

Gutachten zur Stadtklimakarte für die Landeshauptstadt Potsdam



Gutachten zur Stadtklimakarte für die Landeshauptstadt Potsdam



Auftraggeber

Landeshauptstadt Potsdam
Fachbereich Klima, Umwelt und Grünflächen

Koordination und Ansprechpartner:
Kordinierungsstelle Klimaschutz
Cordine Lippert, Claudia Rose
14469 Potsdam

Auftragnehmer

(Firmenkonsortium)
Bearbeiter und Ansprechpartner

IP SYSCON GmbH (Leitung)
Dr. Dorothea Ludwig, Anja Tegeler

GEO-NET
Peter Trute, Dirk Funk

Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH
Prof. Dr. Heiko Sieker

Stand: November 2022

Bildnachweise:

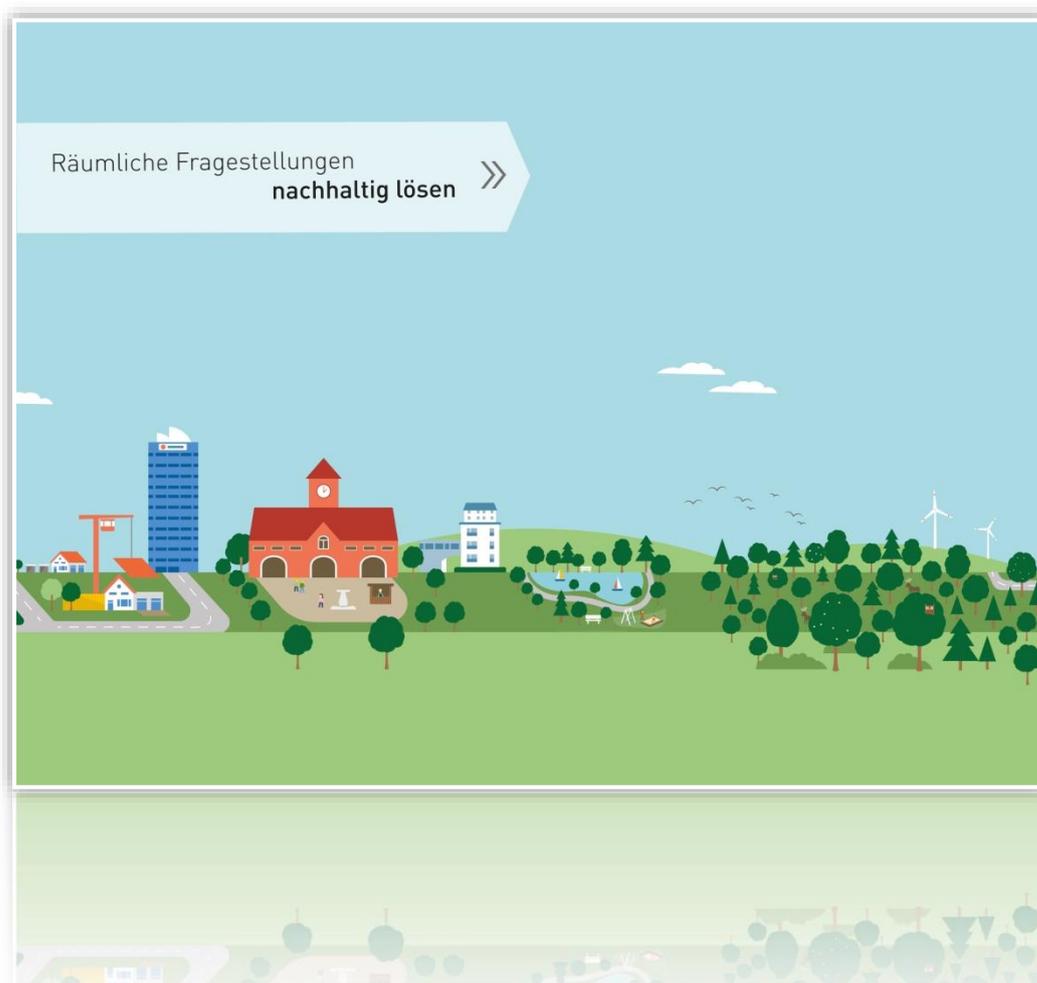
Copyright Landeshauptstadt Potsdam: Ulf Böttcher, Christine Hohmann, Heiko Wahl

Ausschnitte aus der Klimaanalysekarte und Hinweiskarte Siedlungsraum

Projekt

Stadtklimakarte Potsdam

-Abschlussbericht-



Auftraggeber:

Landeshauptstadt Potsdam

Friedrich-Ebert-Str. 79/81

14469 Potsdam

IP SYSCON GmbH

Tiestestraße 16-18
D-30171 Hannover

Tel.: +49 (5 11) / 85 03 03-0
Fax: +49 (5 11) / 85 03 03-30
E-Mail: info@ipsyscon.de
Internet: www.ipsyscon.de

Ansprechpartner: Frau Dr. Dorothea Ludwig
E-Mail: dorothea.ludwig@ipsyscon.de

Ansprechpartner: Frau Anja Tegeler
E-Mail: anja.tegeler@ipsyscon.de

GEO-NET

Große Pfahlstraße 5a
D-30161 Hannover

Tel.: +49 (5 11) / 38 87 20-0
Internet: www.geo-net.de

Ansprechpartner: Herr Peter Trute
E-Mail: trute@geo-net.de

Ansprechpartner: Herr Dirk Funk
E-Mail: funk@geo-net.de

Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH

Rennbahnallee 109A
D-15366 Hoppegarten

Tel.: +49 (3342) / 35 95-0
Fax: +49 (3342) / 35 95-29
E-Mail: info@sieker.de
Internet: www.sieker.de

Ansprechpartner: Herr Prof. Dr. Sieker
E-Mail: h.sieker@sieker.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	3
1 Projekthintergrund und -ablauf.....	4
1.1 Hintergrund	4
1.1 Projektziele und -ablauf.....	4
1.2 Messkampagne.....	4
2 Klimaanalysekarte Hitze	5
2.1 Aufgabenstellung	6
2.2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung 7	
2.3 Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse.....	10
2.3.1 Das Stadtklimamodell FITNAH 3D.....	10
2.3.2 Synoptische Rahmenbedingungen.....	11
2.3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen 12	
2.4 Ergebnisse der Klimamodellierung	14
2.4.1 Nächtliches Temperaturfeld	14
2.4.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur.....	16
2.4.3 Autochthones Windfeld	18
2.4.4 Kaltluftvolumenstrom.....	21
2.5 Klimaanalysekarte	25
3 Klimaanalysekarte Starkregen	28
3.1 Aufgabenstellung	29
3.2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung 29	
3.2.1 Datengrundlage für die Senken- und Fließweganalyse	29
3.2.2 Datengrundlage für die Oberflächenabflussmodellierung.....	29

3.3 Methode der Starkregenanalyse	30
3.3.1 Senken- und Fließweganalyse	30
3.3.2 Starkregengefahrenkarte	32
3.4 Ergebnisse der Starkregenanalyse	33
3.4.1 Ergebnisse - Potsdam Zentrum	34
3.4.2 Plausibilisierung der Ergebnisse	35
4 Bewertungskarten.....	37
4.1 Bewertungskarte Stadtklima	37
4.1.1 Vorgehensweise	37
4.1.2 Ergebnisse	41
4.2 Bewertungskartekarte Starkregen	49
4.2.1 Generelle Hinweise zur Anpassung an Starkregenereignisse	49
4.2.2 Senken und Fließweganalyse	49
4.2.3 Starkregenrisikokarte	49
5 Maßnahmen	50
5.1 Maßnahmenkatalog Stadtklima	50
5.1.1 Berücksichtigung von Maßnahmen zur Hitzeminderung in Planungsprozessen	60
5.2 Maßnahmenkarte Stadtklima	63
5.3 Maßnahmenkatalog Starkregen.....	66
6 Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels	69
7 Stadtklimatisches Vergleichsszenario 2050	76
7.1 Methode.....	76
7.2 Ergebnisse	79
7.3 Detailbetrachtung von Entwicklungsschwerpunkten	82
7.4 Fazit.....	86
8 Literatur	87

Danksagung..... 90

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Prozessorientierte Analyse	7
Abbildung 2-2: Geländehöhe im Stadtgebiet	8
Abbildung 2-3: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet	9
Abbildung 2-4: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen	12
Abbildung 2-5: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation.....	13
Abbildung 2-6: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn.....	14
Abbildung 2-7: Temperaturfeld im Bereich der Innenstadt zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)	16
Abbildung 2-8: PET im Bereich Luisenplatz zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags (2m ü. Grund)	18
Abbildung 2-9: Prinzipskizze Flurwind.....	19
Abbildung 2-10: Nächtliches bodennahes Windfeld im Bereich der Innenstadt zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens (2m ü. Grund)	21
Abbildung 2-11: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom	22
Abbildung 2-12: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern.....	23
Abbildung 2-13: Kaltluftvolumenstrom im Bereich der Innenstadt zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens.....	24
Abbildung 2-14: Klimafunktionen im Bereich der Innenstadt.....	27
Abbildung 3-1: Aufgaben zu Überflutungsschutz und Starkregenrisikovorsorge, LUBW (2016).....	28
Abbildung 3-2: Links: DGM mit eingeblendeten 2D-Haltungen (in blau) im Bereich eines Grabens, welcher in einem (in das DGM eingebrannten) Hochwassergefahrgewässer mündet; Rechts: generiertes Dreiecksnetz mit 2D-Haltungen	30
Abbildung 3-3: Fließwege im nördlichen Innenstadtbereich	31
Abbildung 3-4: Senkenbereiche im nördlichen Innenstadtbereich	32
Abbildung 3-5: Legendeneinträge der Starkregengefahrenkarte	33
Abbildung 3-6: Zeppelinstraße (Ecke Geschwister-Scholl-Straße) am 29. Juni 2017.....	34
Abbildung 3-7: Ergebnisse der 2D-Oberflächenmodellierung für den Bereich des Potsdamer Stadtzentrums	35
Abbildung 3-88: Feuerwehreinsätze zur Plausibilisierung der Modellergebnisse; links oben: Breite Straße, rechts oben: Georg-Mendel-Straße, links unten: Baumhaselring Golm, rechts unten: Potsdam Nord Hugstraße	36
Abbildung 4-1: Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen in der Nacht.....	40
Abbildung 4-2: Bewertungskarte Nachtsituation für den Bereich der Innenstadt	42

Abbildung 4-3: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen im Stadtgebiet Potsdam (Nachtsituation).....	44
Abbildung 4-4: Bewertungskarte Tagsituation für im Bereich der Innenstadt	47
Abbildung 4-5: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen (Tagsituation).....	48
Abbildung 4-6: Darstellung des Überflutungsrisikos in der Berliner Vorstadt - Potsdam.....	50
Abbildung 5-1: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen	60
Abbildung 5-2: Versiegelungssituation in den Siedlungstypologien (Quelle: Umweltmonitoring Stadt Potsdam Stand 2016)	63
Abbildung 5-3: Maßnahmenkarte Stadtklima für den Bereich der Innenstadt	65
Abbildung 5-4: Versickerungsmulde mit Baumbestand (Multifunktionsfläche). Auch die Bäume profitieren hier von einer gezielten Wasserversorgung.	67
Abbildung 5-5: Halbautomatisches Klappschott zum Überflutungsschutz einer Tiefgarageneinfahrt.	68
Abbildung 5-6: Beispielhafte Kaskade zur Regenwasserbewirtschaftung	68
Abbildung 6-1: Entwicklung der mittleren Jahrestemperaturen an der Station Potsdam-Telegrafenberg (Quelle: DWD 2021)	69
Abbildung 6-2: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)	71
Abbildung 6-3: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021).....	72
Abbildung 6-4: Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl an Sommertagen in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021).....	73
Abbildung 6-5: Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021).....	73
Abbildung 6-6: Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl an Tropennächten in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021).....	74
Abbildung 6-7: Zeitlicher Trend der Länge von Hitzeperioden in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)	74
Abbildung 7-1: Nutzungsstruktur Istzustand.....	78
Abbildung 7-2: Stadtklimatisches Vergleichsszenario im Bereich Innenstadt/Bornstedt.....	81
Abbildung 7-3: Entwicklungsschwerpunkt Marquardt/Fahrland/Krampritz.....	83
Abbildung 7-4: Entwicklungsschwerpunkt Golm/Bornim/Bornstedt	84
Abbildung 7-5: Entwicklungsschwerpunkt Pirschheide	85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung.....	9
Tabelle 2-2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI 2004).....	17
Tabelle 2-3: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms	23
Tabelle 4-1: Bewertung des nächtlichen Wärmeinseleffekts im Siedlungsraum.....	38
Tabelle 4-2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden	41
Tabelle 4-3: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete in der Nacht und abgeleitete Hinweise	43
Tabelle 4-4: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht und abgeleitete Hinweise	43
Tabelle 4-5: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete am Tage und abgeleitete Hinweise	45
Tabelle 4-6: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage und abgeleitete Planungshinweise.....	46
Tabelle 5-1: Empfehlungen raumeinheitenspezifischer stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Potsdam	54
Tabelle 6-1: Zusammengefasste Ergebnisse für langjährige jährliche Parameter und Kenntage für das RCP-Szenario 4.5	75
Tabelle 7-1: Nutzungskategorien des Vergleichsszenarios	77

1 Projekthintergrund und -ablauf

1.1 Hintergrund

Die Landeshauptstadt Potsdam ist Praxispartner im von der Universität Potsdam geführten Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „ExTrass“ (Urbane Resilienz gegenüber extremen Wetterereignissen – Typologien und Transfer von Anpassungsstrategien in kleinen Großstädten und Mittelstädten). Dadurch soll u.a. die Wissensbasis zu den mikroklimatischen Verhältnissen in der Stadt verbessert und Strategien zum Umgang mit zunehmenden klimatischen Risikofaktoren erprobt werden. Das Vorhaben fokussiert gleichermaßen auf Hitze- und Starkregenereignisse. Als Praxispartner hat die Landeshauptstadt Potsdam die Möglichkeit, die vorhandene Stadtklimakarte zu aktualisieren.

1.1 Projektziele und -ablauf

Das Projekt zur Aktualisierung der Stadtklimakarte startete im September 2019 mit einer Laufzeit von 2 Jahren. Im ersten Schritt wurde im Herbst 2019 eine mesoskalige Klimaanalyse mit einer Auflösung von 50 m durchgeführt, die einen ersten Überblick gegeben hat. Parallel wurde eine Fließweganalyse im Falle eines Starkregenereignisses vorgenommen. Im Frühjahr 2020 folgte dann eine mikroskalige Klimaanalyse mit einer Auflösung von 10 m, die hochaufgelöste Ergebnisse lieferte. Um auch die Wasserstände im Falle eines Starkregenereignisses abschätzen zu können wurde im Herbst 2020 eine 2D Starkregenanalyse angeschlossen. Die Analysen werden in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787 durchgeführt, um auf der einen Seite ein validiertes, rechtssicheres Ergebnis zu erhalten und gleichzeitig eine Vergleichbarkeit zu späteren Analysen oder anderen Städten zu haben. Weiteres Ziel ist die Ableitung von Bewertungskarten und die Erstellung eines konkreten Maßnahmenkatalogs aus den Ergebnissen, um diese als Abwägungsgrundlage in die FNP und verbindliche Bauleitplanung einzuarbeiten und die Stadtentwicklung zu unterstützen. Begleitend fanden mehrere Workshops im Rahmen des Projektes statt, in denen die Karten vorgestellt, diskutiert und ihre Anwendung an Beispielen ausprobiert wurden.

1.2 Messkampagne

Begleitet wurde das Projekt von einer umfassenden Messkampagne, die das Landesamt für Umwelt Brandenburg in das Projekt eingespeist hat. Dabei wurden Klimadaten von fünf fest installierten und drei temporären nur während der Projektlaufzeit aktiven Messstationen gesammelt. Die fest installierte Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD) liegt auf dem Telegraphenberg. Weitere fest installierte Stationen sind an der Universität Potsdam auf dem Campus in Golm und beim Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB). Zwei weitere fest installierte Stationen werden vom Landesamt für Umwelt (LfU) betrieben und liegen einmal im Zentrum und einmal in Groß Glienicke. Die temporären Stationen liegen in Babelsberg an der Motorsporthalle, in der Lennéstraße und in der Jägerallee. Diese temporären Messstationen hat der DWD im Auftrag des LfU im Stadtgebiet aufgestellt. Zusätzlich wurden im Sommer 2020 während einer autochthonen Wetterlage mehrere Messfahrten durch den DWD durchgeführt. Auf zwei Routen zu je 20 km Länge wurden laufend Daten beispielsweise zur Lufttemperatur und -feuchte aufgenommen. Parallel wurden auch per Meteobikes der Universität Potsdam und einer Drohne der Firma Geo-Net Messwerte erhoben. Die Daten stehen auch im Anschluss an das Projekt für Forschungen zur Verfügung.

2 Klimaanalysekarte Hitze

Im Auftrag der Landeshauptstadt Potsdam wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet Potsdam erstellt. Ziel war es, meteorologische Basisdaten in einer hohen räumlichen Auflösung zu simulieren (10 m x 10 m Raster) und die stadtklimatischen Zusammenhänge und Prozesse herauszuarbeiten – insbesondere die Kaltluftentstehungsgebiete einschließlich des Kaltluftvolumenstroms in Grün- und Freiflächen sowie die Flächen mit einem Wärmeinseleffekt. Zudem wird auch die Aufenthaltsqualität an Sommertagen mit starker solarer Einstrahlung bewertet. Diese Erkenntnisse fließen als Teilbereich Hitze zusammen mit dem Teilbereich Starkregen in eine Stadtklimakarte ein. Zentraler Baustein des Verfahrens war das Klimamodell FITNAH (*Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources*). Diese Herangehensweise beinhaltet folgende wichtige Vorteile:

- Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse im Gesamttraum wird gewährleistet
- Neben den qualitativen Aussagen zur Ausprägung einzelner stadtklimatischer Phänomene werden auch quantitative Aussagen zu klimaökologischen Zuständen und zu Austauschprozessen möglich
- Klimaökologische Ausgleichs- und Prozessräume werden im Stadtgebiet verortet und in ihrer (möglichst exakten) räumlichen Ausprägung dargestellt
- Ein wichtiger Aspekt des klimaökologischen Ausgleichspotenziales von Freiflächen - der Kaltlufthaushalt - kann nur auf diese Weise flächendeckend untersucht werden.

Im Gegensatz zu punkthaften Messungen liegen mit dem modellgestützten Ansatz flächendeckende Daten zum Kaltlufthaushalt für das gesamte Stadtgebiet vor. Die Nachtsituation ist dahingehend von Relevanz, da nur dann eine im Vergleich zu Siedlungsflächen intensivere Abkühlung auf Freiflächen mit Vegetation erfolgt. Dabei entstehen je nach Größe unterschiedliche Mengen an Kaltluft, welche als lokale Strömungssysteme Kalt-/Frischlufte für den Siedlungsbereich liefern und dort die Wärmebelastung während sommerlicher Hitzeperioden abmildern können. Dargestellt wird eine windschwache, austauscharme sommerliche Wettersituation für die Monate Juli / August. Diese Wetterlage ist das sogenannte Worst-Case-Szenario, das wegen seiner belastenden Wirkung auf die Gesundheit des Menschen unter besonderer Beachtung von Älteren, Kranken und Kindern zur Beurteilung der bioklimatischen Situation gemäß VDI-RL 3785 Blatt 1 herangezogen wird.

Besondere Bedeutung haben im stadtklimatischen Zusammenhang die windschwachen autochthonen Luftaustauschprozesse. Der Begriff 'autochthon' bezeichnet dabei klimatische Vorgänge, die an Ort und Stelle bzw. von selbst (also ohne Fremdwirkung, z.B. durch großräumige Windströmungen) entstehen (Gegensatz: allochthon). Verglichen mit einer „mittleren“ sommerlichen Wettersituation gehen die austauscharmen sommerlichen Hochdruckwetterlagen häufig mit höheren Lufttemperaturen und einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einher („Worst-Case“-Szenario). Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen ohne nennenswerte übergeordnete Windströmung können nächtliche Kalt- und/oder Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen. Der „Antrieb“ für diesen Luftaustausch ist der Temperaturunterschied zwischen warmen Siedlungsflächen und kühleren Grün- und Freiflächen.

In bebautem Gelände üben die einzelnen Gebäude eine Hinderniswirkung auf nächtliche Kaltluftströmungen aus und verzögern diese. Als Kaltluft produzierende Bereiche werden vegetationsgeprägte Freiflächen identifiziert, wie z.B. Ackerflächen und Parkareale, aber auch Grünflächen wie Kleingärten und Friedhofsanlagen.

Die Kaltluftströmungen tragen direkt zur Frisch-/Kaltluftversorgung der angrenzenden Siedlungsflächen bei. Zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens befinden sich ca. 53 % der Siedlungsfläche im Einwirkungsbereich. Es zeigt sich, dass eine gering überbaute Einzel- und Reihenhausbauung besser durchströmt wird als eine Block- und Blockrandbebauung oder die verdichtete Potsdamer Innenstadt. Überdurchschnittlich hohe Kaltluftvolumina entstehen vor allem durch Kaltluftabflüsse über Bereichen mit stärkerer Hangneigung. Kleinere Grünareale können als „grüne Trittsteine“ das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung unterstützen und damit den klimatischen Einwirkungsbereich vergrößern. Eine hohe Bedeutung kommt den wohnungsnahen Grünflächen aber auch den übrigen Park-, Ruderal- und Brachflächen oder gering versiegelten Sportplätzen zu, sofern sie Entlastungswirkungen für die benachbarte Bebauung erzeugen können. Zudem können diese an Tagen mit starker Wärmebelastung durch Verschattung und Verdunstungskühle auch (kleinräumig) klimatisch günstige Aufenthaltsbereiche darstellen.

Teile der überbauten Flächen wie beispielsweise die Innenstadt weisen während austauscharmer sommerlicher Hochdruckwetterlagen einen Mangel an Durchlüftung auf und werden nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die hohe Bebauungsdichte und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung abschwächen. Eine starke Wärmebelastung am Tage ist über den stark versiegelten Straßen und Plätzen, Gleisanlagen sowie Gewerbeflächen anzutreffen. Im Hinblick auf weitere Nutzungsintensivierungen in der Stadt Potsdam sollten die Funktionen der klima- und immissionsökologisch wichtigen Strukturen möglichst wenig beeinträchtigt werden. Die aus den meteorologischen Parametern zur Tag- und Nachtsituation abgeleiteten Bewertungskarten sollen dafür als Abwägungsgrundlage dienen.

2.1 Aufgabenstellung

Das Schutzgut Klima ist ein wichtiger Aspekt der räumlichen Planung und Bestandteil der Abwägung bei der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfung. Vor dem Hintergrund konkurrierender Planungsziele sind flächenbezogene Fachinformationen ein wichtiges Hilfsmittel zur sachgerechten Beurteilung dieser Schutzgüter. Aus der Kenntnis des in einer Stadt vorherrschenden Lokalklimas sowie der dadurch mitbestimmten lufthygienischen Situation und den klimatischen Funktionszusammenhängen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und Luft ableiten. Dieser Leitgedanke gilt der Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen und zielt auf die Erhaltung und Verbesserung günstiger bioklimatischer Verhältnisse und die Unterstützung gesundheitlich unbedenklicher Luftqualität ab.

Im Auftrag der Koordinierungsstelle Klimaschutz der Stadt Potsdam wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Gross (Universität Hannover) eine modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Funktionen für das Stadtgebiet durchgeführt. Im Vordergrund standen dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen (auch autochthone Wetterlagen genannt), die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen einhergehen. Technisch ermöglichen nur solche Wetterlagen eine Analyse der lokalklimatischen Situation, da übergeordnete Wetterphänomene aufgrund von großräumigen Luftdruckdifferenzen die zu analysierenden lokalen Phänomene nicht überlagern. Unter diesen meteorologischen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus dem Umland und innerstädtischen Grünflächen zum Abbau der Belastungen beitragen (Abbildung 2-1).

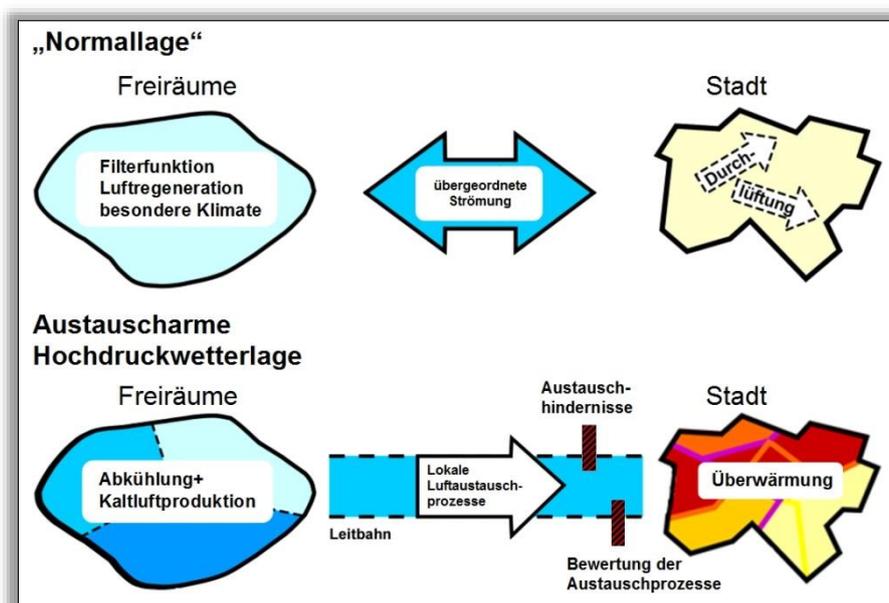


Abbildung 2-1: Prozessorientierte Analyse

Zwischen klimatisch wirksamen Grün-/Freiflächen einerseits und städtisch verdichteten Bereichen andererseits sowie verbindender Strukturen ergibt sich ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen im Stadtgebiet. Wesentliches Ziel der Analyse ist, mit der Anwendung des Klimamodells FITNAH (*Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat Sources*) und den aus der Klimaanalyse gewonnenen Ergebnissen umfassende Bestandsaufnahme der klimatischen Situation in Potsdam durchzuführen.

Weiterhin besteht das Ziel, klimaökologisch wichtige und bioklimatisch belastete Raumstrukturen herauszuarbeiten und darzustellen. Im Gegensatz zu punkthaften Messungen liegen mit dem modellgestützten Ansatz flächendeckende Daten zum Kaltfluthaushalt für das gesamte Stadtgebiet vor. Diese erlauben eine optimierte Darstellung der thermischen Belastung und insbesondere des Kaltluftprozessgeschehens in der Nacht (Klimaanalysekarte). Die Ergebnisse spiegeln neben der Nacht-Situation auch die bioklimatische Belastung am Tage wider. Darüber hinaus werden, getrennt für die Nacht- und Tagsituation, eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in den Siedlungsräumen bzw. der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsräume vorgenommen und allgemeine Hinweise abgeleitet. Die Ergebnisse – insbesondere die für den Kaltfluthaushalt bedeutsamen Grünflächen – fließen zusammen mit dem separat erarbeiteten Teilbereich Starkregen in ein Kartenwerk für die Stadt Potsdam ein. Der vorliegende Bericht stellt die Stadtklimaanalyse dar und geht auf die Methodik der Modellrechnung sowie die Analyse- und Bewertungskarten ein. Der Umfang der darzustellenden Inhalte orientiert sich an der VDI-Richtlinie 3787 Bl. 1 (VDI 2015). Aufgrund der gesamtstädtischen Betrachtungsebene werden Raumelemente dargestellt, welche sowohl der FNP- als auch Bebauungsplanebene zugeordnet werden können.

2.2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung

Bei einer Gesamtgröße des Untersuchungsraums von 399 km² geht die Abgrenzung des Simulationsraumes deutlich über das Stadtgebiet hinaus und zielt darauf ab, auch außerhalb davon, vorhandene Strukturen wie Wald- und Ackerflächen in die Klimamodellierung zu integrieren. Somit ist gewährleistet, dass alle für den Kaltfluthaushalt relevanten Struktureinheiten berücksichtigt werden. Die für die

FITNAH-Modellierung vorgesehene Rasterzellenauflösung beträgt 10 m. Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Klimaanalyse konnte auf ein digitales Geländehöhenmodell zurückgegriffen werden, welches das gesamte Stadtgebiet abdeckt (Abbildung 2-2).

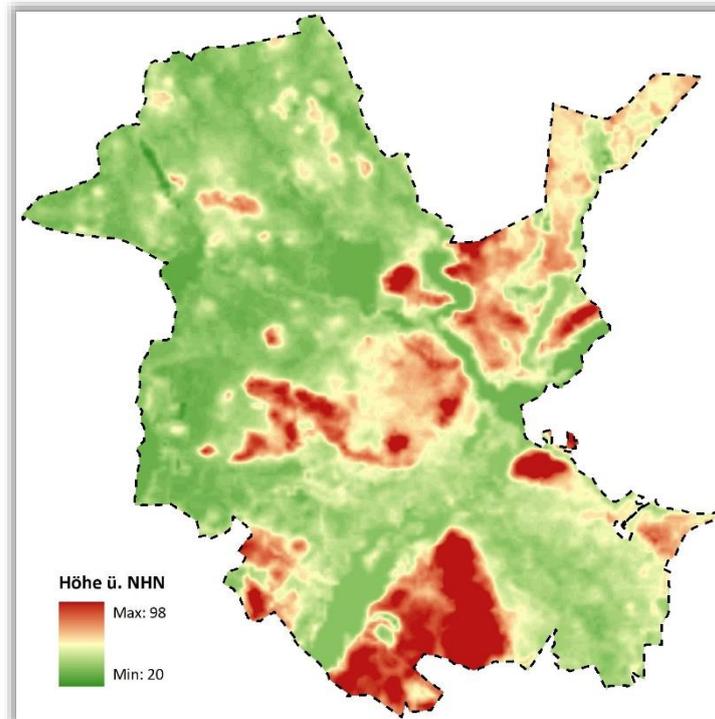


Abbildung 2-2: Geländehöhe im Stadtgebiet

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH 3D werden zur Festlegung und Bearbeitung der Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten benötigt, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein 9-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet. Für jede Rasterzelle müssen jeweils als repräsentativer Wert folgende Daten vorliegen:

- ♦ Nutzungsstruktur (Art der Landnutzung, Bodenbedeckung)
- ♦ Strukturhöhe (Gebäude- und Vegetationshöhen)
- ♦ Versiegelungsgrad.

Da das Untersuchungsgebiet in einer 10 m Auflösung (also mikroskalig) simuliert wurde, sind Gebäude sowohl in Bezug auf ihren Grundriss als auch ihrer Höhe erfasst, sodass deren Effekte auf das Mikroklima und insb. das Strömungsfeld berücksichtigt werden. Weiterhin wurde ein aktueller LIDAR-Datensatz für die Erzeugung eines Oberflächenmodells (DOM) für die Ableitung der Gebäudehöhen und der Vegetation mit Lage und Strukturhöhen von Grünbeständen verwendet.

Die räumliche Auflösung von 10 m ermöglichte eine detaillierte Erfassung von Grünstrukturen, allerdings konnten einzelne (insb. kleinkronige) Bäume auf dieser Maßstabsebene noch nicht separat ausgewiesen werden. Ergänzt wurde die Datenbasis um Informationen zur Art der Bodenbedeckung aus der digitalen Stadtkarte Potsdam. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Nutzungskategorien der Klimamodellierung

Beschreibung	Versiegelungsgrad (%)	Strukturhöhe (m)
Gebäude	100	individuell
unbebaut versiegelt (Straßen)	87	0
Gewässer	55	0
Gleis	41	0,5
Rasen plus Vegetation < 2,5m	95	individuell
versiegelt plus Vegetation > 2,5m	25	individuell
Vegetation (> 2,5m) über Rasen	25	individuell
naturferne Böden Vegetation < 2,5m	5	individuell
Vegetation (> 2,5m) über naturfernem Boden	0	individuell

Für die Klimamodellierung ist weniger die Nutzungsart relevant als vielmehr die Siedlungstypologie mit ihren jeweiligen Eigenschaften. Da Modellsimulationen rasterhafte Repräsentationen von Eingangsvariablen verwenden, sind für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten die Flächeninformationen auf Rasterzellen jeweils einheitlicher Nutzung übertragen worden. Die Nutzungsstruktur im Stadtgebiet zeigt Abbildung 2-3.

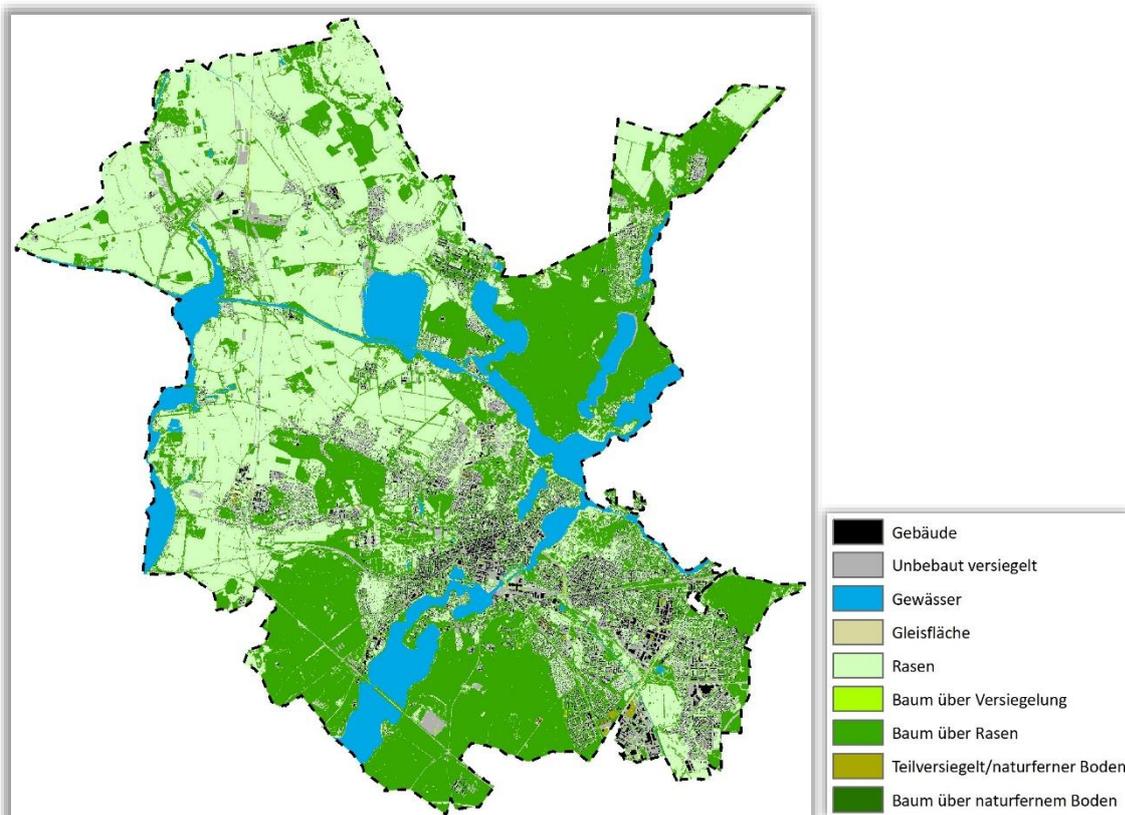


Abbildung 2-3: Nutzungsstruktur im Stadtgebiet

In die Flächenkulisse wurden zudem noch rechtskräftige Bebauungspläne eingearbeitet (Stand August 2020). Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Quellen ist somit eine aktuelle Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden.

2.3 Methode der modellgestützten Stadtklimaanalyse

2.3.1 Das Stadtklimamodell FITNAH 3D

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für die tägliche Wettervorhersage routinemäßig eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Die hierfür eingesetzten mikro- und mesoskaligen Modelle erweitern das Inventar meteorologischer Werkzeuge zur Berechnung atmosphärischer Zustände und Prozesse. Der Großteil praxisnaher umweltmeteorologischer Fragestellungen behandelt einen Raum von der Größenordnung einer Stadt bzw. Region. Die bestimmenden Skalen für die hier relevanten meteorologischen Phänomene haben eine räumliche Erstreckung von Metern bis hin zu einigen Kilometern und eine Zeitdauer von Minuten bis Stunden. Unter Verwendung des üblichen Einteilungsschemas meteorologischer Phänomene werden diese in die Meso- und Mikroskala eingeordnet. Beispiele für mesoskalige Phänomene sind Land-See-Winde, Flurwinde oder die Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel, wobei der Übergang zur Mikroskala fließend ist (bspw. der Einfluss von Hindernissen auf den Wind wie Kanalisierung, Umströmung bzw. Düseneffekte, aber auch die klimaökologischen Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen).

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

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

GRUNDLAGEN MESO- UND MIKROSKALIGER MODELLE

Die Verteilung lokalklimatisch relevanter Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Stadtklimamodelle wie FITNAH 3D können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert, die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden

Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Die Modelle basieren daher, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik). Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst erweitert werden, um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung stadtklimatologisch wichtiger Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom jeweiligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst.

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die, für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 10 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 4, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer grösser und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind. Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m ü. Gr. = Aufenthaltsbereich der Menschen).

2.3.2 Synoptische Rahmenbedingungen

Während sogenannter autochthoner („eigenbürtiger“) Wetterlagen können sich die lokalklimatischen Besonderheiten in einer Stadt besonders gut ausprägen, da es in den Nachtstunden nur eine geringe „übergeordnete“ Windströmung gibt. Eine solche Wetterlage wird durch wolkenlosen Himmel und einen nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind gekennzeichnet, sodass sich die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt besonders gut ausprägen. Häufig gehen die sommerlichen Hitzeperioden mit diesen Wetterlagen einher. Dahingehend wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen folgendermaßen festgelegt:

- Relative Feuchte der Luftmasse 50 %
- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht und tragen zur Anreicherung von Luftschadstoffen bei. Bei gleichzeitiger Wärmebelastung in den Siedlungsflächen können sich lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Diese Wettersituation stellt damit ein „Worst-Case“-Szenario dar. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist hingegen die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde und Kaltluftabflüsse), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden und

zu einem Abbau der Belastungen beitragen. In Abbildung 2-4 sind schematisch die für eine austausch- arme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

Hinsichtlich des Temperaturverlaufs zeigt sich, dass sowohl Freiflächen wie z.B. Wiesen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen vor allem durch die Wärme speichernden Materialien hingegen deutlich geringer ist. Bei den durch Wiese geprägten Grünflächen trägt der Mangel an Verschattung zum hohen Temperaturniveau bei, während hier nachts die Abkühlung am stärksten ist. Waldflächen nehmen eine vermittelnde Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil

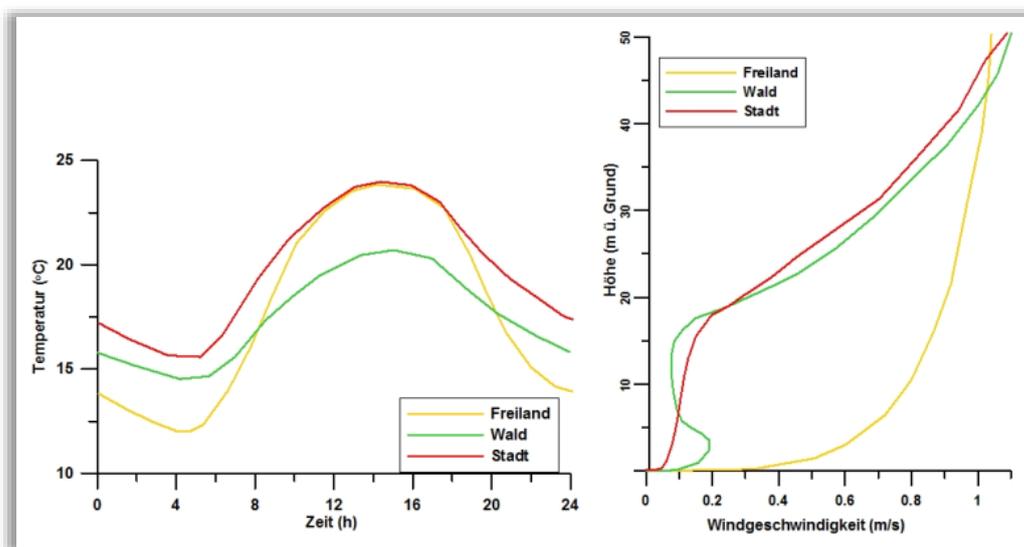


Abbildung 2-4: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen

deutlich.

2.3.3 Abgrenzung der klimaökologischen wirksamen Nutzungsstrukturen

Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen punkthaft gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Maschenweite von 10 m zu erzeugen. Aus diesen punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form feldhaft berechneter Klimaparameter (Abbildung 2-5).

Qualifizierende Aussagen zur bioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in klimatisch ähnliche Flächeneinheiten erfolgen. Diese sollten in der Realität nachvollziehbar und administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein. Daher werden als Bezugsgeometrien für die Bewertungskarten die Flächen aus dem Umweltmonitoring verwendet. Um die Ausprägung der Klimaparameter auf planungsrelevante und maßstabsgerechte Einheiten zu übertragen, wird den Referenzflächen der verwendeten digitalen Nutzungsinformationen die relevanten Klimaparameter wie z.B. Lufttemperatur oder Kaltluftvolumenstrom zugeordnet. Dafür werden alle Rasterzellen, die von einer bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe zonaler Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche den Mittelwert der für eine Bewertung relevanten

Klimaparameter, welcher die flächenspezifische Werteausprägung repräsentiert. So führt beispielsweise die hohe Oberflächenversiegelung einer Gewerbebebauung in den Nachtstunden zu einem höheren Flächenmittelwert der Lufttemperatur als eine stark durchgrünte Wohnbebauung am Ortsrand.

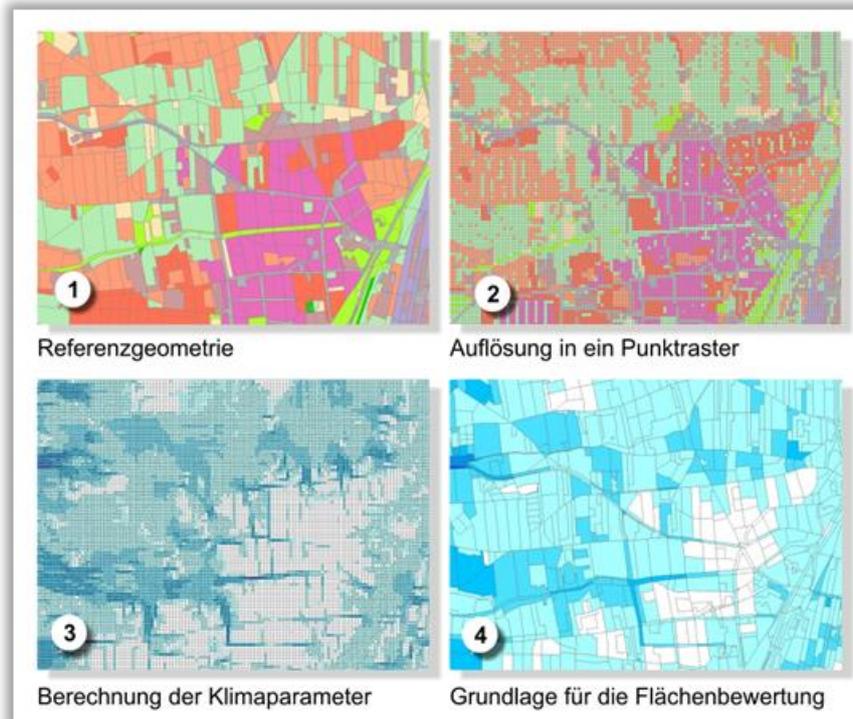


Abbildung 2-5: Schema der Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als hochaufgelöste rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum (vgl. Kap. 2.4), zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten (vgl. Kap. 4). Auf diese Weise bleibt, in Ergänzung zur abstrahierten Darstellung der klimatischen Funktionszusammenhänge (als Flächen- und Beziehungstypen in den Bewertungskarten), die flächeninterne Heterogenität der Klimaparameter als Detailinformation jederzeit abrufbar.

KLIMALUFTLEITBAHNEN

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches (Abbildung 2-6). Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation und wird sowohl in der Klimafunktionskarte als auch der Bewertungskarte dargestellt. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale und breite Straßenräume. Kaltluftabflüsse treten über unbebauten Hangbereichen auf, sofern sie Neigungen von $\geq 1^\circ$ aufweisen. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung.

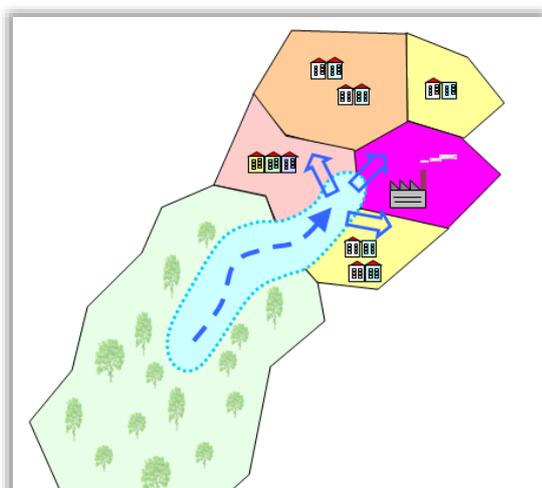


Abbildung 2-6: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn

Durch diese „Beschleunigung“ weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Strömungen, die sich nur aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen kühlen Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Aus stadtklimatischer Sicht sind daher Abflüsse als sehr wirksam zu bewerten. Aufgrund der vorwiegend schwach ausgeprägten Reliefsituation im Stadtgebiet werden Kaltluftabflüsse nicht gesondert ausgewiesen.

In den Kapiteln 2.4 und 2.5 werden die Ergebnisse der Klimaanalyse dargestellt, wobei die im Kapitel 2.4 beschriebenen meteorologischen Parameter als rasterbasierte Ergebnisse in einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m vorliegen. Diese Parameter werden in der Bewertungskarte auf die Bezugsgeometrien übertragen (Kap. 4). Hier erfolgt die Bewertung der Ausprägung wie beispielsweise die nächtliche Überwärmung der Siedlungsflächen.

Abbildung 2-6: Prinzipskizze Kaltluftleitbahn

2.4 Ergebnisse der Klimamodellierung

Im Folgenden werden die Modellergebnisse zu den Parametern nächtliche Lufttemperatur bzw. Physiologisch Äquivalente Temperatur am Tage, Kaltluftströmungsfeld sowie Kaltluftvolumenstrom erläutert. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen vergleichsweise warmen Siedlungsräumen und kühleren vegetationsgeprägten Freiflächen.

2.4.1 Nächtliches Temperaturfeld

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher i.d.R. einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann, je nach meteorologischen Verhältnissen, Lage des Standorts und landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- bzw. Oberflächeneigenschaften, große Unterschiede aufweisen. Besonders auffällig ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume mit seinen gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnissen.

Das Ausmaß der Temperaturabweichung im **Siedlungsbereich** ist vor allem von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung abhängig. Doch auch über **grünbestimmten Flächen** weisen Luftvolumina keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate natürlicher Oberflächen wird insb. von ihren thermischen Bodeneigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen bestimmt (Bewuchs, Laubstreu, etc.). Dynamische Luftaustauschprozesse zwischen den Flächen, das Relief in Form von Geländehöhe, Exposition sowie Geländeneigung und die Lage im Mosaik der Landnutzungen üben weiteren Einfluss aus (bspw. macht es einen Unterschied, ob sich eine Freifläche neben einem Gewässer, Waldgebiet oder dicht versiegelten Bereich befindet).

Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im **Wald** beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere

Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, in denen sauerstoffreiche und wenig belastete Luft entsteht. Während im Stammraum tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ geringe Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit vorherrschen, treten nachts durch die abschirmende Wirkung des Kronendachs vergleichsweise milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können demnach auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen, nachts fällt deren Kaltluftproduktion dagegen geringer aus als über unversiegelten Freiflächen – außerdem können sie ein Strömungshindernis darstellen.

Die hohe spezifische Wärmekapazität von **Gewässern**, deren besondere Art der Strahlungsabsorption und die im Wasserkörper stattfindenden turbulenten Durchmischungsvorgänge sorgen für eine (von hohen Absolutwerten ausgehend) deutlich verringerte tägliche Temperaturamplitude über größeren Gewässern. Da hier die Lufttemperaturen im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als in der Umgebung sind, wirken die Gewässer mit ihrem hohen Flächenanteil im Potsdamer Stadtgebiet auf bebaute Flächen am Tage klimatisch ausgleichend, während sie in der Nacht deren Abkühlung verringern.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen bioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen. Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst zwischen Minimalwerten von 12,9 °C und Maximalwerten von bis zu 21,0 °C eine Spannweite von etwa 8 °C. Die mittlere Temperatur innerhalb des Stadtgebietes liegt bei den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 15,9 °C. Innerhalb der bebauten Gebiete ist die Temperaturverteilung räumlich differenziert, da Areale mit Einzelhausbebauung, Kernbebauung und Verkehrsanlagen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Im Rahmen der durchgeführten Klimamodellierung weisen die die Potsdamer Kernstadt sowie größere Gewerbeflächen die höchsten Temperaturen von mehr als 20,0°C auf, was mit dem hohen Bauvolumen und einer hohen Oberflächenversiegelung einhergeht (Abbildung 2-7).

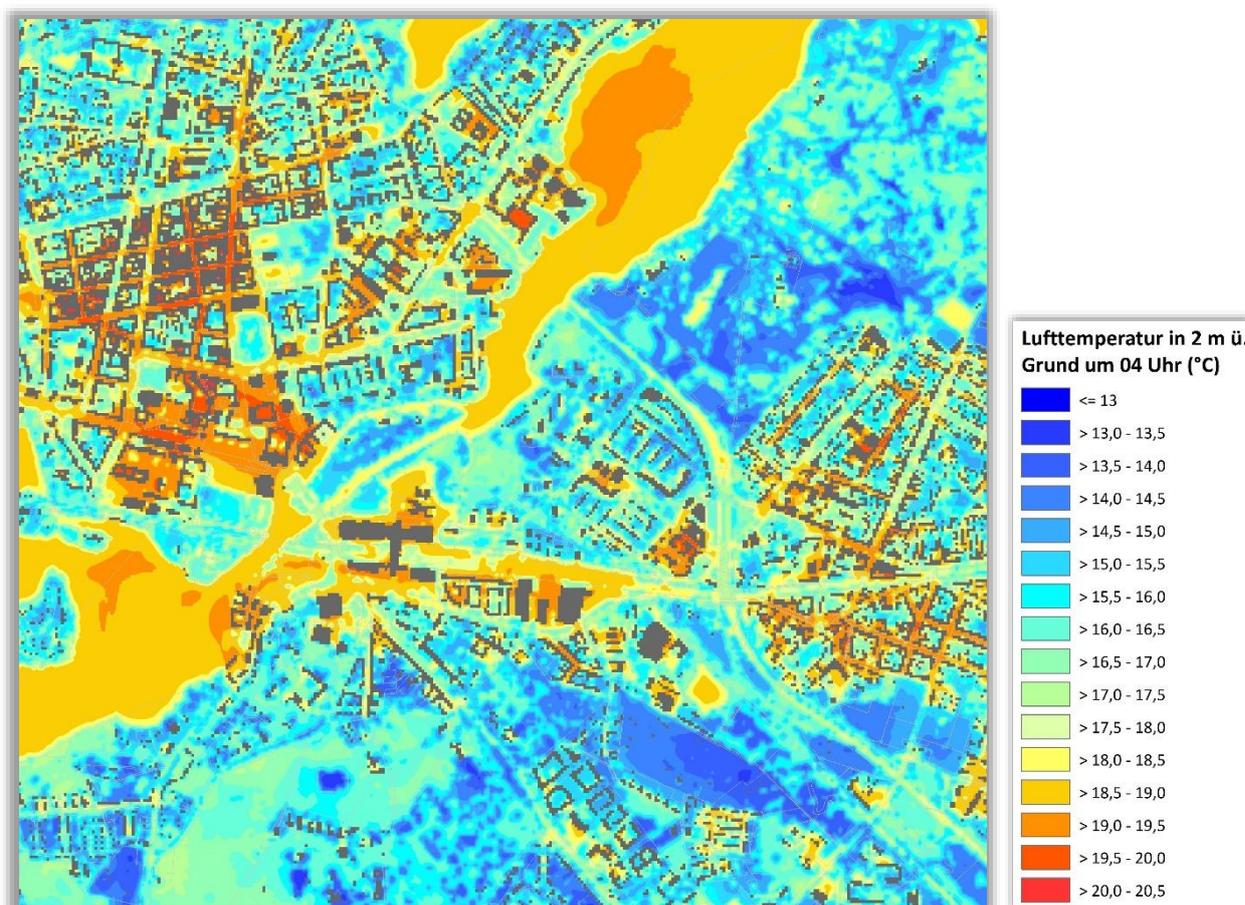


Abbildung 2-7: Temperaturfeld im Bereich der Innenstadt zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens (2m ü. Grund)

Zur Peripherie hin nehmen Bebauungsdichte und auch die Lufttemperatur tendenziell ab, was sich deutlich im Temperaturfeld zeigt. Im Bereich der Großblocksiedlungen zeigt sich die positive Wirkung größerer Abstandsflächen auf die nächtliche Abkühlung. In der durchgrünten Bebauung wie z.B. in Babelsberg sind zwischen 16 °C und 18 °C zu beobachten, wobei höhere Werte weiterhin in den Straßenräumen auftreten. Innerhalb größerer Hausgärten gehen die Temperaturen lokal auch weiter zurück. Lokale Kaltluftabflüsse führen zu einer zusätzlichen Abkühlung.

Auch die innerstädtischen Grünflächen zeichnen sich, abhängig von ihrer Größe und Lage, mit einem niedrigeren Wertenniveau ab. So weist der Platz der Einheit oder die Grünfläche am Sowjetischen Ehrenmal Temperaturen zwischen 15,0 °C und 17,5 °C auf. Größere Grünflächen wie die Freundschaftsinsel kühlen sich in den Nachtstunden noch stärker ab, was durch einen hohen Rasenanteil noch verstärkt wird. Der einhergehende Abkühlungseffekt ist auch in der direkt angrenzenden Bebauung zu beobachten. Die Abkühlung ist über den landwirtschaftlich genutzten Flächen am stärksten ausgeprägt und führt zu Minimumtemperaturen von weniger als 14,0 °C.

2.4.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den

Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen¹. Beispiele für solche Kenngrößen sind die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und der UTCI (Universal Thermal Climate Index). In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (vgl. Höppe und Mayer 1987). Gegenüber vergleichbaren Indizes hat dieser den Vorteil, aufgrund der °C-Einheit auch von Nichtfachleuten besser nachvollzogen werden zu können. Darüber hinaus handelt es sich bei der PET um eine Größe, die sich in der Fachwelt zu einer Art „Quasi-Standard“ entwickelt hat, sodass sich die Ergebnisse aus Potsdam mit denen anderer Städte vergleichen lassen. Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tabelle 2-2; VDI 2004).

Tabelle 2-2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI 2004)

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt sich, dass die auftretende Wärmebelastung am Tage vor allem über die Verschattung beeinflusst wird. Eine mäßige Wärmebelastung mit einer PET von 29 °C bis 35 °C ist insbesondere unter den größeren Waldbeständen zu beobachten. Aber auch im Bereich grösser Baumgruppen von innerstädtischen Grünflächen wie am Luisenplatz/Süd sind günstige Aufenthaltsbedingungen anzutreffen (Grün; Abbildung 2-8).

¹ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).

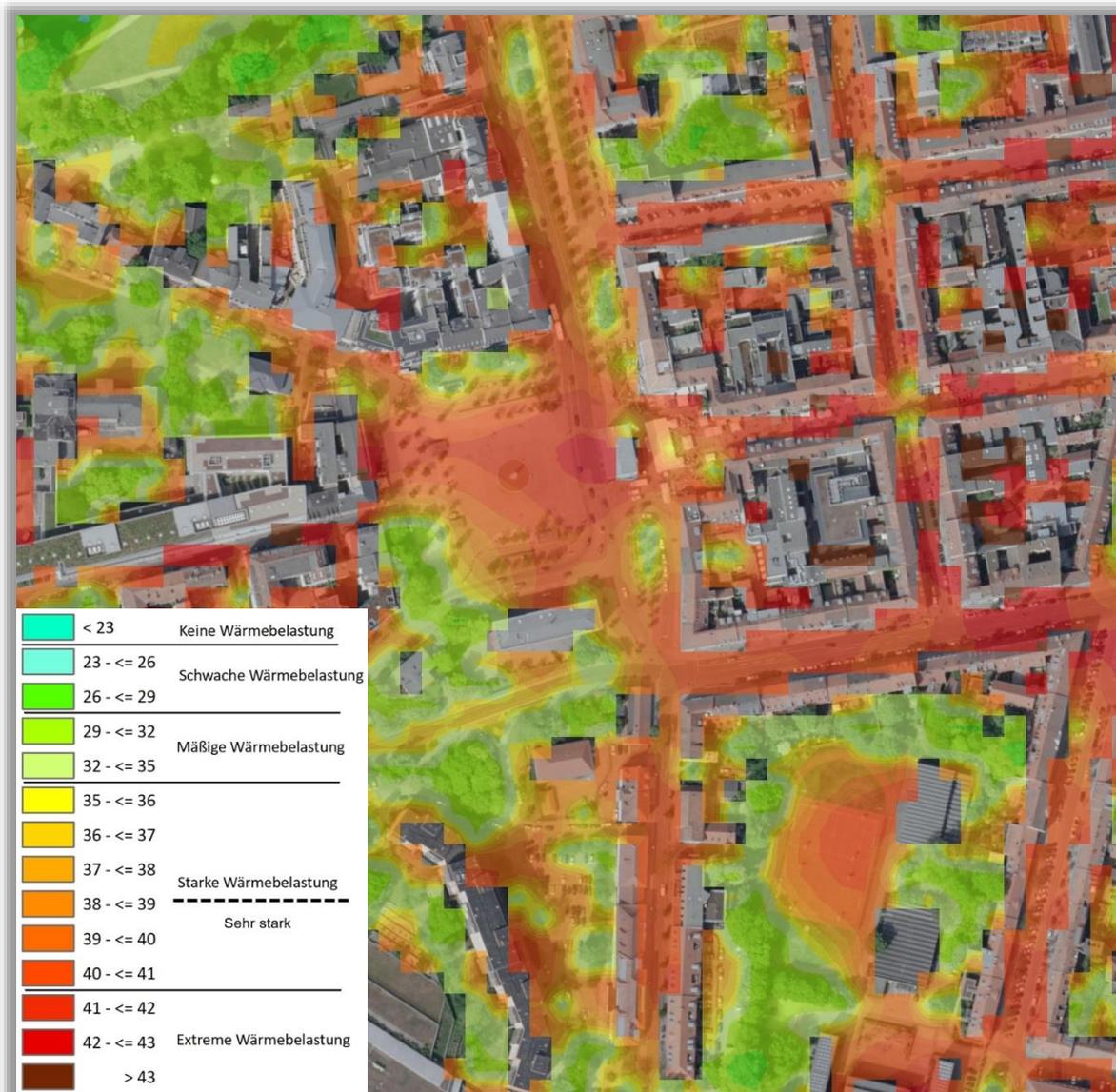


Abbildung 2-8: PET im Bereich Luisenplatz zum Zeitpunkt 14 Uhr mittags (2m ü. Grund)

Dem stehen die stark besonnten Areale gegenüber, wo die Wärmebelastung mit einer PET von deutlich mehr als 35°C häufig als stark einzustufen ist (Orange/Rot). Die höchste Belastung tritt im Bereich großer versiegelter Flächen sowohl in der Innenstadt als auch am Stadtrand auf.

2.4.3 Autochthones Windfeld

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen einstellen.

An den geneigten Flächen setzt sich abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So entstehen an den Hängen die nächtlichen Kaltluftabflüsse (u.a. Mosimann et al. 1999). Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt.

Neben den orographisch bedingten Strömungen mit Kaltluftabflüssen bilden sich auch so genannte Flur-/Strukturwinde, d.h. eine direkte Ausgleichsströmung vom hohen zum tiefen Luftdruck aus. Sie entstehen, wenn sich stark überbaute oder versiegelte Gebiete stärker erwärmen als umliegende Freiflächen, und dadurch ein thermisches Tief über den urbanen Gebieten entsteht (vgl. Abbildung 2-9).

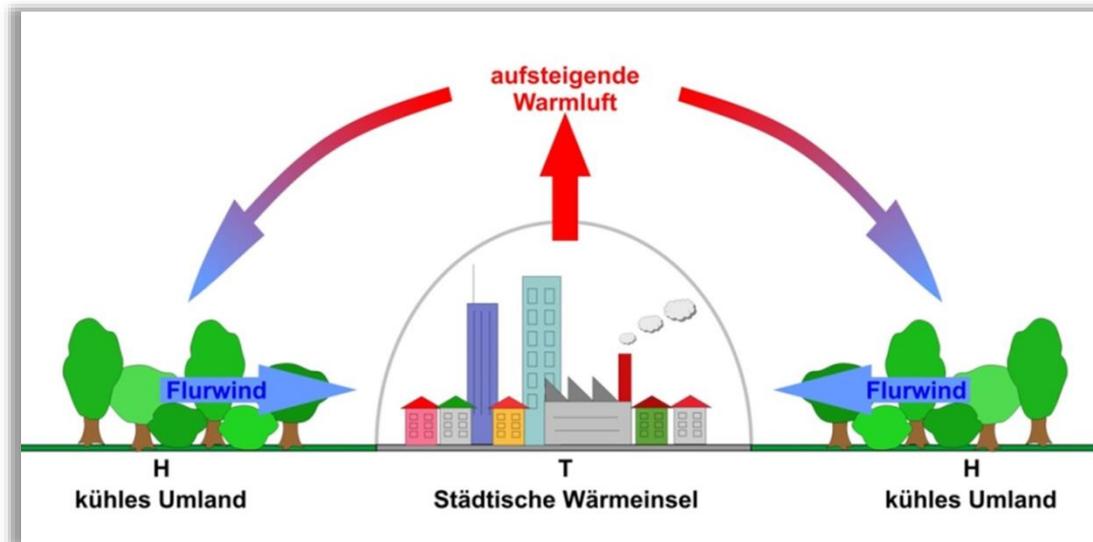


Abbildung 2-9: Prinzipskizze Flurwind

Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (u.a. Kiese et al. 1992). Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bebauung abgebremst wird. Die Flur-/ Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist unterhalb von 2 m/s (Mosimann et al. 1999). Im Bereich stärkerer Hangneigungen treten im Untersuchungsraum Kaltluftabflüsse mit Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/s auf.

Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere Wiesen- und Ackerflächen als kaltluftproduktiv. Abhängig von den Oberflächeneigenschaften und Abkühlungsraten geht damit die rasche Entwicklung von Kaltluftströmungen einher, die zunächst vertikal nur von geringer Mächtigkeit (5-10 m Schichthöhe) sind und sich zwischen der Vielzahl der unterschiedlich temperierten Flächen ausbilden. Diese kleinskaligen Windsysteme werden im Laufe der Nacht von horizontal und vertikal etwas mächtigeren Flur- und Hangwinden (mehrere Dekameter Mächtigkeit) überdeckt, die zwischen den großen Freiflächen und überbauten Arealen entstehen. Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis.

Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen und für Städte in Muldenlage wirken sich diese Faktoren bioklimatisch ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klimaökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen. Der vergleichsweise hohe Anteil an Gewässer im Stadtgebiet hat einen Einfluss auf die bodennahe Strömung sowohl am Tage als auch in der Nacht. Die unterschiedliche Erwärmung der Wasser-

und Landoberfläche bewirkt eine Windströmung zur jeweils wärmeren Oberfläche. Am Tage strömt die Luft vom Wasser in Richtung Land. In den Nachtstunden kehrt sich dies um, da die Landoberfläche schneller abkühlt als das Wasser. Auch auf lokaler Ebene kann davon auch die Kaltluftströmung beeinflusst werden, da dann die Gewässer zusammen mit den Siedlungsflächen die warmen Bereiche im Stadtgebiet darstellen und zum lokalen Wärmeineffekt beitragen. Die Kaltluftströmung ist in der vorliegenden Untersuchung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung des Kaltlufthaushaltes, wobei sich vor allem die Luftaustauschprozesse am Stadtrand erst in der zweiten Nachthälfte vollständig ausgebildet haben. Daher wird im Folgenden auf die Ergebnisse zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens eingegangen.

Das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld stellt Abb. 4.4 in zwei Ebenen dar. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 50 m x 50 m Kantenlänge aggregiert worden sind. Die unterlegten Rasterzellen stellen zudem die Windgeschwindigkeit flächenhaft in Farbstufung dar. Die Werte beziehen sich auf eine Analysehöhe von 2 m über Grund. Abgebildet sind alle Zellen des ursprünglichen 20 m Rasters, für die aufgrund einer modellierten Mindestwindgeschwindigkeit von $> 0,1$ m/s und unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die in Abbildung 2-10 für das 2 m-Niveau im Bereich der Innenstadt beispielhaft wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von 1,0 m/s in Höhe des Südrings (Dunkelblau). Ganz generell begünstigen eine niedrige Bebauung und breite Straßenräume/Abstandsflächen ein Eindringen in die Siedlungsflächen. Klimatisch wirksame Kaltluftabflüsse sind über den stärker geneigten Hangbereichen des Ruinenbergs oder im Park Babelsberg zu beobachten. Große Teile der durch Blockrandbebauung geprägten Areale werden bodennah nicht nennenswert von Kaltluft durchströmt, da die zunehmende Bebauungsdichte der Innenstadt und das im Vergleich zum Freiland höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung abschwächen. Auf gesamtstädtischer Ebene zeigt sich die wichtige Rolle größerer Grünzüge, da sie die Kaltluft als Leitbahnen tief in die Bebauung heranführen können. Dahingehend zeichnen sich der die Nutheniederung und der Park Sanssouci ab. Aber auch kleinere Strukturen wie der Lustgarten können eine Leitbahnfunktion aufweisen (**A** in Abb. 4.4). Im dargestellten Ausschnitt ist auch der Grünverbund Neuer Friedhof/KGA Oberförsterwiese als Kaltluftleitbahn einzuordnen (**B**). Zudem können breite Straßenräume wie die Nuthestraße (**C**) oder auch Gleisanlagen das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung begünstigen.

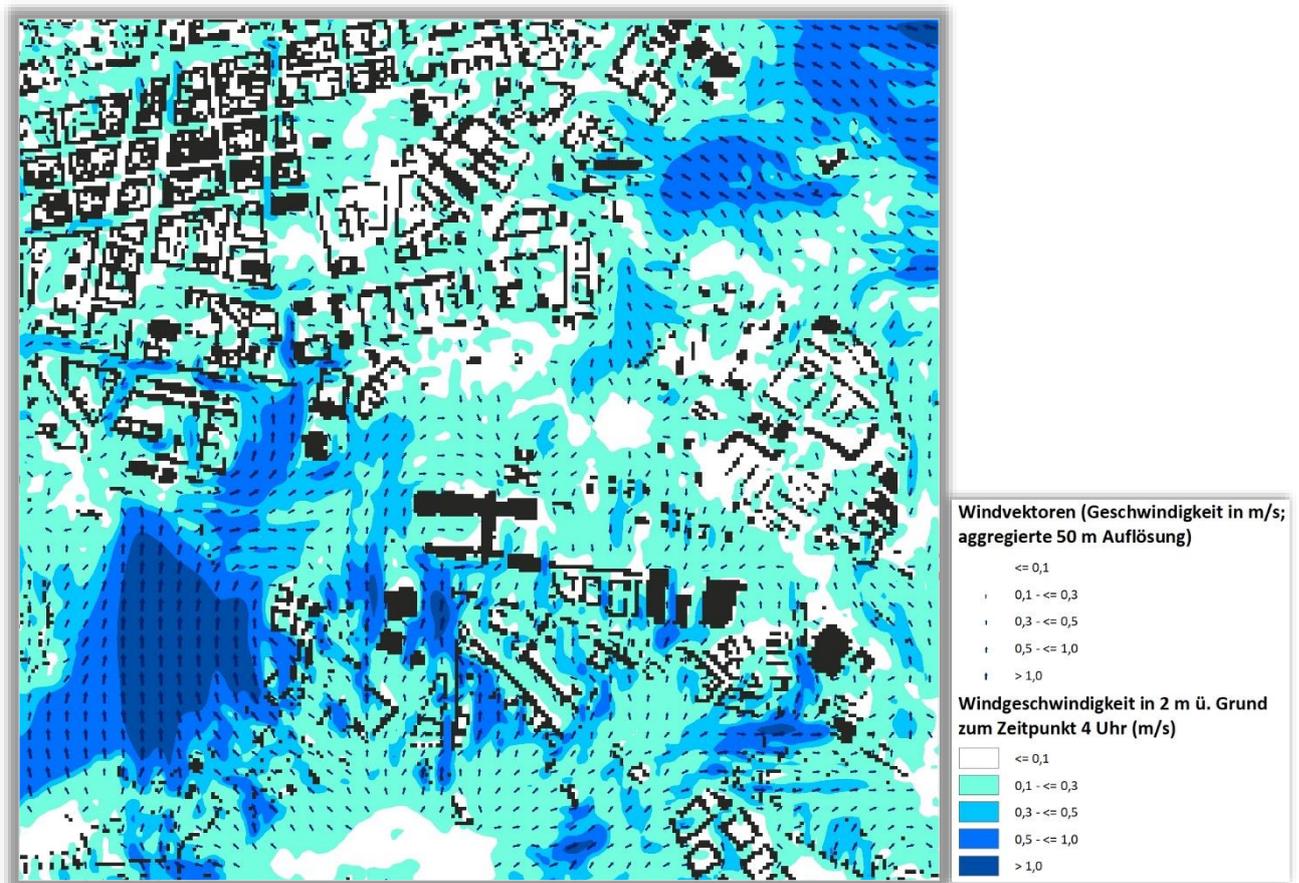


Abbildung 2-10: Nächtliches bodennahes Windfeld im Bereich der Innenstadt zum Zeitpunkt 04 Uhr morgens (2m ü. Grund)

2.4.4 Kaltluftvolumenstrom

Wie bereits im Vorkapitel zum autochthonen Windfeld erläutert, kommt den lokalen thermischen Windsystemen eine besondere Bedeutung beim Abbau von Wärme- und Schadstoffbelastungen größerer Siedlungsräume zu. Weil die potenzielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht) mitbestimmt wird, wird zur Bewertung der Grünflächen ein weiterer Klimaparameter herangezogen: der sogenannte Kaltluftvolumenstrom. Für die Auswertung wurde der Zeitpunkt 04 Uhr morgens gewählt, da zu diesem Zeitpunkt die Intensität der Kaltluftströme voll ausgeprägt ist. Unter dem Begriff Kaltluftvolumenstrom versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite).

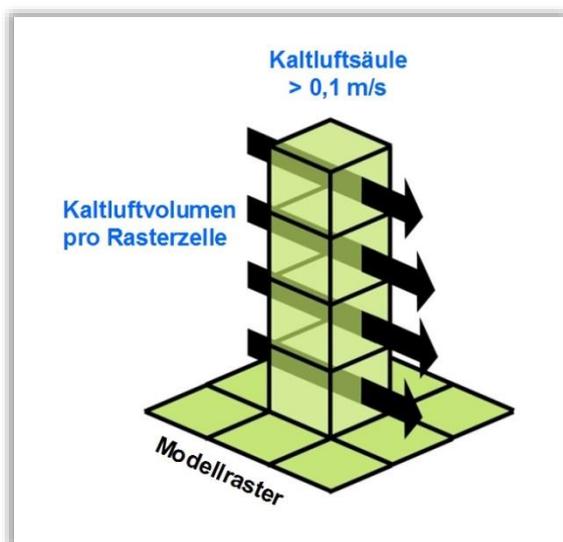


Abbildung 2-11: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

Luft, erhält man die rasterbasierte Volumenstromdichte bezogen auf 1 m Breite. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials.

STANDARDISIERUNG DES KALTLUFTVOLUMENSTROMS (Z-TRANSFORMATION)

Für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Maßstabes. Nicht immer ist ersichtlich, aufgrund welcher Kriterien eine Klassifizierung in Kategorien wie „Hoch“ und „Niedrig“ oder „Günstig“ und „Ungünstig“ erfolgt ist. In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) wird daher vorgeschlagen, für eine Beurteilung das lokale oder regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen.

Wünschenswert wäre zudem, die Beurteilungskriterien sowohl mit der Ausprägung zusätzlich modellierter Variablen als auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichen zu können. Um eine solche Vergleichbarkeit herzustellen, wurde der Parameter Kaltluftvolumenstrom über das Verfahren der z-Transformation standardisiert³. Bei einer z-Transformation wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt, anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (standardmäßig vier Bewertungskategorien durch Mittelwert, obere und untere S1-Schranke; s. Abbildung 2-12).

Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. Für die dargestellten Werte bedeutet dies folgendes: Da die Modellergebnisse nicht die Durchströmung eines natürlichen Querschnitts widerspiegeln, sondern den Strömungsdurchgang der gleichbleibenden Rasterzellenbreite, ist der resultierende Parameter streng genommen nicht als Volumenstrom, sondern als rasterbasierte Volumenstromdichte aufzufassen. Diesen Wert kann man sich leicht veranschaulichen, indem man sich ein 10 m breites, quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht² bis hinab auf die Erdoberfläche reicht (Abbildung 2-11). Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden

² Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit nicht höher als 0,1 m/s wird

³ Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt

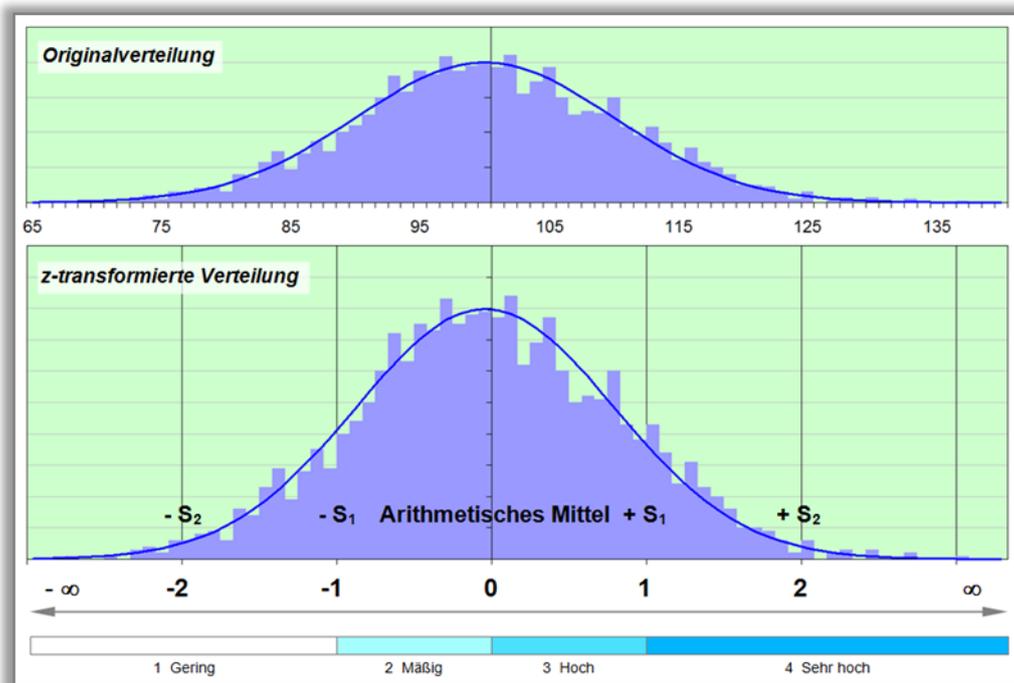


Abbildung 2-12: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern

Die Klassifizierung des flächendeckenden Volumenstroms orientiert sich somit am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Stadtgebietes. Die daraus abgeleitete qualitative Bewertung dieser meteorologischen Größe zeigt Tabelle 2-3:

Tabelle 2-3: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Mittlerer z-Wert	Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in m ³ /s*m um 04:00 Uhr
> 1	Sehr hoch	> 15
> 0 bis 1	Hoch	15 bis ≥ 10
> -1 bis 0	Mäßig	10 bis ≥ 5
bis -1	Gering	< 5

Ausgehend von der gebietstypischen Ausprägung im Untersuchungsraum wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mindestens 5 m³/s angenommen, wobei die innenstadtnahen Siedlungsflächen meist einen geringen bis mäßigen Volumenstrom aufweisen. Wie auch die anderen Klimaparameter ist der Kaltluftvolumenstrom eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Der jeweilige Beitrag beschleunigender und bremsender Faktoren zur Dynamik der Strömung wird unter anderem stark von der bisherigen zeitlichen Entwicklung des Abflusses beeinflusst. So können sich beispielsweise die Kaltluftströmungen über einer Fläche im Laufe der Nacht dadurch ändern, dass die Fläche zunächst in einem Kaltluftabflussgebiet und später in einem Kaltluftsammelgebiet liegt. Letzteres kann zunächst als Hindernis auf nachfolgende Luftmassen wirken und später in der Nacht von diesen über- oder umströmt werden. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten hängen im Wesentlichen von

der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauigkeit ab – wobei die Kaltluft selber auf alle diese Parameter modifizierend einwirken kann.

Gebäude, Mauern oder Straßendämme können als Strömungshindernisse wirken und luvseitig markante Kaltluftstaus auslösen. Werden die Hindernisse von größeren Luftvolumina über- oder umströmt, kommt es im Lee zu bodennahen Geschwindigkeitsreduktionen, die in Verbindung mit vertikalen oder horizontalen Verlagerungen der Strömungsmaxima stehen kann. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebautes Gebiet hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, Bebauungsdichte, anthropogenen Wärmefreisetzung und der Menge einströmender Kaltluft ab. Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 2-13 zeigt den Kaltluftstrom für den Ausschnitt der Innenstadt in einer qualitativen Abstufung. Ausgehend von den höher gelegenen Kaltluftentstehungsflächen wie dem Park Babelsberg im Nordosten und dem Waldareal im Umfeld des Wissenschaftsparks sind Kaltluftabflüsse zu beobachten, welche weit in die Bebauung einwirken. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte meist über gering bebauten Arealen und den breiteren Straßenräumen auf. Über gering bebaute Strukturen wie dem Lustgarten und die sich anschließende Friedrich-Ebert-Straße/Platz der Einheit kann die Kaltluft weit in Richtung Innenstadt einwirken.

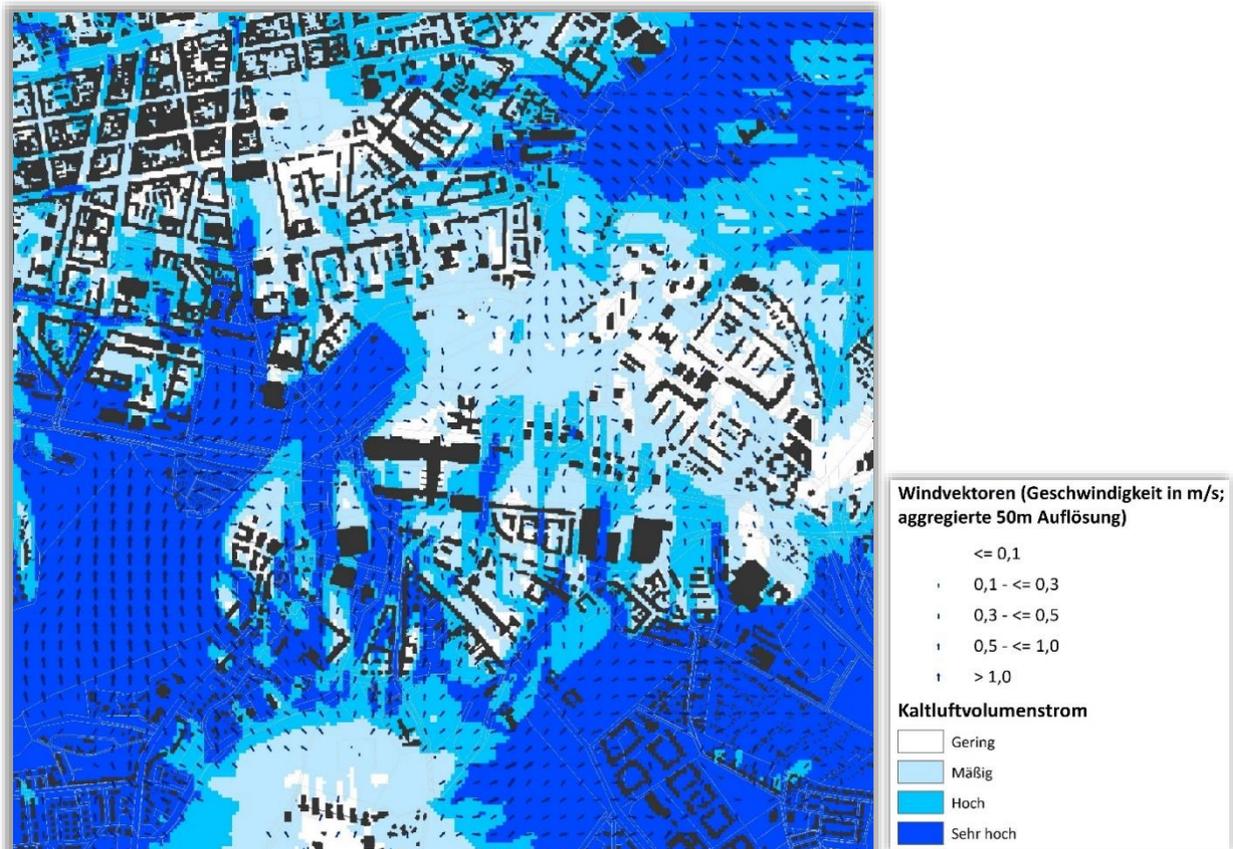


Abbildung 2-13: Kaltluftvolumenstrom im Bereich der Innenstadt zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens

Insbesondere entlang von Grünachsen oder Kleingartenanlagen dringt die Kaltluft mit oft hoher bzw. sehr hoher Intensität in die Bebauung ein und kann dort die thermische Belastung senken. Im Laufe einer (autochthonen) Sommernacht steigt die Kaltluftmächtigkeit i.d.R. an, sodass geringe Hindernisse überwunden werden können. Beispielsweise können einzelne Grünflächen, die zwar nicht zusammenhängen, aber räumlich nahe liegen und durch nur wenige Hindernisse getrennt sind, als „Trittsteine“

für Kaltluft dienen. Da der Kaltluftvolumenstrom über die Höhe betrachtet wird, sind die in das Siedlungsgebiet reichenden Kaltluftvolumenströme ausgeprägter als die bodennahen Windgeschwindigkeiten in der Darstellung des Kaltluftströmungsfeldes.

2.5 Klimaanalysekarte

Der Ausarbeitung der klimaökologisch relevanten Strukturen liegt die vorangegangene Klimamodellierung für das Stadtgebiet Potsdam zugrunde. Darin wurden die relevanten meteorologischen Parameter wie Temperaturfeld, Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld modelliert und in ihrer flächenhaften Ausprägung dargelegt. Ausgangspunkt der vorliegenden Analyse ist nun die Gliederung des Untersuchungsraumes in bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Siedlungsräume (**Wirkungsraum**) einerseits und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (**Ausgleichsräume**). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinandergrenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Freiflächen (**Luftleitbahnen**) beide miteinander verbinden. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschströmungen des **Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges** innerhalb des Stadtgebietes. Im Gegensatz zur Bewertungskarte werden in der Klimaanalysekarte nicht die Blockflächen als Bezugsgeometrien sondern die rasterhaft vorliegenden Ergebnisse dargestellt. Damit zeigt sich deutlicher die flächeninterne Heterogenität in den Siedlungsräumen.

KALTLUFTLIEFERUNG DER GRÜN- UND FREIFLÄCHEN

Für die Kaltluftentstehungsflächen wird der rasterhaft berechnete Kaltluftvolumenstrom (vgl. Kap.2.4.4) in einer quantitativen Abstufung dargestellt. Somit wird die räumliche Ausprägung und die Identifikation von Teilflächen mit besonders hohen Werten gut sichtbar.

LUFTAUSTAUSCH

Windvektoren in 2 m über Grund

Die bodennahe Temperaturverteilung bedingt horizontale Luftdruckunterschiede, die wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Ausgangspunkt dieses Prozesses sind die nächtlichen Temperaturunterschiede, die sich zwischen Siedlungsräumen und vegetationsgeprägten Freiflächen einstellen. An den geneigten Flächen setzt sich abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes als Kaltluftabfluss in Bewegung. Das sich zum nächtlichen Analysezeitpunkt 04 Uhr ausgeprägte Kaltluftströmungsfeld wird über eine Pfeilsignatur dargestellt. Die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile der Karte für eine übersichtlichere Darstellung auf 50 m x 50 m Kantenlänge (entspricht 25 Rasterzellen) aggregiert worden sind.

Kaltlufteinwirkungsbereich innerhalb der Bebauung

Diese Schraffur kennzeichnet alle Siedlungsflächen, welche sich im „Einwirkungsbereich“ eines klimatisch wirksamen Kaltluftstroms befinden. Zur Abgrenzung wird eine bodennahe Windgeschwindigkeit von mindesten 0,1 m/s und ein klimatisch wirksamer Kaltluftvolumenstrom $> 5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ pro Rasterzelle herangezogen. Am Ende einer warmen Sommernacht werden bis 04 Uhr ca. 53 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischlufte versorgt und befinden sich damit im Einwirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen. Die Reichweite einer Kaltluftströmung in die Bebauung vor allem vom Ausmaß der Kaltluftdynamik ab.

Sie ist bei Flurwinden mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsgebieten wie den Parkarealen oder landwirtschaftlichen Nutzflächen am intensivsten. Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt, abhängig

von der Bebauungsstruktur, zwischen ca. 100 m und bis zu 700 m. Darüber hinaus spielt auch die Hinderniswirkung des angrenzenden Bebauungstyps eine wesentliche Rolle. In den peripheren und vergleichsweise gering überbauten Stadtteilen erfolgt häufig ein flächenhaftes Eindringen von Kaltluft in den Siedlungsraum.

Kaltluftleitbahnen

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft an die Siedlungsbereiche heranführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen. Kaltluftleitbahnen sollten daher einen generell geringen Überbauungsgrad und einen hohen Grünflächenanteil aufweisen sowie linear auf Wirkungsräume ausgerichtet sein. Grundsätzlich kommen Tal- und Niederungsbereiche, größere Freiräume aber auch ausgedehnte Gleisareale als geeignete Strukturen in Frage. Im Rahmen der Klimaanalyse wurden insgesamt 13 Leitbahnen ausgewiesen. Es erfolgt hingegen keine Leitbahnausweisung für Bereiche, wo Kaltluft von Grünflächen direkt in die Bebauung strömt. In diesen Fällen grenzen Ausgleichs- und Wirkungsräume direkt aneinander, so dass eine Leitbahnausweisung nicht möglich ist. Dies ist häufig bei den innerstädtischen Grünflächen gegeben.

WÄRMEINSELEFFEKT IM SIEDLUNGSGEBIET

Basierend auf den modellierten bodennahen Lufttemperaturen wird der Wärmeinseleffekt über die Abweichung vom Temperaturmittel der Grün- und Freiflächen berechnet. Dargestellt wird dies für alle Rasterzellen (exklusive der Gebäude), welche sich innerhalb einer Siedlungsfläche entsprechend der Basisgeometrien befinden. Der Wärmeinseleffekt stellt die Grundlage für die sich anschließende Bewertung in der Bewertungskarte dar. Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Damit ergibt sich eine räumliche Untergliederung des Siedlungsraumes in bioklimatisch belastete Bereiche einerseits sowie unbelastete bzw. lediglich gering belastete andererseits. Letztere sind, durch von Kaltluft produzierenden Grünflächen ausgehende Kaltlufteinwirkbereiche, nur gering überwärmt und durch eine ausreichende Durchlüftung gekennzeichnet. Mit Blick auf die gesamtstädtische Situation ist die bioklimatische Belastung bei einer Einzel- und Reihenhausbauung mit einem vergleichsweise niedrigen Versiegelungsgrad und hohem Grünanteil am geringsten ausgeprägt. Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem die Innenstadt sowie Stadtteilzentren, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen. Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung. Dabei treten auch die größeren Gewerbeflächen mit einer Belastungssituation hervor, da sie oftmals eine ähnlich verdichtete Bebauungsstruktur und hohe Versiegelungsgrade wie eine Zentrumsbebauung aufweisen.

Abbildung 2-14 zeigt in einem Ausschnitt aus der Klimaanalysekarte den Bereich der Innenstadt, wobei die bioklimatische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Die stärkste Überwärmung ist im Umfeld der nördlichen Innenstadt anzutreffen (Orange), während die Bebauung der Jägervorstadt eine deutlich günstigere Situation zeigt. Wesentliche Teile der durch Blockrandbebauung geprägten Wohngebiete weisen eine überdurchschnittliche Überwärmung auf. Der Einwirkbereich der Kaltluft ist mit einer Schraffur dargestellt.



Abbildung 2-14: Klimafunktionen im Bereich der Innenstadt

3 Klimaanalysekarte Starkregen

Zunehmende Wetterextreme infolge des Klimawandels stellen viele Kommunen und Gemeinden vor neue Herausforderungen. In städtisch geprägten Regionen verursachen Starkniederschläge immer häufiger enorme Schäden und stellen Gefahren für das Menschenleben dar, die nicht unterschätzt werden dürfen. Um Bereiche mit potenziellen Gefahren und Risiken von Starkregenereignissen zu identifizieren und diesen entsprechend planerisch entgegenzuwirken, werden zunehmend Starkregengefahrenkarten von Kommunen, Entwässerungsbetrieben und anderen interessierten Akteuren beauftragt. Diese dienen als eine Planungs- und Entscheidungsgrundlage.

Bis vor wenigen Jahren blieben Starkregen bei der Planung von Entwässerungssystemen weitgehend unberücksichtigt. Die Anlagen wurden auf die durch die Normen vorgegebenen Bemessungsregen ausgelegt. Niederschläge, die in ihrer Intensität über die Bemessungsregen hinausgehen, wurden als „höhere Gewalt“ eingestuft.

Dieser Ansatz wurde in den letzten Jahren – nicht zuletzt vor dem Eindruck der Schadensereignisse in Münster 2014, Braunsbach 2016 oder in Berlin im Sommer 2017– zunehmend in Frage gestellt. Neue Leitfäden der Fachverbände (DWA M 119, 2016), LUBW (2016) und andere Veröffentlichungen z. B. in BBSR (2016) definieren eine Dreiteilung der Aufgabe in 1. Bemessung, 2. Überflutungsschutz und 3. Starkregen-Risikomanagement (Abbildung 3-1).



Abbildung 3-1: Aufgaben zu Überflutungsschutz und Starkregenrisikovorsorge, LUBW (2016)

Nach diesem neuen Verständnis sind Regenwasseranlagen – wie bisher – auf die üblichen Jährlichkeiten (meist 1-5 Jahre) zu bemessen. Für seltene Starkregen (T=10-30 Jahre) ist nachzuweisen („Überflutungsnachweis“), dass die Abflüsse schadlos auf den Grundstücken zurückgehalten werden können (DIN 1986-100, 2016) bzw. schadlos aus den Siedlungsgebieten herausgeführt werden können (DIN EN 752).

Für außergewöhnliche Starkregenereignisse ($T > 50-100$ Jahre) wird die neue Aufgabe des Starkregen-Risikomanagements definiert. Für diese Ereignisse ist eine Risiko-Betrachtung durchzuführen, d.h. Schäden sollten, so weit wie möglich, reduziert werden. Besonders „verletzliche“ Einrichtungen wie z. B. Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Feuerwehr, Versorgungseinrichtungen, etc. sollten besonders ggf. durch Objektschutzmaßnahmen geschützt werden.

Die Ermittlung der Fließwege, Fließtiefen bzw. –geschwindigkeiten von Oberflächenabflüssen (eventuell ergänzt mit dem Überstau aus dem Kanalnetz) ist Voraussetzung zur effektiven Planung von Schutz- und Vorsorgemaßnahmen.

3.1 Aufgabenstellung

Zunächst sollte durch eine Senken- und Fließweganalyse (GIS-Modellierung) eine erste Einschätzung von Gefährdungen infolge von Starkregenabflüssen erfolgen. Darauf basierend sollte eine Starkregengefahrenkarte (SRGK) mittels einer 2D-Simulation für das Stadtgebiet von Potsdam erstellt werden. Aus dieser hydrodynamischen Modellierung können detaillierte Informationen über Größen, wie anstauender Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit gezogen werden. Dabei wurden auch Bauwerke wie z. B. Dücker oder Straßenbrücken berücksichtigt. Das bestehende Kanalsystem wurde nicht nachgerechnet. Die Erstellung der Starkregengefahrenkarte erfolgte in Zusammenarbeit mit der Energie und Wasser Potsdam GmbH. Im weiteren Verlauf sollten Empfehlungen zu möglichen Maßnahmen zur Starkregenvorsorge erarbeitet werden.

3.2 Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis für die Modellrechnung

Um die Senken- und Fließweganalyse als auch die Modellierung zur Erstellung der Starkregengefahrenkarte ausführen zu können, wurden freiverfügbare und vom Auftraggeber bereitgestellte Daten in ein GIS System überführt und aufbereitet. Die Datengrundlagen der vorliegenden Untersuchungen werden im Folgenden aufgezeigt. Eine konkrete Auflistung aller verwendeten Daten können dem Technischen Bericht IPS (11/2021) entnommen werden.

3.2.1 Datengrundlage für die Senken- und Fließweganalyse

Für die Fließwege- und Senkenanalyse bedarf es eines Digitalen Geländemodells für das gesamte Bearbeitungs- bzw. Modellgebiet. Ein Digitales Geländemodell (DGM) beschreibt die Erdoberfläche ohne Vegetation, Bebauung oder sonstige anthropogene Elemente – welche durch Interpolationsmechanismen aus dem reinen Digitalen Oberflächenmodell (DOM) entfernt werden. Um das Überströmen der Gebäudeflächen zu verhindern, werden außerdem die Gebäude in das DGM eingebracht. Schlussendlich werden zur Abgrenzung des Modellbereichs öffentlich vorhandene Datensätze zu Einzugsgebieten der Fließgewässer herangezogen und mit Ergebnissen der Einzugsgebietsanalyse der ArcMap Werkzeuges ArcHydro verglichen. So wird sichergestellt, dass alle Zuflüsse in das Stadtgebiet Potsdam im Modell berücksichtigt werden.

3.2.2 Datengrundlage für die Oberflächenabflussmodellierung

Für die dynamische Oberflächenabflussmodellierung werden, neben dem berechneten Modellbereich und dem erstellten DGM inkl. Gebäudeflächen, weitere Daten benötigt. So fließen Datensätze zu der Landnutzung, Gewässern und geologischen Verhältnissen in das Modell mit ein. Auf Basis der Landnutzungsdaten, welche hier von den ALKIS-Flächennutzungsdaten abgeleitet wurden, werden Parame-

ter für die Oberflächenrauheit und Abflussverhalten bestimmt. Die Hochwassergefahrenkartengewässer (HWKG) werden nach LUBW Leitfaden zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten in das DGM eingebrannt und so als voll leistungsfähig im Modell angesetzt. Dies verhindert eine Überschwemmung ausgehen von den HWKG für die bereits amtlichen Karten zum Hochwasser bestehen und andere Modellansätze zur Anwendung kamen. Die Daten zu (hydro-)geologischen Verhältnissen im Bearbeitungsgebiet werden dazu genutzt die Versickerungsverhältnisse lagebezogen berücksichtigen zu können. Regendaten wurden aus den KOSTRA Datensätzen des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-DWD 2010R) entnommen.

Des Weiteren werden Datensätze zu Verdolungen von Gewässern und Brücken sowie Unterführungen genutzt, um das Abflussregime von kleineren Bächen und Flüssen sowie in Bereichen von Unterführungen o.Ä. akkurat abzubilden (siehe Abbildung 3-2). Zur Validierung der Modellierungsergebnisse konnte in diesem Projekt weiterhin auf Daten der Potsdamer Stadtentwässerung und der Potsdamer Feuerwehr zurück gegriffen werden welche Einsätze bei Starkregen dokumentieren. Eine weiterführende Erläuterung folgt in dem Kapitel 3.4.2.

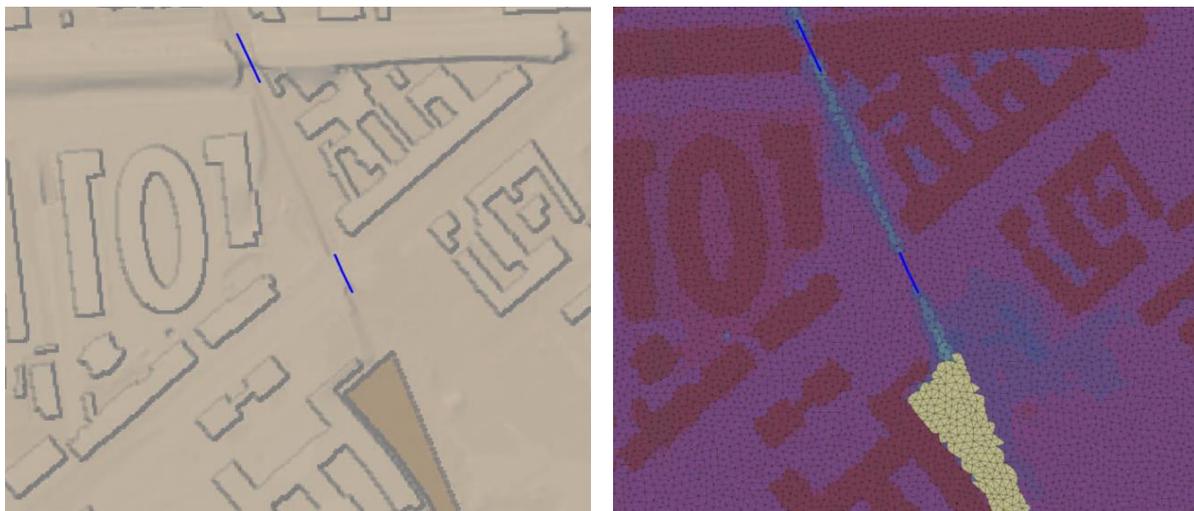


Abbildung 3-2: Links: DGM mit eingeblendeten 2D-Haltungen (in blau) im Bereich eines Grabens, welcher in einem (in das DGM eingebrannten) Hochwassergefahrengewässer mündet; Rechts: generiertes Dreiecksnetz mit 2D-Haltungen

3.3 Methode der Starkregenanalyse

3.3.1 Senken- und Fließweganalyse

Anhand von Höhendaten und einem rein topographischen Ansatz lassen sich Geländesenken und Tiefenlinien der Geländeoberfläche (Fließwege) effektiv identifizieren und in Karten veranschaulichen. Dafür kommen dedizierte GIS-gestützte Algorithmen zum Einsatz. Ausgangspunkt ist ein Digitales Geländemodell in der Form von einem Raster mit gleichmäßiger Gitterweite zum Einsatz. Dieses approximiert die Geländehöhen für jede Zelle des untersuchten Gebietes. Für das betrachtete Gebiet steht ein hochaufgelöstes DGM mit einer Auflösung von 1x1 m zur Verfügung (DGM1).

3.3.1.1 Berechnung der Fließwege

Für die Ermittlung der Hauptfließwege des Niederschlagswassers wurde das DGM-Raster mit den Werkzeugen der Erweiterung „ArcHydro“ der Software ArcMap von Esri analysiert. Ein Algorithmus wertet zuerst für jede Zelle die Höhe der Nachbarzellen aus und ermittelt das steilste Gefälle. Dadurch

lässt sich die Fließrichtung für jede Zelle bestimmen. Bei einem zweiten Durchgang bekommt jede Zelle einen Indexwert entsprechend der Anzahl jener Zellen, die in sie direkt oder indirekt entwässern. Durch Verbindung benachbarter Zellen mit dem höchsten Index lassen sich schließlich die Fließpfade identifizieren.

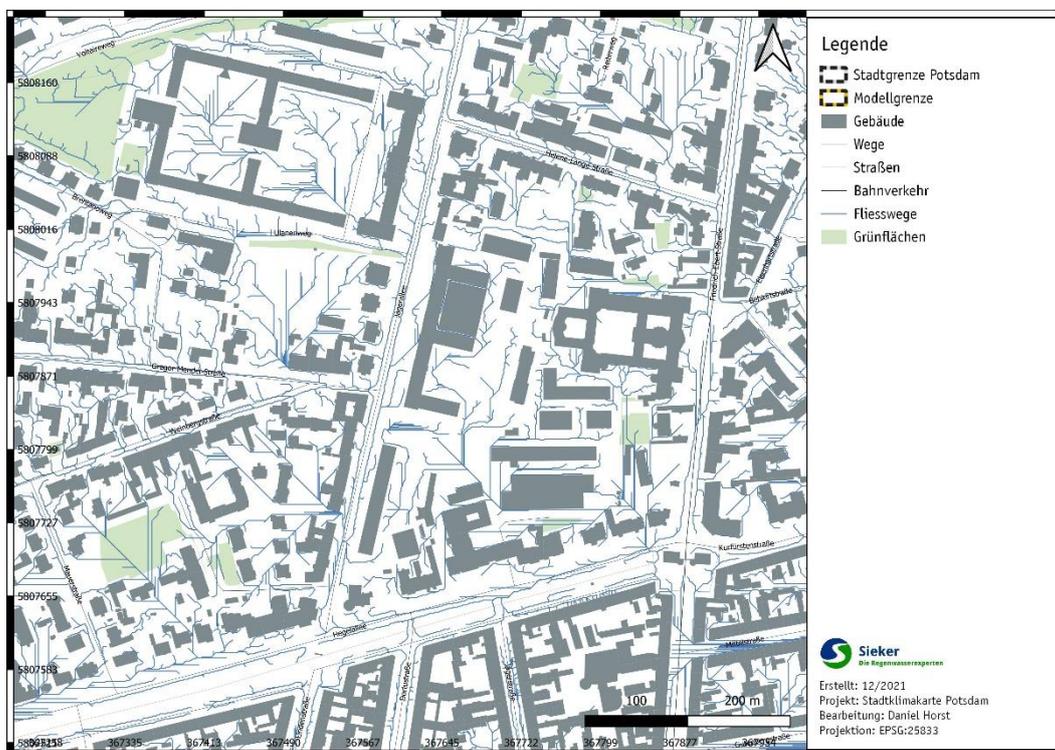


Abbildung 3-3: Fließwege im nördlichen Innenstadtbereich

Der Beginn eines Hauptfließweges (Quelle) wird dabei vom Nutzer durch die Eingabe einer Mindest-Einzugsgebietsgröße gesteuert. Hier wurde eine Mindestfläche von 0,01 ha gewählt. Für größere Fließgewässer werden keine Fließwege abgeleitet. Die Fließrichtung für dieses Fließgewässer ist bereits bekannt.

3.3.1.2 Berechnung der Senken

Eine erste Einschätzung möglicher Retentionsflächen resultiert aus der Lokalisierung tiefer gelegener Bereiche. Mit Hilfe der ArcGIS-Erweiterung „ArchHydro“ wurden die im DGM vorhandenen Senken (Bereiche ohne natürlichen Auslass) ermittelt. In diesem Fall wurden Senken dadurch definiert, dass mindestens 500 Zellen in jede der Zellen der Senke entwässern. Diese Funktion gibt weiterhin Informationen zur Tiefe und Ausdehnung der Senkenbereiche, sodass Senken mit einer Oberfläche von $< 2 \text{ m}^2$ und Tiefe $< 10 \text{ cm}$ entfernt werden konnten, um die Übersicht der Karte zu verbessern (siehe Abbildung 3-4).

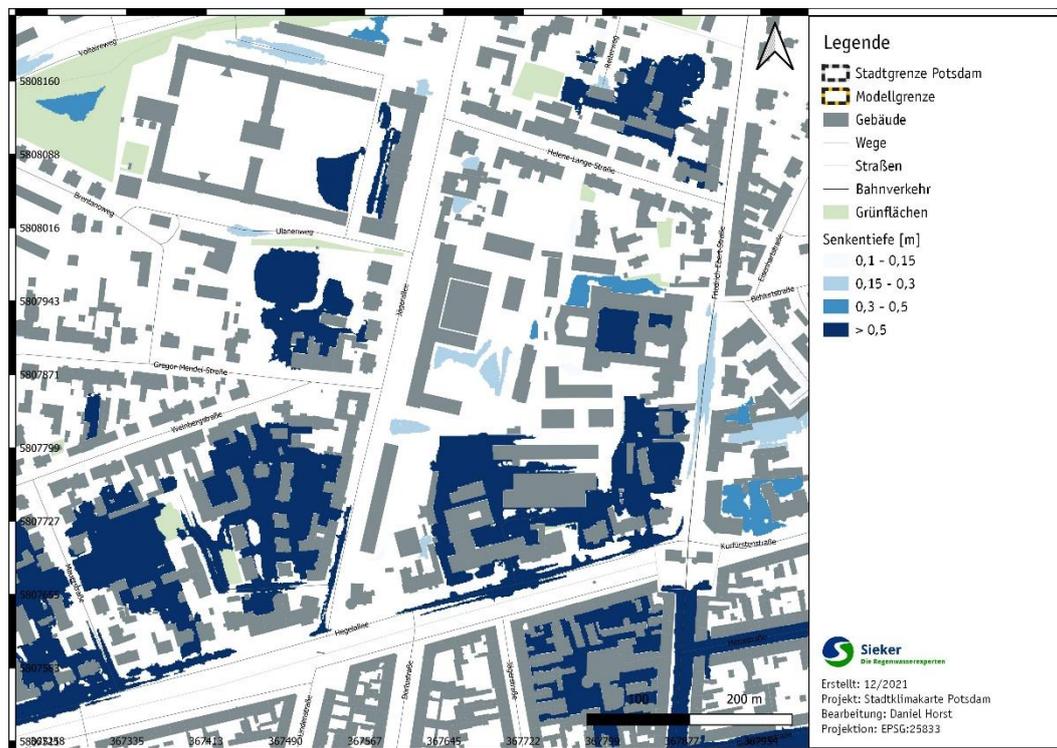


Abbildung 3-4: Senkenbereiche im nördlichen Innenstadtbereich

3.3.2 Starkregengefahrenkarte

Im Folgenden wird die Erstellung des Oberflächenabflussmodells als auch die Erstellung der SRGK nach den neusten Standards skizziert. Eine detaillierte Beschreibung des Modellaufbaus und Methodik zur Erstellung der Starkregengefahrenkarte können dem Technischen Bericht IPS (11/2021) entnommen werden.

3.3.2.1 Erstellung des Oberflächenabflussmodells

Für die Oberflächenabflussmodellierung (OAM) wird die Software InfoWorks der Firma Innowyze genutzt. Die auch von Hamburg Wasser und den Berliner Wasserbetrieben genutzte Software, verbindet 1D (Kanalnetzrechnung) mit 2D (Oberflächenabfluss) Modellierung und setzt sich zunehmend auch in Deutschland als eine der Softwares zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten durch. Bei der Erstellung des OAM's wird sich unter anderem an dem Leitfaden zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten von der LUBW (2016) und bestehenden DIN-Normen sowie DWA-Regelwerken orientiert.

Das Modellgebiet, bestehend aus dem DGM inkl. der Gebäudehöhen als Basis für die Oberflächentopographie, wird mit einem statistisch berechneten Regenereignis nach KOSTRA-DWD 2010R gleichmäßig berechnet. Für dieses Projekt wurde der Lastfall $T = 100$ a mit einer Dauerstufe von 60 min gewählt. Das Abflussverhalten auf den verschiedenen Flächenarten wird hauptsächlich anhand von zwei Parametern, der Rauheit und Abflussbeiwerten, bestimmt. Die Rauheit bestimmt wie schnell das Wasser von der jeweiligen Fläche abfließt, während die Abflussbeiwerte darstellen wie viel Wasser von einer Fläche abfließen kann. Diese Werte sind abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und dem Versiegelungsgrad der jeweiligen Fläche. Weiterhin werden Daten zu den Versickerungsverhältnissen genutzt, um die Infiltration auf Frei- und Grünflächen möglichst akkurat abbilden zu können. Die im vorherigen Kapitel 3.2.2 angesprochenen Durchlässe, Verdolungen und Unterführungen werden als 2D-Haltungen in das Modell eingebaut und dienen dazu das Abflussverhalten auf Straßen als auch in den

Gewässern möglichst naturgetreu abzubilden. Werden diese Durchlässe nicht berücksichtigt, kann es zu unrealistischen Aufstauungen bei der Modellierung kommen. Aus diesem Grund ist es notwendig Durchlässe in das Modell einzufügen, welche einen ununterbrochenen Fluss des Wassers gewähren.

3.3.2.2 Darstellung der Starkregengefahrenkarte

Die hier gewählte Darstellung der Starkregengefahrenkarte lehnt sich an den Leitfaden zur Erstellung von Starkregengefahrenkarten der LUBW (2016) an. Diese visualisiert die Überflutungsgefahr mittels der berechneten Wassertiefen, welche hochaufgelöst für das Bearbeitungsgebiet ermittelt wurden. Gesamtstädtische Karten dienen hier lediglich zur generellen Übersicht des Untersuchungsbereichs. Erkenntnisse zu lokalen Starkregengefährdungen lassen sich jedoch am besten aus Karten mit einem geringeren Maßstab bzw. durch die Visualisierung der Ergebnisse in einem GIS System ziehen. Für Die Maßnahmen- und strategische Planung empfiehlt sich deswegen die Nutzung der genierten GIS Daten.

In der Starkregengefahrenkarte werden neben der Bearbeitungsgrenze und der Modellgrenze auch Hintergrundlayer wie Gebäude, Gewässer, Straßen, Bahnschienen, Wege und Straßen als auch Grünflächen dargestellt. Die Wassertiefen werden in vier Kategorien mit verschiedenen Blautönen darstellt. Außerdem werden Bereiche, für welche eine Hochwassermodellierung besteht, ausgewiesen (siehe Abbildung 3-5).

Stadtgrenze Potsdam	
Modellgrenze	
Gebäude	
Gewässer	
Grünflächen	
Gräben	
Wege	
Straßen	
Bahnverkehr	
Wassertiefen [m]	
<= 0,1	
0,1 - 0,3	
0,3 - 0,5	
> 0,5	
Bereiche mit bestehenden Hochwassermodellierungen (HQ 100)	

Abbildung 3-5: Legendeneinträge der Starkregengefahrenkarte

3.4 Ergebnisse der Starkregenanalyse

Die Starkregengefahrenkarte für das gesamte Untersuchungsgebiet ist als Geodatensatz sowie im pdf-Format zur Verfügung gestellt worden. Diesen Daten können die Ergebnisse der Senken- und Fließweganalyse sowie die ermittelten Wassertiefen, und Fließpfeile entnommen werden. Die Fließpfeile wurden in der angehängten Starkregengefahrenkarte nicht mit abgebildet, um die Übersichtlichkeit bei der großen Ausdehnung des Untersuchungsgebiets zu gewährleisten.

Für zwei beispielhafte Bereiche werden nachfolgend die Ergebnisse der 2D-Oberflächenabflussmodellierung aufgezeigt und kurz erläutert. Diese und weitere Bereiche wurden von der Stadt Potsdam und der Energie und Wasser Potsdam GmbH als Gebiete von erhöhtem Interesse definiert und werden auch in dem Technischen Bericht IPS (11/2021) weiter beschrieben.

3.4.1 Ergebnisse - Potsdam Zentrum

Generell zeigen sich über das gesamte Stadtgebiet verteilt Bereiche, in denen mit erhöhten Wassertiefen bei einem Starkregenereignis zu rechnen ist. In Abbildung 3-7 ist ein Teil des Zentrums von Potsdam dargestellt, in welchem sich einzelne beispielhafte Problemstellen identifizieren lassen.

So kommt es in der Friedrich-Engels-Straße im südlichen Teil des Hauptbahnhofs zum Anstau im Parkplatzbereich und an einem Gebäude (Überstaubereich 1). Hier werden Wassertiefen von bis zu ca. 70 cm berechnet. Auch kommt es auf einigen Straßenabschnitten zu einem Überstau von über 50 cm. Hier beispielhaft die Zeppelinstraße markiert (Überstaubereich 2), welche u. a. auch bei einem Starkregenereignis im Jahr 2017 überflutet war (vgl. Abbildung 3-6).



Abbildung 3-6: Zeppelinstraße (Ecke Geschwister-Scholl-Straße) am 29. Juni 2017. Quelle: <https://www.maz-online.de/Lokales/Bildergalerien-Region/2017/6/Dauerregen-setzt-Brandenburg-unter-Wasser/4>

Aber auch in privaten Flächen sammelt sich in einigen Gebieten der Oberflächenabfluss. An der Jägerallee/ Weinbergstraße kommt es in einer Geländesenke im Innenhofbereich zu einem Anstau von bis zu ca. 80 cm (Überstaubereich 3). Zudem zeigt sich auch in Bereichen von Unterführungen, hier beispielhaft die Unterführung der Nuthestraße im Bereich der Rudolf-Breitscheid-Straße, flächiger Anstau mit bis zu ca. 60 cm (Überstaubereich 4).

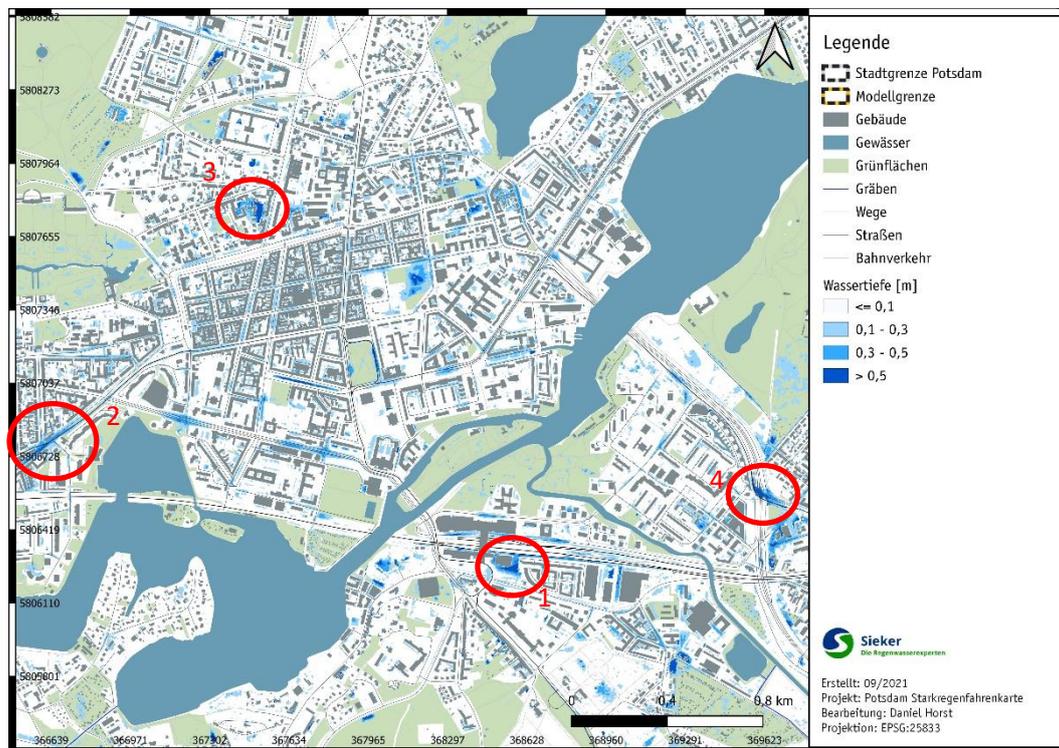


Abbildung 3-7: Ergebnisse der 2D-Oberflächenmodellierung für den Bereich des Potsdamer Stadtzentrums

3.4.2 Plausibilisierung der Ergebnisse

Anders als bei Hochwassergefahrenkarten ist die Plausibilisierung der Modellergebnisse bei Starkregengefahrenkarten nicht trivial. Bei Hochwassergefahrenkarten können historische Pegel zur Kalibrierung des Modells und Einschätzung der berechneten Überflutungsflächen genutzt werden. Da für Starkregenereignisse in den allermeisten Fällen keine Messungen in-situ vorgenommen werden können, besonders für Extremereignisse wie das 100-jährige Regenereignis, lassen sich die Modellergebnisse lediglich anhand von Informationen zu Feuerwehreinsätzen und Störmeldungen der Entwässerungsbetriebe punktuell verifizieren.

Im Rahmen der Starkregenanalyse wurden der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker Datensätze von der Feuerwehr Potsdam als auch dem Entwässerungsbetrieb Potsdam zur Verfügung gestellt, welche Informationen zu Einsätzen im Zusammenhang mit Starkregen enthalten. Anhand der Feuerwehreinsätze wird im folgenden Kapitel die Plausibilisierung der Ergebnisse verdeutlicht.

3.4.2.1 Feuerwehreinsätze

Der Datensatz der Potsdamer Feuerwehr enthielt insgesamt 1112 Einsätze zu sogenannten „Natureinsätzen“. Diese wurden nach einem Abgleich mit Daten des Deutschen Wetterdienstes auf die Einsätze reduziert, welche mit einem Starkregenereignis korrespondierten. Daraus ergab sich ein Datensatz mit insgesamt 130 Einsätzen für das gesamte Modellgebiet bei einem Einsatzdatenzeitraum von 2015 bis 2019. Aus dem Datensatz lassen sich keine Anstauhöhen oder sonstige Informationen ableiten. Die Informationen zur Örtlichkeit von Feuerwehreinsätzen bei Starkregen kann jedoch dazu genutzt werden Problemstellen zu verifizieren.

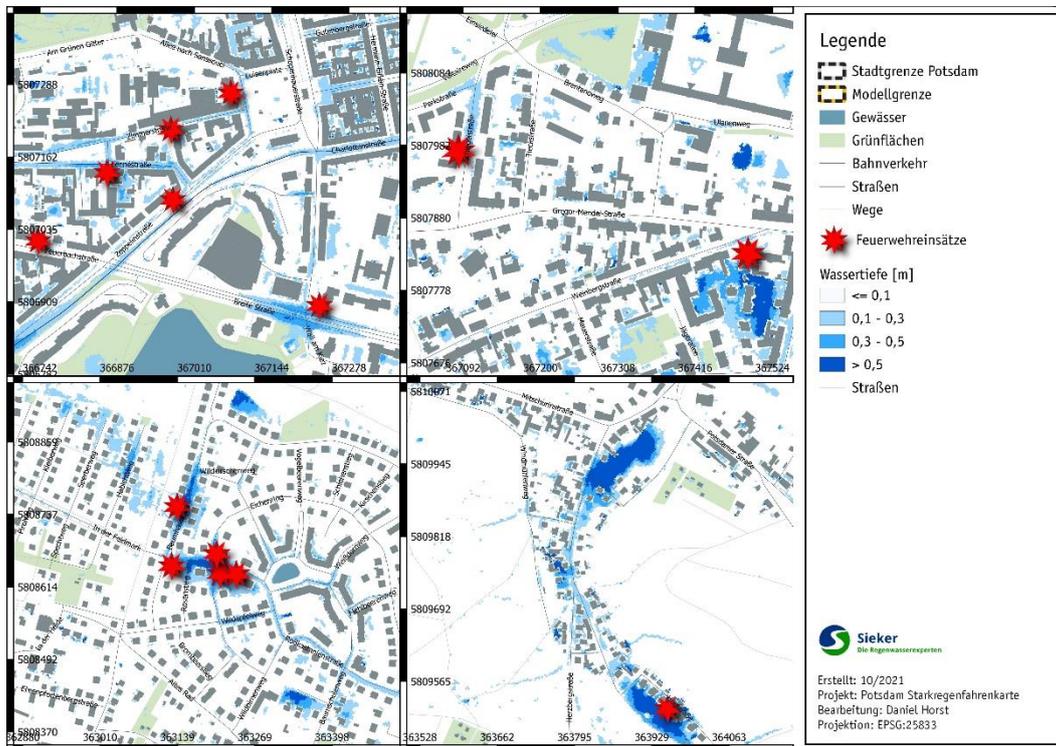


Abbildung 3-8: Feuerwehreinsätze zur Plausibilisierung der Modellergebnisse; links oben: Breite Straße, rechts oben: Georg-Mendel-Straße, links unten: Baumhaselring Golm, rechts unten: Potsdam Nord Hugstraße

Die Feuerwehrmeldungen korrespondieren in den meisten Fällen sehr gut zu den berechneten Wassertiefen und damit identifizierten Problemgebieten (siehe Abbildung 3-8). Allerdings zeigt sich auch, dass es in einigen Gebieten mit erhöhten Anstautiefen zu keinem Feuerwehreinsatz kam. Dies kann dadurch bedingt sein, dass die Modellergebnisse Anstauflächen nach einem flächendeckenden Starkregen aufzeigen – das gesamte Einzugsgebiet der Stadt wird gleichzeitig berechnet. Dieses steht im Kontrast zu natürlich auftretenden Starkregenereignissen, welche oft sehr lokal beschränkt sind.

4 Bewertungskarten

4.1 Bewertungskarte Stadtklima

Innerstädtische und siedlungsnahe Grünflächen haben eine wesentliche Wirkung auf das Stadtklima und beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Die Bewertungskarten Stadtklima stellen eine integrierende Bewertung der modellierten Klimaparameter im Hinblick auf planungsrelevante Belange dar. Aus ihnen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung von Klima und - über die Effekte der Verdünnung und des Abtransportes - auch der Luft ableiten. Diese Maßnahmen werden in Kap. 5.1 beschrieben. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele zur

- Sicherung,
- Entwicklung und
- Wiederherstellung

klimaökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen. Die zugeordneten Hinweise geben Auskunft über die Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der räumlichen Planung ableiten lassen.

Es wurde jeweils eine separate Bewertungskarte (PHK) für die Nacht- und Tagsituation erstellt. In Anlehnung an die VDI-Richtlinien 3785, Blatt 1 bzw. 3787, Blatt 1 erfolgte eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen als **Wirkungsraum** bzw. der Bedeutung von Grünflächen als **Ausgleichsraum** (VDI 2008a, VDI 2014). Ausgehend von ihren Bewertungen werden den Flächen allgemeine Hinweise zugeschrieben.

4.1.1 Vorgehensweise

4.1.1.1 Bewertung der Nachtsituation

SIEDLUNGSRAUM

Zur Bewertung der bioklimatischen Situation wird die nächtliche Überwärmung in den Nachtstunden (04 Uhr morgens) herangezogen. Da die Bewertungskarte die Funktionen und Prozesse des nächtlichen Luftaustausches abbilden soll, wird hier der nächtliche Wärmeinseleffekt betrachtet. In der Nacht ist weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 weist darauf hin, dass die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ für die Bewertung der Nachtsituation darstellt und näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann (VDI 2008b). Als optimale Schlaftemperaturen werden gemeinhin 16 - 18 °C angegeben (UBA 2016), während Tropennächte mit einer Minimumtemperatur ≥ 20 °C als besonders belastend gelten. Dies ist allerdings nicht als ein Grenzwert aufzufassen. Bewertet wird vielmehr die Relation des städtischen Wärmeinseleffekts in Bezug auf die mittleren meteorologischen Bedingungen im Stadtgebiet Potsdam. Die Bewertung der Abweichung vom lokalen/regionalen Wertenniveau ist ein in der Klimaökologie übliches Verfahren und wird in verschiedenen VDI-Richtlinien beschrieben. Eine mit der PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum (noch) nicht. Eine mit der PET vergleichbare Bewertungsskala existiert für die nächtliche Situation im Innenraum (noch) nicht.

Für die Bewertungskarte erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher über die nächtliche Überwärmung. Der nächtliche Wärmeinseleffekt wurde auf der Grundlage des Temperaturunterschiedes zwischen Grün- / Freiflächen und Siedlungsflächen berechnet. Um 4 Uhr nachts beträgt die durchschnittliche Lufttemperatur über einer Grünfläche im Stadtgebiet etwa 15,3 °C, während die Durchschnittstemperatur betrachtet über alle bebauten Siedlungsflächen um 04 Uhr morgens 17,1 °C beträgt. Für die Bewertungskarte erfolgte die räumlich differenzierte Bewertung der Nachtsituation daher über den nächtlichen Wärmeinseleffekt. Dafür wurde die mittlere Überwärmung pro Blockfläche in vier Klassen untergliedert (Tabelle 4-1). Eine Wärmebelastung mit entsprechendem Bedarf an Verbesserung der Situation liegt in den Kategorien „Ungünstig“ sowie „Sehr ungünstig“ vor. Eine Abwägungsrelevanz liegt vor, wenn eine Siedlungsfläche mit sehr hoher Überwärmung bzw. sehr ungünstiger bioklimatischer Situation überplant wird.

Tabelle 4-1: Bewertung des nächtlichen Wärmeinseleffekts im Siedlungsraum

Abweichung der Temperatur gegenüber den Grün- und Freiflächen um 04:00 (K)	Beurteilung der nächtlichen Überwärmung	Bioklimatische Bewertung
≤ 1 °C	Gering	Günstig
> 1 °C bis 2 °C	Mäßig	Weniger günstig
> 2 °C bis 3 °C	Hoch	Ungünstig
> 3 °C	Sehr hoch	Sehr ungünstig

In der Bewertungskarte sind die Standorte empfindlicher Nutzungen (Krankenhäuser, KiTa und Schulen) mit einer Punktsignatur versehen. Zudem werden Areale mit vorwiegender Gewerbenutzung mit einer Schraffur gekennzeichnet.

GRÜN- UND FREIFLÄCHEN

Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika der Grünflächen⁴ im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichsraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Freiräume entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von grünbestimmten Flächen wird ein teilautomatisierbares Verfahren angewendet, das sich wie folgt skizzieren lässt (vgl. Abbildung 4-1). Die Bewertung ist anthropozentrisch ausgerichtet, d.h. Flächen, die für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion erfüllen bzw. keinen Ausgleichsraum darstellen, wurden gering bewertet. Im Falle zusätzlicher Bebauung im Bereich dieser Flächen kann sich deren Funktion ändern und muss ggf. neu bewertet werden. Die einzelnen Klassen für die bioklimatische Bedeutung von Außenräumen werden wie folgt bestimmt:

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung:

1. Ermittlung von Siedlungsräumen mit *hoher und sehr hoher* nächtlicher Überwärmung (Flächengröße > 1 ha)

⁴ Als „Grünfläche“ werden hier unabhängig von ihrer jeweiligen Nutzung all jene Flächen bezeichnet, die sich durch einen geringen Versiegelungsgrad von maximal etwa 25 % auszeichnen. Neben Parkanlagen, Kleingärten, Friedhöfen und Sportanlagen umfasst dieser Begriff damit auch landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Wälder.

2. Ermittlung der an (1) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 250 m).

Grünflächen im Umfeld von bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen kommt grundsätzlich eine sehr hohe Bedeutung zu. Sie sind geeignet, unabhängig von ihrem Kaltluftliefervermögen ausgleichend auf das thermische Sonderklima in ihrem meist dicht bebauten Umfeld zu wirken.

3. Ermittlung von *Leitbahnen*

Leitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche erfolgt manuell und orientiert sich an der Ausprägung des autochthonen Strömungsfeldes der FITNAH-Simulation.

4. Allen Grünflächen aus (2) und (3) wird eine **sehr hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Hohe bioklimatische Bedeutung

5. Ermittlung von Siedlungsräumen mit *mäßigem* nächtlichen Wärmeineffekt (Flächengröße > 0.1 ha)

6. Ermittlung der an (5) *angrenzenden Grünflächen* (Toleranz = 100 m).

Wie unter (2) erfolgt die Einstufung auch dieser Flächen unabhängig von der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter

7. Ermittlung der an (2), (3) und (4) direkt *angrenzenden Grünflächen (Umfeldflächen)*.

Bereiche, die zur Ausweisung von „Kaltluftquellgebieten“ der besonders bedeutenden Flächen dienen.

8. Grünflächen aus (6) wird generell eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen

9. Grünflächen aus (7) und wird eine **hohe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn sie einen hohen Kaltluftvolumenstrom aufweisen

Mittlere bioklimatische Bedeutung

10. Grünflächen aus (7) wird eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen, wenn es sich um einen Waldbestand handelt

11. Waldflächen wird – wenn sie nicht bereits in eine der vorgenannten Kategorien fallen – pauschal ebenfalls eine **mittlere bioklimatische Bedeutung** zugesprochen.

Wald kommt generell eine von der Stärke des nächtlichen Kaltluftliefervermögens unabhängige bioklimatische Ausgleichsleistung als Frischluftproduzent und Erholungsraum zu.

Freiflächen, die keinem der oben genannten Kriterien entsprechen, wird eine nur **geringe bioklimatische Bedeutung** zugesprochen. Die nach diesem Verfahren ermittelte bioklimatische Bedeutung der Freiräume basiert zum einem auf ihrer Lage in Bezug zu bioklimatisch belasteten Siedlungsstrukturen, zum anderen auf der flächeninternen Ausprägung der Klimaparameter, d.h. im Wesentlichen auf ihrem Kaltluftliefervermögen. Diese Unterscheidung wurde getroffen, weil die flächeninternen Klimaparameter nicht in allen Bereichen gleichermaßen aussagekräftig sind. So kann eine Grünfläche trotz relativ geringem Kaltluftliefervermögen in einem ansonsten stark überbauten Umfeld signifikant zur Verminderung der dort auftretenden hohen Belastungen beitragen. Aus diesem Grund wurden Freiräume im direkten Umfeld von Siedlungsbereichen mit nächtlicher Überwärmung und einhergehenden ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen generell eine hohe bioklimatische Bedeutung zugesprochen. Somit verfügt eine in ihrer bioklimatischen Bedeutung als „Sehr hoch“ eingestufte Grünfläche über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch stark belasteten Wirkungsraum. Zudem erfolgt eine flächenhafte Darstellung des Leitbahnbereiches innerhalb von Grün- und Freiflächen als „Leitbahnkorridor“.

Eine als „Hoch“ eingestufte Grünfläche verfügt entweder über einen direkt zugeordneten, bioklimatisch belasteten Wirkungsraum oder weist ein überdurchschnittliches Kaltluftliefervermögen auf und ist gleichzeitig als Ausgleichsraum oder Kaltluftquellgebiet einzustufen.

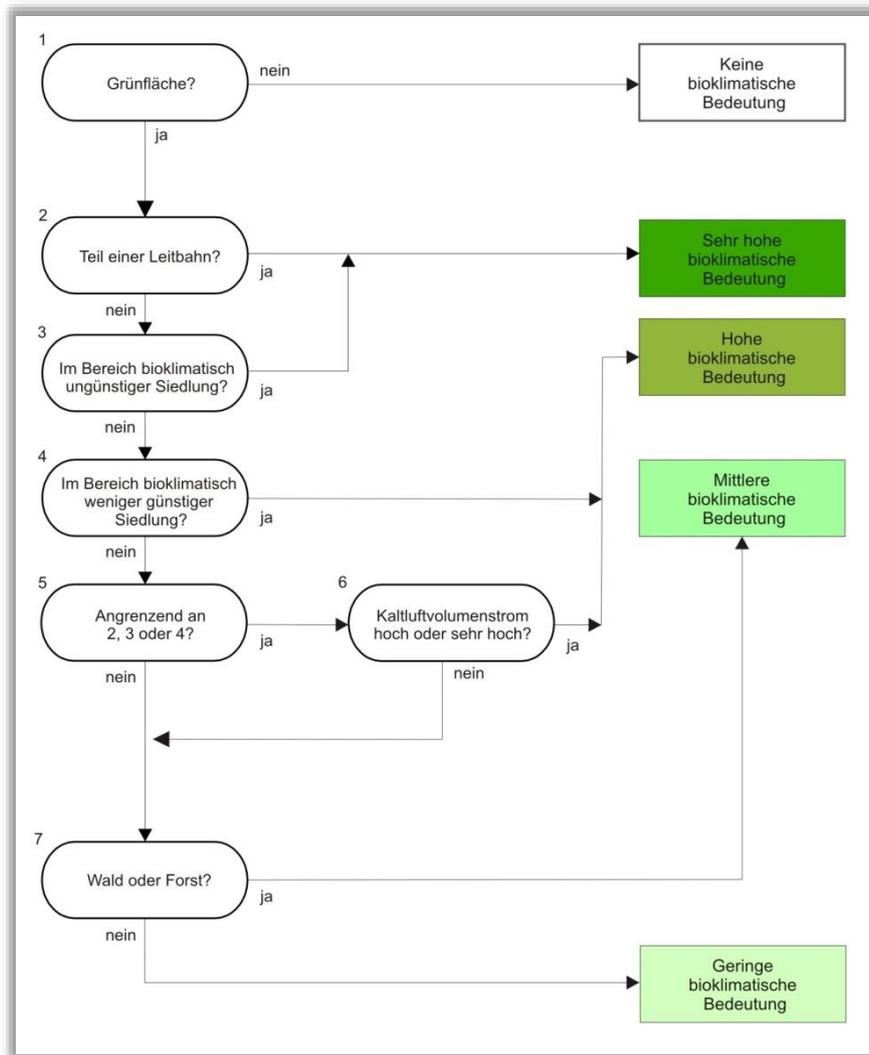


Abbildung 4-1: Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der bioklimatischen Bedeutung der Grünflächen in der Nacht

4.1.1.2 Bewertung der Tagsituation

Zur Bewertung der Tagsituation wird der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (vgl. Kap. 2.4.2). Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (vgl. Tabelle 4-2). Die Bewertung der thermischen Belastung im Stadtgebiet Potsdam orientiert sich daran. Da die Kategorien jeweils eine Wertespanne von mehreren °C abdecken, ist zur besseren Darstellung der Belastungssituation im bebauten Siedlungsraum eine weitere Kategorie hinzugefügt worden. Diese umfasst den Temperaturbereich 38 °C bis 41 °C (als „sehr starke Wärmebelastung“) und führt zu einer besseren Differenzierung der Belastungssituation vor allem im urbanen Gebiet. Die Wertaussprägung in den Grün- und Freiflächen machte diese zusätzliche Kategorie hingegen nicht notwendig.

Tabelle 4-2: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
38 °C	<i>Heiß</i>	<i>Sehr starke Wärmebelastung</i>
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Die Zuweisung der Aufenthaltsqualität von Grün- und Freiflächen in der Bewertungskarte beruht auf der jeweiligen physiologischen Belastungsstufe. So liegt eine hohe Aufenthaltsqualität bei einer schwachen oder nicht vorhandenen Wärmebelastung vor, während eine starke oder extreme Wärmebelastung zu einer geringen bzw. sehr geringen Aufenthaltsqualität führt. Die bioklimatische Bewertung am Tage ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität in den Siedlungsflächen außerhalb von Gebäuden sowie in Grün- und Freiflächen. Diese beeinflusst auch die Situation innerhalb der Gebäude, doch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren (z.B. gebäudebezogenen) Faktoren ab. Diese Zusammenhänge können im Rahmen der vorliegenden Arbeit allerdings nicht weiter vertieft werden.

4.1.2 Ergebnisse

4.1.2.1 Nachtsituation

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, weshalb der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas. Wie in Kap. 2.3.3 beschrieben, ist die bioklimatische Belastungssituation der Baublöcke auf Basis der nächtlichen Überwärmung ausgewiesen worden. Damit ergibt sich eine räumliche Untergliederung des Siedlungsraumes in bioklimatisch belastete Bereiche einerseits sowie unbelastete bzw. lediglich gering belastete andererseits. Letztere sind, durch von Kaltluft produzierenden Grünflächen ausgehende Kaltlufteinwirkbereiche, nur gering überwärmt oder weisen aufgrund eines hohen Grünanteils eine starke flächeninterne Abkühlung auf. Häufig sind sie auch durch eine ausreichende Durchlüftung gekennzeichnet. Die Einwirkbereiche innerhalb der Bebauung sind durch die Schraffur gekennzeichnet. Am Ende einer warmen Sommernacht werden in Potsdam bis 04 Uhr ca. 53 % des Siedlungsraums mit Kalt-/Frischlufte versorgt und befinden sich damit im Einwirkbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

Diesen Gunsträumen stehen Belastungsbereiche mit einer überdurchschnittlichen Wärmebelastung und einem Durchlüftungsdefizit gegenüber. Dies betrifft vor allem die Kernstadt sowie größere Gewerbeflächen, in denen bioklimatisch weniger günstige bzw. ungünstige Bedingungen vorliegen. Diese resultieren aus dem hohen Überbauungs- und Versiegelungsgrad sowie einer in Teilen unzureichenden Durchlüftung.

Abbildung 4-2 zeigt in einem Ausschnitt aus der Bewertungskarte den Bereich der Innenstadt, wobei die thermische Situation der Siedlungsräume mit einer Farbabstufung dargestellt ist. Die stärkste Überwärmung ist im Bereich der nördlichen und südlichen Innenstadt anzutreffen (Orange), während die sich daran anschließende Bebauung wie die Berliner Vorstadt eine günstige bis weniger günstige Situation bzw. eine schwache bis mäßige Überwärmung aufweist (Gelb/Beige).

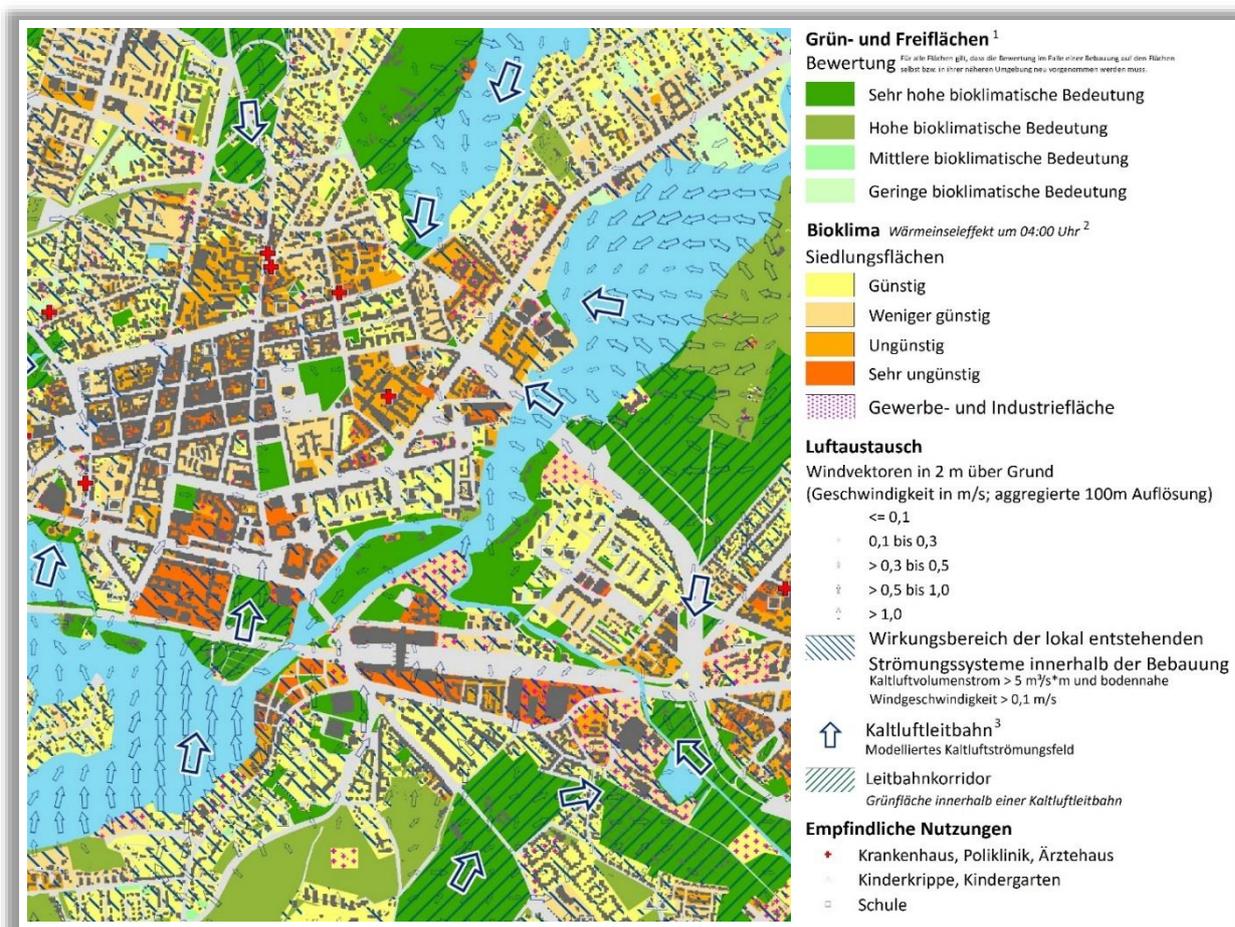


Abbildung 4-2: Bewertungskarte Nachtsituation für den Bereich der Innenstadt

Flächen mit einer sehr hohen Überwärmung bzw. sehr ungünstigen bioklimatischen Situation machen unter den **Siedlungsflächen** allerdings nur einen geringen Anteil von etwa 5 % aus und sind vorwiegend in der Innenstadt sowie den Gewerbeflächen in Babelsberg und dem Industriegelände am südlichen Stadtrand anzutreffen. Bereiche mit ungünstigen Bedingungen haben einen Anteil von ca. 10 %, während weniger günstige Bedingungen und damit eine mäßige Überwärmung in 24 % des Siedlungsraumes auftreten. Es dominieren günstige Bedingungen, welche in 61 % der Bebauung anzutreffen sind.

Tabelle 4-3: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise

Bewertung	Flächenanteil (%)	Allgemeine Planungshinweise
Keine Überwärmung <i>Bioklimatisch günstig</i>	61	Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und einer geringen bis mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Der Vegetationsanteil sollte möglichst erhalten bleiben.
Mäßige Überwärmung <i>Bioklimatisch weniger günstig</i>	24	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.
Hohe Überwärmung <i>Bioklimatisch ungünstig</i>	10	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden (ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen).
Sehr hohe Überwärmung <i>Bioklimatisch sehr ungünstig</i>	5	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation am Tage und in der Nacht sind notwendig und prioritär. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sind zu erhalten und der Vegetationsanteil sollte erhöht sowie möglichst Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt werden (z.B. Pocket-Parks, Begrünung von Blockinnenhöfen). Eine Erhöhung von baulicher Dicht bzw. des Versiegelungsanteils würde die bioklimatische Situation möglicherweise weiter verschlechtern.

Den **Grün- und Freiflächen** kommt zu etwa 22 % eine hohe bis sehr hohe bioklimatische Bedeutung zuteil (11,4 % bzw. 10,5 %; vgl. Tabelle 4-4). Eine mittlere Bedeutung lässt sich 29,1 % der Grünflächen zuordnen. Etwa 49,0 % der Grünflächen weisen eine geringe Bedeutung auf, d.h. sie erfüllen für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion bzw. stellen für diesen keinen Ausgleichsraum dar. Mehrheitlich handelt es sich dabei um siedlungsferne landwirtschaftlich genutzte Flächen.

Tabelle 4-4: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht und abgeleitete Planungshinweise

Bedeutung der Grünflächen	Flächenanteil (%)	Allgemeine Planungshinweise
Gering	16	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit bzw. befinden sich im Umfeld von Siedlungsflächen ohne nächtliche Überwärmung. Diese Areale weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber einer Nutzungsintensivierung und lassen am ehesten ein Potenzial für eine bauliche Entwicklung erkennen. Bauliche Eingriffe sollten allerdings unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. So sollten nächtliche Kaltluftströmungen zugunsten einer Bestandsbebauung nicht beeinträchtigt werden.

Mittel	40	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen (z.B. sollte die Baukörperstellung an vorhandenen Kaltluftströmungen ausgerichtet werden).
Hoch	27	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden.
Sehr hoch	18	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten möglichst vermieden bzw. unter besonderer Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung ist anzustreben und zur Optimierung der klimatischen Ausgleichsleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/ Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen).

Generell gilt, dass im Falle einer Bebauung der Flächen selbst bzw. in ihrer Umgebung die Bewertung neu vorgenommen werden muss. Dies resultiert aus der Tatsache, dass durch eine Nutzungsänderung die Eigenschaft einer Grünfläche wie die Kaltentstehung bzw. -Luftlieferung möglicherweise verändert sein kann und dies einen Effekt für angrenzende Flächen hätte. Bei einer Neuplanung sollte daher die Rolle der überplanten Fläche für den angrenzenden Bestand auf Grundlage der vorhandenen Ergebnisse (z.B. Klimaanalysekarte; Kap.2.5) eingeschätzt werden. Wenn ersichtlich wird, dass ein Gebäude den Kaltluftstrom durch eine abriegelnde Wirkung voraussichtlich massiv abschwächen wird, ist eine Abwägungsrelevanz gegeben. Es existiert dahingehend aber kein Schwellenwert. Die Relevanz nimmt allerdings mit den zu erwartenden Auswirkungen zu und ist bei umfangreichen Bauvorhaben potenziell hoch. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Grünflächen mit sehr hoher Bedeutung bzw. Grünflächen mit einer Funktion als Kaltluftleitbahn überplant werden und deren Funktion als Kaltluftliefergebiet oder Durchlüftungsbereich beeinträchtigt werden könnte. Die Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen sind in Abbildung 4-3 zusammengefasst:

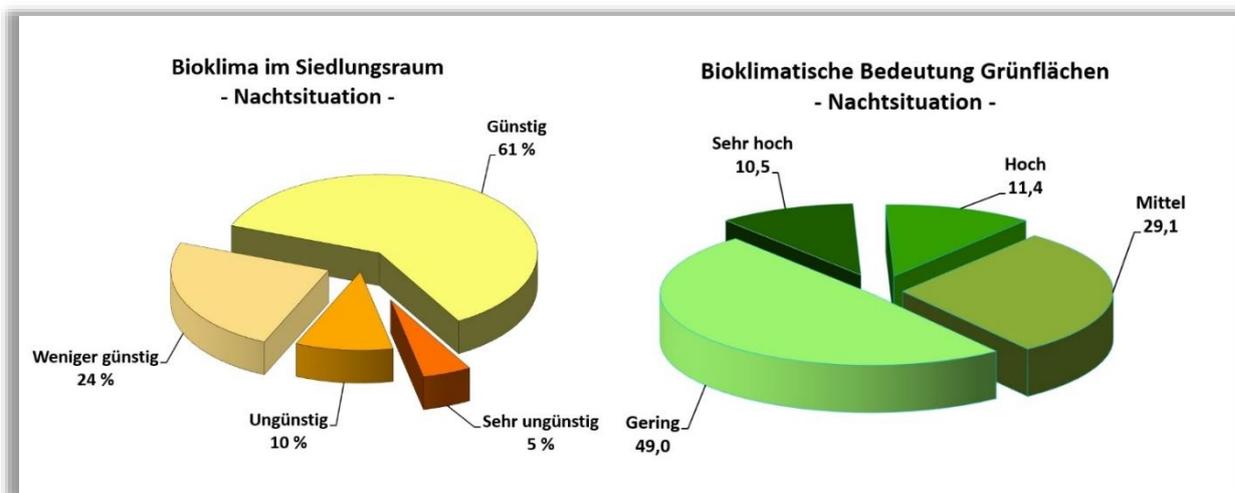


Abbildung 4-3: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen im Stadtgebiet Potsdam (Nachtsituation)

4.1.2.2 Tagsituation (Aufenthaltsqualität)

Am Tage sind deutliche Unterschiede in der Aufenthaltsqualität sowohl in den bebauten bzw. versiegelten Bereichen als auch den Grünflächen zu erkennen (Abbildung 4-4). **Urbane Siedlungsflächen** lassen mehrheitlich eine starke und sehr starke bioklimatische Belastung erkennen (37,6 % bzw. 23,6 %). Dies trifft vor allem auf Gewerbeflächen zu, welche oftmals große versiegelte Areale aufweisen und in der Regel wenige Grünflächen und eher niedrigere Gebäude aufweisen, sodass die Einstrahlung und entsprechend die thermische Belastung am Tage höher ausfällt. **Straßen, Wege und Plätze** weisen aufgrund ihrer nahezu vollständigen Versiegelung ebenfalls verbreitet thermische Belastungen auf. Bei diesem Flächentyp liegt generell eine große Bandbreite struktureller Ausprägungen vor - von offenen, vollversiegelten Plätzen bis hin zu durch Bäume (oder Gebäude) stark verschatteten Straßenabschnitten. Der Flächenanteil mit extremer Belastung ist mit 1,8 % allerdings ähnlich gering wie innerhalb der Siedlungsflächen (Tabelle 4-5).

Eine mäßige Belastung ist mit einem Anteil von 36,0 % in den eher peripheren Siedlungsflächen mit höherem Anteil mit Schatten spendenden Grünstrukturen zu beobachten. Im Nahbereich zu größeren Baumbeständen zeigt sich häufig deren positive Wirkung für die angrenzende Bebauung. Straßenbäume führen in 43 % des Straßenraums zu einer mäßigen Belastungssituation.

Tabelle 4-5: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete am Tage und abgeleitete Planungshinweise

Belastungssituation	Flächenanteil (%)		Allgemeine Hinweise
	Siedlungsraum	Straßen/Fußwegenetz	
Schwach	0,6	0,7	Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
Mäßig	36,0	43,2	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.
Stark	37,6	33,2	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
Sehr stark	23,6	21,1	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
Extrem	2,2	1,8	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.

Areale mit schwacher Belastung spielen mit einem Flächenanteil von 0,6 % in den Siedlungsflächen bzw. 0,7 % in den Straßenräumen eine untergeordnete Rolle.

Mehr als die Hälfte der **Grünflächen** kann eine mäßige (51,5 %) bzw. schwache (2,1 %) Wärmebelastung zugeschrieben werden, d.h. sie bieten an Sommertagen eine relativ hohe Aufenthaltsqualität und

eignen sich je nach Lage als (potenzielle) Rückzugsorte und Aufenthaltsbereiche für die Bevölkerung (Tabelle 4-6). Dabei handelt es sich vor allem um Waldflächen sowie Parkanlagen mit ausgeprägtem Baumbestand. Die übrigen Flächen im Stadtgebiet wie die landwirtschaftlich genutzten Areale erlauben aufgrund der meist ungehinderten Einstrahlung (unabhängig von der ohnehin fehlenden Zugänglichkeit) keinen Rückzugsort und tragen zu einem Anteil an Grünflächen mit geringer bzw. sehr geringer Aufenthaltsqualität in Höhe von 46,2 % bzw. 0,1 % bei.

Tabelle 4-6: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage und abgeleitete Planungshinweise

Aufenthaltsqualität der Grünflächen	Flächenanteil [%]	Allgemeine Hinweise
Hoch	2,1	Grünflächen mit einem hohen Maß an Verschattung und damit einhergehender hoher Aufenthaltsqualität, die nach Möglichkeit fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), eine gute Erreichbarkeit sollte dahingehend gewährleistet sein.
Mäßig	51,5	Grünflächen mit einem durchschnittlichen Maß an Verschattung, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung) sowie ggf. auszubauen. Zudem kann es sich um siedlungsferne Grünflächen mit hoher Verschattung handeln, die nicht in fußläufiger Erreichbarkeit liegen, aber als Aufenthaltsbereiche am Tage dienen können.
Gering	46,2	Frei- und Grünflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion). Eher schlechte Eignung als Aufenthaltsbereich. Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
Sehr gering	0,1	Freiflächen bzw. siedlungsferne Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung (vorwiegend Rasen- bzw. landwirtschaftliche Nutzflächen). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).

Einen Ausschnitt aus der Bewertungskarte für die Tagsituation ist in Abbildung 4-4 dargestellt. Hier zeichnen sich die nicht mit Bäumen verschatteten Straßenbereiche mit einer sehr starken bis extremen Belastung ab (z.B. Friedrich-Ebert-Straße). Dem stehen die verschatteten Straßenabschnitte gegenüber, welche durchaus eine mäßige Wärmebelastung aufweisen können (z.B. Lindenstraße). In den bebauten Siedlungsflächen dominiert je nach Siedlungstypologie und versiegelten bzw. verschatteten Flächenanteilen eine starke bis sehr starke Belastung. Im Innenstadtbereich ist in der Bebauung an der Joliot-Curie-Straße/Burgstraße eine mäßige Situation zu beobachten, was im Wesentlichen auf den Baumbestand im Außenraum zurückzuführen ist. Auch die peripheren Siedlungsflächen mit ausgeprägtem Baumbestand weisen ebenfalls eine mäßige Belastungssituation auf. Über eine Flächensignatur sind in der Bewertungskarte die bioklimatisch belasteten bzw. unbelasteten Grün- und Versiegelungsanteile gekennzeichnet.

In zahlreichen Grünflächen können Bäume durch ihren Schattenwurf für ein angenehmeres Aufenthaltsklima sorgen, da dieser den Strahlungseinfluss deutlich vermindert. Dahingehend treten die zahlreichen Parkareale im Stadtgebiet Potsdam sowie – bei innenstadtnaher Lage – die Grünfläche am Sowjetischen Ehrenmal mit moderater Wärmebelastung und mäßiger Aufenthaltsqualität hervor.

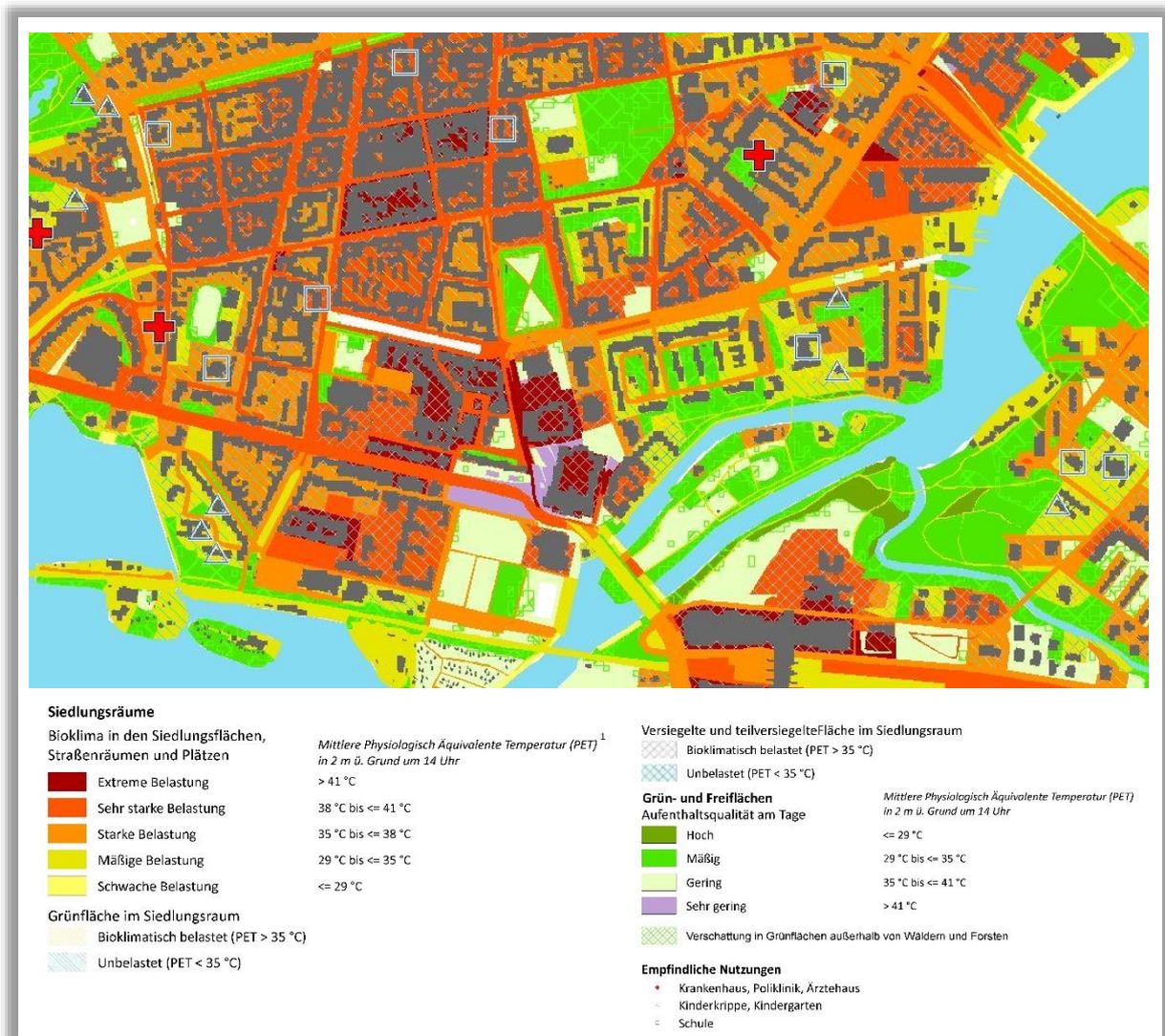


Abbildung 4-4: Bewertungskarte Tagsituation für im Bereich der Innenstadt

Diese Einstufung beruht, wie in Kap. 2.3 beschrieben, auf einer Mittelwertsbetrachtung für die jeweilige Fläche. Daher kann lokal im Bereich von Baumgruppen die Aufenthaltsqualität hoch ausgeprägt sein. Allerdings weist der Platz der Einheit oder auch der Lustgarten aufgrund nur weniger verschattender Bäume eine vorwiegend geringe Aufenthaltsqualität auf. Der geringen Aufenthaltsqualität am Tage steht in den Nachtstunden allerdings die vergleichsweise starke Abkühlung der durch Rasen geprägten Teilflächen gegenüber. Die Bilanzierung der Flächenanteile für die Tagsituation fasst Abbildung 4-5 zusammen.

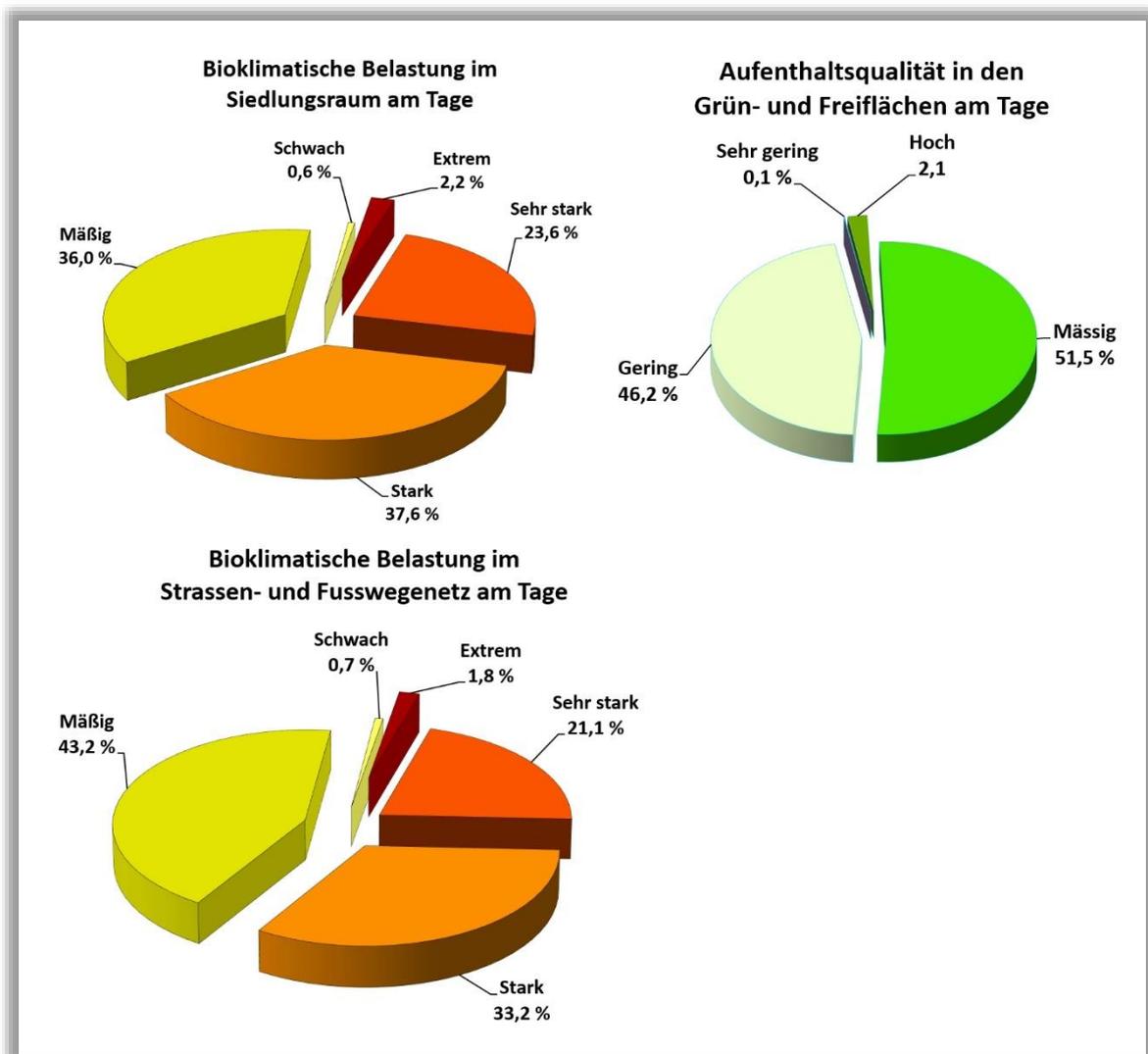


Abbildung 4-5: Flächenanteile der bewerteten Nutzungsstrukturen (Tagsituation)

4.2 Bewertungskartekarte Starkregen

4.2.1 Generelle Hinweise zur Anpassung an Starkregenereignisse

Die Thematik der Starkregenvorsorge bedarf einer Berücksichtigung von den gesamtstädtischen Flächennutzungsplänen bis hin zur B-Plan Ebene. Auf Basis der Starkregengefahrenkarte und der Starkregenrisikokarte (siehe Kapitel 4.2.3) sollten gesamtstädtisch prioritäre Gebiete und damit verbundene Handlungsfenster identifiziert werden, in denen die Umsetzung von Maßnahmen zur Starkregenvorsorge möglich ist. Für diese Handlungsfenster, z. B. Neuauflage des Flächennutzungsplans, beim Straßenumbau, Neugestaltung öffentlicher Grünanlagen, (Um-)Bau öffentlicher Einrichtungen etc., ist es wichtig die Starkregenthematik möglichst früh in den Planungsprozess zu integrieren und die Finanzierung für die Umsetzung der Maßnahmen zu klären. Weiterhin ist zu prüfen, ob die Rechtslage (Planungsrecht, Wasserrecht etc.) eine problemlose Umsetzung dieser Maßnahmen gewährleistet oder ob es möglicherweise zu Konflikten kommen kann. Je nachdem um welchen Flächentyp es sich bei dem betrachteten Gebiet handelt, sollte eine multifunktionale Nutzung der Flächen in Bezug auf eine wassersensible Stadtplanung geprüft werden.

Ein großer Beitrag zur Starkregenvorsorge auf privaten und öffentlichen bebauten Flächen kann durch die Anpassung von B-Plänen geleistet werden. Für jeden B-Plan sollte ein Regenwasserkonzept entwickelt werden, welches Aussagen zu der Versickerungsfähigkeit des Bodens, der Gefällesituation, der Vorflutsituation und auch der Hitzeproblematik und der Wasserhaushaltsbilanz trifft. Weiterhin sollte eine Alternativenprüfung schon in der Bedarfsplanung vor der Vorplanung erfolgen. Auch müssen jegliche Maßnahmen, die in einem B-Plangebiet zur Vorsorge des Starkregens durchgeführt werden sollen, auf ihre Genehmigungsfähigkeit mit den zuständigen Behörden geprüft werden. Weiterhin empfiehlt es sich konsequent ein Konzept zum Überflutungsschutz zu verlangen und über einen rechnerischen oder graphischen Überflutungsnachweis den Überflutungsschutz der einzelnen Planungsgebiete zu sichern. Auch ist es empfehlenswert Festsetzungsvorschläge für den B-Plan auf Basis des bestehenden Planungs- und Wasserrechts zu definieren.

4.2.2 Senken und Fließweganalyse

Die Senkenanalyse kann dazu genutzt werden potentielle Retentionsräume für die Maßnahmen zur Zwischenspeicherung und Versickerung von Regenwasser zu identifizieren. Außerdem können die Ergebnisse dazu dienen, eine erste Einschätzung der Gefährdungssituation vorzunehmen. Wenn zum Beispiel ein Gebiet sowohl in einem Senkenbereich als auch einem Fließweg liegt, lässt sich eine höhere Gefährdung ableiten als bei einem Gebiet welches in einer Höhenlage oder entfernt von Hauptfließwegen liegt.

4.2.3 Starkregenrisikokarte

Aus den Wassertiefen der Starkregengefahrenkarte lassen sich auch Hinweise ableiten. In diesem Projekt wird dazu eine vereinfachte Starkregenrisikokarte genutzt. Eine Risikokarte dient im Vergleich zu einer Gefahrenkarte nicht nur dazu die Eintrittswahrscheinlichkeit und Gefährdung zu visualisieren, sondern auch die Vulnerabilität der einzelnen Gebiete mit einzubeziehen. Um das Risiko für Menschen und deren Besitz zu evaluieren, empfiehlt der LUBW Leitfaden eine Risikoanalyse für die Gebäude im Bearbeitungsgebiet. Kritische Infrastrukturen wie Schulen, Krankenhäuser, Feuerwehrröten und ähnliche sollten in dieser Risikobetrachtung gesondert und intensiv analysiert werden.

In einer vereinfachten Starkregenrisikokarte werden die berechneten Wasserhöhen auf die Gebäude übertragen und anhand des dort auftretenden Wasserstandes farblich nach dem Überflutungsrisiko eingefärbt. Aus dem Rasterdatensatz mit den Wassertiefen werden zunächst alle Höhen unter 10 cm

entfernt, da diese als nicht kritisch für die meisten Gebäude eingestuft werden. Für jedes Gebäude werden anschließend die mittleren Wasserhöhen über ein GIS-Abfrage berechnet. Dabei finden auch die Wasserstände mit bis zu 1 m Abstand zum Gebäude Berücksichtigung. Dieser 1 m-Puffer dient dazu Überschwemmungen, welche nicht exakt an die Gebäude grenzen mit in die Risikobetrachtung einzubinden. Auch diese können zu Schaden im Grundstücks- und Gebäudebereich führen. Das Überflutungsrisiko ergibt sich dann aus dem mittleren Wasserstand an den Gebäuden und lässt sich in drei Kategorien teilen: mäßig (10 – 30 cm), hoch (30 - 50 cm) und sehr hoch (>50 cm) (siehe Abbildung 4-6).

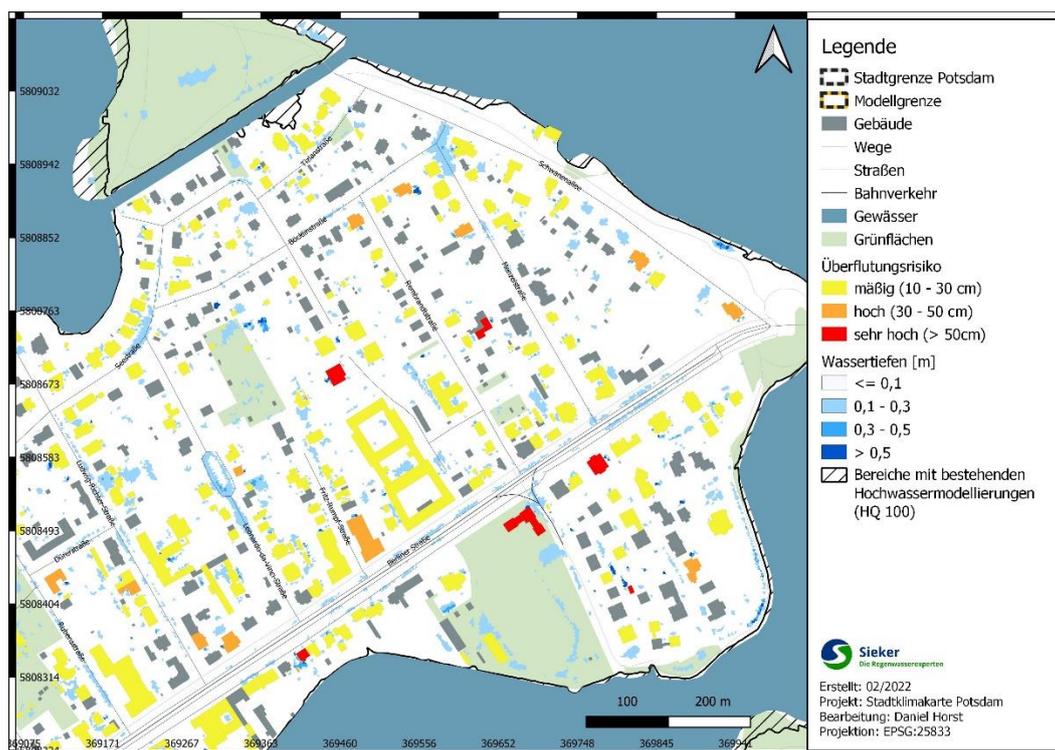


Abbildung 4-6: Darstellung des Überflutungsrisikos in der Berliner Vorstadt - Potsdam

Aus dem generierten Überflutungsrisikolayer lassen sich Hinweise für einzelne Gebäude ablesen und können in Kombination mit einem Datensatz zu kritischer Infrastruktur dazu genutzt werden Maßnahmen an Gebäuden und auf Quartiersebene zu planen. Dabei ist die Priorisierung dieser Maßnahmendurchsetzung der Stadt überlassen.

5 Maßnahmen

5.1 Maßnahmenkatalog Stadtklima

Für Potsdam wurde ein Katalog aus 19 klimaökologisch wirksamen Einzelmaßnahmen zusammengefasst, wobei die Zuordnung bestimmter Maßnahmenensets aus dem Portfolio der 19 Einzelmaßnahmen vom Flächentyp und den Bewertungen in den Bewertungskarten (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt) abhängt. Sie gehen über die in Kapitel 4.1 formulierten allgemeinen Hinweise hinaus und sind als Planungsempfehlungen zu verstehen, die bei Betrachtung einer konkreten Fläche oder spezifischen Maßnahme einer genaueren Überprüfung bedürfen (z.B. beruht die Empfehlung Dachbegrünung auf der stadtklimatischen Situation, ohne zu

berücksichtigen, ob deren bauliche Umsetzung tatsächlich möglich wäre). Die Maßnahmen sind stichpunktartig in Tab. 5.1 beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

- Thermisches Wohlbefinden im Außenraum
- Verbesserung der Durchlüftung
- Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum

Die Wirkung der Maßnahmen wird qualitativ beschrieben, da verifizierte Daten nur sehr vereinzelt für ganz spezielle Fallstudien zur Verfügung stehen. Zum anderen hängt die Wirkung stark von der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen, ihrer Lage im Stadtgebiet sowie der betrachteten vertikalen und horizontalen Entfernung von der Maßnahme ab. Grundsätzlich sind alle Maßnahmen geeignet, den thermischen Stress für die Stadtbevölkerung direkt oder indirekt zu verringern und damit zur Erreichung eines gesunden Potsdamer Stadtklimas beizutragen – werden die Maßnahmen kombiniert, verstärken sich in der Regel die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen.

Soweit möglich sollte der **Grünanteil** im Stadtgebiet erhöht werden, insb. in thermisch belasteten Bereichen (→ M01: Innen-/Hinterhof-Begrünung, → M02: Öffentliche Grünräume schaffen). Wasserversorgte strukturreiche Grünflächen (mit Bäumen, Sträuchern) wirken sich durch ihre Verdunstung positiv auf das Umgebungsklima aus und erhöhen durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität (→ M07: Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können (ab einer gewissen Größe) als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekte zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und zur Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen).

Neben ihrem Potential zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.), übernehmen **Bäume** (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der (vertikale) Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei mehrspurigen Straßen bieten sich begrünte Mittelstreifen zur Baumpflanzung an. Im Bereich von Leitbahnen sollten Verschattungselemente zudem keine Barriere für Kalt- und Frischluftströmungen darstellen und daher möglichst nicht quer zur Fließrichtung angelegt werden. Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen. Dazu zählen die Ahornblättrige Pappel, Eichen oder auch die Gemeine Robinie (CURTIS et al. 2014). Großkronige Laubbäume sind Nadelbäumen vorzuziehen, da sie im Winter geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (vgl. „Projekt Stadtgrün 2021“ der LWG Bayern⁵ oder GALK-Straßenbaumliste⁶).

Maßnahmen zur Verschattung verringern die durch direkte Sonneneinstrahlung bedingte thermische Belastung am Tage. Beschattete Straßen, Fuß- und Radwege oder Parkplätze speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten versiegelten Freiflächen (→ M05: Begrünung und

5 www.lwg.bayern.de/landespflanze/urbanes_gruen/085113/index.php (Abruf 12.08.2019)

6 www.galk.de/index.php/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuuebersicht/strassenbaumliste (Abruf 12.08.2019)

Verschattung von Parkplätzen). Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeineffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden (→ M17: Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen).

Klimaangepasstes Bauen enthält viele der bisher genannten Maßnahmen und ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei Nachverdichtung sind Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Berücksichtigung stadtklimatischer Belange möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die Gebäudeausrichtung zu optimieren und damit den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlafzimmern (oder auch Arbeitszimmer/Büroräume) der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird (→ M19: Anpassung des Raumnutzungskonzeptes). Umso mehr gilt dies für sensible Gebäudenutzungen wie z.B. Krankenhäuser oder Pflegeheime. Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, Vermeidung von Querriegeln zur Strömungsrichtung, ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden; → M11: Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten). Auch die Verwendung geeigneter Baumaterialien lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Auch die Albedo kann über die Wahl entsprechender Baumaterialien beeinflusst werden, so ist die Reflektion der solaren Einstrahlung auf hellen Oberflächen größer, sodass sich diese weniger stark aufheizen (→ M03: Oberflächen im Außenraum klimaoptimiert gestalten). Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungselemente⁷ oder energetische Sanierung⁸ sind dagegen auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude (→ M15, M16, M17, M18).

Bei **Nachverdichtung** sollten die Belange klimaangepassten Bauens berücksichtigt werden (insb. die Gewährleistung einer guten Durchlüftung). In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei die aus stadtklimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss. Um Nachverdichtung möglichst klimaverträglich zu gestalten, ist die sogenannte *doppelte Innenentwicklung* in den Blickpunkt geraten (BfN 2016). Ziel ist es, die Flächenreserven im Siedlungsraum nicht nur baulich, sondern auch mit Blick auf das urbane Grün zu entwickeln. Damit bildet diese auch Schnittstellen zum Städtebau, der Freiraumplanung und dem Naturschutz. Dahingehend weisen vor allem die Siedlungsflächen mit geringer bis mäßiger nächtlicher Überwärmung ein Entwicklungspotenzial auf. Dabei handelt es sich vor allem um Bebauungstypologien mit Reihenhaus- und Zeilenbebauung. Aufgrund des im Vergleich zu Innenstadtlagen geringen Überbauungsgrad bieten sich Chancen, im Zuge einer weiteren Verdichtung auch Grünareale mit hoher Aufenthaltsqualität am Tage zu realisieren. Die Nachverdichtung im Innenstadtbereich bietet das Potenzial, gleichzeitig auch Maßnahmen zur Hitzeminderung und Niederschlagsmanagement einzubinden. Damit könnte die (stadtklimatische) Situation gegenüber dem Ausgangszustand trotz Nutzungsintensivierung erhalten bleiben sogar verbessert werden.

Eine räumliche Zuordnung der in Tab. 5-1 zusammengestellten Maßnahmen kann näherungsweise über die Belastungssituation am Tage bzw. in der Nacht erfolgen. So sind Maßnahmen zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität im Freien vor allem dort prioritär, wo die thermische Belastung sehr stark

⁷ Bäume, Vordächer, Markisen, Jalousien/Außenrollos, Sonnensegel, Sonnenschutzglas, etc.

⁸ Wirkt nicht nur Energieverlusten im Winter entgegen, sondern auch gegen übermäßiges Aufheizen der Fassaden im Sommer.

ausgeprägt ist (vgl. Bewertungskarte Tagsituation: Aufenthaltsqualität). Gleiches gilt für den gebäudebezogenen Wärmeschutz.

Mit Blick auf die Verbesserung der Durchlüftung in den Nachtstunden sind Maßnahmen in Bereichen mit ausgeprägter nächtlicher Überwärmung bzw. ungünstigen / sehr ungünstigen Bedingungen sinnvoll. Einige dicht bebaute Siedlungsflächen in der Potsdamer Kernstadt weisen allerdings sowohl am Tage als auch in der Nacht bioklimatisch ungünstige Bedingungen auf. In den Bereichen ohne nennenswertes Einwirken von Kaltluft kommt mit Blick auf das stark versiegelte Umfeld der flächeninternen Abkühlung eine besondere Rolle zu: Durch ein günstiges „Binnenklima“ wird die Überwärmung während sommerlicher Hitzeperioden insgesamt abgefedert. Dies kommt sowohl dem Aufenthalt im Freien am Tage als auch einem erholsamen Schlaf in nur mäßig überwärmten Wohnräumen zugute.

Die in Tab. 5-1 aufgeführten empfohlenen Maßnahmen adressieren unterschiedliche Vollzugsebenen, die grob dargestellt sind. Neben den übergeordneten Planungsebenen Gesamtstädtischen Planung bzw. Flächennutzungsplanung betreffen einige Maßnahmen die mehr auf Umsetzung orientierten Planungsebenen (z.B. Bauleitplanung, raumbedeutsame Fachplanungen), zum überwiegenden Teil jedoch die Vorhabenebene, also die Bauherren direkt, die eine entsprechende Beratung zu den erarbeiteten Maßnahmen erhalten sollten. Innerhalb der Stadtverwaltung können diese Maßnahmen unterschiedlichen Ebenen zugeordnet und somit an mehrere Organisationseinheiten adressiert werden. Die entsprechenden Fach-/Bereiche sollten aufgrund ihrer Zuständigkeiten inhaltlich und im Weiteren zur praktischen Umsetzung beteiligt werden. So betrifft beispielsweise die Schaffung, der Erhalt, die Pflege von Grünanlagen, Großgehölzen usw., aber auch der Erhalt von Kaltluftentstehungsgebieten und -schneisen sowohl die Flächennutzungsplanung im Fachbereich Stadtplanung, als auch den Fachbereich Klima, Umwelt, Grünflächen.

Planungsprozesse für eine zukünftige klimawandelangepasste Stadtentwicklung finden auf übergeordneter Ebene statt. Die Beratung zu und Umsetzung von konkreten Maßnahmen – im Bestand oder für Neubauvorhaben – erfolgen integriert in der Fläche und im Siedlungsraum unterstützt durch die entsprechenden Facheinheiten.

Tabelle 5-1: Empfehlungen raumeinheitenspezifischer stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Potsdam

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung	Vollzugsebene
THERMISCHES WOHLBEFINDEN IM AUSSENRAUM					
01	Innen-/Hinterhofbe- grünung	Vegetation und Entsiegelung	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Hinterhöfe	<ul style="list-style-type: none"> Vorhabenebene
02	Öffentliche Grün- räume im Wohn- und Arbeitsumfeld schaf- fen	Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts Vernetzung von Grünflächen Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten)	<ul style="list-style-type: none"> Gesamtstädtische Planung/FNP Vorhabenebene
03	Oberflächen im Au- ßenraum klimaopti- miert gestalten	Helle Farben (insbesondere von Dächern) und Baumaterialien, die wenig Wärme speichern	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts 	Dächer (Neubau und Bestand), ggf. Straßen, Wege, Plätze	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene Vorhabenebene
04	Entsiegelung	Rasenflächen oder Teilversiegelung (Schotter, Rasengittersteine, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und insb. nachts Synergien zum Niederschlagsmanagement 	Straßen, Wege, Plätze, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene Vorhabenebene
05	Bäume im Straßen- raum erhalten und neu pflanzen	Bäume oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung der Haltestellen, Sonnensegel, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber und nachts 	Straßen, Wege, Plätze	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene Vorhabenebene

06	Begrünung und Verschattung von Parkplätzen	Bäume, Sträucher oder Überdachung	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber und nachts Deposition und Filterung von Luftschadstoffen Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Parkplätze	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene Vorhabenebene
07	Öffentliche Grünflächen entwickeln und optimieren	Vielfältigkeit der Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)	<ul style="list-style-type: none"> Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts Synergien zur Biodiversität 	Grün- und Freiflächen, Straßen, Wege, Plätze	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene Vorhabenebene
08	Schutz bestehender Parks, Grün- und Waldflächen	<ul style="list-style-type: none"> Bedeutung für den Kaltlufthaushalt Wichtige Funktionen für die Erholung, Biodiversität und Niederschlagsmanagement 	Grün- und Freiflächen (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)	<ul style="list-style-type: none"> Gesamtstädtische Planung/FNP Vorhabenebene 	
09	Offene, bewegte Wasserflächen schützen, erweitern und anlegen	<ul style="list-style-type: none"> Stadtklimafunktion größerer Fließ- und Standgewässer Rauhigkeitsarme Ventilationsbahnen, über die v.a. bei allochthonen Wetterlagen Kalt- und Frischluft transportiert wird Während der Sommermonate und speziell Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld tagsüber kühlend (auch kleinere Gewässer, Wasserspielplätze oder Brunnen in Parks) Oberflächennahe Temperatur kann nachts über der umgebenden Lufttemperatur liegen und eine Wärmeabgabe bewirken 	Gewässer, Grün- und Freiflächen	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene Vorhabenebene 	
10	Ausbau sozialer Infrastruktur und Netzwerke	Partizipative Projekte (z.B. Quartiersmanagement) oder aus Bevölkerung heraus (z.B. Trinkpatenschaften, <i>Urban Gardening</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Minderungen der Vulnerabilität der Quartiersbevölkerung gegenüber thermischem Stress 	(thermisch belastete) Quartiere hoher Einwohnerdichte	<ul style="list-style-type: none"> Planungsebene

VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG

11	Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten	Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung ▪ Reduktion des Wärmestaus 	Neubau, Gebäudekomplexe (auf winterliche Behaglichkeit in den Innenräumen achten)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planungsebene
12	Entdichtung (Rückbau)	Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts ▪ Verbesserung der Durchlüftung ▪ Synergien zum Niederschlagsmanagement 	Blockinnenhöfe (Garagen, Lagerhallen, ggf. Industrie- und Gewerbebrachen, Bahnanlagen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhabenebene
13	Vermeidung von Austauschbarrieren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klimaökologische Belange anpassen ▪ Schutz des Luftaustauschsystems 	Grün- und Freiflächen, gut durchlüftete Wohn- und Gewerbeflächen, Straßen, Wege, Plätze	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtstädtische Planung/FNP ▪ Planungsebene 	
14	Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schutz vor stärkerer Überwärmung und Verschlechterung der Durchlüftung ▪ Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, Felder, Kleingärten und Parklandschaften (im Außen- und Innenbereich), die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben ▪ Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft ▪ Synergien zur Biodiversität 	Grün- und Freiflächen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamtstädtische Planung/FNP ▪ Vorhabenebenen 	

REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM

15	Dachbegrünung	Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung des Innenraumklimas ▪ Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich ▪ Synergien zum Niederschlagsmanagement, Biodiversität und Klimaschutz 	Flachdächer, ggf. flach geneigte Dächer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhabenebene
16	Fassadenbegrünung	Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas ▪ Synergien zur Luftreinhaltung, Biodiversität, Lärm- und Gebäudeschutz 	Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhabenebene
17	Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen	Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie, geeignete Raumlüftung (Verhalten der Bewohner)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wirkung tagsüber und nachts ▪ Verbesserung des Innenraumklimas ▪ Synergien zum Klimaschutz 	Gebäude, v.a. Südfassaden und in Bezug auf Fenster- und sonstige Glasflächen (Neubau und Bestand)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhabenebene
18	Gebäude energetisch sanieren und klimagerecht kühlen	Dämmung von Gebäuden, Erhöhung der Albedo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In erster Linie Klimaschutzmaßnahme ▪ Verbesserung des Innenraumklimas tagsüber 	Gebäude (Bestand)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorhabenebene
19	Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Nutzung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden ausrichten (z.B. Schlaf-, Arbeits-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen) 	Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (vorwiegend Neubau)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planungsebene ▪ Vorhabenebene

oder von Risikogruppen ge-
nutzte Zimmer (etwa im Kran-
kenhaus))

WEITERE HINWEISE ZUR AUFENTHALTSQUALITÄT VON GRÜNFLÄCHEN

Eine intensive Begrünung des Straßenraums und die Aufwertung der Bestandsbebauung mit Bäumen steigern die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Damit das Gehen/Radfahren im Schatten ermöglicht. Dieser Aspekt hat vor allem deshalb Relevanz, die siedlungsnahen Grünflächen an Sommertagen mit starker solarer Einstrahlung zu verbessern.

Im Übergangsbereich einer Grünfläche zur Bebauung sollte allerdings auf dichte Vegetationselemente wie Gehölze und Hecken verzichtet werden, da diese die bodennahe Kaltluftströmung beeinträchtigen können. Ein weiteres klimaausgleichendes Gestaltungselement können Brunnenanlagen in Platzbereichen bzw. Freiflächen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen können kleinräumig durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden und die Aufenthaltsqualität im Freien verbessern. Für die strukturelle Ausgestaltung der Grünanlage lassen sich die folgenden Hinweise geben.

Innerstädtische Grün- und Freiflächen sollten möglichst vielfältige Mikroklimata bereitstellen, wobei als Leitbild der erweiterte „Savannentyp“ dienen kann (KUTTLER 2013). Er besteht zu einem großen Anteil aus gut wasserversorgten Rasenflächen und kleinen Baumgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse), Hügel Landschaften, verschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten sowie weiteren Strukturmerkmalen (Beete, Rabatten, Blumenwiesen, Sukzessionsflächen) angereichert sind (Abbildung 5-1). Ziel sollte sein, möglichst vielgestaltige „Klimaoasen“ zu schaffen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedlichen Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen. Durch diese heterogene Anordnung wird sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Abkühlung der Luft als auch der Aufenthalt am Tage für alle Zielgruppen optimiert ist.



Abbildung 5-1: Klimatisch günstige Ausgestaltung von Freiflächen

5.1.1 Berücksichtigung von Maßnahmen zur Hitzeminderung in Planungsprozessen

Vor dem Hintergrund der wichtigen Rolle des (Stadt-) Klimas in der räumlichen Planung sind die vorliegenden Fachinformationen eine bedeutsame Information zum sachgerechten Umgang mit diesem Schutzgut. Ziel sollte sein, die gewonnenen Erkenntnisse als neues Abwägungsmaterial in die gängigen Planungs- und Entscheidungsprozesse der Stadt einzuspeisen. Optimalerweise können Aspekte der Klimaanpassung in der Zukunft bei allen Planungen in Potsdam frühzeitiger und kontinuierlicher als bisher berücksichtigt werden, ohne den Verwaltungsaufwand spürbar zu erhöhen.

Insbesondere die Verwaltungseinheiten der Landeshauptstadt Potsdam für Stadtplanung und Umweltbelange übernehmen dabei eine tragende, koordinierende Rolle. Die Vorsorge vor den Risiken des Klimawandels stellt keine alleinige Aufgabe der Umweltplanung dar. Vielmehr erfordert sie eine stadtplanerische Koordinierung und Unterstützung. Dabei geht es darum, räumlich konkrete Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen zu kombinieren und in enger Abstimmung mit den Fachbereichen oder -ämtern (u.a. Mobilität und technische Infrastruktur, Grünflächen, etc.) oder auch dem Kommunalen Immobilienservice für die städtischen Liegenschaften zu verfolgen.

Mit der Novelle des Baugesetzbuches 2011 hat der Bund der Klimaanpassung sowohl im „Allgemeinen“ als auch im „Besonderen Städtebaurecht“ einen höheren Stellenwert eingeräumt. Zunächst wurde durch die neue Klimaschutzklausel im § 1a Abs. 5 BauGB den Klimabelangen bei der planungsrechtlichen Abwägung ein zusätzliches rechtliches Gewicht verliehen und die Stadtplanung dazu veranlasst, die Koordinierungs- und Steuerungsfunktion der Bauleitplanung voll auszuschöpfen, um den in § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB geforderten „allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse

und die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung“ mit Hilfe integrierter zukunftsgerichteter Anpassungskonzepte für die Stadt- und Infrastrukturplanung gerecht zu werden.

Darüber hinaus wurden die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung im Rahmen der Novellierung 2011 auch in die Vorschriften des §171a BauGB zum Stadtumbau integriert. Während bis dato die für Stadtumbaumaßnahmen erforderlichen „erheblichen städtebaulichen Funktionsverluste“ in der Regel insbesondere dann vorlagen, „wenn ein dauerhaftes Überangebot an baulichen Anlagen für bestimmte Nutzungen, namentlich für Wohnzwecke“ bestand oder zu erwarten war, sind solche Verluste seit der Gesetzesänderung auch dann gegeben, „wenn die allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung nicht erfüllt werden“ (§171a Abs. 2 BauGB). Als Beispiele für derartige Funktionsverluste können in diesem Zusammenhang ein erhöhter Energiebedarf für Gebäude oder eine hohe Anfälligkeit gegenüber Hitze oder Starkregenereignissen genannt werden.

Mit den genannten Zielen und Grundsätzen im BauGB sind bundesrechtlich die ersten Weichen für eine kontinuierliche Betrachtung der Klimaanpassung im Rahmen der Bauleitplanung und somit für eine klimagerechte Stadtentwicklung in Potsdam gestellt. Ausgehend von den im Rahmen der Konzepterstellung gewonnenen neuen Erkenntnissen zur räumlichen Betroffenheit der Stadt, sollten zukünftig anpassungsrelevante Aspekte (z.B. die Bewertungskarten zum Stadtklima und zum Starkregen) im Rahmen der planerischen Abwägung ergänzend berücksichtigt werden. Dabei ist zu prüfen, inwieweit die räumlichen Planungen und Maßnahmen den Anforderungen der Klimaanpassung entsprechen, ob klimawirksame Bereiche (Kaltluftentstehungsgebiete, Leitbahnen, Niederschlagsabflusswege etc.) beeinträchtigt werden und ob die Wirkungen des Klimawandels durch planerische Modifikationen oder geeignete Maßnahmen minimiert werden können. Bei größeren Planungen und Entwicklungsprojekten können unter Umständen in Einzelfällen noch zusätzliche Fachgutachten erforderlich sein, welche die gesamtstädtischen Hinweise für den betrachteten Planungsraum konkretisieren (z.B. ein Begleitplan zur Starkregenvorsorge oder kleinräumliche mikroklimatische Analysen). Hierfür sollten entsprechende finanzielle und personelle Mittel bereitgestellt werden.

Abgesehen von der Bauleitplanung handelt es sich bei der Klimaanpassung bislang um keine etablierte kommunale Pflichtaufgabe, die in Planungsverfahren standardmäßig bearbeitet werden muss. Um der Forderung nach einem vorsorgenden planerischen Umgang mit den erwarteten Klimafolgen auch in Planungsverfahren außerhalb der Bauleitplanung nachzukommen, sollten verwaltungsinterne Verfahrensregeln für die Kooperation zwischen den beteiligten Fachbereichen erarbeitet werden. Es gilt klar festzulegen, wo und wie die Belange der Klimaanpassung frühzeitig in den Prozessen der stadt-, straßen- und freiraumplanerischen Projekte und Planungen (z.B. Rahmenpläne, städtebauliche Verträge, städtebauliche Wettbewerbe, Straßenausbaupläne etc.) berücksichtigt werden können. Insbesondere bei Neubaumaßnahmen können neue Standards (z.B. Straßenprofile, Leitungsverlegung, Begrünung, Baumauswahl und -dimensionierung Oberflächenabfluss) vereinbart werden. Im Siedlungsbestand sind die Spielräume dagegen – abgesehen von Grundinstandsetzungen von Straßen und Freiräumen – in vielen Fällen begrenzt.

Es wird angeregt, Empfehlungen in Form von Standards, Kriterienkatalogen oder Checklisten zu erarbeiten, um die Klimaanpassung künftig zu einem festen Bestandteil in räumlich und stadtklimatisch relevanten Planungs- und Entscheidungsprozessen in Potsdam werden zu lassen. Neben den formellen (bauleitplanerischen) Verfahren sollen diese Empfehlungen auch für sonstige Planungsverfahren wie z.B. Rahmenpläne, Baulandmanagement, Städtebau- und Hochbauwettbewerbe, öffentliche Bauvorhaben und Ausschreibungen sowie für die Gebäudebewirtschaftung herangezogen werden. Sie sollen Perspektiven aufzeigen und ein einheitliches, abgestimmtes Vorgehen in Bezug auf Klimaanpassung innerhalb der Verwaltung und in der Zusammenarbeit mit externen Akteuren (z. B. privaten Dienstleistern und Planungsbüros) erleichtern. Dazu sollen – aufbauend auf vorhandene Leitfäden und Checklisten aus anderen Städten – greifbare Planungsanforderungen und Vereinbarungen formuliert werden,

die im Sinne einer Praxis- und Argumentationshilfe aufzeigen, wie Klimaanpassungsbelange konkret in Planungsverfahren berücksichtigt und argumentiert werden können. Zusätzlich sollten vorhandene Instrumente (z.B. Baumliste, örtliche Satzungen etc.) wenn möglich um Klimaanpassungsaspekte ergänzt werden.

Die Anwendung der Empfehlungen zur Klimaanpassung soll keinen starren Rahmen vorgeben, sondern weiterhin einen flexiblen Umgang mit den unterschiedlichsten planerischen Rahmenbedingungen ermöglichen. Die Hinweise sollen Planungs- und Abwägungsprozesse in Potsdam eher erleichtern, statt zusätzlich Arbeitsaufwand zu erzeugen. In erster Linie sollen sie zu einer Sensibilisierung für das Thema Hitzeminderung auf allen Arbeitsebenen beitragen. Die zentrale Voraussetzung für ein einheitliches Vorgehen in Bezug auf das Schutzgut Klima innerhalb Stadtverwaltung ist allerdings erst dann gegeben, wenn das Thema auch auf politischer Ebene hoch angesiedelt und explizit kommuniziert wird. Politische Grundsatzbeschlüsse wie die Erklärung des Klimanotstands können als Ausgangspunkt die Etablierung zusätzlicher für den Anpassungsprozess wirkungsvoller Strukturen erleichtern. Wesentlich für die Umsetzung des Anpassungskonzeptes der Stadt Potsdam ist daher auch, dass die Handhabung der Empfehlungen (z.B. Checklisten, Standards, Grünfaktoren) zum vorsorgenden Umgang mit Klimawandelfolgen in Planungsprozessen in der kommunalen Politik legitimiert wird. Daher wird ein politischer Beschluss der Maßnahmen bzw. Hinweise als allgemeingültiger Auftrag an die Verwaltung empfohlen. Dieser sollte im Zusammenhang mit einer allgemeinen Leitbilddiskussion zur klimagerechten Stadtentwicklung in Potsdam stehen.

Eine Ausnahme hinsichtlich der Einflussmöglichkeiten der Stadt auf Planungsprozesse stellen bislang die (landesrechtlich geregelten) Baugenehmigungsverfahren dar. Obwohl in diesem Handlungsfeld erhebliche Potenziale für die Klimaanpassung (bzw. für die Hitzevorsorge und für den Objektschutz) liegen, bleiben die Steuerungsmöglichkeiten der Stadt Potsdam hier sehr beschränkt. Anders als z.B. der Brandschutz sind stadtklimatische Aspekte (insb. Hitze) oder die Überflutungsgefährdung von Gebäuden in der brandenburgischen Landesbauordnung (bislang) kein Prüfkriterium für Genehmigungsverfahren. Während die baurechtliche Zulassung klaren Regeln unterliegt, werden, wie auch in den anderen Bundesländern, Fragen der Klimaanpassung derzeit nicht behandelt. Allerdings geht mit der Novellierung der Bauordnung im Dezember 2020 die Einführung eines Satzungsrechts zu Gebäudebegrünung und Schottergärten einher und stärkt damit die Umsetzungsmöglichkeit auf Gemeindeebene. Im Kontext der aktuellen bauordnungsrechtlichen Bestimmungen kann die Stadt darüber hinaus nur über informelle Bauberatung (z.B. Bereitstellung von Hinweisen über Überflutungsgefahren, Empfehlungen zur Hitzevorsorge und zum Objektschutz) Einfluss auf klimaangepasste Bauweisen nehmen. Von entscheidender Bedeutung für eine Verstetigung ist daher, dass dem Bauaufsichtsamt und allen anderen beratenden Stellen in der Stadtverwaltung die klimarelevanten Grundlagendaten (z. B. die Stadtklima- und Starkregenanalyse) als Hinweise und als Abwägungsmaterial im WebGIS der Stadt Potsdam bereitgestellt werden.

Ebenso wichtig ist es, eine intensive Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen, um auch Private nachhaltig für die Folgen des Klimawandels, für lokale Betroffenheit von Grundstücken und für die Anpassungsmöglichkeiten zu überzeugen. Bei der Sensibilisierung von Bauherren und Gebäudeeigentümern sollte dabei der Ansatz des „Förderns“ und des „Forderns“ verfolgt werden. Durch ein Förderprogramm für Neubauten und Bestandssanierungen können z.B. Anreize für die Gebäude- oder Grundstücksbegrünung gesetzt werden. Unter dem Aspekt „Fordern“ werden dagegen rechtliche Instrumente wie etwa das Abwassergesetz (z.B. über Gebühren oder Einleitbegrenzungen), das Naturschutzgesetz (Ausgleichsmaßnahmen) oder die Landesbauordnung (z.B. über Satzungen) genutzt, um den Ausbau von Grün in der Stadt voranzutreiben.

5.2 Maßnahmenkarte Stadtklima

Die Maßnahmenkarte Stadtklima fokussiert sich auf die in den Bewertungskarten (Nacht und Tagsituation) dargestellte Empfindlichkeit der Siedlungsräume und verfolgt den Ansatz, über die festgestellte bioklimatische Belastungssituation hinaus merkmalsorientierte Hinweise zur Minderung der Wärmebelastung zu geben. Während in der Bewertungskarte Tagsituation die bioklimatisch belasteten Flächenanteile konkret herausgestellt werden, soll in einem weiteren Schritt die Siedlungsflächen mit prioritärem Bedarf an Maßnahmen identifiziert werden.

Hinweis: Die Flächenkulisse spiegelt möglicherweise nicht alle aktuellen Flächenentwicklungen bzw. Detailplanungen wider, zu denen auch Nachverdichtungen gehören können. Die zugeordneten Hinweise orientieren sich allein auf die baustrukturellen Gegebenheiten, aus denen sich die Überwärmung am Tage und/oder in der Nacht ergibt. Sie berücksichtigen auch nicht die tatsächliche Nutzung der Fläche. Dieser Aspekt sollte dann im Rahmen des Planverfahrens näher beleuchtet werden. Dies bedeutet, dass im Kontext der klimatischen Empfindlichkeit des Planraumes sowie unter Berücksichtigung der Art der Nutzung die Möglichkeit einer Maßnahmenumsetzung individuell eingeschätzt wird (z.B. wenn geplante Gebäude eine abriegelnde Wirkung den Kaltluftstrom erwarten lassen). Die Karte liegt auch digital im WebGIS vor, so dass die zugeordneten Hinweise dort abgerufen werden können oder höher aufgelöste Detailausschnitte ausgegeben werden können.

Als wesentliche Merkmale werden die Versiegelungssituation und der Überbauungsgrad analysiert. Die im Umweltmonitoring erfassten Flächentypen der Biotoptypenkartierung (Stand 2016) enthalten dazu differenzierte Angaben, die für eine Analyse gut genutzt werden können. Die Gesamtversiegelung sowie die bebauten und unbebauten Versiegelungsanteile fasst Abbildung 5-2 zusammen. Wie zu erwarten ist die prozentuale Gesamtversiegelung in der Einzel- und Reihenhausbauung sowie Villen- und allgemeiner Wohnbebauung mit deutlich weniger als 40 % am geringsten ausgeprägt. Dem stehen die stärker versiegelten bzw. überbauten Typologien wie die Bebauung der Altstadt oder moderner Stadtkern gegenüber, welche eine durchschnittliche Gesamtversiegelung von mehr als 80 % aufweisen (blaue Balken).

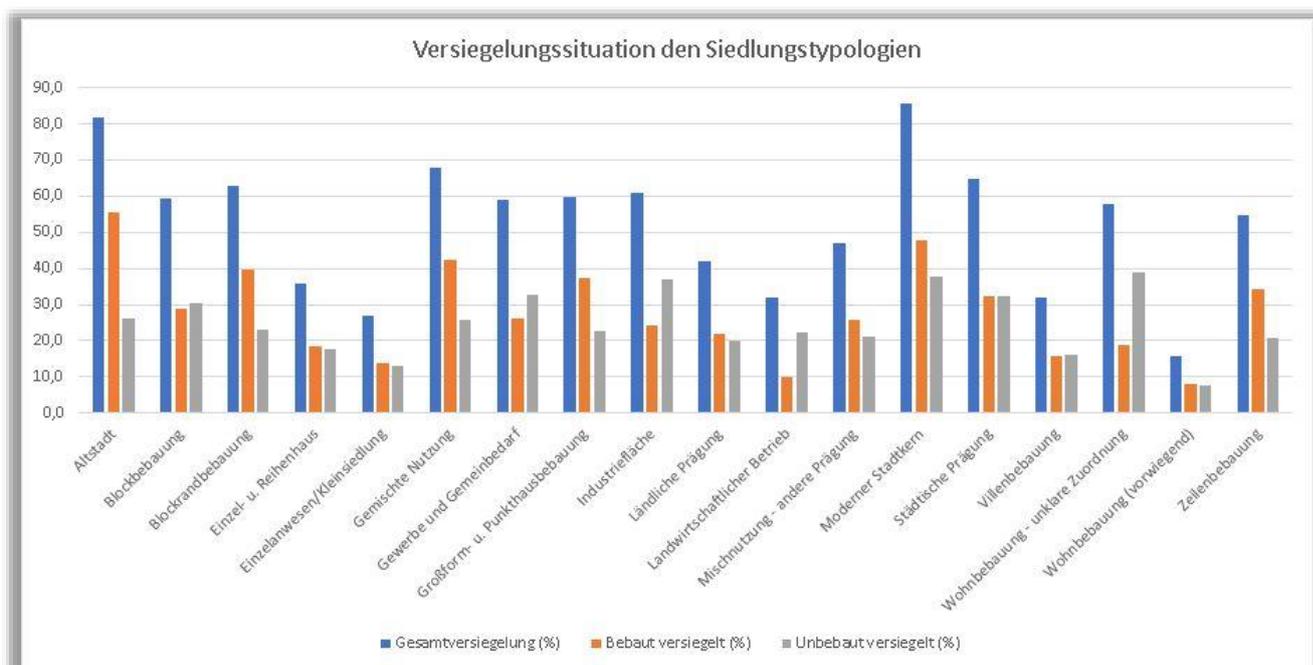


Abbildung 5-2: Versiegelungssituation in den Siedlungstypologien (Quelle: Umweltmonitoring Stadt Potsdam Stand 2016)

Um die Frage beantworten zu können, an welcher Stelle eine Flächenentsiegelung oder sogar ein Rückbau potenziell sinnvoll ist, kann die Abweichung von den durchschnittlichen Verhältnissen herangezogen werden. In Anlehnung an das in Kap. 2.4.4 beschriebene Verfahren zur Z-Transformation wurde die Abweichung von der mittleren Versiegelungssituation je Siedlungstypologie betrachtet. Bei der unbebauten Versiegelung gilt mehr als 25 % über dem Mittelwert als überdurchschnittlich. Bei gleichzeitigem Vorliegen einer Belastungssituation wird eine Entsiegelung empfohlen. Eine bebaute Versiegelung, welche mehr als 50 % über dem Mittelwert liegt, wird als hoch angesehen. Damit geht bei einer bioklimatischen Belastung die Empfehlung von Maßnahmen zur Entdichtung bzw. Rückbau einher. Konkret werden in der Maßnahmenkarte die folgenden Inhalte dargestellt:

Geringes Belastungsniveau

- Keine Belastung: keine unmittelbare Notwendigkeit von Maßnahmen gegeben. Eine Überwärmung am Tage oder in der Nacht liegt nicht vor.
- Thermische Belastung in der Nacht: Dabei handelt es sich meist um kleinere Areale im Nahbereich größerer Gewässer, was zu einer verringerten Abkühlung in den Nachtstunden führt. Weitere Maßnahmen sind hier nicht notwendig.

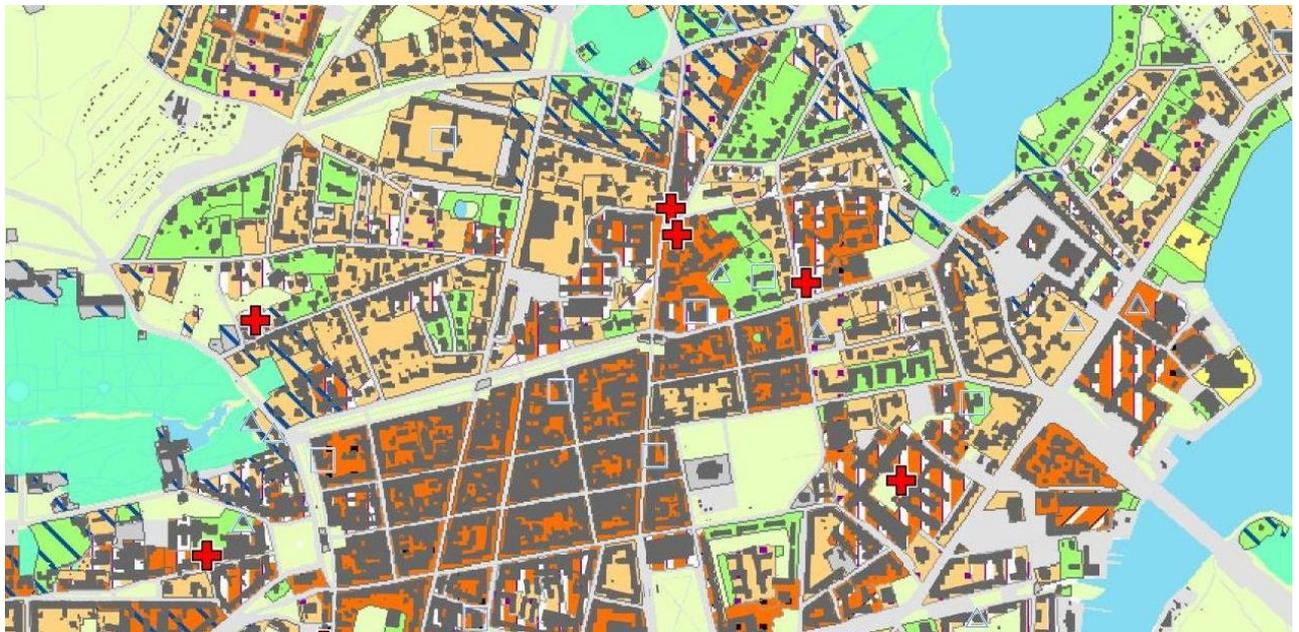
Thermische Belastung am Tage bzw. am Tage und in der Nacht

Hier liegt die in der Bewertungskarte Tag bzw. Nacht festgestellte Belastungssituation zugrunde. Allgemein gilt, dass bei Vorliegen einer Belastung sowohl am Tage als auch in der Nacht ein hohes Belastungsniveau vorliegt.

- Bei durchschnittlicher Versiegelungssituation wird u.a. eine gebäudenahe Verschattung durch Bäume oder Sonnensegel empfohlen. Es sollte geprüft werden, inwieweit die baulichen Voraussetzungen eine Dach- und Fassadenbegrünung ermöglichen. Zudem kann eine Erhöhung der Oberflächenalbedo durch helle Farben eine Erwärmung der Oberflächen reduzieren. Das gesamte Maßnahmenportfolio wird in Tab. 6.7 (S. 39) zusammengefasst.
- Liegt zudem eine überdurchschnittlich hohe Oberflächenversiegelung auf, sind darüber hinaus Maßnahmen zur Entsiegelung sinnvoll.
- Sofern bei bestehender Belastung auch ein überdurchschnittlich hoher Überbauungsgrad vorliegt, werden Maßnahmen zu Rückbau bzw. Entdichtung empfohlen.
- Bei Siedlungsflächen mit gleichzeitig hoher Versiegelung und Überbauung können Maßnahmen zur Entsiegelung und Rückbau/Entdichtung erforderlich sein.

An Kaltluftleitbahn angrenzende Siedlungsfläche

In diesen Bereichen sollte eine geschlossene Randbebauung vermieden werden, um auch weiterhin das Einwirken nächtlicher Kaltluft zu ermöglichen. Bei einer Neubebauung sollten die Gebäude möglichst an der Kaltluftströmung ausgerichtet werden und die Bauhöhen im Übergangsbereich zum Grünraum hin möglichst gering gehalten werden. Die Leitbahnkorridore innerhalb von Grünflächen werden mit einer eigenen Signatur ausgewiesen. Abbildung 5-3 zeigt einen Ausschnitt aus der Maßnahmenkarte für den Bereich der Innenstadt.



Bioklimatische Situation in den Siedlungsflächen^{1,2}

- Keine Belastung**
Keine unmittelbare Notwendigkeit von Maßnahmen gegeben.
- Thermische Belastung in der Nacht**
Die Siedlungsflächen befinden sich im Nachbereich von Gewässern (< 50 m). Dies führt in den Nachtstunden zu einer verringerten Abkühlung. Keine Notwendigkeit von Maßnahmen.

Thermische Belastung am Tage

- Gebäudenahe Verschattung durch Bäume o. Pergola; Je nach baulichen Voraussetzungen Dach- u. Fassadenbegrünung; Erhöhung der Oberflächenalbedo durch helle Farbe.
- Darüber hinaus überdurchschnittlich hohe Oberflächenversiegelung. Maßnahmen zur Entsigelung empfohlen.
- Neben der Wärmebelastung liegt ein überdurchschnittlich hoher Überbauungsgrad vor. Rückbau bzw. Entdichtung werden empfohlen.
- Siedlungsfläche mit Wärmebelastung am Tage sowie überdurchschnittlich hoher bebauter und unbebauter Versiegelung. Maßnahmen zur Entsigelung sowie Rückbau und Entdichtung empfohlen.

Thermische Belastung am Tage und in der Nacht

- Hohes Belastungsniveau, daher sind Maßnahmen in diesen Siedlungsflächen prioritär. Gebäudenahe Verschattung durch Bäume o. Pergola; Je nach baulichen Voraussetzungen Dach- u. Fassadenbegrünung; Erhöhung der Oberflächenalbedo durch helle Farbe.
- Darüber hinaus überdurchschnittlich hohe Oberflächenversiegelung. Maßnahmen zur Entsigelung empfohlen.
- Neben der Wärmebelastung liegt ein überdurchschnittlich hoher Überbauungsgrad vor. Rückbau bzw. Entdichtung werden empfohlen.
- Siedlungsfläche mit Wärmebelastung am Tage sowie überdurchschnittlich hoher bebauter und unbebauter Versiegelung. Maßnahmen zur Entsigelung sowie Rückbau und Entdichtung empfohlen.
- An Kaltluftleitbahn angrenzende Siedlungsfläche.**
Geschlossene Randbebauung vermeiden. Bei Neubebauung Baukörperstellung beachten und Bauhöhen im Kontaktbereich niedrig halten

- Keine Bewertung
- Leitbahnkorridor in Grünflächen
- Übrige Grünflächen im Stadtgebiet Potsdam

Abbildung 5-3: Maßnahmenkarte Stadtklima für den Bereich der Innenstadt

Es zeigt sich, dass in Richtung auf die Innenstadt die bauliche Dichte und damit auch das thermische Belastungsniveau ansteigen. Während in einem Teil der eher gering überbauten Siedlungsflächen im Umfeld des Heiliger Sees keine Belastung (Grün) bzw. diese nur am Tage auftritt (Beige), ist ein Großteil der Innenstadt sowohl am Tage als auch in der Nacht thermisch belastet (Orange). Teilflächen entlang der Berliner Straße weisen zudem einen hohen Überbauungsgrad mit Bedarf an Entdichtung auf (Vertikalschraffur). Die Bebauung östlich der Puschkinallee grenzt an den Waldpark als Kaltluftleitbahn an, so dass die Randbebauung in diesem Bereich möglich aufgelockert gestaltet werden sollte, um das Einwirken von nächtlicher Kaltluft möglichst wenig zu beeinträchtigen (Diagonalschraffur). Die Maßnahmenkarte umfasst somit ein breites Spektrum an Hinweisen zur Hitzeminderung für den bebauten Raum.

5.3 Maßnahmenkatalog Starkregen

Wie in Potsdam ersichtlich, tritt eine Starkregengefährdung stadtweit stark verteilt in den Siedlungsräumen auf. Die Starkregenvorsorge ist damit, neben dem gezielten Objektschutz, eine flächendeckende Aufgabe. Auftretende Gefahren und die zu treffenden Vorsorgemaßnahmen sind dabei sehr ortsspezifisch. So ergibt sich die Gefährdung aus dem Zusammenspiel aus Stadtstrukturen, Versiegelung, Topografie, Bodenverhältnissen und ggf. Entwässerungssystemen. Bei Neubauten sollte die Starkregenvorsorge generell von Anfang an mitgedacht werden. Bei vielen Maßnahmen ergibt sich durch die Erhöhung der Begrünung und damit Verdunstungsleistung eine Synergie zur Hitzevorsorge.

Nachfolgend werden Maßnahmen aufgezeigt, die zur Starkregenvorsorge getroffen werden können. Weiterführend kann ein hilfreiches Dokument zur Maßnahmenfindung- und -planung im Straßenraum z. B. die „Planungshilfe für eine dezentrale Straßenentwässerung“ der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (2018) sein.

- In überflutungsgefährdeten Gebieten sollten Retentionsräume geschaffen werden. Dazu eignen sich Retentionsdächer, Retentionsmulden auf Grünflächen und ein temporäres Einstauen von Straßen, Stellplatzanlagen oder Sportflächen. Durch multifunktionale Flächen kann eine optimale Flächennutzung gelingen.



Abbildung 5-4: Versickerungsmulde mit Baumbestand (Multifunktionsfläche). Auch die Bäume profitieren hier von einer gezielten Wasserversorgung. Quelle: Ingenieurgesellschaft Prof. Sieker mbH

- Die Retention ist dabei nicht auf tiefer liegende Bereiche beschränkt: Werden an Geländehochpunkten Niederschläge zurückgehalten, sammelt sich an tieferen Stellen des Geländes weniger Wasser.
- Um in potenziellen Überflutungsgebieten die Starkregenabflüsse schadlos zu leiten, sind grundstücksübergreifend Notwasserwege zu konzipieren. Dafür eignen sich Straßen, Wege, Grünflächen oder Geländemulden mit Gefälle. Ohne solche Notwasserwege sucht sich das Wasser den direktesten Weg zu Geländetiefpunkten (Senken). Ein wichtiges Werkzeug zur Festlegung geeigneter Notwasserwege ist es deshalb, die Senken und topografisch bedingten Fließwege zu berücksichtigen.
- Ein weiteres Ziel in überflutungsgefährdeten Gebieten ist es, die bauliche Infrastruktur zu schützen: Überflutungs- und überschwemmungsgefährdete Flächen sollen von Bebauung freigehalten werden. Bestehende Gebäude sollten davor bewahrt werden, dass Wasser eindringt oder zumindest sollte die Nutzung angepasst werden, um entstehende Schäden zu minimieren. Ein Schutz vor Schäden lässt sich zum Beispiel bewerkstelligen, indem Kellerschächte erhöht, erhöhte Schwellen oder Rückstauklappen eingebaut, Gefälle angepasst oder mobile Überflutungsschutzelemente bereitgestellt werden. Hier ist auch die Initiative von Privatpersonen notwendig. Die Barrierefreiheit ist dabei immer zu beachten. Auch für dieses Ziel ist es unabdingbar, die Fließwege zu den Geländetiefpunkten zu berücksichtigen. Ändert sich beim Neubau etwa das Gefälle eines Grundstücks oder das Rückhaltepotenzial, können sich die Fließwege auf Nachbargrundstücke verlagern und das Wasser dort Schaden anrichten.



Abbildung 5-5: Halbautomatisches Klappschott zum Überflutungsschutz einer Tiefgarageneinfahrt. Quelle: <https://www.hochwassersicherheit.com/halbautomatisches-klappschott>

- Auch die Abkopplung von der Kanalisation trägt zur Starkregenvorsorge bei. Hier kann vor allem im Einzugsbereich der Mischwasserkanalisation auch ein wichtiger Beitrag für eine gute Gewässerqualität geleistet werden. Bei einer Abkopplung ist es nötig die Rückhaltekapazität auf den Grundstücken und im Straßenraum zu erhöhen. Erreichen lässt sich das durch viele kleine Maßnahmen, die von der Dachbegrünung, über dezentrale Verdunstung und Versickerung bis zu Entsiegelung reichen.

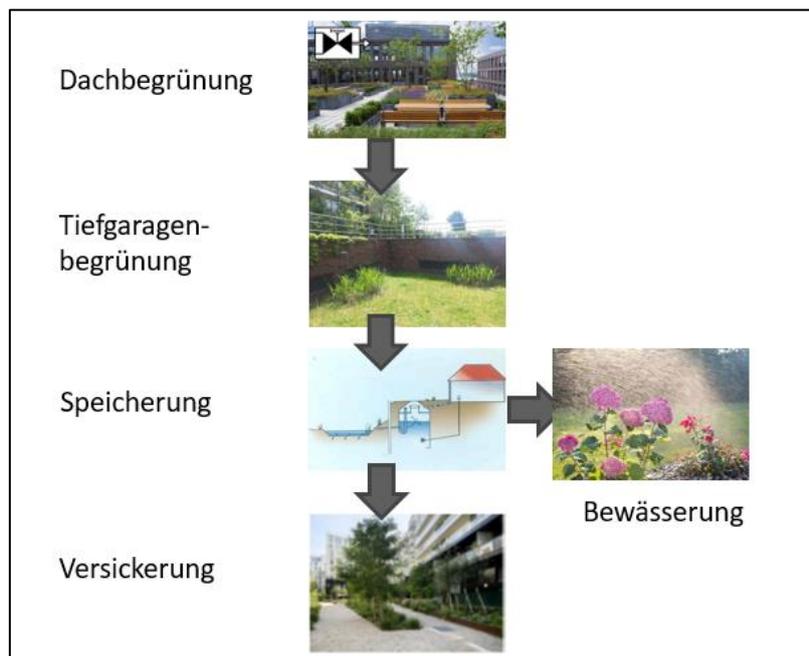


Abbildung 5-6: Beispielhafte Kaskade zur Regenwasserbewirtschaftung

6 Entwicklung verschiedener meteorologischer Parameter unter dem Einfluss des Klimawandels

Entwicklung der mittleren Lufttemperaturen und beobachteter Klimawandel

Die Messstation Potsdam- Telegraphenberg weist eine mehr als 130 Jahre andauernde Messhistorie auf und ist deshalb besonders geeignet, die Temperaturentwicklung im vergangenen Jahrhundert abzubilden. Die mittleren Jahrestemperaturen ab dem Jahr 1881 zeigt Abbildung 6-1. Während die fünf niedrigsten Werte vorwiegend der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts zuzuordnen sind (blaue Balken), treten die höchsten fünf Jahreswerte während der letzten Dekade auf (rote Balken).

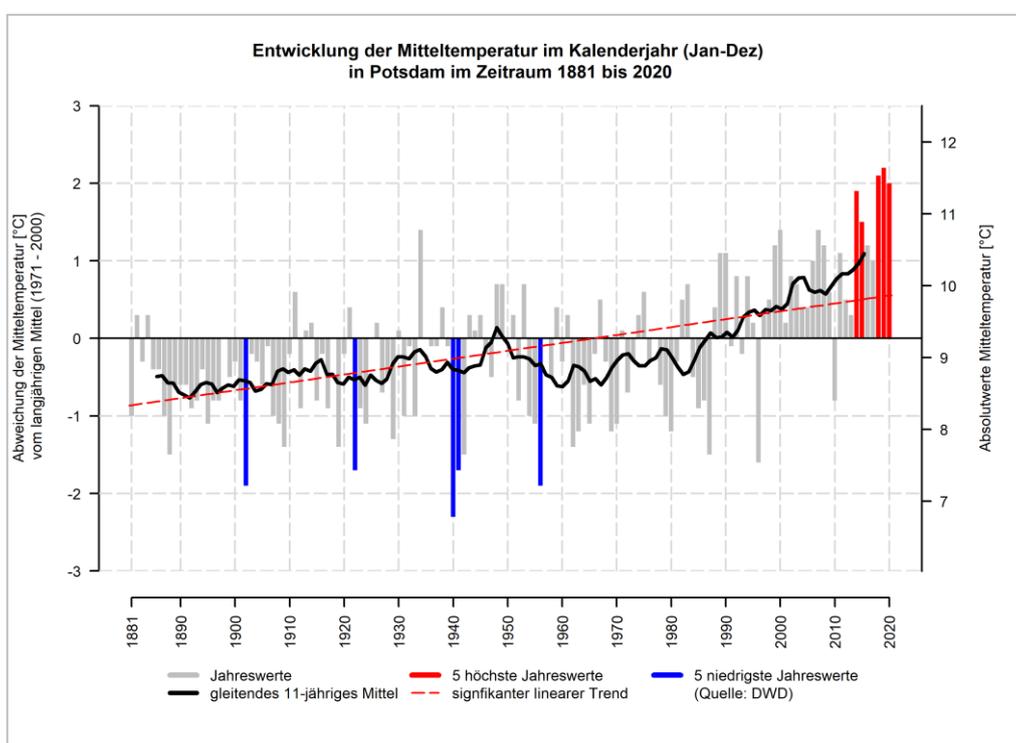


Abbildung 6-1: Entwicklung der mittleren Jahrestemperaturen an der Station Potsdam-Telegrafenberg (Quelle: DWD 2021)

Die stete Zunahme der Mitteltemperaturen spiegelt sich im gleitendem 11-jährigen Mittel (schwarze Linie) sowie dem linearen Trend (rote Linie) wider. Es zeigt sich, dass der Einfluss des Klimawandels in den Messwerten der vergangenen Jahre deutlich abgelesen werden kann.

Prognostizierter Klimawandel

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der EURO-CORDEX-Initiative. EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Ini-

tiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC9 Assessment Reports (AR5) und darüber hinaus erstellt (Giorgi et al. 2009). EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar und werden im Internet über mehrere Knoten der Earth System Grid Federation (ESGF) bereitgestellt¹⁰. Über ein Analysetool lassen sich die Daten für den Großraum Potsdam/Berlin auswerten (GEO-NET 2021, Datengrundlage: EURO CORDEX (<https://www.euro-cordex.net>))

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind Klimamodelle Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik und der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes Modellensemble.

Diesem Ansatz folgend, wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung im Großraum Berlin ein Modellensemble bestehend aus 39 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen, die mit jeweils unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben werden. Da EURO-CORDEX ein fortlaufendes Projekt ist und die Datenbanken mit den Modellergebnissen permanent aktualisiert werden, können bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen sein, die in der Auswertung nicht enthalten sind.

Die Mitglieder des Ensembles werden als gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke et al. 2016).

Räumliche und Zeitliche Auflösung

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 projizierte Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag und einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11 °) verwendet. Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Identifikation und Auswahl der dem Stadtgebiet Potsdam am nächsten gelegenen Gitterpunkte sowie der acht umliegenden Gitterpunkte.

Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (1 Tag) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2020).

RCP-Szenarien

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO₂-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO₂-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO₂-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, 4.5 und 8.5 (RCP = Representative Concentration Pathways), die seit dem fünften IPCC-Bericht die SRES-Szenarien abgelöst haben (Special Report on Emissions Scenarios).

9 Intergovernmental Panel on Climate Change (“Weltklimarat”; IPCC 2014)

10 Homepage: www.euro-cordex.net

Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m^2 , der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; Abbildung 6-2).

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m^2 . Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf $2,6 \text{ W/m}^2$ ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das $2 \text{ }^\circ\text{C}$ -Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das RCP-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. $4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ gegenüber dem Zeitraum 1985 – 2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher-Szenario“ bezeichnet.

Die weltweiten CO_2 -Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. Aktuell befinden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit den globalen CO_2 -Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (Boden 2017, Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO_2 -Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen.

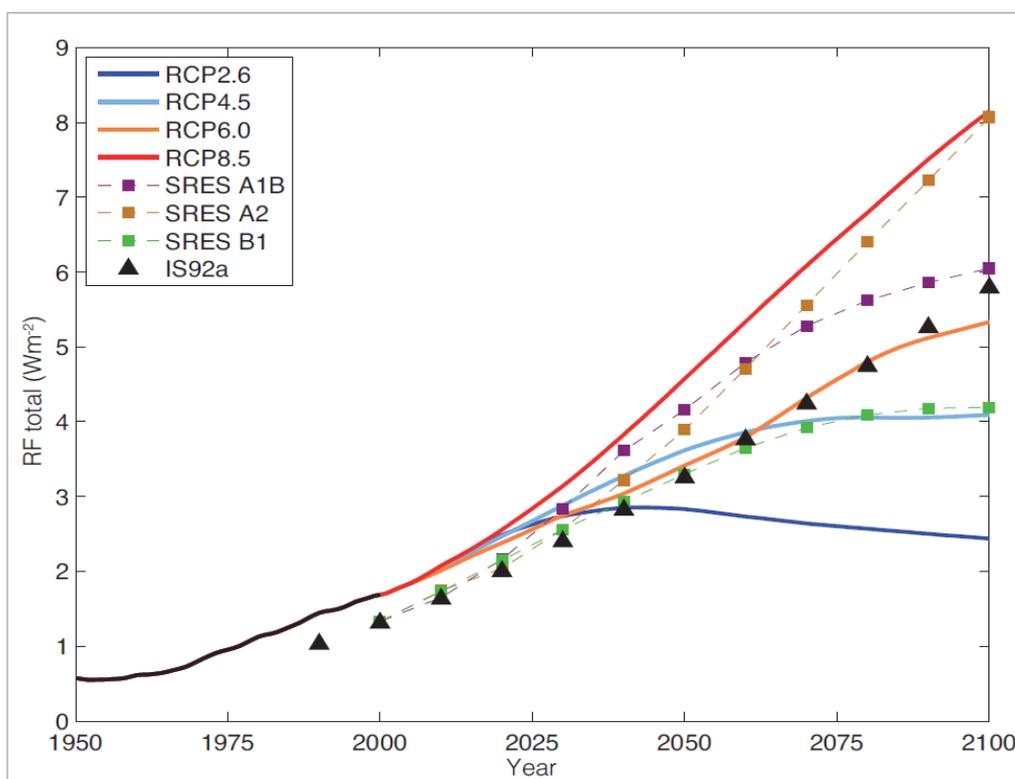


Abbildung 6-2: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)

Jahresmitteltemperatur

Alle drei RCP-Szenarien projizieren ein deutliches Ansteigen der Jahresmitteltemperatur in Berlin bis zum Jahr 2100. Dies gilt nicht nur für den in Abbildung 6-2 gezeigten Median des Modellensembles, vielmehr weisen sämtliche Modellkombinationen des Ensembles einen Anstieg der jährlichen Mitteltemperaturen auf, sodass der Trend als äußerst robust einzuschätzen ist.

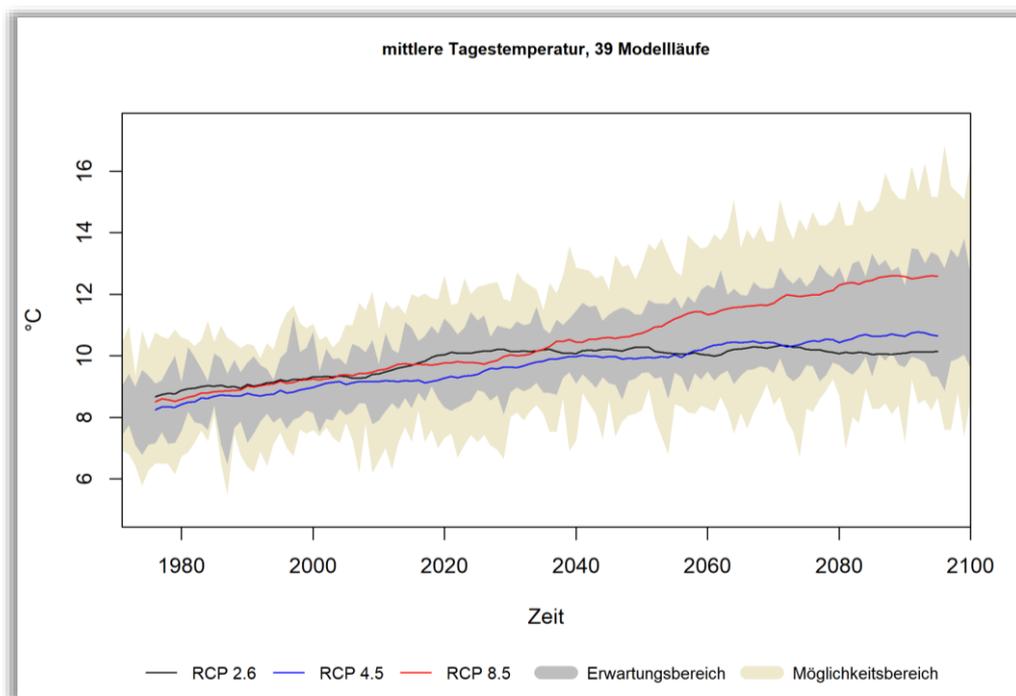


Abbildung 6-3: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)

Der Temperaturanstieg fällt im RCP-Szenario 8.5 am stärksten aus. Dabei tritt in allen drei Zukunftspereioden eine deutliche Zunahme auf, wobei die stärksten Zunahmen am Ende des Jahrhunderts zu verzeichnen sind. Im RCP-Szenario 2.6 wird ein moderater Temperaturanstieg und ungefähr ab Mitte des Jahrhunderts eine Stagnation erwartet, da sich dann die positiven Auswirkungen der im RCP 2.6 angenommenen globalen Klimaschutzmaßnahmen bemerkbar machen.

Zum Ende des Jahrhunderts nimmt die Unsicherheit und damit auch Variabilität der erwarteten Temperaturänderung zu, was durch den Möglichkeitsbereich abgebildet wird (kleinster bis größter Wert in den Modellergebnissen). Der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Modellensembles. Ferner sei darauf hingewiesen, dass der in Abbildung 6-3 abgebildete, bereits vergangene Zeitraum ab 1971 durch Modelldaten und nicht durch Beobachtungsdaten repräsentiert wird.

Entwicklung meteorologischer Kenntage

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenn-tagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage erfolgt anhand von Schwellenwerten wie bspw. $T_{max} \geq 25 \text{ °C}$ für Sommertage erfolgen. Die Abbildung 6-4 bis Abbildung 6-7 zeigen die Entwicklung von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten bzw. Hitzeperioden.

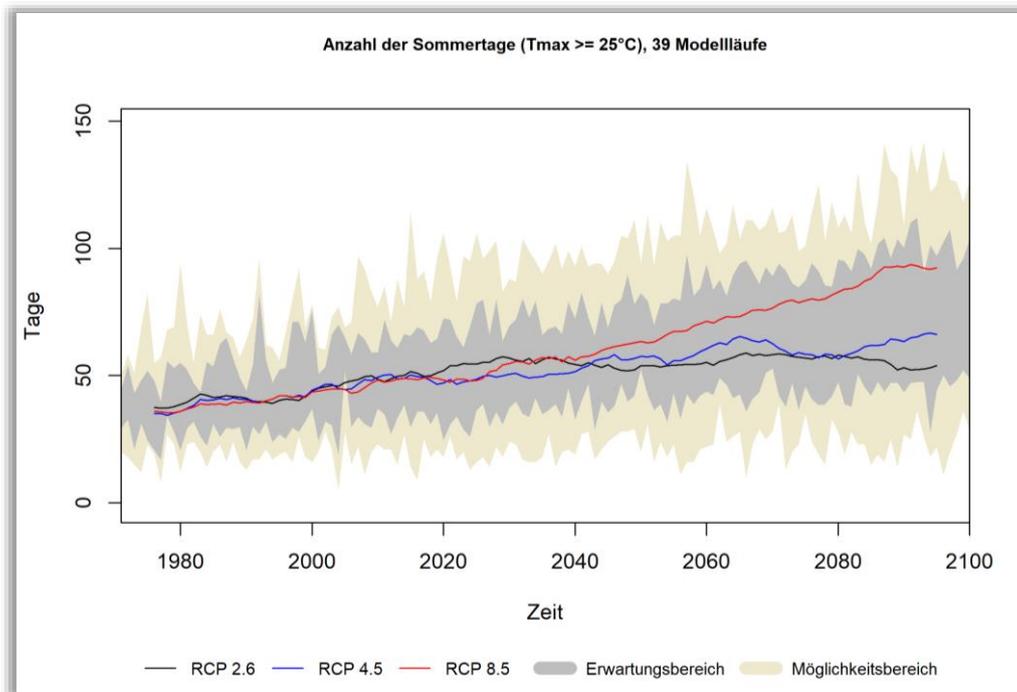


Abbildung 6-4: Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl an Sommertagen in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)

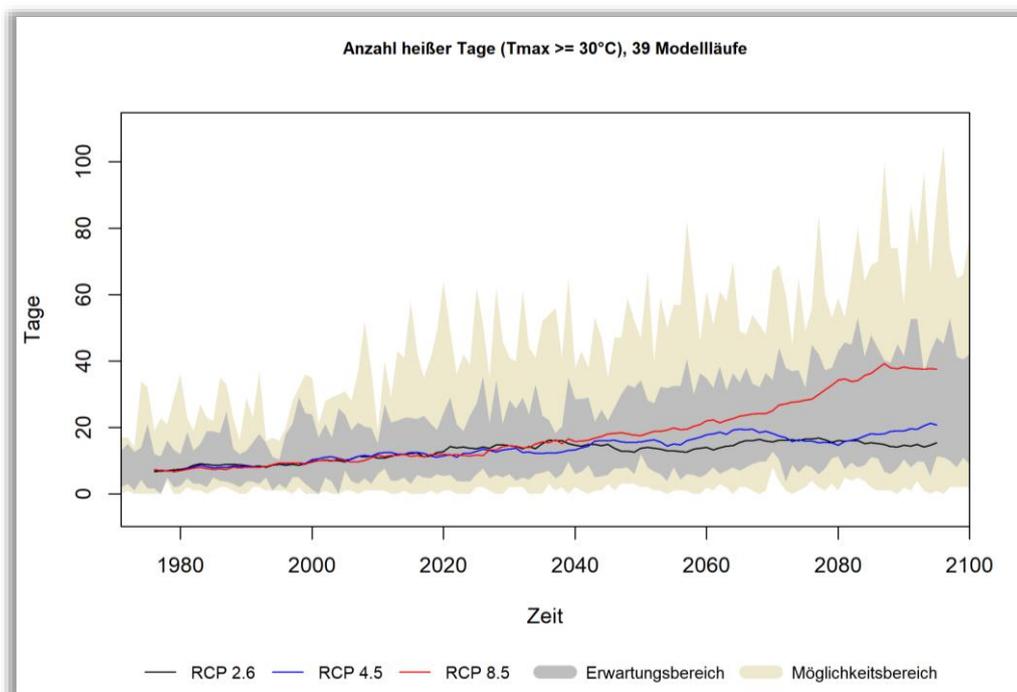


Abbildung 6-5: Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl an Hitzetagen in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)

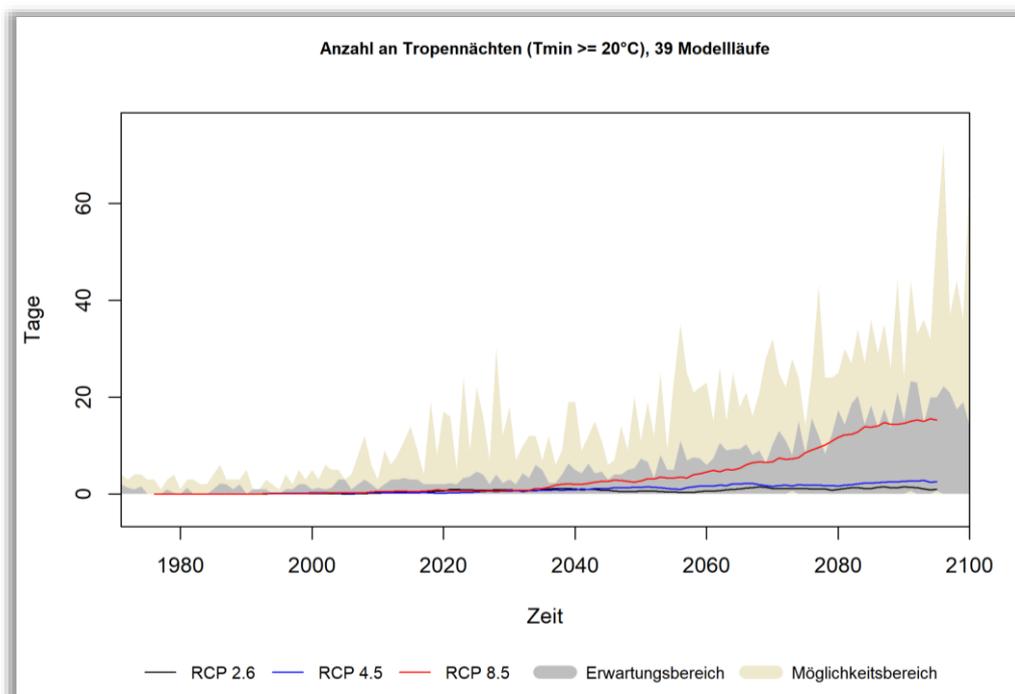


Abbildung 6-6: Zeitlicher Trend der jährlichen Anzahl an Tropennächten in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)

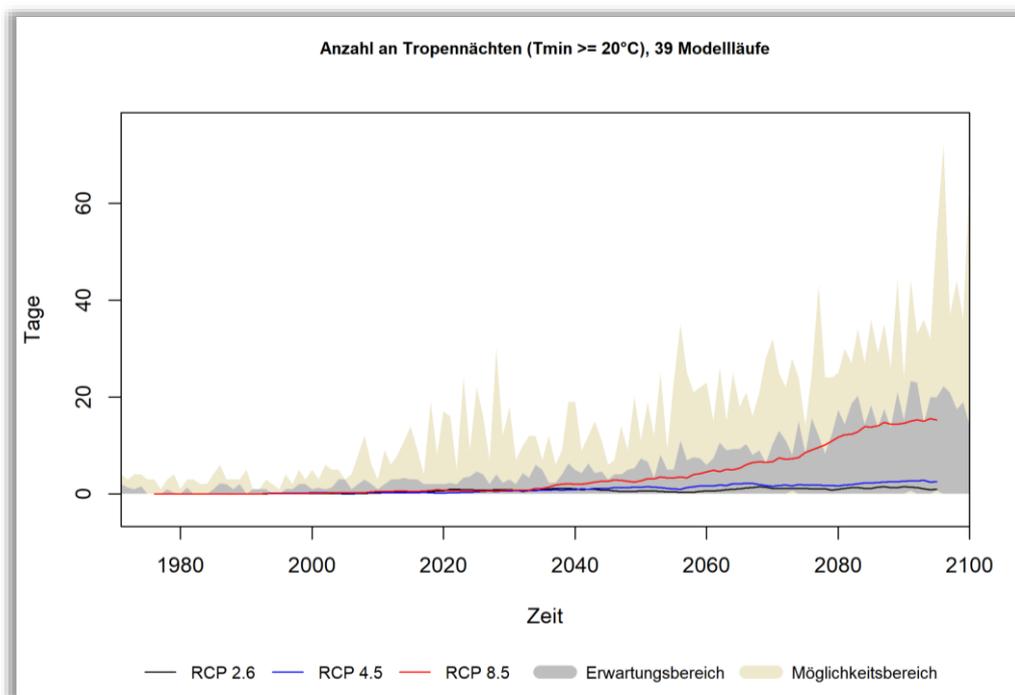


Abbildung 6-7: Zeitlicher Trend der Länge von Hitzeperioden in Potsdam (alle RCP-Szenarien; Quelle: DWD 2021)

In Tabelle 6-1 werden die prognostizierten Entwicklungen der Lufttemperatur und verschiedener meteorologischer Kenntage für jeweils 30-jährige Bezugszeiträume (nahe Zukunft: 2021-2050; mittlere Zukunft: 2041-2070; ferne Zukunft: 2071-2100) bezogen auf die Messperiode 1971 bis 2000 zusammengefasst. Dabei wird das RCP-Szenario 4.5 zugrunde gelegt.

So steigt - ausgehend von der Basisperiode 1971 bis 2000 – die Jahresmitteltemperatur von 9,2 °C auf 10,4 °C in der nahen Zukunft an. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird ein Anstieg um 2,1 K auf dann 11,3 °C modelliert. Damit geht auch eine stete Zunahme an Tropennächten sowie Hitze- und Sommertagen einher. Letztere steigen von durchschnittlich 41,5 Tage pro Jahr um 19,3 auf dann durchschnittlich 60,8 Tage/Jahr für den 30-jährigen Zeitraum an. Dies stellen Durchschnittswerte dar, die in einzelnen Jahren auch deutlich übertroffen werden können. Dem stehen die Kennwerte für das Winterhalbjahr gegenüber, wobei die Frost- und Heiztage deutlich zurückgehen.

Tabelle 6-1: Zusammengefasste Ergebnisse für langjährige jährliche Parameter und Kenntage für das RCP-Szenario 4.5

Parameter	1971-2000	Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000		
		Nahe Zukunft 2021/2050	Mittlere Zukunft 2041/2070	Ferne Zukunft 2071/2100
Jahresmitteltemperatur [°C]	9,2	1,2	1,7	2,1
Minimumtemperatur [°C]	-13,8	2,9	4,3	4,3
Maximumtemperatur [°C]	34,0	1,4	1,8	2,3
Tropennächte [n/Jahr] ($T_{min} \geq 20^{\circ}C$)	0	1,1	2,1	3,8
Heiße Tage [n/Jahr] ($T_{max} \geq 30^{\circ}C$)	9	6	8,3	8,8
Sommertage [n/Jahr] ($T_{max} \geq 25^{\circ}C$)	41,5	13,3	19,9	19,3
Frosttage [n/Jahr] ($T_{min} < 0^{\circ}C$)	82	-20,6	-28	-37,9
Eistage [n/Jahr] ($T_{max} < 0^{\circ}C$)	18	-8,3	-11,5	-12,4
Kühltage [n/Jahr] ($T_{max} \geq 26^{\circ}C$)	29	11,6	18	16,1
Heiztage [n/Jahr] ($T_{max} < 15^{\circ}C$)	201	-14,7	-17	-24,9

Die Projektionen verdeutlichen, dass sich der bereits heute beobachtete Trend einer Erwärmung in Potsdam zukünftig fortsetzt. So werden weiterhin steigende Jahresmitteltemperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung bedingt eine Zunahme an Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten, zudem gibt es Hinweise, dass auch die Länge von Hitzeperioden zunimmt. Der Umgang mit dieser Entwicklung ist als große Herausforderung für eine nachhaltige Stadtentwicklung anzusehen.

7 Stadtklimatisches Vergleichsszenario 2050

Das stadtklimatische Vergleichsszenario hat zum Ziel, die Auswirkungen der weiteren Siedlungsentwicklung im Stadtgebiet Potsdam unter dem Einfluss des zu Klimawandels abzubilden. Der Fokus liegt dabei auf der Nachtsituation und beschreibt die Effekte auf die zu erwartende Überwärmung der Siedlungsflächen sowie die Durchlüftung mit bodennaher Kaltluft. Ziel ist es herauszuarbeiten, wie sich die Zunahme der nächtlichen Lufttemperatur räumlich ausprägen wird und inwieweit Bestandsflächen eine erhöhte Zunahme aufgrund der weiteren Flächenentwicklung aufweisen werden. Darüber hinaus soll auch die Beeinflussung der überörtlichen Kaltluftleitbahnen eingeschätzt werden. Dafür werden der gegenwärtigen Siedlungskulisse die Untersuchungsbereiche laut Integriertem Stadtentwicklungskonzept der LH Potsdam 2035 (INSEK) hinzugefügt. Über einen Abgleich von Zukunftsszenario und dem Istzustand als Basisszenario lassen sich die zu erwartenden Auswirkungen simulieren. Die räumlichen Auswirkungen werden in der Karte „Stadtklimatisches Vergleichsszenario 2050“ dargestellt.

7.1 Methode

Nutzungsstruktur

Im Gegensatz zur mikroskaligen Simulation des Istzustands, bei der Gebäude und höhere Vegetation bei einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m explizit berücksichtigt werden, wurde bei der Modellierung des Vergleichsszenarios ein mesoskaliger Ansatz angewendet. Für die Aufbereitung der Nutzungsstrukturen sind im Wesentlichen Daten aus der Informationsebene ATKIS Landnutzung herangezogen und in für das Klimamodell handhabbare Nutzungskategorien überführt worden. Dabei werden die Flächengeometrie der ATKIS Landnutzung auf Rasterzellen jeweils einheitlicher Nutzungsstruktur – hier mit einer Maschenweite von 50 m – übertragen worden. Da bei dieser Auflösung Einzelgebäude noch nicht explizit aufgelöst werden können, gehen sie entsprechend parametrisiert durch die Definition der Nutzungsklassen in die Modellierung ein. Sie werden daher je Rasterzelle über eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe repräsentiert. Ein Vorteil dieses methodischen Ansatzes ist darin zu sehen, dass eine gebäudescharfe Detailplanung zur Flächenentwicklung noch nicht vorliegen muss, die Untersuchungsbereiche aber trotzdem im Rahmen einer worst-case-Betrachtung aber trotzdem mit einer Bebauung ausgestattet werden können.

Ein wichtiger Modelleingangsparameter stellt darüber hinaus die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen wesentlichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausüben. Da auf dieser Maßstabsebene keine Einzelgebäude aufgelöst wurden, sind für die Einordnung der Strukturhöhe und des Oberflächenversiegelungsgrades nutzungsklassifiziert vorliegende Literaturdaten (u.a. MOSIMANN et al. 1999) genutzt worden, die auf empirisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen aus mehreren deutschen Städten beruhen. Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde bei der Aufbereitung der Nutzungsstrukturen ein 11-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet. Der Schlüssel wurde vor allem auch dahingehend definiert, eine Zuweisung des mittleren Versiegelungsgrades auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen zu ermöglichen. Die verwendeten Nutzungskategorien zeigt Tab. 7-1. Die räumliche Umsetzung ist in Abb. 7-1 dargestellt, wobei die INSEK-Untersuchungsbereiche blau abgegrenzt werden.

Tabelle 7-1: Nutzungskategorien des Vergleichsszenarios

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt. Sie umfasst sowohl Vorkriegs- als auch Nachkriegsbauten.	78	15.0
2	Industrie- und Gewerbefläche	Sie weist einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft grösser als der mit Gebäuden bestandene.	87	10.0
3	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudekörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55	15.0
4	Einzel- und Reihenhausbebauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbebauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.	41	5.0
5	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0.0
6	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	0.5
7	Baulich geprägte Grünfläche	Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z.B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche.	25	5.0
8	Freiland	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1.0
9	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.	5	2.0
10	Wald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich.	5	12.5
11	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer.	0	0.0

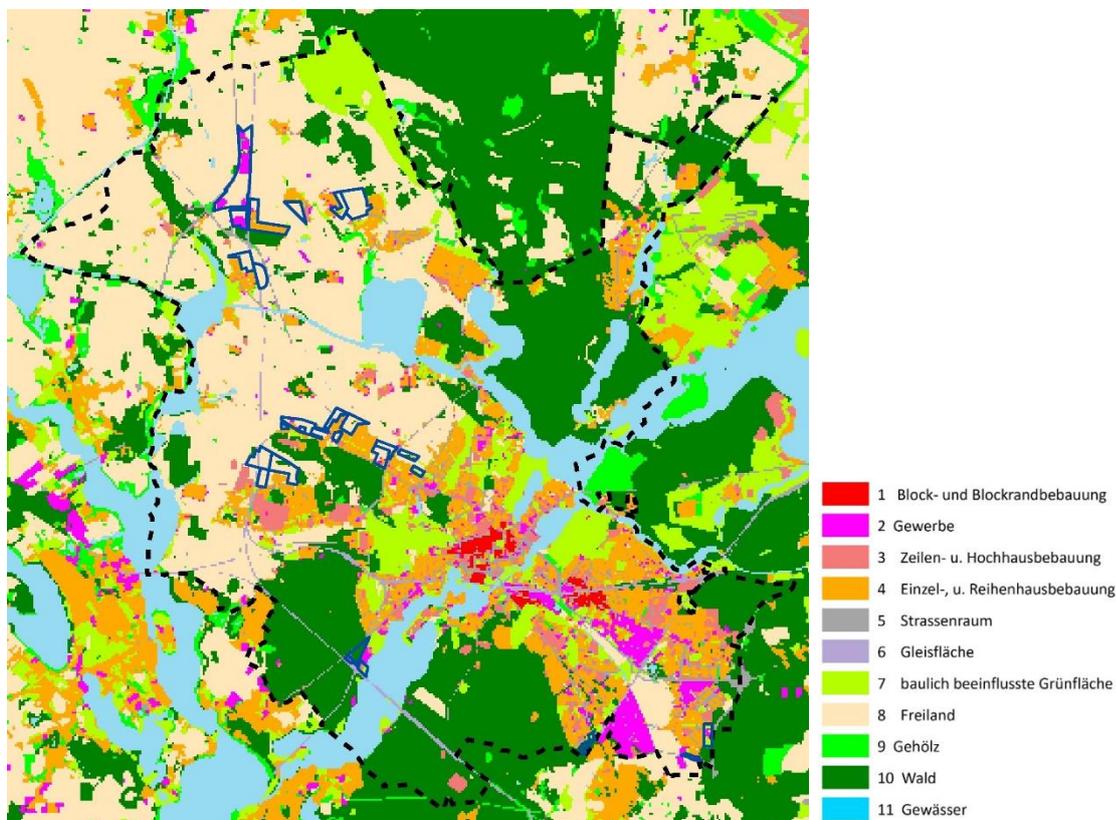


Abbildung 7-1: Nutzungsstruktur Iztzustand

Einbindung der Stadtentwicklungsszenarien

Für den Aufbau der Flächenkulisse des Zukunftsszenarios wurden die derzeitigen Entwicklungsschwerpunkte des INSEK für den Planungshorizont 2035 herangezogen. Dabei wird die bauliche Entwicklung der Untersuchungsräume mit den folgenden städtebaulichen Kennwerten berücksichtigt:

- „Siedlung und Freiraum“: mittlere GRZ von 0,4 bis 0,6 und ca. III bis IV Vollgeschosse.
- „Gewerbe“: mittlere GRZ von 0,6 bis 0,8 und ca. II bis III Vollgeschosse.

Im Sinne eines „worst-case“-Ansatzes wird die gesamte Fläche als Baufläche behandelt. Bei einem „worst-case“-Szenario handelt es sich um Annahmen, die weder mit einem Konzept hinterlegt sind, noch geprüft wurden. Entsprechend ergeben sich daraus keine baurechtlichen Ansprüche. Die Untersuchungsbereiche müssen zunächst im Detail untersucht werden.

Meteorologische Rahmenbedingung

Dem Zukunftsszenario liegt analog zur Bestandsbetrachtung eine windschwache sommerliche Wetterlage und wenig Wolkenbedeckung zugrunde. Für den „Antrieb“ des Zukunftsszenarios wird die zu erwartende Erwärmung für die Mitte des Jahrhunderts eingebunden. Als konkreter Temperaturwert handelt es sich um den Median des RCP -Szenario 4.5 für 2050 mit +1,7 K als Änderungssignal des Zeitraums 2041 bis 2070 gegenüber der Periode 1971 bis 2000 (vgl. Kap. 6).

Herleitung der Karteninhalte

Siedlungsfläche mit gegenwärtiger nächtlicher Wärmebelastung

Diese Signatur kennzeichnet die Siedlungsflächen, deren gegenwärtige mittlere Lufttemperatur mehr als 2 K über dem Mittel der Grün- und Freiflächen der Stadt Potsdam liegt. Diese weisen somit einen deutlichen Wärmeineffekt mit einhergehender bioklimatischer Belastung auf. Mit dieser Information werden die gegenwärtigen Belastungsschwerpunkte aufgezeigt und können in Beziehung zur weiteren angenommenen Entwicklung gesetzt werden.

Veränderung der nächtlichen Wärmebelastung bis zum Bezugsjahr 2050

Für die Beurteilung der Veränderung der nächtlichen Wärmebelastung werden die Flächenmittelwerte der Lufttemperatur für die Betrachtungshorizonte Gegenwart und Zukunft gegenübergestellt (Bezugsgeometrie: ATKIS). Die Änderungssignale werden folgendermaßen bewertet:

- Temperaturzunahme innerhalb des Klimawandelsignals ($\leq 1,7$ K): Die nächtliche Überwärmung liegt innerhalb der zu erwartenden Klimaveränderung.
- Temperaturzunahme über dem Klimawandelsignal ($\leq 1,7$ K): Die nächtliche Überwärmung liegt über der allgemeinen Klimaveränderung.
- Temperaturzunahme > 2 K: Die nächtliche Temperaturzunahme liegt signifikant über der allgemeinen Klimaveränderung.

Die letzte Kategorie tritt lokal im Zusammenhang mit der angenommenen Flächenentwicklung auf. Für diese Bereiche können entsprechende stadtklimatische Hinweise formuliert werden (Kap. 7.3).

Beeinflussung der bodennahen Durchlüftung

Ein über bislang un bebauten Flächen vorhandener Kaltluftstrom kann durch eine zukünftige Bebauung aufgrund deren Hinderniswirkung abgeschwächt werden. Diese Signatur kennzeichnet den von der Bebauung einer Potenzialfläche ausgehenden Einfluss auf die nähere Umgebung. Dabei wird die durch eine Bebauung induzierte Verminderung der bodennahen Windgeschwindigkeit um mehr als 0,1 m/s ausgewiesen.

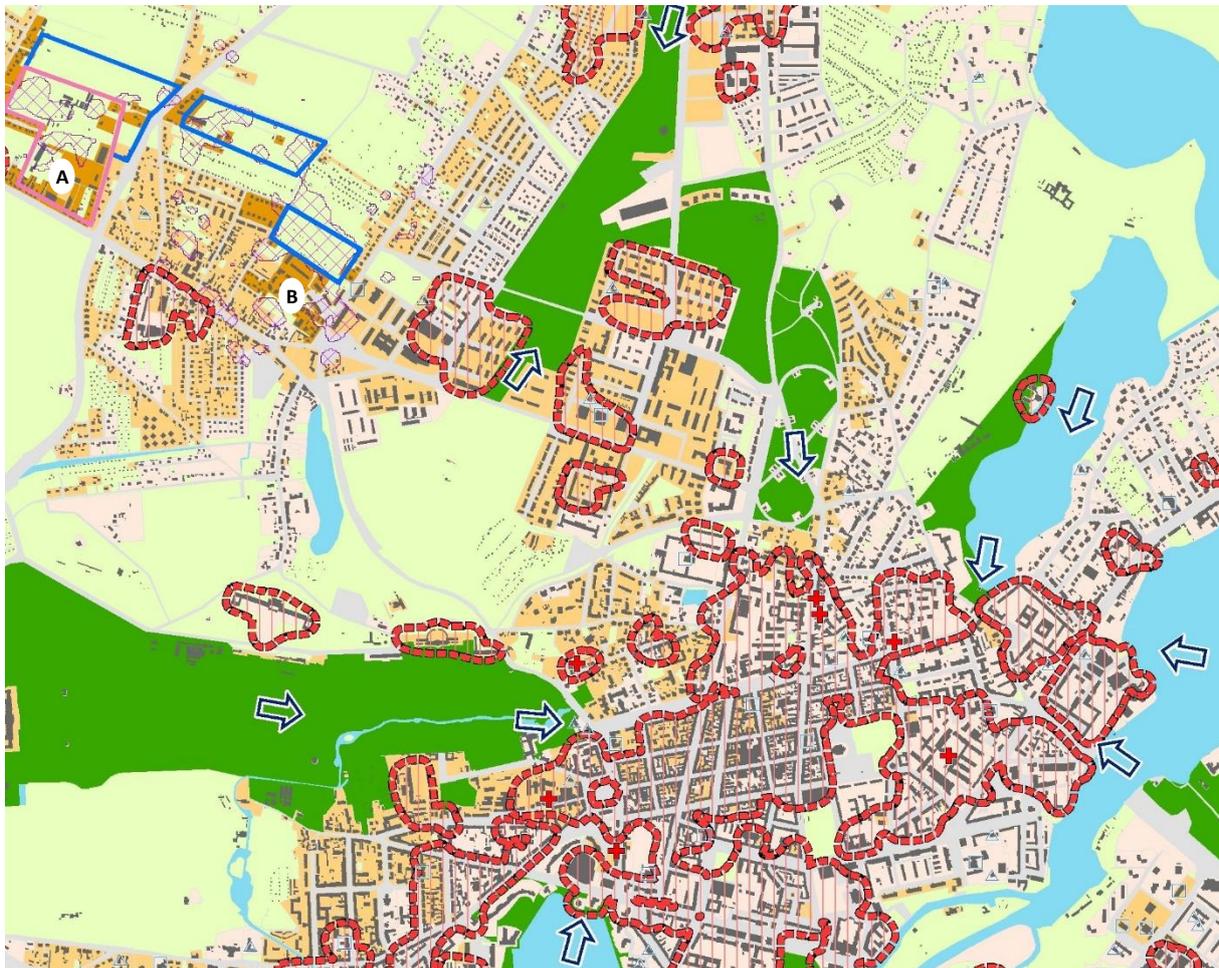
Grün- und Freiflächen

Diese Informationsebene umfasst die im Rahmen der Klimaanalyse bzw. Bewertungskarte ermittelten Kaltluftleitbahnen sowie die darin befindlichen Grünflächenanteile. Aus der Überlagerung mit der zuvor ausgewiesenen Beeinflussung der bodennahen Durchlüftung lassen sich mögliche Negativwirkungen ableiten. Darüber hinaus werden auch die übrigen Grünflächen im Stadtgebiet Potsdam dargestellt.

7.2 Ergebnisse

Einen Ausschnitt aus dem stadtklimatischen Vergleichsszenario 2035 zeigt Abb. 7-2, wobei in einem Großteil der Innenstadt - sowie inselhaft auch in den angrenzenden Stadtteilen - eine nächtliche Überwärmung festzustellen ist (roter Umriss) wobei dies bereits heute schon der Fall ist. Die unter dem Einfluss des Klimawandels zu erwartende Veränderung der Wärmebelastung ist heterogen ausgeprägt. So zeigt sich, dass in ca. 46 % der betrachteten Siedlungsfläche die Temperaturzunahme innerhalb des Klimawandelsignals verbleibt (Hellorange). Dabei handelt es sich zumeist um Flächen, welche eine eher geringe bauliche Dichte aufweisen oder sich im Nahbereich einer Gewässerfläche befinden und

von deren Temperatur dämpfenden Wirkung profitieren. Eine Zunahme über dem allgemeinen Klimawandelsignal von mehr als 1,7 K ist in ca. 52 % der Siedlungsfläche anzutreffen. Diese Areale weisen oft einen mittleren Überbauungs- bzw. Versiegelungsgrad auf und sind gegenwärtig eher gering wärmebelastet (Mittelorange). Eine Zunahme um mehr als 2 K ist in ca. 2 % der Bebauung festzustellen und geht mit der angenommenen INSEK-Flächenentwicklung einher (blauer Umriss). Im dargestellten Ausschnitt zeigt sich dies westlich der Kirschallee (Dunkelorange; Abb. 7-2).



Siedlungsräume

Siedlungsfläche mit gegenwärtiger nächtlicher Wärmebelastung¹
Die mittlere Lufttemperatur innerhalb der Blockfläche liegt mehr als 2 K über dem Mittelwert der Grün- und Freiflächen

Modellhafte Vergleichsrechnung²

INSEK 2035 - Untersuchungsräume „Siedlung und Freiraum“
 INSEK 2035 - Untersuchungsräume „Gewerbe“

Veränderung der nächtlichen Wärmebelastung und der bodennahen Durchlüftung³
in den Siedlungsflächen unter Annahme einer baulichen Entwicklung der INSEK
Untersuchungsräume gemäß Vergleichsrechnung im Jahr 2050

- Temperaturzunahme innerhalb des Klimawandelsignals (< 1,7 K)
Nächtliche Erwärmung liegt innerhalb allgemeiner Klimaveränderung
- Temperaturzunahme über dem Klimawandelsignal (>1,7 K)
Nächtliche Erwärmung liegt über allgemeiner Klimaveränderung
- Temperaturzunahme > 2 K
Nächtliche Erwärmung liegt deutlich über allgemeiner Klimaveränderung
- Beeinflussung der bodennahen Durchlüftung
Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeit um mehr als 0,1 m/s im Umfeld einer INSEK Potenzialfläche ist möglich.

Grün- und Freiflächen

- Kaltluftleitbahn⁴
Modelliertes Kaltluftströmungsfeld
- Leitbahnkorridor in Grün- und Freiflächen als bedeutende übergeordnete Frischluftschneisen
- Übrige Grünflächen im Stadtgebiet Potsdam

Abbildung 7-2: Stadtklimatisches Vergleichsszenario im Bereich Innenstadt/Bornstedt

Die zugrunde gelegte Flächenentwicklung führt im Raum Bornstedt zu einer Abschwächung der bodennahen Windgeschwindigkeit (violette Netzschraffur). Während diese westlich Amundsenstraße

eher flächenintern ausgeprägt ist (**A**), kommt es im Übergangsbereich von Kirschallee/Potsdamer Straße zu einer Abnahme im Bestand (**B**). Gleichzeitig wird deutlich, dass sämtliche überörtliche Kaltluftleitbahnen im Stadtgebiet (Dunkelgrün) von den Planungen nicht negativ beeinflusst werden.

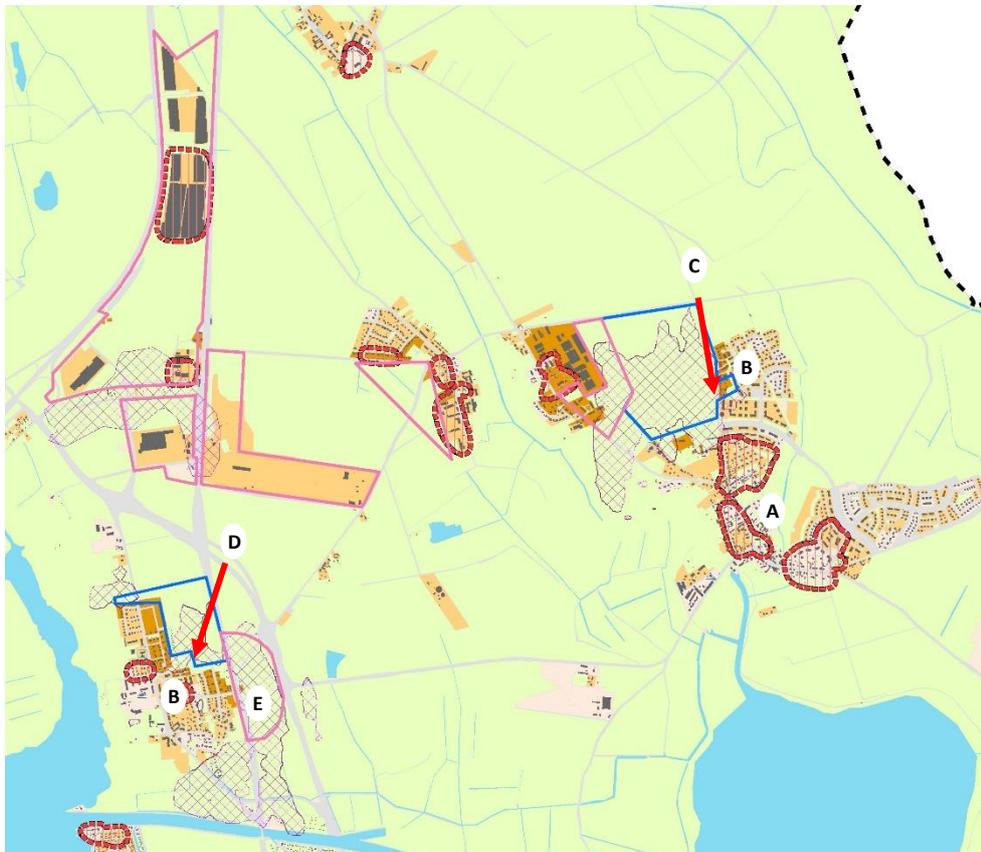
7.3 Detailbetrachtung von Entwicklungsschwerpunkten

Wie zuvor beschrieben, kann die im „worst-case“-Szenario angenommene Bebauung der INSEK-Untersuchungsbereiche mit einer lokalen Abschwächung des bodennahen Kaltluftstroms und/oder zusätzlicher Überwärmung angrenzender Bestandsflächen einhergehen. Im Folgenden werden die wesentlichen räumlichen Untersuchungsbereiche detailliert betrachtet und entsprechende Hinweise zur räumlichen Ausgestaltung oder baulichen Dichte gegeben. Darüber hinausgehende Empfehlungen bzw. Maßnahmen können aufgrund der räumlichen Unschärfe nur ansatzweise gegeben werden. Sie gewinnen dann an Bedeutung, wenn konkrete Gestaltkonzepte für die Baufelder eine Verortung z.B. von Begrünung oder Verschattung erlauben. Ganz generell sollten die Aufenthalts-/Verweilbereiche sowie Quartiersplätze eine hohe Aufenthaltsqualität im Freien aufweisen, was im Wesentlichen mit der Verschattung durch Bäume einhergeht (vgl. Kap. 5.1). Gleichzeitig sollte eine offene Randbebauung zukünftiger Entwicklungsflächen das Einwirken von Kaltluft aus angrenzenden Freiflächen ermöglichen.

Bereich Marquardt – Fahrland – Krampnitz

In diesem Bereich ist vor allem im Umfeld der B 273 die Entwicklung von Gewerbefläche vorgesehen (hellroter Umgriff). Weitere Siedlungsfläche soll in den Ortsteilen Marquardt und Fahrland entstehen (blauer Umgriff). Das gegenwärtige bioklimatische Belastungspotenzial ist größtenteils als gering bis mäßig einzuordnen. Allerdings treten in Fahrland einige Siedlungsflächen mit einer bestehenden Überwärmung hervor (**A**). Im Zukunftsszenario führen die zusätzlichen Baufelder zu einer planbedingten Zunahme der Wärmebelastung (**B**). Dies ist auf die Zunahme des Temperaturniveaus im Nahbereich der Untersuchungsbereiche sowie auf die Verminderung nächtlicher Kaltluft zurückzuführen. Daher sollte in Fahrland zum Bestand hin eine durchgrünte Abstandsfläche von 40 m bis 50 m Breite realisiert werden, um den Bestand thermisch zu „entkoppeln“ (**C**). Dies trägt gleichzeitig dazu bei, eine gute Durchlüftung in den Nachtstunden aufrecht zu erhalten. Die Entwicklungsfläche „Siedlung“ bei Marquardt sollte eine grüneprägt und nur gering überbaute Achse aufweisen, welche in Kontakt mit dem nordöstlich lokalisierten Freiraum steht (**D**). Die Bauhöhe sollte grundsätzlich zum Bestand hin abnehmen. Darüber hinaus sollten auch in den neuen Quartieren eine zum Freiraum hin offene Randbebauung das nächtlich Einwirken von Kaltluft ermöglichen und zu einem möglichst effektiven thermischen Ausgleich beitragen.

Die benachbarte Gewerbefläche (**E**) wird durch den Verlauf der Bahnstrecke zwangsläufig einen Abstand zum Bestand aufweisen, besondere Hinweise sind daher nicht erforderlich.



Siedlungsräume

Siedlungsfläche mit gegenwärtiger nächtlicher Wärmebelastung¹
Die mittlere Lufttemperatur innerhalb der Blockfläche liegt mehr als 2 K über dem Mittelwert der Grün- und Freiflächen

Modellhafte Vergleichsrechnung²

INSEK 2035 - Untersuchungsräume „Siedlung und Freiraum“
 INSEK 2035 - Untersuchungsräume „Gewerbe“

Veränderung der nächtlichen Wärmebelastung und der bodennahen Durchlüftung³
in den Siedlungsflächen unter Annahme einer baulichen Entwicklung der INSEK
Untersuchungsräume gemäß Vergleichsrechnung im Jahr 2050

- Temperaturzunahme innerhalb des Klimawandelsignals (< 1,7 K)
Nächtliche Erwärmung liegt innerhalb allgemeiner Klimaveränderung
- Temperaturzunahme über dem Klimawandelsignal (>1,7 K)
Nächtliche Erwärmung liegt über allgemeiner Klimaveränderung
- Temperaturzunahme > 2 K
Nächtliche Erwärmung liegt deutlich über allgemeiner Klimaveränderung
- Beeinflussung der bodennahen Durchlüftung
Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeit um mehr als 0,1 m/s im Umfeld einer INSEK Potenzialfläche ist möglich.

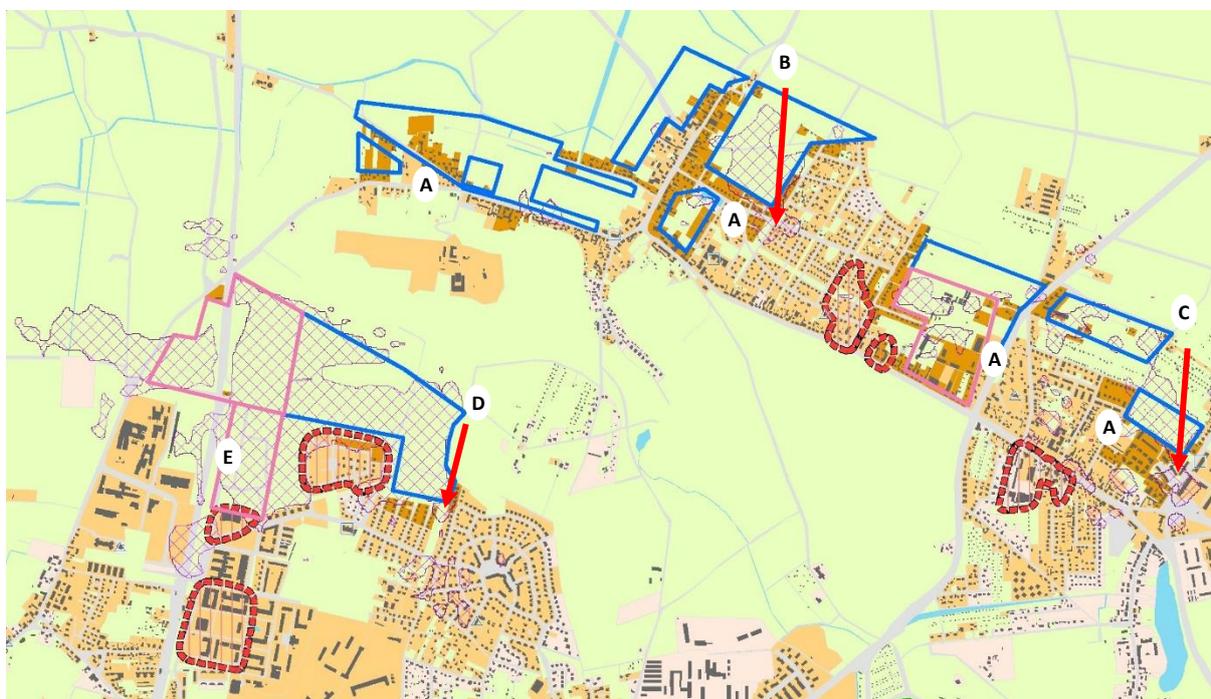
Grün- und Freiflächen

- Kaltluftleitbahn⁴
Modelliertes Kaltluftströmungsfeld
- Leitbahnkorridor in Grün- und Freiflächen als bedeutende übergeordnete Frischluftschneisen
- Übrige Grünflächen im Stadtgebiet Potsdam

Abbildung 7-3: Entwicklungsschwerpunkt Marquardt/Fahrland/Krampnitz

Bereich Golm/Bornim/Bornstedt

Der Entwicklungsschwerpunkt nordöstlich der Potsdamer Innenstadt ist vor allem durch Wohnbebauung geprägt (blaue Umgriffe). Lediglich im Umfeld des Campusgeländes in Golm ist ein Untersuchungsraum „Gewerbe“ lokalisiert. Im Bestand treten nur wenige Siedlungsflächen mit einer gegenwärtigen nächtlichen Wärmebelastung hervor. Gleichzeitig lassen einige Bestandsflächen eine Zunahme der nächtlichen Belastung vor allem in Bornim erkennen, welche wahrscheinlich im Zusammenhang mit den INSEK-Untersuchungsräumen steht (A). Um die thermische Beeinflussung des Bestands zu minimieren, sollte im Übergangsbereich zur Entwicklungsfläche hin eine durchgrünte Abstandsfläche mit mind. 20 m Breite realisiert werden.



Siedlungsräume

- Siedlungsfläche mit gegenwärtiger nächtlicher Wärmebelastung¹
Die mittlere Lufttemperatur innerhalb der Blockfläche liegt mehr als 2 K über dem Mittelwert der Grün- und Freiflächen

Modellhafte Vergleichsrechnung²

- INSEK 2035 - Untersuchungsräume „Siedlung und Freiraum“
- INSEK 2035 - Untersuchungsräume „Gewerbe“

Veränderung der nächtlichen Wärmebelastung und der bodennahen Durchlüftung³ in den Siedlungsflächen unter Annahme einer baulichen Entwicklung der INSEK Untersuchungsräume gemäß Vergleichsrechnung im Jahr 2050

- Temperaturzunahme innerhalb des Klimawandelsignals (< 1,7 K)
Nächtliche Erwärmung liegt innerhalb allgemeiner Klimaveränderung
- Temperaturzunahme über dem Klimawandelsignal (>1,7 K)
Nächtliche Erwärmung liegt über allgemeiner Klimaveränderung
- Temperaturzunahme > 2 K
Nächtliche Erwärmung liegt deutlich über allgemeiner Klimaveränderung
- Beeinflussung der bodennahen Durchlüftung
Abnahme der bodennahen Windgeschwindigkeit um mehr als 0,1 m/s im Umfeld einer INSEK Potenzialfläche ist möglich.

Grün- und Freiflächen

- Kaltluftleitbahn⁴
Modelliertes Kaltluftströmungsfeld
- Leitbahnkorridor in Grün- und Freiflächen als bedeutende übergeordnete Frischluftschneisen
- Übrige Grünflächen im Stadtgebiet Potsdam

Abbildung 7-4: Entwicklungsschwerpunkt Golm/Bornim/Bornstedt

Da die Ergebnisse in Teilbereichen eine Abnahme der Durchlüftung erkennen lassen, sollten gering überbaute lineare Achsen eine Verbindung zu den umgebenden und Kaltluft produzierenden Freiflächen herstellen. Diese Strukturen könnten auch die Erschließung aufnehmen. Im Bereich Gutsstraße könnte ein Durchlüftungsbereich mit Nord-Süd-Ausrichtung auch zukünftig das Einwirken von Kaltluft ermöglichen (**B**). Dies gilt auch für den Bereich Kirschallee (**C**). In Golm sollte der östliche Teil der Entwicklungsfläche „Siedlung und Freiraum“ von einer Bebauung freigehalten werden (**D**). Damit wird der Zutritt von Kaltluft in die Grünachse westlich Baumhaselring ermöglicht und eine mögliche Zunahme der Wärmebelastung reduziert. Für den überplanten Bereich im Campusumfeld (**E**) sind mit Blick auf den Bestand keine Anforderungen gegeben. Hier handelt es sich um Gemeinbedarfsfläche ohne Wohnnutzung, zudem sind die klimatischen Effekte eher gering.

Bereich Pirschheide

Der Raum Pirschheide ist durch eine bioklimatisch günstige Gesamtsituation geprägt, welche sich aus der Nähe zu den Waldflächen bzw. zum Templiner See ergibt. Das klimatische Konfliktpotenzial ist insgesamt gering. Die mit der Flächenentwicklung einhergehende Beeinflussung des bodennahen Windfeldes geht nicht zu Lasten von Wohnbebauung. Besondere Anforderungen an die Flächenentwicklung stellen sich daher nicht.

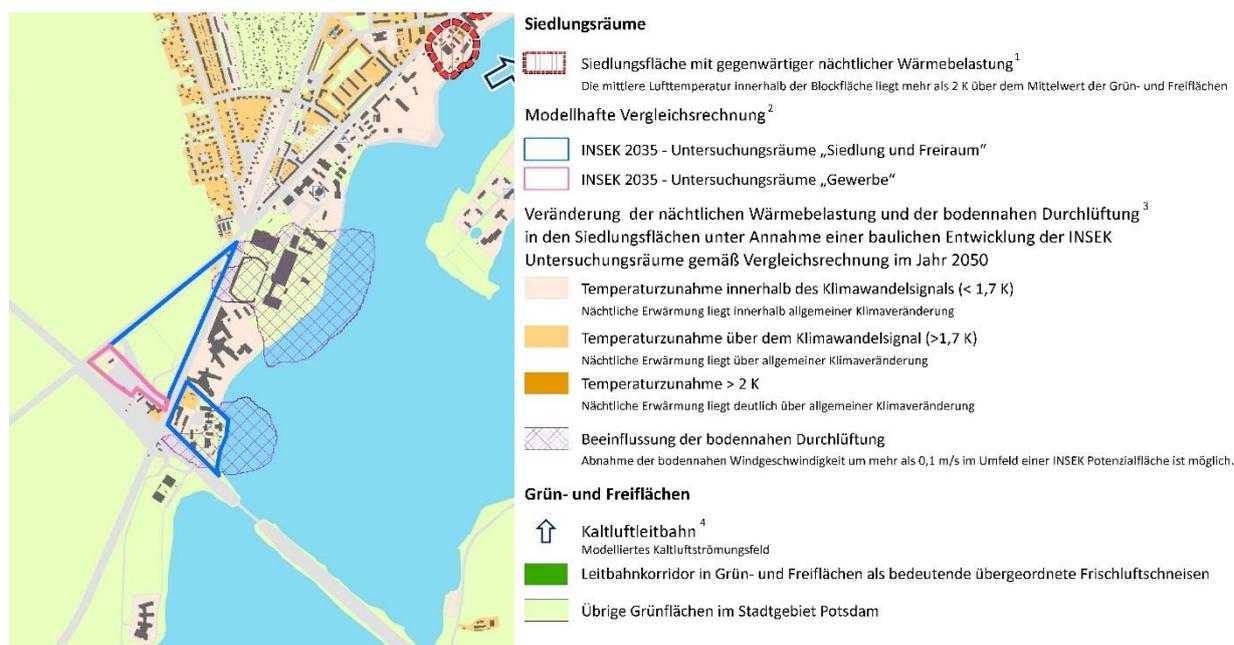


Abbildung 7-5: Entwicklungsschwerpunkt Pirschheide

7.4 Fazit

Da die Anzahl an Tagen mit Hitzestress zunehmen wird, kommt der hitzeangepassten räumlichen Planung zur Erhaltung gesundheitlich unbedenklicher Lebensbedingungen entsprechend der Forderung des BauGB eine wichtige Rolle zu. Denn die weitere städtebauliche Entwicklung trägt ihrerseits zur weiteren Erwärmung der Siedlungsflächen bei. Zunehmende Gesundheitsbelastungen, die insbesondere durch höhere Tages- und Nachttemperaturen ausgelöst werden, werden auch Auswirkungen auf die soziale Infrastruktur haben.

Das INSEK-Szenario 2035 macht die bis zur Mitte des Jahrhunderts zu erwartende Erwärmung der Siedlungsflächen im Potsdamer Stadtgebiet deutlich. Es wird aufgezeigt, welche Bereiche voraussichtlich stärker als andere eine Zunahme der nächtlichen Wärmebelastung erwarten lassen. Gleichzeitig wird der positive Einfluss der umfangreichen Gewässerflächen im Stadtgebiet deutlich. Es kann zudem festgestellt werden, dass die Funktion klimatisch wichtiger Kaltluftleitbahnen von der möglichen Flächenentwicklung nicht betroffen ist.

Auf Ebene der Flächennutzungsplanung können stadtklimatisch relevante Aspekte über entsprechende Beipläne aufgenommen werden. In diesem Rahmen wäre es möglich, Vorsorgebereiche für die Sicherung und Verbesserung des Stadtklimas zu definieren. Diese können die ausgewiesenen Kaltluftleitbahnen bzw. in funktionalem Zusammenhang stehende Grünflächenanteile enthalten (z.B. „Sicherung der Kaltlufttransport- und Produktionsfunktion“ bzw. „Sicherung der bioklimatisch positiv wirkenden Strukturen und vorrangige Förderung von Maßnahmen der Entsiegelung, Beschattung, Verdunstungsförderung und Frischluftzufuhr“). Dies kann auch auf das Thema Niederschlag übertragen werden (z.B. „Vorsorgebereiche zum verbesserten Umgang mit oberflächlichem Niederschlagswasserabfluss“).

8 Literatur

- BfN (2016) – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. BfN-Skripten 444.
- Beck et al. (2020): Projekt Abc –Augsburg bleibt cool. Ergebnisse zu Innentemperaturmessung und Simulationen in Augsburg aus dem Sommer 2019.
https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.wichem/Abc_Zwischenergebnisse/Abc_Temperatur_und_Modellierung.pdf
- Buchin, O., M.-T. Hoelscher, F. Meier, T. Nehls, F. Ziegler (2016): Evaluation of the health-risk reduction potential of counter measures to urban heat islands. *Energy and Buildings* 114: 27-37.
- Curtis, A. J., Helmig, D., Baroch, C., Daly, R. & Davis, S. (2014). Biogenic volatile organic compound emissions from nine tree species used in an urban tree-planting program. *Atmospheric Environment*, 95, 634-643.
- DFG (1988) – Deutsche Forschungsgemeinschaft: Physikalische Grundlagen des Klimas und Klimamodelle. Abschlussbericht. Bonn.
- Fürst, D. und Scholles, F. (Hg.) (2008): Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Dortmund: Dorothea Rohn, 3. Auflage.
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. *Beitr. Phys. Atmosph.* , H 62 , S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg.
- GROSS, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. *Meteor. Z.schr.* Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- Hoelscher, M.-T., T. Nehls, B. Jänicke, G. Wessolek (2016): Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings* 114: 283-290.
- IPS (11/2021): Starkregengefahrenkarte für das Stadtgebiet Potsdam, Teil 1: Modellaufbau und Erstellung der Gefahrenkarte. Auftraggeber: Energie und Wasser Potsdam GmbH.
- JENDRITZKY, G., et al. 1990. Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). *Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan.* Nr. 114.
- KIESE, O. et al. (1992) : Stadtklima Münster. Entwicklung und Begründung eines klimarelevanten Planungskonzeptes für das Stadtgebiet von Münster. Stadt Münster - Werkstattberichte zum Umweltschutz 1/1992

- KUTTLER, W. (1999): Human-biometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. In: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e. V. Leipzig. Band 13.
- KUTTLER, W. (2013): Klimatologie. Kapitel: Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel. Paderborn: Schöningh (2. Auflage).
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- MVI Baden Württemberg 2012: Städtebauliche Klimafibel.
<https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/pdf/Klimafibel-2012.pdf>
- Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Hrsg: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Stand: Dezember 2016
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2010): Stadtentwicklungsplan Klima. Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2021): Stadtentwicklungsplan Klima 2.0. unveröffentlicht
- Stadt Zürich (2020): Fachplanung Hitzeminderung.
<https://www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/gsz/planung-und-bau/fachplanung-hitzeminderung.html>
- UBA (2005): Gesünder Wohnen – aber wie?
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2885.pdf>
- UBA (2019): Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. UBA-Texte.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/untersuchung-der-potentiale-fuer-die-nutzung-von>
- UBA (2020): Luftqualität 2019. Hintergrundpapier.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2019>
- UBA (2020a): Gebäudeklimatisierung
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebaeudeklimatisierung>
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene.
- VDI (2008a): VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.

VDI (2008b): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.

VDI (2014): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen.

Danksagung

Das Projektteam bedankt sich ausdrücklich bei allen Beteiligten Einrichtungen und Institutionen für die tatkräftige Mitwirkung und Unterstützung in diesem Projekt.