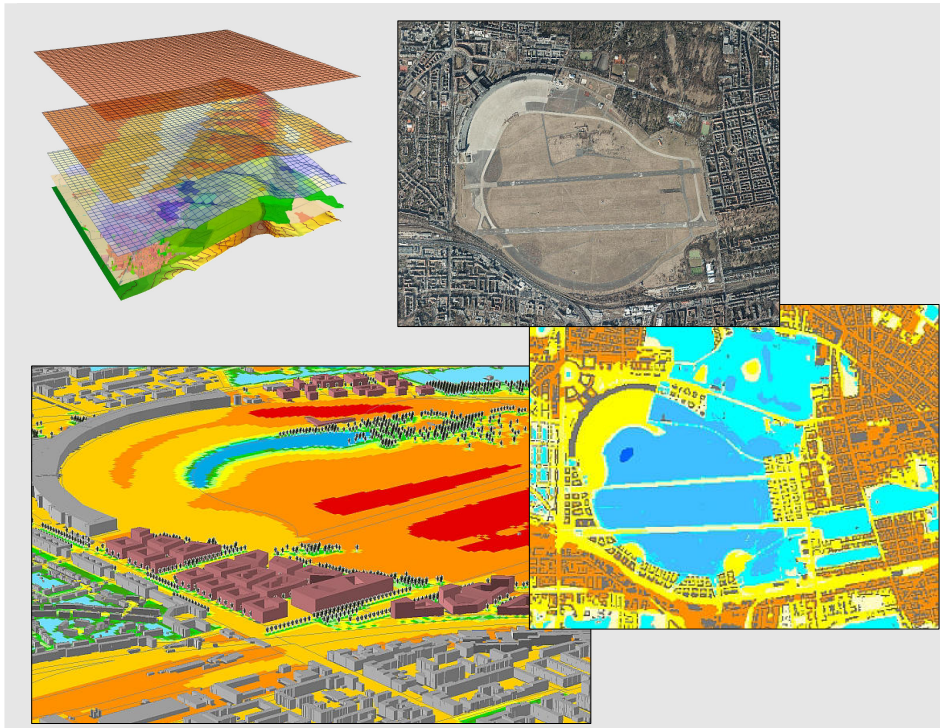


# Klimaökologische Untersuchung „Tempelhofer Freiheit“ in Berlin



Auftraggeber:

**Senatsverwaltung für  
Stadtentwicklung Berlin,**  
vertreten durch

**Tempelhof Projekt GmbH**  
Columbiadamm 10/D2  
12101 Berlin



**GEO-NET Umweltconsulting GmbH**

Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover

Tel. (0511) 3887200

FAX (0511) 3887201

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

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross

Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),

Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und

Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Hannover, September 2013

**Auftrag:** Klimaökologische Untersuchung „Tempelhofer Freiheit“ in Berlin

**Standort:** Stadt Berlin  
Bundesland: Berlin  
Deutschland

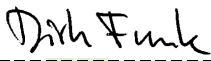
**Auftraggeber:** Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin,  
vertreten durch  
Tempelhof Projekt GmbH  
Columbiadamm 10/D2  
12101 Berlin

**Projektnummer:** 2\_12\_018

**Berichtsnummer:** 2\_12\_018\_THF\_Klima\_Rev00

**Version:** 1

**Datum:** 10. September 2013

**Erstellt von:**   
Dipl.-Geogr. Dirk Funk

**Unter Mitarbeit von:**   
Prof. Dr. Günter Groß

**Geprüft von:**   
Dipl.-Geogr. Peter Trute

**GEO-NET**  
Umweltconsulting GmbH

Geschäftsführer:  
Dipl.-Geogr. Thorsten Frey  
Dipl.-Geogr. Peter Trute

Große Pfahlstraße 5a  
D-30161 Hannover  
Tel. (0511) 388 72 00  
Fax (0511) 388 72 01

info@geo-net.de  
www.geo-net.de

Amtsgericht Hannover  
HRB 61218

Hannoversche Volksbank eG  
KTO. 532 248 000  
BLZ 251 900 01



Die Erstellung des Gutachtens erfolgte nach Stand der Technik nach bestem Wissen und Gewissen. Das Gutachten bleibt bis zur Abnahme und Bezahlung alleiniges Eigentum des Auftragnehmers. Die Veröffentlichung bzw. Vervielfältigung und Weitergabe des Gutachtens bzw. von Auszügen oder Ergebnissen an Dritte bedarf des schriftlichen Einverständnisses von GEO-NET Umweltconsulting GmbH.

## Inhaltsverzeichnis

Seite:

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>II</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>III</b>

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>1. Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis .....</b>	<b>3</b>
2.1 Nutzungsstruktur .....	3
2.2 Geländehöhe .....	5
2.3 Städtebaulicher Rahmenplan .....	5
<b>3. Methodik.....</b>	<b>7</b>
3.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH .....	7
3.2 Synoptische Rahmenbedingungen .....	9
3.3 Standardisierung der Parameter .....	10
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>12</b>
4.1 Lufttemperatur .....	12
4.1.1 Bodennahes Temperaturfeld - Nachtsituation um 04 Uhr .....	12
4.1.2 Temperaturfeld auf Überdachniveau - Nachtsituation um 04 Uhr .....	16
4.1.3 Bodennahes Temperaturfeld - Tagsituation um 14 Uhr .....	20
4.1.4 Temperaturfeld auf Überdachniveau - Tagsituation um 14 Uhr .....	23
4.2 Kaltluftströmungsfeld - Nachtsituation um 04 Uhr .....	26
4.2.1 Bodennahes Windfeld - Nachtsituation um 04 Uhr .....	27
4.2.2 Windfeld auf Dachniveau - Nachtsituation um 04 Uhr .....	31
4.3 Kaltluftvolumenstrom - Nachtsituation um 04 Uhr .....	33
4.4 Bioklimatische Situation - Nachtsituation um 04 Uhr .....	36
<b>5 Parkplanung Tempelhofer Freiheit .....</b>	<b>42</b>
5.1 Wärmebelastung am Tage in Grünflächen unter dem Einfluss des Klimawandels .....	42
5.2 Beurteilung der Parkplanung .....	45

<b>6</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>46</b>
6.1	Allgemeine Ergebnisse.....	46
6.2	Quartiersbezogene Bewertung und Planungshinweise.....	48
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Glossar.....</b>	<b>52</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Prozessorientierte Analyse bei einer austauschbaren Hochdruckwetterlage .....	2
Abb. 2.1:	Nutzungsstruktur im Ist-Zustand .....	3
Abb. 2.2:	3-D Gebäudestruktur auf Grundlage der ALK.....	4
Abb. 2.3:	Geländehöhe im Untersuchungsraum .....	5
Abb. 2.4:	Rahmenplan Tempelhofer Freiheit (Stand 12.2013) mit einer Annahme für eine mögliche Bebauung der Potentialfläche am Columbiadamm.....	6
Abb. 3.1:	Unterschiedliche Rasterweiten bei einem digitalem Geländehöhenmodell.....	8
Abb. 3.2:	Eingangsdaten für die Modellrechnung.....	9
Abb. 3.3:	Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen .....	10
Abb. 3.4:	Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern.....	11
Abb. 4.1:	Untersuchungsablauf .....	12
Abb. 4.2:	Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr - Istzustand .....	14
Abb. 4.3:	Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr - Planzustand.....	15
Abb. 4.4:	Differenz bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr zwischen Plan- und Istzustand .....	16
Abb. 4.5:	Lufttemperatur auf Überdachniveau (27,5 m) um 04 Uhr - Istzustand.....	17
Abb. 4.6:	Lufttemperatur auf Überdachniveau (27,5 m) um 04 Uhr - Planzustand .....	17
Abb. 4.7:	Differenz der Lufttemperatur auf Dachniveau um 04 Uhr zwischen Plan- und Istzustand .....	18
Abb. 4.8:	Schnittbild Lufttemperatur um 04 Uhr - Beispiel Südring .....	19
Abb. 4.9:	Schnittbilder Lufttemperatur um 04 Uhr .....	19
Abb. 4.10:	Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Istzustand .....	20
Abb. 4.11:	Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Planzustand.....	21
Abb. 4.12:	Differenz bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Planzustand.....	21
Abb. 4.13:	Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Beispiel Tempelhofer Damm.....	22
Abb. 4.14:	Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Beispiel Wasserbecken.....	22
Abb. 4.15:	Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Beispiel Südring.....	23
Abb. 4.16:	Lufttemperatur auf Überdachniveau um 14 Uhr - Istzustand .....	24
Abb. 4.17:	Lufttemperatur auf Überdachniveau um 14 Uhr - Planzustand.....	24
Abb. 4.18:	Differenz der Lufttemperatur auf Dachniveau um 14 Uhr .....	25
Abb. 4.20:	Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft um 04 Uhr - Istzustand .....	28



Abb. 4.21: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft um 04 Uhr - Planzustand .....	28
Abb. 4.22: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr - bodennah .....	29
Abb. 4.23: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr - Beispiel Oderquartier .....	30
Abb. 4.24: Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft auf Dachniveau um 04 Uhr - Istzustand .....	31
Abb. 4.25: Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft auf Dachniveau um 04 Uhr - Planzustand .....	32
Abb. 4.26: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr - Dachniveau .....	32
Abb. 4.27: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom .....	33
Abb. 4.28: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr - Istzustand .....	34
Abb. 4.29: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr - Planzustand .....	35
Abb. 4.30: Differenz Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr .....	35
Abb. 4.31: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr - Beispiel Südtring .....	36
Abb. 4.32: Bioklimatische Situation um 04 Uhr - Istzustand .....	38
Abb. 4.33: Bioklimatische Situation um 04 Uhr - Planzustand .....	38
Abb. 4.34: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bestand .....	39
Abb. 4.35: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Columbiadamm .....	39
Abb. 4.36: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Oderstraße .....	40
Abb. 4.37: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Tempelhofer Damm .....	40
Abb. 4.38: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Südtring .....	40
Abb. 5.1: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Tagsituation) in der Dekade 2001 bis 2010 .....	43
Abb. 5.2: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Tagsituation) in der Dekade 2046 bis 2055 .....	43
Abb. 5.3: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Tagsituation) in der Dekade 2090 bis 2099 .....	44
Abb. 6.1: Bilanzräume .....	47

## Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms .....	33
Tab. 4.2: Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht .....	37
Tab. 6.1: Bilanzierung klimaökologischer Parameter: Zu- und Abnahmen in den Bestandsquartieren .....	47

## 1. Aufgabenstellung

Das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen sind nicht zuletzt abhängig von den meteorologischen Verhältnissen in ihrem Lebensumfeld. Dabei wirkt sich die Gestaltung dieses Lebensumfeldes, also vornehmlich die des Siedlungsraumes, direkt auf die in ihm auftretenden Wärme- und Luftbelastungen aus. Klimatische und lufthygienische Aspekte sind somit durch den Menschen beeinflussbar und daher feste Bestandteile der räumlichen Planung. Mit der Schließung des Flughafens Tempelhof stellt sich die Aufgabe, eine ca. 370 ha große Fläche in das städtische Umfeld zu integrieren. Aus dem vorangegangenen städtebaulichen und landschaftsplanerischen Planungsverfahren ist ein Masterplan als Gesamtkonzept für die Tempelhofer Freiheit hervorgegangen. Dem Masterplan liegt ein Rahmenplan zugrunde, der mögliche Gebäudekörper aufzeigt. Dieser Rahmenplan ist die Grundlage der vorliegenden Untersuchung. Im weiteren Planungsverlauf soll dies für die einzelnen Teilräume in Bebauungsplänen vertieft werden. In den Masterplan sind auch die Erkenntnisse vorangegangener klimatischer Analysen eingeflossen (GEO-NET 2009b, 2010).

Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, vertreten durch die Tempelhof Projekt GmbH, wurde vom Büro GEO-NET Umweltconsulting GmbH in Kooperation mit Prof. Dr. G. Groß (Universität Hannover) eine weitere modellgestützte Analyse zu den klimaökologischen Auswirkungen durchgeführt. Für die planerische Berücksichtigung der Schutzgüter Klima und Luft ist es bedeutsam, sich auf eine differenzierte Bewertung der kleinräumig variablen klimatischen Bedingungen einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen stützen zu können. Die zu klärenden Fragen, die im Mittelpunkt der Untersuchung stehen, beziehen sich auf das Umfeld der Tempelhofer Freiheit:

- Welche Belüftungssituation liegt in der Umgebung der Vorhabensfläche vor?
- Wie ist die bioklimatische Situation zu beurteilen?
- Wie wird sich eine Bebauung von Teilen der Tempelhofer Freiheit voraussichtlich auf die klimaökologische Situation, besonders im Hinblick auf die Luftaustauschprozesse, auswirken?
- Welche Vorschläge lassen sich für eine klimaökologisch optimierte Entwurfsplanung der Parklandschaft ableiten?

Diese Studie soll klimaökologische Rahmendaten in einer hohen räumlichen Auflösung liefern, um eine sachgerechte Beurteilung der Schutzgüter Klima/Luft innerhalb des Planungsprozesses zu gewährleisten. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Beeinflussung des Kaltlufthaushaltes durch die zusätzlichen Baufelder gelegt.

Ausgangspunkt für die Ermittlung dieser Zusammenhänge ist eine austauscharme, sommerliche Hochdruckwetterlage, die häufig mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung in den Siedlungsräumen sowie lufthygienischen Belastungen einhergeht. Während bei einer windstarken „Normallage“ der Siedlungsraum gut durchlüftet wird und eine Überwärmung kaum gegeben ist, stellt die windschwache Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel im Sommer eine „Worst Case“-Betrachtung dar (Abb. 1.1).

Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Frischluftströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen zum Abbau einer Wärmebelastung in den überwärmten Siedlungsflächen beitragen. Aufgrund der Größe sowie der Lage im Stadtgebiet Berlins ergibt sich für die Tempelhofer Freiheit eine bedeutsame klimatische Ausgleichsfunktion, welche auch im Zuge einer Nachnutzung erhalten bleiben soll. Ziel soll sein, in den Nachtstunden eine ausreichende Kalt-/Frischluftversorgung in den angrenzenden Quartieren aufrecht zu erhalten.

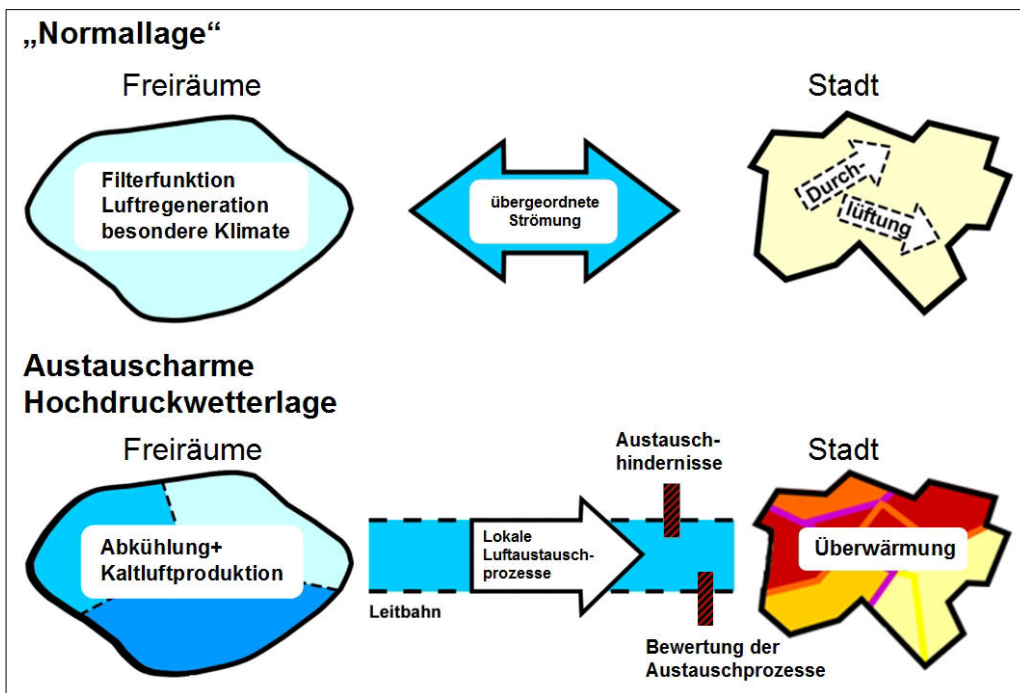


Abb. 1.1: Prozessorientierte Analyse bei einer austauscharmen Hochdruckwetterlage

Diese Prozesse sind für eine solche Wetterlage mit dem mesoskaligen Klima- und Strömungsmodell FITNAH simuliert worden. Betrachtet werden dabei der bodennahe Bereich sowie das Dach- bzw. Überdachniveau. Darüber hinaus wird für die Lufttemperatur auch die Tagsituation ausgewertet und der Schatten spendende Einfluss von Bäumen sichtbar gemacht.

## 2. Datengrundlage und Aufbau der Geodatenbasis

Nutzungsstruktur und Geländehöhe sind wichtige Eingangsdaten für die Windfeldmodellierung, da über die Oberflächengestalt, die Höhe der jeweiligen Nutzungsstrukturen sowie deren Versiegelungsgrad das Strömungs- und Temperaturfeld entscheidend beeinflusst wird. Die dafür erforderlichen Geodaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Das gesamte Untersuchungsgebiet hat bei einer Abmessung von 4490 m x 4800 m eine Fläche von insgesamt etwa 21,5 km<sup>2</sup>. Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte mit einer Zellengröße von 10 m x 10 m.

### 2.1 Nutzungsstruktur

Informationen zur Landnutzung wurden von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin bereitgestellt. Für deren Aufbereitung konnte auf die Daten des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) zurückgegriffen werden. Die digitale Grundkarte Berlin im Maßstab enthält u.a. baublockbezogene Angaben zur realen Flächennutzung und zum Versiegelungsgrad (SenStadt 2011a-c; SenStadt 2007). Um den speziellen Anforderungen der Modellanalyse gerecht werden zu können, wurde die Nutzungsklassifizierung des ISU zu einem 10-klassigen Nutzungsschlüssel aggregiert. Die Nutzungsdaten wurden auf Basis von Luftbildern (Stand 2011) überprüft und ggf. ergänzt. Die Nutzungsstruktur im Ist-Zustand auf Grundlage des ISU zeigt Abb. 3 für den Untersuchungsraum der Klimamodellierung:

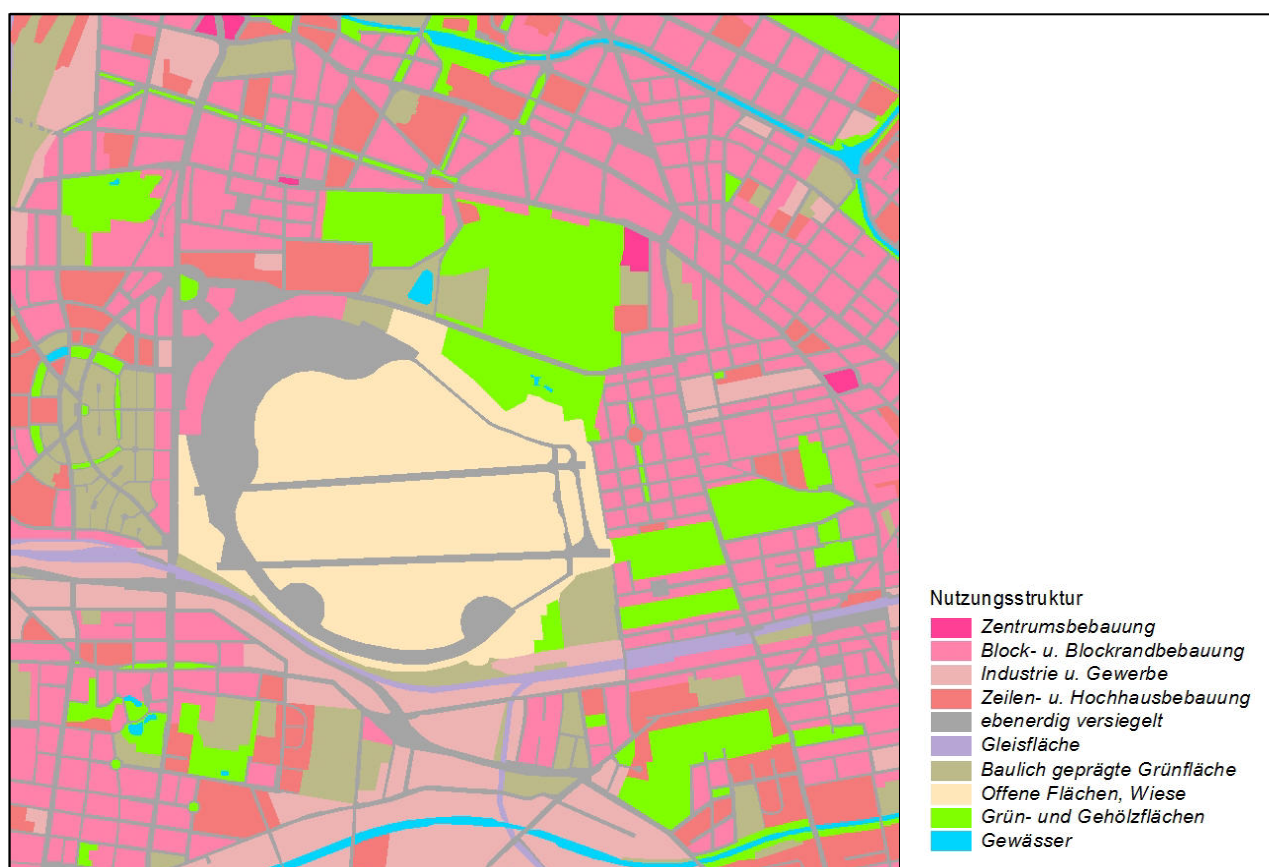


Abb. 2.1: Nutzungsstruktur im Ist-Zustand

Der ehemalige Flughafen Tempelhof bildet zusammen mit dem Volkspark Hasenheide und den angrenzenden Friedhöfen einen ausgedehnten Grünflächenverbund, wobei in der Umgebung der Tempelhofer Freiheit eine Block- und Blockrandbebauung überwiegt. Innerhalb der Siedlungsflächen des

Modellgebietes sind mit dem Viktoriapark, Franckepark sowie dem Böcklerpark weitere Grün- und Freiflächen anzutreffen.

Eine wichtige Modelleingangsgröße stellt die Höhe der Baustrukturen dar, welche einen maßgeblichen Einfluss auf das lokale Windfeld ausübt. Dafür wurden vom Auftraggeber die Gebäudegeometrien auf Grundlage der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) zur Verfügung gestellt. Über eine Angabe zur Anzahl der Geschosse konnten die jeweiligen Gebäudehöhen berechnet werden. Einen Ausschnitt aus der nordwestlichen Tempelhofer Freiheit zeigt Abb. 2.2, wobei die Blockflächen der digitalen Grundkarte im Maßstab 1:5.000 als Umrisse dargestellt sind.

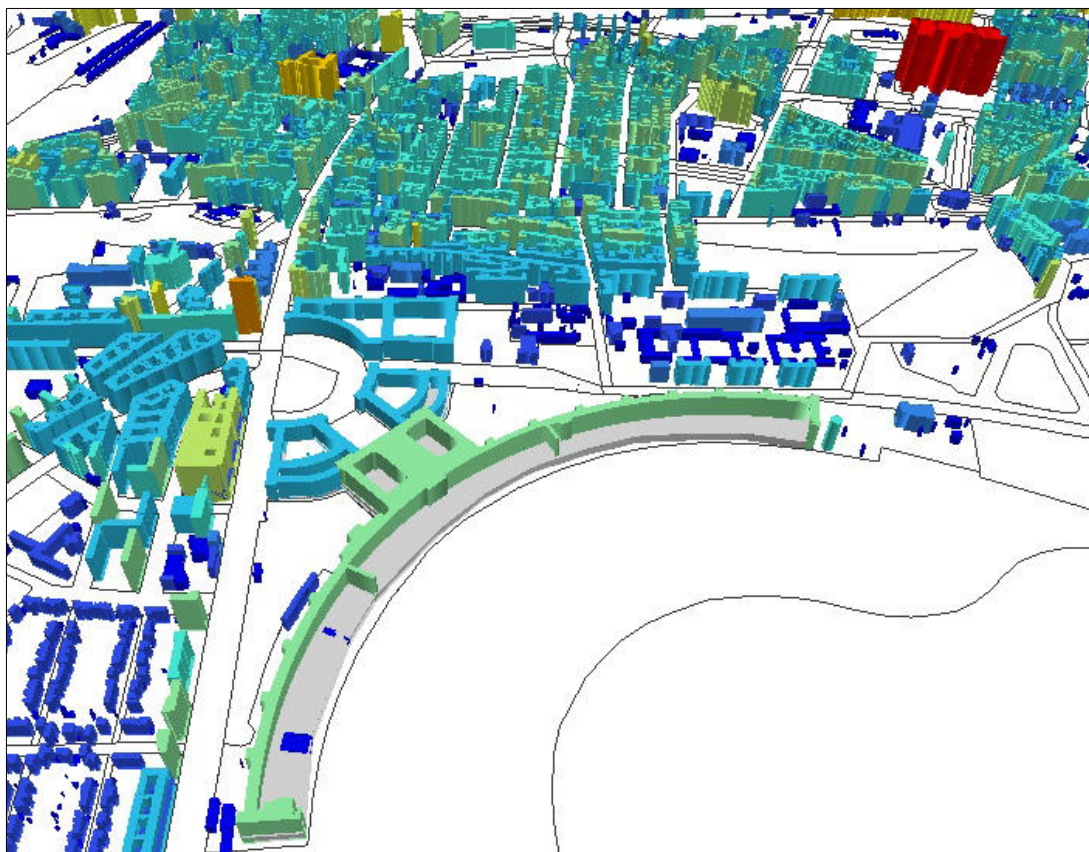


Abb. 2.2: 3-D Gebäudestruktur auf Grundlage der ALK

Die Angabe zur Strukturhöhe der geplanten Bauflächen für das Planungsszenario wurde vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und in die Datenbasis eingearbeitet. Auf dieser Grundlage wurde den die Gebäude repräsentierenden Rasterzellen eine individuelle Strukturhöhe zugewiesen. Mit der hohen räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m war es möglich, die Gebäudestrukturen realitätsnah zu erfassen und ihren Einfluss auf den nächtlichen Luftaustausch abzubilden. Dieser Detaillierungsgrad konnte bei den vorausgegangenen Klimaanalysen, welche eine Auflösung von 25 m x 25 m hatten, so noch nicht erbracht werden.



## 2.2 Geländehöhe

Zur Bereitstellung der orographischen Eingangsparameter für die Berechnung des Wind- und Temperaturfeldes wurde ein digitales Geländemodell des Informationssystems Stadt und Umwelt (ISU) verwendet (SenStadt 2010; SenStadt 2013). Die Zellengröße des erzeugten Modelleingangsrasters beträgt 10 m. Die Geländehöhe ist in Abb. 2.3 dargestellt, wobei die höchstgelegenen Geländepunkte von bis zu 68 m ü NN im Victoriapark sowie der Hasenheide anzutreffen sind.

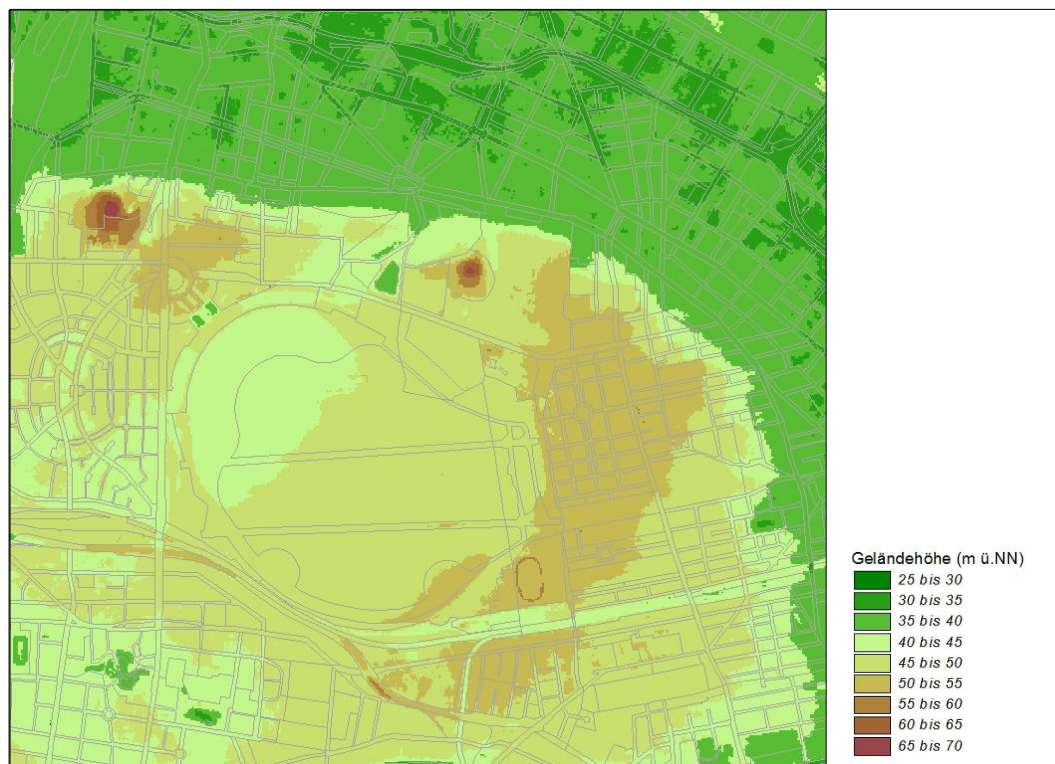


Abb. 2.3: Geländehöhe im Untersuchungsraum

Auf einem Großteil der Tempelhofer Freiheit liegt ein Höhenniveau von 45 m bis 50 m vor, welches weiter östlich auf 50 m bis 55 m ansteigt. Nördlich einer Linie Bergmannstr. – Hasenheide – Karl-Marx-Str. geht die Geländehöhe auf weniger als 40 m ü NN zurück.

## 2.3 Städtebaulicher Rahmenplan

Der städtebauliche Rahmenplan als Grundlage der weiteren Flächenentwicklung sieht Bauflächen mit einer Gesamtgröße von etwa 60 ha vor, wobei unterschiedliche Gebäudetypologien für Wohn- und Gewerbenutzung entstehen sollen. Drei neue Stadtquartiere sollen um einen großen zentralen Park herum entstehen und sind durch eine urbane Mischung aus Wohnen und Arbeiten geprägt. Die Entwicklung des Quartiers Columbiadamm ist nach 2025 verschoben und wird nur als Potenzialfläche dargestellt. Für die vorliegende Untersuchung war es erforderlich, Annahmen über mögliche Gebäudeformen zu treffen. Abbildung 2.4 zeigt den Rahmenplan (Stand 12.2012) mit einer möglichen Bebauung für die Potenzialfläche am Columbiadamm. Neben Bildungs-, Wohnen- und Einzelhandelsnutzungen soll am Tempelhofer Damm auch die neue Zentral- und Landesbibliothek entstehen. Das Quartier Südring ist als Gewerbe-, Dienstleistungs- und Wohnstandort, das Quartier Oderstraße als Wohngebiet geplant. Dabei wird eine Vernetzung des Areals mit den angrenzenden Stadtquartieren Neukölln, Tempelhof-Schöneberg und Friedrichshain-Kreuzberg angestrebt. Die Grünflächen der Tempelhofer Freiheit gliedern sich in die Parklandschaft selbst sowie einzelne, die neuen Quartiere durchdringenden Parkfugen.

Im Hinblick auf den nächtlichen Luftaustausch kommt diesen eine besondere Bedeutung zu, da sie einen Austritt von Kaltluft in den Bestand ermöglichen.



Abb. 2.4: Rahmenplan Tempelhofer Freiheit (Stand 12.2012) mit einer Annahme für eine mögliche Bebauung der Potentialfläche am Columbiadamm

Ein wesentliches Merkmal der Parklandschaft ist neben der Einbeziehung der ehemaligen Landebahnen eine an das Vorfeld angrenzende Wasserfläche. Darüber hinaus sollen Baumpflanzungen im Übergangsbereich der neuen Quartiere zur Parklandschaft angelegt werden. Vor allem für die Fußgänger sollen neben dem Ausbau des Wegenetzes zusätzliche Stadtplätze die Vernetzung der Quartiere mit der Parklandschaft sowie der Umgebung stärken.



### 3. Methodik

#### 3.1 Das Mesoskalenmodell FITNAH

##### Allgemeines

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

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

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

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

##### Grundlagen mesoskaliger Modelle

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

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

## Grundgleichungen

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

Je nach Problemstellung und gewünschter Anwendung kann dieses Grundgerüst noch erweitert werden um z.B. die Effekte von Niederschlag auf die Verteilung der stadtklimatologisch wichtigen Größen zu berücksichtigen. In diesem Falle müssen weitere Bilanzgleichungen für Wolkenwasser, Regenwasser und feste Niederschlagspartikel gelöst werden. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt in einem numerischen Raster. Die Rasterweite muss dabei so fein gewählt werden, dass die lokalklimatischen Besonderheiten des Untersuchungsraumes vom mesoskaligen Modell erfasst werden können. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst (vgl. Abb. 3.1). So kann z.B. die Immissionssituation in einer Straßenschlucht nur mit einem mikroskaligen Modell realitätsnah simuliert werden.

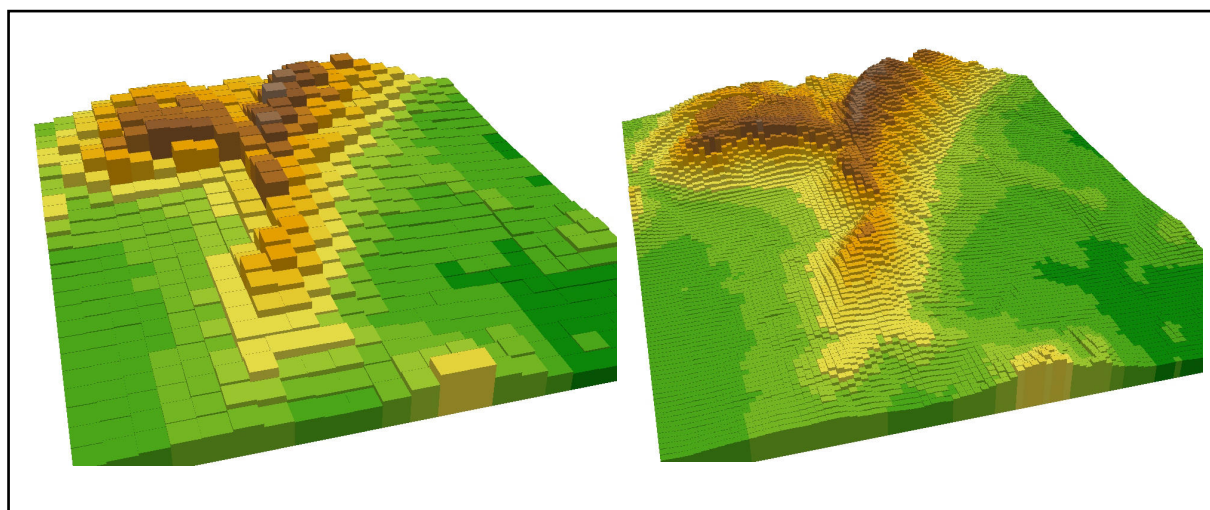


Abb. 3.1: Unterschiedliche Rasterweiten (links: 500 m x 500 m; rechts: 125 m x 125 m) bei einem digitalem Geländehöhenmodell

Allerdings steigen mit feiner werdender Rasterweite die Anforderungen an Rechenzeit und an die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH verwendete räumliche Maschenweite  $\Delta x$  10 m. Bei allen Modellrechnungen ist die vertikale Gitterweite nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre sind die Rechenflächen besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m. Nach oben hin wird der Abstand  $\Delta z$  immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m über Grund. 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 über Grund = Aufenthaltsbereich der Menschen).

## Eingangsdaten

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH muss zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten zur Verfügung stehen (Abb. 3.2). Diese müssen zum einen die Landschaft charakterisieren, für welche die lokalklimatische Studie durchgeführt werden soll, und zum anderen auch die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren.

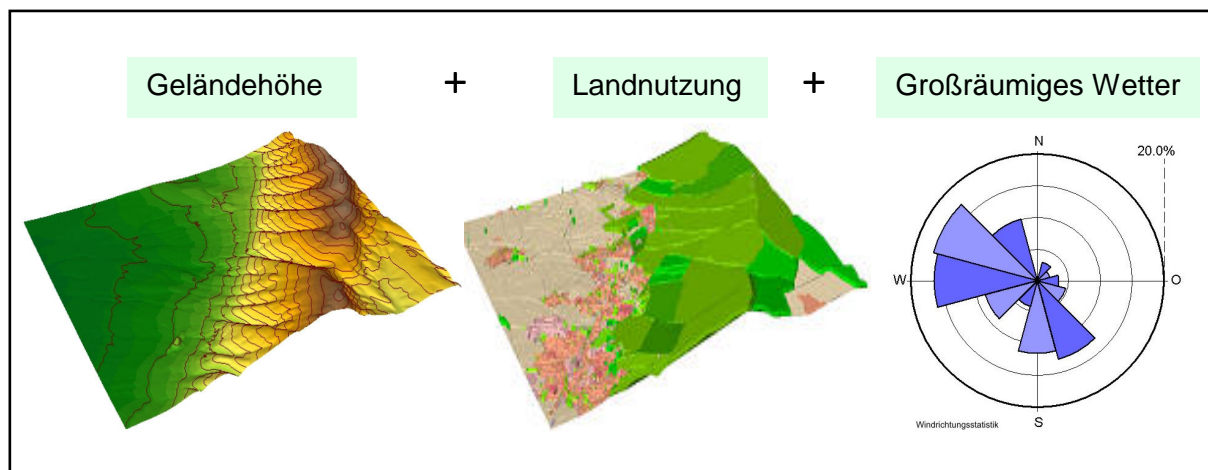


Abb. 3.2: Eingangsdaten für die Modellrechnung

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

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

## 3.2 Synoptische Rahmenbedingungen

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

- Bedeckungsgrad 0/8,
- kein überlagernder geostrophischer Wind,
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.

Die vergleichsweise geringen Windgeschwindigkeiten bei einer austauscharmen Wetterlage bedingen einen herabgesetzten Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht. Bei gleichzeitiger hoher Ein- und Ausstrahlung können sich somit lokal bioklimatische und lufthygienische Belastungsräume ausbilden. Charakteristisch für diese (Hochdruck-) Wetterlage ist die Entstehung eigenbürtiger Kaltluftströmungen (Flurwinde), die durch den Temperaturgradienten zwischen kühlen Freiflächen und wärmeren Siedlungsräumen angetrieben werden. Die Häufigkeit des Auftretens dieser Wettersituation in Berlin während der Sommermonate Juni bis August kann, gemittelt über die Jahre 2000 bis 2012, auf durchschnittlich 29 % der Tage im Jahr beziffert werden (GEO-NET 2010).

In Abb. 3.3 sind schematisch die für eine austauscharme sommerliche Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt.

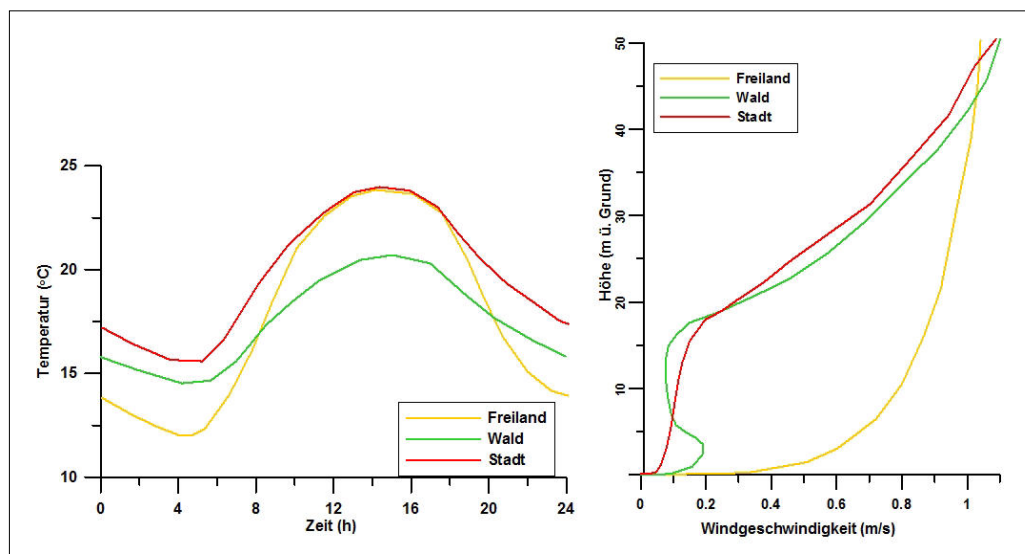


Abb. 3.3: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für verschiedene Landnutzungen (eigene Abbildung)

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

### 3.3 Standardisierung der Parameter

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, werden die Parameter über eine **z-Transformation** standardisiert<sup>1</sup>. 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.

<sup>1</sup> Rechnerisch wird dabei von jedem Ausgangswert der Variablen das arithmetische Gebietsmittel abgezogen und durch die Standardabweichung aller Werte geteilt

Hieraus ergeben sich vier Bewertungskategorien, deren Abgrenzung durch den Mittelwert Null sowie die einfache positive und negative Standardabweichung von diesem Mittelwert festgelegt ist (s. Abb. 3.4).

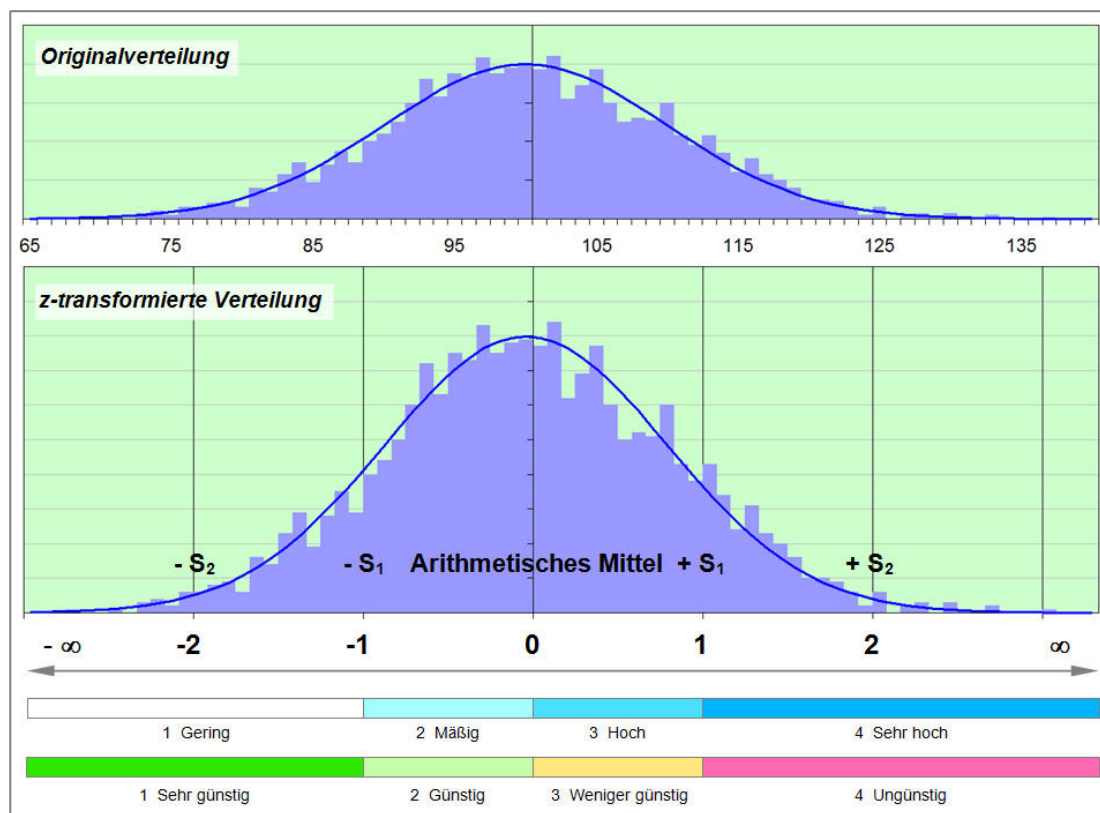


Abb. 3.4: Veranschaulichung der Standardisierung zur vergleichenden Bewertung von Parametern

Neben ihrem Einsatz für die Ermittlung und Beurteilung des Klimaparameters Kaltluftvolumenstrom (S. 33) wird die z-Transformation in dieser Untersuchung auch bei der Bewertung der bioklimatischen Situation (s. S. 36) verwendet.

## 4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung zu den meteorologischen Parametern Lufttemperatur, Kaltluftströmungsgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom sowie dem Bioklima erläutert. Für die Temperatur und die Windgeschwindigkeit werden sowohl der *bodennahe Bereich* als auch das *Dachniveau* bzw. Überdachniveau betrachtet (Abb. 4.1). Der Kaltluftvolumenstrom sowie die bioklimatische Situation werden aus methodischen Gründen nur bodennah ausgewertet. Als meteorologische Rahmenbedingung wurde eine austauscharme Wetterlage zugrunde gelegt, da sich die stadtklimatischen Effekte vor allem während windschwacher Strahlungswetterlagen im Sommer entwickeln. Während der Sommermonate Juni bis August tritt diese Wettersituation an etwa 29 % der Tage auf (s. Kap. 3.2, S. 9). Auslöser dieser Prozesse sind die Temperaturunterschiede zwischen den überwärmten Siedlungsräumen und den kühleren vegetationsgeprägten bzw. unbebauten Flächen. Die Ergebnisse werden für den Istzustand als Basisszenario sowie dem in Kap. 2.3 beschriebenen Rahmenplan als Planszenario für die zweite Nachthälfte (4 Uhr morgens) dargestellt (Abb. 4.1). Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da sich die Luftaustauschprozesse größerer Freiflächen wie die Tempelhofer Freiheit zu diesem Zeitpunkt vollständig ausgebildet haben.

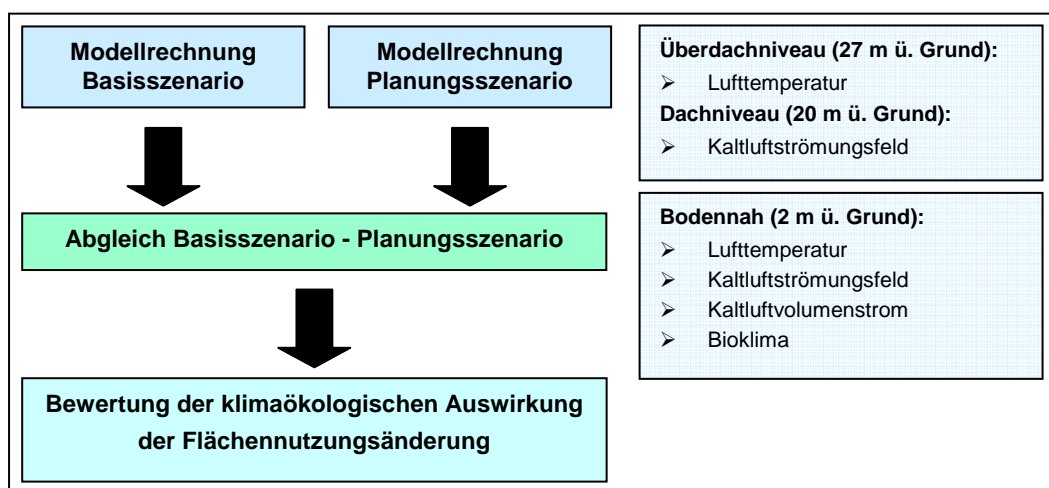


Abb. 4.1: Untersuchungsablauf

Differenzenkarten verdeutlichen im Anschluss die räumlichen Effekte der Nutzungsänderungen auf die Ausprägung der meteorologischen Größen im Vergleich zum Basisszenario.

### 4.1 Lufttemperatur

#### 4.1.1 Bodennahe Temperaturfeld - Nachtsituation um 04 Uhr

**Allgemeines:** Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 8 K Temperaturabweichung einstellen kann. Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen.



Hierzu gehören:

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

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

Eine Sonderstellung nehmen Wald-, Gehölz- 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, wobei hier sauerstoffreiche, staubfreie und wenig belastete Luft entsteht. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts in 2 m Höhe, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage kühlere Luft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

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 und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

**Ergebnisse Temperaturfeld:** Das sich um 4 Uhr in der Nacht einstellende Temperaturfeld im Untersuchungsraum umfasst unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen zwischen Minimalwerten von 14,5°C und Maximalwerten von 20,0°C eine Spannweite von etwa 5,5 Kelvin (K). Die mittlere Temperatur des Untersuchungsgebietes liegt bei etwa 18°C.

### Istzustand

Die Temperaturverteilung ist räumlich differenziert, da Areale mit Wohnbauung, Verkehrsanlagen sowie Grünflächen unterschiedliche Boden- und Oberflächeneigenschaften aufweisen. Abbildung 4.2 (S. 14) zeigt das mit dem Klimamodell FITNAH simulierte Temperaturfeld in 2 m über Grund zum Zeitpunkt 4 Uhr für den derzeitigen Zustand als Basisszenario. Die höchsten Temperaturen von mehr als 19°C treten in der angrenzenden geschlossenen Blockrandbebauung auf, was mit dem überdurchschnittlich hohen



Bauvolumen und der Oberflächenversiegelung einher geht. Südlich der A 100 sind im Bereich der größeren gewerblich genutzten Areale ähnlich hohe Werte anzutreffen. Ein mit 16°C bis 17°C deutlich niedrigeres Temperaturniveau liegt dagegen im Quartier Neu-Tempelhof/Manfred-von-Richthofen-Straße vor, was auf den vergleichsweise geringen Überbauungsgrad und den hohen Grünflächenanteil des hier vorliegenden Bebauungstyps (niedrige Bebauung mit Hausgärten) zurückzuführen ist.

Im Temperaturfeld treten vor allem die durch Wiese/Rasen geprägten Bereiche der Tempelhofer Freiheit mit den niedrigsten Temperaturen von 14°C bis 16°C hervor, da hier eine intensive nächtliche Wärmeausstrahlung mit entsprechender Abkühlung der darüber lagernden Luft erfolgen kann. Die an die Tempelhofer Freiheit angrenzenden Grünflächen wie der Volkspark Hasenheide weisen oberflächennahe Lufttemperaturen zwischen 16°C und 17°C auf. Aufgrund des höheren Gehölz-/Baumanteils und des höheren Versiegelungsgrades ist hier die nächtliche Wärmeausstrahlung der Erdoberfläche etwas geringer. Dieser Grünflächenverbund zeichnet sich deutlich in der Ausprägung des Temperaturfeldes ab.

Zudem tragen die östlich der Tempelhofer Freiheit in das Quartier Schillerpromenade/Hermannstr. hineinreichenden und sich bis zur Lessinghöhe erstreckenden Friedhofsflächen durch ihre geringen Lufttemperaturen zu einer thermischen Entlastung des Siedlungsraumes bei. Der Temperatur absenkende Effekt innerhalb von Siedlungsflächen zeigt sich im Kontaktbereich zu den Grünflächen (gelbe Farbe). Hier ist das Temperaturniveau mit 18°C bis 19°C um etwa 1°C niedriger als in der weiter entfernten Bebauung. Straßenraum und versiegelte Flächen weisen mit 18°C bis 20°C ein ähnliches Temperaturniveau auf wie die umgebende Bebauung.

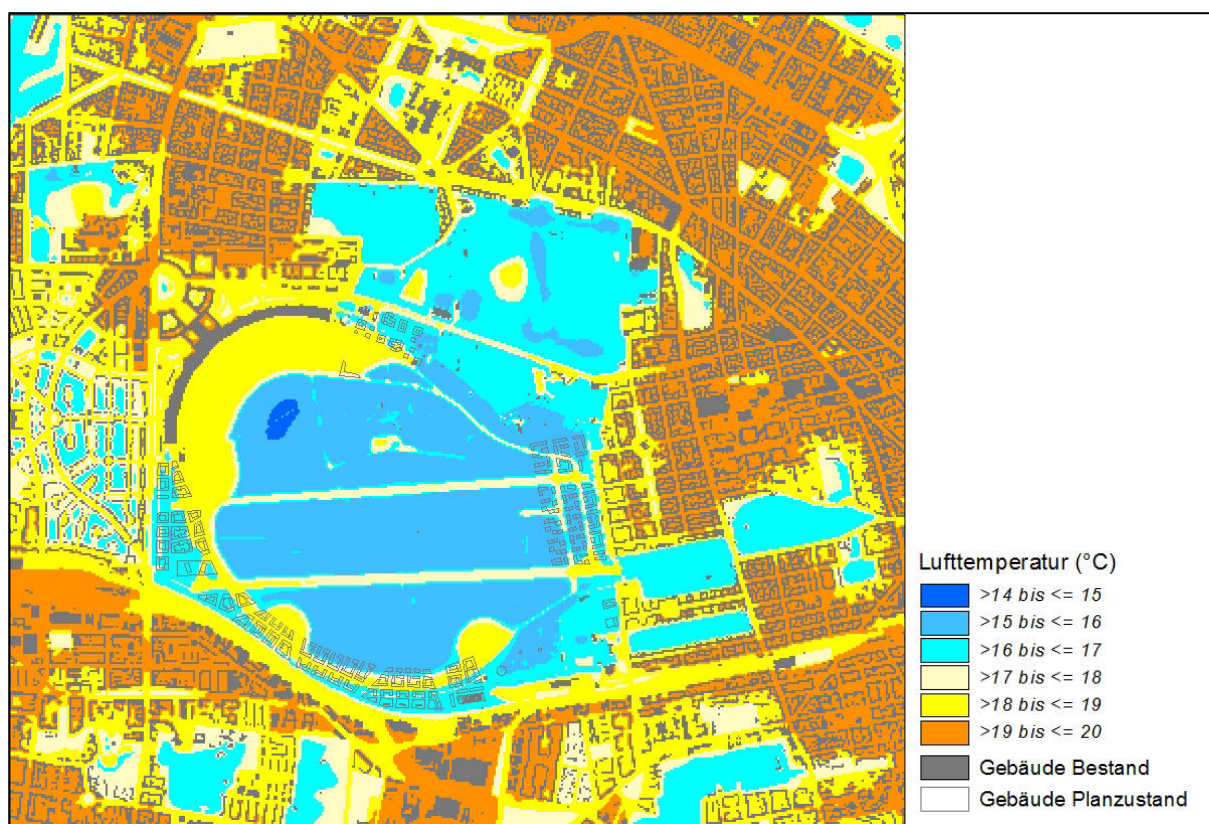


Abb. 4.2: Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr - Istzustand

## Planzustand

Das Temperaturfeld in 2 m Höhe ist in Abb. 4.3 für den Planzustand mit der im Rahmenplan vorgesehenen Bebauung dargestellt. Dabei zeichnen sich die neuen Quartiere deutlich im Temperaturfeld ab. Die Werte liegen hier in einer Größenordnung von verbreitet 18°C bis 19°C. In den Quartieren am Tempelhofer Damm sowie am Südring können diese lokal auch darüber hinaus gehen, was auf die im Vergleich zum Columbiaquartier oder dem Oderquartier höhere Baumasse zurückzuführen ist. Darüber hinaus zeichnet sich die an das Vorfeld anschließende Wasserfläche mit Temperaturen von 17°C bis 19°C ab. Gleichzeitig führt die Entsiegelung des östlichen Vorfeldbereiches zu einer Temperaturabnahme, da die Luft über Rasen stärker auskühlt als dies über einer betonierte Fläche der Fall ist.

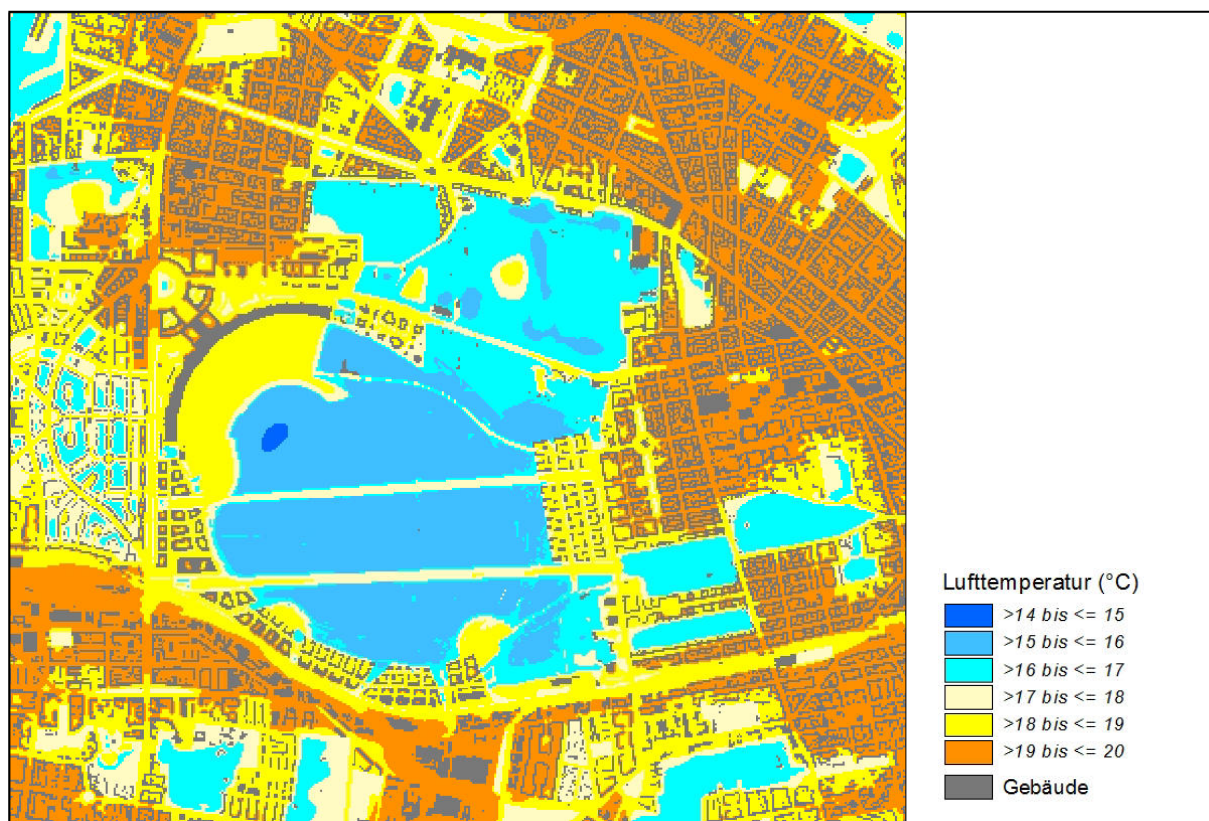


Abb. 4.3: Bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr - Planzustand

Die Abweichungen zwischen dem Plan- und Istzustand sind in Abb. 4.4 als Absolutwerte dargestellt. Dabei werden die beschriebenen Nutzungsänderungen als Zunahmen (rote Farbe) und Abnahmen (blaue Farbe) sichtbar. Sehr deutlich zeichnet sich die geplante Bebauung in der Differenzenabbildung ab. Die Zunahmen der Lufttemperatur können hier bis zu 4 °C betragen. Über die Bebauung hinaus tragen die beschriebene Wasserfläche sowie die zusätzlichen Baumpflanzungen auf der Tempelhofer Freiheit zur lokalen Temperaturerhöhung bei. Dem stehen die Abnahmen gegenüber, welche sich aus der Entsiegelung im Bereich östlich des Vorfeldes sowie des Taxiways ergeben.

Es zeigt sich, dass der Einfluss der Nutzungsänderungen auf die Lufttemperatur rasch abklingt und im Wesentlichen auf die B-Planflächen begrenzt bleibt. Die Temperatursituation im bodennahen Bereich des Bestands bleibt unverändert.



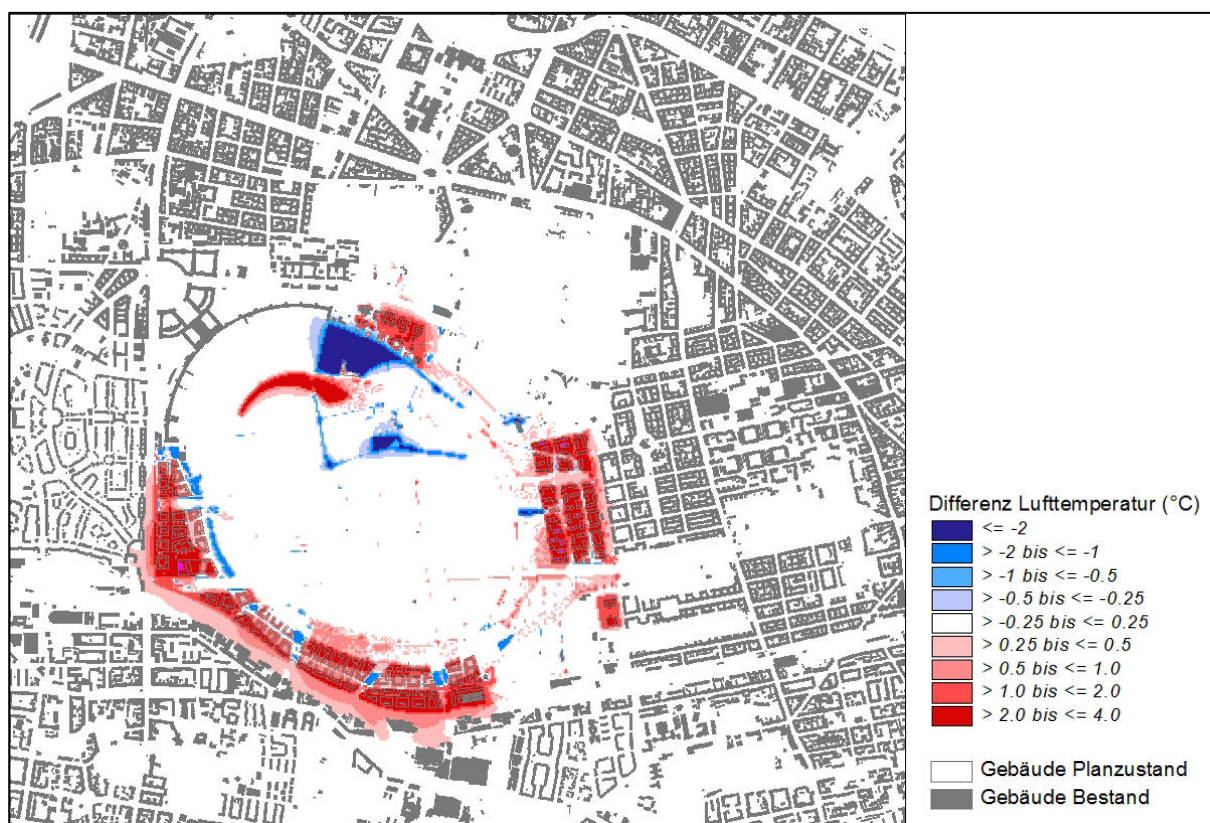


Abb. 4.4: Differenz bodennahe Lufttemperatur um 04 Uhr zwischen Plan- und Istzustand

#### 4.1.2 Temperaturfeld auf Überdachniveau - Nachtsituation um 04 Uhr

Die Auswertung des Temperaturfeldes auf Überdachniveau (27,5 m über Grund) gibt einen zusätzlichen Hinweis auf die Beeinflussung der nächtlichen Lufttemperatur. In diesem Höhenbereich ist die Spannweite der auftretenden Temperaturen allerdings geringer als in 2 m über Grund, da die kühleren Luftmassen aufgrund ihrer höheren Dichte in Bodennähe verbleiben (Inversion). Mit den insgesamt windschwachen Wetterbedingungen geht eine stabile Schichtung der Atmosphäre einher, so dass die Abkühlung nur langsam in die Höhe gelangen kann. Das Ausströmen der Kaltluft aus dem Randbereich der Tempelhofer Freiheit hat gleichzeitig auch ein Absinken der Luft über deren zentralen Bereich zur Folge. Dieses Absinken transportiert wiederum wärmere Luft aus höheren Schichten abwärts, so dass auch über der zentralen Tempelhofer Freiheit im Überdachniveau vergleichsweise hohe Temperaturen von 20°C bis 21°C zu beobachten sind. Darunter befindet sich die über dem Boden gebildete Kaltluft. In den Schnittbildern (Abb. 4-8 ff.) wird deutlich, wie sich die über der Tempelhofer Freiheit produzierte Kaltluft bodennah unter die wärmere Luft der geplanten Quartiere drängt und dabei von wärmerer Luft überlagert wird.

##### Istzustand

Die niedrigsten Temperaturen sind mit 16°C bis 17°C über der nordwestlichen Tempelhofer Freiheit anzutreffen, was auf die starke Abkühlung und die damit einher gehende hohe Mächtigkeit der dort gebildeten Kaltluft zurückzuführen ist. Vergleichsweise niedrige Temperaturen von 18°C bis 20°C (Gelb/Orange) setzen sich nach Norden über die Hasenheide in Richtung Südsterne fort. Dies ist auch im Bereich Tempelhofer Damm und Südring zu beobachten und korrespondiert mit den in den Kap. 4.2 und 4.3 beschriebenen Luftaustauschprozessen. Mit zurückgehendem Einwirken von Kaltluft und zunehmender baulicher Dichte steigen die Temperaturen weiter an und betragen bis zu 22°C über den Dachflächen (Dunkelrot).



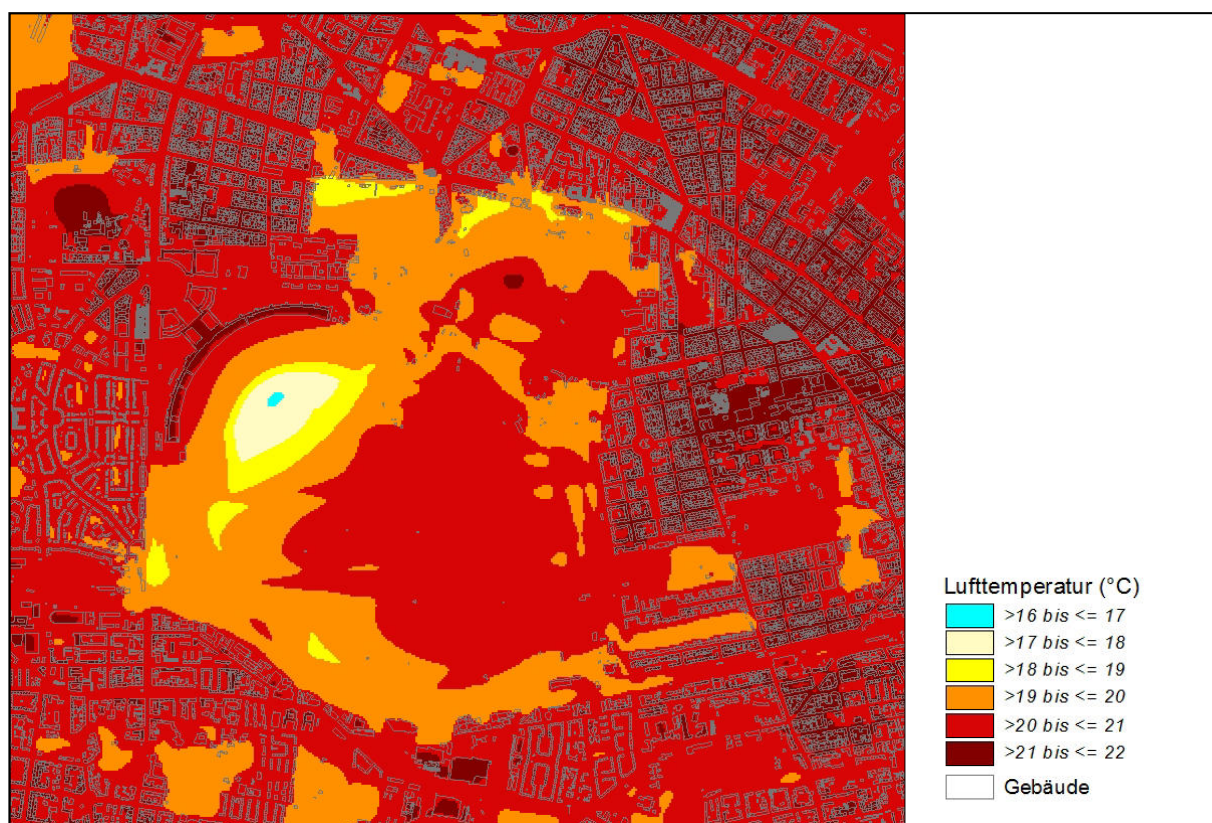


Abb. 4.5: Lufttemperatur auf Überdachniveau (27,5 m) um 04 Uhr - Istzustand

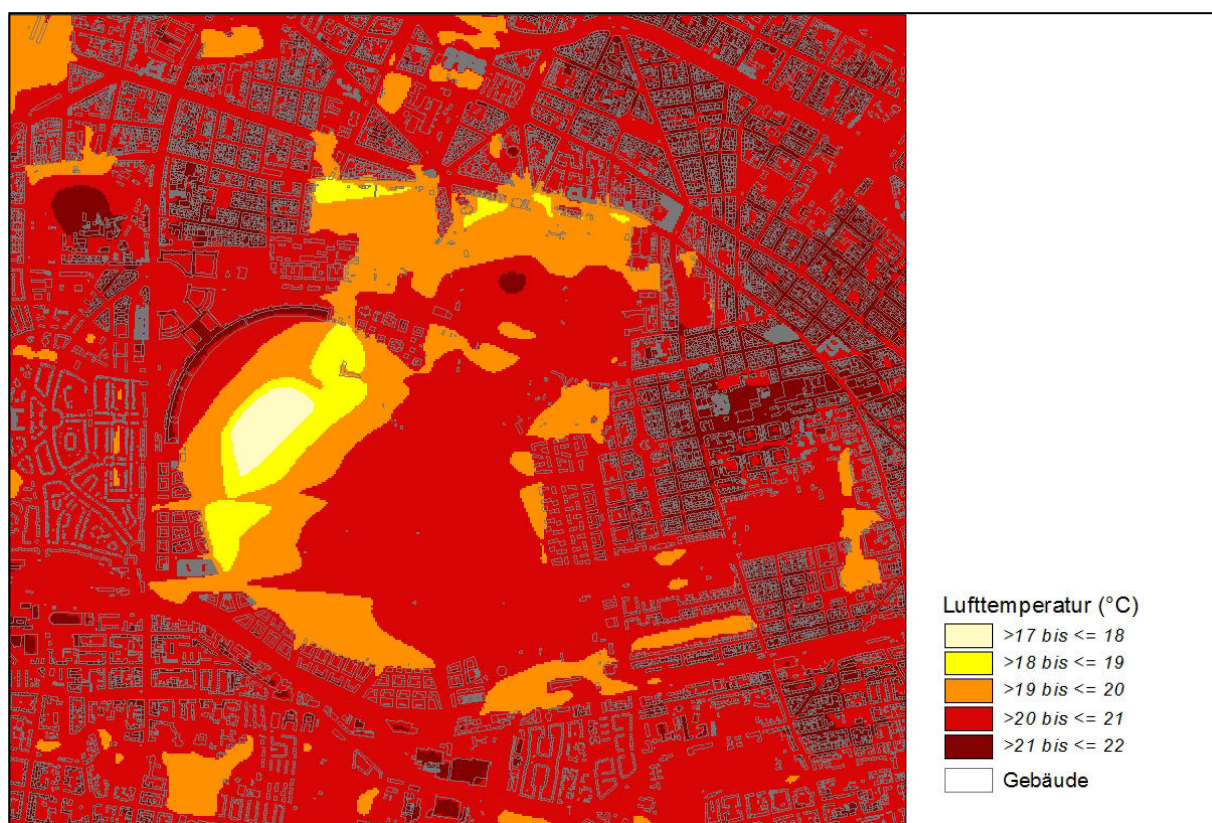


Abb. 4.6: Lufttemperatur auf Überdachniveau (27,5 m) um 04 Uhr - Planzustand

## Planzustand

Mit der Bebauung von Teilen der Tempelhofer Freiheit steigt auch die Lufttemperatur über den neuen Quartieren an. Sie ist mit 20°C bis 21°C nun ähnlich ausgeprägt wie in den benachbarten Bestandsflächen. Über der nordwestlichen Tempelhofer Freiheit werden allerdings die niedrigen Werte des Istzustands nicht mehr erreicht. Die Abbildung 4.6 zeigt, dass die Veränderungen im Vergleich zum bodennahen Bereich räumlich ähnlich begrenzt bleiben. Die absoluten Zunahmen gehen nicht über 3°C hinaus. Darüber hinaus werden die Wasserfläche sowie die Entsiegelung am östlichen Vorfeld mit Zu- bzw. Abnahmen sichtbar.

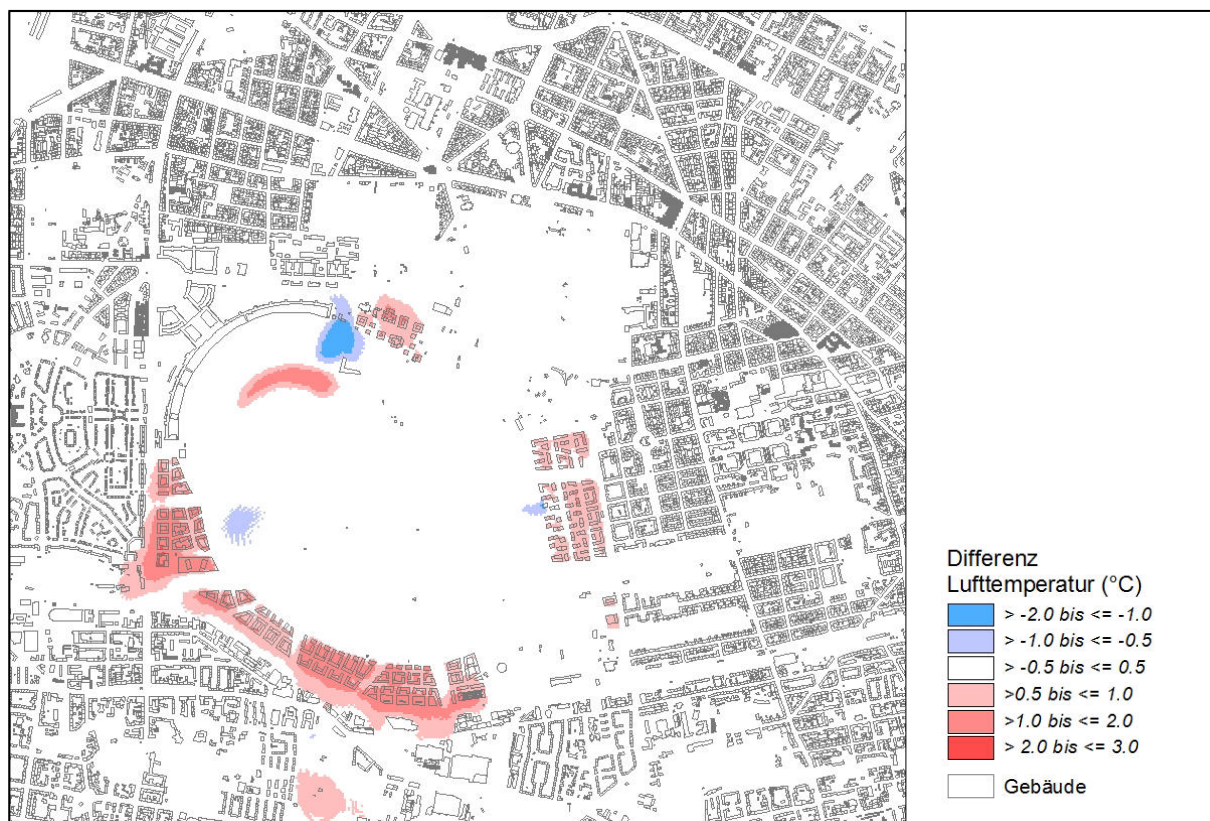


Abb. 4.7: Differenz der Lufttemperatur auf Überdachniveau um 04 Uhr zwischen Plan- und Istzustand

Abb. 4.8. zeigt die Lufttemperatur ausgewählter Rasterzellen bis auf das Überdachniveau 30 m als eine Art „Mauer“, wobei die Zellen eine Breite von 10 m und eine Höhe von 5 m haben. Als Kaltluft kann der Wertebereich bis 19°C angesehen werden (gelbe Farbe). Es wird deutlich, wie sich die Kaltluft aufgrund ihrer größeren Dichte unter die wärmere Luft innerhalb des Quartiers schiebt und gleichzeitig innerhalb der Bebauung die Dicke der Kaltluftschicht abnimmt. Während im Bereich der Autobahn bodennah bis 5 m über Grund noch Kaltluft anzutreffen ist, steigt die Temperatur mit der Höhe rasch wieder auf 20°C an.

In Abb. 4.9 sind die Schnitte für die geplanten Quartiere zusammen mit der bodennahen Lufttemperatur dargestellt. Hier wird die Abkühlung der Luft über den Grünflächen und deren Erwärmung in den überbauten Bereichen sichtbar. Gleichzeitig lassen sich der Anstieg der Temperatur mit der Höhe und die Überlagerung der bodennahen Kaltluftschicht durch wärmere Luft beobachten.



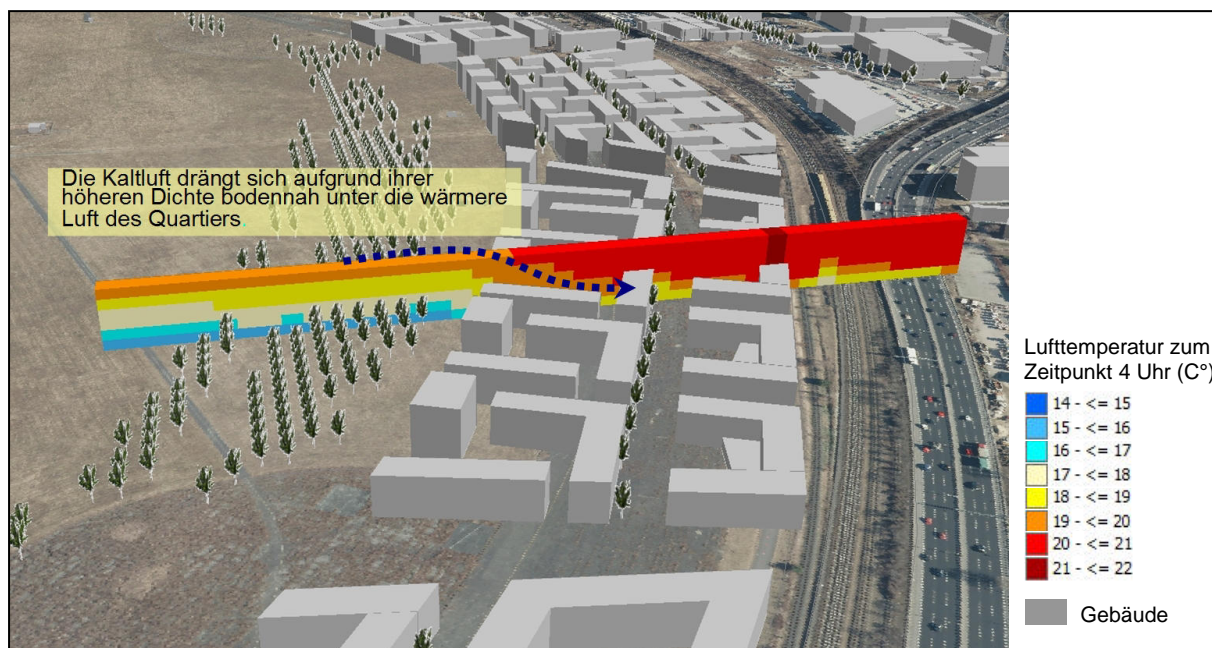


Abb. 4.8: Schnittbild Lufttemperatur um 04 Uhr - Beispiel Südring

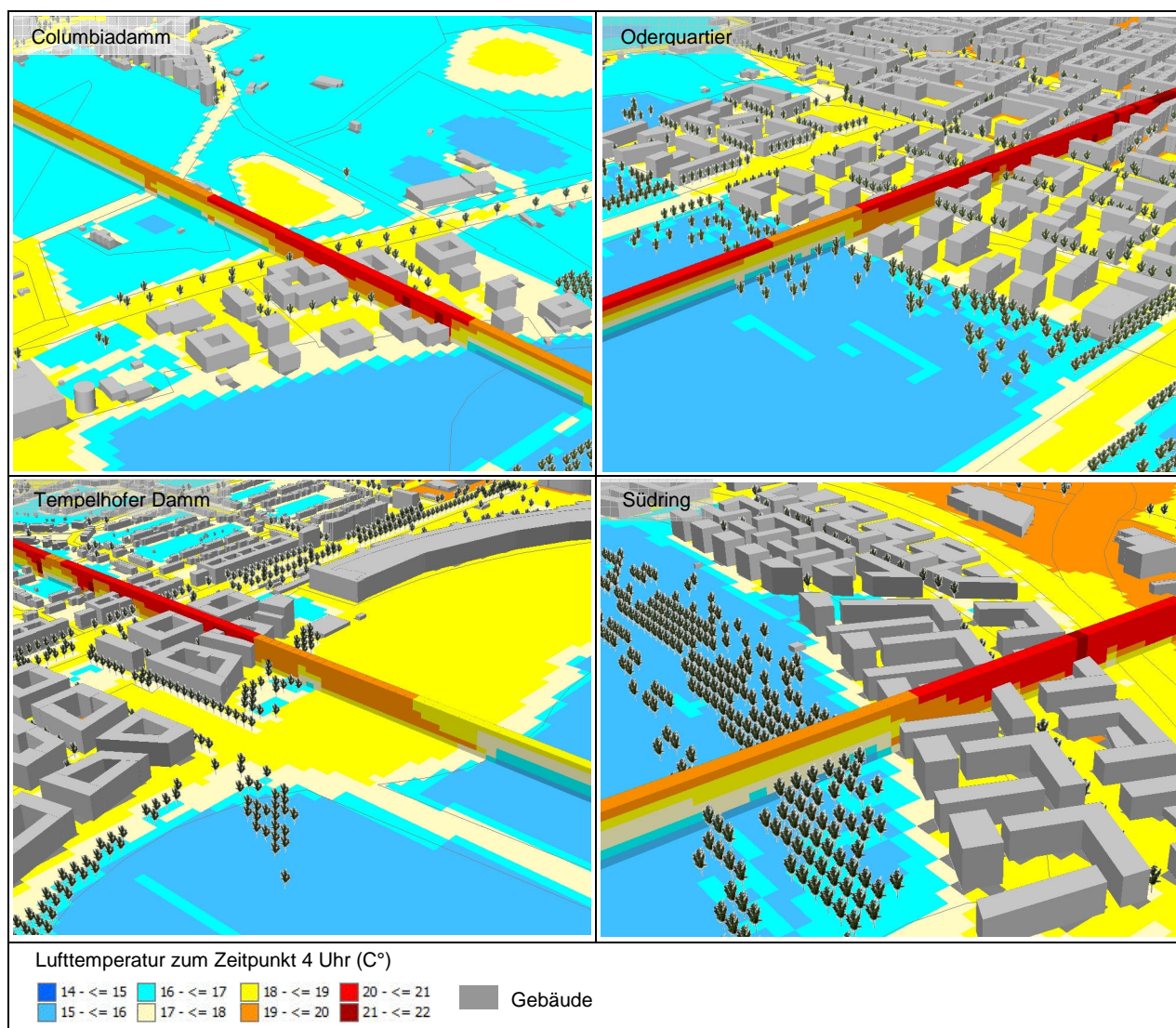


Abb. 4.9: Schnittbilder Lufttemperatur um 04 Uhr



### 4.1.3 Bodennahe Temperaturfeld - Tagsituation um 14 Uhr

#### Istzustand

Die bodennahen Lufttemperaturen zum Zeitpunkt 14 Uhr zeigt Abb. 4.10 für einen charakteristischen Sommertag. Die höchsten Werte von bis zu 39°C treten im Istzustand über der zentralen Tempelhofer Freiheit auf, was auf die intensive Sonneneinstrahlung, den Mangel an Verschattung sowie der starken Erwärmung der über trockenem Rasen lagernden Luft zurückzuführen ist (vgl. Abb. 3.3; S. 10). Über dem Vorfeldbereich gehen die Werte auf 36°C bis 37°C etwas zurück, da hier über der versiegelten Fläche zum einen mehr Sonnenlicht reflektiert wird und zum anderen Wärme in den Beton abgeführt und gespeichert wird. Dieses Temperaturniveau ist darüber hinaus verbreitet in den den Siedlungsflächen anzutreffen. Es wird dort unterbrochen, wo Parkflächen oder Straßenbäume aufgrund der Schattenwirkung lokal eine Temperaturabsenkung auf weniger als 35°C bewirken.

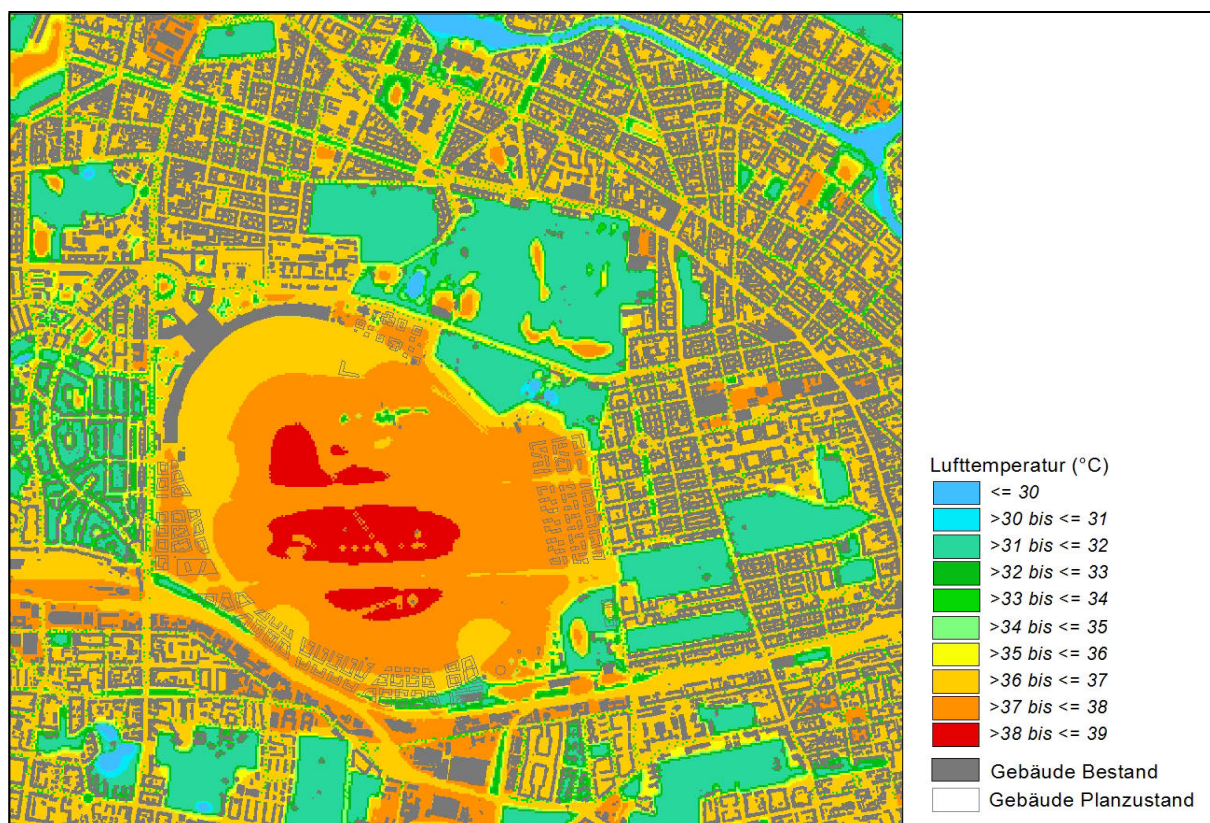


Abb. 4.10: Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Istzustand

In den größeren und mit Bäumen bestandenen Arealen wie der Hasenheide gehen die Werte noch stärker auf 31°C bis 32°C zurück. Die niedrigsten Temperaturen sind mit weniger als 30°C über den Wasserflächen zu beobachten. Von den Siedlungsflächen weist das Quartier Neu-Tempelhof die niedrigsten Temperaturen auf, was in den großen Gärten und dem insgesamt stark durchgrüneten Siedlungstyp begründet liegt.

#### Planzustand

Die Umsetzung der Planungen wirkt sich deutlich auf die Temperatursituation aus. In den neuen Quartieren führt die Begrünung der Straßenräume zu einer Temperaturabsenkung von bis zu 5°C. Dies gilt auch für die den Quartieren vorgelagerten Baumgruppen sowie den Baumbestand im nördlichen Bereich der Tempelhofer Freiheit (Abb. 4.11). Die stärkste Abnahme von mehr als 10°C ist allerdings über der geplanten Wasserfläche vorzufinden (Abb. 4.12). Zunahmen treten über der zukünftig überbauten Kleingartenanlage am Südring sowie am Schulstandort an der Oderstraße auf.



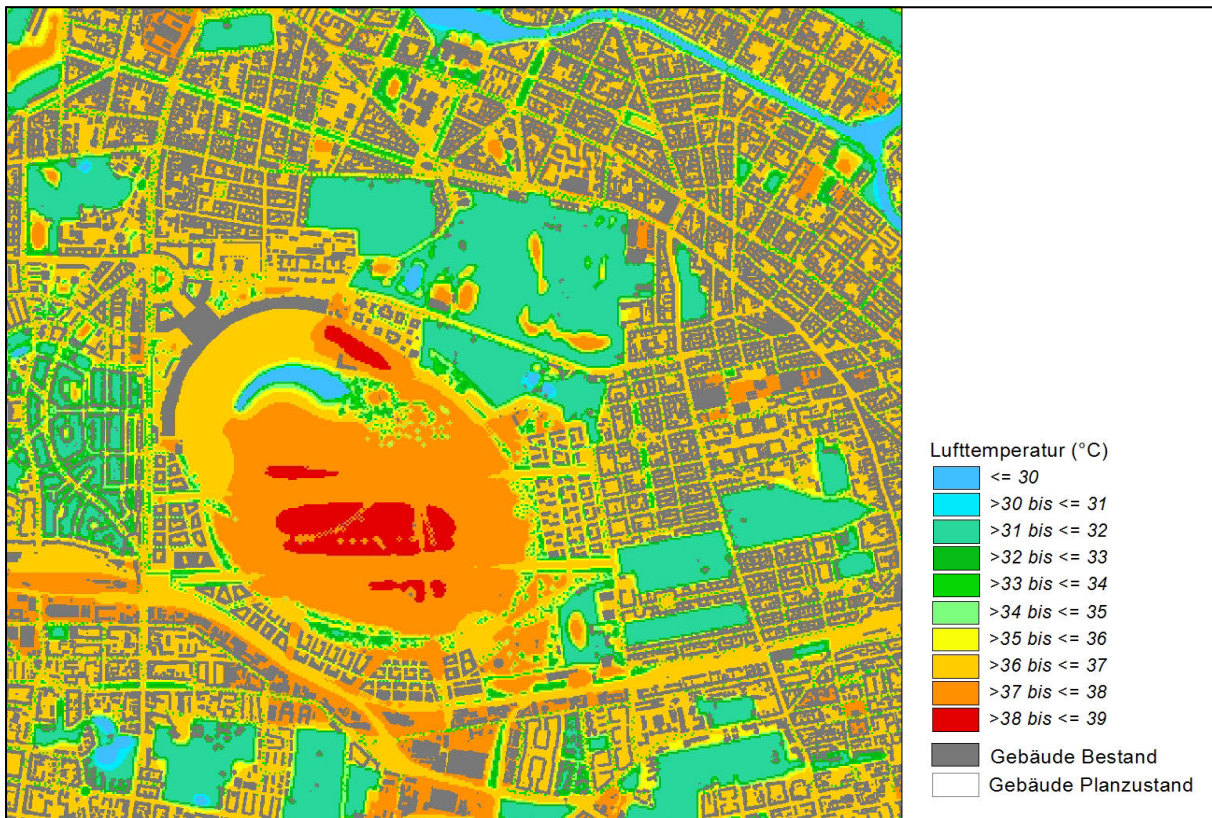


Abb. 4.11: Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Planzustand

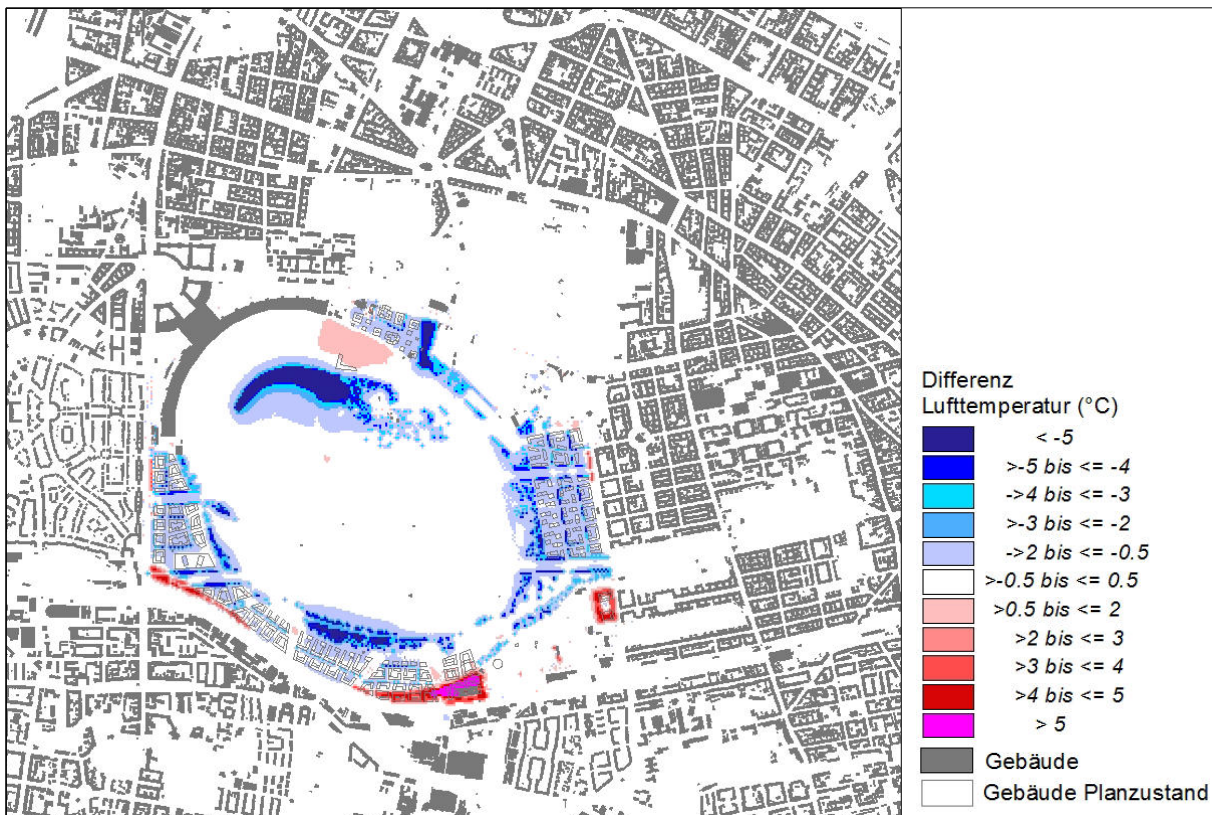


Abb. 4.12: Differenz bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Planzustand

Abbildung 4.13 zeigt einen Ausschnitt aus dem Bereich Tempelhofer Damm und macht den positiven lokalen Einfluss von Straßenbäumen deutlich. Die modellierte Abnahme der Temperatur um 4°C bis 5°C entspricht damit den in der Literatur beschriebenen Beträgen der Temperaturabsenkung in begrünten Straßenzügen (u.a. AMMER, MATTHES 1978).

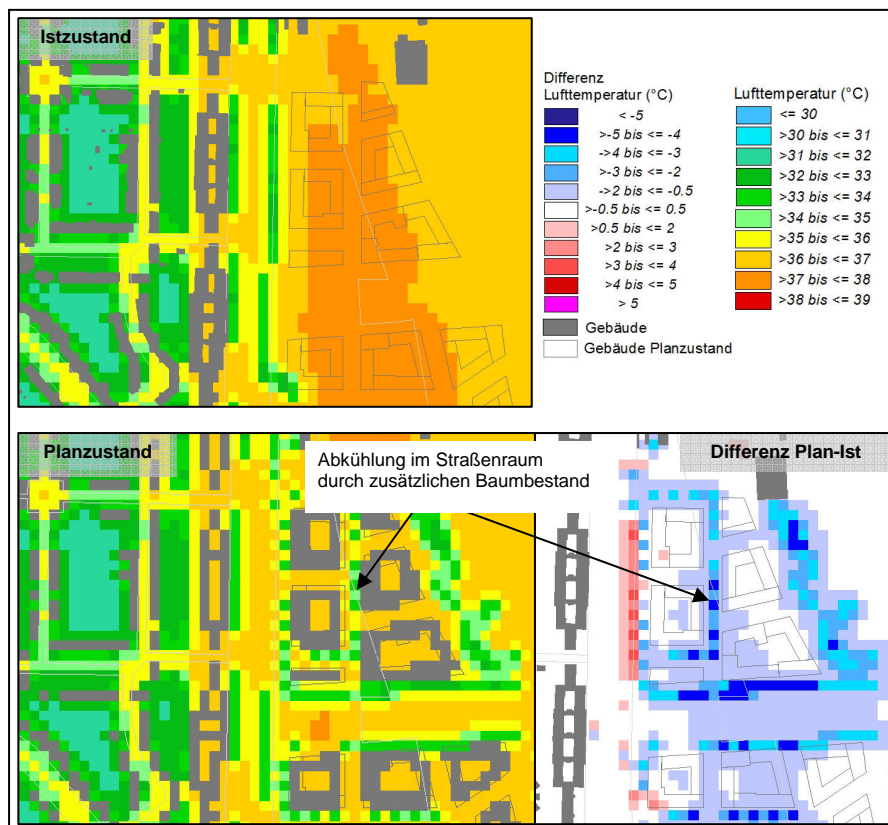


Abb. 4.13: Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Beispiel Tempelhofer Damm

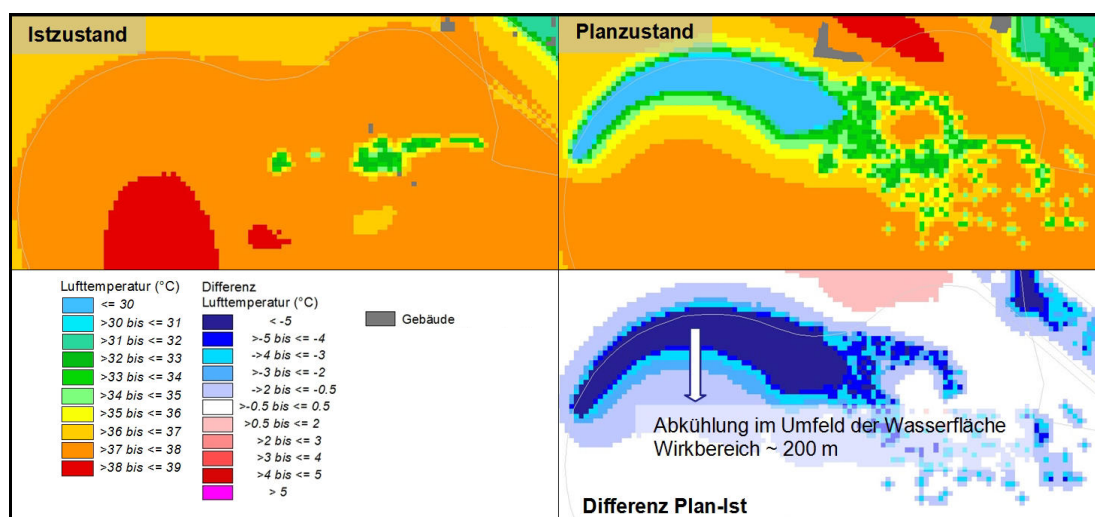


Abb. 4.14: Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Beispiel Wasserbecken

Der Abkühlungseffekt der geplanten Wasserfläche ist in Abb. 4.14 dargestellt. Dieser ist in unmittelbarer Nähe zum Wasser am stärksten ausgeprägt und kann mehr als 5°C betragen. Die Modellrechnung zeigt darüber hinaus eine Abkühlung im bodennahen Bereich von bis zu 0,5°C in einer Entfernung von 200 m.

Eine Ansicht aus südwestlicher Richtung auf den Bereich Tempelhofer Damm/Südring zeigt Abb. 4.15 für den Planzustand.



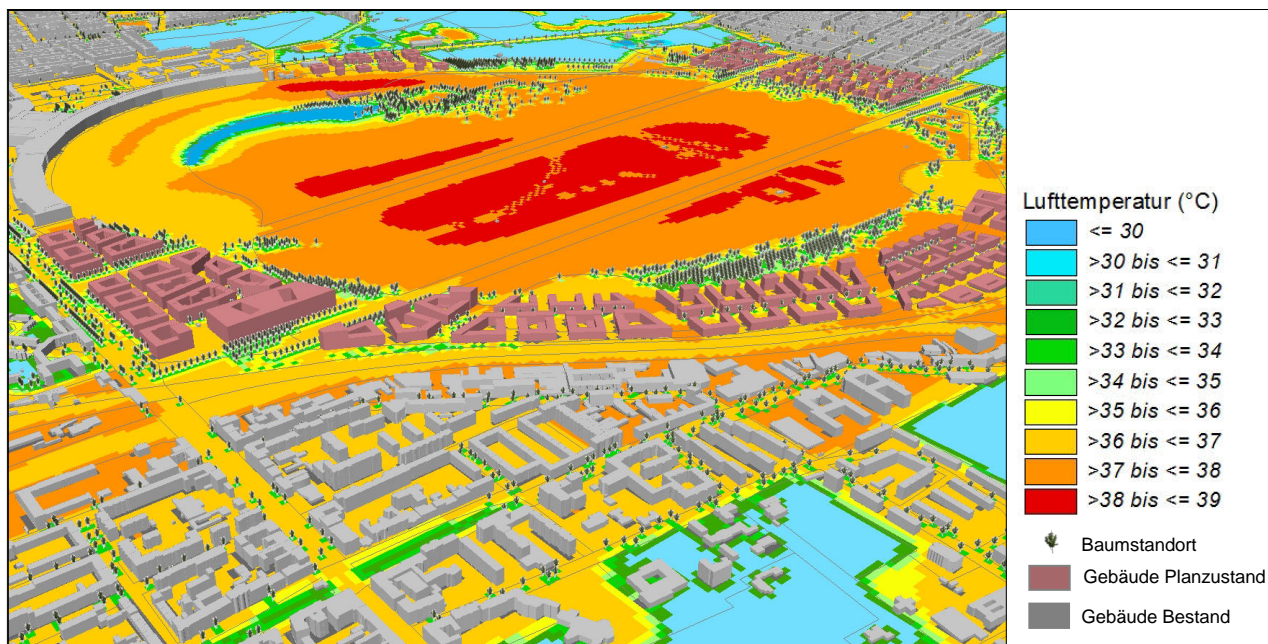


Abb. 4.15: Bodennahe Lufttemperatur um 14 Uhr - Beispiel Südtring

#### 4.1.4 Temperaturfeld auf Überdachniveau - Tagsituation um 14 Uhr

##### Istzustand

Verglichen mit dem bodennahen Bereich zeigt die Auswertung der Lufttemperatur auf Überdachniveau ein etwas abweichendes Bild. Die Ausprägung der Temperatur in 27,5 m über Grund zeigt Abb. 4.16 für den Istzustand. So sind die mit 38°C bis 39°C wärmsten Zonen nicht mehr über der Tempelhofer Freiheit sondern direkt über den Dachflächen anzutreffen. Diese werden von der Sonne stark aufgeheizt und sind damit die Energieumsatzfläche, über welcher die Luftschicht entsprechend erwärmt wird. Über den Straßenräumen liegen 37°C bis 38°C vor, was auf die Nähe zu den erwärmten Dachflächen zurückzuführen ist. Da keine Informationen zu den unterschiedlichen Dachformen vorlagen, gingen diese vereinfacht als Flachdächer in die Modellrechnungen ein.

Über der Tempelhofer Freiheit ist die Temperaturverteilung homogener als im bodennahen Bereich, wobei nun 35°C bis 37°C zu beobachten sind. In Richtung auf die mit Bäumen bestandenen Grünflächen nehmen die Werte aufgrund von Verschattung und Kühlung durch Transpiration der Bäume rasch ab. Während die Lufttemperatur über den kleineren Grünflächen zwischen 32°C und 34°C liegt, geht sie über den großen Grünflächen wie der Hasenheide auf unter 30 °C zurück. Von den Siedlungsflächen weist das Bestandsquartier Neu-Tempelhof mit 31°C bis 33°C die niedrigsten Werte auf.

##### Planzustand

Im Planzustand sind die über den neuen Quartieren auftretenden Temperaturen ähnlich hoch ausgeprägt wie im Bestand (Abb. 4.17). Sehr augenfällig ist hingegen der Einfluss der Wasserfläche. Da das Wasser das meiste Sonnenlicht reflektiert und zudem eine hohe Wärmekapazität hat, wird die darüber lagernde Luft nur wenig erwärmt. Zudem wird die temperaturabsenkende Wirkung der Baumgruppen am Quartier Tempelhofer Damm sowie am Südtring sichtbar.

Die Differenzenabbildung 4.18 zeigt die räumliche Reichweite der Veränderungen zwischen Plan- und Istzustand. Es wird deutlich, dass auch auf Dachniveau keine negativen Auswirkungen auf die Temperatursituation in den Bestandsflächen zu erwarten sind.



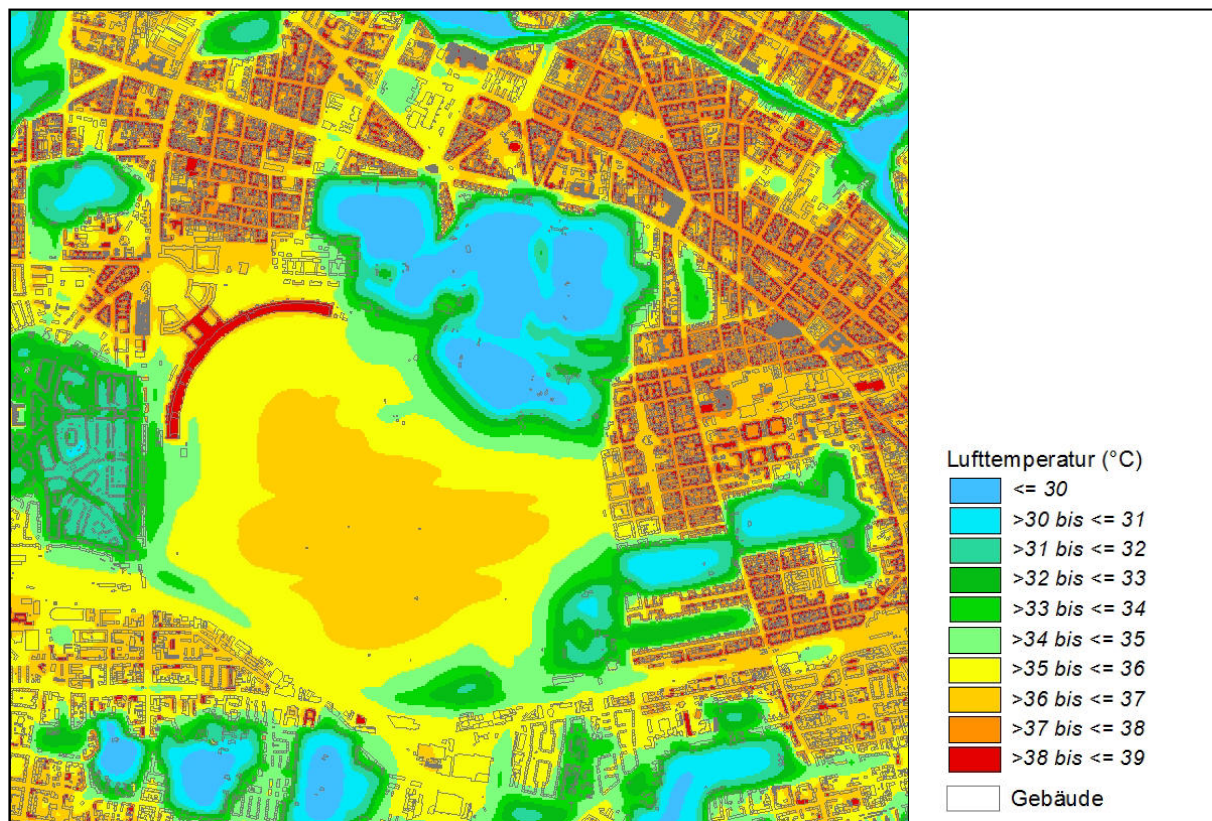


Abb. 4.16: Lufttemperatur auf Überdachniveau um 14 Uhr - Istzustand

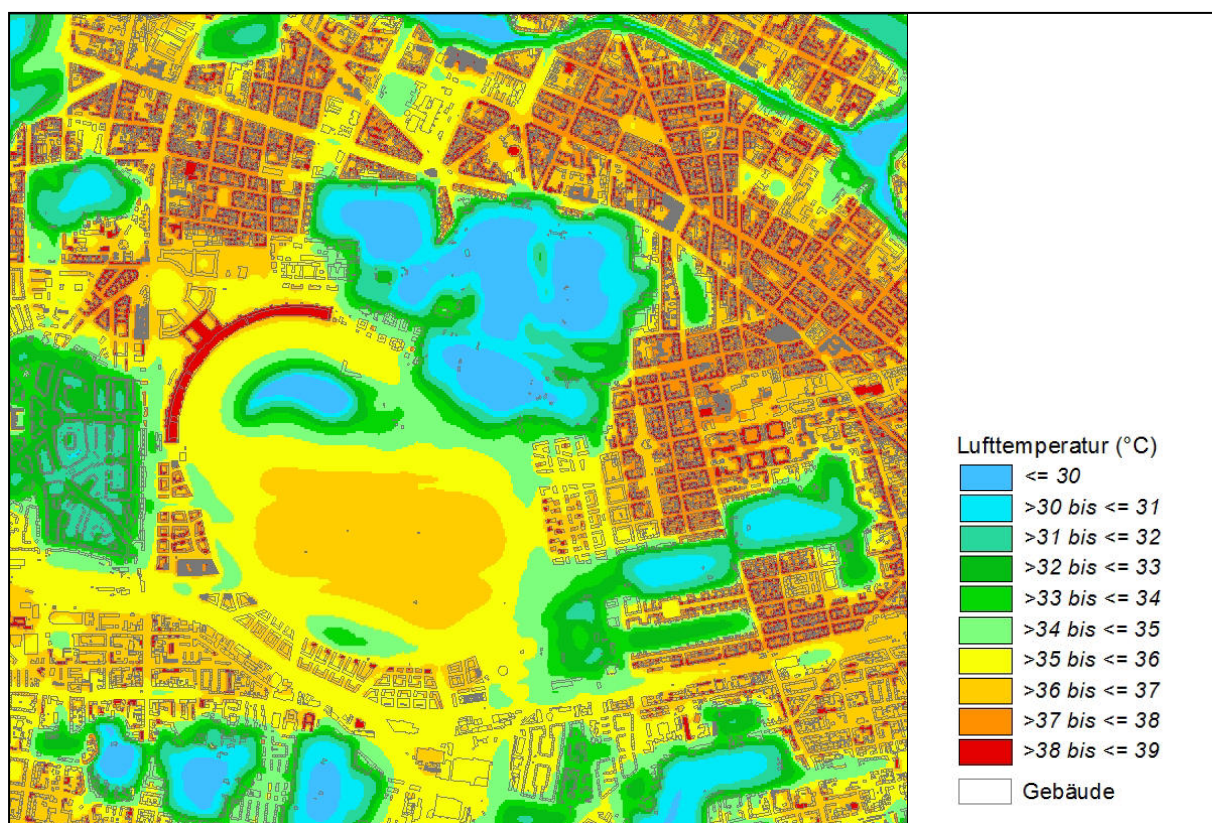


Abb. 4.17: Lufttemperatur auf Überdachniveau um 14 Uhr - Planzustand



Dem Planszenario liegt eine Situation mit unbegrüntem Dächern zugrunde. Eine Dachbegrünung der geplanten Gebäude würde die unmittelbar darüber auftretenden Temperaturen in einer Größenordnung von 5°C bis 10°C reduzieren (vgl. GEO-NET 2010). Dies setzt allerdings auch eine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Wasser in den Sommermonaten voraus, denn über einem trockenen Gründach können ähnlich hohe Temperaturen wie über einem normalen Dach auftreten.

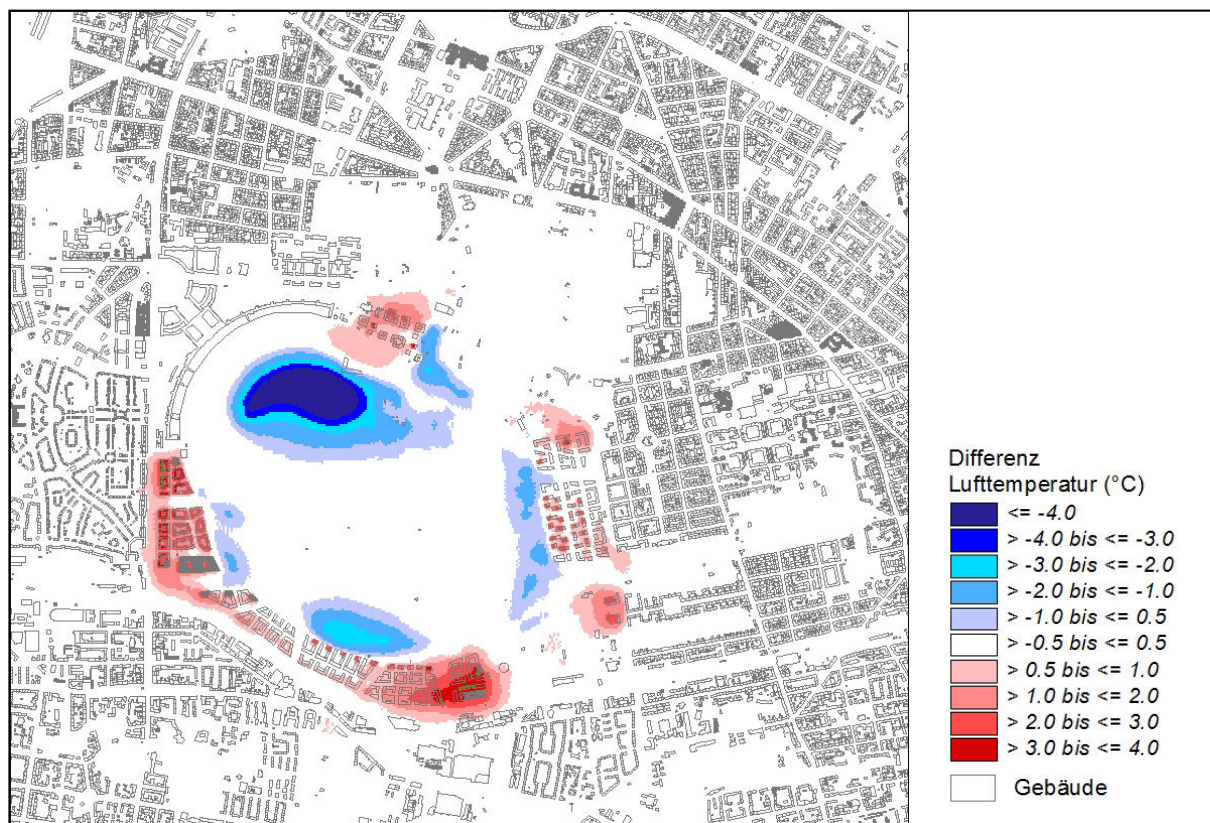


Abb. 4.18: Differenz der Lufttemperatur auf Dachniveau um 14 Uhr

Die positive Wirkung einer Dachbegrünung wäre dabei im Wesentlichen auf das Dachniveau begrenzt. Der temperatursenkende Effekt für den bodennahen Raum als Aufenthaltsbereich der Menschen wäre daher gering und könnte hier am ehesten durch Schatten spendende Straßenbäume erbracht werden.

## 4.2 Kaltluftströmungsfeld - Nachtsituation um 04 Uhr

### Allgemeines

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 bzw. dem Umland einstellen (Abb. 4.19). An den geneigten Flächen setzt sich außerdem abgekühlte und damit schwerere Luft in Richtung zur tiefsten Stelle des Geländes in Bewegung. So können z.B. an Hängen nächtliche Kaltluftabflüsse entstehen (u.a. MOSIMANN et al. 1999).

Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft bestimmt und durch eine vorhandene Neigung des Geländes  $> 1^\circ$  verstärkt. Aufgrund des schwach ausgeprägten Reliefs sind Kaltluftabflüsse im Umfeld der Tempelhofer Freiheit nicht anzutreffen. 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 (u.a. KIESE et al. 1992).

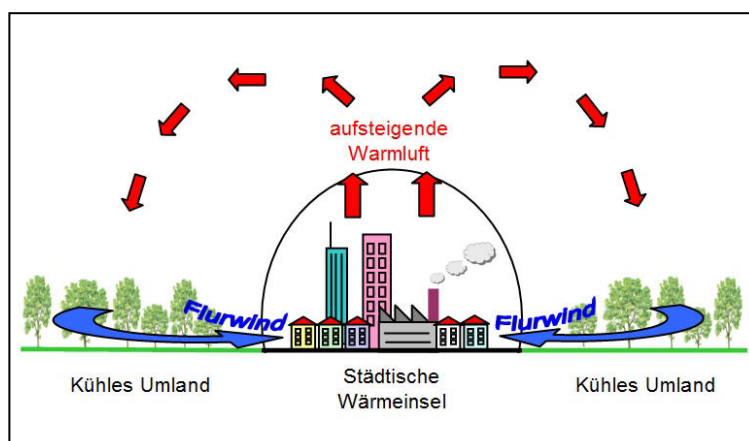


Abb. 4.19: Prinzipskizze Flurwind

Für die Ausprägung dieser Strömungen ist es wichtig, dass die Luft über eine gewisse Strecke beschleunigt werden kann und nicht durch vorhandene Hindernisse wie Bäume und Bauten abgebremst wird.

Die Flur-/Strukturwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind (d.h. die großräumige Windströmung in der Höhe) überdeckt werden können. Die landnutzungstypischen Temperaturunterschiede beginnen sich

schon kurz nach Sonnenuntergang herauszubilden, nehmen an Intensität zu und können die ganze Nacht über andauern. Dabei erweisen sich insbesondere größere Wiesen- und Ackerflächen wie die Tempelhofer Freiheit als kaltluftproduktiv, da diese, verglichen mit Waldflächen, besonders stark auskühlen können.

Mit einsetzender Kaltluftproduktion über der Tempelhofer Freiheit sowie den angrenzenden Grünflächen geht die Entstehung von Kaltluftströmungen einher. Zu Beginn der Nacht ist die Kaltluftschicht noch von geringer Mächtigkeit (wenige Meter) und nimmt in der zweiten Nachthälfte stetig zu. Bis zum betrachteten Zeitpunkt 4 Uhr morgens sind beträchtliche Mengen an Kaltluft entstanden, welche lokal eine absolute Mächtigkeit von mehr als 15 m aufweisen können. Solche Schichthöhen sind vor allem über der westlichen Tempelhofer Freiheit sowie der nördlichen Hasenheide anzutreffen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den bodennahen Bereich bis 2 m über Grund sowie für das Dachniveau in 20 m Höhe beschrieben. Im Gegensatz zur Lufttemperatur, welche für das Überdachniveau 27,5 m ausgewertet wurde, ist für das Strömungsfeld der Einfluss der Gebäudestrukturen relevant. Damit ergibt sich über den bodennahen Bereich hinaus ein umfassendes Bild der Luftaustauschprozesse.

#### 4.2.1 Bodennahes Windfeld - Nachtsituation um 04 Uhr

##### Istzustand

Die vorliegende Untersuchung geht der Frage nach, in wieweit sich die geplanten Quartiere auf den lokalen Luftaustausch einwirken werden. Der Kaltlufthaushalt im Untersuchungsgebiet wird im Wesentlichen durch den Temperaturunterschied zwischen kühlen vegetationsgeprägten und wenig versiegelten Flächen wie der Tempelhofer Freiheit und den kleineren Parkflächen einerseits und den deutlich wärmeren Siedlungsbereichen andererseits gesteuert.

Abbildung 4.20 (S. 28) zeigt die Strömungsgeschwindigkeit des modellierten Windfeldes für das Basisszenario, das sich während einer sommerlichen, windstillen Strahlungswetternacht eigenbütig ausbildet. Die Rasterzellen stellen die Windgeschwindigkeit flächenhaft dar. Abgebildet sind alle Rasterzellen mit einer Windgeschwindigkeit von  $\geq 0,2$  m/s, was in der vorliegenden Untersuchung auf Grundlage der gebietstypischen Ausprägung als Mindestgeschwindigkeit für eine klimaökologisch wirksame Ausgleichsströmung angesehen wird. Die blaue Farbe drückt dabei die Intensität der Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft aus. Auf die Darstellung der Pfeilsignatur des 10 m x 10 m Rasters für die Strömungsrichtung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in den Abbildungen verzichtet. Die Geschwindigkeit der Kaltluftströmungen liegt verbreitet zwischen 0,2 m/s bis 0,5 m/s, wobei deren Dynamik räumlich variiert. Überdurchschnittlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 0,5 m/s treten vor allem über den ausgedehnten Freiflächen der westlichen Tempelhofer Freiheit auf, über denen die Kaltluft entsprechend beschleunigt werden kann. Ein ähnliches Niveau liegt auch über dem Volkspark Hasenheide sowie den angrenzenden Friedhofsflächen vor. Eine gewisse Leitbahnfunktion haben die sich bis zur Lessinghöhe/Karl-Marx-Straße erstreckenden Friedhofsflächen, welche die über der Tempelhofer Freiheit entstehende Kaltluft mehr als einen Kilometer in Richtung Osten führen. Eine eigene Kaltluftbildung der Grünfläche verstärkt diesen Prozess. Über der östlichen Tempelhofer Freiheit sind die auftretenden Geschwindigkeiten mit 0,2 m/s bis 0,3 m/s vergleichsweise gering.

Darüber hinaus werden auch einzelne Straßenzüge mit überdurchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten sichtbar. Sie betragen kleinräumig bis zu 1 m/s und sind auf durch die Bebauung bedingte Kanalisierungen im Straßenraum zurückzuführen (Düseneffekte). In diesen Bereichen ist die Kaltluft als kühler Luftzug zu spüren. Die Eindringtiefe der Kaltluft in die Siedlungsräume ist nördlich und östlich der Tempelhofer Freiheit am stärksten ausgeprägt und kann bei günstigen strukturellen Bedingungen über 500 m hinausgehen. Von der klimatischen Ausgleichswirkung der Kaltluft profitieren vor allem die Quartiere Bergmannstraße/Südstern sowie Schillerpromenade/Hermannstraße. Im Quartier Neu-Tempelhof findet bis zu einem gewissen Grad eine eigenbürtige Kaltluftproduktion statt, die im hohen Grünflächenanteil des Nutzungstyps begründet liegt.

Die Einwirktiefe der von den kleineren innerstädtischen Grünflächen ausgehenden Strömungen ist mit etwa 150 m bis 300 m geringer ausgeprägt. Innerhalb der bebauten Bereiche verringert sich die Strömungsgeschwindigkeit aufgrund der Oberflächenrauigkeit auf weniger als 0,2 m/s, wobei das höhere Temperaturniveau die Kaltluftströmung zusätzlich abschwächt.

##### Planzustand

Das nächtliche Strömungsfeld für den Planzustand zeigt Abb. 4.21 (S. 28), wobei Veränderungen gegenüber dem Istzustand vor allem in den Bereichen Tempelhofer Damm sowie Südring zu verzeichnen sind. Hier stellen die geplanten Quartiere einerseits Hindernisse für den Luftaustausch dar, andererseits wird eine intensive Durchlüftung der Abstandsflächen und Grünfugen mit Strömungsgeschwindigkeiten von 0,5 m/s bis 1 m/s sichtbar.



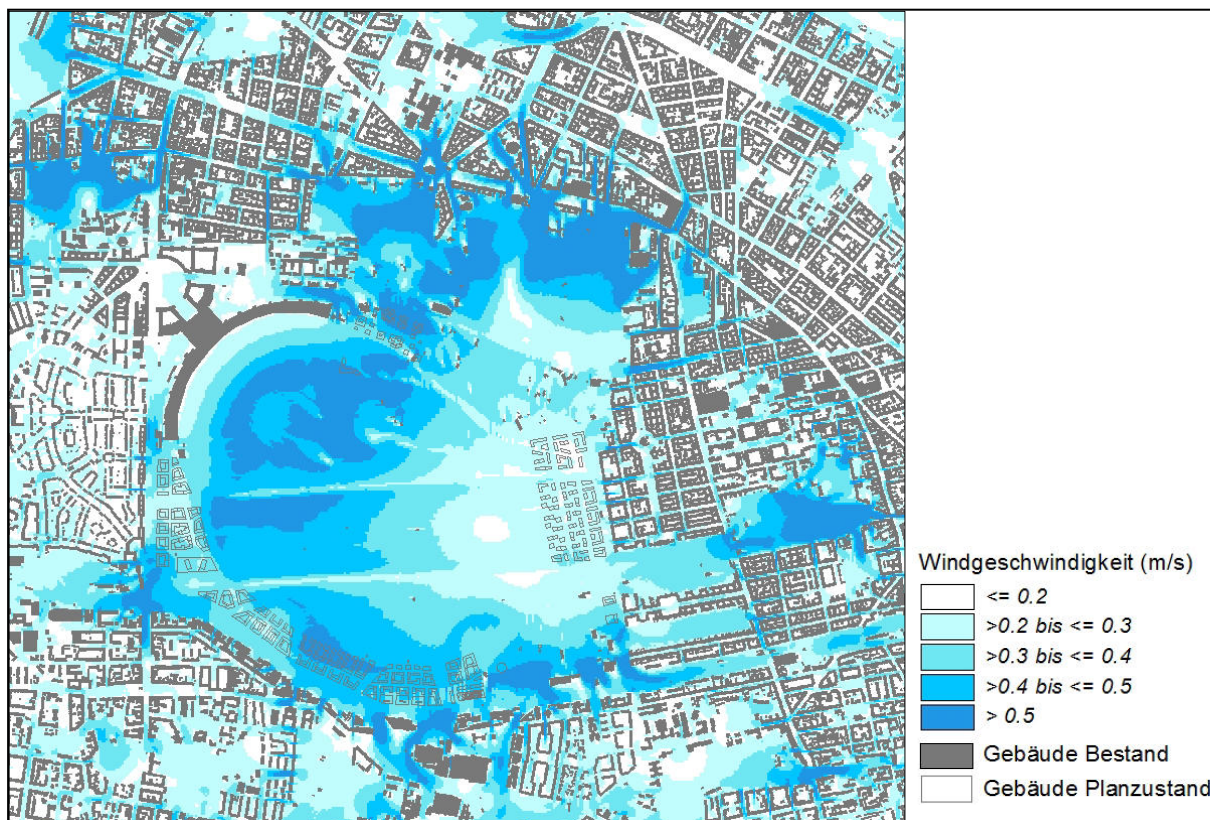


Abb. 4.20: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft um 04 Uhr - Istzustand

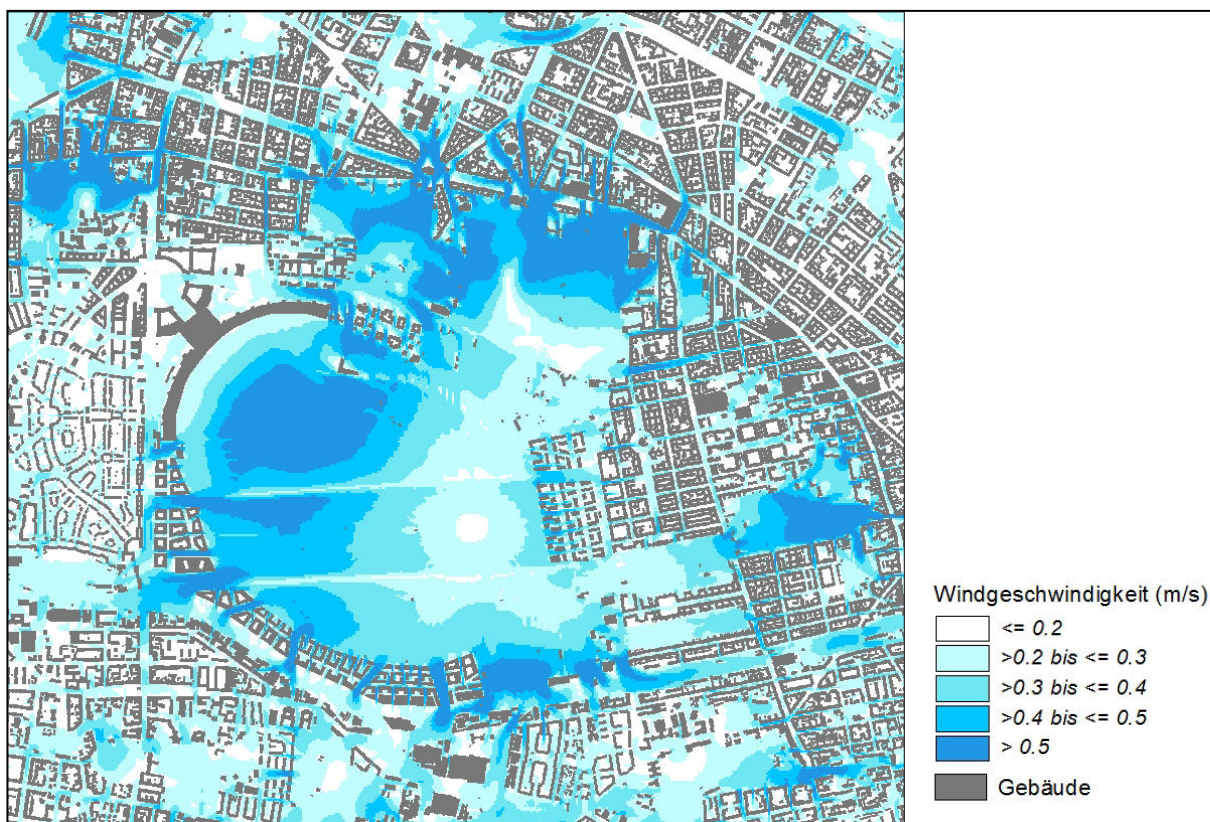


Abb. 4.21: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft um 04 Uhr - Planzustand

Die Differenzkarten machen die angesprochene lokale Beeinflussung des Kaltluftströmungsfeldes noch besser sichtbar (Abb. 4.22). Im Planfall führt die neue Bebauung zu einer Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit 0,5 m/s (rote Farbe) in deren unmittelbarer Nähe.



Die räumliche Wirkung dieser Abschwächung ist im Bereich Tempelhofer Damm/Gewerbegebiet Oberlandstraße mit bis zu 500 m am intensivsten ausgeprägt. Diese führt vor allem über den Gewerbearealen und den Straßenräumen zu einer herabgesetzten Durchlüftung. Die Wohnbebauung südlich einer Linie Ringbahnstraße/Germaniastraße wird davon ebenfalls betroffen sein, wenngleich hier die Intensität der Abschwächung geringer ist als über den Gewerbeflächen. Es kann ebenfalls festgehalten werden, dass die Kaltluftzufuhr nur sehr kleinräumig komplett unterbunden wird. Dies ist im östlich an den Tempelhofer Damm angrenzenden Abschnitt der Ringbahnstraße zu beobachten. Auch innerhalb des von Ringbahnstraße und Borussiastraße eingerahmten Baublocks wird die Kaltluftströmung deutlich reduziert. Abgesehen davon verbleibt die Durchlüftungssituation im Bereich Südring im Großen und Ganzen auch im Planzustand auf einem klimatisch wirksamen Niveau, d.h. die Strömungsgeschwindigkeit beträgt mindestens 0,2 m/s.

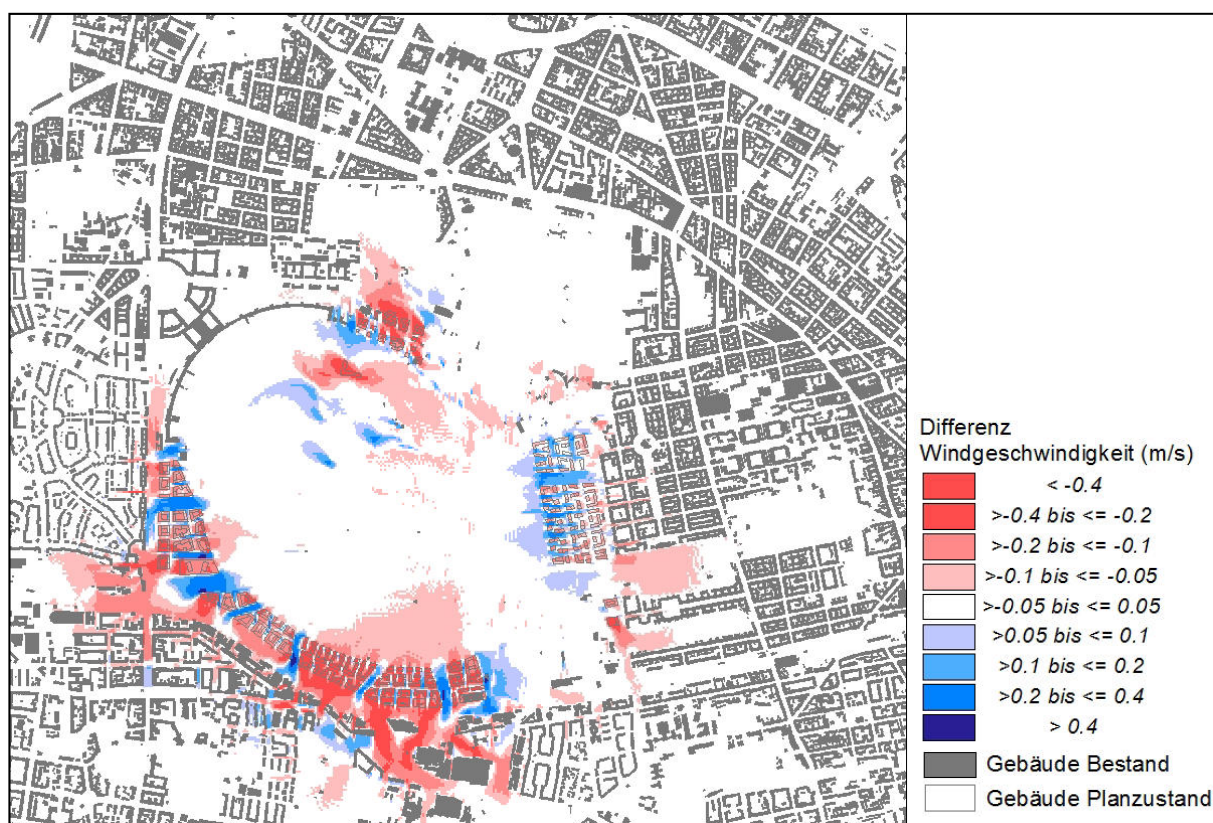


Abb. 4.22: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr - bodennah

Im Bestandsquartier Neu-Tempelhof sind lediglich geringe Auswirkungen festzustellen, die sich im Wesentlichen auf den Straßenraum von Tempelhofer Damm, Thuyring sowie Peter-Strasser-Weg beschränken.

Der vom Columbiaquartier ausgehende Effekt klingt bereits an den Friedhöfen ab, so dass an der Bergmannstraße keine Auswirkungen für den Bestand zu erwarten sind. Dem stehen lokale Zunahmen der Werte in den Abstandsflächen von bis zu 0,5 m/s gegenüber (blaue Farbe), was auf die Kanalisierung der Kaltluft zurückzuführen ist.

Die Situation im Oderstraßenquartier zeigt Abb. 4.23., wobei eine gute Durchlüftung sowohl im Bestand als auch im neuen Quartier vorliegt. Der im Planzustand zu beobachtende Abschattungseffekt ist in Höhe der Schillerpromenade weitestgehend abgeklungen.

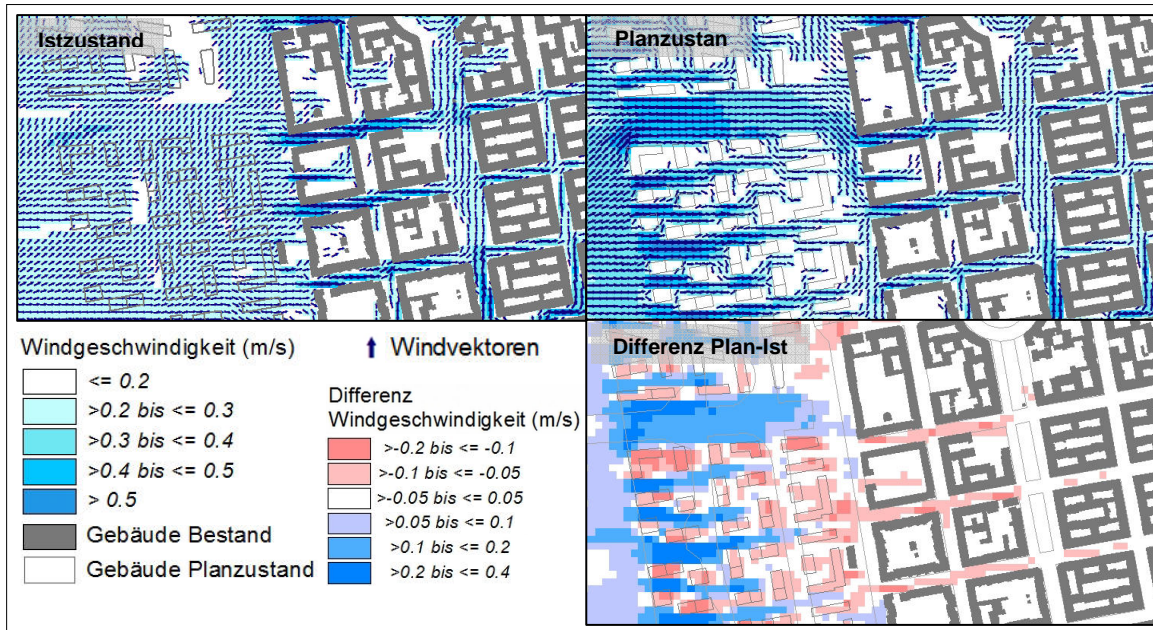


Abb. 4.23: Bodennahe Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr - Beispiel Oderquartier



#### 4.2.2 Windfeld auf Dachniveau - Nachtsituation um 04 Uhr

##### Istzustand

Das Kaltluftströmungsfeld ist auf dem Dachniveau deutlich homogener ausgeprägt als dies bodennah der Fall ist (Abb. 4.24). Es liegen Strömungsgeschwindigkeiten von verbreitet 0,2 m/s bis 0,3 m/s vor, die lediglich im Bereich einer Umströmung höherer Gebäude oder bei einer Kanalisierung im Straßenraum ansteigen. Dies ist vor allem im Bereich Bergmannstraße/Hasenheide zu beobachten, wo kleinräumig mehr als 0,5 m/s auftreten können. Verglichen mit dem bodennahen Niveau ist die Einwirktiefe etwas geringer.

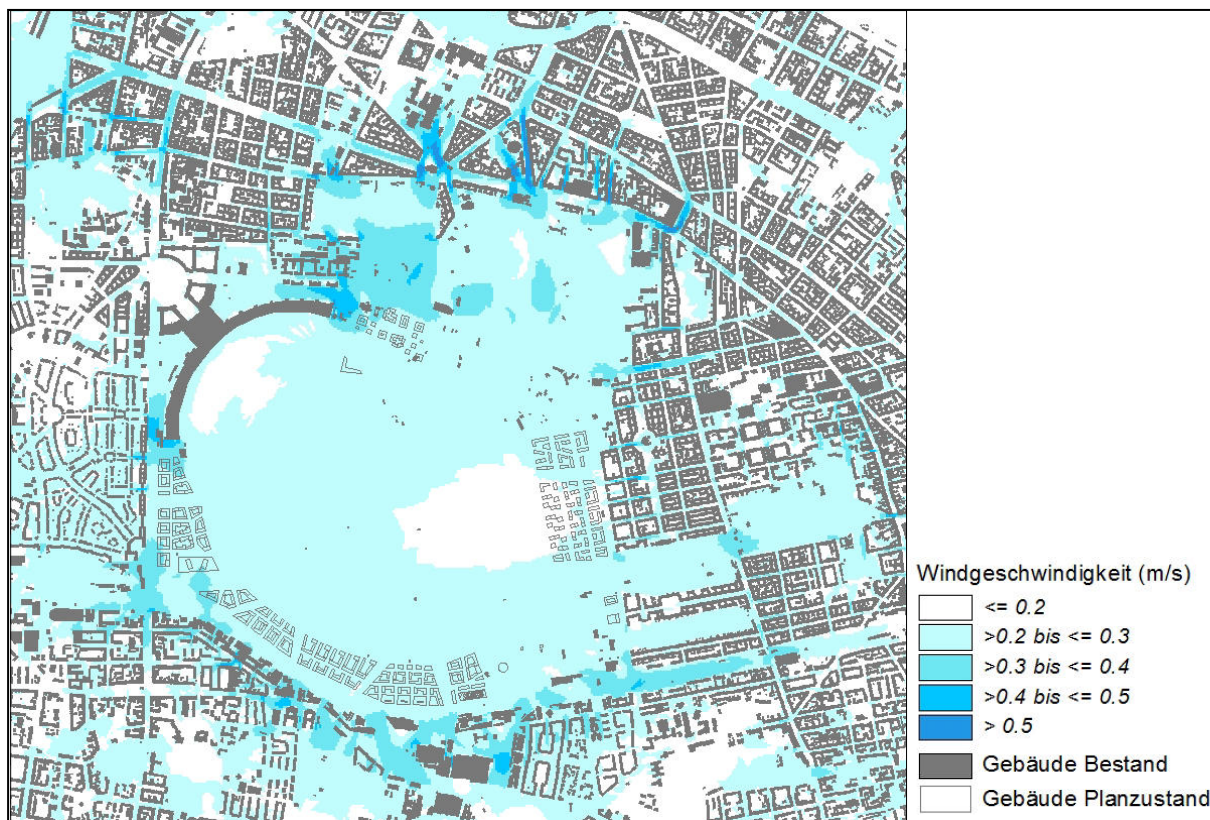


Abb. 4.24: Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft auf Dachniveau um 04 Uhr - Istzustand

##### Planzustand

Analog zu den im Kap. 4.2.1 beschriebenen Prozessen liegt im Planzustand eine deutliche Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit in den neuen Quartieren vor. Gleichzeitig erfolgt eine Durchströmung von Abstandsflächen und Grünfugen (Abb. 4.25).

In der Differenzenabbildung 4.26 wird deutlich, dass die Abschwächung im Bereich Alt-Tempelhof/Oberlandstraße mit ca. 600 m am intensivsten ist. Eine kleinräumige Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit ist auch im Bestandsquartier Neu-Tempelhof zu verzeichnen. In den Bereichen Südstern/Bergmannstraße sowie im Schillerquartier liegt dagegen keine nennenswerte Abnahme vor.

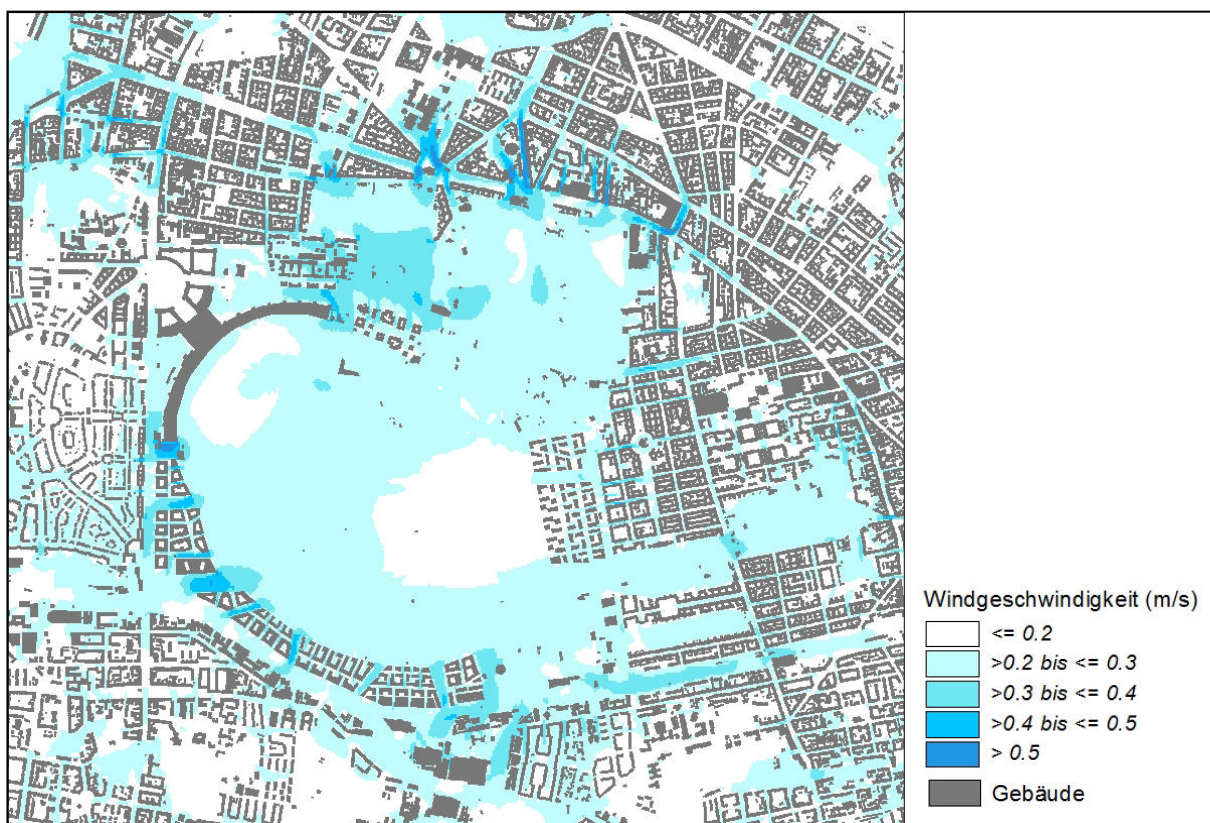


Abb. 4.25: Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft auf Dachniveau um 04 Uhr - Planzustand

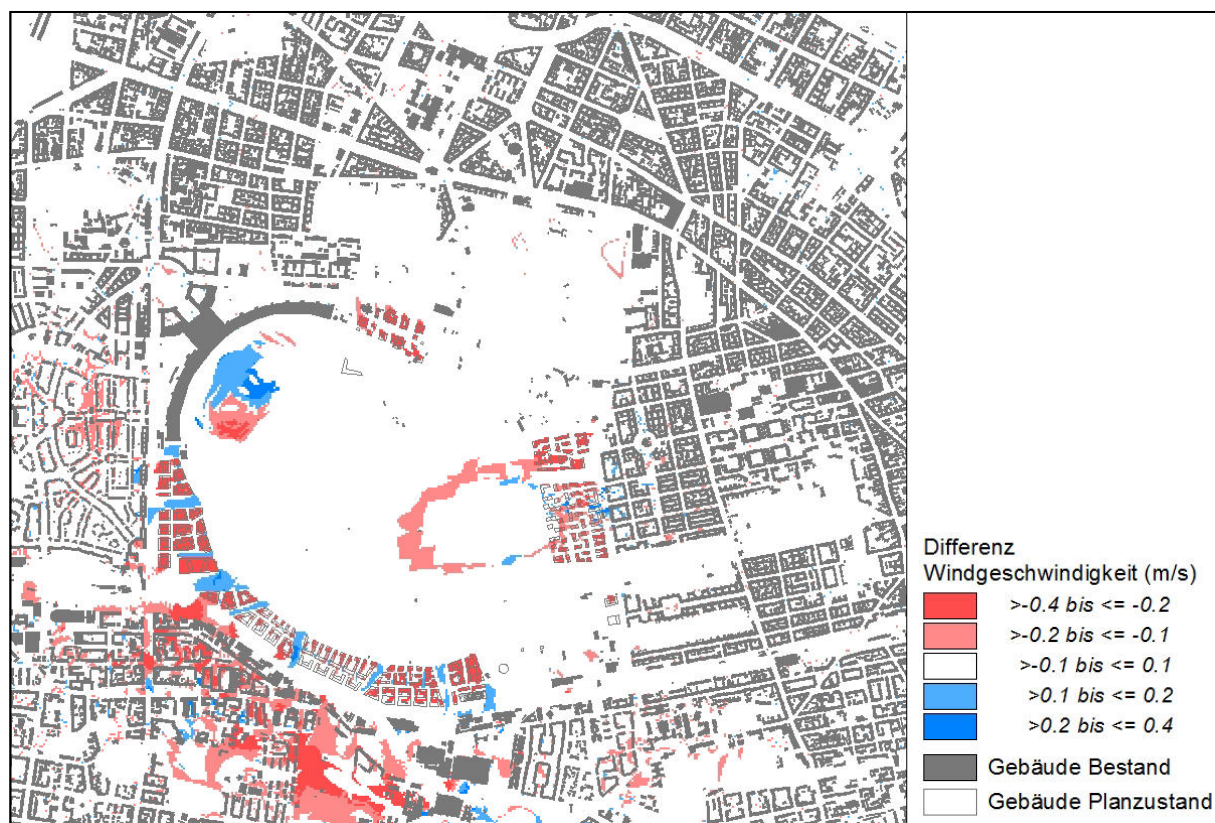


Abb. 4.26: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit um 04 Uhr - Dachniveau



### 4.3 Kaltluftvolumenstrom - Nachtsituation um 04 Uhr

**Allgemeines:** Wie bereits im Vorkapitel zum autochthonen Windfeld eingehender 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.

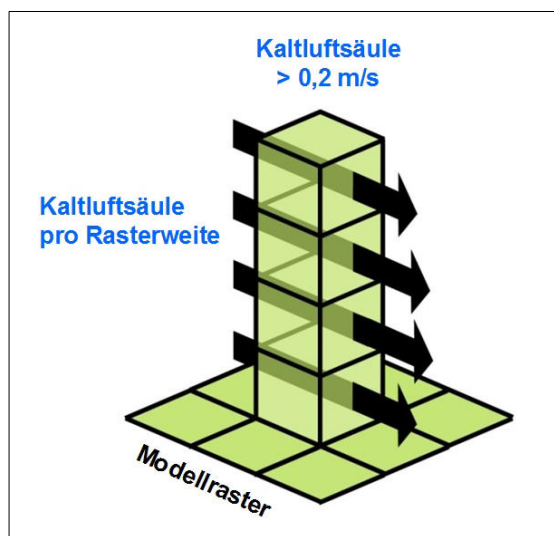


Abb. 4.27: Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

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). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit  $\text{m}^3$ , die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise einer Grünfuge oder einer Straße fließt (Abb. 4.27). Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den *Zustrom von Kaltluft* und bestimmt somit, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes. Die qualitative Bewertung dieser meteorologischen Größe, die sich im vorliegenden Fall auf die Breite einer Rasterzelle bezieht, zeigt Tab. 4.1:

Bewertung	Kaltluftvolumenstrom in $\text{m}^3/\text{s}$
Sehr hoch	> 450
Hoch	450 bis > 300
Mittel	300 bis > 150
Gering	$\leq 150$

Tab. 4.1: Qualitative Einordnung des Kaltluftvolumenstroms

Ausgehend von der statistischen Analyse des Kaltluftvolumenstrom (s. Kap. 3.3, S. 10) wird als Schwellenwert für einen klimaökologisch wirksamen Kaltluftstrom ein Wert von mehr als  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  angenommen, wobei die innenstadtnahen Siedlungsflächen, abhängig von ihrer Bebauungsdichte, meist einen geringen bis mittleren Volumenstrom aufweisen. Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des Strömungsfeldes einher. Als ein bereits über die Höhe integrierter Parameter („Kaltluftsäule“) lässt sich der Volumenstrom nur für den bodennahen Bereich darstellen.

## Istzustand

Die räumliche Ausprägung des Kaltluftvolumenstroms im Untersuchungsraum geht im Wesentlichen mit der des bodennahen Strömungsfeldes einher. Abbildung 4.28 zeigt den Kaltluftstrom für den Istzustand in einer qualitativen Abstufung. Analog zur Strömungsgeschwindigkeit treten die höchsten Werte im westlichen Bereich der Tempelhofer Freiheit, im nördlich gelegenen Volkspark Hasenheide, den angrenzenden Friedhofsarealen sowie entlang des Südrings auf. Ein hohes Wertenniveau ist außerdem im Grünflächenverbund Tempelhofer Freiheit/Lessinghöhe sowie innerhalb von Straßen- und Gleisarealen zu beobachten.

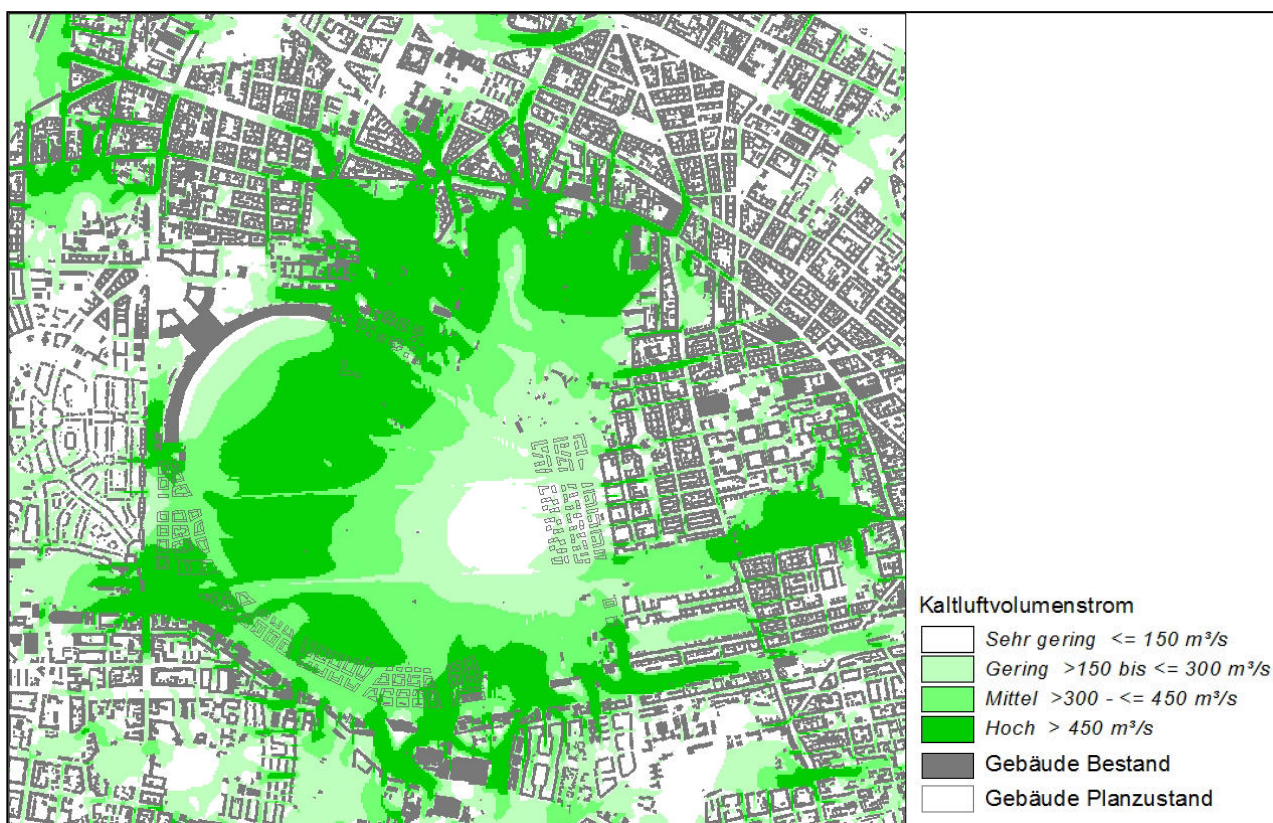


Abb. 4.28: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr - Istzustand

Auch der Viktoriapark weist in Teilbereichen einen hohen Volumenstrom auf. Er setzt sich meist mit einer geringen, aber dennoch klimaökologisch wirksamen Intensität in die Bebauung fort. Die Eindringtiefe entspricht in etwa der des Kaltluftströmungsfeldes. Innerhalb des grüneprägten Siedlungsanteils im Quartier Neu-Tempelhof, welches eine gewisse eigenbürtige Kaltluftproduktion aufweist, liegt dagegen ein eher geringes Wertenniveau vor. Es erfolgt kleinräumig über den Peter-Strasser-Weg und den Thuyring auch noch ein Zustrom von Kaltluft aus der Tempelhofer Freiheit.

## Planzustand

Die Situation für den Planzustand ist in Abb. 4.29 dargestellt. Mit Umsetzung des Rahmenplans lassen sich die für das Strömungsfeld beschriebenen Veränderungen erkennen, die durch die zusätzlichen Baufelder als Strömungshindernisse ausgelöst werden. Sehr deutlich zeigt dies Abb. 4.30 als Differenzendarstellung, wobei die intensivste Abschwächung von mehr als  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  (pro Rasterzelle) im Verlauf des Südrings auftritt und sich noch bis zu 600 m in den Bereich Oberlandstraße (Lee) südlich der A 100 fortsetzt.



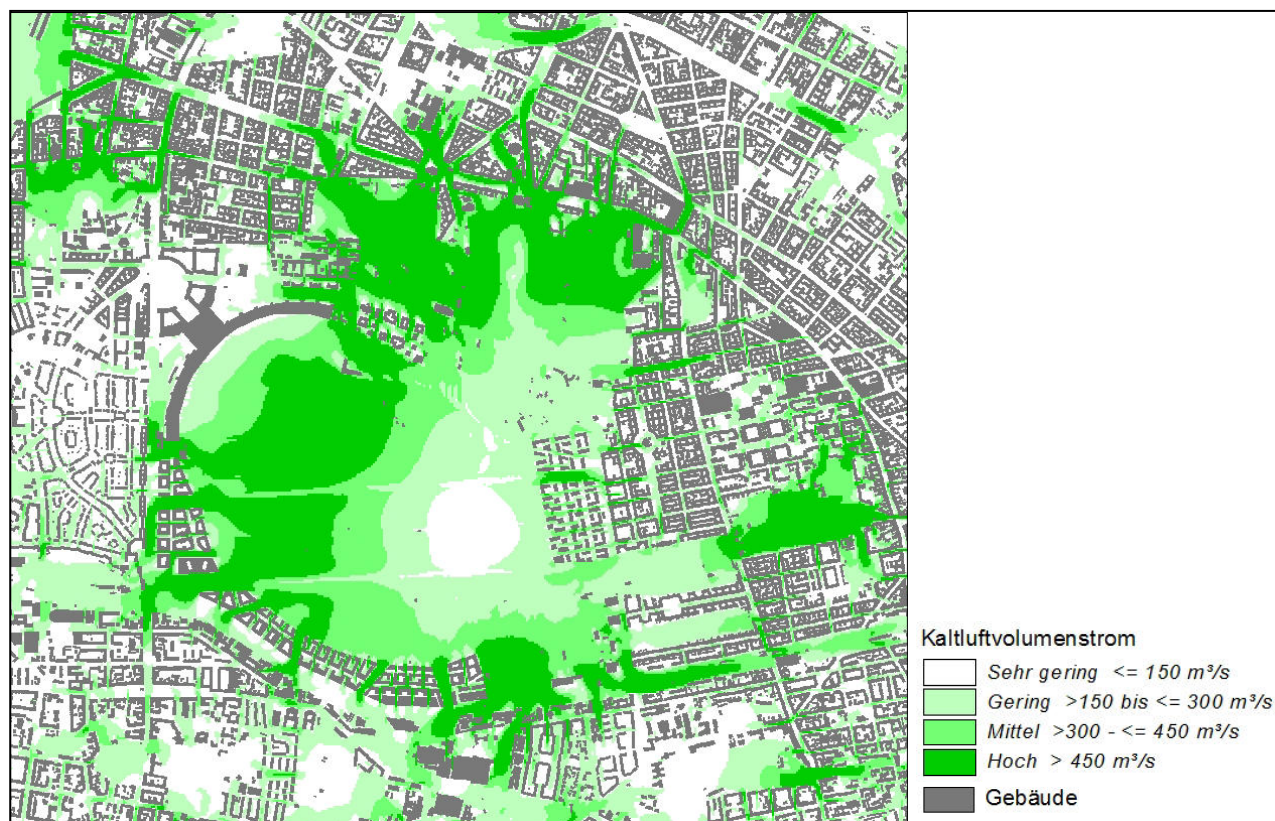


Abb. 4.29: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr - Planzustand

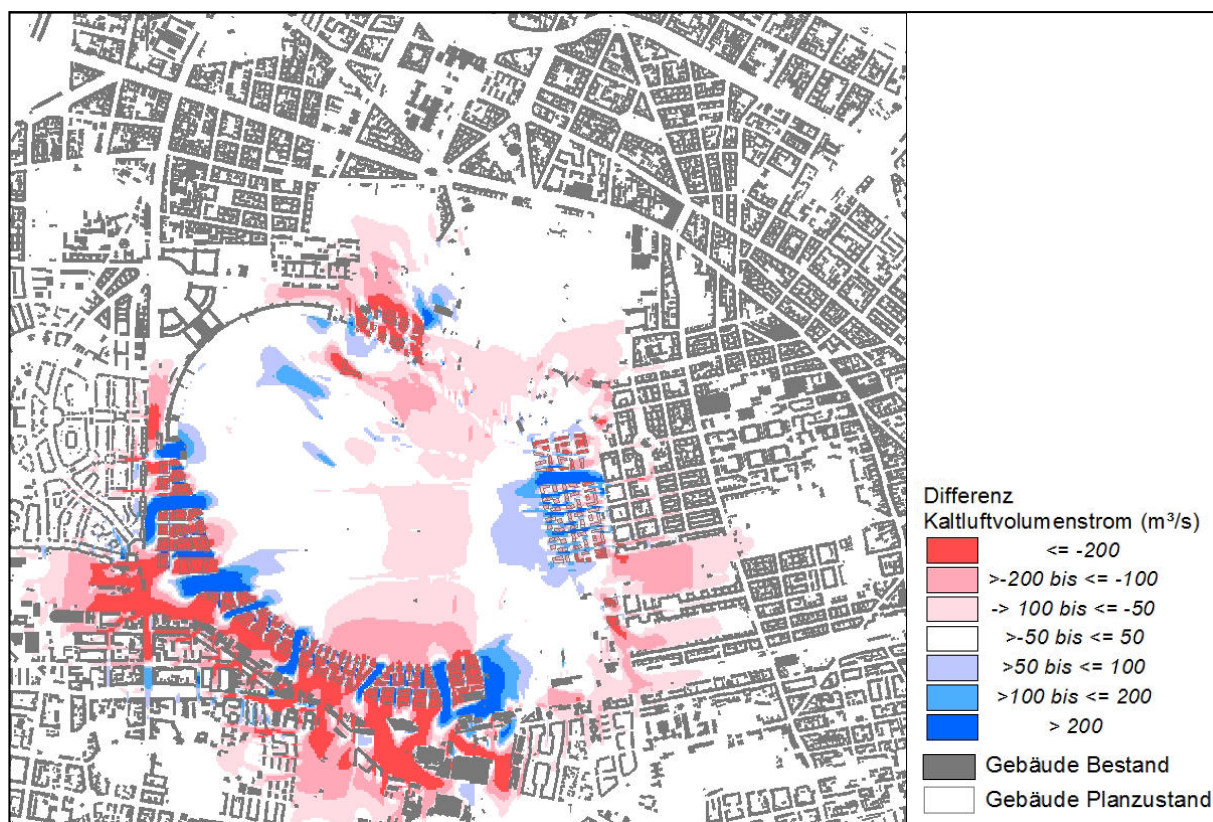


Abb. 4.30: Differenz Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr

Im Bestandsquartieren Schillerpromenade treten leichte Abnahmen etwa bis zur Hermannstraße auf, während im Bereich Südsterne/Bergmannstraße keine Effekte zu beobachten sind. In Abb. 4.31 ist der Kaltluftvolumenstrom relativ zur Gebäudehöhe dargestellt und zeigt den Austritt der nächtlichen Kaltluft aus der Tempelhofer Freiheit.

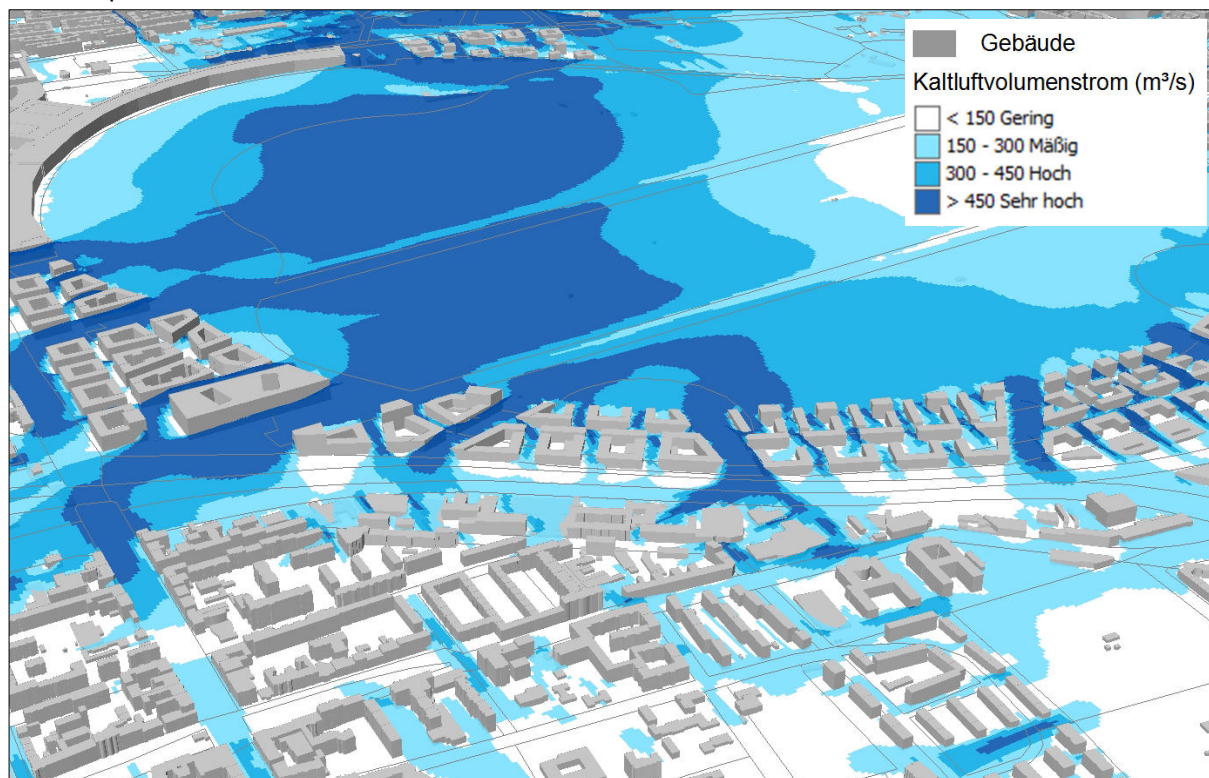


Abb. 4.31: Kaltluftvolumenstrom um 04 Uhr - Beispiel Südring Planzustand

Innerhalb der Grünfugen und Abstandsflächen liegt meist ein hoher Kaltluftvolumenstrom vor, was die hohe Bedeutung dieser Bereiche für die Bestandsflächen als verbindende Elemente im Kaltlufthaushalt unterstreicht.

#### 4.4 Bioklimatische Situation - Nachtsituation um 04 Uhr

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander auf den Menschen ein. Von besonderer Bedeutung bei der Bewertung des Bioklimas ist der thermische Wirkungskomplex. Hier spielen alle Klimaparameter, die den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussen eine Rolle: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und thermophysologisch wirksame Strahlung. Zur Beurteilung des thermischen Wirkungskomplexes wird in dieser Untersuchung der *Bewertungsindex PMV<sup>2</sup>* verwendet. Dieser Parameter basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der „Behaglichkeit“ als mittlere subjektive Einschätzung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wider. Mit steigendem PMV erhöht sich die bioklimatische Belastung aufgrund der als Diskomfort empfundenen thermischen Beanspruchung des Körpers.

Bei der Berechnung des PMV-Wertes müssen als wichtigste meteorologische Eingangsgrößen die Lufttemperatur, die Windgeschwindigkeit, der Dampfdruck und die Strahlungstemperatur am Aufenthaltsort bekannt sein. Diese meteorologischen Parameter variieren innerhalb städtischer Strukturen in weiten

<sup>2</sup> Predicted Mean Vote (FANGER 1972), für eine ausführliche Beschreibung siehe VDI 2008a



Grenzen. In Abhängigkeit von den stadtspezifischen Faktoren (z. B. Bebauungshöhe, Versiegelung, Durchgrünungsgrad) und der Charakterisierung der Wettersituation (z. B. Wind, Luftmasseneigenschaften) kann die Ausprägung des nächtlichen PMV mit Hilfe des Modells FITNAH berechnet werden.

Die bioklimatische Belastung wird in der zweiten Nachthälfte zum Zeitpunkt 4 Uhr beurteilt. 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, sind Windgeschwindigkeit und Temperatur der Außenluft die entscheidenden Faktoren bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) wird für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren vorgeschlagen, das lokale oder regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen. Bei der Berechnung sind die großräumigen Bedingungen im Stadtgebiet Berlin eingeflossen (GEO-NET 2009). Zur Beurteilung der bioklimatischen Situation wurde daher eine z-Transformation des PMV-Ergebnisrasters durchgeführt und die Werte in die vier in Tab. 4.2 aufgeführten qualitativen Bewertungskategorien zugeordnet (vgl. Kap. 3.3, S. 10).

Als Resultat ergeben sich mit diesem Verfahren vier qualitative Einstufungen, welche durch den Mittelwert sowie die obere und untere S<sub>1</sub>-Schranke (Standardabweichung) nach der Z-Transformation abgegrenzt werden. Positive Abweichungen vom arithmetischen Mittel  $> 0$  bedeuten überdurchschnittliche Wertausprägungen und resultieren in den Kategorien „Weniger günstig“ und „Ungünstig“. Negative Ausprägungen von  $< 0$  repräsentieren ein unterdurchschnittliches Belastungsniveau und werden entsprechend als „Günstig“ und „Sehr günstig“ kategorisiert. Daraus ergibt sich eine räumliche Untergliederung der Siedlungsflächen in bioklimatisch günstige und bioklimatisch ungünstige Bereiche.

Belastungsstufe	Mittlerer z-Wert
Sehr günstig	$> -1$ (untere S <sub>1</sub> -Schranke)
Günstig	-1 bis 0
Weniger günstig	0 bis 1
Ungünstig	$< 1$ (obere S <sub>1</sub> -Schranke)

Tab. 4.2: Klassifizierung der bioklimatischen Belastung der Siedlungsflächen während einer windschwachen Sommernacht

Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Standardisierung eines Klimaparameters und der sich daraus ergebenden Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen.

### Istzustand

Aufgrund der starken nächtlichen Abkühlung und dem intensiven Luftaustausch sind sehr günstige Bedingungen vor allem über dem Grünflächenverbund Tempelhofer Freiheit/Hasenheide sowie weiteren Grünflächen wie dem Viktoriapark anzutreffen (Abb. 4.32). Lokal wird das Auftreten sehr günstiger Bedingungen auch durch den Kanalisierungseffekt der Baustrukturen begünstigt (z.B. Südsterne). Eine günstige bioklimatische Situation liegt verbreitet in den übrigen gut durchlüfteten Arealen vor. Die Gebäudestrukturen selbst weisen häufig wenig günstige Bedingungen auf, was auch für die schlecht belüfteten Straßenzüge und Blockinnenhöfe gilt.



Mit zunehmender Entfernung zu den Kaltluft produzierenden Flächen und steigendem Bauvolumen nimmt die Wärmebelastung zu, so dass z.B. im Bereich Kottbusser Damm/Sonnenallee sowie auch am Südring häufig eine ungünstige Wertestufe vorliegt.

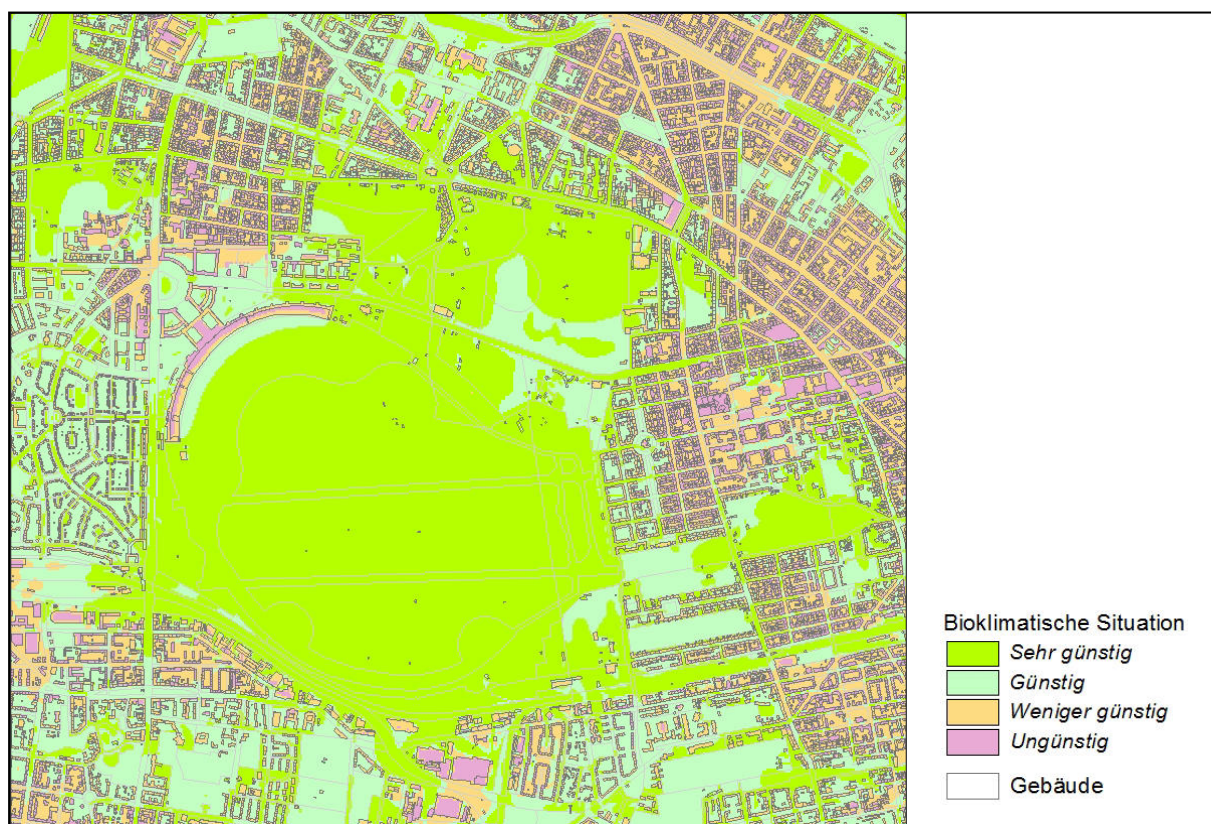


Abb. 4.32: Bioklimatische Situation um 04 Uhr - Istzustand

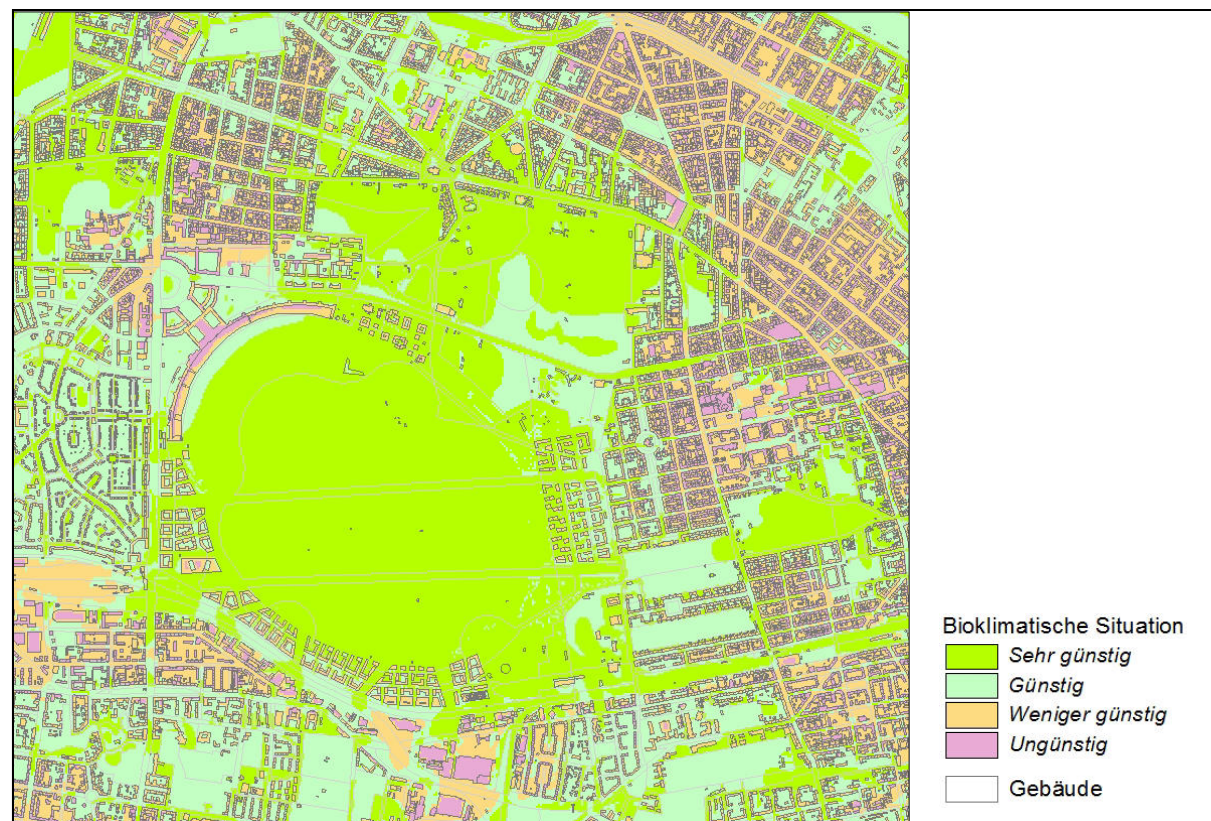


Abb. 4.33: Bioklimatische Situation um 04 Uhr - Planzustand



## Planzustand

Der Planzustand ist in Abb. 4.33 dargestellt, wobei in den neuen Quartieren meist günstige Bedingungen vorliegen, was auf die gute Durchlüftung und die Nähe zur Tempelhofer Freiheit zurückzuführen ist. Die räumlichen Auswirkungen auf die bioklimatische Situation sind in Abb. 4.34 verortet, wobei eine Verschlechterung mit einer roten Signatur gekennzeichnet ist. Diese ergibt sich bei Veränderung von der Kategorie „sehr günstig“ bzw. „günstig“ zu „weniger günstig“. Der Wechsel von der Kategorie „Sehr günstig“ nach „günstig“ wird nicht als Verschlechterung gewertet, da die bioklimatische Situation auch weiterhin im günstigen Bereich verbleibt. Eine Verbesserung liegt hingegen bei einem Wechsel von „weniger günstig“ zu „günstig“ vor. Dies ist auf kleinräumige Veränderungen der Kaltluftströmungen zurückzuführen, welche die Windströmungen an anderer Stelle verstärken und dort zu einer verbesserten Durchlüftung führen können.

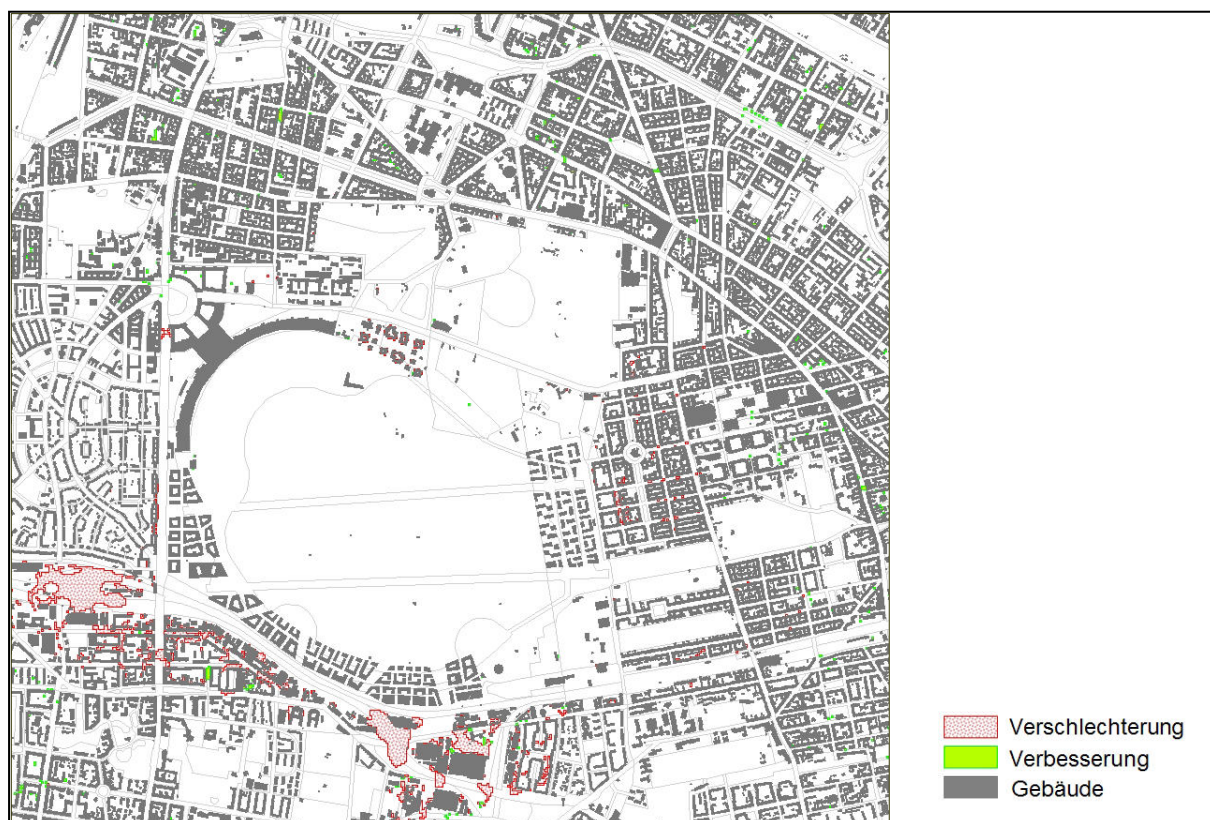
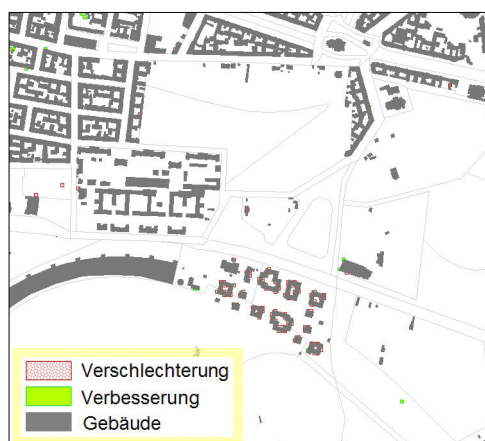


Abb. 4.34: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bestand

Im Folgenden werden die Auswirkungen für die jeweiligen Quartiere erläutert.

### Columbiadamm



Wie die Modellrechnungen zeigen, sind die Auswirkungen einer Bebauung der Potenzialfläche am Columbiadamm sehr gering. Die Abschwächung der nächtlichen Kaltluftströmung klingt bereits über der Hasenheide ab, so dass im Bestandsquartier Südstern/Bergmannstraße keine Veränderung der bioklimatischen Bedingungen zu erwarten ist.

Abb. 4.35: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Columbiadamm

### Oderquartier

Aufgrund der guten Durchlüftung des geplanten Oderquartiers und der damit einher gehenden geringen Hinderniswirkung für die nächtliche Kaltluftströmung sind die im Bestand auftretenden Effekte räumlich begrenzt. Eine Verschlechterung des Bioklimas ist allerdings innerhalb der Lichtenrader Straße zu beobachten (Abb. 4.36).

Dies betrifft einen Straßenabschnitt, der von der Kienitzer Straße im Norden und der Okerstraße im Süden eingerahmt wird. Darüber hinaus sind östlich der Schillerpromenade nur einzelne punkthafte Verschlechterungen zu verzeichnen. Die Auswirkungen für das Bestandsquartier Oderstraße können damit als insgesamt gering eingeschätzt werden.

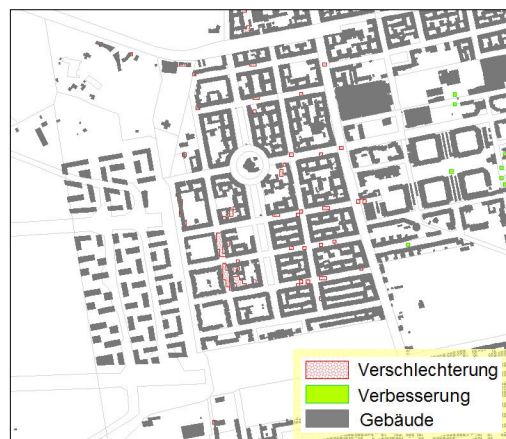


Abb. 4.36: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Oderstraße

### Neu-Tempelhof

Das Bestandsquartier Neu-Tempelhof weist aufgrund des hohen Grünanteils eine eigene Kaltluftentstehung auf, was mit einem günstigen Bioklima einher geht. Die im Quartier selbst entstehenden Flurwinde sind von der über der Tempelhofer Freiheit strömenden Kaltluft weitestgehend abgekoppelt. Dadurch sind sie zwar weniger intensiv, gleichzeitig aber auch weniger beeinflussbar durch eine künftige Bebauung östlich des Tempelhofer Damms. Deren Auswirkungen für den Bestand sind daher sehr gering. Lediglich innerhalb der ersten Bauzeile entlang des Tempelhofer Damms zwischen Thuyring und Manfred-von-Richthofen-Straße kann sich kleinräumig die Wärmebelastung erhöhen. Eine weitere, punktuelle Verschlechterung ist im Straßenraum des Tempelhofer Damms in Höhe des ehemaligen Abfertigungsgebäudes zu verzeichnen.

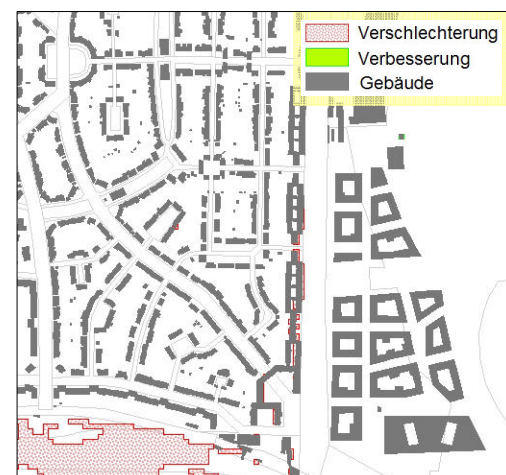


Abb. 4.37: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Tempelhofer Damm

### Südring

Die Abb. 4.38 stellt einen Ausschnitt des südlichen Untersuchungsgebietes dar. Auswirkungen auf den Bestand sind vor allem im Bereich Südring zu beobachten. Hier führt die Hinderniswirkung der geplanten Baukörper zu flächenhaften Zunahmen der Wärmebelastung in den Gewerbeflächen an der Oberlandstraße sowie den Gleisanlagen westlich der S-Bahnhaltestelle Tempelhof.



Abb. 4.38: Veränderung der bioklimatischen Situation im Bereich Südring



Es zeigt sich, dass darüber hinaus auch die Wohnbebauung südlich der Ringbahnstraße sowie im Umfeld der Schaffhausener Straße betroffen ist. Es kann somit festgehalten werden, dass die Auswirkungen der geplanten Bebauung im Bereich des Südrings am stärksten ausgeprägt sind.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, führt die Beeinflussung des Windfeldes oft auch zu einer stärkeren Durchlüftung an anderer Stelle. Daher können kleinräumige Verbesserungen der bioklimatischen Situation auch in unmittelbarer Nähe einer Verschlechterung auftreten, wie dies z.B. im Bereich von Fuhrmannstraße/Germaniastraße der Fall ist.

## 5 Parkplanung Tempelhofer Freiheit

### 5.1 Wärmebelastung am Tage in Grünflächen unter dem Einfluss des Klimawandels

Die bioklimatische Situation innerhalb einer Grünfläche wird wesentlich von ihrer Vegetationsstruktur und der Verschattungssituation mitbestimmt. Während über der gegenwärtig von Wiese geprägten Tempelhofer Freiheit am Tage ein hoher (kurzwelliger) solarer Strahlungsinput mit starker Erwärmung der Bodenoberfläche die Folge ist, führt der Mangel an Verschattung zu einer ähnlich hohen Wärmebelastung wie in den verdichteten Siedlungsflächen (vgl. Kap. 3.2, S. 9). Dies zeigt sich auch bei der Simulation der Lufttemperatur für den Zeitpunkt 14 Uhr (Kap. 4.1.3, S. 20). Andererseits ist dort in der Nachtsituation auch die stärkste Abkühlung zu erwarten. Hier kann in der Nacht eine ungehinderte Wärmeausstrahlung, verbunden mit starker Abkühlung der darüber lagernden Luftmasse, erfolgen.

Bei einem Vergleich von Großem Tiergarten und Tempelhofer Freiheit ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Ausstattung mit Bäumen bzw. Gehölzen deutliche Unterschiede in der Ausprägung der sommerlichen Wärmebelastung am Tage. So wurde für die Tempelhofer Freiheit an durchschnittlich dreimal soviel Tagen im Jahr eine Wärmebelastung als im Tiergarten berechnet (GEO-NET 2011). Die folgenden Ergebnisse sind im Rahmen der Arbeiten für den Stadtentwicklungsplan Klima Berlin entstanden, für den die sommerliche Wärmebelastung zum Anfang, zur Mitte sowie zum Ende des Jahrhunderts unter dem Einfluss der Stadt- bzw. Grünstrukturen modelliert wurden. Damit soll ein Hinweis auf die weitere Entwicklung innerhalb großer Grünflächen wie der Tempelhofer Freiheit gegeben werden.

In Abb. 5.1 (S. 43) ist die mittlere Anzahl an Tagen pro Jahr mit einer Wärmebelastung, bezogen auf den Zeitraum 2001 bis 2010, dargestellt. An solchen Tagen wird tagsüber zwischen 9 und 15 an mindestens drei Stundenterminen eine gefühlte Temperatur von 32°C erreicht oder überschritten, was einem „heißen“ thermischen Empfinden am Tage mit einem PMV-Wert  $> 2.5$  entspricht und beim Menschen eine Wärmebelastung bewirkt. Während in Kap. 4.1.3 mit der Lufttemperatur zum Zeitpunkt 14 Uhr eine Einzelsituation wiedergegeben wird, zeigen die folgenden Abbildungen die jeweils mittlere Anzahl von „Belastungstagen“ im Jahr für einen Zehnjahres-Zeitraum bis zum Ende des Jahrhunderts.

Mit mehr als 20 Tagen/Jahr (s. Pfeil) weisen Bereiche der Tempelhofer Freiheit ein vergleichsweise hohes Belastungspotenzial auf, was auf den offenen, durch Wiese geprägten Flächentyp mit starker Erwärmung am Tage zurückzuführen ist. Innerhalb der vorwiegend mit Bäumen und Gehölzen bestandenen Grünflächen wie dem Großen Tiergarten tritt ein PMV  $> 2,5$  lediglich an etwa 7 Tagen/Jahr auf. Hier wirken sich die von den Bäumen ausgehende Verschattung und Verdunstungswirkung günstig auf das thermische Empfinden aus. Gegenüber der Tempelhofer Freiheit sowie der bebauten Umgebung ist das Belastungspotential deutlich niedriger.

Zur Mitte des Jahrhunderts wird sich die Anzahl an Tagen mit Wärmebelastung unter dem Einfluss des Klimawandels im gesamten Stadtgebiet erhöhen (Abb. 5.2, S. 43). Innerhalb der Tempelhofer Freiheit sind, bezogen auf den 10-Jahreszeitraum 2046 bis 2055, bis zu 25 Tage im Jahr mit Wärmebelastung anzutreffen. Gegenüber dem Basisszenario 2001 bis 2010 bedeutet dies eine Zunahme von bis zu 25%. Das zugrunde gelegte Szenario geht dabei von unveränderten Bedingungen gegenüber heute aus, d.h. einem vorwiegend durch Wiese geprägten Flächentyp auf der Tempelhofer Freiheit. Im Bereich des Vorfeldes ist die Anzahl an Tagen mit Wärmebelastung etwas niedriger als über den durch Wiese geprägten Teilflächen der Tempelhofer Freiheit. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für die Ermittlung der Wärmebelastung nicht nur ein einzelner Parameter betrachtet wird (wie z.B. die Lufttemperatur) sondern eine Kombination mehrerer Einflussgrößen berechnet wird. Dabei spielt neben der Reflexion des Sonnenlichts über einer Oberfläche auch der Wärmestrom im Boden eine Rolle.

Dahingehend berechnet das Klimamodell für eine helle Betonoberfläche etwas günstigere Aufenthaltsbedingungen als für eine (u.U. ausgetrocknete) Rasenfläche.

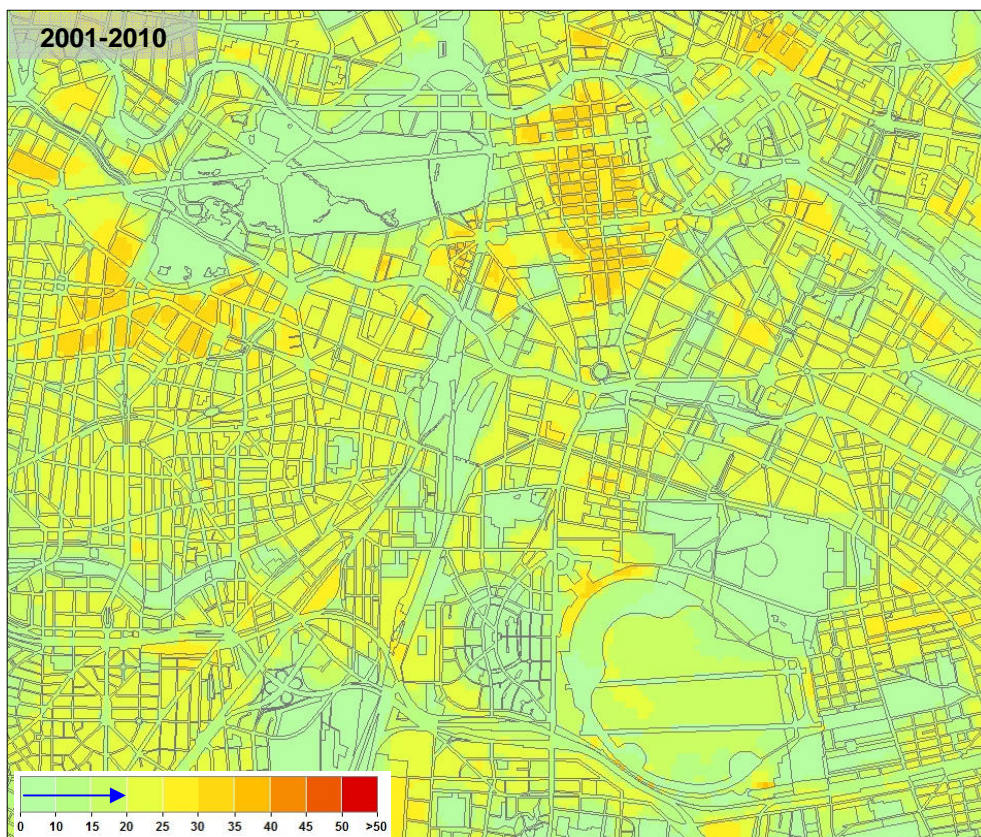


Abb. 5.1: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Tagsituation) in der Dekade 2001 bis 2010

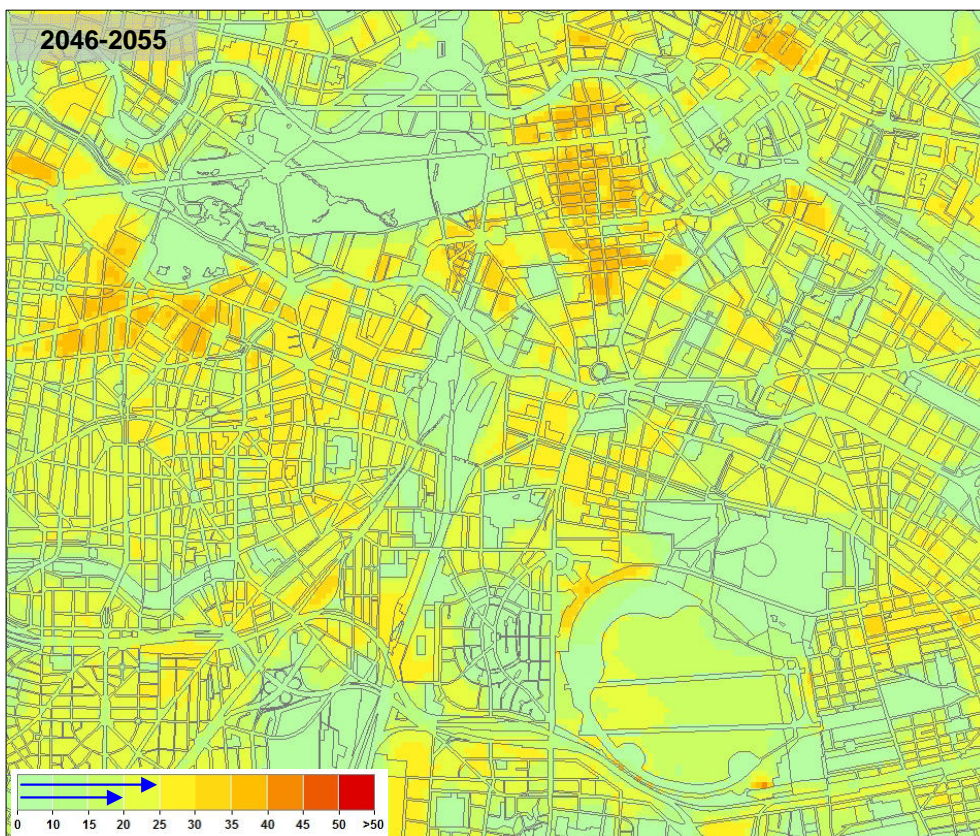


Abb. 5.2: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Tagsituation) in der Dekade 2046 bis 2055



Bis zum Ende des Jahrhunderts werden innerhalb der Tempelhofer Freiheit bis zu 45 Tage/Jahr mit Wärmebelastung anzutreffen sein (Abb. 5.3). Der dargestellten Szenarienberechnung liegt ebenfalls die heutige Vegetation- und Bebauungsstruktur zugrunde.

Vor dem Hintergrund einer Zunahme der sommerlichen Wärmebelastung in den kommenden Jahrzehnten auch über den Freiflächen ist die weitere Ausstattung der Tempelhofer Freiheit mit Baumgruppen positiv zu sehen.

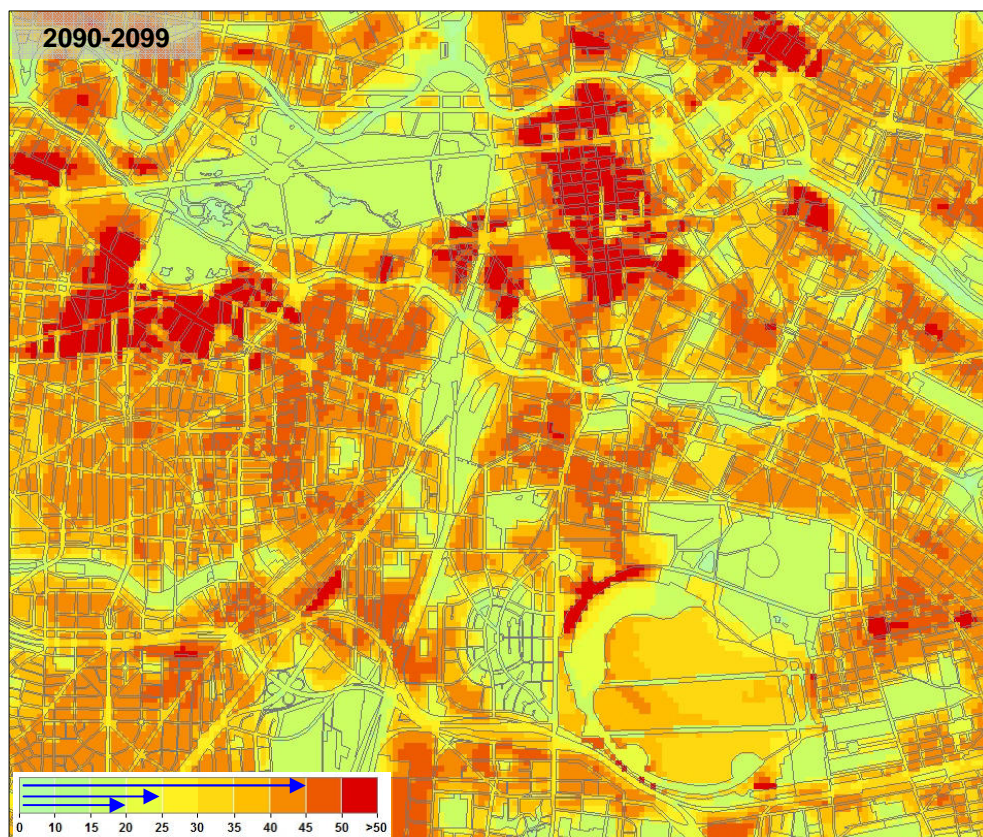


Abb. 5.3: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung (Tagsituation) in der Dekade 2090 bis 2099

Dabei sollte berücksichtigt werden, dass unter dem Einfluss des sich abzeichnenden Klimawandels die Funktionsfähigkeit von Grünflächen z.B. durch Veränderungen im jahreszeitlichen Niederschlagsregime, Bodenfeuchte, Temperatur und dem dadurch beeinflussten Wuchsverhalten sowie dem Artenspektrum abnehmen könnte. Die Tendenz zu höheren Winterniederschlägen und trockeneren Sommern kann daher negativ auf das Stadtgrün einwirken. Gleichzeitig kann dies zu einem höheren Pflegeaufwand oder sogar sinkender Klimawirksamkeit führen.

## 5.2 Beurteilung der Parkplanung

Durch die Umsetzung der Planungen zur Tempelhofer Freiheit - Bebauung und Änderungen der Vegetationsausstattung - wird die räumliche Verteilung der Wärmebelastung sowohl am Tage als auch in der Nacht stärker variieren. Während Baumgruppen und Gehölze die Belastungssituation durch Verschattung und Verdunstung positiv beeinflussen, kann im Umfeld einer zukünftigen Bebauung die nächtliche Belastungssituation kleinräumig zunehmen.

### *Grünflächen und Aufenthaltsbereiche im Freien*

Mit Blick auf die o.g. Zusammenhänge ist die grünplanerische Entwicklung der Tempelhofer Freiheit generell positiv zu beurteilen. Die Realisierung von Baumgruppen auf der nördlichen Tempelhofer Freiheit sowie entlang der geplanten Quartiere steigert die Aufenthaltsqualität im Freien beträchtlich, da somit große beschattete Bereiche geschaffen werden. Damit wird auch das Gehen/Radfahren im Schatten ermöglicht. Darüber hinaus ergibt sich für die Tagsituation eine bioklimatisch günstige Wirkung durch die geplante Wasserfläche. Mit den Planungen werden also vielgestaltige „Klimaoasen“ entstehen, welche ein abwechslungsreiches Angebot für die unterschiedliche Nutzungsansprüche der Menschen (z.B. windoffene und windgeschützte Bereiche, offene „Sonnenwiesen“, beschattete Bereiche) darstellen.

### *Vegetation und Luftaustausch*

Grundsätzlich können auch dichte Vegetationselemente den Luftaustausch beeinträchtigen. Da im vorliegendem Rahmenplan der Übergangsbereich von den geplanten Quartieren und der angrenzenden Tempelhofer Freiheit von dichten Baumgruppen, Gehölzen oder hohen Hecken weitestgehend frei gehalten wird, sind von den vorgelagerten Grünstrukturen keine negativen Auswirkungen auf den Luftaustausch zu erwarten. Der Zutritt von Kaltluft in die Parkfugen wird daher nicht behindert.

Die in den Grünfugen vorgesehenen Baumreihen werden ebenfalls keine nennenswerte Hinderniswirkung aufweisen, da sie entlang der nächtlichen Kaltluftströmung ausgerichtet sind. Damit kann auch hinsichtlich des nächtlichen Luftaustausches die der Rahmenplanung zugrunde liegende Grünausstattung als günstig beurteilt werden.

## 6 Fazit

### 6.1 Allgemeine Ergebnisse

Zur Ermittlung der klimaökologischen Auswirkungen bei Umsetzung des städtebaulichen Rahmenplans für die Tempelhofer Freiheit wurden mit dem Klimamodell FITNAH für einen windstillen Sommertag (Nacht- und Tagsituation) verschiedene meteorologische Parameter zum Kaltlufthaushalt sowohl für den bodennahen Bereich als auch für das Dach- bzw. Überdachniveau simuliert. Für die Tagsituation mit intensiver Sonneneinstrahlung wurde zudem die Lufttemperatur analysiert. Sowohl die gesamtstädtische Betrachtung (GEO-NET 2003; GEO-NET 2009a) als auch die bislang erarbeiteten Fachbeiträge (GEO-NET 2009b, 2010) lassen erkennen, dass das zu bebauende Areal aufgrund der Größe und Lage einen lokalen Beitrag zur Reduzierung der sommerlichen Wärmebelastung in der angrenzenden Bebauung leistet. Im Rahmen der durchgeführten Analyse lassen sich die folgenden allgemeinen Ergebnisse zusammenfassen:

#### *Oberflächennahe Lufttemperatur*

Durch Differenzkarten werden die quantitativen Veränderungen gegenüber dem Istzustand sichtbar. Bei der oberflächennahen Lufttemperatur bleiben die Zunahmen weitestgehend auf die geplanten Baufelder beschränkt, eine Erhöhung der Lufttemperatur in angrenzenden Siedlungsflächen ist nicht zu erwarten. Die gute Durchlüftung der geplanten Baufelder sowie die vorgesehenen durchgrünten Abstandsflächen verhindern das Auftreten einer zusammenhängenden, homogenen „Wärmeinsel“.

#### *Luftaustausch*

Hinsichtlich des Luftaustausches (Windgeschwindigkeit/Kaltluftvolumenstrom) lassen sich die folgenden Kernaussagen zusammenfassen: Die stärksten Abnahmen treten innerhalb der geplanten Baufelder auf, wobei durch die Hinderniswirkung von Gebäuden auf das Strömungsfeld einerseits aber auch durch dessen Kanalisierung andererseits Zu- und Abnahmen in direkter räumlicher Nähe nebeneinander auftreten. Die Beeinflussung des bodennahen nächtlichen Kaltluftströmungsfeldes während sommerlicher Hochdruckwetterlagen führt zu einer Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit vor allem im Nahbereich der Baufelder. Es sind, im Gegensatz zur Lufttemperatur, Effekte über die Planflächen hinaus sichtbar. Eine erhebliche negative Beeinflussung des Kaltluftvolumenstroms in der benachbarten Bebauung ist unter den zugrunde gelegten Rahmenbedingungen im Bereich des Südrings zu erwarten.

#### *Bilanzierung der Auswirkungen*

Um die Auswirkungen einer Bebauung von Teilen der Tempelhofer Freiheit beurteilen zu können, sind für die Parameter Windgeschwindigkeit, Kaltluftvolumenstrom sowie Bioklima die Veränderungen im Vergleich zum Istzustand bilanziert worden. Auf eine Bilanzierung der Lufttemperatur wird verzichtet, da die Zunahmen der Lufttemperatur nicht nennenswert über die geplanten Quartiere hinaus gehen. Die Bilanz erfolgt zweistufig, wobei in einem ersten Schritt die orange abgegrenzten Bereiche gesamthaft betrachtet werden. Diese sind von ähnlicher Größe und decken die unmittelbar an die Tempelhofer Freiheit angrenzenden Bestandsquartiere ab. Das Ergebnis einer Flächenbilanz wird dabei erheblich von der Größe eines Areals beeinflusst. So führt bei einer Bilanzierung ein großer Betrachtungsraum möglicherweise zu einer Nivellierung der darin auftretenden Streuung eines Parameters. Deshalb sind in einem weiteren Schritt nur die in den Wohnbauflächen der Bestandsquartiere auftretenden Veränderungen betrachtet worden.



Bei den bilanzierten Wohnarealen handelt es sich um die in Abb. 6.1 dargestellten Blockflächen, da sie aufgrund der Wohnfunktion eine höhere Betroffenheit aufweisen als z.B. thermisch belastete Gewerbeflächen (VDI 2008). Die Abweichungen innerhalb der Bestandsquartiere sowie der darin lokalisierten Wohnbauflächen werden in Tab. 6.1 in Prozentpunkten gegenüber dem Ausgangszustand wiedergegeben.

Parameter	Südsterne/Bergmannstraße		Schillerpromenade		Südring		Neu-Tempelhof	
	Gesamt	Wohnbebauung	Gesamt	Wohnbebauung	Gesamt	Wohnbebauung	Gesamt	Wohnbebauung
Windgeschwindigkeit	/	/	-5,2 %	-3,2 %	<b>-14,0 %</b>	-2,3 %	-6,3 %	<b>-6,2 %</b>
Volumenstrom	-2,6 %	/	-7,9 %	-3,8 %	<b>-22,5 %</b>	<b>-16,3 %</b>	-14,3 %	-4,9 %
Günstiges Bioklima		/		-0,4 %		<b>-2,0 %</b>		-0,4 %

Tab. 6.1: Bilanzierung klimaökologischer Parameter: Zu- und Abnahmen in den Bestandsquartieren

Es zeigt sich, dass im Bereich Südring die Beeinflussung der klimaökologischen Situation im Vergleich zu den übrigen Bestandsquartieren am stärksten beeinflusst wird. Die Reduzierung von Kaltluftvolumenstrom und Windgeschwindigkeit in den Wohnflächen um minus 2,1 bzw. minus 16,3 Prozentpunkten führt dazu, dass 2 % der heute bioklimatisch günstigen Wohnbaufläche sich zu einem „weniger günstigen“ Zustand verschlechtern.

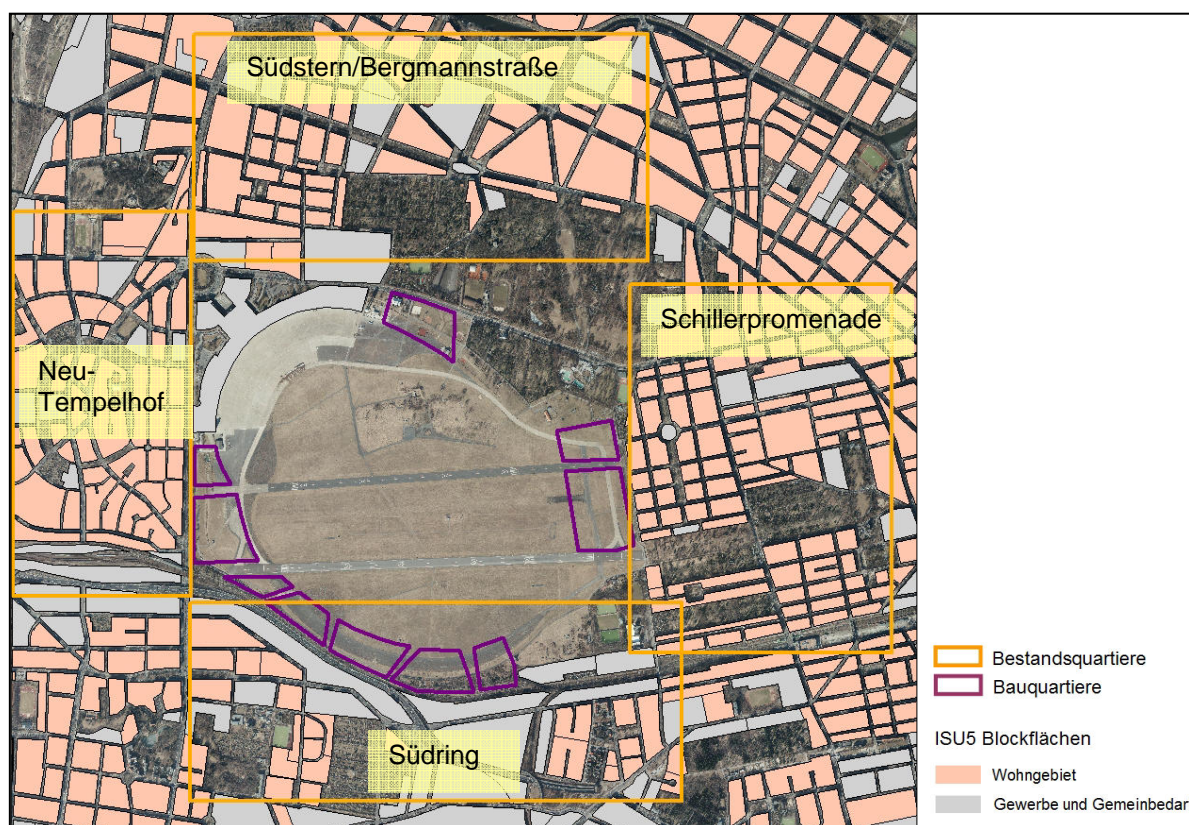


Abb. 6.1: Bilanzräume

In den Quartieren Schillerpromenade und Neu-Tempelhof tritt hingegen eine Verschlechterung der bioklimatischen Situation auf weniger als 1 % der Wohnfläche auf. Die Abnahme des Kaltluftvolumenstroms beträgt weniger als 10 Prozentpunkte. In den Wohnbauflächen des Quartiers Südsterne/Bergmannstraße ist keine Veränderung gegenüber dem Ausgangszustand zu beobachten.

## 6.2 Quartiersbezogene Bewertung und Planungshinweise

**Allgemeines:** Die räumliche Verteilung der Baukörper beeinflusst den Kalt-/Frischlufteintritt sowohl in die geplanten Baufelder als auch im Bestand und nimmt, abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, unterschiedlich stark Einfluss auf die siedlungsklimatische Situation. Mit Blick auf bioklimatisch belastende Wettersituationen im Sommer können darüber hinaus für die bauliche Umsetzung Maßnahmen zur Verminderung der Wärmebelastung am Tage ergriffen werden. Die für die geplanten Quartiere abzuleitenden Hinweise zielen deshalb auch darauf ab, durch zusätzliche Verschattung die Aufenthaltsqualität im Freien zu steigern und andererseits den Gebäudebestand hitzeangepasst zu gestalten.

### *Verringerung der Wärmebelastung im Siedlungsraum*

Während am Tage die direkte, kurzweilige Strahlung der Sonne wirksam ist, geben nachts Bauwerke und versiegelte Oberflächen die tagsüber gespeicherte Energie als langwellige Wärmestrahlung wieder ab. Durch die Verringerung des Wärmeinputs am Tage wird gleichzeitig weniger Strahlungsenergie in der Baumasse gespeichert und damit in der Nacht auch weniger Wärme an die Luft abgegeben. Neben einer hohen Grünausstattung lässt sich zudem durch die Verwendung von hellen Baumaterialien die Reflexion des Sonnenlichtes (Albedo) erhöhen, so dass ebenerdig versiegelte Flächen oder auch Fassaden stärker zurückstrahlen. Dadurch bleiben sie kühler und nehmen damit insgesamt weniger Wärmeenergie auf.

### *Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünung*

Zu den weiteren effektiven Maßnahmen, die Erwärmung der Gebäude am Tage abzuschwächen, zählen Dach- und Fassadenbegrünung. Letztere wirkt zweifach positiv auf einen Gebäudebestand ein, da einerseits durch die Schattenspende die Wärmeeinstrahlung am Tage reduziert wird und andererseits über die Verdunstungskälte des Wassers Wärme abgeführt wird. Eine Fassadenbegrünung ist insbesondere an West- und Südfassaden wirksam, da hier die stärkste Einstrahlung stattfindet. Darüber hinaus mindert eine Begrünung die Schallreflexion und damit die Lärmbelastung und kann zu einem gewissen Grad Stäube und Luftschadstoffe binden.

Bei der Dachbegrünung wirkt die Vegetation zusammen mit dem Substrat isolierend und verringert damit das Aufheizen darunter liegenden Wohnraums. Zudem senkt die Dachbegrünung die Oberflächentemperatur des Daches aufgrund der Verdunstung von Wasser ab und verringert die Temperatur in der oberflächennahen Luftschicht. Allerdings kommt es hier durch die Traufhöhe der Gebäude (~15,00 m) zu einer vertikalen Entkopplung der positiven Effekte. Nur relativ niedrige Gebäude (< 5 m) mit Dachbegrünung können zu einem im bodennahen Bereich positiven Abkühleffekt beitragen. Gründächer auf 4-5 geschossigen Gebäuden zeigen in der untersten Schicht der Stadtatmosphäre (= Aufenthaltsbereich des Menschen) keinen nennenswerten positiven Temperatureffekt. Voraussetzung für die Kühlwirkung ist allerdings immer ein ausreichendes Wasserangebot für die Vegetation. Sollte bei längeren Hitzeperioden die Vegetation austrocknen, steigen die Temperaturen wieder auf das Niveau eines normalen Daches an und können sogar darüber hinaus gehen. Der Kühlungseffekt für die Innenräume bleibt dabei aber erhalten. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen. Ein weiterer Vorteil von Dachbegrünung ist im Retentionsvermögen von Regenwasser zu sehen, wodurch die Kanalisation vor allem bei Starkregenereignissen entlastet wird.

### *Wasser: Brunnenanlagen, Seen*

Ein weiteres klimaausgleichendes Gestaltungselement können Seen und/oder Brunnenanlagen in Straßenräumen bzw. Platzbereichen bzw. Freiflächen darstellen. Insbesondere die Temperaturspitzen

können durch die durch Wasserflächen erzeugte Verdunstungskälte reduziert werden (s. Beispiel Regenrückhaltebecken auf der Tempelhofer Freiheit).

## Quartiersbezogene Bewertung

### *Columbiadamm*

Die Klimamodellierung macht die Bedeutung einer Vernetzung von Tempelhofer Freiheit und Hasenheide/Friedhöfe für den lokalen Luftaustausch im Bereich Südsterne/Graefekiez deutlich. Diese Funktion wird durch eine kompakte Bebauung der Potentialfläche am Columbiadamm, wie sie der Rahmenplanung zugrunde liegt, nicht beeinträchtigt. Voraussetzung dafür ist die Beibehaltung der Abstandsfläche zwischen dem ehemaligen Abfertigungsgebäude und der Potentialfläche. Diese ist als strömungsgünstig ausgestaltete Kaltluftleitbahn für den nächtlichen Luftaustausch zu erhalten. Negativ kann sich hier allerdings der relativ verkehrsreiche Columbiadamm auswirken. Die verkehrsinduzierte NO<sub>2</sub>-Belastung kann durch den Kaltluftstrom nach Norden verdriftet werden. Dabei sollte die teilweise zeitliche Entflechtung von Verkehrsbelastung und dem Auftreten von lokalen Ausgleichsströmungen berücksichtigt werden.

### *Oderquartier*

Quartier Oderstraße weist mit dem vorliegenden Planungsstand eine klimaökologisch verträgliche Ausgestaltung auf, da die vorgesehene Grünfuge in Höhe der nördlichen Landebahn das Eindringen von Kaltluft ermöglicht. Auch die Verbindung zwischen der Tempelhofer Freiheit und den Friedhöfen im Bereich Thomastraße bleibt erhalten, so dass über diese Grünstrukturen auch weiterhin eine Kaltluftströmung in Richtung Schillerpromenade/Hermannstraße gewährleistet bleibt.

Darüber hinaus ist auch die Lage der Abstandsflächen zwischen den Gebäudekörpern als positiv zu bewerten, da sie nach Osten hin in die bestehenden Straßenräume übergehen und so der Kaltluftstrom weitestgehend erhalten bleibt. Daher sind für das geplante Oderquartier kompakte Bauformen mit geringer Flächeninanspruchnahme und Grünfugen zu empfehlen.

### *Tempelhofer Damm*

Die Umsetzung der Planungen würde die sommerliche Wärmebelastung im Quartier Neu-Tempelhof/Manfred-von-Richthofen-Straße nicht nennenswert beeinträchtigen, da es sich hier um einen durchgrünten Siedlungstyp mit ohnehin günstigen bioklimatischen Bedingungen und eigener Kaltluftentstehung handelt.

### *Südring*

Am Südring sind die stärksten Auswirkungen auf den lokalen Luftaustausch zu erwarten. In der VDI-Richtlinie 3787 (VDI 2003) wird als Maß der Beeinflussung die prozentuale Veränderung eines Parameters gegenüber dem Ist-Zustand herangezogen und eine Verringerung von Kaltluftvolumina mit mehr als 10 Prozentpunkten als starker Eingriff eingeordnet. Damit sind die für die Wohngebiete am Südring berechneten Abnahmen des Kaltluftvolumenstroms von 16 Prozentpunkten als erheblich einzustufen. Durch die wahrscheinlich im Rahmen der Schallschutzmassnahmen empfohlene Anlage von Schallschutzwänden entlang der Stadtautobahn BAB 100 kann dieser abschirmende Effekt u.U. noch verstärkt werden.

Hinsichtlich der reduzierten Durchlüftung sollte geprüft werden, welches Potential für eine Begrünung im Bestandsquartier vorhanden ist. Vor allem Entsiegelung, aber auch Dach- und Fassadenbegrünung kann dort, wo es baulich umsetzbar ist, zu einem klimatisch günstigen Wohnumfeld beitragen.



Für das geplante Quartier ist dies vor allem für die entlang des Südrings geplante Bebauung denkbar, welche eine große süd- bzw. südwestexponierte Fassadenfläche aufweist.

Um die Verdriftung von verkehrsbezogenen Luftschadstoffen mit auftretenden Flurwinden zu unterbinden kann es sinnvoll sein, die Baukörper der Quartiere Tempelhofer Damm und Südring als Riegelbebauung entlang der stark befahrenen Straßen zu entwickeln, um so den Schadstoffeintrag in die angrenzenden Wohnquartiere zu minimieren. Als passive Immissionsschutzmassnahme kann darüber hinaus eine Nutzungsdifferenzierung (Gewerbestandorte in Nachbarschaft zur BAB 100 und Wohnnutzung orientiert zum Tempelhofer Park) sinnvoll sein.

## 7 Literatur

- AMMER, U. & MATTHES, U.: Entscheidungshilfen für die Freiraumplanung. Naturwissenschaftlicher Teil, Dortmund, 1978.
- FANGER P. O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering, New York: Mc Graw Hill
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2011): Untersuchungen zum Klimawandel in Berlin. Dokumentation der im Rahmen des Stadtentwicklungsplans (StEP) Klima durchgeführten Modellrechnungen.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2010): Fachbeitrag Stadtklima zum landschaftsplanerischen Wettbewerb "Parklandschaft Tempelhof" in Berlin.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2009a): Aktualisierung der gesamstädtischen Klimaanalyse Berlin auf Basis einer GIS-gestützten Modellierung von stadtklimatisch und lufthygienisch relevanten Kenngrößen mit dem 3D-Klimamodell FITNAH.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2009b): Fachbeitrag Stadtklima im Rahmen Änderung Flächennutzungsplan und Landschaft-/Artenschutzprogramm.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2003): Modellgestützte Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen und deren planerische Umsetzung im Stadtgebiet von Berlin.
- 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.
- KIESE, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt 20, H. 2: 67-71
- MAYER & MATZARAKIS (1992): Stadtklimarelevante Luftströmungen im Münchner Stadtgebiet. – Forschungsvorhaben Stadtluft, Abschlussbericht, Lehrstuhl für Bioklimatologie u. Meteorologie Univ. München. 96 S.
- MOSIMANN, Th., P. TRUTE & Th. FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011a: Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2011, Karte 06.01 Reale Nutzung der bebauten Flächen und 06.02 Grün- und Freiflächenbestand, 1:50 000, Berlin.
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011b: Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2011, Karte 06.07 Stadtstruktur, 1:50 000, Berlin.
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2011c: Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2011, Karte 01.02 Versiegelung, 1:50 000, Berlin.
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) (Hrsg.) 2010: Umweltatlas Berlin, Karte 01.08 Geländehöhen, 1:50 000, Berlin.
- SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) 2013: Digitales Geländemodell für den Bereich der Tempelhofer Freiheit (Stand 2011).
- ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57
- VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.
- VDI (2008): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

## 8 Glossar

**Ausgleichsleistung:** Durch lokalen → Luftaustausch bzw. Lufttransport zwischen → Ausgleichs- und → Wirkungsraum wird eine positive Beeinflussung der bioklimatischen bzw. lufthygienischen Verhältnisse erzielt.

**Ausgleichsraum:** Grüngestaltete, relativ unbelastete Freifläche, die an einen Wirkungsraum angrenzt oder mit diesem über wenig raue Strukturen (→ Leitbahnen) verbunden ist. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen trägt dieser zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften bietet er eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.

**Austauscharme Wetterlage:** → Strahlungswetterlage

**Autochthone Wetterlage:** → Strahlungswetterlage

**Autochthones Windfeld:** Kaltluftabflüsse und Flurwinde, welche sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → Strahlungswetterlage ausbilden.

**Bioklima:** Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (=atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf Menschen.

**Eindringtiefe:** Reichweite einer Kalt-/Frischluftrömung in den → Wirkungsraum hinein, ausgehend vom Bebauungsrand.

**Flurwind:** Thermisch bedingte schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Flächen (z.B. innerhalb einer Bebauung oder auch im Umland) und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Er strömt vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in das Zentrum der Überwärmung (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum) ein.

**Inversion:** Wenn am Tage bei intensiver Sonneneinstrahlung der Boden und die darüber lagernde Luft aufgeheizt werden, steigt diese auf und führt zu einer guten Durchmischung der Luftschicht. Die Temperatur der Luft nimmt dabei mit der Höhe allmählich ab. Während einer nächtlichen → Strahlungswetterlage kann eine umgekehrte Situation entstehen, bei der die oberen Luftschichten wärmer sind als die im bodennahen Bereich. Der Luftaustausch mit der Höhe ist dann reduziert, da die Kaltluft aufgrund ihrer höheren Dichte am Erdboden verbleibt.

**Kaltluftabfluss:** An wenig rauen Hängen und Tälern mit genügendem Gefälle (theoretisch ab etwa 0,5°) setzt sich die Kaltluft aufgrund der Schwerkraft, dem Gefälle folgend, in Bewegung. Der Abfluss erfolgt schubweise. Er setzt bereits vor Sonnenuntergang ein und kann die ganze Nacht andauern.

**Kaltluftvolumenstrom:** 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). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m<sup>3</sup>, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Leitbahn fließt. 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 Volumenstrom-*dichte* aufzufassen. Dies kann man so veranschaulichen, indem man sich ein quer zur Luftströmung hängendes Netz vorstellt, das ausgehend von der Obergrenze der Kaltluftschicht<sup>3</sup> bis hinab auf die Erdoberfläche reicht. Bestimmt man nun die Menge der pro Sekunde durch das Netz strömenden Luft, erhält man den rasterbasierten Kaltluftvolumenstrom.

**Klimafunktionen:** Prozesse und Wirkungen in der Landschaft, die das örtliche Klima mitbestimmen und Belastungen von Organismen durch besondere Klimabedingungen erhöhen oder abbauen.

**Klimaökologie:** Analysiert den Einfluss von Klimaelementen und des Klimas auf das Landschaftsökosystem und seinen Haushalt. Untersucht wird weiterhin die Steuerung der bedeutsamen, bodennahen atmosphärischen Prozesse durch die allgemeinen landschaftlichen Strukturgrößen (Relief, Überbauung...).

**Komfortraum:** Vielfältig strukturierte, bewachsene Freiflächen in Nachbarschaft zum Wirkungsraum mit günstigen bioklimatischen und/oder lufthygienischen Bedingungen. Ihre wichtigsten Eigenschaften sind Immissionsarmut und Klimavielfalt, d.h. es besteht ein Mosaik aus unterschiedlichen Mikroklimaten.

**Leitbahnen:** Linear ausgerichtet, wenig raue Freiflächen, die den lokalen Luftaustausch fördern, insbesondere den Transport von Kalt-/Frischlufte aus dem Ausgleichsraum in den Wirkungsraum. Die Leitbahneigenschaften bestimmen, in welchen Umfang eine Ausgleichsleistung erbracht wird.

**Luftaustausch:** Transport von Luftmassen mit bestimmten Eigenschaften durch turbulente Diffusion. Es werden austauschschwache Situationen mit Windgeschwindigkeiten  $\leq 1,5$  m/s von austauschstarken mit Windgeschwindigkeiten  $\geq 5,5$  m/s unterschieden.

**PMV-Wert:** Grundlage für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen. Er basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der Unbehaglichkeit bzw. Behaglichkeit als mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Anzahl von Menschen wieder.

**PMV Z-Transformation:** In der VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 (VDI 2008) beschriebenes Verfahren zur Z-Transformation. Dieses Vorgehen legt allgemein das lokale/regionale Wertenniveau einer Klimaanalyse zugrunde und bewertet die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen in einem Untersuchungsraum.

**Rauigkeit:** Gibt die durch Bbauungs- und/oder Vegetationsstrukturen hervorgerufene Veränderungen des Windfeldes wieder. Als Maß der Rauigkeit fungiert der  $z_0$ -Wert, der in Meter angegeben wird.

**Reichweite:** → Eindringtiefe

**Strahlungswetterlage:** Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird bei dieser Wetterlage vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt. Voraussetzung für ihre Ausbildung sind eine geringe Bewölkung von weniger als 3/8 und eine mittlere Geschwindigkeit des Windes von unter 1,5 m/s.

**Strömungsfeld:** Für die Analysezeitpunkte 22 Uhr abends bzw. 04 Uhr morgens simulierte flächendeckende Strömungsfeld der Kaltluftabflüsse und Flurwinde während einer windschwachen → Strahlungswetterlage.

---

<sup>3</sup> Die Schichtgrenze wird dort angesetzt, wo die horizontale Fließgeschwindigkeit geringer als 0,2 m·s<sup>-1</sup> wird

**Ventilationsbahn:** Leitbahn, die während austauschstärkerer Wetterbedingungen den Gradientwind aufnimmt und zur Be- und Entlüftung des Wirkungsraumes beiträgt.

**Wärmebelastung:** Durch Behinderung der Wärmeabgabe des Körpers hervorgerufenen Unbehaglichkeitsempfinden. Wärmebelastung tritt hauptsächlich bei sommerlichen, strahlungsreichen Hochdruckwetterlagen mit hoher Temperatur, hoher Feuchte und geringer Luftbewegung auf (Schwüle).

**Wärmeinsel:** Derjenige städtische Lebensraum, der gegenüber der Umgebung vor allem abends und nachts eine höhere Lufttemperatur aufweist. Es bilden sich i.d.R. mehrkernige Wärmeinseln in einer Stadt aus. Die Jahresmitteltemperaturen sind in diesen Räumen um 0,5 bis 1,5 Kelvin gegenüber dem Umland erhöht.

**Wirkungsraum:** Bebaute (oder zur Bebauung vorgesehene), bioklimatisch und/oder lufthygienisch belastete Räume (Belastungsraum), die an einen oder mehrere Ausgleichsräume angrenzen oder über wenig raue Strukturen angebunden sind. Durch lokale Luftaustauschprozesse erfolgt eine Zufuhr von Kalt-/Frischluft aus dem → Ausgleichsraum, die zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen beiträgt.