerer Windgeschwindigkeiten (violette Farbmarkierung).

4.2 Hitze

Hohe Lufttemperaturen stellen eine bioklimatische Belastung für den Menschen dar und Hitze ist europaweit, neben Erdbeben, für die meisten Todesfälle durch Naturkatastrophen verantwortlich (WHO, 2007). Scherer et al. (2013) konnten für Berlin zeigen, dass selbst moderat warme Perioden, welche mehrmals pro Jahr verzeichnet werden, zu einer deutlich erhöhten Mortalität führen. Zudem besteht ein besonders enger Zusammenhang zwischen Tropennächten und erhöhter Mortalität (Fenner et al., 2015). Hitzebedingungen werden in dieser Analyse anhand der klimatologischen Kenntage „heißer Tag“ ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) und „Tropennacht“ ($T_{min} \geq 20 \text{ °C}$) charakterisiert.

Heiße Tage werden derzeit in Berlin an durchschnittlich 10 d/a (Berlin-Tempelhof, Periode 1981-2010), bzw. 11 d/a (Potsdam) verzeichnet. Zwischen einzelnen Jahren gibt es große Unterschiede hinsichtlich der Anzahl (Tabelle 1, Abbildung 6; z.B. 2006 mit 22 d/a in Berlin-Tempelhof).

Tropennächte stellen eine besondere bioklimatische Belastungssituation für den Menschen dar, da sich der Körper aufgrund der nachts hohen Lufttemperatur nicht ausreichend erholen kann. Aufeinander folgende Tropennächte verschärfen die bioklimatische Belastung insbesondere für vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, Kinder und chronisch Kranke. Tropennächte sind an den Stationen Potsdam und Berlin-

Tempelhof durchschnittlich selten, in dicht bebauten Stadtquartieren liegt die Anzahl tropischer Nächte jedoch deutlich höher (s. Abschnitt 4.8). Die Anzahl von Tropennächten ist allerdings in Berlin-Tempelhof im Vergleich zu Potsdam bereits erhöht (Faktor 3 oder höher, Tabelle 1) und zeigt die anhebende Wirkung der Stadt auf die Lufttemperatur, insbesondere bezüglich der Tagesminimumwerte.

Obwohl die Lufttemperatur einen statistisch signifikanten Trend mit rund 0,3 K pro Dekade für Berlin für die vergangenen 50 Jahre anzeigt, gibt es, bis auf eine Erhöhung der heißen Tage an der Station Berlin-Tempelhof (0,1 d/a⁻¹), keine statistisch signifikante Veränderung der klimatologischen Kenntage bezüglich Hitzebedingungen (Tabelle 1).

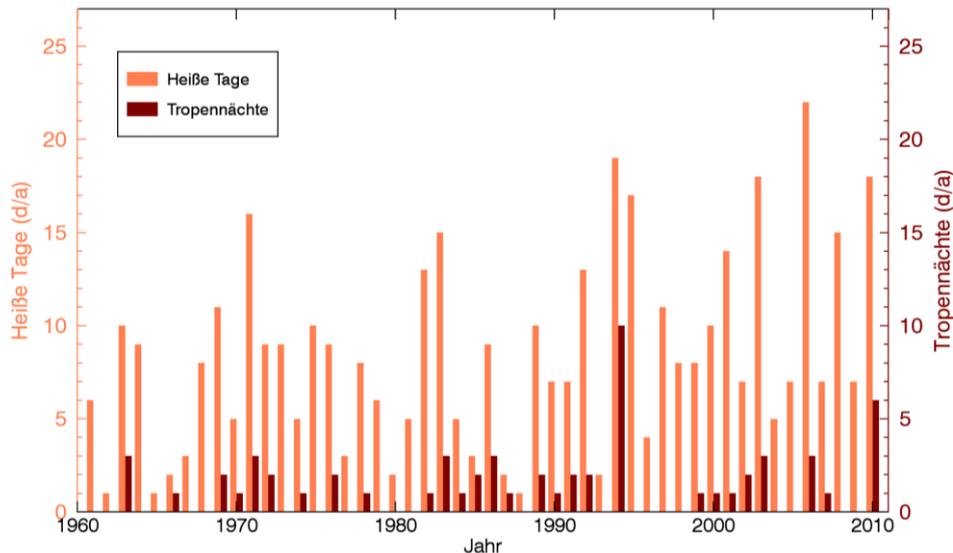


Abbildung 6: Anzahl heißer Tage ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$, hellbraun) und Tropennächte ($T_{min} \geq 20 \text{ °C}$, dunkelbraun) pro Jahr an der Station Berlin-Tempelhof im Zeitraum 1961 – 2010. Datengrundlage: DWD (2015a).

Tabelle 1: Ausgewählte Statistiken für heiße Tage ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) und Tropennächte ($T_{min} \geq 20 \text{ °C}$) für die Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für drei 30-Jahres-Perioden von 1961 bis 2010. Für die durchschnittliche Anzahl pro Zeitraum ist außerdem eine Standardabweichung σ angegeben. k. A.: kein statistisch signifikanter Trend nachzuweisen. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1990 | 1971 – 2000 | 1981 – 2010 |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Heiße Tage | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 8,4 \pm 5,3 / 6,8 \pm 4,1 | 9,6 \pm 5,3 / 8,2 \pm 4,7 | 10,7 \pm 5,8 / 9,6 \pm 5,6 |
| Max. Anzahl (d/a) | 18 / 16 | 20 / 19 | 25 / 22 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1969 / 1971 | 1994 / 1994 | 2003 / 2006 |
| Trend 1961 – 2010 (d/a a ⁻¹) für $p < 0.05$ | k. A. / 0.1 | | |
| Tropennächte | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 0,2 \pm 0,5 / 1,0 \pm 1,1 | 0,3 \pm 0,7 / 1,3 \pm 1,9 | 0,5 \pm 0,8 / 1,5 \pm 2,1 |
| Max. Anzahl (d/a) | 2 / 3 | 3 / 10 | 3 / 10 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1971 / 1963 | 1994 / 1994 | 1994 / 1994 |
| Trend, 1961 – 2010 (d/a a ⁻¹) für $p < 0.05$ | k. A. / k. A. | | |

4.3 Kälte

Der Zusammenhang zwischen niedriger Lufttemperatur und gesundheitlicher Belastung bis hin zum Tod ist auch im gemäßigten Klima Deutschlands ausgeprägt, der Jahresgang der Mortalität zeigt typischerweise das Maximum in den Wintermonaten (Koppe und Jendritzky, 2014). Kältebedingungen sind deshalb auch in dieser Analyse relevant. Sie werden hier anhand der klimatologischen Kenntage „Frosttag“ ($T_{min} < 0\text{ °C}$) und „Eistag“ ($T_{max} < 0\text{ °C}$) charakterisiert.

Die Anzahl von Frost- und Eistagen liegt in Berlin bei rund 78 d/a (Frosttage), bzw. 25 d/a (Eistage) (Periode 1961 – 1990, Berlin-Tempelhof). Wie bezüglich der Tropennächte dargestellt, wird insbesondere T_{min} von der Stadt beeinflusst, was die geringere Anzahl der beiden Kenntage in Berlin im Vergleich zu Potsdam erklärt (Tabelle 2). Bezüglich der Anzahl von Eistagen unterscheiden sich beide Stationen kaum. Beim Vergleich der verschiedenen 30-Jahres-Perioden zeigt sich, dass sich die durchschnittliche Anzahl beider Kenntage seit 1961 verringert hat, ein statistisch signifikanter Trend liegt allerdings nicht vor (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ausgewählte Statistiken für Frosttage ($T_{min} < 0\text{ °C}$) und Eistage ($T_{max} < 0\text{ °C}$) für die Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für drei 30-Jahres-Perioden von 1961 bis 2010. Für die durchschnittliche Anzahl pro Zeitraum ist außerdem eine Standardabweichung σ angegeben. k. A.: kein statistisch signifikanter Trend nachzuweisen. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1990 | 1971 – 2000 | 1981 – 2010 |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Frosttage | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 89,4 \pm 18,0 / 77,6 \pm 18,5 | 84,3 \pm 19,3 / 72,0 \pm 18,4 | 83,9 \pm 19,5 / 73,2 \pm 19,3 |
| Max. Anzahl (d/a) | 123 / 116 | 134 / 119 | 134 / 119 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1969 / 1969 | 1996 / 1996 | 1996 / 1996 |
| Trend 1961 – 2010 (d/a a ⁻¹) für p < 0.05 | k. A. / k. A. | | |
| Eistage | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 25,7 \pm 14,8 / 24,7 \pm 14,5 | 21,4 \pm 12,3 / 19,9 \pm 11,8 | 22,0 \pm 13,6 / 20,7 \pm 12,9 |
| Max. Anzahl (d/a) | 65 / 61 | 51 / 46 | 60 / 58 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1963 / 1963 | 1996 / 1996 | 2010 / 2010 |
| Trend, 1961 – 2010 (d/a a ⁻¹) für p < 0.05 | k. A. / k. A. | | |

4.4 Starkregen

Durch Starkregenereignisse kann es in Berlin durch die Überlastung der Kanalisation zu lokalen Überschwemmungen, vollgelaufenen Tiefgaragen und Kellern kommen. Im Pilotgebiet verursachen Starkregenereignisse derzeit jedoch keine nennenswerten Schäden oder Kosten (mündliche Mitteilung J. Richters, degewo). Diese Ereignisse werden im Folgenden mit Hilfe zweier klimatologischer Kenntage beschrieben: (1) Tage mit mehr als 10 mm/d Niederschlag (PRCP10) und (2) Tage mit mehr als 20 mm/d Niederschlag (PRCP20).

Starkniederschlagsereignisse treten in Berlin und Brandenburg insbesondere in den Sommermonaten im Zusammenhang mit Hitzegewittern und –unwettern auf. Während besonders starker Ereignisse fallen dann mehr als 100 mm/d. Diese extremen Ereignisse sind jedoch selten. Moderate Niederschlagsereignisse mit mehr als 10 mm/d treten in Berlin rund 12 Mal pro Jahr auf, stärkere Niederschlagsereignisse mit mehr als 20 mm/d rund drei Mal pro Jahr. Statistisch signifikante Veränderungen innerhalb der letzten 50 Jahre

bezüglich Starkregenereignissen liegen nicht vor (s. Anhang a, Tabelle 13). Abbildung 7 zeigt anhand der Häufigkeitsverteilung des täglichen Niederschlags für Berlin-Tempelhof, dass der Großteil des Niederschlags in Berlin mit wenigen mm pro Tag fällt.

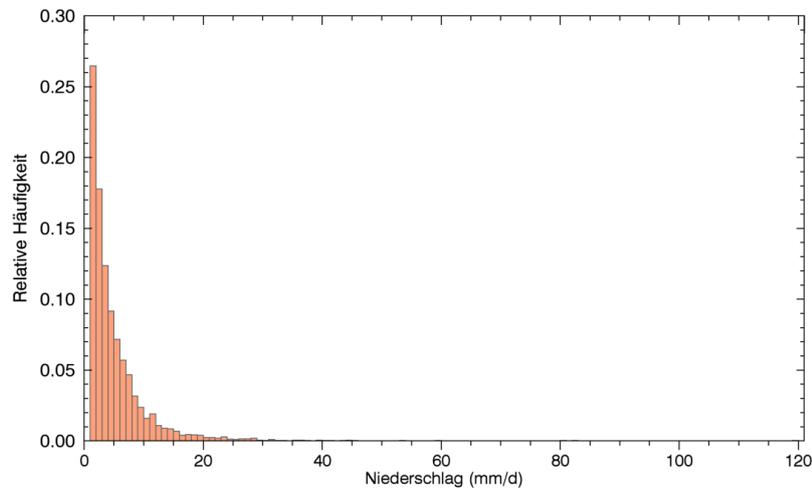


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung des täglichen Niederschlags an der Station Berlin-Tempelhof für die Periode 1961 – 1990. Niederschlagstage sind als Tage mit ≥ 1 mm/d Niederschlag definiert. Datengrundlage: DWD (2015a).

4.5 Trockenperioden

Für die Wasserversorgung des Vegetationsbestands sind Trockenperioden von Relevanz. Diese werden hier als Anzahl aufeinanderfolgender Tage ohne Niederschlag (consecutive dry days – CDD) definiert. Tage ohne Niederschlag sind Tage, an denen weniger als 1 mm/d Niederschlag fällt.

Durchschnittlich fällt in Berlin ausreichend und in Abständen von wenigen Tagen Niederschlag (Abbildung 8). Einzelne Trockenperioden können allerdings sehr lang sein (bis zu zwei Monate), häufig liegen diese langen Trockenphasen in der Vegetationsperiode (Anhang a, Tabelle 14).

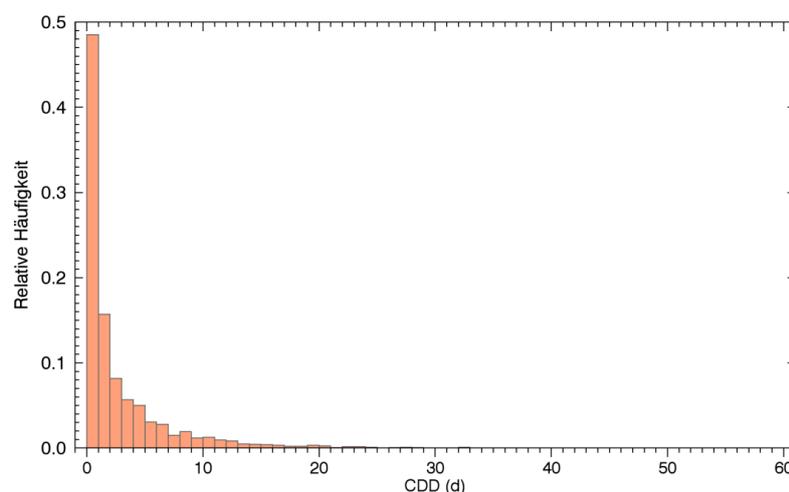


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung aufeinanderfolgender Trockentage (consecutive dry days - CDD) an der Station Berlin-Tempelhof für die Periode 1961 – 1990. Trockentage sind definiert als Tage mit < 1 mm/d Niederschlag. Datengrundlage: DWD (2015a).

4.6 Stürme

Stürme können zu Sachschäden an Gebäuden und Vegetation führen, stellen aber auch eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar (z.B. umherfliegende Teile). Die Analyse erfolgt mittels der maximalen täglichen Windgeschwindigkeit an der jeweiligen Station hinsichtlich der (Un-)Wetterwarnstufen des DWD. Diese sind im Anhang in Tabelle 15 aufgelistet.

Schwere Stürme (Beaufortskala 10, Warnstufe 3) treten im Raum Berlin-Brandenburg rund vier Mal pro Jahr auf (Tabelle 3). Tage mit Windgeschwindigkeiten, die als orkanartiger Sturm (Beaufortskala 11, Warnstufe 4) oder gar als Orkan (Beaufortskala 12, Warnstufen 5 und 6) klassifiziert werden, sind in Berlin mit einem Ereignis alle zwei Jahre bzw. einem Ereignis alle zehn Jahre seltener. In der Periode 1981 – 2010 wurden im Raum Berlin-Brandenburg keine Orkane verzeichnet.

Tabelle 3: Durchschnittliche Anzahl \pm Standardabweichung σ von Starkwindereignissen, charakterisiert nach (Un-)Wetterwarnstufen des Deutschen Wetterdienstes für die Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für zwei 30-Jahres-Perioden von 1971 bis 2010. Die Definition der Warnstufen ist im Anhang in Tabelle 15 zu finden. Für die beiden Stationen liegen für die Periode 1961 – 1990 nicht ausreichend Daten vor, für Berlin-Tempelhof auch nicht für die Periode 1971 – 2000. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | Warnstufe | 1971 – 2000 | 1981 – 2010 |
|---|-----------|---------------------|----------------------------------|
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 1 | 66,7 \pm 13,8 / - | 63,0 \pm 10,3 / 41,7 \pm 8,8 |
| | 2 | 35,6 \pm 11,4 / - | 29,3 \pm 9,6 / 19,3 \pm 10,6 |
| | 3 | 4,3 \pm 3,0 / - | 3,6 \pm 3,0 / 2,1 \pm 2,0 |
| | 4 | 1,2 \pm 1,6 / - | 0,9 \pm 1,3 / 0,3 \pm 0,7 |
| | 5 | 0,5 \pm 0,6 / - | 0,4 \pm 0,6 / 0,1 \pm 0,4 |
| | 6 | 0,1 \pm 0,3 / - | 0 / 0 |

4.7 Zukünftige Extreme

Zur Untersuchung der Veränderung der klimatischen Bedingungen im Raum Berlin-Brandenburg durch den globalen Klimawandel wurden Daten von regionalen Klimamodellen ausgewertet. Die Auswertung beruht auf einem Modellensemble von neun regionalen Klimamodellen (EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014); Anhang b, Tabelle 16), welche mit den Daten von globalen Klimamodellen angetrieben wurden. Ausgewertet wurden die Daten für den Großraum Berlin-Brandenburg (s. Anhang b, Abbildung 16) mit einer räumlichen Auflösung von 0.11° (~12,5 km). Als Klimaprojektion wurden die Daten des RCP8.5-Szenarios („Business-as-Usual“) verwendet. Dieses Szenario geht von einer Weltbevölkerung von zwölf Milliarden Menschen bis zum Jahr 2100 aus, dass keine weltweiten politischen Anstrengungen zum Klimaschutz umgesetzt werden und hohe Treibhausgasemissionen die weltweite Kohlendioxidkonzentration auf das Dreifache des derzeitigen Wertes anheben.

In der Auswertung wurden 30-jährige Mittelwerte und die klimatologischen Kenntage bezüglich Lufttemperatur und Niederschlag betrachtet. In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind jeweils die Mittelwerte pro Jahr für die gesamte Region, den jeweiligen 30-jährigen Zeitraum und das Modellensemble angegeben. Einzelne Modelle des Ensembles können davon stark abweichen. Zum Vergleich sind außerdem die Werte der Observierungen in Potsdam (DWD) aufgeführt, da die Modelldaten fehlerbehaftet sein können (z.B. Modelle „zu kalt“ oder „zu feucht“). Dadurch können die Werte im Modellensemble für die vergangene Periode (1971 – 2000) von denen der Observierungen abweichen. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Fehler in den Modellen systematisch sind, kann die relative Veränderung der Kenntage in der Zukunft zur Vergangenheit verwendet werden, um die zukünftige Anzahl der Kenntage auf Basis der Observierungen abzuschätzen (z.B. Abschätzung der Anzahl heißer Tage: 9,6 d/a + 68 % \approx 16 d/a (Zeitraum 2021 – 2050), 9,6 d/a + 292 % \approx 38 d/a (Zeitraum 2071 – 2100)).

Für die Stadt Berlin selber können die Veränderungen in Mittelwerten und klimatologischen Kenntagen nicht auf Basis der Modelldaten abgeschätzt werden, da keine hochauflösenden Klimaprojektionen für die Stadt vorliegen. Die hier angegebenen Werte gelten für den Großraum Berlin-Brandenburg. Durch das vorherrschende Stadtklima Berlins sind bereits heute insbesondere die Anzahl von Tropennächten höher und die Anzahl von Frost- und Eistagen niedriger als in Brandenburg (s. Abschnitte 4.2, 4.3).

Tabelle 4: Änderung langjähriger Mittelwerte der täglichen Lufttemperaturwerte (T_{mean} , T_{max} , T_{min}) und des Niederschlags (PRCP) für die Zeiträume 2021 – 2050 und 2071 – 2100 im Raum Berlin-Brandenburg, bezogen auf den historischen Zeitraum 1971 – 2000. Die Werte basieren auf einem Modellensemble von neun regionalen Klimamodellen der EURO-CORDEX Initiative für das Emissionsszenario RCP8.5. Angegeben sind die absolute Veränderung (K, bzw. mm/a), die Werte der Observierungen an der DWD-Station Potsdam sowie für alle Werte eine Standardabweichung σ .

| | CORDEX: Änderung zum Zeitraum 1971 – 2000 (absolut) | | Observierungen Potsdam |
|------------------------------------|--|-------------|---------------------------|
| | 2021 – 2050 | 2071 – 2100 | 1971 – 2000 |
| $T_{mean} \pm \sigma$ (K, bzw. °C) | 1,1 ± 0,3 | 3,2 ± 0,3 | 9,0 ± 0,8 |
| $T_{max} \pm \sigma$ (K, bzw. °C) | 1,0 ± 0,3 | 3,1 ± 0,4 | 13,5 ± 0,9 |
| $T_{min} \pm \sigma$ (K, bzw. °C) | 1,3 ± 0,3 | 3,5 ± 0,3 | 5,2 ± 0,7 |
| PRCP ± σ (mm/a) | 37,5 ± 25,2 | 78,8 ± 41,3 | 585,8 ± 109,1 |

Die in Tabelle 4 dargestellten Veränderungen zeigen deutlich einen Anstieg der mittleren Lufttemperatur als auch eine Zunahme des mittleren jährlichen Niederschlags. Bezüglich der täglichen Lufttemperaturwerte zeigt T_{min} eine stärkere Zunahme als T_{mean} und T_{max} , was auch anhand der drastisch erhöhten Anzahl von Tropennächten deutlich wird (Tabelle 5). Die Anzahl heißer Tage wird bis zum Ende des Jahrhunderts um rund das Dreifache des derzeitigen Wertes von rund 10 d/a ansteigen. Die Lufttemperatur wird sich insbesondere am oberen Ende der Verteilung ändern, dies zeigen die stärkeren Änderungssignale für die Kenntage Tropennächte und heiße Tage im Vergleich zu Frost- und Eistagen. Nichtsdestotrotz werden Kälteereignisse durchschnittlich abnehmen. Einzelne kalte und extreme Winter können jedoch trotzdem auftreten. Starkniederschlagsereignisse zeigen eine moderate Erhöhung bis zur Mitte des Jahrhunderts, bis zum Jahr 2100 eine Zunahme von rund 44 %.

Tabelle 5: Änderungen ausgewählter klimatologischer Kenntage für die Zeiträume 2021 – 2050 und 2071 – 2100 im Raum Berlin-Brandenburg, bezogen auf den historischen Zeitraum 1971 – 2000. Die dargestellten Mittelwerte basieren auf einem Modellensemble von neun regionalen Klimamodellen der EURO-CORDEX Initiative für das Emissionsszenario RCP8.5. Angegeben sind die absolute Veränderung \pm eine Standardabweichung σ (d/a) sowie die relative Veränderung in % in Klammern, bezogen auf den Mittelwert. Außerdem angegeben sind die Werte der Observierungen an der DWD-Station Potsdam. Heiße Tage: $T_{max} \geq 30$ °C, Tropennächte: $T_{min} \geq 20$ °C, Frosttage: $T_{min} < 0$ °C, Eistage: $T_{max} < 0$ °C, Starkregenereignisse PRCP10: Niederschlag > 10 mm/d und PRCP20: Niederschlag > 20 mm/d. CDD: Consecutive dry days, aufeinanderfolge Tage ohne Niederschlag (< 1 mm/d).

| | CORDEX: Änderung zum Zeitraum 1971 – 2000 (absolut und relativ) | | Observierungen Potsdam |
|--|--|--|---------------------------|
| | 2021 – 2050 | 2071 – 2100 | 1971 – 2000 |
| Heiße Tage ± σ (d/a) | +1,7 ± 1,2 (+68 %) | +7,3 ± 3,3 (+292 %) | 9,6 ± 5,6 |
| Tropennächte ± σ (d/a) | +1,0 ± 0,9 (+250 %) | +5,6 ± 3,7 (+1400 %) | 0,3 ± 0,7 |
| Frosttage ± σ (d/a) | -21,8 ± 7,0 (-23 %) | -56,9 ± 8,6 (-60 %) | 84,3 ± 19,3 |
| Eistage ± σ (d/a) | -8,4 ± 5,1 (-30 %) | -21,7 ± 6,0 (-76 %) | 21,4 ± 12,3 |
| PRCP10 ± σ (d/a) / PRCP20 ± σ (d/a) | +1,5 ± 1,1 (+11 %) / +0,4 ± 0,4 (+6 %) | +3,6 ± 1,5 (+26 %) / +1,1 ± 0,7 (+44 %) | 10,9 ± 4,1 / 2,2 ± 1,7 |
| CDD, Median (d) / Mittelwert längste Periode (d) | 0 (0 %) / +1 ± 6,1 (+2,7 %) | 0 (0 %) / -3 ± 5,8 (-8,3 %) | 1 / 41 |

Bezüglich der Trockenperioden (CDD) lässt sich anhand der ausgewerteten Modelldaten nur eine geringe Veränderung feststellen, dies auch lediglich bezüglich der jeweils längsten CDD innerhalb der Periode. Die mittlere Dauer (Median) zeigt keine Veränderung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Die jeweils längsten Trockenperioden pro Periode zeigen keine eindeutige Tendenz der Änderung im Modellensemble. Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts werden sie um durchschnittlich einen Tag länger, bis Ende des Jahrhunderts nimmt die Dauer um rund 8 % ab. Hierbei muss jedoch die hohe Standardabweichung beachtet werden.

Die dargestellten Auswertungen machen deutlich, dass insbesondere das Thema Hitze aus klimatischer Sicht zunehmende Relevanz in den kommenden Dekaden im Berlin-Brandenburger Raum bekommt, während Kälteereignisse weniger relevant werden. Bezüglich des Niederschlags wird sich die jährliche Niederschlagssumme erhöhen, damit einhergehend eine leichte Zunahme von Starkregenereignissen. Für Trockenperioden kann anhand der ausgewerteten Daten keine eindeutige Aussage für die kommenden Jahrzehnte getroffen werden.

4.8 Stadtklima Berlins

Durch die Lage der Stadt, ihrer Größe und Struktur bildet sich in Berlin ein ausgeprägtes Stadtklima aus. Dies ist weniger durch orografische Effekte bedingt (abgesehen von lokalen Kaltluftbewegungen), vielmehr durch den Stadtkörper an sich. Das Klima Berlins wurde bereits Anfang des 20. Jahrhunderts erstmals von Behre (1908) beschrieben. Eine umfangreiche wissenschaftliche Aufarbeitung von Messdaten im Berliner Raum und Analyse der stadtklimatischen Besonderheiten wurde von Hupfer und Chmielewski (1990) durchgeführt. Daneben bietet der digitale Umweltatlas der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt eine Auswahl stadtklimatischer Analysen (SenStadtUm, 2015a).

Insbesondere das Temperaturregime wird innerhalb der Bebauungsstruktur Berlins modifiziert (s. z.B. SenStadtUm, 2001a; Fenner et al. 2014, Fenner et al. 2015), es konnten jedoch auch räumliche Unterschiede bezüglich des Niederschlags nachgewiesen werden (Pagenkopf, 2010). Je nach Stadtstruktur lässt sich eine unterschiedliche Ausprägung der durchschnittlichen Lufttemperatur im langjährigen Mittel in Berlin finden. Besonders die dicht bebaute Innenstadt innerhalb des S-Bahn Rings weist eine höhere Lufttemperatur auf. Die Randbereiche der Stadt mit den großen Forstgebieten Grunewald und Köpenicker Forst als auch die großen innerstädtischen Grünanlagen Tiergarten und Tempelhofer Feld stellen dagegen Bereiche mit geringeren Mittelwerten der Lufttemperatur dar. Abbildung 9 zeigt die mittlere Lufttemperaturverteilung im Innenstadtbereich Berlins, inklusive des Pilotgebiets.

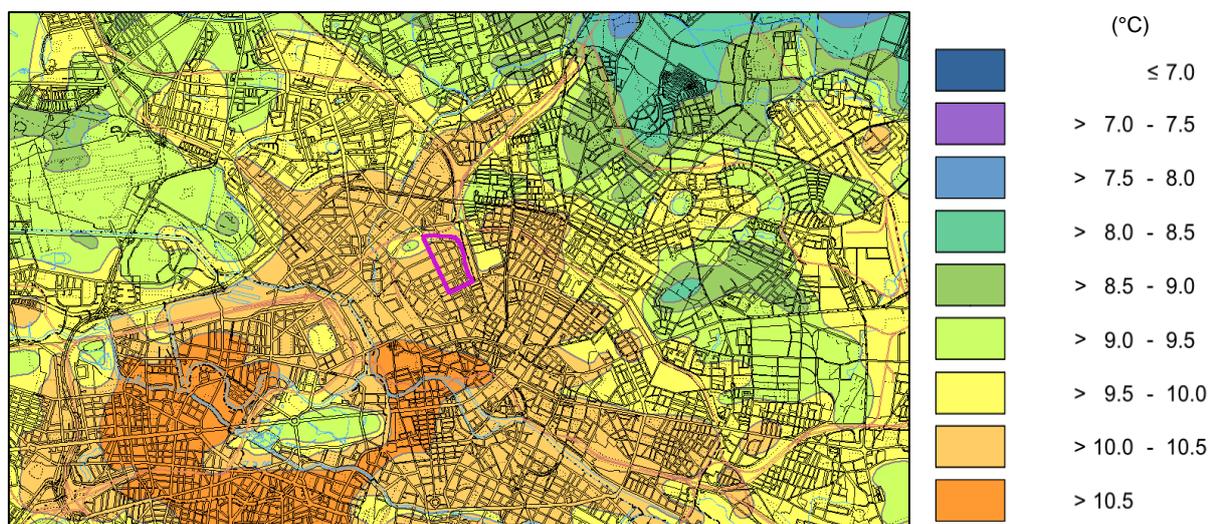


Abbildung 9: Langjähriges Mittel der Lufttemperatur 1961 – 1990 der Berliner Innenstadtbereiche. Das Pilotgebiet ist pink markiert. Quelle: SenStadtUm (2001a).

Die langjährigen Mittelwerte bilden jedoch nur unvollständig die Charakteristika des Temperaturregimes ab. Fenner et al. (2014) konnten zeigen, dass eine große räumliche und zeitliche Variabilität hinsichtlich des Effekts der städtischen Wärmeinsel, also dem Lufttemperaturunterschied zwischen Stadt und Umland, in Berlin besteht. Insbesondere während der warmen Jahreshälfte und in der Nacht ist die Lufttemperatur innerhalb der dichten Bebauungsstruktur erhöht. In einzelnen Nächten konnten Unterschiede zwischen Innenstadt und Umland von mehr als 10 K nachgewiesen werden.

Für die fünf Untersuchungsschwerpunkte (Hitze, Kälte, Trockenperioden, Starkniederschläge und Stürme) ergibt sich daher, dass durch die Modifikation der natürlichen Landoberfläche durch die Stadtstrukturen insbesondere die Bereiche Hitze und Kälte modifiziert werden. In Tabelle 6 sind die klimatologischen Kenntage auf Basis der Lufttemperatur für verschiedene Messstandorte für die Dekade 2001 – 2010 gegenübergestellt. Die Stationen Berlin-Alexanderplatz und Dessauer Straße, beides Standorte im Stadtkern Berlins, zeigen eine verringerte Anzahl von Frost- und Eistagen sowie eine leichte Erhöhung der Anzahl heißer Tage. Vor allem die höhere Anzahl von Tropennächten in den dicht bebauten Stadtbereichen weist auf die temperaturanhebende Wirkung der Stadt in den Nachtstunden hin. An durchschnittlich knapp zehn Tagen pro Jahr kühlt sich die Luft nicht unter 20 °C ab, in einzelnen Jahren wie z.B. 2006 wurden 21 Tropennächte an der Station Berlin-Alexanderplatz bzw. 22 Tropennächte in der Dessauer Straße verzeichnet (Tabelle 6). Dies sind Situationen, die aus bioklimatischer Sicht sehr problematisch sind und eine besondere Belastung für große Anteile der Stadtbevölkerung Berlins darstellen.

Tabelle 6: Durchschnittliche Anzahl \pm Standardabweichung σ (d/a) ausgewählter klimatologischer Kenntage für die Dekade 2001 – 2010 für ausgewählte Stationen in und um Berlin. Die Lage der Stationen ist in Abbildung 1 dargestellt. Ein * markiert die Stationen des DWD, die anderen Stationen sind Teil des Messnetzes des FG Klimatologie, TUB. Stationsbeschreibungen dieser Stationen sind in Fenner et al. (2014) zu finden.

| | Heiße Tage $\pm \sigma$ (d/a) | Tropennächte $\pm \sigma$ (d/a) | Frosttage $\pm \sigma$ (d/a) | Eistage $\pm \sigma$ (d/a) |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Berlin-Alexanderplatz* (ALX) | 13,1 \pm 5,9 | 7,5 \pm 6,0 | 58,1 \pm 21,7 | 16,8 \pm 15,0 |
| Berlin-Tempelhof* (THF) | 12,0 \pm 6,1 | 2,9 \pm 2,7 | 78,1 \pm 19,5 | 20,7 \pm 14,6 |
| Potsdam* (PTS) | 12,9 \pm 6,6 | 0,8 \pm 0,9 | 84,0 \pm 19,3 | 21,1 \pm 15,2 |
| Dessauer Straße (DESS) | 14,0 \pm 5,4 | 9,1 \pm 6,3 | 60,4 \pm 20,1 | 17,0 \pm 15,3 |
| Rothenburgstraße (ROTH) | 12,3 \pm 6,1 | 2,4 \pm 2,7 | 73,5 \pm 18,3 | 16,9 \pm 14,1 |
| Tiergarten (TIER) | 10,9 \pm 5,7 | 1,2 \pm 1,2 | 68,2 \pm 22,8 | 16,3 \pm 11,5 |

In Stadtbereichen mit lockerer Bebauung und einem hohen Grünflächenanteil ist diese thermische Belastung in der Nacht geringer (z.B. Tropennächte an der Station Rothenburgstraße (ROTH) in Berlin-Steglitz: 2,4 d/a). Anhand der Station Tiergarten (TIER), die sich im Berliner Tiergarten befindet, wird die kühlende Wirkung der Vegetation innerhalb großen Parkanlagen deutlich. Schattenspendende Bäume bewirken einerseits, dass sich die Luft nicht so stark während des Tages erwärmt (niedrigere Anzahl von heißen Tagen) sowie andererseits eine stärkere Abkühlung in der Nacht (geringe Anzahl von Tropennächten).

Bezüglich Starkregenereignissen und Trockenperioden kann erwartet werden, dass diese innerhalb Berlins räumlich variieren, bedingt durch die kleinräumige Variabilität des Niederschlags. Eine räumlich differenzierte Analyse kann mangels geeigneter Daten hier jedoch nicht durchgeführt werden.

Die Windgeschwindigkeit wird durch die dreidimensionale Stadtstruktur im Mittelwert herabgesetzt (Oke 1987, Kuttler 2004), was bereits anhand der Daten der Station Berlin-Tempelhof deutlich wurde (s. Abschnitt 4). In Straßenschluchten können jedoch Kanalisierungseffekte und Wirbel entstehen, welche die übergeordnete Luftströmung verändern (z.B. Klein und Clark 2007, Balogun et al. 2010). Dies kann sowohl eine Herabsetzung als auch Verstärkung der Windgeschwindigkeit bedeuten und eine Veränderung der übergeordneten Windrichtung bewirken (Kuttler 2004). Auch hier erlaubt die mangelhafte Datengrundlage keine weitere räumliche Differenzierung der oben angegebenen Ergebnisse.

5. Lokalklima

Die lokalklimatischen Bedingungen im BV sollen im Folgenden für die Lufttemperatur genauer charakterisiert werden. Hinsichtlich Niederschlag und der daraus berechneten klimatologischen Kenntage sowie bezüglich der Windverhältnisse kann eine räumlich differenzierte Analyse nicht durchgeführt werden, da keine geeigneten Messdaten aus dem lokalen Kontext vorliegen. Es sei daher auf die Auswertungen und Analysen im vorangegangenen Abschnitt 4 verwiesen.

5.1 Lufttemperatur und thermische Situation

Wie Abbildung 9 zeigt, unterscheiden sich die umliegenden Quartiere und das Pilotgebiet hinsichtlich der langjährigen Durchschnittstemperatur der Luft nur geringfügig. Als Ausnahmen müssen die Parkanlagen Humboldtthain und Mauerpark angesehen werden, als auch die nord- und nordwestlich vom Pilotgebiet gelegenen Kleingartenanlagen. In diesen Gebieten liegt das langjährige Mittel um bis zu 1 K niedriger als im Pilotgebiet.

Im Rahmen von KiezKlima wurden im Pilotgebiet und im westlichen Teil des BV im Mai und Juni 2015 mehrere meteorologische Messstationen in Kooperation mit lokalen Akteuren (Wohnungsgenossenschaft degewo und mehrere Kindertagesstätten) errichtet. Diese zeichnen kontinuierlich Daten zu Lufttemperatur, Luftfeuchte und Luftdruck auf. Abbildung 10 zeigt die Lage der Messstationen im BV. Durch die hohe Dichte an Messstationen in einem kleinen Gebiet wie dem Pilotgebiet sind Untersuchungen hinsichtlich der räumlichen Variabilität von Lufttemperatur möglich (s. Abschnitt 6). An dieser Stelle soll mittels der Daten der Messstation Swinemünder Straße (SWIN) für den Sommer 2015 eine lokalklimatische Analyse und Einordnung in den städtischen Kontext erfolgen. Alle Sensoren, welche im BV im Rahmen von KiezKlima installiert wurden, wurden anhand von Vergleichsmessungen in einer Klimakammer kalibriert, die Messdaten qualitätsgeprüft (s. Fenner et al., 2014), und zu stündlichen und täglichen Zeitreihen aggregiert.

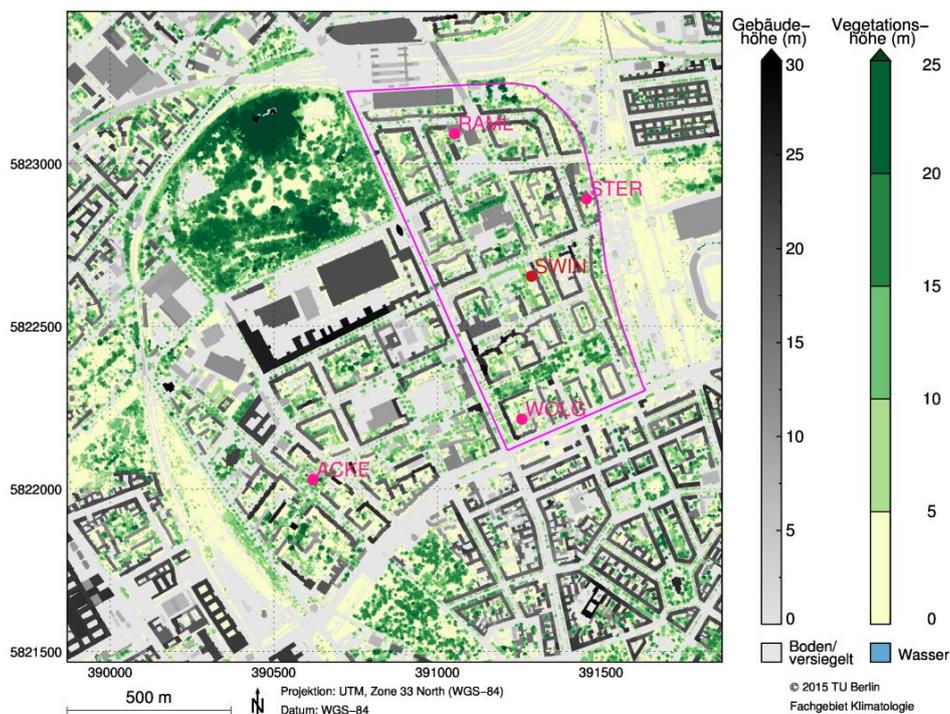


Abbildung 10: Standorte meteorologischer Messstationen im Brunnenviertel vom Fachgebiet Klimatologie, TUB. Datengrundlage: SenStadtUm (2014).

Insgesamt war der Sommer 2015 in Berlin sehr warm, inklusive zweier heißer Perioden Anfang Juli und Mitte August. Die mittlere Lufttemperatur war rund 2 K höher als im langjährigen Mittel (Periode 1961 – 1990). Die Anzahl heißer Tage im Sommer 2015 war vergleichbar mit denen im Sommer 2006 und erheblich höher als der langjährige Mittelwert (Faktor ~3, Tabelle 7). Auch die Anzahl der Tropennächte an den Stationen des DWD lag mit 4 Tropennächten deutlich über dem langjährigen Mittelwert.

Der nachstehende Vergleich der Messstationen bezieht sich ebenfalls auf Tabelle 7. Das Dahlemer Feld (DAHF) ist aufgrund seiner Lage und Umgebung eine typische Stadtrand-/Umlandstation. Mesoklimatisch ist das Dahlemer Feld wesentlich geringer von der Stadt beeinflusst als z.B. die Dessauer Straße (DESS) oder die Swinemünder Straße (SWIN), und weist daher eine geringere mittlere Lufttemperatur (18,8 °C) sowie keine Tropennächte auf. Die Anzahl der heißen Tage ist vergleichbar mit denen der anderen Stationen im Stadtgebiet. Die Station Berlin-Tempelhof ist aufgrund ihrer Lage im städtischen Umfeld von der Stadt mesoklimatisch beeinflusst. Dies zeigt sich in der im Vergleich zum Dahlemer Feld höheren Mitteltemperatur von 20,1 °C und dem Auftreten von Tropennächten (4).

Bei der Station DESS handelt es sich um eine typische Stadtstation in der Innenstadt. Tagsüber wird Wärme in den Gebäudemauern und versiegelten Bodenoberflächen gespeichert. Die Anzahl der heißen Tage (20) ist im Vergleich zu anderen Stationen wie Berlin-Tempelhof (23) oder Dahlemer Feld (21) etwas geringer. Nachts geben die Gebäude die gespeicherte Wärme an die Umgebung ab, was zu einer Erhöhung der Lufttemperatur führt und die hohe Anzahl der Tropennächte (14) erklärt.

Die Station SWIN im Pilotgebiet zeigt ähnliche Mittelwerte der täglichen Lufttemperatur (T_{mean} , T_{max} , T_{min}) wie die Station ROTH in Berlin-Steglitz und höhere Werte als am Stadtrand an der Station DAHF. Die lokalen Gegebenheiten an den Stationen SWIN und ROTH zeichnen sich durch eine offene Bebauungsstruktur und durch einen hohen Anteil hoher Vegetation aus.

Tabelle 7: Mittelwerte der täglichen Lufttemperatur (T_{mean} , T_{max} , T_{min}) und Anzahl heißer Tage ($T_{max} \geq 30$ °C) und Tropennächte ($T_{min} \geq 20$ °C) im Zeitraum 01.06.2015 – 31.08.2015 für ausgewählte Messstationen in und um Berlin. Ein * markiert die Stationen des DWD, die anderen Stationen sind Teil des Messnetzes des FG Klimatologie, TUB. Für die Stationen des DWD sind in Klammern jeweils die Mittelwerte der Periode 1961 – 1990 angegeben. Datengrundlage: DWD 2015a; FG Klimatologie, TUB.

| | T_{mean} (°C) | T_{max} (°C) | T_{min} (°C) | Heiße Tage (d) | Tropennächte (d) |
|---------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Berlin-Tempelhof* (THF) | 20,1 (18,2) | 25,9 (22,7) | 14,5 (13,3) | 23 (6,8) | 4 (1) |
| Potsdam* (PTS) | 19,4 (17,3) | 25,6 (23,1) | 14,2 (12,4) | 23 (8,4) | 4 (0,2) |
| Dahlemer Feld (DAHF) | 18,8 | 25,8 | 11,6 | 21 | 0 |
| Rothenburgstraße (ROTH) | 19,8 | 25,7 | 14,5 | 21 | 7 |
| Dessauer Straße (DESS) | 20,8 | 25,5 | 16,1 | 20 | 14 |
| Swinemünder Straße (SWIN) | 20,1 | 25,9 | 15,1 | 24 | 6 |

Die mittleren Tagesgänge der Lufttemperatur für Juni bis August 2015 (Abbildung 11) zeigen einen typischen Verlauf der Tagesgänge für die nicht-städtisch geprägte Station DAHF sowie auch der städtisch beeinflussten Stationen (vgl. Oke 1982, Hupfer und Chmielewski 1990). Der Tagesgang an DAHF zeigt einen stärkeren Anstieg, aber auch eine frühere Abnahme der Lufttemperatur am Nachmittag sowie eine stärkere nächtliche Abkühlung als der mittlere Tagesgang der städtischen Stationen. Die Tagesmaximumwerte am Nachmittag sind an allen Stationen ähnlich, große Abweichungen zwischen den Stationen gibt es in der Nacht.

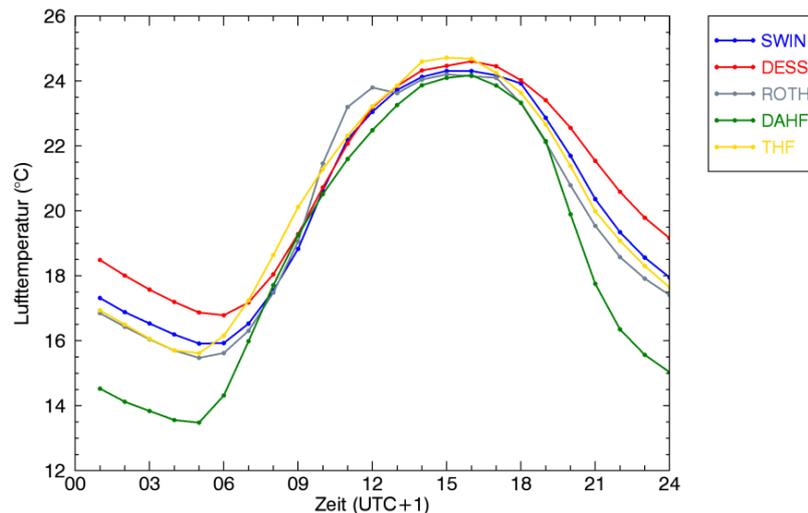


Abbildung 11: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur ausgewählter Messstationen in Berlin im Sommer 2015 (01.06.2015 – 31.08.2015). Die Namen der Stationen sind in Tabelle 7 aufgeführt. Datengrundlage: DWD, 2015c; FG Klimatologie, TUB.

Um die nächtlichen Unterschiede weiter zu untersuchen, wurden Streudiagramme angefertigt. Dabei wurde getestet, mit welchen stadtstrukturellen Größen (Landbedeckung, Vegetations- und Gebäudehöhe, Sky View Faktor/Himmelsichtfaktor) die Lufttemperatur in der Nacht (T_{min}) insbesondere zusammenhängt und in welchem Radius um die jeweilige Messstation (50 m – 2000 m) diese Größen relevant sind. Dabei zeigt sich, dass insbesondere die Landbedeckung und ihre Struktur (Gebäude und Vegetation) einen großen Einfluss haben und dass v.a. für Radien ab 500 m die Zusammenhänge eine hohe Varianzklärung haben. Die Charakteristik hinsichtlich der Lufttemperatur in der Nacht wird folglich stark auf der lokalen Skala bestimmt. Abbildung 12 zeigt die drei besten Zusammenhänge (Regression signifikant mit $p < 0.05$ und höchstem r^2 für den jeweiligen Parameter) für den Sommer 2015. Der stärkste Zusammenhang zeigt sich für die mittlere Gebäudehöhe in einem 700 m Radius um die Station (Abbildung 12a) und verdeutlicht, dass mit zunehmender Höhe die Gebäude die Abkühlung der Luft in der Nacht erschweren. Vegetations- und Gebäudeanteil an der Landbedeckung haben auf größeren Radien (1500 m bis 2000 m) die stärksten Zusammenhänge mit der mittleren T_{min} im Sommer 2015 (Abbildung 12b, c). Mit zunehmendem Vegetations- bzw. abnehmendem Gebäudeanteil sinkt die mittlere Tagesminimumtemperatur.

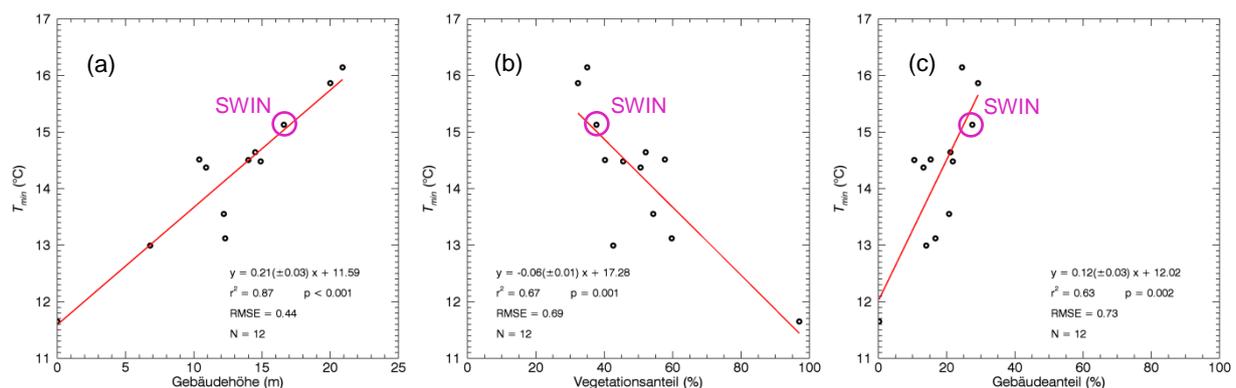


Abbildung 12: Streudiagramme der (a) mittleren Gebäudehöhe (700 m Radius), (b) Vegetationsanteil (1500 m Radius) und (c) Gebäudeanteil (2000 m) mit der mittleren täglichen Minimumtemperatur (T_{min}) im Sommer 2015 (01.06.2015 – 31.08.2015) für zwölf Messstationen in Berlin. Die Station SWIN im Pilotgebiet ist pink markiert.

Das BV, charakterisiert anhand der Station SWIN, zeigt eine eindeutige städtische Prägung auf die Tagesminimumtemperatur im Sommer (Abbildung 12). Die nächtliche Belastungssituation für Menschen mit einer hohen Lufttemperatur ist höher als in lockerer bebauten Stadtteilen oder dem Stadtrand. Dies zeigt sich

insbesondere an höheren mittleren täglichen Lufttemperaturen T_{mean} und an T_{min} sowie einer erhöhten Anzahl von Tropennächten. Auch der mittlere Tagesgang der Lufttemperatur macht den städtischen Charakter der lokalen Klimabedingungen deutlich (Abbildung 11). Die für den Innenstadtbereich Berlins typische Blockrandbebauung weist jedoch höhere T_{min} als auch eine höhere Anzahl von Tropennächten auf (vgl. Station DESS; Tabelle 7, Abbildung 11). Somit liegt das BV hinsichtlich der thermischen Situation in der Nacht im Übergangsbereich zwischen den dichten Gründerzeitvierteln und einer aufgelockerten Stadtstruktur mit niedrigen Gebäudehöhen. Gründe hierfür sind insbesondere die niedrigere durchschnittliche Gebäudehöhe und der hohe Anteil von Vegetation. Die großen unbebauten Freiflächen des Mauerparks wirken zudem günstig auf die lokalen Bedingungen insbesondere in der Nacht, da sich dort die Luft nach Sonnenuntergang schnell abkühlen kann. Am Tage führen insbesondere der Humboldthain und die mit hohen Bäumen dicht bestandenen Plätze wie der Vinetaplatz im Pilotgebiet dazu, dass sich die Lufttemperatur nicht so stark erwärmt wie auf Freiflächen.

6. Mikroklimatische Verhältnisse

Die Untersuchung der mikroklimatischen Verhältnisse im Pilotgebiet bezieht sich auf die bioklimatische thermische Belastung für Menschen im Sommer. Dabei muss zwischen der thermischen Belastung am Tag und in der Nacht unterschieden werden. Am Tag eignen sich für die Untersuchung biometeorologische Indizes, da diese die Einflüsse von Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind und Strahlung (kurzwellige Sonnenstrahlung und langwellige Wärmestrahlung) berücksichtigen. Um die Wärmebelastung in der Nacht abzuschätzen, eignet sich die Lufttemperatur besser, da ein enger Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur im Außenraum und in den Innenräumen besteht, in denen sich ein Großteil der Menschen während der Nacht befindet.

6.1 Thermische Belastung am Tag

Zur Identifizierung von Räumen und Flächen innerhalb des Pilotgebiets, auf denen am Tage eine hohe thermische Belastung auf die Menschen wirkt, wird der biometeorologische Index PET (Physiological Equivalent Temperature; Höppe, 1999) verwendet (s. auch Tabelle 8).

Für die Untersuchung wurden die durchschnittlichen Verhältnisse an heißen Tagen ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) um 14:00 Uhr als geeignet angesehen, da die Lufttemperatur in der Zeit zwischen 12:00 Uhr und 15:00 Uhr typischerweise ihr Tagesmaximum erreicht und auch die kurzwellige solare Einstrahlung zur Mittagszeit ihr Maximum besitzt. Diese beiden meteorologischen Größen bestimmen maßgeblich die thermische Belastung für den Menschen. Thermische Belastungen können jedoch auch zu anderen Tageszeiten und an anderen Tagen auftreten. Die hier abgebildete Situation ist eine Belastungssituation, die derzeit durchschnittlich an zehn Tagen pro Jahr in Berlin auftritt und somit ein regelmäßig auftretendes Ereignis darstellt. Im Zuge des Klimawandels wird sich diese Anzahl erhöhen (s. Abschnitt 4.7).

Der Analyse liegen im Wesentlichen mikroskalige Simulationen der mittleren Strahlungstemperatur (mean radiant temperature – T_{mr}) mit dem Modell SOLWEIG (Solar and LongWave Environmental Irradiance Geometry model; Lindberg et al., 2008) zugrunde. In Anhang c sind die Eingangsdaten und Parameter für die Simulationen zusammengefasst als auch die Berechnungsschritte für die PET dargestellt.

In Abbildung 13 sind zusätzlich zur PET die Orte markiert, welche in den Akteurinterviews und Bürgersteiggesprächen/Fragebögen der L.I.S.T. GmbH von den Befragten hinsichtlich klimatischer Aspekte markiert wurden.

Tabelle 8: Bereiche der Physiological Equivalent Temperature (PET), des thermischen Empfindens und entsprechende physiologische Stresslevel (nach Matzarakis et al., 1999).

| PET (°C) | Thermisches Empfinden | Physiologisches Stresslevel |
|----------|-----------------------|-----------------------------|
| > 41 | Sehr heiß | Extremer Hitzestress |
| 35 – 41 | Heiß | Starker Hitzestress |
| 29 – 35 | Warm | Moderater Hitzestress |
| 23 – 29 | Leicht warm | Geringer Hitzestress |
| 18 – 23 | Angenehm | Kein thermischer Stress |
| 13 – 18 | Leicht kühl | Geringer Kältestress |
| 8 – 13 | Kühl | Moderater Kältestress |
| 4 – 8 | Kalt | Starker Kältestress |
| < 4 | Sehr kalt | Extremer Kältestress |

Abbildung 13 zeigt, dass im gesamten BV während heißer Tage um 14:00 Uhr Verhältnisse mit hohen thermischen Belastungen für die Menschen herrschen. In beschatteten Bereichen (durch Gebäude oder Vegetation) liegt die PET zwischen 29 °C und 35 °C, was einem moderaten Hitzestresslevel entspricht. Auf Freiflächen wie dem Mauerpark, jedoch auch auf schattenlosen Sportplätzen, muss mit extremem Hitzestress ($PET > 41$ °C) gerechnet werden.

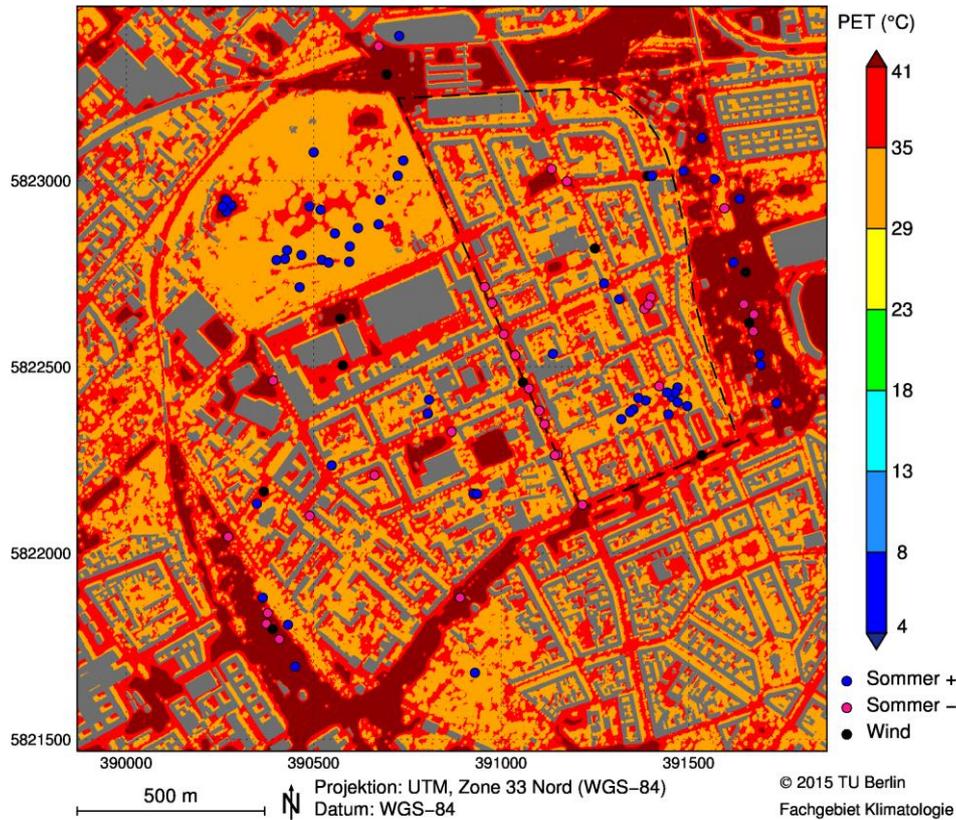


Abbildung 13: Durchschnittliche Physiological Equivalent Temperature (PET) im Brunnenviertel während heißer Tage ($T_{max} \geq 30$ °C) um 14:00 Uhr (UTC+1). PET-Werte wurden aus Werten der mittleren Strahlungstemperatur (T_{mrt}), simuliert mit SOLWEIG, und meteorologischen Daten an der Station Berlin-Tegel berechnet. Das Pilotgebiet ist schwarz-gestrichelt umrandet. Die farbigen Punkte markieren die Aussagen aus Akteurinterviews und Bürgersteiggesprächen der L.I.S.T. GmbH. Sommer +: Orte, an denen es im Sommer angenehm kühl ist, Sommer -: Orte, an denen es im Sommer unangenehm heiß ist, Wind: Orte, an denen es windig ist. Datengrundlage: SenStadtUm (2014).

Die Bepunktung durch die Befragung der L.I.S.T. GmbH zeigt, dass ein Großteil der Befragten den Vinetaplatz und Bereiche im Humboldthain als angenehm kühl im Sommer empfindet (blaue Punkte). Dies deckt sich weitestgehend mit den Ergebnissen der Simulationen. Diese zeigen, dass durch die schattenspendenden Bäume in den markierten Bereichen eine geringere thermische Belastung herrscht als auf unbeschatteten Freiflächen. Die vier blauen Punkte im westlichen Humboldthain (Abbildung 13) liegen auf der Freifläche des Sommerbads Humboldthain. Für diesen Bereich zeigen die Simulationsergebnisse teilweise eine extreme Hitzebelastung. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass das verwendete Modell Wasserflächen nicht als solche berücksichtigt (mit höherer Verdunstung).

Orte, welche von den Befragten im Sommer als unangenehm heiß empfunden werden (pinke Punkte), liegen insbesondere im Bereich der Brunnenstraße. PET-Werte liegen hier zwischen 29 °C und 41 °C, was einem moderaten bis starken Hitzestresslevel entspricht. Ein Hof im östlichen Bereich des Pilotgebiets (Swinemünder Straße/Lortzingstraße/Graunstraße/Demminer Straße) wurde als Ort, welcher unangenehm heiß im Sommer ist, in den Interviews gekennzeichnet. Dieser Hof wurde im Jahr 2008 umgestaltet, höhere und deshalb schattenspendende Vegetation fehlt hier. Dies führt zur flächendeckend hohen thermischen Belastung in den Simulationen auf dieser Fläche.

Abbildung 14 zeigt die Entfernung eines jeden Punktes zu einer Fläche, auf der die PET weniger als 35 °C beträgt. Hierbei werden Gebäude als Flächen mit PET < 35 °C angenommen. Diese Analyse erleichtert die Identifizierung von großen Flächen, auf denen starker oder extremer Hitzestress herrscht. Dies sind insbesondere offene Freiflächen auf dem Mauerpark, nördlich des Nordbahnhofs sowie Gleisbettflächen am Bahnhof Gesundbrunnen. Im Pilotgebiet selber gibt es keine Orte mit großen Entfernungen. Ein wichtiger Grund dafür ist der hohe Anteil von Vegetation, insbesondere von hohen Bäumen, welche im Sommer während Hitzebedingungen Schatten spenden und so die PET reduzieren.

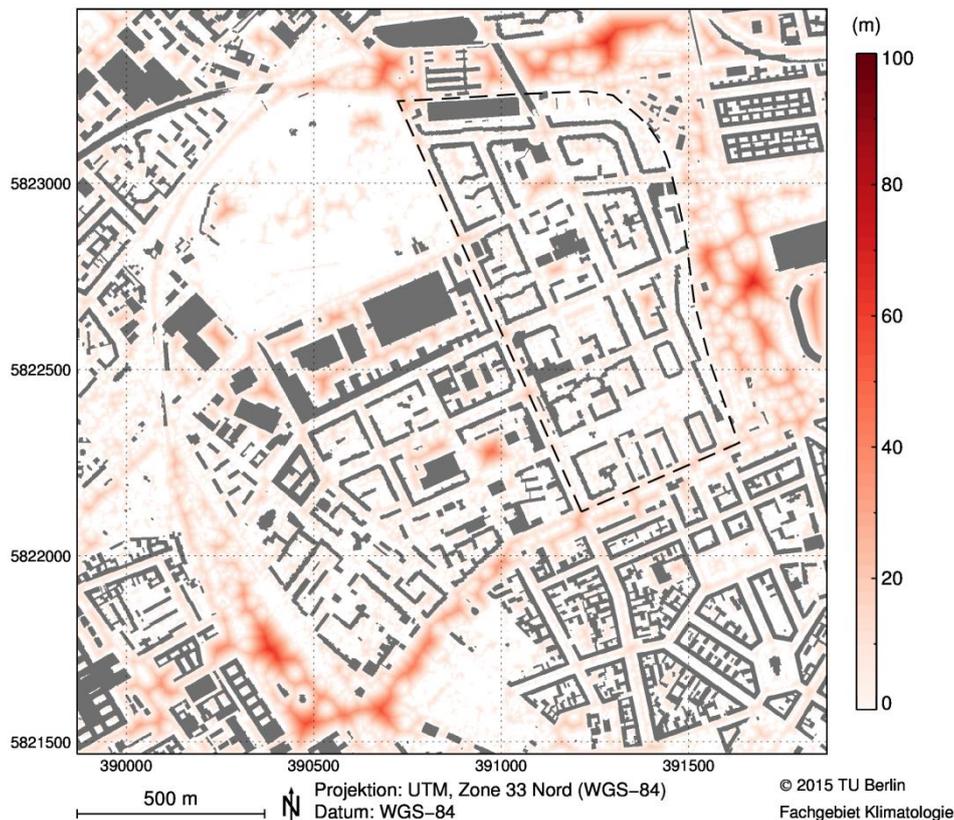


Abbildung 14: Entfernung zu Flächen mit Physiological Equivalent Temperature (PET) < 35 °C im Brunnenviertel während heißer Tage ($T_{max} \geq 30$ °C) um 14:00 Uhr (UTC+1). PET-Werte wurden aus Werten der mittleren Strahlungstemperatur (T_{mrt}), simuliert mit SOLWEIG, und meteorologischen Daten an der Station Berlin-Tegel berechnet. Das Pilotgebiet ist schwarz-gestrichelt umrandet. Gebäude wurden als Flächen mit PET < 35 °C angenommen. Datengrundlage: SenStadtUm (2014).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass als besonders kritisch in Bezug auf thermische Belastung am Tag die Freiflächen Mauerpark, der Park nördlich des Nordbahnhofs und der südwestliche Abschnitt der Bernauer Straße gesehen werden müssen. Kritische Bereiche bezüglich Wärmebelastung am Tag sind zudem Sportplätze ohne Verschattung (z.B. Sportplatz der Heinrich-Seidel-Grundschule, Swinemünder Straße Ecke Rügener Straße) sowie der Vorplatz des Bahnhofs Gesundbrunnen nördlich anschließend an das Pilotgebiet. Im Pilotgebiet herrschen in den Höfen durch den hohen Anteil großer Bäume günstigere Bedingungen mit PET meist unter 35 °C (moderater Hitzestress).

In Hofgruppen ohne höhere Vegetation (z.B. Swinemünder Straße/Lortzingstraße/Graunstraße/Demminer Straße und Swinemünder Straße/Vinetaplatz/Wolliner Straße/Bernauer Straße) entspricht die simulierte PET einem starken Hitzestresslevel. Dies gilt auch für einen Großteil der südexponierten Straßenseiten von Ost-West-verlaufenden Straßen, insbesondere solche mit wenig Bäumen (z.B. Lortzingstraße, Bernauer Straße und westlicher Abschnitt der Gleimstraße) und Nord-Süd-verlaufende Straßen mit wenigen Straßenbäumen wie beispielsweise die Brunnenstraße.

6.2 Thermische Belastung in der Nacht

Aus Untersuchungen von SenStadtUm (2015b) geht hervor, dass sich die thermische Situation und damit die thermische Belastung in einer sommerlichen Strahlungsnacht fast für das gesamte Pilotgebiet als „weniger günstig“ bis „ungünstig“ erweist. Als „ungünstig“ werden der Hof Swinemünder Straße/Lortzingstraße/Graunstraße/Demminer Straße, der bereits am Tag eine starke Wärmebelastung aufzeigt, der Hof Brunnenstraße/Lortzingstraße/Putbusser Straße/Demminer Straße sowie der nördliche Block der Ramlerstraße zwischen Brunnenstraße und Swinemünder Straße ausgewiesen.

Modellrechnungen mit dem FITNAH-Modell zeigen zudem, dass es im BV während austauscharmer Wetterlagen im Sommer (geringe übergeordnete Windgeschwindigkeit, meist geringe Bewölkung) zu einem Luftaustausch mit kühlerer Luft von Grün- und Freiflächen in der Nacht kommt, wenngleich dieser gering ist (SenStadtUm, 2009). Luftaustausch findet insbesondere auf dem Vinetaplatz als Raum im Einflussbereich des Mauerparks, sowie im nördlichen Bereich des Pilotgebiets durch die Gleisbettflächen vom Bahnhof Gesundbrunnen statt (SenStadtUm, 2009). Aus den Modellrechnungen geht auch hervor, dass der Einfluss des Humboldthains hinsichtlich Kaltluftbewegung ins Pilotgebiet hinein nur sehr begrenzt am westlichen Rand an der Brunnenstraße wirksam ist.

Diese Analysen basieren auf Modellrechnungen für eine charakteristische Sommernacht. Zur weiteren Untersuchung der thermischen Belastung für Menschen in der Nacht werden Messdaten von Messstationen, die im Rahmen von KiezKlima im BV errichtet wurden, für den Sommer 2015 ausgewertet. Zusätzlich sei bezüglich der nächtlichen thermischen Situation im BV auf Abschnitt 5.1 verwiesen.

Wie aus Abbildung 15 hervorgeht, zeigen alle Messstationen im BV für den Sommer 2015 einen sehr ähnlichen Tagesgang. Im Gegensatz zum Stationsvergleich in Abschnitt 5.1 werden hier die größten Unterschiede in den mittleren Tagesgängen in den Nachmittagsstunden deutlich, wenn die Tageshöchsttemperaturen erreicht werden. Die Stationen Kita Wolgaster Straße (WOLG), Kita Ramlerstraße (RAML) und Kita Ackerstraße (ACKE) weisen die höchsten Temperaturen auf, während an SWIN und der Station Kita Sternenhimmel (STER) eine ca. 1 K geringere Lufttemperatur gemessen wurde. In den Nachtstunden sind die Unterschiede zwischen den Stationen geringer (< 1 K).

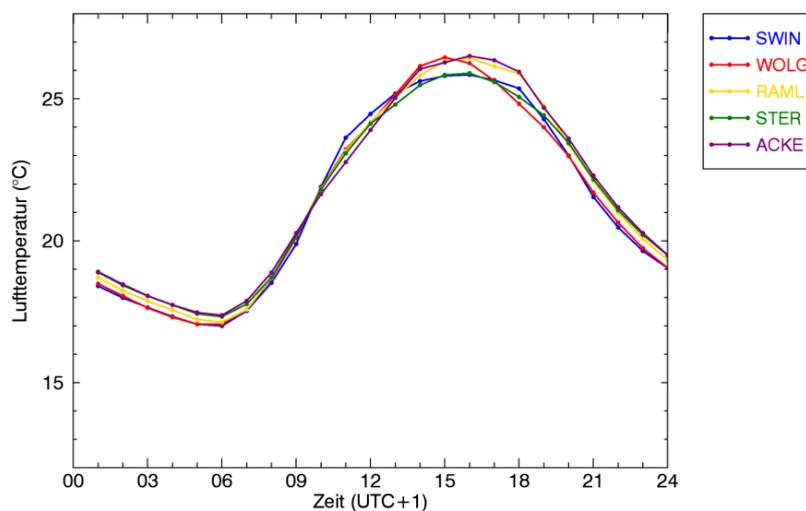


Abbildung 15: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur von Messstationen im Brunnenviertel im Sommer 2015 (26.06.2015 – 31.08.2015). Die Namen der Stationen sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Anhand von Tabelle 9 zeigt sich zudem, dass auch die Mittelwerte für T_{min} und die Anzahl der Tropennächte ähnlich sind und somit nur geringe kleinräumige Unterschiede bezüglich der Lufttemperatur in der Nacht im BV herrschen und die Situation eher auf lokaler Ebene geprägt ist. Trotz der Gemeinsamkeiten zeigen die Messdaten im BV interessante Unterschiede zwischen den Stationen.

Die Ergebnisse für die Station ACKE weichen sowohl bei den Temperaturmittelwerten (T_{mean} , T_{max} , T_{min}) als auch bei der Anzahl der Tropennächte (12) von den anderen Stationen im BV ab (Tabelle 9). Die höheren Mittelwerte lassen sich durch die kürzere Messperiode erklären. Für den Monat Juni, der eine geringere Lufttemperatur aufwies als die Monate Juli und August, lagen an dieser Station nur fünf Tage mit Messdaten vor. Dies erklärt jedoch nicht die hohe Anzahl von Tropennächten an dieser Station (12) im Vergleich zu den anderen Stationen im BV (SWIN und WOLG je 6, RAML und STER je 9). Eine Ursache für diesen großen Unterschied könnte durch das direkte Umfeld der Messungen erklärt werden. Die Station befindet sich direkt neben einer großen Terrasse mit dunkelgrauem Bodenbelag im 1. OG eines Gebäudes. Durch die dunkle Oberfläche wird viel Sonnenstrahlung als Wärme im Material am Tag gespeichert und in der Nacht als langwellige Ausstrahlung wieder abgegeben. Dies führt dann zu Erhöhung der Lufttemperatur, sichtbar auch am mittleren Tagesgang (Abbildung 15, lila Kurve), der für diese Station die geringste Abkühlung in der Nacht im BV anzeigt.

Tabelle 9: Mittelwerte der täglichen Lufttemperatur (T_{mean} , T_{max} , T_{min}) und Anzahl heißer Tage ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) und Tropennächte ($T_{min} \geq 20 \text{ °C}$) im Zeitraum 01.06.2015 – 31.08.2015 (Station ACKE 26.06.2015 – 31.08.2015) für Messstationen im Brunnenviertel.

| | T_{mean} (°C) | T_{max} (°C) | T_{min} (°C) | Heiße Tage (d) | Tropennächte (d) |
|------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Swinemünder Straße (SWIN) | 20,1 | 25,9 | 15,1 | 24 | 6 |
| Kita Wolgaster Straße (WOLG) | 20,0 | 25,6 | 15,0 | 21 | 6 |
| Kita Ramlerstraße (RAML) | 20,3 | 26,1 | 15,4 | 23 | 9 |
| Kita Sternenhimmel (STER) | 20,3 | 25,2 | 15,5 | 17 | 9 |
| Kita Ackerstraße (ACKE)* | 21,7 | 27,5 | 16,8 | 21 | 12 |

*Messperiode abweichend 26.06.2015 – 31.08.2015

Auch die Standorte RAML und STER zeigen eine höhere durchschnittliche T_{min} und mehr Tropennächte als SWIN und WOLG. Die Station RAML, wie auch ACKE, befindet sich direkt am Rand einer größeren Terrasse. Auch hier wird die während des Tages gespeicherte Energie in der Nacht als Wärmestrahlung abgegeben, was zur verringerten Abkühlung der Luft führt. Die Abkühlung ist jedoch größer als an ACKE, da an der Station RAML die Terrasse eine sehr helle Farbe hat. Dies führt dazu, dass am Tag mehr Sonnenstrahlung reflektiert und somit weniger Energie im Material gespeichert wird, welche dann nicht zur Erwärmung der Luft in der Nacht verfügbar ist. Im Gegensatz dazu befindet sich die Station STER unterhalb dichter Vegetation auf der Spielfläche einer Kita. Dies führt am Tage dazu, dass sich die Lufttemperatur durch Verschattung (und Verdunstung) nicht so stark erwärmt, andererseits bewirkt der dichte Baumbestand, dass sich die warme Luft in der Nacht nicht so gut abkühlen kann, wie auf Freiflächen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die thermische Situation in der Nacht im Pilotgebiet eher ungünstig ist, durch die recht offene und „grüne“ Bebauungsstruktur jedoch Verhältnisse herrschen, die günstiger sind als in dichter bebauten Stadtquartieren. Kleinräumige Unterschiede in der Lufttemperatur existieren innerhalb des BV auch in der Nacht und hängen insbesondere von den mikroskaligen Gegebenheiten der Oberflächen und der Vegetation ab. Dabei zeigt sich, dass offene und mit niedriger Vegetation bestandene Standorte günstig sind, um thermische Belastungssituationen in der Nacht zu vermindern. Der Luftaustausch im Pilotgebiet mit kühlerer Luft von umgebenden Grün- und Freiflächen ist in der Nacht gering.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Wie die vorliegende Analyse zeigt, zeichnet sich das Klima im Großraum Berlin-Brandenburg durch einen ausgeprägten Jahresgang der Lufttemperatur, durchschnittlich niederschlagsreichen Sommermonaten und insbesondere westliche Windrichtungen aus. Niederschlag fällt meist in für die Vegetation ausreichendem Maße, in einzelnen Jahren können lange Trockenperioden jedoch zu einer schlechten Wasserversorgung der Pflanzen führen. Starkregenereignisse sind selten und führen derzeit zu keinen nennenswerten Schäden im Pilotgebiet von KiezKlima. Hitzeereignisse wie heiße Tage und Tropennächte sind im Stadtgebiet keine Seltenheit und häufiger als im Umland, da sich die Stadt Berlin insbesondere hinsichtlich der Lufttemperatur von den großräumigen klimatischen Bedingungen des Raums Berlin-Brandenburg unterscheidet. Dies führt umgekehrt im Winter dazu, dass Kältebedingungen durchschnittlich milder ausgeprägt sind als im Umland. In den kommenden Jahrzehnten wird sich im Zuge des globalen Klimawandels die Problematik bezüglich Hitze zunehmend verschärfen. Somit wird deutlich, dass die heutigen, als auch die zu erwartenden klimatischen Bedingungen eine dringende Notwendigkeit der Anpassung mit sich bringen.

Lokalklimatisch zeichnet sich das BV durch eine Überprägung der großräumigen Verhältnisse bezüglich der Lufttemperatur aus. Dies führt insbesondere im Sommer zu einer höheren Lufttemperatur in der Nacht durch die Freisetzung von Energie, die am Tage in den Baukörpern und Materialien gespeichert wird. Die recht offene Gebäudestruktur und der hohe Anteil von Vegetationsflächen im BV bewirken jedoch, dass die Prägung auf die Lufttemperatur geringer ist, als sie in dichter bebauten Quartieren in Berlin vorzufinden ist. Die klimatischen Auswirkungen von Nachverdichtungsmaßnahmen und größeren baulichen Veränderungen im Pilotgebiet können an dieser Stelle nicht eingeschätzt werden. Jedoch sollte klimatischen Aspekten bei der Planung und letztendlichen Bebauung solcher Projekte ein hoher Stellenwert beigemessen werden, um die bestehende Situation nicht zu verschlechtern. Vielmehr sollte angestrebt werden, bestehende Potentiale, die sich durch den offenen Charakter des Quartiers ergeben, zu ertüchtigen.

Die bioklimatische Belastung der Menschen im Pilotgebiet ist im Sommer am Tage insbesondere durch die kleinräumige Gebäude- und Vegetationsstruktur bestimmt. Gebäude und Vegetation von mehreren Metern Höhe bewirken durch Verschattung (und Verdunstung) eine geringere thermische Belastung an diesen Orten für die Menschen. Durch den hohen Anteil von Bäumen und durch die Baustruktur des Pilotgebiets mit „grünen“ Innenhöfen gibt es nur wenige Bereiche, die eine extreme bioklimatische Belastungssituation darstellen. Trotzdem ist in einigen Straßenabschnitten und Hofgruppen die thermische Belastungssituation hoch, die Verbesserung der Situation mittels Verschattungsmaßnahmen ist anzustreben. Für besonders vulnerable Gruppen bezüglich Wärmebelastung wie Kinder und ältere Menschen ist die Schaffung und Verbesserung solcher beschatteter Plätze von hoher Relevanz, so beispielsweise auf Spielplätzen oder in direkter Nachbarschaft zu Seniorenwohnhäusern und Alterspflegeheimen. Die thermische Situation in der Nacht für die Menschen im Pilotgebiet ist eher ungünstig, da die bestehende Vegetations- und Bebauungsstruktur nur eine mäßige Durchlüftung zulässt. Die angrenzenden Frei- und Grünflächen (Mauerpark, Gleisbettbereich vom Bahnhof Gesundbrunnen, Humboldthain) bewirken jedoch eine verstärkte Abkühlung der Luft in der Nacht und wirken somit als Entlastungsbereiche für das Pilotgebiet.

8. Quellen

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2014): Die kleine Berlin-Statistik 2014.

Balogun, A., A. S. Tomlin, C. R. Wood, J. F. Barlow, S. E. Belcher, R. J. Smalley, J. J. N. Lingard, S. J. Arnold, A. Dobre, A. G. Robins, D. Martin und D. E. Shallcross (2010): In-Street Wind Direction Variability in the Vicinity of a Busy Intersection in Central London. *Bound.-Layer Meteor.* 136 (3): 489-513. doi: 10.1007/s10546-010-9515-y.

Behre, O. (1908): Das Klima von Berlin. Eine meteorologisch-hygienische Untersuchung.

Büttner, G., B. Kosztra, G. Maucha und R. Pataki (2012): Implementation and achievements of CLC2006. Technical Report, European Environmental Agency.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2015a): täglich aufgelöste Klimadaten, erreichbar unter: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/, letzter Zugriff: 11.12.2015.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2015b): Warnungen – Windwarnskala, Website: http://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html;jsessionid=7211D33469B8B963F0B8C569DD03E9AD.live11041?nn=508722, letzter Zugriff: 11.12.2015.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2015c): stündlich aufgelöste Klimadaten, erreichbar unter: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/hourly/air_temperature/historical/, letzter Zugriff: 10.12.2015.

Fenner, D., D. Scherer, F. Meier und A. Polze (2014): Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001-2010. *Urban Clim.* 10 (P2): 308-331. doi: 10.1016/j.uclim.2014.02.004.

Fenner, D., H.-G. Mücke und D. Scherer (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. *UMID* 1: 30-38.

Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* 43 (2): 71-75. doi: 10.1007/s004840050118.

Hupfer, P. und F.-M. Chmielewski (1990): Das Klima von Berlin. Akademie Verlag, Berlin.

Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. Christensen, L. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. van Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J.-F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber und P. Yiou (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14 (2): 563-578. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.

Klein, P. und J. V. Clark (2007): Flow Variability in a North American Downtown Street Canyon. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 46: 851-877. doi: 10.1175/JAM2494.1.

Koppe, Chr. und G. Jendritzky (2014): Die Auswirkungen von thermischen Belastungen auf die Mortalität. In: Lozán, J. L., H. Grassl, L. Karbe und G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffentl. (Kap. 3.1.9).

Kuttler, W. (2004): Stadtklima. *UWSG - Z. Umweltchem. Ökotox.* 16 (3): 187-199. doi: 10.1065/uwsf2004.03.078.

Lindberg, F., B. Holmer and S. Thorsson (2008): SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *Int. J. Biometeorol.* 52 (7): 697-713. doi: 10.1007/s00484-008-0162-7.

L.I.S.T. GmbH (2015): Quartiersportfolio QM Brunnenviertel-Brunnenstraße für das Projekt KiezKlima, erstellt durch I. Markus und S. Walz, Berlin.

Matzarakis, A., H. Mayer und M. Iziomon (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol.* **43** (2): 76-84. doi: 10.1007/s004840050119.

Oke, T. R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108 (455): 1-24. doi: 10.1002/qj.49710845502.

Oke, T. R. (1987): *Boundary Layer Climates*. 2. Ausgabe, Routledge, London and New York.

Pagenkopf, A. (2010): Urbane Niederschlagsbeeinflussung - Genese und räumliche Differenzierung am Beispiel von Berlin. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin.

Scherer, D., U. Fehrenbach, T. Lakes, S. Lauf, F. Meier und C. Schuster (2013): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. *Die Erde* 144 (3-4): 238-259. doi: 10.12854/erde-144-17.

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2001a): Langjähriges Mittel der Lufttemperatur 1961-1990, Karte 04.02 Umweltatlas Berlin, Berlin.

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2001b): Stadtklimatische Zonen, Karte 04.05 Umweltatlas Berlin, Berlin.

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2009): Umweltatlas Berlin, Karten 04.10.03 – 04.10.06 Umweltatlas Berlin, Berlin.

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2014): Gebäude- und Vegetationshöhen (2009/2010), Umweltatlas Berlin, Berlin.

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2015a): Umweltatlas Berlin, 04 Klima. Website: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dinh_04.htm, letzter Zugriff: 31.05.2015

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2015b): Klimamodell Berlin: Planungshinweise Stadtklima 2015 – Hauptkarte, Umweltatlas Berlin, Berlin.

SenStadtUm – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2015c): Klimamodell Berlin: Planungshinweise Stadtklima 2015 – Ergänzende Hinweise, Umweltatlas Berlin, Berlin.

WHO – World Health Organization (2007): Bedrohungen und Herausforderungen im Bereich Gesundheit in der Europäischen Region der WHO. Wachsende Zahl von Naturkatastrophen und Krisensituationen. Faktenblatt EURO/03/07 vom 2. April 2007. Weltgesundheitsorganisation. Regionalbüro Europa. Kopenhagen.

Anhang

a. Klimatologische Kenntage vergangener Perioden

Tabelle 10: Langjährige Mittelwerte \pm Standardabweichung σ ($^{\circ}\text{C}$, bzw. mm/a) der mittleren (T_{mean}), maximalen (T_{max}) und minimalen (T_{min}) täglichen Lufttemperatur sowie des Niederschlags ($PRCP$) an den Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für drei 30-Jahres-Perioden von 1961 bis 2010. Für jede Periode und jede Variable sind zusätzlich die Werte für das wärmste und kälteste Jahr, das niederschlagsreichste und niederschlagsärmste Jahr sowie der 50-Jahres-Trend der Periode 1961 – 2010 angegeben (p-Wert in Klammern). k. A.: kein statistisch signifikanter Trend nachzuweisen. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1990 | 1971 – 2000 | 1981 – 2010 |
|--|--|---|--|
| T_{mean} | | | |
| Mittelwert $\pm \sigma$ ($^{\circ}\text{C}$) | 8,7 \pm 0,7 / 9,4 \pm 0,8 | 9,0 \pm 0,8 / 9,7 \pm 0,8 | 9,3 \pm 0,8 / 10,0 \pm 0,8 |
| Maximum ($^{\circ}\text{C}$) | 10,1 / 11,0 | 10,4 / 11,1 | 10,5 / 11,1 |
| Minimum ($^{\circ}\text{C}$) | 7,4 / 8,2 | 7,4 / 8,0 | 7,4 / 8,0 |
| Trend, 1961-2010 (K/a) | 0,03 (p < 0,001) / 0,03 (p = 0,001) | | |
| T_{max} | | | |
| Mittelwert $\pm \sigma$ ($^{\circ}\text{C}$) | 13,2 \pm 0,8 / 13,1 \pm 0,9 | 13,5 \pm 0,9 / 13,4 \pm 1,0 | 13,8 \pm 0,9 / 13,8 \pm 1,0 |
| Maximum ($^{\circ}\text{C}$) | 15,1 / 14,9 | 15,1 / 14,9 | 15,1 / 14,9 |
| Minimum ($^{\circ}\text{C}$) | 11,8 / 11,6 | 11,5 / 11,6 | 11,5 / 11,6 |
| Trend, 1961-2010 (K/a) | 0,03 (p = 0,001) / 0,03 (p < 0,001) | | |
| T_{min} | | | |
| Mittelwert $\pm \sigma$ ($^{\circ}\text{C}$) | 4,9 \pm 0,7 / 5,6 \pm 0,7 | 5,2 \pm 0,7 / 5,9 \pm 0,7 | 5,4 \pm 0,7 / 6,1 \pm 0,7 |
| Maximum ($^{\circ}\text{C}$) | 6,3 / 7,2 | 6,6 / 7,2 | 6,6 / 7,2 |
| Minimum ($^{\circ}\text{C}$) | 3,5 / 4,6 | 3,8 / 4,3 | 3,8 / 4,3 |
| Trend, 1961-2010 (K/a) | 0,03 (p < 0,001) / 0,02 (p = 0,002) | | |
| $PRCP$ | | | |
| Mittelwert $\pm \sigma$ (mm/a) | 585,1 \pm 108,3 / 589,2 \pm 101,2 | 565,4 \pm 109,1 / 570,6 \pm 96,9 | 585,8 \pm 111,6 / 576,5 \pm 100,4 |
| Maximum (mm/a) | 786,3 / 784,1 | 786,3 / 784,1 | 798,3 / 832,7 |
| Minimum (mm/a) | 377,0 / 384,2 | 377,0 / 400,4 | 397,2 / 400,4 |
| Trend, 1961-2010 (mm/a*a) | k. A. / k. A. | | |

Tabelle 11: Ausgewählte Statistiken für heiße Tage ($T_{max} \geq 30$ $^{\circ}\text{C}$) und Tropennächte ($T_{min} \geq 20$ $^{\circ}\text{C}$) für die Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für fünf Dekaden von 1961 bis 2010. Für die durchschnittliche Anzahl pro Zeitraum ist außerdem eine Standardabweichung σ angegeben. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1970 | 1971 – 1980 | 1981 – 1990 | 1991 – 2000 | 2001 – 2010 |
|--------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Heiße Tage | | | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 7,7 \pm 5,8 / 5,6 \pm 3,8 | 9,6 \pm 5,8 / 7,7 \pm 4,0 | 8,0 \pm 4,7 / 7,0 \pm 4,7 | 11,2 \pm 5,6 / 9,9 \pm 5,3 | 12,9 \pm 6,6 / 12,0 \pm 6,1 |
| Max. Anzahl (d/a) | 18 / 11 | 18 / 16 | 16 / 15 | 20 / 19 | 25 / 22 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1969 / 1969 | 1975 / 1971 | 1983 / 1983 | 1994 / 1994 | 2003 / 2006 |
| Tropennächte | | | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 0,3 \pm 0,5 / 0,7 \pm 1,1 | 0,3 \pm 0,7 / 0,9 \pm 1,1 | 0,1 \pm 0,3 / 1,4 \pm 1,1 | 0,6 \pm 1,0 / 1,6 \pm 3,1 | 0,8 \pm 0,9 / 1,6 \pm 2,0 |
| Max. Anzahl (d/a) | 1 / 3 | 2 / 3 | 1 / 3 | 3 / 10 | 2 / 6 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1963 / 1963 | 1971 / 1971 | 1987 / 1983 | 1994 / 1994 | 2003 / 2010 |

Tabelle 12: Ausgewählte Statistiken für Frosttage ($T_{min} < 0\text{ °C}$) und Eistage ($T_{max} < 0\text{ °C}$) für die Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für fünf Dekaden von 1961 bis 2010. Für die durchschnittliche Anzahl pro Zeitraum ist außerdem eine Standardabweichung σ angegeben. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1970 | 1971 – 1980 | 1981 – 1990 | 1991 – 2000 | 2001 – 2010 |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Frosttage | | | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 97,6 \pm 17,6 / 87,2 \pm 19,2 | 85,1 \pm 18,5 / 74,7 \pm 17,5 | 85,4 \pm 16,6 / 71,0 \pm 16,5 | 82,4 \pm 23,9 / 70,4 \pm 22,4 | 84,0 \pm 19,3 / 78,1 \pm 19,5 |
| Max. Anzahl (d/a) | 123 / 116 | 110 / 100 | 104 / 93 | 134 / 119 | 107 / 105 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1969 / 1969 | 1980 / 1980 | 1985 / 1987 | 1996 / 1996 | 2003 / 2010 |
| Eistage | | | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 33,6 \pm 16,0 / 32,9 \pm 15,3 | 19,2 \pm 10,6 / 18,4 \pm 11,3 | 24,3 \pm 14,8 / 22,7 \pm 14,0 | 20,7 \pm 11,8 / 18,7 \pm 10,8 | 21,1 \pm 15,2 / 20,7 \pm 14,6 |
| Max. Anzahl (d/a) | 65 / 61 | 33 / 31 | 48 / 44 | 51 / 46 | 60 / 58 |
| Jahr mit max. Anzahl | 1963 / 1963 | 1979 / 1979 | 1985 / 1985 | 1996 / 1996 | 2010 / 2010 |

Tabelle 13: Ausgewählte Statistiken für Niederschlagsereignisse mit $> 10\text{ mm/d}$ (PRCP10) bzw. $> 20\text{ mm/d}$ (PRCP20) Niederschlag an den Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für drei 30-Jahres-Perioden von 1961 bis 2010. Für die durchschnittliche Anzahl pro Zeitraum ist außerdem eine Standardabweichung σ angegeben. k. A.: kein statistisch signifikanter Trend nachzuweisen. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1990 | 1971 – 2000 | 1981 – 2010 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| PCR10 | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 12,2 \pm 4,1 / 12,1 \pm 3,7 | 10,9 \pm 4,1 / 12,2 \pm 4,0 | 12,2 \pm 4,4 / 12,8 \pm 4,1 |
| Trend, 1961-2010 (d/a a ⁻¹) für $p < 0.05$ | k. A. / k. A. | | |
| PRCP20 | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d/a) | 2,4 \pm 1,7 / 2,7 \pm 1,7 | 2,2 \pm 1,7 / 2,6 \pm 1,8 | 2,3 \pm 1,9 / 2,7 \pm 1,9 |
| Trend, 1961-2010 (d/a a ⁻¹) für $p < 0.05$ | k. A. / k. A. | | |
| Stärkstes Ereignis (mm/d) | 104,8 / 119,5 | 104,8 / 119,5 | 84,1 / 65,1 |
| Datum des stärksten Ereignisses | 08.08.1978 / 08.08.1978 | 08.08.1978 / 08.08.1978 | 12.08.2002 / 12.08.2002 |

Tabelle 14: Ausgewählte Statistiken von aufeinanderfolgenden Trockentagen (consecutive dry days – CDD) für die Stationen Potsdam / Berlin-Tempelhof für drei 30-Jahres-Perioden von 1961 bis 2010. Trockentage sind definiert als Tage mit $< 1\text{ mm/d}$ Niederschlag. Für die durchschnittliche Anzahl pro Zeitraum ist außerdem eine Standardabweichung σ angegeben. Datengrundlage: DWD (2015a).

| | 1961 – 1990 | 1971 – 2000 | 1981 – 2010 |
|------------------------------------|---|---|---|
| CDD | | | |
| Durchschn. Anzahl $\pm \sigma$ (d) | 2,3 \pm 4,1 / 2,4 \pm 4,3 | 2,4 \pm 4,1 / 2,4 \pm 4,5 | 2,3 \pm 4,1 / 2,4 \pm 4,5 |
| Median Anzahl (d) | 1 / 1 | 1 / 1 | 1 / 1 |
| Längste Periode (d) mit Datum | 39 (15.07.1971-22.08.1971) / 59 (01.04.1988-29.05.1988) | 41 (24.12.1995-02.02.1996) / 59 (01.04.1988-29.05.1988) | 44 (24.03.2007-06.05.2007) / 59 (01.04.1988-29.05.1988) |

Tabelle 15: (Un-)Wetterwarnstufen des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2015b).

| Stufe | Windgeschwindigkeit | | Beaufort | Typ |
|-------|---------------------|-----------|----------|-----------------|
| | (m/s) | (km/h) | | |
| 1 | > 14 | > 50 | 7 | Wetterwarnung |
| 2 | 18 – 24 | 65 – 85 | 8 – 9 | Wetterwarnung |
| 3 | 25 – 28 | 90 – 100 | 10 | Wetterwarnung |
| 4 | 29 – 32 | 105 – 115 | 11 | Unwetterwarnung |
| 5 | > 33 | > 120 | 12 | Unwetterwarnung |
| 6 | > 39 | > 140 | 12 | Unwetterwarnung |

b. EURO-CORDEX

Tabelle 16: Verwendete Simulationen der EURO-CORDEX Initiative (<http://euro-cordex.net/EURO-CORDEX.1908.0.html>). RCM – Regional Climate Model (regionales Klimamodell), GCM – General Circulation Model (antreibendes globales Modell). Weitere Informationen zu den verwendeten Simulationen sind hier zu finden: http://www.euro-cordex.net/fileadmin/user_upload/eurocordex/EUROCORDEX-simulations.pdf

| RCM | GCM | GCM-Lauf | Institution |
|------------|-------------|----------|---|
| CCLM4-8-17 | CNRM-CM5-LR | r1i1p1 | CLM community (Brandenburg University of Technology) |
| RCA4 | CNRM-CM5 | r1i1p1 | Rosby Centre, Swedish Meteorological and Hydrological Institute |
| CCLM4-8-17 | EC-EARTH | r12i1p1 | CLM community (Brandenburg University of Technology) |
| RCA4 | EC-EARTH | r12i1p1 | Rosby Centre, Swedish Meteorological and Hydrological Institute |
| RACMO22E | EC-EARTH | r1i1p1 | Royal Netherlands Meteorological Institute |
| HIRHAM5 | EC-EARTH | r32i1p1 | Danish Meteorological Institute |
| CCLM4-8-17 | MPI-ESM-LR | r1i1p1 | CLM community (Brandenburg University of Technology) |
| REMO2009 | MPI-ESM-LR | r1i1p1 | Max Planck Institute, Climate Service Center |
| RCA4 | MPI-ESM-LR | r1i1p1 | Rosby Centre, Swedish Meteorological and Hydrological Institute |

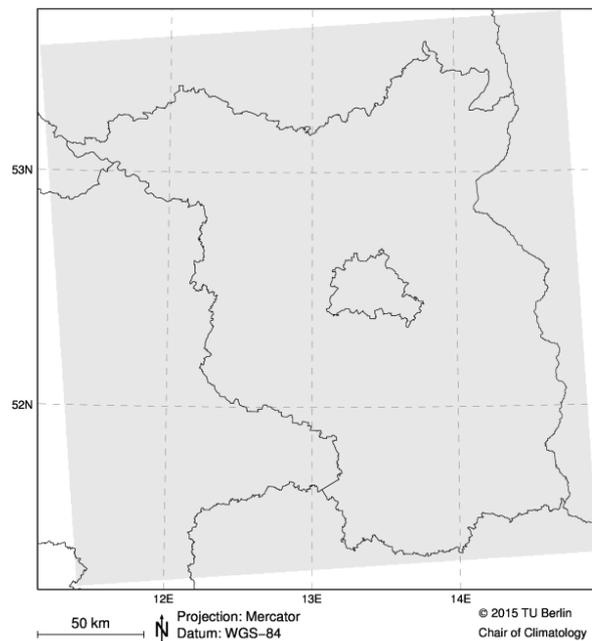


Abbildung 16: Ausdehnung der Region Berlin-Brandenburg (grau schattiert) für die Auswertung der EURO-CORDEX Daten (20x21 Gitterpunkte). Politische Grenzen sind schwarz markiert.

c. SOLWEIG-Modellkonfiguration und PET-Berechnungsschritte

Tabelle 17: Konfiguration der mikroskaligen Simulationen mit dem SOLWEIG-Modell.

| <i>Modell, Domain und Zeitschritt</i> | |
|---|--|
| Modell | SOLWEIG 2014a |
| Gitterauflösung | 1 m |
| Gitterpunkte | 2000 x 2000 |
| Simulationsperiode und Zeitschritt | 01.05.2010 – 30.09.2010, 1 h |
| Geografische Position, Höhe (ü. NN) | 13,4° O; 52,5° N, 34 m |
| Zeitzone | UTC+1 |
| <i>Statische Eingangsdaten</i> | |
| Digitales Gebäudemodell | 1 m Rasterdaten (erstellt aus Vektordaten von SenStadtUm, 2014) |
| Digitales Vegetationsmodell | 1 m Rasterdaten (erstellt aus Vektordaten von SenStadtUm, 2014) |
| Stammhöhe der Vegetation | 0,25*Vegetationshöhe |
| Sky View Factor (Himmelssichtfaktor) | Berechnet in SOLWEIG |
| <i>Meteorologische Eingangsdaten (einheitlich für das Modellgebiet)</i> | |
| Lufttemperatur | Stündl. Auflösung, Station Berlin-Tegel (DWD, 2015c) |
| Relative Luftfeuchte | Stündl. Auflösung, Station Berlin-Tegel (DWD, 2015c) |
| Globalstrahlung | Stündl. Auflösung, Station Rothenburgstraße (Fenner et al., 2014), Fehlwerte gefüllt mit Werten der Station Jagen91 |
| <i>Modellparameter (einheitlich für das Modellgebiet)</i> | |
| Absorption (kurzwellig) | 0,70 |
| Absorption (langwellig) | 0,95 |
| Albedo (Wände und Boden) | 0,20 |
| Emissivität (Wände) | 0,90 |
| Emissivität (Boden) | 0,95 |
| Transmissivität (Vegetation) | 0,05 |
| <i>Ausgabegröße</i> | |
| Mittlere Strahlungstemperatur (T_{mrt}) | 1 h |

Die Identifizierung der heißen Tage basiert auf den Messdaten der Station Berlin-Tegel (DWD, 2015a). Insgesamt wurden dort im Jahr 2010 14 heiße Tage registriert. Im langjährigen Mittel (1981 – 2010) lag die durchschnittliche Anzahl an der Station Berlin-Tegel bei $9,4 \pm 5,6$ d/a.

Berechnungsschritte für die PET:

- Berechnung zeitlicher Mittelwert der T_{mrt} um 14:00 Uhr an heißen Tagen für jeden Gitterpunkt, basierend auf Simulationen mit dem SOLWEIG-Modell.
- Berechnung zeitlicher Mittelwert der Lufttemperatur und relativen Feuchte in 2 m um 14:00 Uhr an heißen Tagen, Station Berlin-Tegel.
- Berechnung mittlere Windgeschwindigkeit um 14:00 Uhr an heißen Tagen in 1,1 m Höhe mittels logarithmischem Windprofils und Winddaten aus 10 m Höhe, Station Berlin-Tegel.
- Berechnung PET für jeden Gitterpunkt anhand der Mittelwerte (Parameter für PET-Berechnung: Geschlecht = männlich, Größe = 1,75 m, Gewicht = 75 kg, Alter = 35 a, Metabolismusrate = 80 W, clothing-Faktor = 0.9 clo; Höpfe, 1999). Näherungsweise wurde die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte aus 2 m für die Höhe 1,1 m verwendet. Alle meteorologischen Daten wurden als einheitlich für das Modellgebiet angenommen.

