

04.12 Klimawandel und Wärmebelastung der Zukunft (Ausgabe 2010)

Problemstellung

Im Rahmen des Umweltatlas werden seit mehr als 25 Jahren Erhebungen zur Stadtklimatologie durchgeführt und Daten gewonnen (vgl. SenStadtUm 1985). Aktuell liegt mit den Ergebnissen der Anwendung des Klimamodells FITNAH eine umfassende **Bestandsaufnahme der heutigen klimatischen Situation im Stadtgebiet** und im näheren Umland vor (vgl. Karte 04.10 Klimamodell Berlin - Analysekarten (Ausgabe 2009) und Karte 04.11 Klimamodell Berlin - Bewertungskarten (Ausgabe 2009)). Die Kenntnis über das in der Stadt vorherrschende Lokalklima, insbesondere die Lage und Ausdehnung der städtischen "Wärmeinseln" und die klimatischen Funktionszusammenhänge zwischen Siedlungs- und grünbestimmten Räumen sind bedeutende Aspekte der Umweltvorsorge und Stadtentwicklung.

Seit einigen Jahren hat sich nun das Spektrum der Herausforderungen drastisch erweitert: die Abschätzung der Auswirkungen der durch den **globalen Klimawandel** zu erwartenden Veränderungen auf die thermischen, hygrischen und lufthygienischen Verhältnisse insbesondere in den städtischen Ballungsräumen erfordert zusätzliche Antworten, um die unter den Begriffen "**Mitigation**" (Minderung) und "**Adaptation**" (Anpassung) zusammengefassten Anforderungen zu unterstützen.

Während der Klimaschutz seit Jahren ein fester Bestandteil der Berliner Umweltpolitik ist und im Zusammenhang mit zahlreichen Programmen zur

- Steigerung der Energieeffizienz,
- die Nutzung erneuerbarer Energien und zur
- Energieeinsparung

eine lange Tradition besitzt (vgl. [Ziele und Grundlagen der Klimaschutzpolitik in Berlin](#)), war die Anpassung an den Klimawandel bisher nur ein Randthema.

Allerdings kann die Notwendigkeit der Klimawandelanpassung heute nicht mehr aus dem kommunalen Alltag ausgeblendet werden. Mit der Annahme des 4. Sachstandsberichts des [Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen \(IPCC\)](#) von 2007 sind der Klimawandel und seine mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogenen Ursachen international anerkannt.

Seit dem vergangenen Jahrhundert erwärmt sich das Klima, wie Beobachtungsdaten belegen. So stieg das globale Mittel der bodennahen Lufttemperatur im Zeitraum 1906 bis 2005 um etwa 0,74°C. Gebirgsgletscher und Schneebedeckung haben im Mittel weltweit abgenommen. Extremereignisse wie Starkniederschläge und Hitzewellen - etwa während des "Jahrhundertsommers" 2003 - wurden häufiger, und seit den 1970er Jahren traten in den Tropen und Subtropen intensivere und länger andauernde Dürren über größeren Gebieten auf. Mit steigender Temperatur nehmen die erwarteten Risiken zu (vgl. [Umweltbundesamt](#)).

Seit dem Beginn der Industrialisierung steigt die globale Mitteltemperatur der Luft in Bodennähe. Die durch das vom Menschen verursachte (**anthropogene**) Verbrennen fossiler Brennstoffe in der Atmosphäre angereicherten Treibhausgase führen in der Tendenz zu einer Erwärmung der unteren Luftschichten (vgl. Abbildung 1).

1: Global Temperature Record

Phil Jones

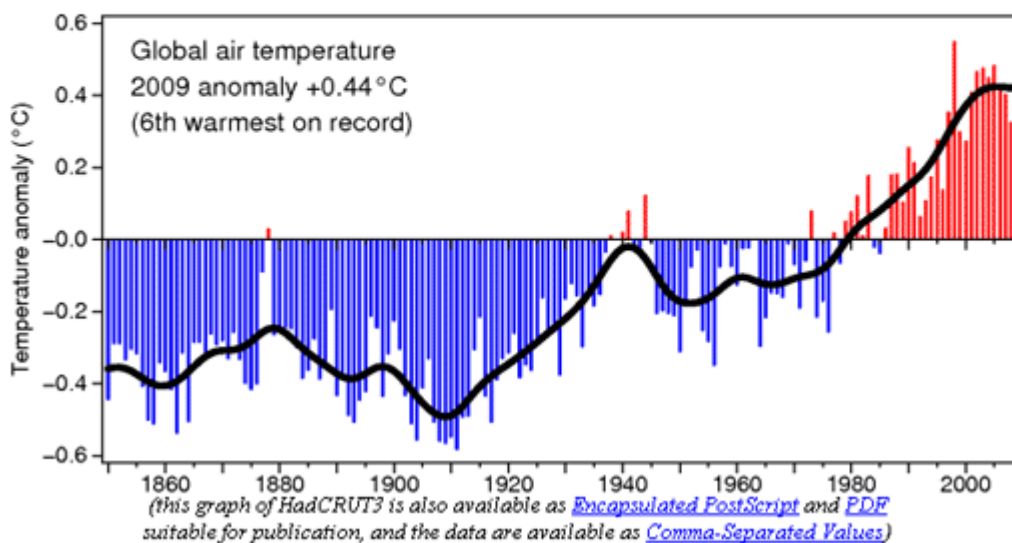


Abb. 1: Abweichungen des globalen Mittels der bodennahen Lufttemperatur vom Mittelwert im Zeitraum 1961 bis 1990 (Quelle: Climatic Research Unit - University of East Anglia)

Nach den Prognosen des IPCC muss auch in Deutschland bis zum Jahr 2050 mit folgenden Änderungen gerechnet werden:

- im Sommer werden die Temperaturen um 1,5 °C bis 2,5 °C höher liegen als 1990
- im Winter wird es zwischen 1,5 °C und 3 °C wärmer werden
- im Sommer können die Niederschläge um bis zu 40 % geringer ausfallen
- im Winter kann es um bis zu 30 % mehr Niederschlag geben (ausführliche Zusatzinformationen hier: [Klimaatlas Deutschland](#)).

Um die regionalen Auswirkungen dieser künftigen Klimaänderungen in Deutschland besser einschätzen zu können, werden sogenannte **Regionale Klimamodelle** eingesetzt und z.B. im Auftrag des Umweltbundesamtes zur Erstellung von Projektionsdaten der möglichen zukünftigen Entwicklung genutzt.

Grundlage für die Klimamodelle bilden Annahmen über die Entwicklung der Emissionen in den nächsten Jahrzehnten, die wiederum abhängig sind von den möglichen (weltweiten) demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technischen Entwicklungen. Maßgebend sind für die meisten Klimaprojektionen die [SRES-Emissionsszenarien](#) des IPCC. Für die meisten Projektionsrechnungen wird das Szenario A1B genutzt, das von folgenden Annahmen ausgeht:

- stetiges Wirtschaftswachstum
- ab Mitte des Jahrhunderts rückläufige Weltbevölkerung
- Einführung neuer und effizienter Technologien
- Verringerung der regionalen Unterschiede im Pro-Kopf-Einkommen
- "ausgewogene Nutzung" aller Energiequellen.

Alle SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, d.h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich eine Umsetzung internationalen Übereinkommen vorsehen.

Die Auflösungsebene der regionalen Modell liegt bei 10 km x 10 km pro einzelner Rasterfläche. Einerseits bedeutet dies einen beträchtlichen Qualitätssprung gegenüber den globalen Modellen mit Rastergrößen von 200 km x 200 km, andererseits reicht die Auflösung für stadtplanerische Zwecke bei weitem nicht aus.

Zwei der bekanntesten Modelle in Deutschland sind das dynamische Regionalmodell [REMO](#) sowie das statistische Verfahren [WETTReg](#).

Auf Bundesebene wurde am 17. Dezember 2008 im Kabinett die **Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel** (DAS) beschlossen. Sie stellt den Beitrag des Bundes dar und schafft einen Rahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland, der durch die Städte und Ballungszentren je nach lokaler Betroffenheit spezifiziert werden muss (weitere Informationen [hier](#)).

Diese mögliche lokale Betroffenheit besser einschätzen zu können, war Ausgangspunkt der Anfang 2008 abgeschlossenen **Kooperationsvereinbarung zwischen dem Deutschen Wetterdienst (DWD), Abteilung Klima- und Umweltberatung und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abteilung Geoinformation, Referat Informationssystem Stadt und Umwelt**, die Anfang 2010 erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Der dazu vorgelegte Projektbericht lieferte auch wesentliche Beiträge für die hier vorgelegten Textteile (DWD 2010) .

Ansatz der hier präsentierten Karten und Daten war somit die Fragestellung, wie sich auf der Basis heute vorliegender Erkenntnisse und Modelldaten die thermischen Verhältnisse in Berlin entwickeln könnten. Dies ist auch deshalb von besonderem Interesse, da davon auszugehen ist, dass heute noch als nicht wärmebelastet bewertete Stadtgebiete durch die fortdauernde Klimaerwärmung in den nächsten Jahrzehnten einer deutlichen höheren sommerlichen Hitze ausgesetzt sein dürften. Dies gilt sowohl von der zu erwarteten absoluten Höhe der erreichten Temperaturwerte als auch von der Andauer der Hitzeperioden.

Es ging also im wesentlichen um eine **Bestandsaufnahme der zu erwartenden Klimafolgen** insbesondere in den bebauten Bereichen, wo die Verwundbarkeit der Stadtbewohner - und hier vor allem der älteren Bevölkerung - am größten ist.

Das methodische Vorgehen zur kleinräumigen lokalen Ausprägung möglicher durch den globalen Klimawandel verursachter Folgen ist noch "Forschungsneuland", in keiner Weise standardisiert und somit in der Interpretation der Ergebnisdaten immer mit gewissen Unsicherheitsfaktoren versehen (vgl. Methode).

Datengrundlage

Das Stadtbioklimamodell UBIKLIM

Die Atmosphäre und damit das Klima sind ein Teil der Umwelt, mit der sich der menschliche Organismus dauernd auseinandersetzen muss, um das Gleichgewicht seiner Lebensfunktionen und damit seine Gesundheit zu erhalten. Die dabei geforderte Anpassungsleistung lässt sich über Wärmehaushaltsmodelle des Menschen (VDI 1998) berechnen, wodurch der Zusammenhang zwischen Mensch und Atmosphäre objektiv, qualitativ und quantitativ erfasst wird. Dabei sind neben der Lufttemperatur ebenso Wind, Feuchte und Strahlungsverhältnisse sowie auch die Aktivität und Bekleidung des Menschen zu berücksichtigen. Der **Deutsche Wetterdienst nutzt das Klima-Michel-Modell** (Jendritzky et al., 1990). Es basiert auf der Behaglichkeitsgleichung von Fanger (1972) inkl. einer Korrektur nach Gagge et al. (1986) zur besseren Erfassung feucht-warmer Bedingungen, verknüpft alle für den menschlichen Wärmehaushalt relevanten Größen und liefert eine Aussage über das durchschnittliche subjektive Empfinden des Menschen (Behaglichkeit, Wärmebelastung, Kältestress). Der Name "Michel" weist auf den Durchschnittsmenschen hin (hier: männlich, 35 Jahre alt, 1,75 m groß, 75kg schwer).

Zur Beschreibung des thermischen Empfindens dient die **Gefühlte Temperatur** (Staiger et al., 1997) in der Einheit °C. Sie vergleicht die tatsächlich vorgefundenen Bedingungen mit der Temperatur, die in einer Standardumgebung herrschen müsste, um ein identisches Wärme-, Behaglichkeits- oder Kaltgefühl zu haben. Die Bekleidung wird zwischen sommerlich leichter und winterlich dicker stets so variiert, dass sich der Mensch möglichst behaglich fühlt. In Tabelle 1 sind die Gefühlten Temperaturen dem thermischen Empfinden des Menschen sowie den jeweiligen Belastungsstufen zugeordnet.

Tab 1: Beziehung zwischen Gefühlter Temperatur, Thermischem Empfinden und Belastungsstufen		
Gefühlte Temperatur [°C]	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe
unter -39	sehr kalt	extreme Belastung
39 bis -26	kalt	starke Belastung
-26 bis -13	kühl	mäßige Belastung
-13 bis 0	leicht kühl	schwache Belastung
0 bis 20	behaglich	keine Belastung
20 bis 26	leicht warm	schwache Belastung
26 bis 32	warm	mäßige Belastung
32 bis 38	heiß	starke Belastung
über 38	sehr heiß	extreme Belastung

Tab. 1: Beziehung zwischen Gefühlter Temperatur, Thermischem Empfinden und Belastungsstufen

Da die Anpassungsmöglichkeiten unter warmen bzw. heißen Bedingungen eher begrenzt sind und eine Entlastung sich nur durch Ausweichen in eine kühlere Umgebung (im Extremfall in klimatisierte Räume) realisieren lässt, es außerdem in Städten gegenüber dem Umland zu einer Zunahme von Wärmebelastung kommt, besitzt der Wärme- bzw. Hitzbelastungsanteil des Bioklimas bei Fragen des menschlichen Wohlbefindens, u.U. auch mit gesundheitlicher Relevanz, eine besondere Bedeutung.

UBIKLIM nutzt das erwähnte Klima-Michel-Verfahren und ermöglicht die lokalen Unterschiede im Bioklima zu erfassen und gemäß Richtlinie 3787 Blatt 2 (VDI 2008) über die **Gefühlte Temperatur** zu bewerten.

Um einen Bezug nicht nur zur lokalen städtischen Situation, sondern auch zum regionalen Bioklima herzustellen, auf dessen Grundlage dann auch die Verknüpfung zu den Klimaszenarien der Zukunft hergestellt werden kann, war die Erweiterung des Stadtbioklimamodells zu einem "**Kombinierten Stadtbioklimamodell**" erforderlich (vgl. weitere Erläuterungen im Kapitel Methode).

Verwendung von Landnutzungsdaten

Die Anwendung von Simulationsmodellen erfordert eine über das eigentliche Untersuchungsgebiet hinausgehende räumliche Erfassung der Grundlagendaten und meteorologischen Randbedingungen. Daher untergliederte sich das Untersuchungsgebiet in das etwa 890 km² große Stadtgebiet von Berlin sowie einen rund 850 km² großen Bereich des Umlandes und besaß damit eine Ausdehnung von 46,1 x 38,0 km (vgl. Abbildung 2).

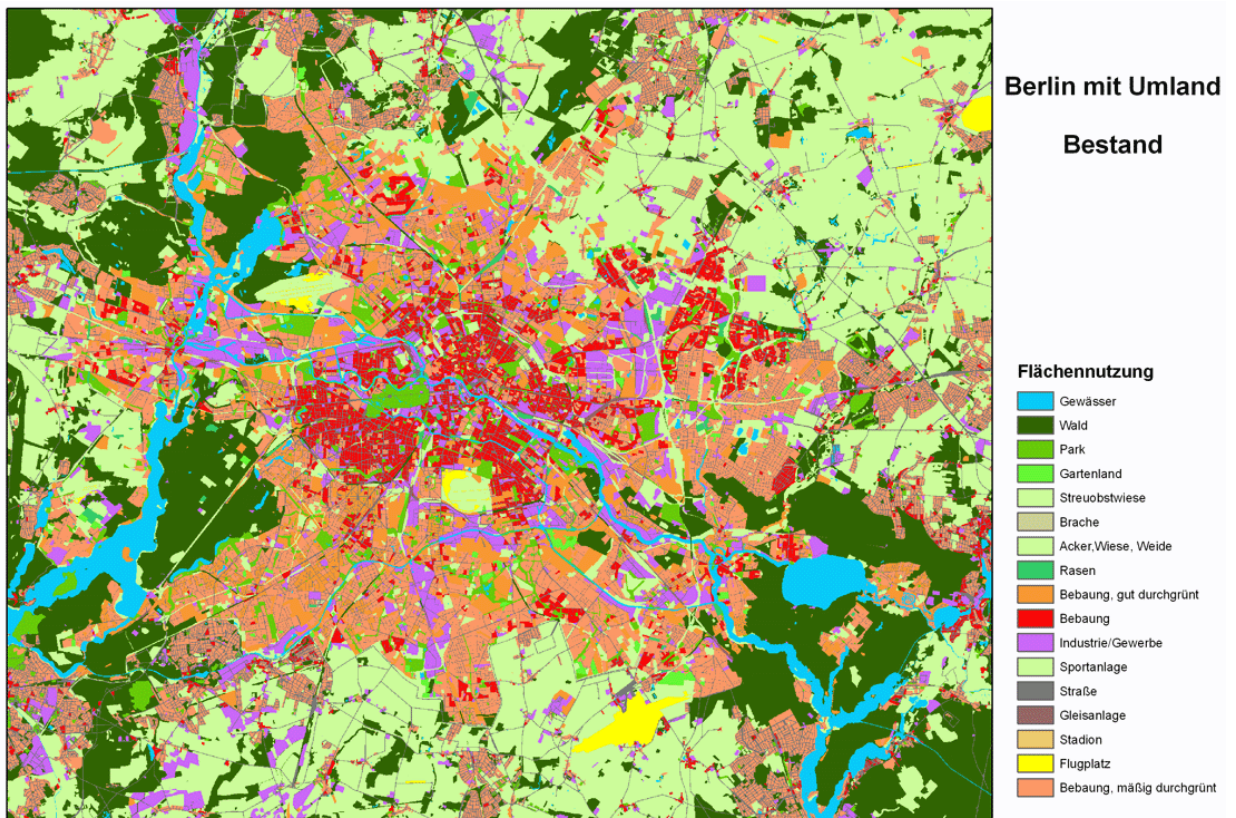


Abb.2: Klassifizierung der Landnutzung für die Modellanwendung. Es kommt ein Schlüssel mit 17 Nutzungsklassen zum Einsatz, der an die Erfordernisse des Modells UBIKLIM angepasst ist.

Die Bereitstellung der Daten erfolgte in einem Raster von 25 m x 25 m, so dass sich insgesamt rund 2.800.000 Einzelflächen ergaben.

Die verwendeten Parameter für das **Stadtgebiet Berlin** wurden dem Datenbestand des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) entnommen, der für vielfältige Auswertungen und Berechnungen zur Verfügung steht. Das [Informationssystem Stadt und Umwelt \(ISU\)](#) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung enthält ca. 25.000 Einzelflächen in einem räumlichen Bezugssystem, die für die Berechnungen aufgerastert werden mussten:

- **Flächennutzung.** Die Daten der Flächennutzung geben den Nutzungsstand von Ende 2005 wieder und beruhen auf der Auswertung von Luftbildern, bezirklichen Flächennutzungskarten, Ortsbegehungen und weiteren Unterlagen für den Umweltatlas (vgl. Karte 06.01 und Karte 06.02, SenStadt 2008a). Es werden etwa 30 Nutzungsarten unterschieden.
- **Stadtstrukturtypen** (Karte 06.07, SenStadt 2008b). Eine weitere Verfeinerung dieser Daten fand über die Nutzungsdatei des ISU statt, die u.a. typenspezifische Angaben zur Höhe der Gebäude und Vegetationsstrukturen innerhalb der einzelnen Stadtstrukturtypen enthält.
- **Versiegelung** (Karte 01.02, SenStadt 2007).

Aus den Vorarbeiten zur Umsetzung der EU-Richtlinie zum Umgebungslärm konnte eine mit Höhenangaben aufbereitete Gebäudedatei eingespeist werden, welche mit Datenstand 2005 sämtliche 550.000 Gebäude der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) des Landes Berlin sowie in einem Abstand von 3 km um das Stadtgebiet 231.445 Gebäude aus dem Land Brandenburg enthält.

Die Liegenschaftskarte ALK bildet als darstellender Teil des so genannten Liegenschaftsbuches neben den Flurstücken vor allem die Gebäude einschließlich ihrer Geschossanzahl flächenscharf ab und ist daher als Basisinformation zur Abbildung von Hochbaustrukturen gut geeignet (vgl. Karte 04.10, Abbildung 2).

Im Hinblick auf die Einbindung der ALK-Daten in den Auswertungsprozess ist zu beachten, dass Anlagen auf Bahngelände und S-Bahnhöfe, Gebäude auf Industrie- und Gewerbeflächen sowie Gartenhäuser in Kleingartengebieten nicht in allen Fällen erfasst sind.

Tab 2: Zuordnung von Flächentypen und Bebauungsparametern für die Anwendung des Bioklimamodells UBIKLIM						
Flächentyp	Gesamt-Versiegelungsgrad in %	Zahl der Gebäude pro 100.000 m ²	Mittlere Gebäudehöhe in m	Überbauter Flächenanteil in %	Durchgrünung ¹⁾	
Stadtgebiet Berlin:						
1	Geschlossener Hinterhof	84	32	15	53	n
2	Hinterhof	78	36	16	45	n
3	Schmuck- und Gartenhof	65	32	13	35	p
4	Sanierung durch Entkernung	63	39	16	33	n
5	Behutsame Sanierung	74	40	16	42	n
6	Schuppenhof	61	28	12	29	n
7	Nachkriegsblockrand	66	35	15	35	n
8	Ungeordneter Wiederaufbau	67	51	19	35	n
9	Hochhaus, Großsiedlung	49	32	13	19	n
10	Großhof	52	29	13	27	m
11	Zeile seit den 50er Jahren	44	27	13	20	m
12	Altbau-Schule	58	31	13	26	n
13	Neubau-Schule	51	31	13	20	m
14	Schule	45	31	13	16	m
21	Dorf	38	26	12	17	m
22	Reihengarten	34	25	12	16	m
23	Garten	34	24	11	16	m
24	Parkartiger Garten	36	23	11	18	p
25	Gärten und halbprivate Umgrünung	39	27	12	20	m
26	Offene Siedlungsbebauung	29	24	12	13	m
27	Friedhof	10	3	10	2	p
29	Kerngebiet	81	40	16	44	n
30	Gewerbegebiet mit geringer Bebauung	68	31	13	27	n
31	Gewerbegebiet mit dichter Bebauung	57	32	14	18	n
32	Flächen der Ver- und Entsorgung	57	32	14	18	n
33	Mischgebiet II mit geringer Bebauung	65	25	12	29	n
34	Kleingärten mit niedrigem Erschließungsflächenanteil	15	30	3	8	p
35	Kleingärten mit hohem Erschließungsflächenanteil	20	60	3	10	p
37	Kleingärten allgemein	15	30	3	8	p
38	Mischgebiet II mit dichter Bebauung	83	29	15	48	n
39	Mischgebiet I	43	22	11	20	n
41	Sicherheit und Ordnung	41	26	13	15	n
42	Post	68	47	16	23	n
43	Verwaltung	60	34	14	28	n
44	Hochschule und Forschung	53	29	13	26	m
45	Kultur	58	39	15	28	n
46	Krankenhaus	40	25	13	20	m
47	Kindertagesstätte	40	36	15	15	m
49	Kirche	43	32	14	18	n
50	Seniorenheim	49	27	13	23	m
51	Jugendfreizeitheim	26	15	11	11	p
58	Campingplatz	15	10	4	2	p
59	Wochenendhäuser	26	21	11	10	m
60	Gemeinbedarf allgemein	45	27	12	13	m
71	Plattenbausiedlung der 80er und 90er Jahre	55	31	15	20	n
72	Zeile der 20er Jahre, nur Berlin (Ost)	51	37	15	25	m
73	Siedlung der 90er Jahre kompakt	60	27	13	26	n
74	Siedlung der 90er Jahre aufgelockert	51	23	12	17	m
150	Friedhof	15	6	10	2	p
160	Kleingärten	20	27	3	3	p
161	Kleingärten (Anteil Dauerbewohner <=10%), nur Berlin (Ost)	30	28	10	7	p
162	Kleingärten (Anteil Dauerbewohner > 10%), nur Berlin (Ost)	37	31	13	10	p
180	Campingplatz	12	12	9	1	p
Umland:						
205	Kleingärten	19	27	5	3	
206	Kerngebiet	81	16	10	11	n
208	dichte Bebauung	63	15	10	10	m
211	Industrie	65	12	10	7	n

¹⁾ Angaben zur Durchgrünung: n - nicht durchgrünt, m - mäßig durchgrünt, p - parkartig durchgrünt.

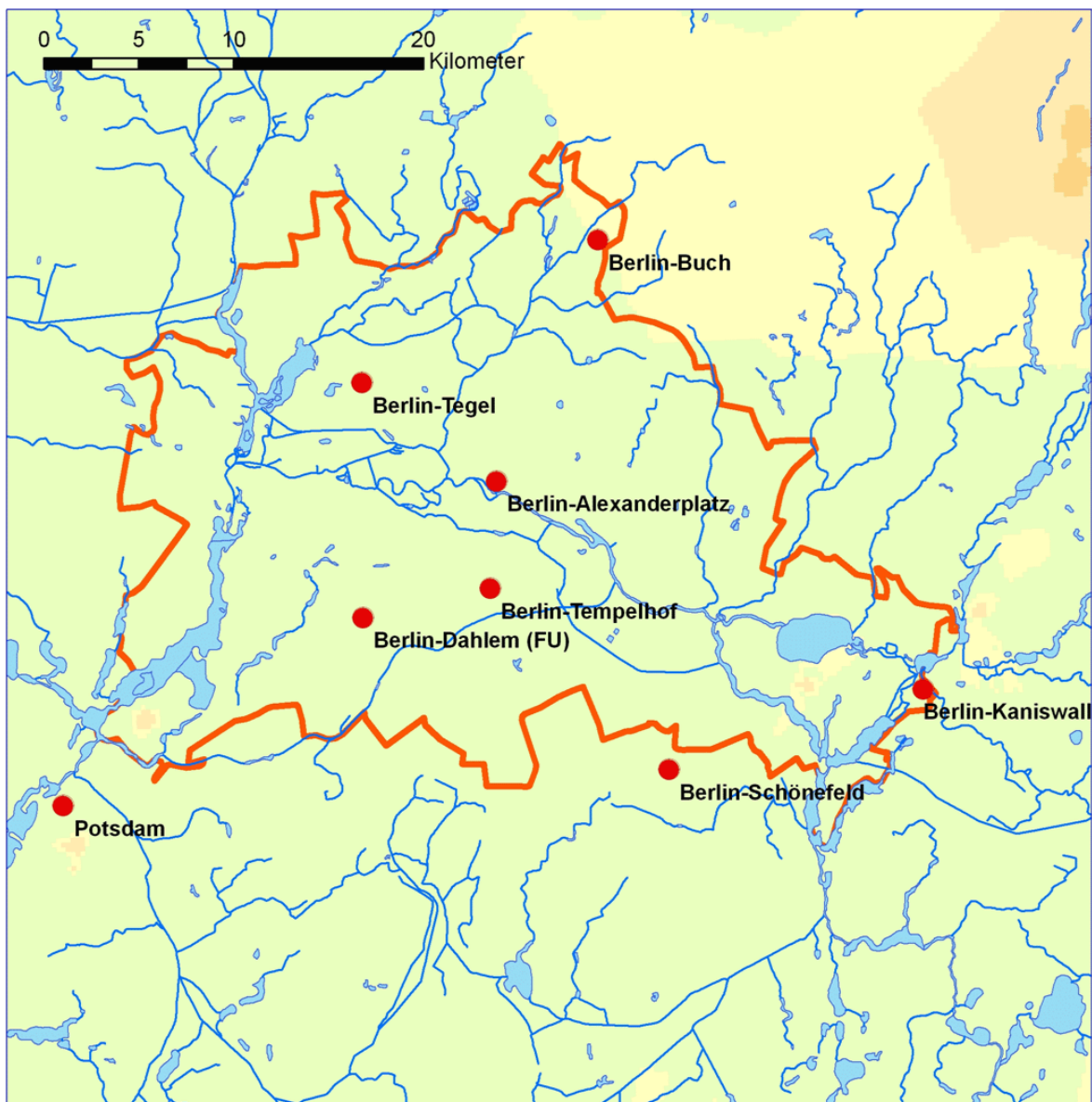
Tab. 2: Zuordnung von Flächentypen und Bebauungsparametern für die Anwendung des Bioklimamodells UBIKLIM

Um dem Modellansatz der Anwendung des 1-dimensionalen Modells MUKLIMO_1 gerecht zu werden, müssen die Flächen der einzelnen Areale deutlich größer als ein 25 m x 25 m-Pixel sein. Das bedeutet, dass kleine Straßen nicht aufgelöst, sondern der umliegenden Nutzung zuzuordnen sind.

Auswertung klimatologischer Zeitreihen

Auch für Berlin liegen Zeitreihen klimatologischer Parameter verschiedener Stationen - teilweise über einen langen Zeitraum - vor. Wie sich diese Situation im Mittel über ein Jahr bzw. bei extremen Wetterlagen auf die Wärmebelastung auswirkt, zeigen Auswertungen charakteristischer Parameter der Lufttemperatur an verschiedenen Standorten im Stadtgebiet mit unterschiedlichem Stadteinfluss.

Die Karte (vgl. Abbildung 3) zeigt die Lage der verwendeten Stationen Berlin-Tegel und Berlin-Tempelhof. In beiden Fällen repräsentieren sie als Stationen auf einem Flughafengelände inmitten Berlins eine Stadtlage mit relativ offener Bebauung. Durch dichte Bebauung und einen in hohem Maße versiegelten Innenstadtbereich wird der Standort der Station Berlin-Alexanderplatz geprägt. Die weiteren Stationen zeichnen sich durch Merkmale einer Stadtrandlage aus.



Höhe ü. NN in m

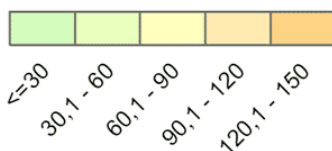


Abb.3: Lage der im Rahmen der Modellierung verwendeten Stationen im Stadtgebiet und direktem Umland

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Lufttemperatur an der Station Tempelhof 1949-2008. Deutlich erkennbar ist der positive Trend insbesondere der letzten 20 Jahre. Nach einem noch mal kalten Jahr 1996, lagen seither alle Jahresmittel der Lufttemperatur über dem langjährigen Jahresmittelwert von 9,6 °C. Das wärmste Jahr der gesamten Beobachtungsreihe war das Jahr 2000 mit 11,1 °C. Die zunehmende Erwärmung betrifft den gesamten Ballungsraum, jedoch ist die thermische Ausprägung in den einzelnen Stadtteilen von Berlin sehr unterschiedlich.

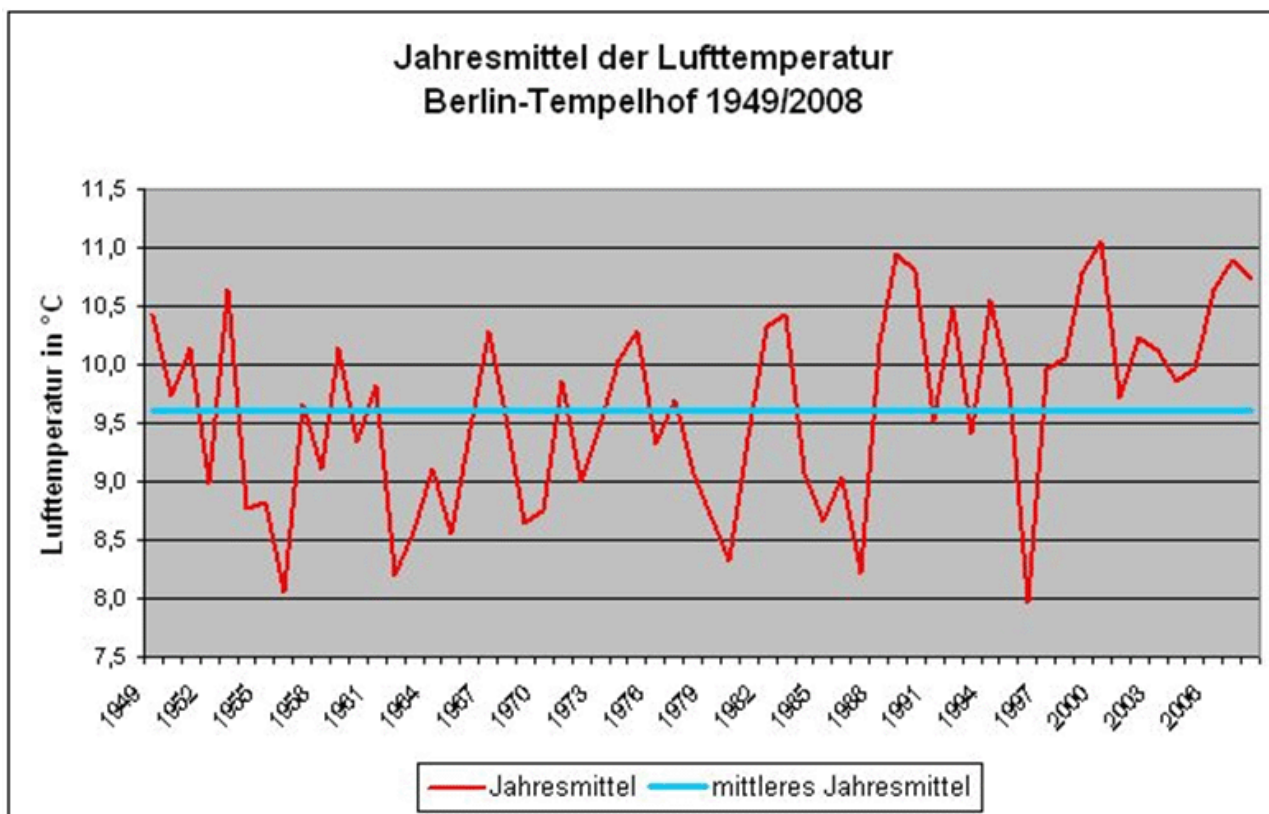


Abb.4: Jahresmittel der Lufttemperatur an der Station Berlin-Tempelhof (1949-2008)

Das Auftreten von Tropennächten ist in Deutschland ein seltenes Ereignis. Im Folgenden wird an der Anzahl der Tropennächte (Temperaturminimum ≥ 20 °C) die Zunahme des Wärmeinseleffektes mit Vordringen in den unmittelbaren Stadtkernbereich von Berlin deutlich. Die unterschiedlichen Zeiträume liefern darüber hinaus Angaben über die Zunahme der Wärmebelastung insbesondere in der überhitzten Innenstadt. Tabelle 3 zeigt im Zeitraum 1999-2008 gegenüber dem Zeitraum 1967-1990 eine mittlere Zunahme um 5 Tropennächte in der Innenstadt, in offen bebautem Stadtgebiet um 0,2 und am Stadtrand eine geringfügige Abnahme um 0,1 (vgl. Tabelle 3).

Tab 3: Mittlere Anzahl von Tropennächten verschiedener Klimastationen				
		Stadtrand	Stadtgebiet	Stadtzentrum
		Schönefeld	Tempelhof	Alexanderplatz
a	1967-1990	0,2	1,0	2,1
b	1981-2000	0,2	1,5	3,6
c	1993-2007	0,1	1,5	4,7
d	1999-2008	0,1	1,2	7,1
e	2003	-	3,0	10,0
	Differenz b - a	0,0	0,5	1,4
	Differenz c - a	0,0	0,5	2,6
	Differenz d - a	0,1	0,2	5,0

Tab. 3: Mittlere Anzahl von Tropennächten verschiedener Klimastationen

Extreme Hitzeperioden - wie während des Sommers 2003 - führen zu extremer Wärmebelastung in dicht bebauten Stadtgebieten. An der Station Alexanderplatz wurden 10 Tropennächte registriert, noch 3 in offen bebautem Stadtgebiet, während im angrenzenden Umland dieses Ereignis gar nicht auftrat.

Die Station Berlin-Alexanderplatz charakterisiert die Lage in einer städtischen Wärmeinsel. Da aber die Stadtstrukturen räumlich nicht homogen sind, bilden sich auch in anderen Teilen der Stadt mit hoher Bebauungsdichte, hohem Versiegelungsgrad und/oder mit sehr geringem Grünflächenanteil weitere Wärmeinseln aus. Andererseits werden in Gebieten mit großen Parkanlagen Temperaturen erreicht, die kaum von denen des Umlandes abweichen.

Methode

Die Beurteilung thermisch belastender Situationen kann anhand unterschiedlicher Bewertungskriterien vorgenommen werden. "Die häufigste Anwendung findet die Behaglichkeitsgleichung nach Fanger (1972) sowie die daraus berechnete Gefühlte Temperatur GT , über die der thermische Wirkungskomplex bestimmt wird" (VDI 2008).

Ein darauf aufbauendes Modellverfahren ist das für praktische Anwendungen in der Stadtplanung beim Deutschen Wetterdienst DWD entwickelte Stadtbioklimamodell UBIKLIM (**U**rbanes **B**io**K**lima**M**odell, welches in Berlin bereits 1996 zur Bewertung der thermischen Situation eines typischen Sommertages zum Einsatz kam (vgl. SenSUT 1998).

Die methodisch-fachliche Besonderheit dieser Arbeit bestand darin, eine Projektion des Bioklimas für Zeiträume des Klimawandels, also die nächsten 30- 70 Jahre zu entwickeln. Da dafür bisher keine standardisierten und normierten Verfahren existieren, sind die Ergebnisse, die hiermit bezüglich der Anwendung von UBIKLIM im Rahmen von Klimaprojektionen vorgelegt werden, als **Vorstellungen der künftigen Klimaentwicklung** zu bewerten.

Auf Basis der Klimaprojektionen können Klimaänderungsszenarien entworfen werden, die mögliche plausible Klimaentwicklungen der Zukunft repräsentieren. Sie sind jedoch nicht als exakte Vorhersagen oder gar als Wetterprognosen zu verstehen. ([UBA](#))

Eingangsgrößen und Ablaufverfahren bei UBIKLIM

Als Eingangsgrößen benötigt UBIKLIM neben einem hoch aufgelösten Höhenmodell geeignete Flächennutzungsinformationen. Dazu wird das Untersuchungsgebiet in eine endliche Anzahl von Arealen mit gleicher oder ähnlicher Nutzung unterteilt. Bebautes Gebiet wird weiter unterteilt und durch Versiegelungsgrad, überbauten Flächenanteil, Gebäudehöhe, Zahl der Gebäude pro Fläche und Durchgrünung eindeutig charakterisiert. Anhand dieser Eingangsdaten berechnet UBIKLIM in mehreren Schritten - vorrangig durch Anwendung des 1-dimensionalen Stadtklimamodells MUKLIMO_1 - für einen windschwachen, wolkenlosen Sommertag die meteorologischen Größen in 1 m Höhe über Grund für das gesamte Untersuchungsgebiet und analysiert sie anschließend pixelweise mit dem Klima-Michel-Modell (vgl. das Flussdiagramm in Abbildung 5). Die Auflösung der resultierenden Bioklimakarte beträgt 10 bis 25 Meter.

UBIKLIM ermöglicht die lokalen Unterschiede im Bioklima zu erfassen. Eine Beziehung zum regionalen Klima und damit absolute Aussagen liefern diese Ergebnisse allerdings nicht.

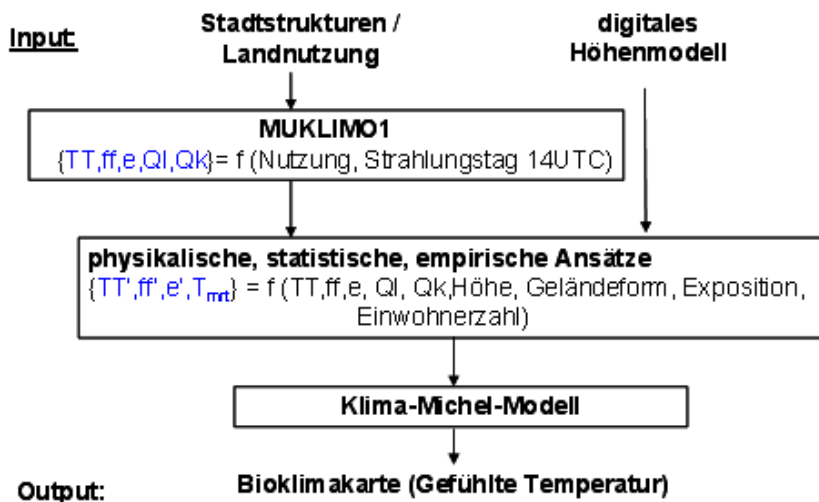


Abb. 5: Schematischer Aufbau des Stadtbioklimamodells UBIKLIM
 (TT: Lufttemperatur, ff: Windgeschwindigkeit, e: Feuchte, Ql: langwellige Strahlungsflüsse, Qk: kurzwellige Strahlungsflüsse, T_{mrt}: mittlere Strahlungstemperatur des Menschen, Werte für 1 m über Grund)

Erweiterung von UBIKLIM zum Kombinierten Stadtbioklimamodell

Bioklimakarten mit Bezug zum regionalen Bioklima und lokaler Differenzierung können erzeugt werden, indem die UBIKLIM-Ergebnisse mit von der Flächennutzung unabhängiger regionaler Bioklimainformation, die im Folgenden auch als Hintergrundbelastung bezeichnet wird, verknüpft werden. Dazu wird das Stadtbioklimamodell zum ‚Kombinierten Stadtbioklimamodell‘ erweitert. Dieses besteht aus UBIKLIM, der bioklimatisch aufbereiteten Hintergrundinformation und einer statistischen Modellgleichung, mit der die Zusammenführung der unterschiedlichen Scales realisiert wird.

Um repräsentativ für eine weite Umgebung zu sein, werden die Wetterdaten an synoptischen Stationen laut Vorgaben der WMO (World Meteorological Organization) weitgehend von der Landnutzung unbeeinflusst erhoben. Sie eignen sich damit zur Gewinnung der gesuchten Hintergrundinformation. Ausgenommen davon sind einzelne Stationen, die von der Vorgabe deutlich abweichen. Bei ihnen charakterisieren die Messdaten das Klima in der unmittelbaren Stationsumgebung wie beispielsweise Berlin-Alexanderplatz die "Stadtmitte".

Beschrieben wird die Hintergrundinformation mit der Zahl der Tage mit Wärmebelastung als 30-jähriger Jahresmittelwert. Ein Tag mit Wärmebelastung wird definiert als ein Tag, an dem tagsüber zwischen 9 und 15 UTC die Gefühlte Temperatur mindestens an drei Stundenterminen 32°C und damit starke Wärmebelastung erreicht oder überschritten hat. Diese Definition wurde gewählt, weil man dadurch angenähert die Tage erfasst, die als warnwürdig erachtet werden, also eine hohe thermophysiologische Relevanz besitzen.

Um den Zusammenhang zwischen den thermischen Bedingungen an einem sommerlichen Strahlungstag einerseits und den mittleren klimatischen Bedingungen andererseits zu ermitteln, wurden für den Zeitraum 1971 - 2000 den Wetterdaten der synoptischen Stationen in Deutschland verschiedene Nutzungen/ Stadtstrukturen aufgeprägt. Das bedeutet, dass alle Messwerte für Temperatur, Feuchte, Wind sowie die aus der Bewölkung abgeleiteten Strahlung nutzungs-spezifisch modifiziert wurden. Die Modifikationsparameter wurden aus MUKLIMO_1-Simulationen für die unterschiedlichen Stadtstrukturen bestimmt.

Alle Daten wurden anschließend mit dem Klima-Michel-Modell analysiert und auf Wärmebelastungstage hin untersucht. Aus dem dabei gewonnenen Datensatz ließ sich folgende Regressionsgleichung ableiten:

$$WB = (r_1 \cdot WB_{frei} + r_2 \cdot dGT + r_3 \cdot WB_{frei} \cdot dGT + r_4 \cdot nn + r_5 \cdot br + r_6 \cdot lä + r_{konst}) \text{ Gl. (1)}$$

WB Tage mit Wärmebelastung an einem beliebigen Ort der Stadt

WB_{frei} Hintergrundbelastung

dGT Gefühlte Temperatur an einem beliebigen Ort der Stadt minus Gefühlte Temperatur über Freifläche außerhalb der Stadt (gemäß UBIKLIM)
 nn Höhe über NN
 br geograph. Breite
 lä geograph. Länge
 r_i Regressionskoeffizienten

Da sich die UBIKLIM-Ergebnisse auf Strahlungstage beziehen, müssen zur Kopplung mit dem regionalen Bioklima auch die Wärmebelastungstage berücksichtigt werden, die keine Strahlungstage sind. Damit besteht die resultierende Gleichung sowohl aus einer Regressionsbeziehung als auch aus einer Gewichtungsfunktion. Ein Strahlungstag wird definiert über die Mittelwerte aus den 6, 12 und 18 UTC-Terminwerten für die Bewölkung (N) und die Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund (v). An einem Strahlungstag ist $N \leq 4$ Achtel und $v \leq 3$ m/s.

Die Kopplung der lokalen mit der regionalen Bioklimainformation wird durch folgenden Ansatz realisiert:

$$WB = (r_1 \cdot WB_{frei} + r_2 \cdot dGT + r_3 \cdot WB_{frei} \cdot dGT + geo) \cdot strant + WB_{frei} \cdot (1 - strant) \quad \text{Gl. (2)}$$

geo f(geograph. Breite und Länge sowie Höhe) = konstant für Berlin

strant prozentualer Anteil von Strahlungstagen an den aufgetretenen Wärmebelastungstagen

Anwendung des Stadtbioklimamodells UBIKLIM

Unter Verwendung der Flächennutzungsdaten von Berlin und seinem Umland (vgl. Verwendung von Landnutzungsdaten) berechnet UBIKLIM die Verteilung der Gefühlten Temperatur, wie sie sich typischerweise am Nachmittag an einem windschwachen wolkenlosen Sommertag ausprägt (vgl. Abbildung 8).

Der **Vergleich mit Messdaten** konnte auf die Beobachtungswerte der Stationen an den Flughäfen Schönefeld (10385), Tegel (10382) und auf dem ehemaligen Fluggelände Tempelhof (10384) sowie die Stadtstationen Dahlem (10381) und Alexanderplatz (10389) zurückgreifen.

Es wurden aus dem Zeitraum 1990 - 2000 zwölf sommerliche Strahlungstage herausgefiltert. Diese vergleichsweise geringe Zahl ist im Wesentlichen der Station Alexanderplatz geschuldet, da hier nur wenige vollständige Datensätze zur Berechnung der Gefühlten Temperatur zur Verfügung standen. Während Temperatur, Feuchte und Bewölkung, die zur Parametrisierung der Strahlung dient, direkt in die Berechnung der Gefühlten Temperatur eingingen, wurde die Windgeschwindigkeit gemäß dem im Routinemodell des DWD zur Berechnung der Gefühlten Temperatur verwendeten logarithmischen Ansatz auf eine Höhe von 1 m heruntergerechnet. Entsprechend den Beschreibungen zu den Stationsumgebungen (DWD 2008) wurden dabei unterschiedliche Rauigkeitslängen angenommen.

Tab 4: Vergleich der mit UBIKLIM berechneten Gefühlten Temperaturen (GT UBIKLIM) mit den Mittelwerten der Gefühlten Temperatur aus 12 sommerlichen Strahlungstagen (GT Station) an fünf Berliner Stationen				
Station	GT _{Station} [°C] 12 UTC	GT _{UBIKLIM} [°C] 14 UTC	Windgeberhöhe über Grund [m]	Rauigkeitslänge [m]
Schönefeld	32,5	25,9	10	0,01
Tegel	32,1	25,8	10	0,03
Tempelhof	32,4	26,2	10	0,06
Dahlem	35,0	29,5	26	0,15
Alexanderplatz	35,6	30,4	368	0,65

Tab 4: Vergleich der mit UBIKLIM berechneten Gefühlten Temperaturen (GT UBIKLIM) mit den Mittelwerten der Gefühlten Temperaturen aus 12 sommerlichen Strahlungstagen (GT Station) an fünf Berliner Stationen (Bezugszeitraum 1990-2000)

In Tabelle 4 wurden die Gefühlten Temperaturen aus dem Modell den Mittelwerten aus den 12 Strahlungstagen an den ausgewählten Wetterstationen im Stadtgebiet gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass die Differenzen zwischen den Stadtstrukturen recht gut wiedergegeben werden. So zeigen sowohl die Messungen als auch die Modellrechnungen, dass an den drei Flughäfen ähnliche thermische Bedingungen herrschen. An den beiden Stadtstationen liegen die Gefühlten Temperaturen um 2,5 bis 3,5 °C höher, im Modell sind es ungefähr 4 °C, d. h. bei den Stadtstationen bildet sich deren jeweilige Lage im Stadtzentrum (Alexanderplatz) bzw. in begrünter Einzelhausbebauung am Innenstadtrand (Dahlem) gut ab.

Dieser Vergleich sollte allerdings nicht überbewertet werden, da hier Punktwerte (Stationsdaten) Flächenmittelwerten (Modelldaten) gegenübergestellt werden. Da sich entsprechend der Modellphilosophie eine pixelgenaue Interpretation verbietet, wurden die Modelltemperaturen repräsentativ für den ungefähren Bereich der Station abgegriffen. Da ferner die Daten der Wetterstationen als repräsentativ für die Umgebung erachtet werden und außerdem ein Mittel aus mehreren Tagen gebildet wurde, wird der Vergleich dennoch als durchaus sinnvoll erachtet.

In einem nächsten Schritt wurde die Beziehung zu den regionalen Klimaverhältnissen hergestellt, dies war notwendig, um UBIKLIM mit den für die Zukunftsprojektionen vorliegenden Daten der regionalen Klimamodelle [REMO](#) und [WettReg](#) zu verknüpfen.

Anwendung des Kombinierten Stadtbioklimamodells UBIKLIM

Für das Kombinierte Stadtbioklimamodell werden neben den UBIKLIM-Eingabeparametern zusätzlich ein Wert für die Hintergrundbelastung und einer für den Anteil an Strahlungstagen benötigt. Im Fall von Berlin können diese aus den Daten der Wetterstation Berlin-Schönefeld ermittelt werden. Der Jahresmittelwert liegt für den Zeitraum 1971 - 2000 bei 9,9 Wärmebelastungstagen, Strahlungstage haben daran einen Anteil von 47 %, die geographischen Daten zusammengefasst als die Größe "geo" (vgl. Gleichung 2) werden aufgrund der relativ geringen Ausdehnung konstant gesetzt.

Die Karte 04.12.1 zeigt als Ergebnis der Modellanwendung die Verteilung der Tage mit Wärmebelastung für den Bezugszeitraum 1971 - 2000.

Sie liefert absolute Aussagen, diese lassen sich mit auf die gleiche Weise erstellten Auswertungen, z. B. anderer Städte oder auch einfach nur mit der Hintergrundbelastung eines beliebigen Gebietes vergleichen.

Analog zur vergleichenden Darstellung der Gefühlten Temperaturen in Tabelle 4 werden in Tabelle 5 die Stationsauswertungen in Bezug auf die Häufigkeit der Tage mit Wärmebelastung den Modellwerten gegenübergestellt. Leider reichten die Messdaten für die Station Alexanderplatz bei weitem nicht aus, um ein 30-jähriges Mittel zu bestimmen oder auch nur abzuschätzen. Die Stations- und Modellwerte zeigen eine gute Übereinstimmung. Alle drei Flughafen-Stationen besitzen etwa das gleiche Belastungslevel, im Bereich der Stadt-Station Dahlem werden dagegen sieben Wärmebelastungstage/Jahr mehr erwartet.

Tab 5: Vergleich der mit UBIKLIM berechneten Tage mit Wärmebelastung (WB_{UBIKLIM}) mit der aus den Stationsdaten berechneten Zahl der Tage mit Wärmebelastung (WB_{Station}) an vier Berliner Stationen (Bezugszeitraum 1971 – 2000)		
Station	WB_{Station} [Tage]	WB_{UBIKLIM} [Tage]
Schönefeld	9,9	9,2
Tegel	8,6	9,0
Tempelhof	9,2	9,9
Dahlem	16,6	16,0
Alexanderplatz	-	17,5

Tab 5: Vergleich der mit UBIKLIM berechneten Tage mit Wärmebelastung (WB_{UBIKLIM}) mit der aus den Stationsdaten berechneten Zahl der Tage mit Wärmebelastung (WB_{Station}) an vier Berliner Stationen (Bezugszeitraum 1971 - 2000)

Projektion des Bioklimas auf Zeiträume des Klimawandels

Globale Klimamodelle entstanden aus den Wettervorhersagemodellen und werden seit etwa 1940 betrieben, um zu einer Vorstellung der künftigen Klimaentwicklung zu gelangen. Dabei wird ein Spektrum an Szenarien bereitgestellt, deren Ausprägung jeweils durch die im Vorfeld angenommenen künftigen Rahmenbedingungen insbesondere bezüglich der Emission von Treibhausgasen und Aerosolen in Abhängigkeit der sozioökonomischen und technologischen Entwicklung bestimmt wird. Die Szenarien-Betrachtung weist implizit auf die große Unschärfe der Klimaprojektionen hin, die nicht vergessen werden sollte, auch wenn wie im Folgenden nur das Szenario A1B der [SRES-Emissionsszenarien](#) des IPCC betrachtet wird.

Globale Klimamodelle besitzen nur eine geringe Auflösung, die sich aber durch eine Regionalisierung deutlich erhöhen lässt. Dabei kommen sowohl statistische als auch dynamische Verfahren in Betracht.

Bei den hier beschriebenen Untersuchungen wurde mit den Resultaten des dynamischen Regionalmodells REMO (Jacob 2005) und des statistischen Regionalmodells WettReg (Kreienkamp und Enke, 2006) gearbeitet, beide angetrieben von Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM5-MPI-OM des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (Roeckner et al., 2006).

Erst das **Downscaling regionaler Klimaprojektionen** ermöglicht die kombinierte Berücksichtigung der durch den globalen Klimawandel zu erwartenden Änderungen gemeinsam mit den durch die städtischen Nutzungen hervorgerufenen Einflüssen. Mit dem Kombinierten Stadtbioklimamodell können beide Einflussfaktoren berücksichtigt werden, wobei die Hintergrundbelastung durch das globale beziehungsweise das daraus abgeleitete regionale Klima definiert wird.

Zur Ermittlung der künftigen Hintergrundbelastung wurden die Resultate regionaler Klimamodelle herangezogen; ausgewertet wurden REMO- und WettReg-Daten für den Kontrollzeitraum 1971 - 2000 und die Projektionszeiträume 2021 - 2050 sowie 2071 - 2100.

Weiterhin können zusätzliche detaillierte Hinweise zur Einbindung der beiden Projektionsmodelle sowie zur Anwendung statistischer Verfahren, um eine adäquate Auswertung in Bezug auf die Wärmebelastung durchführen zu können, unter **Methode / ergänzende Hinweise** eingesehen werden.

Methode / ergänzende Hinweise

Erfassung der Hintergrundbelastung

Die Hintergrundbelastung aus den REMO-Daten wurde anhand eines 3 x 3 Gitterpunkte umfassenden, weitgehend von der Nutzung unbeeinflussten Gebietes im Südwesten Berlins ermittelt (Deutschländer et al., 2009). Es standen an jedem Gitterpunkt Zeitreihen aller physiologisch relevanten meteorologischen Größen für die gewünschten Zeiträume zur Verfügung. Die Auswertung in Bezug auf Tage mit Wärmebelastung erfolgte für die drei Zeiträume pixelweise mit anschließender Bildung des Flächenmittels. Analog wurde der Anteil an Strahlungstagen bestimmt.

WettReg generiert seine Ergebnisse stationsbezogen. Im vorliegenden Fall wurden die Daten der Stationen Schönefeld und Lindenberg zunächst getrennt in Bezug auf die Zahl der Tage mit Wärmebelastung bzw. den Anteil an Strahlungstagen ausgewertet. Das arithmetische Mittel der Werte beider Stationen steht dann für die den Berliner Raum charakterisierende Hintergrundbelastung. Die WettReg-Stationen Müncheberg und Zehdenick, die prinzipiell auch als weitere Stützpunkte für die Untersuchungen in Frage gekommen wären, wurden zur Auswertung nicht herangezogen, da die Durchführung der im Folgenden beschriebenen Biaskorrekturen aufgrund sehr lückenhafter Mess- und Beobachtungsdaten nicht möglich gewesen wäre.

Im Gegensatz zu REMO liefert WettReg immer nur einen Wert pro Tag. Um eine adäquate Auswertung in Bezug auf die Wärmebelastung durchführen zu können, wurden mit Hilfe statistischer Verfahren, die speziell mit den Messdaten der Stationen Schönefeld bzw. Lindenberg abgeglichen wurden, Tagesgänge und damit Stundenwerte für die zur Berechnung der Gefühlten Temperatur benötigten Größen erzeugt. Verwendet wurden Temperaturmaximum, Temperaturminimum, Tagesmittel von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Feuchte und Bewölkung. Damit wird man sicher nicht jeden Tag realitätsnah darstellen können. Auch in Bezug auf die Berechnung der Gefühlten Temperatur ist diese Vorgehensweise kritisch zu bewerten, da diese aufgrund der zum Teil gegenläufigen Wirkweise der einzelnen Wetterparameter prinzipiell eine zeitgleiche Zuordnung benötigt. Dadurch aber, dass ein Tag mit Wärmebelastung nicht an einem einzelnen Termin festgemacht wird, sondern über drei Termine tagsüber definiert wird (vgl. Methode), sowie durch die Betrachtung eines längeren Zeitraums, ergibt sich ein durchaus realistisches Bild.

Die Auswertung für den Zeitraum 1971 - 2000 der Mess-, REMO- und WettReg-Daten (vgl. Tabelle 6) zeigt, dass Wärmebelastungstage bei REMO leicht unter-, bei WettREG aber überschätzt werden. Die Abweichungen bezüglich des Strahlungstageanteils sind deutlich stärker.

Tab 6: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) und prozentualer Anteil (strant) an Strahlungstagen als Jahresmittelwert des Zeitraums 1971 – 2000 aus den Messdaten der Station Schönefeld (10385), sowie den entsprechenden Zeitreihen von REMO und WETTREG			
	10385	REMO	WETTREG
WB [Tage]	9,9	9,4	13,0
strant [%]	47	30	61

Tab 6: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) und prozentualer Anteil (strant) an Strahlungstagen als Jahresmittelwert des Zeitraums 1971 - 2000 aus den Messdaten der Station Schönefeld (10385), sowie den entsprechenden Zeitreihen von REMO und WETTReg

Anwendung statistischer Verfahren / Biaskorrektur

Die Abweichung des Modellwertes vom Erwartungswert aus den Messungen wird als **Modell-Bias** bezeichnet. Durch Biaskorrekturen lassen sich die Modellergebnisse verbessern. Dazu werden für die Schwellenwerte (Gefühlte Temperatur, Windgeschwindigkeit, Bewölkung) aus der Häufigkeitsverteilung der Messdaten von Schönefeld und Lindenberg die jeweiligen Perzentile bestimmt. Anschließend werden umgekehrt die in der Häufigkeitsverteilung der Modelldaten bei diesen Perzentilen liegenden Werte als neue Schwellenwerte definiert (Deutschländer et al., 2009). Der Bias verringert sich für die Tage mit Wärmebelastung bei WettReg und für den Strahlungstageanteil bei beiden Modellen deutlich (vgl. Tabelle 7).

Tab 7: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) und prozentualer Anteil (strant) an Strahlungstagen als Jahresmittelwert des Kontrollzeitraums 1971 - 2000, errechnet anhand der Zeitreihen von REMO und WETTREG mit Bias-Korrektur

	REMO	WETTREG
WB [Tage]	10,4	10,8
strant [%]	42	49

Tab 7: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) und prozentualer Anteil (strant) an Strahlungstagen als Jahresmittelwert des Kontrollzeitraums 1971 - 2000, errechnet anhand der Zeitreihen von REMO und WettReg mit Bias-Korrektur

Die Auswertung der künftigen Zeiträume 2021 - 2050 und 2071 - 2100 wurde ebenfalls mit den für den Kontrollzeitraum bestimmten Biaskorrekturen durchgeführt. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse. Bis Mitte des Jahrhunderts kommt es bei beiden Modellen etwa zu einer 50%-igen Zunahme der Tage mit Wärmebelastung. Gleichzeitig nimmt auch der Anteil an Strahlungstagen zu, bei REMO um 5%, bei WettREG um 6%. Bis Ende des Jahrhunderts werden sich die thermischen Belastungssituationen im ungestörten Umland noch mal nahezu verdoppeln, während sich der Anteil an Strahlungstagen nicht mehr bedeutend verändert.

Tab 8: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) und prozentualer Anteil (strant) an Strahlungstagen als Jahresmittelwert der Projektionszeiträume 2021 - 2050 und 2071 - 2100, errechnet anhand der Zeitreihen von REMO und WETTREG mit Bias-Korrektur

		REMO	WETTREG
2021 - 2050	WB [Tage]	14,9	15,5
	strant [%]	47	55
2071 - 2100	WB [Tage]	26,6	26,4
	strant [%]	47	53

Tab 8: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (WB) und prozentualer Anteil (strant) an Strahlungstagen als Jahresmittelwert der Projektionszeiträume 2021 - 2050 und 2071 - 2100, errechnet anhand der Zeitreihen von REMO und WettREG mit Bias-Korrektur

Anwendung statistischer Verfahren / Konfidenzmethode

Um besser einschätzen zu können, wie gut die Modell- die Messdaten wiedergeben, wurden für den Zeitraum 1971 - 2000 anhand der jährlich ermittelten Tage mit Wärmebelastung die **Konfidenzintervalle** für das 90%-Signifikanzniveau berechnet (vgl. Abbildung 6). In den Bereichen zwischen den beiden dünnen Querstrichen wird mit 90-%iger Wahrscheinlichkeit der Wert für die Hintergrundbelastung zu finden sein. Die Abweichungen der drei Konfidenzintervalle (Messdaten und Modellergebnisse) sind gering, woraus sich folgern lässt, dass die Hintergrundbelastung aus den Modellen die an der Station beobachtete Hintergrundbelastung gut widerspiegelt.

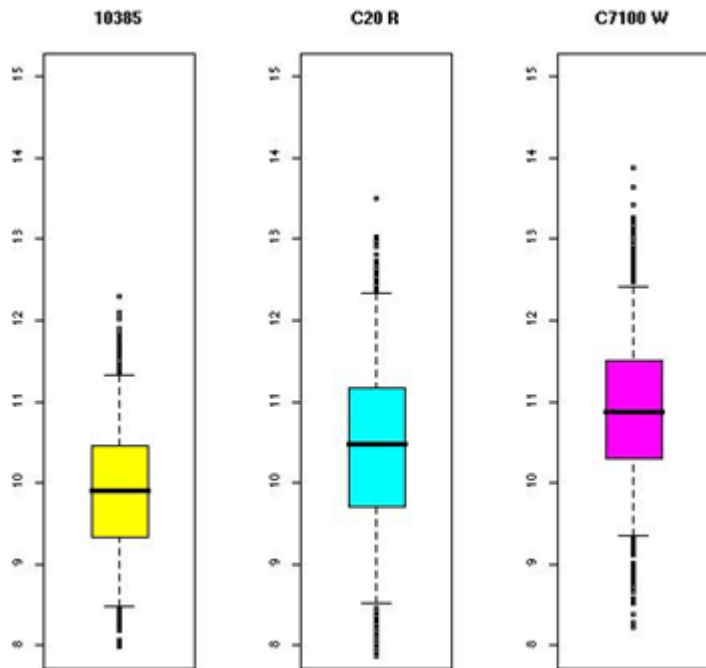


Abb. 6: 90%-Konfidenzintervalle für die Tage mit Wärmebelastung im Zeitraum 1971 - 2000 (10385: Station Schönefeld, C20R: Kontrolllauf REMO, C7100W: Kontrolllauf WettReg)

In Abbildung 7 sind zusätzlich die 90%-Konfidenzintervalle der Projektionszeiträume dargestellt. Die des Projektionszeitraums 2021 - 2050 überlappen sich nur geringfügig mit denen des Kontrollzeitraums. Daraus lässt sich eine leichte, aber signifikante Erhöhung der Anzahl an Wärmebelastungstagen bis zur Mitte dieses Jahrhunderts folgern. Für 2071 - 2100 zeigt sich die Zunahme der Tage mit Wärmebelastung noch deutlich stärker.

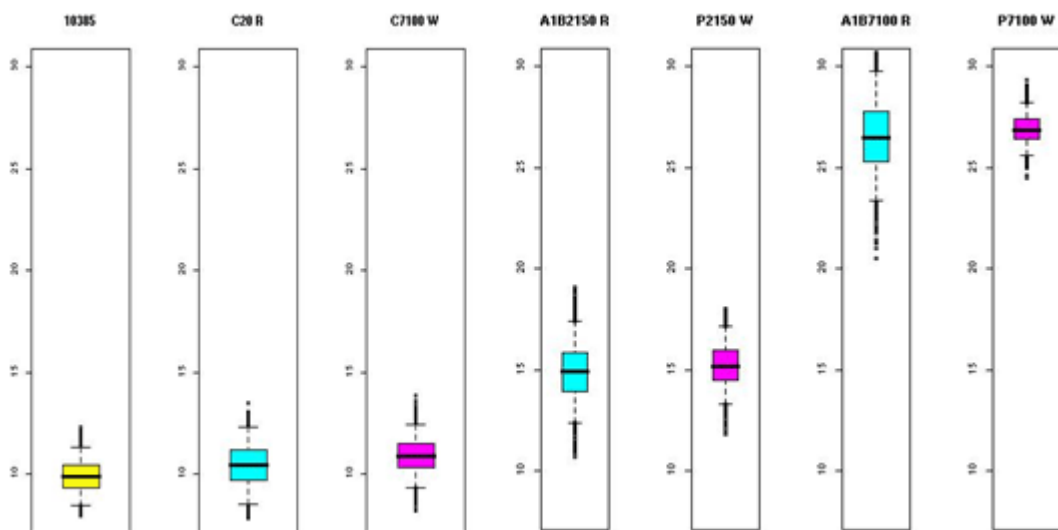


Abb. 7: 90%-Konfidenzintervalle für die Tage mit Wärmebelastung im Kontrollzeitraum 1971 - 2000 (10385: Station Schönefeld, C20R: REMO, C7100W: WettReg) und in den Projektionszeiträumen 2021 - 2050 (A1B2150R: REMO, P2150W: WettReg), 2071 - 2100 (A1B7100R: REMO, P7100W: WettReg)

Kartenbeschreibung

Mit den Werten für Hintergrundbelastung und Strahlungstageanteil aus den Tabellen 7 und 8 wurde das Kombinierte Bioklimamodell angetrieben. Dabei wurde zunächst von einem **Status-quo-Zustand der Nutzungsverteilung** und Einflussfaktoren wie Versiegelung, Begrünungsgrad etc. ausgegangen, an

einem Fallbeispiel wird dargestellt, wie sich mögliche Flächennutzungsänderungen, die über einen solch langen Betrachtungszeitraum zu erwarten sind, als zusätzlicher Einflussfaktor auswirken könnten.

Karte 04.12.1 Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung für den Bezugszeitraum 1971 - 2000 für Berlin und Umland

Karte 04.12.4 Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung 1971-2000 (einheitliche Farbreihe in den Karten 04.12.4 bis 04.12.6)

Unter Verwendung der Realnutzungsdaten des Projektgebietes (vgl. Datengrundlage wurde zunächst die Verteilung der Gefühlten Temperatur, wie sie sich typischerweise am Nachmittag an einem windschwachen wolkenlosen Sommertag ausprägt, berechnet (Abbildung 8).

Deutlich bilden sich darin die Unterschiede zwischen den verschiedenen Nutzungen und Stadtstrukturen ab. Markant ist die Zunahme der thermischen Belastung zur dicht bebauten Innenstadt hin. Ebenso auffällig tritt aber auch im Stadtzentrum der Große Tiergarten als zentrale Parkanlage hervor. Dort wird mit einer um etwa 5°C geringeren Gefühlten Temperatur das innerstädtische Belastungsgefüge aufgebrochen. Im Sommer, wenn in der angrenzenden Bebauung bereits Wärmebelastung herrscht, lässt sich hier oftmals noch in eine thermisch angenehmere Umgebung ausweichen. Vergleichbar Funktionen erfüllen auch die übrigen großen Freiflächen, wie der Britzer Garten, das Südgelände oder der Treptower Park. Das offene Gelände des ehemaligen Zentralflughafens Tempelhof weist demgegenüber erhöhte Temperaturwerte auf, da hier aufgrund der tagsüber ungebremsten Einstrahlung auf den Wiesenflächen eine Schattenwirkung durch Bäume fehlt und auch die Erzeugung von Verdunstungskälte gegenüber "klassischen" Parkanlagen verringert ist.

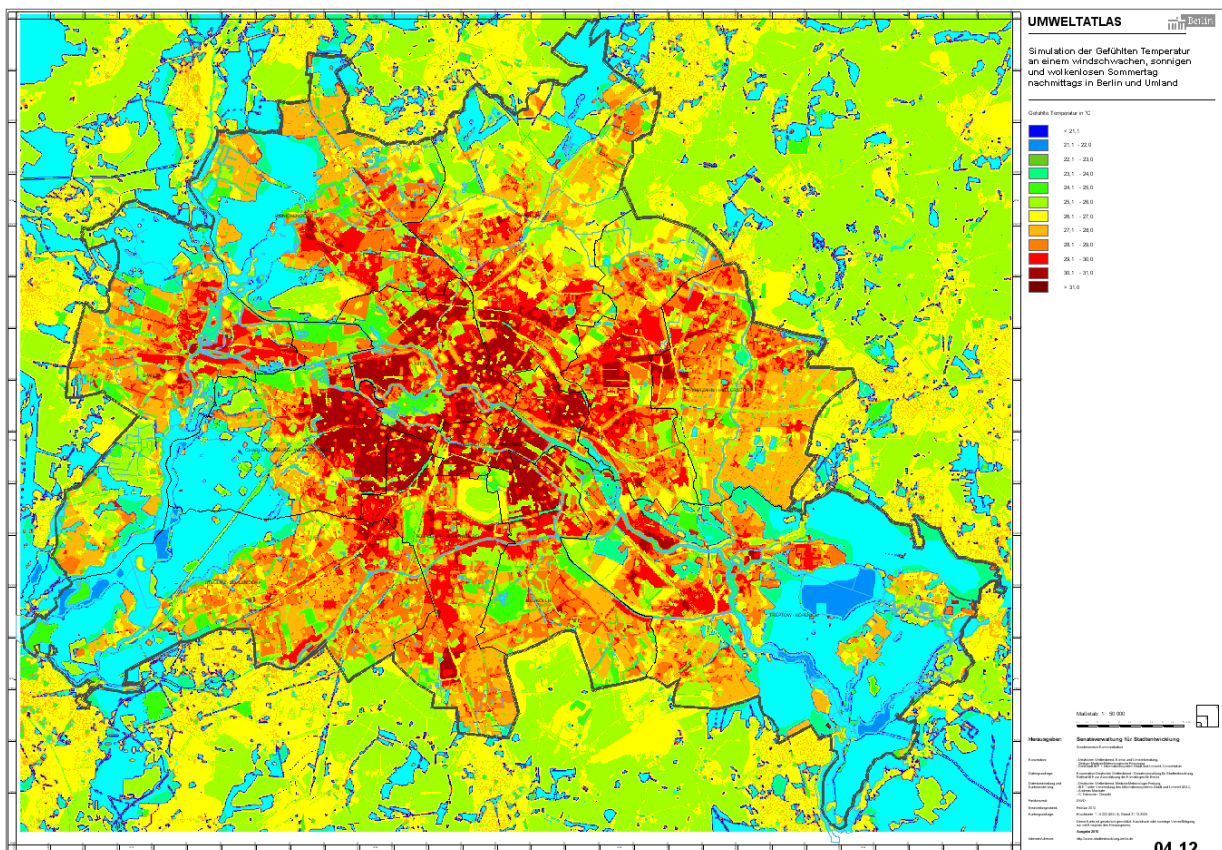


Abb.8: Gefühlte Temperatur in °C an einem windschwachen, wolkenlosen Sommertag nachmittags in Berlin und Umland

Ausgehend von der Modellierung dieser typischen Einzelsituation wurde nachfolgend durch Einbeziehung der Werte für die Hintergrundbelastung mit Hilfe des Kombinierten Stadtbioklimamodells eine **Bewertung der langjährigen Ist-Situation**, bezogen auf die 30-jährige Periode von 1971-2000 als Referenzzeitraum.

Man sieht, dass im Vergleich zum Umland in der dicht bebauten Innenstadt deutlich häufiger, nämlich etwa doppelt so oft der Schwellenwert zu starker Wärmebelastung überschritten wird. Gleichzeitig wird in den innerstädtischen Grünanlagen diese Schwelle kaum häufiger als im Umland erreicht. Das bedeutet, dass die innerstädtischen Parks bei Wärmebelastung in der umliegenden Bebauung in der Hälfte der Fälle dem Menschen noch erträgliche thermische Bedingungen bieten.

Aufgrund der Einbeziehung der Hintergrundbelastung in die Bewertung liefert die Karte absolute Aussagen. Diese lassen sich mit auf die gleiche Weise erstellten Auswertungen, z. B. anderer Städte oder auch einfach nur mit der Hintergrundbelastung eines beliebigen Gebietes vergleichen.

Karte 04.12.2 Zunahme der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung 2021-2050 im Vergleich zum Kontrolllauf 1971-2000

Karte 04.12.5 Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung 2021 - 2050

Mit den Werten für Hintergrundbelastung und dem Strahlungstageanteil aus den Tabellen 7 und 8 wurde das Kombinierte Bioklimamodell auf der Basis der REMO-Daten angetrieben. Nutzungsänderungen wurden dabei nicht berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass sich die thermische Situation insbesondere in den schon aktuell am häufigsten belasteten Arealen weiter verschärft. Während im Umland bis Mitte des Jahrhunderts nach beiden Modellläufen mit 3 bis 5 Tagen etwa 50% häufiger Wärmebelastung erwartet wird, sind es in der dicht bebauten Innenstadt über 7 zusätzliche Belastungstage. Zum Vergleich wurde auch auf der Basis eines Antriebs mit WettReg-Daten gerechnet; in diesem Falle (vgl. Abbildung 9) ist der Stadtumland-Unterschied etwas stärker ausgeprägt, was im Wesentlichen durch die leicht stärkere Zunahme an Strahlungstagen bedingt wird. Gleichzeitig bewegen sich die Änderungen im Bereich der größeren unbebauten innerstädtischen Flächen in beiden Fällen auf dem Niveau des Umlandes.

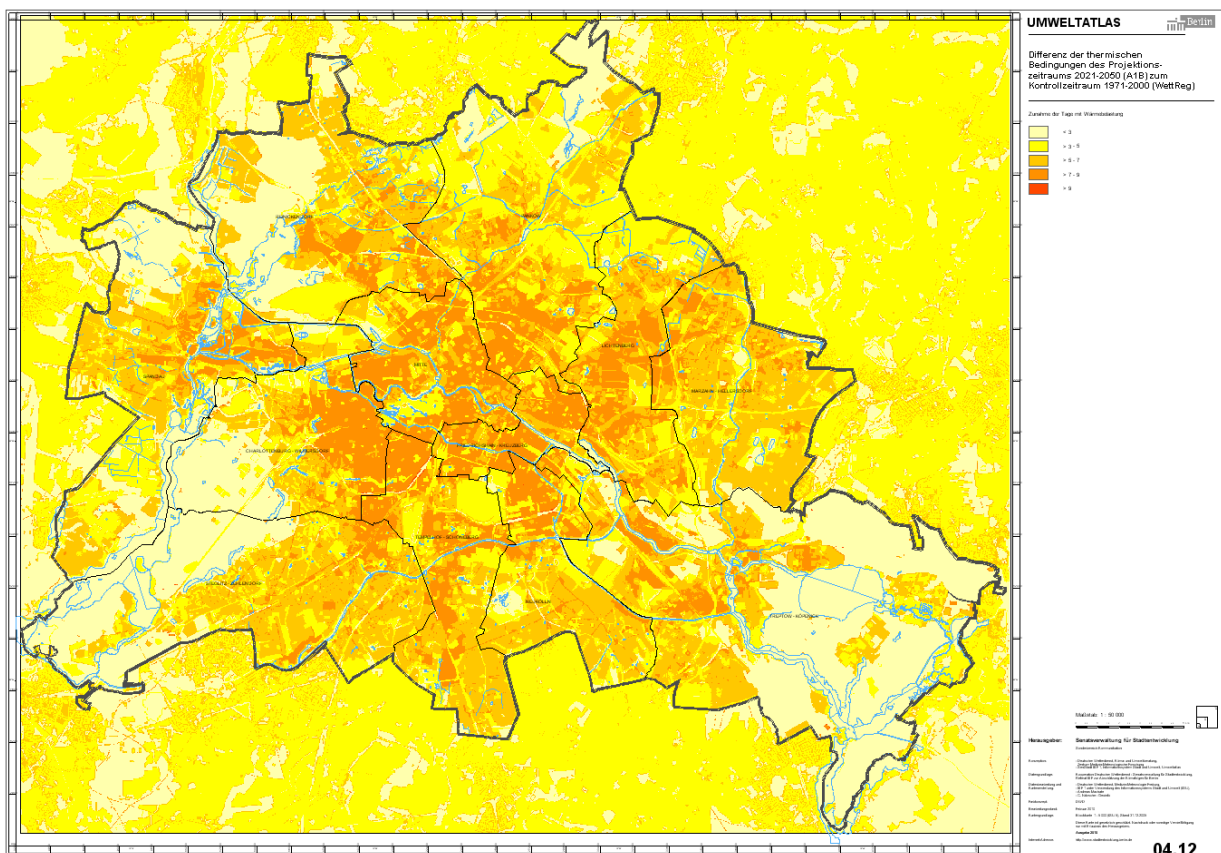


Abb.9: Änderung der Tage mit Wärmebelastung im Jahresmittel des Projektionszeitraums 2021 - 2050 gegenüber dem Kontrolllauf 1971 - 2000 mit WettReg-Antrieb

Karte 04.12.3 Zunahme der Tage mit Wärmebelastung 2071-2100 im Vergleich zum Kontrolllauf 1971-2000

Karte 04.12.6 Jahresmittel der Anzahl der Tage mit Wärmebelastung 2071-2100

Die projizierte Entwicklung der thermischen Situation in der Zukunft zeigt, dass in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die Tage mit Wärmebelastung deutlich ansteigen werden.

Sowohl auf der Basis mit REMO- als auch mit WettReg-Antrieb (vgl. Abbildung 10) kommt es in der Innenstadt zu einer Zunahme von teilweise mehr als 25 Tagen, was eine Steigerung um rund 150% gegenüber dem Status-Quo bedeutet. Selbst für die locker bebauten Außenbereiche der Stadt sowie die großen Grünflächen einschließlich der Waldgebiete wird eine Verdoppelung der Belastungssituationen projiziert.

Damit wird deutlich, dass spätestens zu diesem Zeitpunkt der globale Effekt des Klimawandels sehr deutlich in allen Stadtbereichen zu spüren sein wird, sofern nicht rechtzeitig angemessene Maßnahmen zur Minderung der Effekte eingeleitet werden.

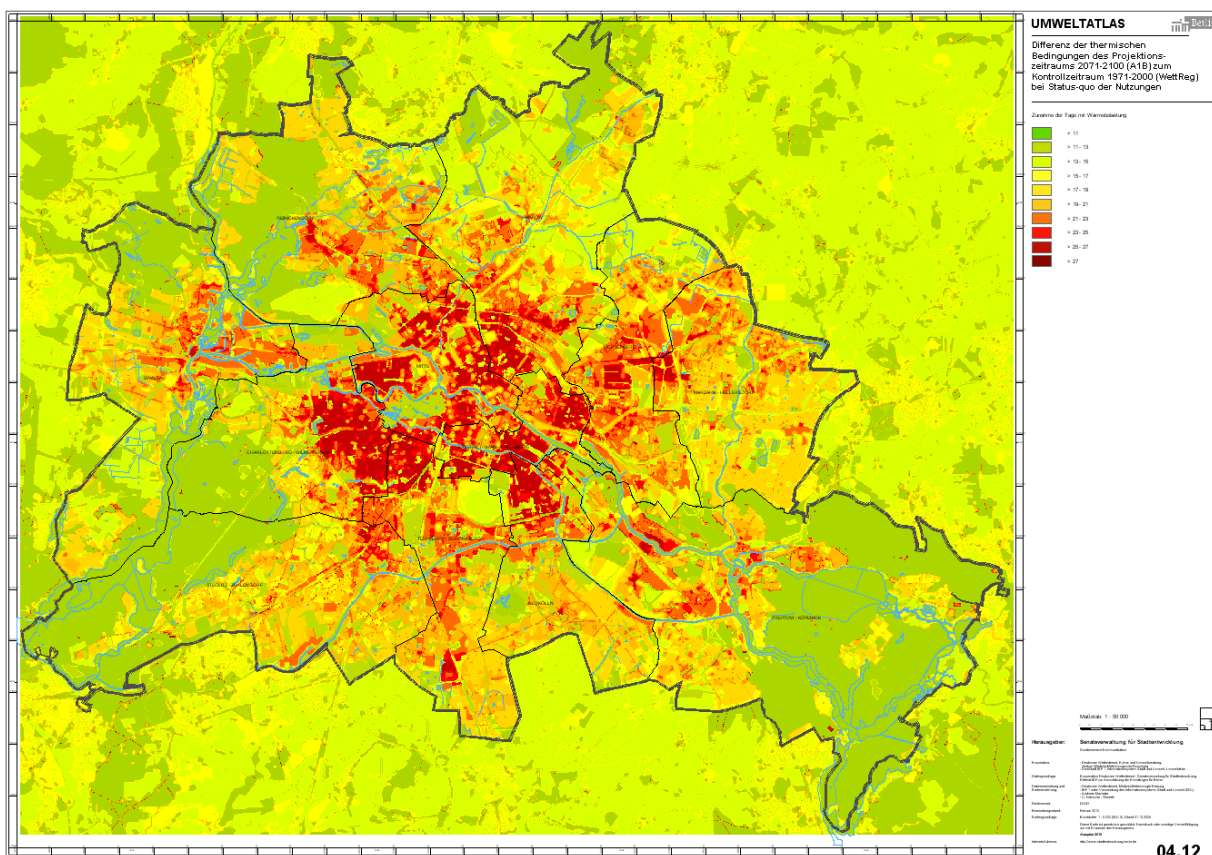


Abb. 10: Änderung der Tage mit Wärmebelastung im Jahresmittel des Projektionszeitraums 2071 - 2100 gegenüber dem Kontrolllauf 1971 - 2000 mit WettReg-Antrieb

Fallbeispiel Projektionsergebnis mit gleichzeitiger Nutzungsänderung

Die möglichen, in den gezeigten Projektionen nicht behandelten zusätzlichen Effekte von Flächenutzungsänderungen sollen anhand des Fallbeispiels in Abbildung 11 illustriert werden. Hier geht es nicht um die "Nachstellung" einer realen Situation, sondern um die Verdeutlichung der additiven, gegebenenfalls jedoch auch abschwächend wirkenden Einflüsse durch planerische Maßnahmen.

Im linken Teil der Abbildung zeigt sich, wie durch die Umwandlung einer bisher durch Bauten der Infrastruktur genutzten Fläche in eine Grünanlage der Effekt der globalen Temperaturzunahme aufgehoben werden kann, während die in unterschiedlichen Rottönen dargestellten Bereiche Gebiete zeigen, wo die Auswirkungen möglicher baulicher Maßnahmen in unterschiedlicher Dichte auf bisher grün- bzw. landwirtschaftlich genutzten Arealen simuliert werden.

Hier würde dann bereits Mitte des Jahrhunderts 1,5-mal häufiger die Schwelle zu starker Wärmebelastung überschritten als heute, während diese Werte ansonsten erst im letzten Drittel des Jahrhunderts zu erwarten sind.



Abb.11: Änderung der Tage mit Wärmebelastung durch Flächennutzungsänderungen (Bebauung) und den globalen Klimawandel im Jahresmittel des Projektionszeitraums 2021 - 2050 gegenüber dem Kontrolllauf 1971 - 2000 mit REMO-Antrieb (Fallbeispiel)

Abschließende Bemerkungen

Auf die fachlich gebotenen Einschränkungen bei der Ergebnisinterpretation auf Grund der Bandbreite der möglichen Emissionsszenarien, des Pilotcharakters der Untersuchung und weiterer Einflüsse auf die zukünftige Klimaentwicklung, die heute noch nicht abschätzbar sind, wurde bereits hingewiesen. Dennoch stellen die hier gezeigten Ergebnisse der Kooperation mit dem Deutschen Wetterdienst DWD eine wesentliche Hilfe dar, um die bei den verantwortlichen Stellen im Berliner Senat laufenden Bemühungen zur Entwicklung notwendiger Anpassungsmaßnahmen an die bereits nicht mehr zu vermeidenden Klimawirkungen zu unterstützen. Sie stellen außerdem eine wichtige Informationsquelle für die interessierte Öffentlichkeit dar.

Literatur

Deutscher Wetterdienst DWD 1996:

Klimakarten für das Land Berlin, Teil 1: Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, unveröffentlicht.

Deutscher Wetterdienst DWD 2008:

Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr.8. Metainformationen zum Mess- und Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes. Interne Unterlagen des Deutschen Wetterdienstes.

Deutscher Wetterdienst DWD 2010:

Berlin im Klimawandel - Eine Untersuchung zum Bioklima, Abschlussbericht zur Kooperation zwischen dem Deutschen Wetterdienst und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Abt. III, Referat Informationssystem Stadt und Umwelt, Potsdam, Freiburg, unveröffentlicht.

Deutschländer, T., Koßmann, M., Steigerwald, M., Namyslo, J., 2009:

Verwendung von Klimaprojektionsdaten für die Stadtklimasimulation. Klimastatusbericht 2008. Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 13 - 17.

Internet:

https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb2008_pdf/a2_2008.pdf?__blob

[=publicationFile&v=1](#)
(Zugriff am 17.09.2020)

Fanger, P.O., 1972:

Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill, New York.

Friedrich, M., Grätz, A., Jendritzky, G., 2001:

Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking lokal wind systems into account. Meteorol. Z. 10, 267 - 272.

Gagge, A.P., Fobelets, A.P., Berglund, L.G., 1986:

A Standard Predictive Index of Human Re-sponse to the Thermal Environment. In: ASHRAE Trans., Vol. 92, 709-731.

Jacob, D., 2005:

REMO Climate of the 20th century run No. 006210, 1950-2000 und A1B sce-nario run No. 006211, 2001-2100. UBA Project, 0.088 degree resolution, 1h Data.

Internet:

<http://cera-www.dkrz.de>

(Zugriff am 21.05.2010)

Jendritzky, G., Menz, G., Schirmer, H., Schmidt-Kessen, W., 1990:

Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). - Beitr. Akad. Raumforsch. Landespl. 114.

Kreienkamp, F., Enke, W., 2006:

WettREG 20C control run 1961-2000 und WETTREG A1B scenario run 2001-2100, UBA Project.

Internet:

<http://cera-www.dkrz.de>

(Zugriff am 21.05.2010)

Roeckner, E., Brokopf, R., Esch, M. et al., 2006:

Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution in the ECHAM5 Atmosphere Model. J. Climate 19, 3771 - 3791.

Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G., 1997:

Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. In: Annalen der Meteorologie 33, Offenbach, 100 - 107.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 1997:

Richtlinie VDI 3787, Blatt 1, Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, Düsseldorf.

Internet:

<http://www.vdi.de/>

(Zugriff am 21.05.2010)

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 2008:

Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Düsseldorf.

Internet:

<http://www.vdi.de/>

(Zugriff am 21.05.2010)

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 2008:

Richtlinie VDI 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima, Düsseldorf.

Internet:

<http://www.vdi.de/>

(Zugriff am 21.05.2010)

Analoge Karten

SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1985:
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1985:, Karte 04.04 Temperatur- und Feuchteverhältnisse bei mäßig austauscharmen Wetterlagen, 1 : 50 000, Berlin.

SenSUT (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1998:
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1998, Karte 04.09 Bioklima bei Tag und Nacht, 1:75 000, Berlin.

Digitale Karten

SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2008:
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2008, Karte 06.07 Stadtstruktur, 1:50 000, Berlin.

Internet:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ic607.htm>

(Zugriff am 21.05.2010)

SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2009:
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2009, Karte 04.10 Klimamodell Berlin - Analysekarten, 1:50 000, Berlin.

Internet:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia410.htm>

(Zugriff am 21.05.2010)

SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2009:

Umweltatlas Berlin, Ausgabe 2009, Karte 04.11 Klimamodell Berlin - Bewertungskarten, 1:50 000, Berlin.

Internet:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia411.htm>

(Zugriff am 21.05.2010)