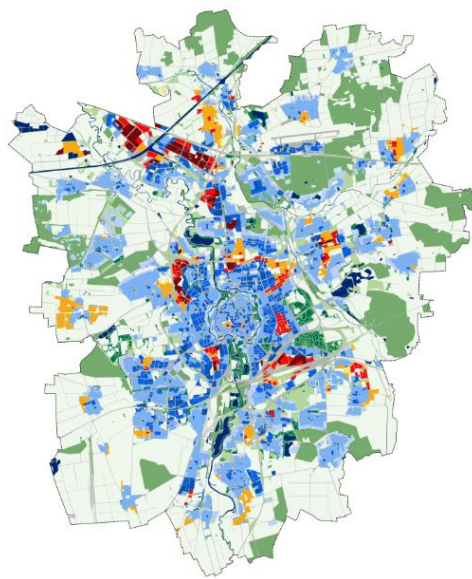


Stadtklimaanalyse Braunschweig 2017



Teil II: Stadtklima 2050 und Vulnerabilitätsanalyse

Stadt Braunschweig
FB Stadtplanung u. Umweltschutz
Abteilung Umweltschutz

Erstellt von:
GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover



Veröffentlichung:
August 2018



Inhaltsverzeichnis

1	<i>Zusammenfassung</i>	1
2	<i>Methode der Zukunftsrechnung Stadtklima 2050</i>	3
2.1	Methodische Grundlagen	3
2.2	Änderungsstatistik	5
3	<i>Modellergebnisse der Zukunftsrechnung</i>	7
3.1	Nächtliches Temperaturfeld	7
3.2	Kaltluftprozessgeschehen	11
3.3	Thermische Belastung am Tage	12
4	<i>Planungskarten und Vulnerabilitätsanalyse</i>	14
4.1	Planungshinweiskarte Nachtsituation	14
4.2	Planungshinweiskarte Tagsituation	18
4.3	Grünerreichbarkeit	21
4.4	Demographische Verletzlichkeit	25
4.5	Maßnahmenkatalog Aktionsplan Anpassung	27
	<i>Quellenverzeichnis</i>	33
	<i>Anhang</i>	34



Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: ANTHROPOGENER GLOBALER STRAHLUNGSANTRIEB (RF) DER AKTUELLEN RCP-SZENARIEN	4
ABB. 2: LANGJÄHRIGE ÄNDERUNG DER JAHRESMITTELTEMPERATUR FÜR DIE STADT BRAUNSCHWEIG	6
ABB. 3: LANGJÄHRIGE ÄNDERUNGEN DER MONATSMITTELTEMPERATUR FÜR DIE STADT BRAUNSCHWEIG.....	6
ABB. 4: ZUNAHME DER MITTLEREN LUFTTEMPERATUR AUSGEWÄHLTER NUTZUNGSKLASSEN IM VERGLEICH ZUM STATUS QUO.....	7
ABB. 5: NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD DER ZUKUNFTSRECHNUNG 2050 IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BRAUNSCHWEIG	9
ABB. 6: NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD IM STATUS QUO IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BRAUNSCHWEIG	9
ABB. 7: NÄCHTLICHE ÜBERWÄRMUNG DES SIEDLUNGSRAUMS IN DER ZUKUNFTSRECHNUNG 2050 (WÄRMEINSELEFFKT) IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BRAUNSCHWEIG	10
ABB. 8: NÄCHTLICHE ÜBERWÄRMUNG DES SIEDLUNGSRAUMS (WÄRMEINSELEFFKT) IM STATUS QUO IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BRAUNSCHWEIG	10
ABB. 9: WÄRMEBELASTUNG AM TAGE DER ZUKUNFTSRECHNUNG 2050 IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BRAUNSCHWEIG	13
ABB. 10: WÄRMEBELASTUNG AM TAGE IM STATUS QUO IN EINEM AUSSCHNITT DES STADTGEBIETS BRAUNSCHWEIG	13
ABB. 11: PLANUNGSHINWEISKARTE NACHTSITUATION FÜR EINEN AUSSCHNITT DES BRAUNSCHWEIGER STADTGEBIETS MIT VERKÜRZTER LEGENDE	17
ABB. 12: PLANUNGSHINWEISKARTE TAGSITUATION FÜR EINEN AUSSCHNITT DES BRAUNSCHWEIGER STADTGEBIETS MIT VERKÜRZTER LEGENDE	20
ABB. 13: GRÜNDEFIZITANALYSE FÜR EINEN AUSSCHNITT DES BRAUNSCHWEIGER STADTGEBIETS MIT VERKÜRZTER LEGENDE	24
ABB. 14: ANTEIL KLEINKINDER BIS 6 JAHRE NACH STADTTEILEN	26
ABB. 15: ANTEIL SENIORINNEN UND SENIOREN NACH STADTTEILEN	26
ABB. 16: THERMISCHE BELASTUNG UND EINWOHNERZAHLEN IN SIEDLUNGS- UND GEWERBEGBEITEN IM STADTKERN BRAUNSCHWEIGS.....	27
ABB. 17: BEISPIELHAFTER ABLEITUNG VON MAßNAHMEN FÜR EINE SIEDLUNGSFLÄCHE IN EINEM AUSSCHNITT DER PLANUNGSHINWEISKARTE NACHTSITUATION.....	29

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: STATISTIK DER LANGJÄHRIGEN MITTLEREN ÄNDERUNG DER TEMPERATUR FÜR DIE SZENARIEN RCP 2.6, 4.5 SOWIE 8.5 FÜR DIE STADT BRAUNSCHWEIG.....	5
TABELLE 2: STATISTIK DER LANGJÄHRIGEN MITTLEREN ÄNDERUNG DER TEMPERATUR FÜR DAS SZENARIO RCP 8.5 FÜR DIE STADT BRAUNSCHWEIG	5
TABELLE 3: FLÄCHENANTEILE DER NÄCHTLICHEN ÜBERWÄRMUNG UM 04:00 UHR IM SIEDLUNGS- UND GEWERBERAUM FÜR DEN STATUS QUO UND DIE ZUKUNFTSRECHNUNG 2050.....	8
TABELLE 4: ZUORDNUNG VON SCHWELLENWERTEN FÜR DEN BEWERTUNGSINDEX PET WÄHREND DER TAGESSTUNDEN.	12
TABELLE 5: EINORDNUNG DER ZUKÜNFTIGEN BIOKLIMATISCHEN BELASTUNG IM SIEDLUNGS- UND GEWERBERAUM IN DER NACHT SOWIE AM TAGE UND FLÄCHENMITTELWERT SOWIE STANDARDABWEICHUNG DER METEOROLOGISCHEN PARAMETER FÜR DIE ENTSPRECHENDEN FLÄCHEN IM STADTGEBIET BRAUNSCHWEIGS.	14
TABELLE 6: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BELASTETER SIEDLUNGSGBEITEN IN DER NACHT, JEWEILS FÜR DAS IST- UND ZUKUNFTSSZENARIO SOWIE ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE.	15
TABELLE 7: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BEDEUTENDER GRÜNAREALE IN DER NACHT FÜR DAS IST- UND ZUKUNFTSSZENARIO SOWIE ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE.....	16
TABELLE 8: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BELASTETER SIEDLUNGSGBEITEN AM TAGE, JEWEILS FÜR DAS IST- UND ZUKUNFTSSZENARIO SOWIE ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE.	18
TABELLE 9: FLÄCHENANTEILE BIOKLIMATISCH BEDEUTENDER GRÜNAREALE AM TAGE FÜR DAS IST- UND ZUKUNFTSSZENARIO SOWIE ABGELEITETE PLANUNGSHINWEISE.....	21
TABELLE 10: FLÄCHENANTEILE VON GRÜNDEFIZITRÄUMEN AUFGETEILT NACH WOHN- UND GEWERBEGBEITEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER BIOKLIMATISCHEN BELASTUNGSSITUATION AM TAGE.....	23
TABELLE 11: EMPFEHLUNGEN RAUMEINHEITENSPEZIFISCHER STADTKLIMATISCH WIRKSAMER MAßNAHMEN FÜR DIE STADT BRAUNSCHWEIG (MAßNAHMENKATALOG AKTIONSPLAN ANPASSUNG).....	30



1 Zusammenfassung

ZIELE UND ANALYSEANSATZ

Die aktuelle Stadtklimaanalyse Braunschweig 2017 schreibt nicht nur die Untersuchungen der Jahre 2005 bzw. 2012 in deutlich höherer räumlicher Auflösung fort (10 m horizontale Auflösung), sondern bezieht erstmals den Klimawandel in die Analyse mit ein. Der im Dezember 2017 veröffentlichte erste Teil der Stadtklimaanalyse betrachtet die gegenwärtige Situation (Stadt Braunschweig 2017a) und stellt die Basis für den vorliegenden Bericht, in dem raumkonkrete Aussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima in Braunschweig im Jahr 2050 getroffen werden. Genau wie für den Status quo leiten sich die Ergebnisse aus einer Modellrechnung mit dem Stadtklimamodell FITNAH 3D ab, das mit einer um 1,8 K erhöhten Temperatur angetrieben wurde (Klimaänderungssignal im RCP-Szenario 8.5 nach EURO-CORDEX-Daten). Potentielle Landnutzungsänderungen wurden nicht in das Modell aufgenommen.

Neben den rasterbasierten Ergebniskarten sind die aktualisierten Planungshinweiskarten das wesentliche Produkt der vorliegenden Untersuchung. Getrennt nach Nacht- und Tagsituation kombinieren sie die Ergebnisse des Ist- und Zukunftsszenarios und können als Grundlage für planerische Entscheidungsprozesse dienen. Die ergänzende Vulnerabilitätsanalyse erlaubt Informationen zur demographischen Verletzlichkeit und Grünraumversorgung des Stadtgebiets. Eine weitere Informationsebene stellt der GIS-gestützte Maßnahmenkatalog dar, der für jede Fläche im Braunschweiger Stadtgebiet Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung bzw. Erhaltung des thermischen Komforts sowie Reduzierung von Hitzestress während hochsommerlichen Extremsituationen ableitet.

Zusammen mit dem gerade in Erarbeitung befindlichen Integrierten Stadtentwicklungskonzept (ISEK) 2030 sollen die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse in die geplante Erstellung eines neuen Flächennutzungsplans einfließen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aus den bisherigen Ergebnissen der Stadtklimaanalyse kann festgehalten werden, dass es in Braunschweig thermisch belastete Siedlungsbereiche gibt, deren bioklimatische Situation mindestens erhalten, möglichst durch geeignete Maßnahmen verbessert werden sollte. Weite Teile des Stadtgebiets werden über die aufgezeigten Kaltluftleitbahnen bzw. kleinräumigen Ausgleichsströmungen durchströmt, doch nimmt die Durchlüftung in Richtung des Stadtkerns ab und fällt dort nur noch gering aus bzw. ist teilweise nicht mehr gegeben. Eine ausreichende Belüftung kann nicht nur die thermische Belastung mildern, sondern sich auch positiv auf die in diesem Gutachten nicht näher betrachtete Luftqualität auswirken. Entsprechend sollte die Erhaltung bzw. Verbesserung der Durchlüftung durch geeignete Maßnahmen im Vordergrund stehen.

Durch den Klimawandel ergibt sich insgesamt ein höheres Temperaturniveau. Im Mittel erhöht sich die bodennahe **nächtliche Lufttemperatur** um 1,5 K, doch fallen die Zunahmen im Siedlungsraum etwas stärker als über Grünflächen aus, d.h. der ohnehin bereits stark ausgeprägte städtische Wärmeineffekt intensiviert sich. Der Stadtkern bleibt der am meisten überwärmte Bereich, allerdings treten die als besonders belastend geltenden Tropennächte zukünftig während autochthoner Sommernächte nahezu im gesamten Siedlungsraum auf (Minimumtemperatur ≥ 20 °C). Trotz eines ebenfalls höheren Temperaturniveaus behalten Grünflächen nicht nur ihre wichtige Entlastungsfunktion, vielmehr erhöht sich deren Bedeutung bzw. „wächst“ der Bedarf neuer Ausgleichsräume angesichts der steigenden Belastung im Siedlungsraum.

- **Verstärkung des städtischen Wärmeineffekts**



Auch am Tage ist eine höhere **Wärmebelastung** vorzufinden, wobei extreme Belastungen weiterhin hauptsächlich im Straßenraum auftreten und sich Waldflächen mit einer geringeren Belastung abheben. Großflächige Grünanlagen mit hoher Mikroklimavielfalt stellen an heißen Tagen Rückzugsorte hoher Aufenthaltsqualität dar, deren Bedeutung künftig zunimmt (z.B. *Bürgerpark*, Grünflächen entlang der *Okergräben*, *Prinz-Albrecht-Park*), doch auch kleine schattenspendende Grünflächen nehmen eine wichtige Entlastungsfunktion für die umliegend wohnende bzw. arbeitende Bevölkerung ein.

➤ **Höhere Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsraum in der Nacht und als Rückzugsort am Tage**

Ohne Landnutzungsänderungen ist der Einfluss des Klimawandels auf das nächtliche **Kaltluftprozessgeschehen** dagegen gering, da das Windfeld maßgeblich über Strömungshindernisse gesteuert wird (insb. Gebäude). Angesichts der zunehmenden thermischen Belastung im Siedlungsraum gewinnt (mindestens) die Erhaltung des derzeitigen Kaltluftströmungsfeldes, darunter insb. die ausgewiesenen Kaltluftleitbahnen, an Bedeutung, sodass bauliche Maßnahmen dessen Funktion möglichst nicht einschränken sollten.

➤ **Sicherung von Kaltluftleitbahnen bzw. des Kaltluftströmungsfelds in Zukunft noch wichtiger**

Die beschriebenen Effekte finden sich entsprechend in den **Planungshinweiskarten** wieder, deren Bewertung zu folgendem Ergebnis führt: Insbesondere für die Nacht, aber auch für den Tag gilt, dass das Belastungsniveau im Siedlungsraum in Zukunft steigt, was bei künftigen Planungen berücksichtigt werden sollte. Damit nimmt die Bedeutung der Ausgleichsfunktionen von Grünflächen zu und es wird erkennbar, dass wichtige Grünflächen mindestens erhalten (und ggf. aufgewertet) werden sollten bzw. deren Anteil in belasteten Siedlungsbereichen möglichst ausgeweitet werden sollte.

Mit der **Vulnerabilitätsanalyse** wird eine genauere Verortung darüber möglich, in welchen Stadtgebieten Anpassungsmaßnahmen prioritär erfolgen sollten. So herrscht in 20 % des Braunschweiger Siedlungsraums ein Gründefizit vor, wobei die **Grünversorgung** in Wohngebieten besser ausfällt (15 % Gründefizit) als in Gewerbegebieten (30 %). Für diese Bereiche sollte die Aufwertung bestehender Grünflächen bzw. neue (Grün-)Maßnahmen zur Anpassung geprüft werden, deren Umsetzung vor allem in Gebieten empfohlen wird, die gleichzeitig eine hohe bioklimatische Belastung aufweisen (u.a. Teile der *Innenstadt* sowie des *Östlichen* und *Westlichen Ringgebiets*). Dabei handelt es sich jeweils um Siedlungsflächen mit einer hohen Einwohner- bzw. Nutzungsdichte, was ein weiteres Kriterium für die Umsetzung stadtklimatischer Maßnahmen darstellt. Generell sollte die demographische Struktur im Stadtgebiet betrachtet werden, da bestimmte Bevölkerungsgruppen wie Kleinkinder oder Seniorinnen und Senioren empfindlicher gegenüber Hitzestress reagieren. In Zukunft erhöht sich die **demographische Verletzlichkeit** in Braunschweig nicht nur aufgrund der steigenden bioklimatischen Belastung, sondern auch bedingt durch den zunehmenden Anteil der hitzesensiblen Bevölkerung in der Stadt (sowohl in relativen als auch absoluten Zahlen).

Welche (Grün-)Maßnahmen zur Anpassung in den jeweiligen Flächen geeignet sind, wird durch einen GIS-gestützten **Aktionsplan Anpassung** verdeutlicht. Die Maßnahmen sind den Clustern *Verbesserung der Durchlüftung*, *Thermisches Wohlbefinden* und *Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum* zugeordnet und als Planungsempfehlungen zu verstehen, die bei der Betrachtung einer konkreten Fläche oder spezifischen Maßnahme einer Überprüfung bedürfen. Der Katalog stellt die Wirkung verschiedener Maßnahmen vor – generell lassen sich zwei wesentliche Erkenntnisse ableiten:

- **Werden Maßnahmen zur Grünoptimierung kombiniert, verstärken sich die positiven stadtklimatischen Effekte der einzelnen Maßnahmen**
- **Nachverdichtung kann durch geeignete Grünmaßnahmen (weitgehend) klimaverträglich gestaltet werden (doppelte Innenentwicklung)**



2 Methode der Zukunftsrechnung Stadtklima 2050

Neben der Analyse der gegenwärtigen Situation (Status quo bzw. Ist-Szenario) sollen die Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima im Jahr 2050 untersucht werden (Zukunftsszenario). Analog zur Klimaanalyse des Status quo kommt das Modell FITNAH 3D zum Einsatz, das gewisse meteorologische Rahmenbedingungen als Antrieb der Modellierung verwendet (vgl. Kap. 3.2 in Teil I der Klimaanalyse; Stadt Braunschweig 2017a). Um das zukünftige Stadtklima abzubilden, hat sich die sogenannte Delta-Methode bewährt, in der das Modell mit einer um $1,8\text{ K}^1$ erhöhten Temperatur angetrieben wird (Klimaänderungssignal $\delta = 1,8\text{ K}$). Potentielle Landnutzungsänderungen wurden nicht in das Modell aufgenommen, sodass alleine die Auswirkungen des Klimawandels untersucht werden können.

2.1 METHODISCHE GRUNDLAGEN

Das Klimaänderungssignal der Temperatur wurde aus Regionalmodelldaten der EURO-CORDEX-Initiative ermittelt². Dafür standen jeweils 15 Modellsimulationen für die Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 sowie 9 Modellsimulationen für das Klimaszenario RCP 2.6 zur Verfügung³ (insgesamt 39 Modellläufe). Die Zusammenstellung der Modellsimulationen wird Ensemble genannt. Eine Modellsimulation besteht einerseits aus der Kombination eines Globalen Klimamodells (GCM) und eines Regionalen Klimamodells (RCM). Andererseits beinhaltet jede Modellsimulation eine Klimaprojektion eines der aufgeführten RCP-Szenarien. Somit setzt sich eine Modellsimulation aus der Kombination von GCM, RCM sowie einem entsprechenden Klimaszenario zusammen.

Für die Stadt Braunschweig wurden aus dem EURO-CORDEX-Modellgitter der nächstgelegene sowie seine acht umliegenden Gitterpunkte ausgewählt (räumliche Auflösung $\approx 12,5\text{ km}$). Die Daten dieser Gitterpunkte wurden für jede Modellsimulation zu einheitlichen Zeitreihen räumlich aggregiert und ausgewertet (vgl. DWD 2016) – die Datensätze umfassen jeweils Werte in einer zeitlichen Auflösung von einem Tag bis zum Jahr 2100. Folgende 30-jährige Zeiträume (Perioden) wurden zur Bestimmung der Klimaänderungen festgelegt:

- × p0 1971 – 2000 (Referenzperiode)
- × p1 2026 – 2055 (1. Zukunftsperiode zentriert auf das Jahr 2040)
- × p2 2036 – 2065 (2. Zukunftsperiode zentriert auf das Jahr 2050)
- × p3 2071 – 2100 (3. Zukunftsperiode zentriert auf das Jahr 2085)

Die klimatischen Änderungen der langjährigen jährlichen und monatlichen Mittelwerte der einzelnen betrachteten Variablen (hier: die Temperatur) wurden für jede Modellsimulation aus der Differenz der jeweiligen Zukunftsperiode zur Referenzperiode ermittelt. Dies ergibt die für die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 genannten 15 Änderungswerte bzw. 9 Änderungswerte für das Szenario RCP 2.6, welche die Basis für die Bestimmung der Änderungsstatistik bilden.

¹ Die Temperaturdifferenz in Kelvin (K) entspricht dem Wert in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

² EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar und werden im Internet über mehrere Knoten der Earth System Grid Federation (ESGF) bereitgestellt (www.euro-cordex.net).

³ RCP = Representative Concentration Pathways



Für Europa stehen in den EURO-CORDEX-Daten aktuell die drei RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und RCP 8.5 zur Verfügung, deren Bezeichnung den zusätzlichen Strahlungsantrieb in $W m^{-2}$ bis zum Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Stand Mitte des 19. Jahrhunderts benennt. Die RCP-Szenarien lösen im aktuellen fünften Sachstandsbericht des IPCC („Weltklimarat“ der Vereinten Nationen⁴) die bis dahin genutzten, auf sozio-ökonomischen Faktoren beruhenden SRES-Szenarien⁵ ab (vgl. Abb. 1):

- ✘ Das Szenario RCP 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf knapp $3 W m^{-2}$. Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf $2,6 W m^{-2}$. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario die $2 ^\circ C$ -Grenze voraussichtlich nicht überschreiten (vgl. DKRZ 2017).
- ✘ RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach nur noch geringfügig bis etwa 2075 steigt und in der Folge stagniert.
- ✘ Das Szenario RCP 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4 K gegenüber dem Zeitraum 1986-2005 bewirken würde (ebd.). Dieses Szenario entspricht am ehesten dem „Weiter wie bisher“-Trend und würde sich vermutlich ohne zusätzliche Bemühungen zur CO_2 -Reduzierung einstellen.

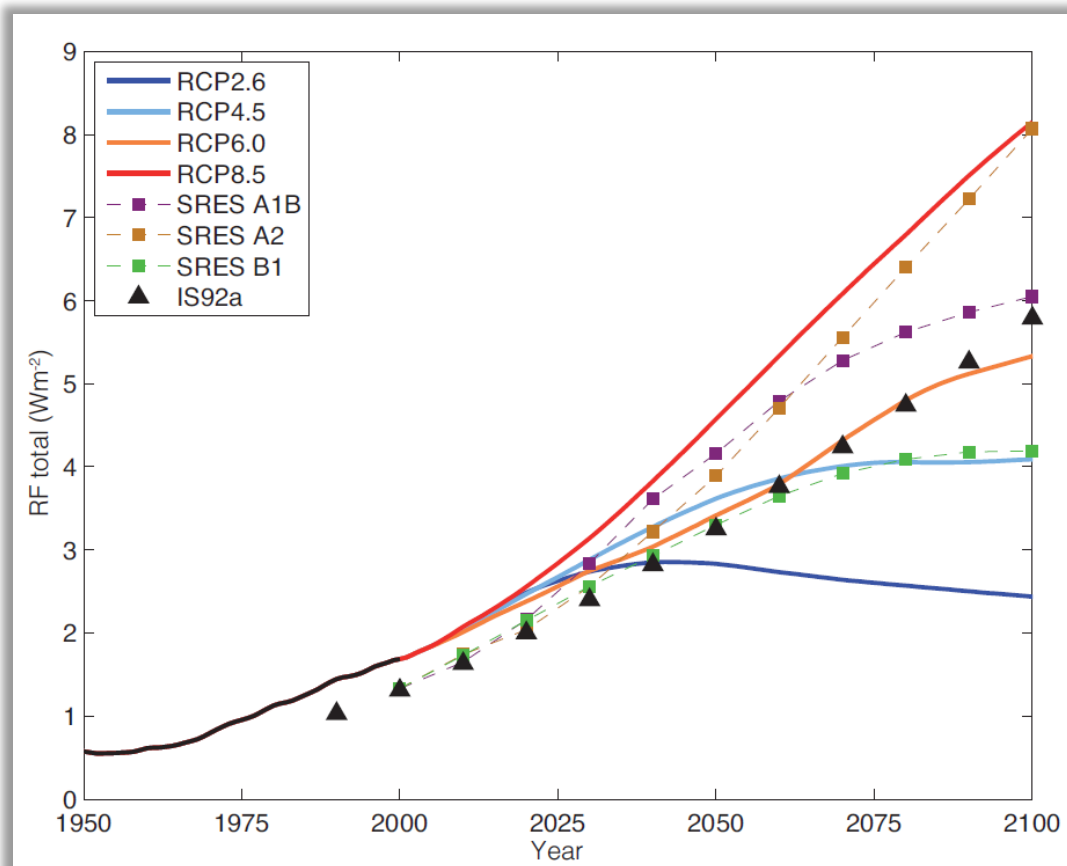


Abb. 1: Anthropogener globaler Strahlungsantrieb (RF) der aktuellen RCP-Szenarien (zum Vergleich die ehemals verwendeten SRES-Szenarien; Quelle: Klimanavigator 2017)

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁵ Special Report on Emissions Scenarios



2.2 ÄNDERUNGSSTATISTIK

In Tabelle 1 ist jeweils der Median der Temperaturänderungssignale des Modellensembles für die drei RCP-Szenarien gegenüber der Referenzperiode 1971 - 2000 aufgeführt. Für die Stadt Braunschweig schwanken diese für die zweite Zukunftsperiode 2036 - 2065 zwischen 1.1 °C (RCP 2.6) und 1.8 °C (RCP 8.5). Diese Periode ist zentriert auf das Bezugsjahr 2050 und wird in den folgenden Tabellen entsprechend hervorgehoben.

Der Median gilt als robuster statistischer Wert und wird als Maß für das Änderungssignal empfohlen. Exemplarisch für das RCP-Szenario 8.5 werden weitere statistische Werte in Tabelle 2 aufgeführt (die aufgeführten Änderungen sind auf einem Signifikanzniveau von 95 % statistisch signifikant). Die Schwankungsbreite der Änderungen liegt in der zweiten Zukunftsperiode 2036 - 2065 zwischen 1,3 °C und 2,9 °C (vgl. auch Abb. 2). Bei Betrachtung der langjährigen monatlichen Temperaturänderungen wird deutlich, dass die Temperaturzunahmen in den (Spät)Sommer- und Wintermonaten am höchsten und im Frühjahr am geringsten ausfallen (Abb. 3).

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde in Abstimmung mit der Stadt Braunschweig der Median des RCP-Szenario 8.5 als Änderungssignal verwendet (Klimaänderungssignal $\delta = 1,8 \text{ K}$), um im Sinne des Vorsorgegedankens das Szenario mit den stärksten Auswirkungen zu berücksichtigen (zumal dessen Eintreten nach derzeitigem Kenntnisstand befürchtet werden muss).

Tabelle 1: Statistik der langjährigen mittleren Änderung der Temperatur für die Szenarien RCP 2.6, 4.5 sowie 8.5 für die Stadt Braunschweig (in K, Median des Jahresmittelwerts gegenüber der Referenzperiode 1971 - 2000).

Median (Q ₅₀)	2026 – 2055	2036 – 2065	2071 – 2100
RCP 2.6	1.1	1.1	1.1
RCP 4.5	1.2	1.5	2.0
RCP 8.5	1.5	1.8	3.4

Tabelle 2: Statistik der langjährigen mittleren Änderung der Temperatur (in K, Jahresmittelwert) für das Szenario RCP 8.5 für die Stadt Braunschweig (Q = Quantil, MEAN = Mittelwert, SD = Standardabweichung).

Statistischer Wert	2026 – 2055	2036 – 2065	2071 – 2100
Q ₀₀	1.0	1.3	2.6
Q ₀₅	1.1	1.3	2.7
Q ₂₅	1.2	1.5	3.0
Q ₅₀	1.5	1.8	3.4
Q ₇₅	1.8	2.2	3.7
Q ₉₅	2.2	2.8	4.9
Q ₁₀₀	2.3	2.9	5.0
MEAN	1.5	1.9	3.5
SD	0.4	0.5	0.7

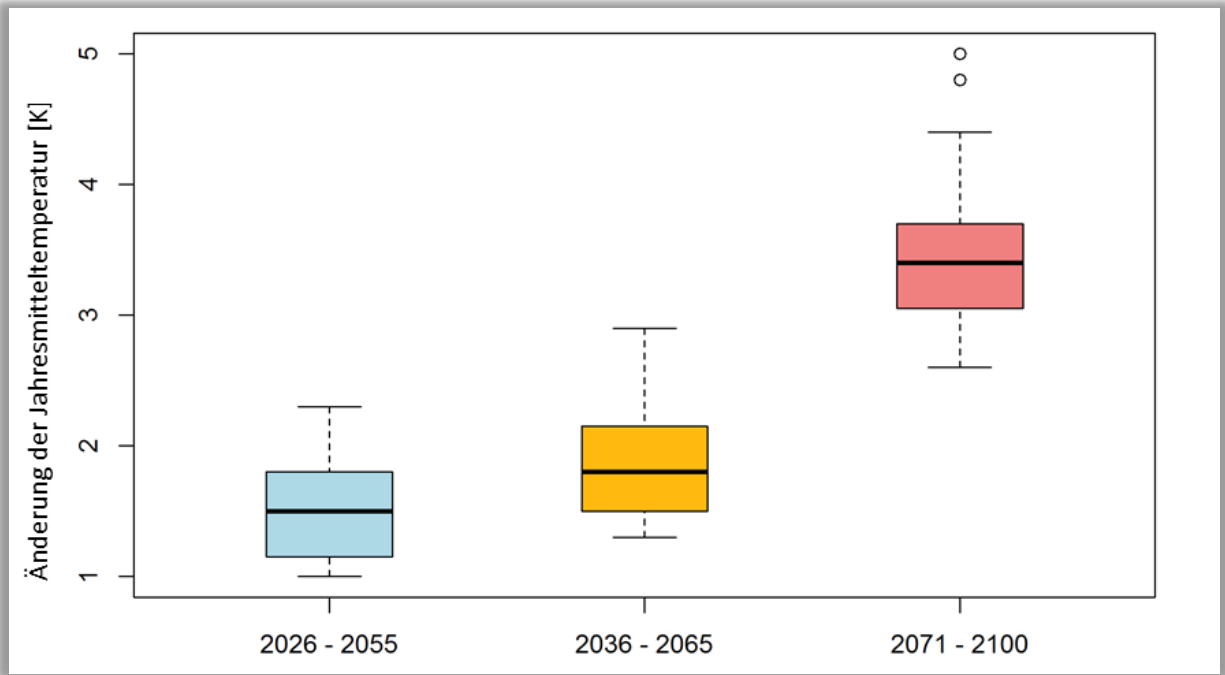


Abb. 2: Langjährige Änderung der Jahresmitteltemperatur für die Stadt Braunschweig, Klimaszenario RCP 8.5

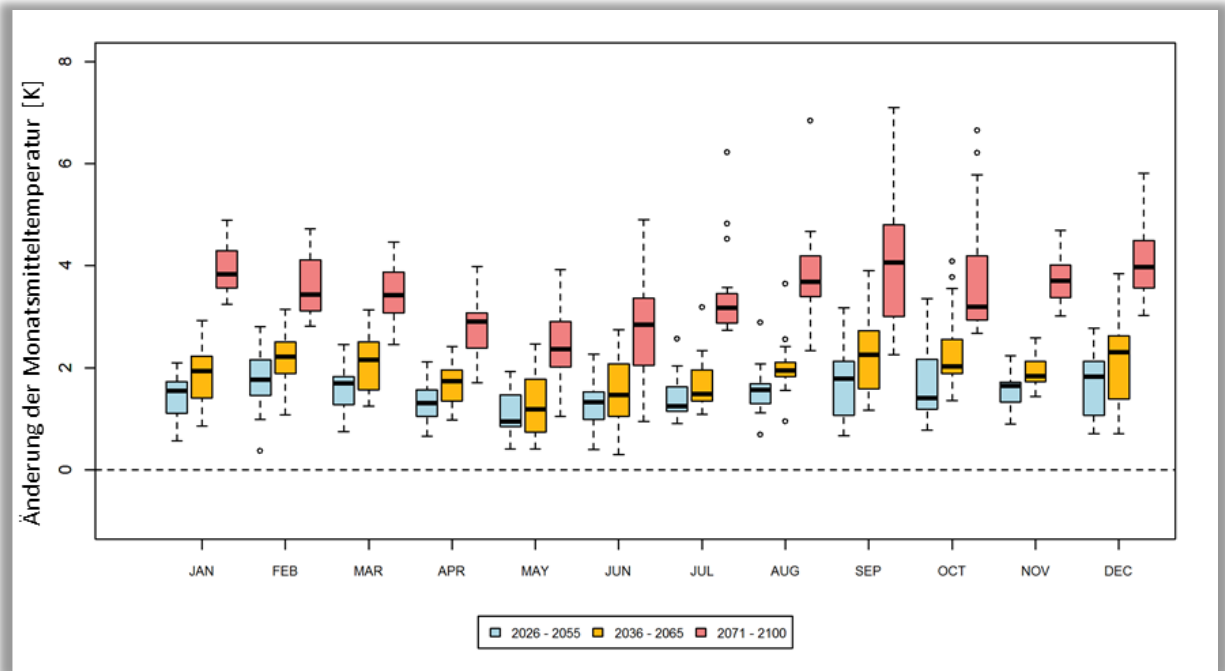


Abb. 3: Langjährige Änderungen der Monatsmitteltemperatur für die Stadt Braunschweig, Klimaszenario RCP 8.5



3 Modellergebnisse der Zukunftsrechnung

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur, Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom (Nachtsituation) sowie Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET; Tagsituation) aus der Zukunftsrechnung 2050 beschrieben und ins Verhältnis zum gegenwärtigen Zustand gesetzt. Genau wie im Status quo basieren die Ergebnisse auf einer räumlichen Auflösung von 10 m (pro Rasterzelle ein Wert), gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen (in 2 m über Grund⁶) und eine autochthone Sommerwetterlage (durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen; vgl. Stadt Braunschweig 2017a). Für die Darstellung in den Ergebniskarten wurden die Werte mittels einer bilinearen Interpolation geglättet.

3.1 NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit bioklimatischen Belastungen abzugrenzen und die räumliche Ausprägung sowie Wirksamkeit von Kaltluftströmungen abzuschätzen. Die in den Ergebniskarten aufgeführten Absolutwerte der Lufttemperatur sind exemplarisch für eine autochthone Sommernacht als besondere Wetterlage zu verstehen (vgl. Abb. 5). Die daraus abgeleiteten relativen Unterschiede innerhalb des Stadtgebiets gelten dagegen weitestgehend auch während anderer Wetterlagen, sodass die Flächenbewertung der Planungshinweiskarten auf diesen beruht (vgl. Kap. 4).

Um das Stadtklima in Braunschweig im Jahr 2050 abzubilden, wurde die Modellierung mit einem um 1,8 K erhöhten Temperaturantrieb durchgeführt, potentielle Landnutzungsänderungen sind dabei nicht enthalten (vgl. Kap. 2).

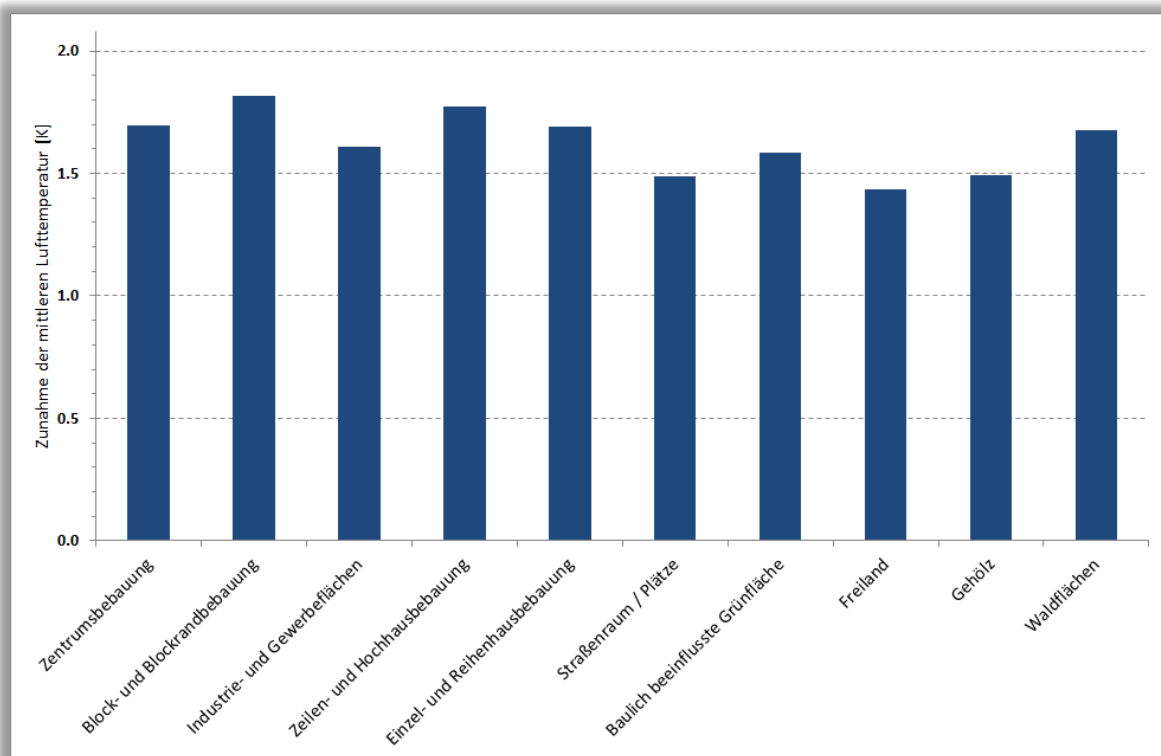


Abb. 4: Zunahme der mittleren Lufttemperatur ausgewählter Nutzungsklassen im Vergleich zum Status quo

⁶ Ausgenommen der auf die gesamte vertikale Ausdehnung bezogene Kaltluftvolumenstrom.



ERGEBNISSE

Durch den erhöhten Temperaturantrieb ergibt sich flächendeckend ein höheres Temperaturniveau. Im Braunschweiger Stadtgebiet liegt die mittlere bodennahe Lufttemperatur unter den angenommenen meteorologischen Rahmenbedingungen bei 17,9 °C und damit 1,54 K über dem Wert im Status quo. Folglich fällt die Zunahme geringer aus als der Temperaturantrieb, was darauf zurückzuführen ist, dass verschiedene Nutzungsstrukturen unterschiedlich stark reagieren (Abb. 4).

Dabei bleibt der Stadtkern der am meisten überwärmte Bereich und das Muster tendenziell abnehmender Temperaturen in Richtung Siedlungsrand gilt weiterhin. Doch während Temperaturen über 20 °C in autochthonen Sommernächten gegenwärtig noch auf den Stadtkern und einige verdichtete Blockrandbereiche bzw. hoch versiegelte Gewerbeflächen beschränkt sind, treten diese sogenannten *Tropennächte* zukünftig nahezu im gesamten Siedlungsraum auf, einzig am Stadtrand verbleiben kleine Flächen geringeren Niveaus (Abb. A 1 im Anhang; für Details zur Methodik und die verwendeten meteorologischen Rahmenbedingungen siehe Teil I der Klimaanalyse (Stadt Braunschweig 2017a)).

Trotz höherer Werte heben sich Grünflächen auch in Zukunft mit merklich geringeren Lufttemperaturen im Kartenbild hervor (z.B. *Prinz-Albrecht-Park*, *Bürgerpark*, Grünzüge entlang der *Okergräben* um den Stadtkern, Abb. 5). Damit behalten sie nicht nur ihre wichtige Entlastungsfunktion, vielmehr steigt ihre Bedeutung angesichts der zunehmenden städtischen Überwärmung.

Im Mittel nimmt die Lufttemperatur über Siedlungs- und Gewerbeflächen (+ 1,7 K) stärker zu als über Grünflächen (+ 1,5 K), d.h. der städtische Wärmeineffekt intensiviert sich (Abb. 4). Dieser Effekt wird in den rasterbasierten Ergebniskarten wenig ersichtlich und zeigt sich erst bei Betrachtung von (administrativ bzw. nutzungstypisch abgegrenzten) Flächeneinheiten wie z.B. Baublöcken (Abb. 7 und Abb. 8). Die Zunahme mag im Vergleich zum bereits bestehenden Wärmeineffekt gering erscheinen (vgl. Tabelle 3), doch sorgt sie dafür, dass die ohnehin vorhandene relative Überwärmung im Siedlungsraum in Zukunft weiter steigt – immer vor dem Hintergrund eines generell steigenden Belastungsniveaus (über allen Flächen).

Tabelle 3: Flächenanteile der nächtlichen Überwärmung um 04:00 Uhr im Siedlungs- und Gewerbebaum für den Status quo und die Zukunftsrechnung 2050.

Nächtlicher Wärmeineffekt [K]	Flächenanteil im Stadtgebiet [%]	
	Status quo	Zukunftsrechnung 2050
bis 2	0,1	0,2
> 2 bis 3	2,0	2,5
> 3 bis 4	33,8	32,3
> 4 bis 5	38,2	40,4
> 5 bis 6	24,5	18,0
> 6	1,4	6,5

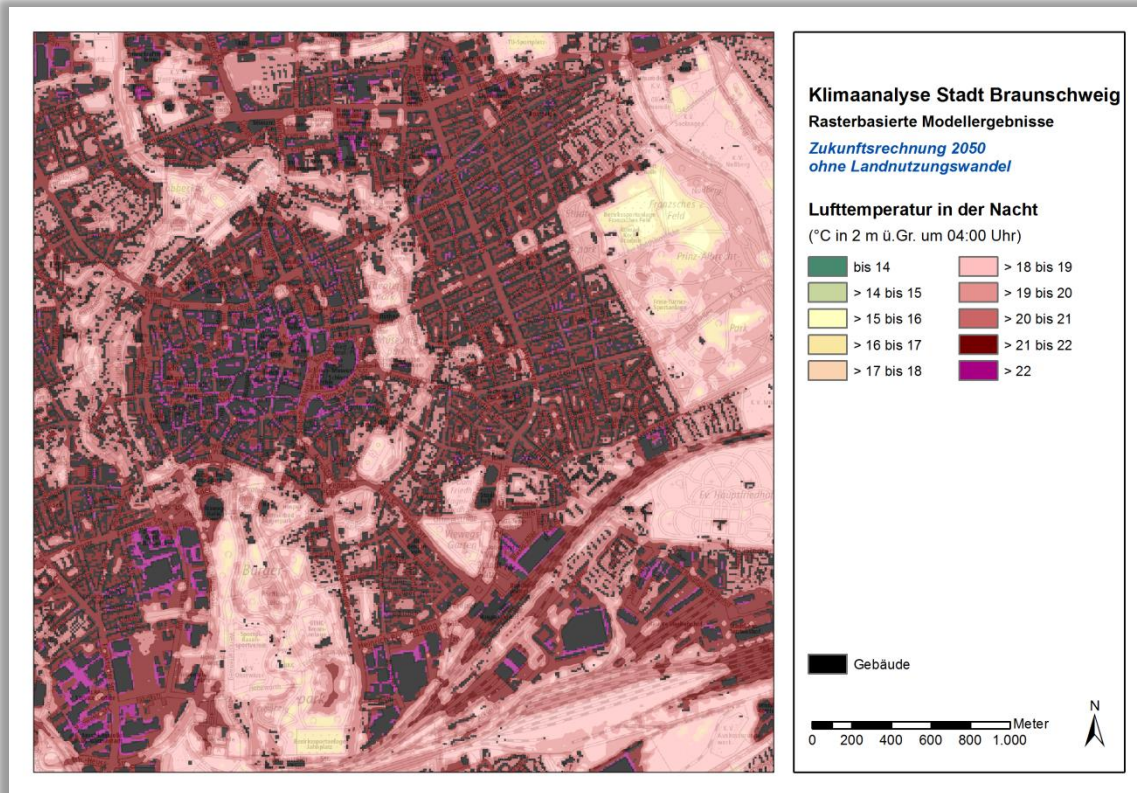


Abb. 5: Nächtliches Temperaturfeld der Zukunftsrechnung 2050 in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Braunschweig (im Hintergrund: Stadtgrundkarte)

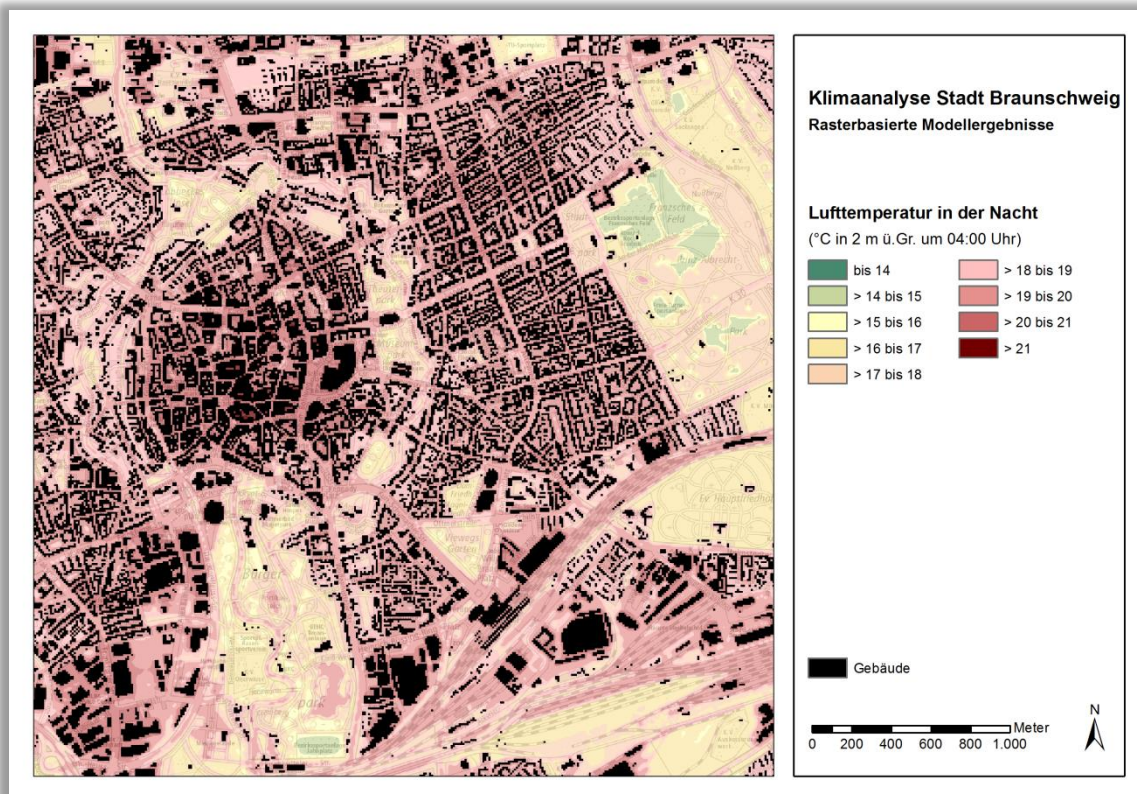


Abb. 6: Nächtliches Temperaturfeld im Status quo in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Braunschweig (im Hintergrund: Stadtgrundkarte)

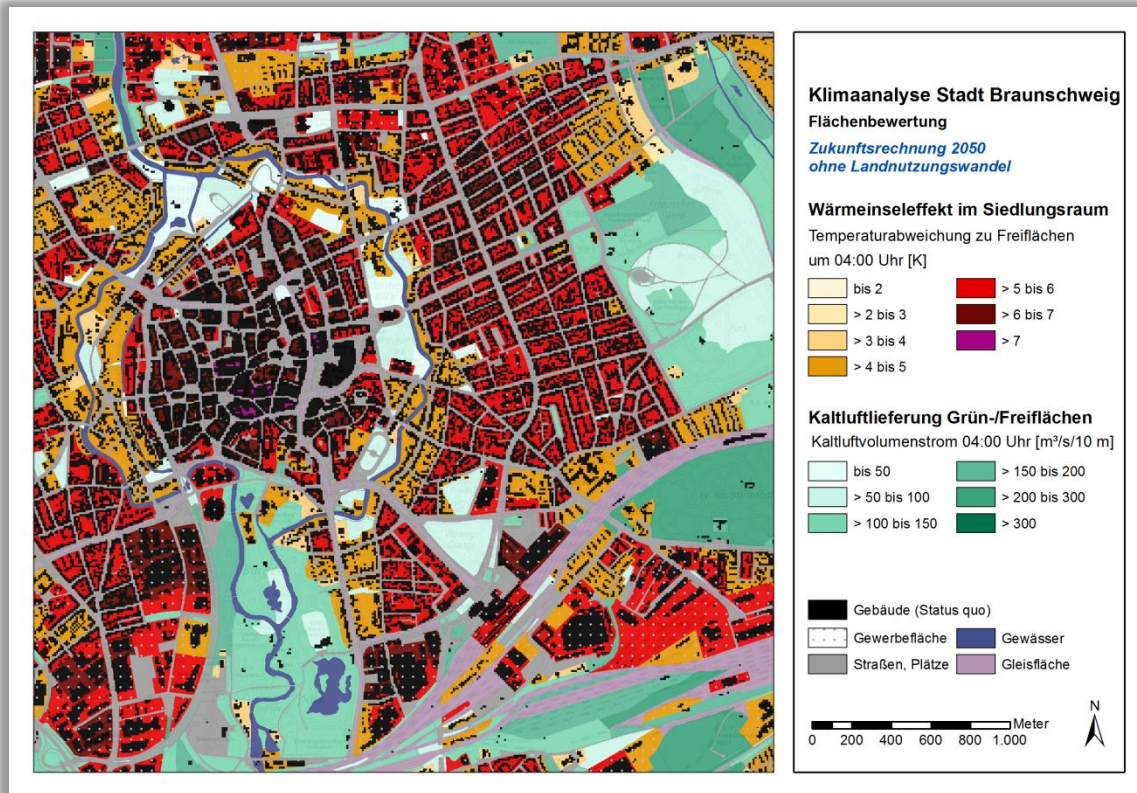


Abb. 7: Nächtliche Überwärmung des Siedlungsraums in der Zukunftsrechnung 2050 (Wärmeineffekt) in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Braunschweig (im Hintergrund: Stadtgrundkarte)

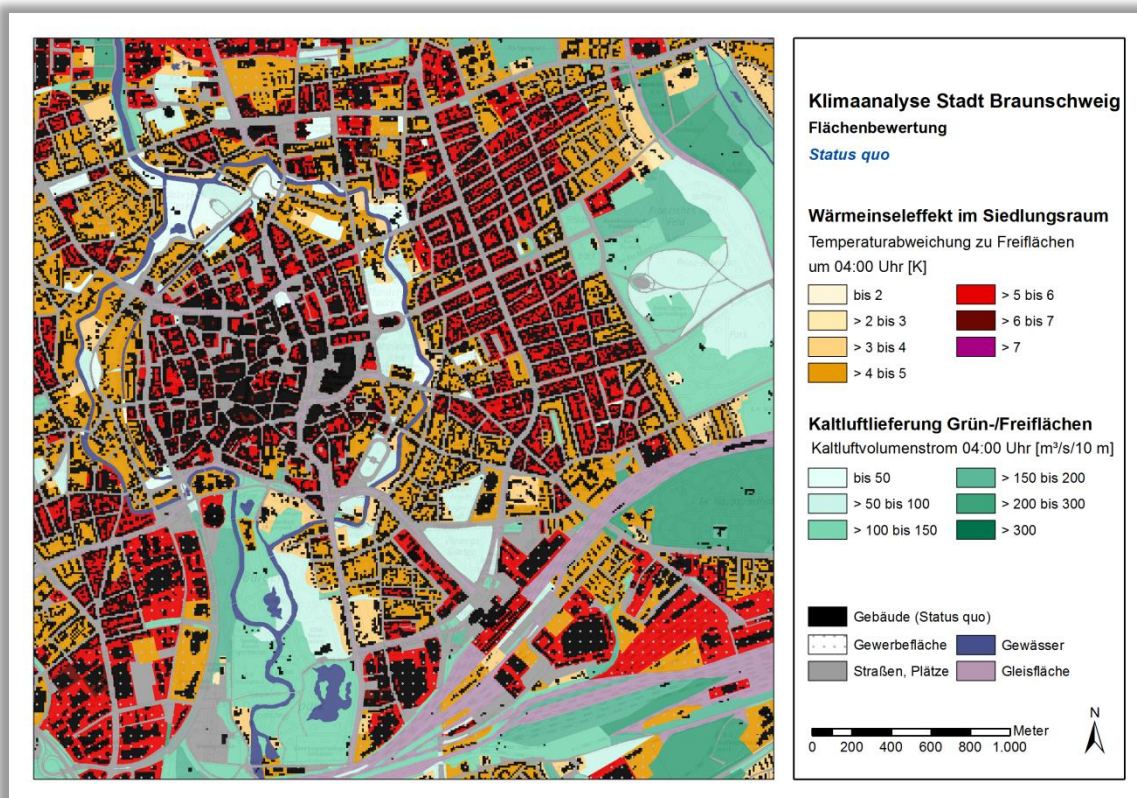


Abb. 8: Nächtliche Überwärmung des Siedlungsraums (Wärmeineffekt) im Status quo in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Braunschweig (im Hintergrund: Stadtgrundkarte)



3.2 KALTLUFTPROZESSGESCHEHEN

Die variable bodennahe Lufttemperaturverteilung bedingt horizontale und vertikale Luftdruckunterschiede, welche wiederum Auslöser für lokale thermische Windsysteme sind. Die wichtigsten nächtlichen Luftströmungen dieser Art sind *Hangabwinde* und *Flurwinde* bzw. *Strukturwinde*, von denen die beiden letztgenannten im Untersuchungsgebiet aufgrund der vergleichsweise geringen Reliefenergie häufiger auftreten. Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu. Da größere Siedlungen aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis wirken, sind die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Da die potentielle Ausgleichsleistung einer grünbestimmten Fläche nicht allein aus der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung resultiert, sondern zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit mitbestimmt wird (d.h. durch die Höhe der Kaltluftschicht), wird zur Bewertung der Grünflächen auch der sogenannte Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Die Eindringtiefe der Kaltluft in bebautes Gebiet hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, Bebauungsdichte, anthropogenen Wärmefreisetzung und der Menge einströmender Kaltluft ab.

ERGEBNISSE KALTLUFTSTRÖMUNGSFELD

Die Auswirkungen des alleinigen Klimaänderungssignals, d.h. ohne Landnutzungsänderungen, auf das nächtliche Kaltluftprozessgeschehen sind minimal. Das Windfeld wird maßgeblich durch Strömungshindernisse gesteuert (insb. Gebäude), auch das Relief übt einen gewissen Einfluss aus – an beiden Voraussetzungen ändert sich in den Annahmen der Zukunftsrechnung nichts.

Durch die unterschiedlichen Temperaturänderungen verschiedener Nutzungsklassen ergeben sich Auswirkungen auf Flur- und Strukturwinde bzw. den Kaltluftvolumenstrom, die jedoch gering ausfallen, da insgesamt das Temperaturniveau steigt. Entsprechend sind die Unterschiede in der gesamtstädtischen Betrachtung fast nicht auszumachen (Abb. A 2, Abb. A 3). Auch bei einem höheren Maßstab sind die kleinräumigen Effekte kaum noch feststellbar, wenn die Rasterergebnisse auf Flächenmittelwerte übertragen werden (vgl. Abb. 7, Abb. 8).

Folglich ist die Versorgung des Stadtgebiets mit Kaltluft weiterhin in den Bereichen am höchsten, wo größere Grünzüge bis in die bebauten Gebiete hineinreichen (z.B. entlang der *Oker* südlich des *Ölper Sees* bzw. entlang der *Schunter* bei *Querum*, Kleingärten und Freiflächen nördlich des *Madamenwegs*), während die Durchlüftung in Richtung des Zentrums abnimmt, wobei größere städtische Grünflächen Ausnahmen darstellen (z.B. Grünflächen entlang der *Okergräben* um den Stadtkern).

Angesichts der zunehmenden thermischen Belastung im Siedlungsraum gewinnt die (mindestens) Erhaltung des derzeitigen Kaltluftströmungsfeldes an Bedeutung, sodass bauliche Maßnahmen dessen Funktion möglichst nicht einschränken sollten.



3.3 THERMISCHE BELASTUNG AM TAGE

Zur Bewertung der Wärmebelastung werden Indizes verwendet, die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch einer „Norm-Person“ mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung eines Menschen abschätzen⁷. In der vorliegenden Arbeit wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (*Physiologisch Äquivalente Temperatur*; vgl. Höppe und Mayer 1987). Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologische Belastungsstufen quantifizieren (z.B. *Starke Wärmebelastung* ab PET 35 °C; Tabelle 4; VDI 2004).

ERGEBNISSE

In Bezug auf die PET ist genau wie bei der nächtlichen Lufttemperatur zukünftig ein insgesamt höheres Niveau festzustellen, doch fallen die Unterschiede weniger deutlich aus. Auch am Tage erhöht sich die Lufttemperatur, doch ist diese nur eine Eingangsgröße der PET. Für die Bewertung der Wärmebelastung am Tage ist die Strahlungstemperatur ein entscheidender Faktor – der sich an autochthonen Tagen jedoch durch den Klimawandel nicht wesentlich ändert (da bereits im Status quo ungehinderte Einstrahlungsbedingungen angenommen wurden). So heben sich in Zukunft weiterhin Waldflächen und Gewässer mit einer *schwachen Wärmebelastung* im Kartenbild ab, gleichwohl die Bereiche < 23 °C (*keine Wärmebelastung*) nahezu wegfallen (Abb. A 4). Im Siedlungsraum sind zukünftig dagegen höhere Belastungen vorzufinden, wobei die *extreme Wärmebelastung* weiterhin hauptsächlich im Straßenraum bzw. über versiegelten Plätzen zu finden ist (Abb. 9).

Auch städtische Grünflächen weisen künftig höhere Belastungen auf, doch stellen sie weiterhin wichtige Rückzugsorte mit vergleichsweise geringer Wärmebelastung dar, insb. für die dicht besiedelten Bereiche in der *Innenstadt* oder dem *Östlichen Ringgebiet*. Besonders hohe Aufenthaltsqualitäten bieten großflächige Grünanlagen mit hoher Mikroklimavielfalt (d.h. ausreichend beschatteten Bereichen; z.B. *Bürgerpark*, Grünflächen entlang der *Okergräben*, *Prinz-Albrecht-Park*), doch auch kleine Grünflächen nehmen eine wichtige Entlastungsfunktion für die umliegend wohnende bzw. arbeitende Bevölkerung ein (z.B. *Garnisonfriedhof* bei der *Mensa 1*, *St. Petri-Friedhof* in der *Weststadt*).

Tabelle 4: Zuordnung von Schwellenwerten für den Bewertungsindex PET während der Tagesstunden (nach VDI 2004).

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

⁷ Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel“ mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990).

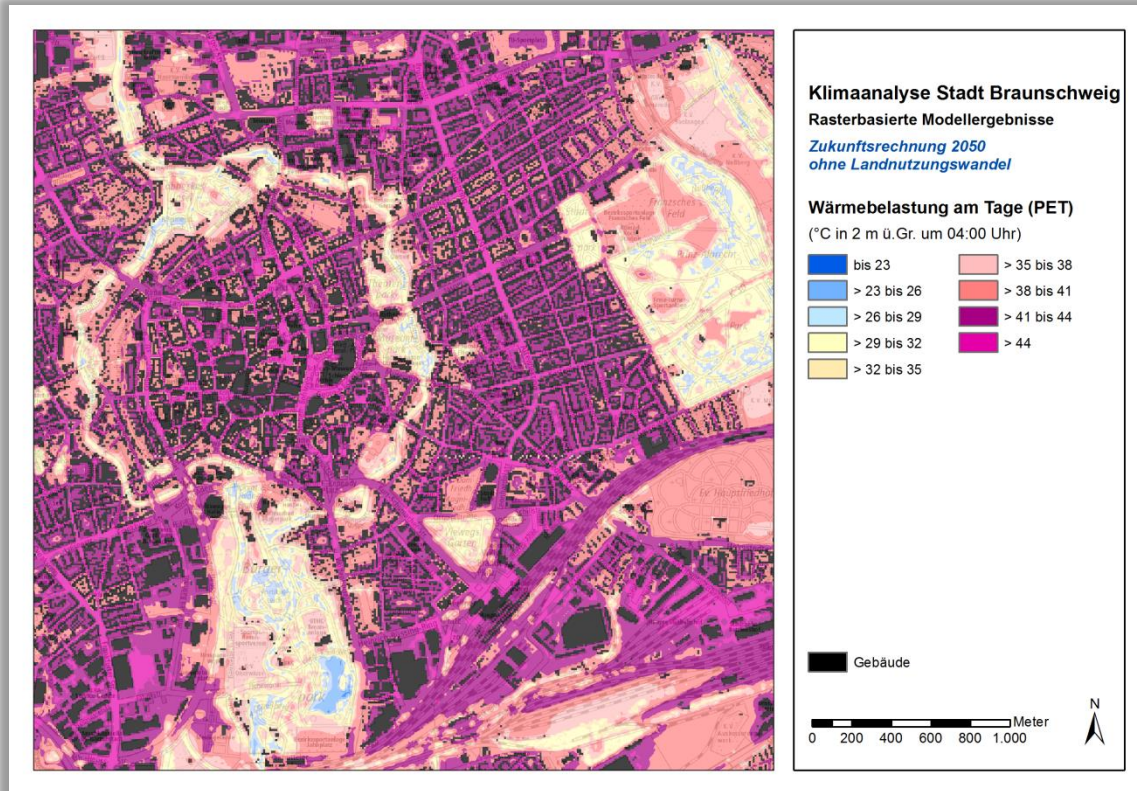


Abb. 9: Wärmebelastung am Tage der Zukunftsrechnung 2050 in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Braunschweig (im Hintergrund: Stadtgrundkarte)

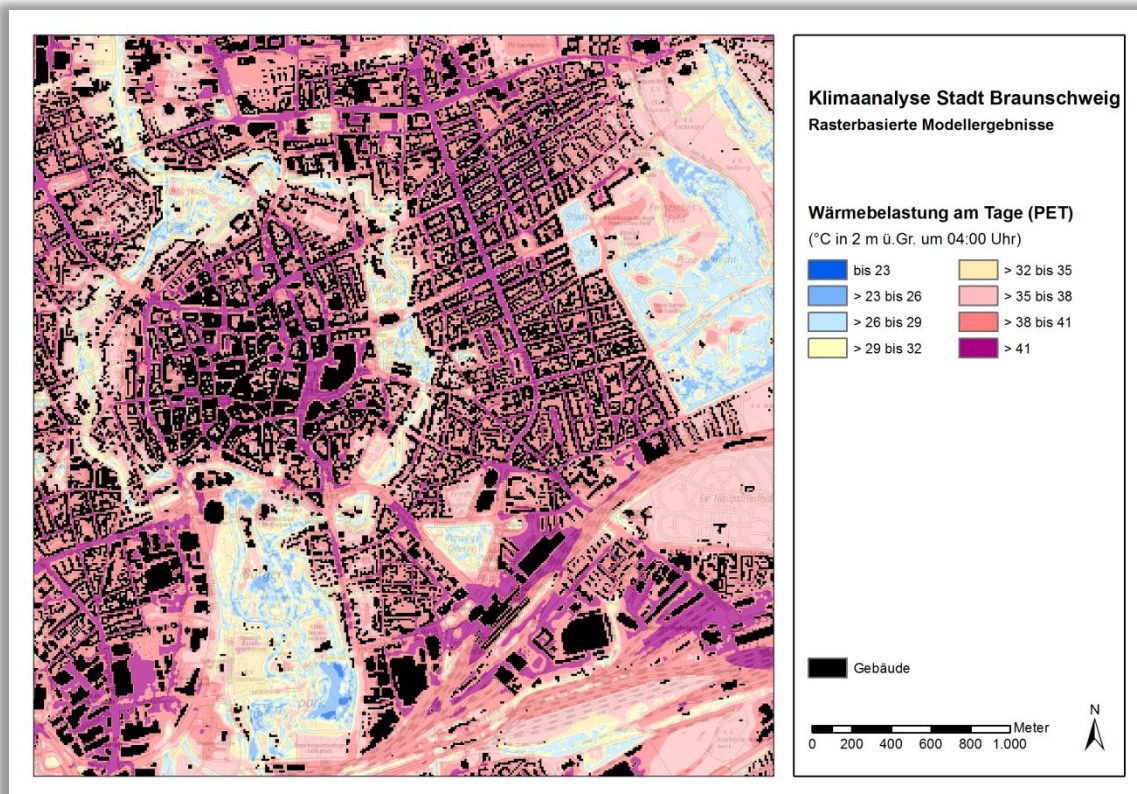


Abb. 10: Wärmebelastung am Tage im Status quo in einem Ausschnitt des Stadtgebiets Braunschweig (im Hintergrund: Stadtgrundkarte)



4 Planungskarten und Vulnerabilitätsanalyse

Für den Status quo wurden nach Nacht- und Tagsituation getrennte Planungshinweiskarten erstellt, in denen eine Bewertung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen (Wirkungsraum) sowie der Bedeutung von Grünflächen als Ausgleichsraum vorgenommen wurde. Um die praktische Arbeit mit den Planungskarten handhabbar zu gestalten, wurden keine neuen „Planungshinweiskarten 2050“ erzeugt, sondern die bestehenden Karten um die Informationen des Zukunftsszenarios erweitert. Auf die methodischen Grundlagen wird hier nur verkürzt eingegangen, insb. mit Fokus auf Ergänzungen durch die Zukunftsrechnung – detaillierte Informationen finden sich im ersten Teil des Abschlussberichts (Stadt Braunschweig 2017a).

4.1 PLANUNGSHINWEISKARTE NACHTSITUATION

METHODIK

Analog zum Status quo erfolgte die Bewertung über eine z-Transformation der nächtlichen Überwärmung⁸, wobei Mittelwert und Standardabweichung jeweils auf gemeinsamen Datensätzen des Ist- und Zukunftsszenarios beruhen, um sich ändernde Belastungen beurteilen zu können (Tabelle 5). Dabei wurde die bioklimatische Belastung der Siedlungsflächen in fünf Klassen von *Sehr günstig* bis *Sehr ungünstig* eingeteilt. Anhand einer Punktsignatur sind diejenigen Flächen gekennzeichnet, in denen die Belastungsklasse zukünftig steigt (das Belastungsniveau an sich erhöht sich in allen Flächen; Abb. 11).

Die Bewertung der Bedeutung der Grünflächen im Zukunftsszenario 2050 erfolgte analog zum Status quo. Aufgrund des reinen Klimaänderungssignals ohne Landnutzungswandel sind die Auswirkungen auf das Kaltluftprozessgeschehen gering (vgl. Kap. 3.2), sodass die über den Grünflächen auftretenden Kaltluftvolumenströme jeweils ähnlich ausfallen und die Kaltluftleitbahnen bzw. Kaltluftentstehungsgebiete als identisch zum Status quo angesehen werden können. Entsprechend sind die maßgeblichen Änderungen in der Bewertung auf das gestiegene Belastungsniveau im Siedlungsraum zurückzuführen, das die, über die Entfernung gewichtete, Bedeutung der Grünflächen als Ausgleichsraum zunehmen lässt (wiederum über eine Punktsignatur abgebildet).

Tabelle 5: Einordnung der zukünftigen bioklimatischen Belastung im Siedlungs- und Gewerbebaum in der Nacht (Lufttemperatur T_a) sowie am Tage (PET, auch Straßenraum) und Flächenmittelwert sowie Standardabweichung (SD) der meteorologischen Parameter für die entsprechenden Flächen im Stadtgebiet Braunschweigs.

Mittlerer z-Wert [-]		T_a [°C]	PET [°C] (14:00 Uhr)		Qualitative Einordnung
T_a , PET _{Siedlung}	PET _{Straßenraum}	(04:00 Uhr)	Siedlung	Straßenraum	
bis -1,5	bis -2,0	bis 17,8	bis 36,7	bis 37,3	1 = Sehr günstig
> -1,5 bis -0,5	> -2,0 bis -1	> 17,8 bis 19,0	> 36,7 bis 38,5	> 37,3 bis 39,6	2 = Günstig
> -0,5 bis 0,5	> -1 bis 0	> 19,0 bis 20,2	> 38,5 bis 40,4	> 39,6 bis 41,8	3 = Mittel
> 0,5 bis 1,5	> 0 bis 0,5	> 20,2 bis 21,4	> 40,4 bis 42,3	> 41,8 bis 43,0	4 = Ungünstig
> 1,5	> 0,5	> 21,4	> 42,3	> 43,0	5 = Sehr ungünstig
Mittelwert (± SD)		19,6 (± 1,2)	39,5 (± 1,9)	41,8 (± 2,2)	

⁸ Statistische Methode zur Standardisierung und Normalisierung einer Verteilung (vgl. Kap. 6.1 in Teil I der Klimaanalyse; Stadt Braunschweig 2017a).



ERGEBNISSE

Flächen mit einer *Sehr ungünstigen bioklimatischen Situation* nehmen, gemessen am gesamten Wohnsiedlungsgebiet, mit 5 % weiterhin einen geringen Anteil ein, der sich jedoch mehr als verdoppelt hat und zukünftig nicht nur die *Innenstadt*, sondern viele Bereiche des *Östlichen* und *Westlichen Ringgebiets* betrifft (Abb. 11, Tabelle 6). Die *Mittlere bioklimatische Situation* bleibt die dominante Klasse (zukünftig mehr als die Hälfte der Wohnflächen), gefolgt von *Ungünstig* bewerteten Flächen, deren Anteil deutlich auf knapp 40 % ansteigt. Günstige Wohnsiedlungsflächen stellen in Zukunft eine Ausnahme dar und sind nur noch vereinzelt am Siedlungsrand vorzufinden⁹ (Abb. A 5 im Anhang).

Gewerbegebiete weisen ebenfalls insgesamt steigende Belastungen auf. Bedingt durch das höhere Ausgangsniveau führte diese zu 85 % *Ungünstig* bewerteter Flächen, darunter mehr als die Hälfte mit einer *Sehr ungünstigen* Situation. Nachts steht die Belastung in Wohnsiedlungsflächen im Vordergrund, d.h. Maßnahmen sind vor allem für die Erhaltung bzw. möglichst Verbesserung der Situation in belasteten Flächen nötig. Doch sollten Gewerbeflächen aufgrund ihrer hohen Belastungen nicht außer Acht gelassen werden, insb. wenn sie einen räumlichen Bezug zu Wohnbebauungen aufweisen.

Durch die steigende Belastung in den Siedlungsräumen „wächst“ der Bedarf neuer Ausgleichsräume bzw. erhöht sich die Bedeutung bestehender Grünflächen. Entsprechend nimmt der Anteil an Grünflächen mindestens *Hoher bioklimatischen Bedeutung* auf fast zwei Drittel zu (Tabelle 7). Der Anteil gering bewerteter Grünflächen bleibt dagegen nahezu konstant, da das Argument der Siedlungsferne in der Zukunftsrechnung ohne Landnutzungsänderung in seiner Gültigkeit bestehen bleibt.

Die Bedeutung der Grünflächen ist anthropozentriert ausgerichtet und immer in Bezug auf das vorhandene Siedlungsgebiet zu sehen. Daher gilt der Grundsatz, dass die Bewertung im Falle einer Bebauung der Flächen selbst bzw. in ihrer Umgebung neu vorgenommen werden muss – bei größeren Vorhaben (die insb. Grünflächen hoher Wertigkeit betreffen) möglichst im Vorfeld mittels einer Modellanalyse der vorhabenbedingten Auswirkungen.

Tabelle 6: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete (getrennt nach Wohn- und Gewerbebaum) in der Nacht, jeweils für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise.

Bewertung der Siedlungsflächen in der Nacht	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Wohn	Gewerbe	
	Zukunft <i>Ist</i>	Zukunft <i>Ist</i>	
1 = Sehr günstig	0,1	0,3	Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und einer geringen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das sehr günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Der Vegetationsanteil sollte möglichst erhalten bleiben.
	3,3	3,6	
2 = Günstig	2,1	1,9	Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht notwendig. Freiflächen und der Vegetationsanteil sollten möglichst erhalten bleiben.
	38,2	8,8	
3 = Mittel	53,8	12,4	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.
	46,3	11,9	

⁹ Mit den steigenden Temperaturen ist jedoch auch von einer gewissen Anpassung des Menschen daran auszugehen, was als angenehme bzw. belastende Bedingungen gelten.



(Fortsetzung Tabelle)

4 = Ungünstig	38,9	32,2	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden (ggf. Begrünung von Blockinnenhöfen).
	10,1	36,0	
5 = Sehr ungünstig	5,1	53,2	Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sind zu erhalten und der Vegetationsanteil sollte erhöht sowie möglichst Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt werden (z.B. Pocket-Parks, Begrünung von Blockinnenhöfen).
	2,2	39,7	

Tabelle 7: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale in der Nacht für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise.

Bedeutung der Grünflächen in der Nacht	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Zukunft	Ist	
1 = Geringe	14,1	15,8	Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit und weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.
2 = Mittlere	21,6	32,8	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.
3 = Hohe	29,4	26,7	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden.
4 = Sehr hohe	34,9	24,7	Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten gänzlich vermieden bzw. sofern bereits planungsrechtlich zulässig unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung ist anzustreben und zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen).

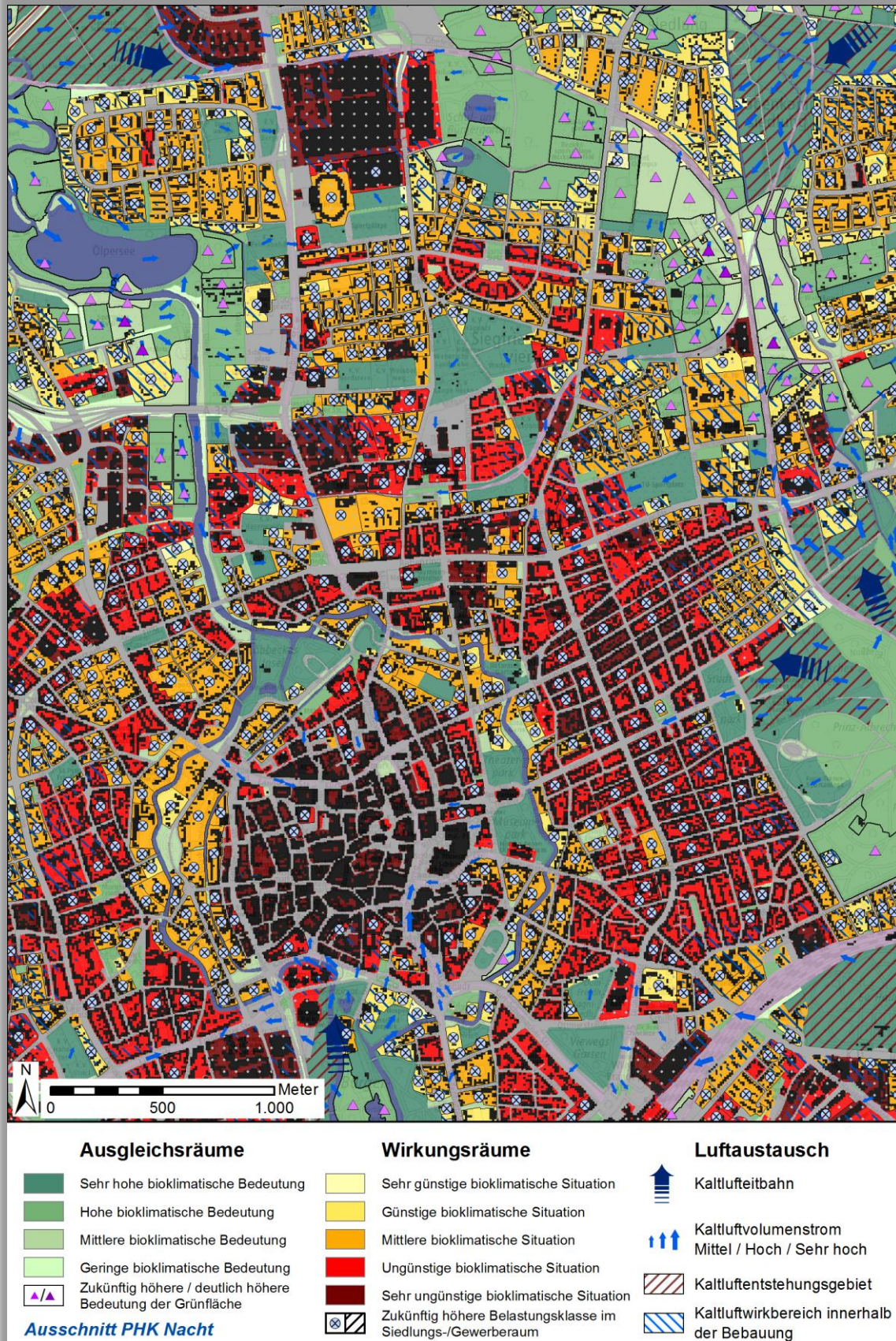


Abb. 11: Planungshinweiskarte Nachtsituation für einen Ausschnitt des Braunschweiger Stadtgebiets mit verkürzter Legende (für Details siehe gesamtstädtische Darstellung im A3-Format in Abb. A 5 im Anhang)



4.2 PLANUNGSHINWEISKARTE TAGSITUATION

METHODIK

Die bioklimatische Situation am Tage ist ein Maß für die Aufenthaltsqualität im Siedlungsraum außerhalb von Gebäuden. Dieses übt einen gewissen Einfluss auf die Situation innerhalb der Gebäude aus, doch hängt das Innenraumklima von vielen weiteren Faktoren ab und kann hier nicht bestimmt werden.

Genau wie in der Nachtsituation, erfolgte die Bewertung der thermischen Belastung am Tage in Siedlungs- und Gewerbeflächen über eine auf gemeinsamen Datensätzen des Ist- und Zukunftsszenarios beruhende z-Transformation und wird über eine Punktsignatur dargestellt (vgl. Tabelle 5). Am Tage ist die Aufenthaltsqualität auf Straßen, Wegen und Plätzen (kurz: Straßenraum) von Bedeutung, sodass für diese eine Bewertung in dieselben fünf Belastungsklassen vorgenommen wurde.

Die Bedeutung der Grünflächen am Tage ergibt sich auf der Entfernung zu belasteten Siedlungs- und Gewerberäumen sowie dem Verschattungsanteil. Letzterer bleibt in der Zukunftsrechnung ohne Landnutzungsänderung konstant, sodass die zukünftige Bewertung der Grünflächen indirekt über die steigende Belastung im Siedlungsraum gesteuert wird (Kennzeichnung anhand einer Punktsignatur). Im Unterschied zur Nachtsituation ist eine möglichst hohe Aufenthaltsqualität auch im Umfeld von Gewerbeflächen relevant, um den Beschäftigten Rückzugsorte zu bieten.

Tabelle 8: Flächenanteile bioklimatisch belasteter Siedlungsgebiete (getrennt nach Wohn-, Gewerbe- und Straßenraum) am Tage, jeweils für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise.

Bewertung der Siedlungsflächen am Tage	Flächenanteil [%]			Allgemeine Planungshinweise
	Wohn	Gewerbe	Straße	
	Zukunft <i>Ist</i>	Zukunft <i>Ist</i>	Zukunft <i>Ist</i>	
1 = Sehr günstig	0,7	0,1	4,9	Es liegen bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
	5,5	1,8	7,6	
2 = Günstig	5,6	2,8	4,6	Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
	18,1	7,7	8,1	
3 = Mittel	39,5	11,6	20,3	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.
	64,9	20,2	37,0	
4 = Ungünstig	53,5	37,6	36,3	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
	11,4	41,5	31,5	
5 = Sehr ungünstig	0,8	47,9	33,8	Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entsiegelung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
	0,1	28,8	15,8	



ERGEBNISSE

Die Unterschiede zwischen der Aufenthaltsqualität in Wohnsiedlungsflächen und Gewerbegebieten gelten gleichermaßen für das Zukunftsszenario 2050, in dem ein zunehmender Flächenanteil höherer Belastungsklassen zu verzeichnen ist. So steigt der Anteil *Ungünstig* bewerteter Flächen in Wohngebieten deutlich und übertrifft mit 53,5 % die *Mittlere* Belastungsstufe (39,5 %; Tabelle 8). Eine *Günstige bioklimatische Situation* wird zukünftig in nur noch 6 % der Wohngebiete erreicht, die höchste und niedrigste Belastungsklasse ist jeweils zu vernachlässigen. Anders als in der Nachtsituation ist jedoch kein klares räumliches Muster der steigenden Belastung zu erkennen. So ist nicht nur im Stadtkern, sondern über das gesamte Stadtgebiet eine ähnlich stark zunehmende Wärmebelastung zu erkennen¹⁰ (Abb. A 6).

Ausgehend von einem höheren Belastungsniveau, überwiegen in Zukunft Gewerbeflächen mit einer *Sehr ungünstigen bioklimatischen Situation* (48 %), während *Günstig* oder besser bewertete Flächen eine Ausnahme bilden (3 %). Straßen, Wege und Plätze weisen aufgrund ihrer nahezu vollständigen Versiegelung die höchsten thermischen Belastungen auf (Tabelle 5). Um die relativen Unterschiede innerhalb des Straßenraums abzugrenzen und im Kartenbild darzustellen, wurden die Klassengrenzen bei der z-Transformation im Vergleich zu den Siedlungsflächen jedoch modifiziert, sodass die Flächenanteile der Belastungsstufen des Straßenraums nicht direkt mit denen der Siedlungsflächen vergleichbar sind. Insgesamt ergibt sich bei der Bewertung des Straßenraums auch mit der zunehmenden Belastung im Zukunftsszenario 2050 eine größere Bandbreite als bei den Siedlungs- und Gewerbeflächen, die auf die unterschiedlichen Flächentypen zurückzuführen ist – von offenen, vollversiegelten Plätzen bis hin zu (durch Gebäude oder Bäume) stark verschatteten Straßenabschnitten.

Viele städtische Grünflächen weisen bereits heute die höchste Bedeutung auf, entsprechend fällt die Zunahme des Anteils bedeutender Grünflächen vergleichsweise gering aus (Abb. 12). Dies liegt auch darin begründet, dass die großflächigen Acker- und Wiesenareale im Braunschweiger Stadtgebiet aufgrund der meist ungehinderten Einstrahlung (unabhängig von der ohnehin fehlenden Zugänglichkeit) keinen Rückzug erlauben und sowohl im Ist- als auch Zukunftsszenario den größten Anteil ausmachen (Tabelle 9). Dennoch verdeutlichen die Ergebnisse, dass Grünflächen als Rückzugsorte in Zukunft an Bedeutung gewinnen und gerade die bereits heute wichtigen Flächen erhalten bzw. ggf. aufgewertet werden sollten.

¹⁰ Die PET wird maßgeblich durch die Strahlungstemperatur gesteuert, doch fallen in der Modellrechnung die Auswirkungen des Klimawandels auf diese relativ gering aus (da bereits im Status quo die Annahme eines wolkenlosen Himmels, also ungehinderter Einstrahlungsbedingungen, gilt). Die Lufttemperatur hingegen nimmt am Tage durch den Klimawandel zu und sorgt für eine steigende Wärmebelastung. Da der Stadtklimaeffekt tagsüber weniger stark hervortritt als in der Nacht, fallen am Tage das Lufttemperaturfeld sowie dessen Änderung homogener aus.

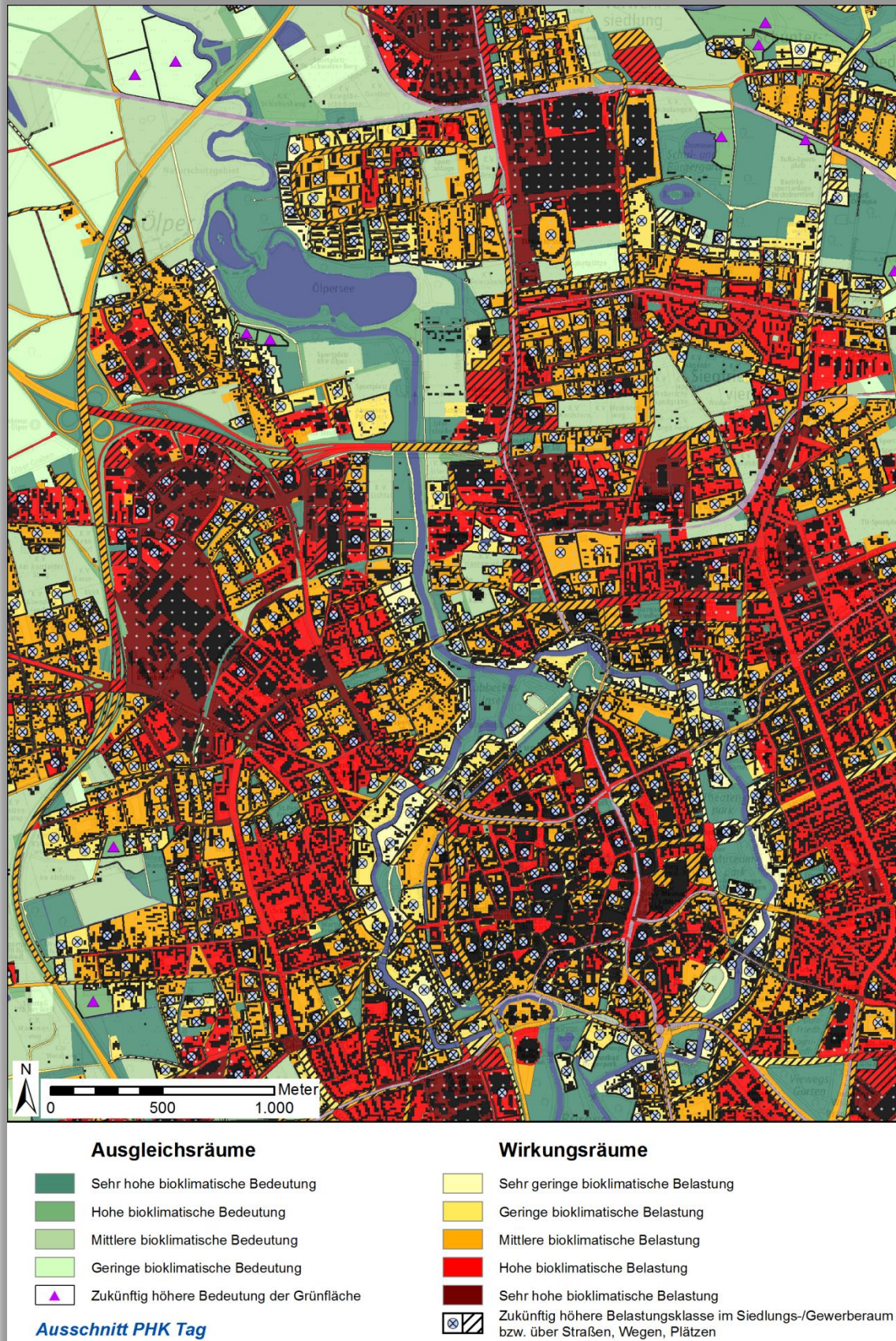


Abb. 12: Planungshinweiskarte Tagsituation für einen Ausschnitt des Braunschweiger Stadtgebiets mit verkürzter Legende (für Details siehe gesamtstädtische Darstellung im A3-Format in Abb. A 6 im Anhang)



Tabelle 9: Flächenanteile bioklimatisch bedeutender Grünareale am Tage für das Ist- und Zukunftsszenario sowie abgeleitete Planungshinweise.

Bedeutung der Grünflächen am Tage	Flächenanteil [%]		Allgemeine Planungshinweise
	Zukunft	Ist	
1 = Geringe	53,1		Freiflächen bzw. siedlungsferne Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung (vorwiegend Rasen- bzw. landwirtschaftliche Nutzflächen). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
	53,2		
2 = Mittlere	16,8		Frei- und Grünflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion) bzw. unzureichender Erreichbarkeit aus belasteten Siedlungsräumen (nicht als Rückzugsort geeignet). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
	18,0		
3 = Hohe	14,2		Siedlungsnaher Grünflächen mit einem durchschnittlichen Maß an Verschattung, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und schützen (ggf. Bewässerung) bzw. ggf. auszubauen. Siedlungsferne Grünflächen mit hoher Verschattung, die nicht in fußläufiger Erreichbarkeit liegen, aber als Rückzugsorte dienen können.
	17,3		
4 = Sehr hohe	16,0		Grünflächen mit einem hohen Maß an Verschattung und damit einhergehender hoher Aufenthaltsqualität, die fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), die gute Erreichbarkeit ist weiterhin zu gewährleisten.
	11,6		

4.3 GRÜNERREICHBARKEIT

Eine gute Erreichbarkeit öffentlich zugänglicher Grünflächen ist vor allem für die tägliche Kurzzeit- bzw. Feierabend- und Erholung wichtig, da hierfür meist die Wege zu Fuß zurückgelegt werden. Grünräume bieten nicht nur Rückzugsorte an besonders belasteten Tagen, sondern tragen allgemein zur Lebensqualität bei und können ein Faktor für die Wahl des Wohnstandortes sein. Ferner haben Studien gezeigt, dass das physische und psychische Wohlbefinden der Bevölkerung sowie die Zufriedenheit mit der Nähe zu Grünräumen steigen (BBSR 2017).

METHODIK

Die Bewertung der Grünerreichbarkeit bezieht sich auf die Tagsituation sowie den Status quo und beruht in erster Linie auf dem Einzugsbereich öffentlicher Grünflächen (Entfernung zum Siedlungsraum). Grundgedanke dahinter ist, dass möglichst von jedem Punkt einer Stadt eine Grünanlage in 300 m erreichbar sein sollte (BBSR 2017). Darüber hinaus wird die Einbeziehung von Mindestgrößen als sinnvoll erachtet, da erst ab einer bestimmten Flächengröße eine attraktive Nutzbarkeit der Grünräume möglich ist – allerdings existieren diesbezüglich derzeit noch keine einheitlichen Standards.

Abgeleitet u.a. aus Empfehlungen der Europäischen Umweltagentur und internationaler Städtevergleiche schlägt das Bundesinstitut für Bau, Stadt und Raumwesen (BBSR) den vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) entwickelten Indikator „Erreichbarkeit städtischer Grünflächen“ vor (BBSR 2017). Dieser setzt sich aus der Erreichbarkeit *naheher städtischer Grünflächen* (≥ 1 ha) bzw. *größerer städtischer Grünflächen* (≥ 10 ha) in einer Entfernung von 300 m bzw. 700 m Luftlinie zusammen (entspricht ca. 500 m bzw. 1000 m Fußweg).

Für die GIS-gestützte automatisierte Analyse von Gründefiziträumen im Braunschweiger Stadtgebiet wurden diese Kennzahlen leicht modifiziert übernommen. Als **Entlastungsräume** wurden *Parks* und



Friedhöfe aus dem von der Stadt Braunschweig zur Verfügung gestellten georeferenzierten Stadtplan definiert, für die eine öffentliche Zugänglichkeit angenommen werden kann. Auch aus dem ALKIS abgeleitete *Waldflächen* zählen zu den Entlastungsräumen. Als zusätzliches Kriterium wurde festgelegt, dass Entlastungsräume mindestens eine *Mittlere Verschattung* aufweisen, damit ihre Funktion als Rückzugsort gewährleistet wird (zur Verschattung vgl. PHK Tagsituation in Kap. 6.1 in Stadt Braunschweig (2017a)). Für Siedlungs- und Gewerbeflächen wurde eine ausreichende Grünerreichbarkeit gesehen, wenn folgende Kriterien erfüllt sind – im Umkehrschluss wurden außerhalb dieses Bereichs liegende Siedlungs- und Gewerbeflächen als **Gründefiziträume** definiert:

- × bis 300 m Entfernung zu Entlastungsräumen (Luftlinie)
- × bis 700 m Entfernung zu Entlastungsräumen ≥ 10 ha (insb. Waldflächen; Luftlinie)

Das erste Kriterium verzichtet auf die oben vorgeschlagene Mindestgröße von 1 ha, da auch kleine Grünflächen wichtige Rückzugsorte für die Bevölkerung sein können (Pocket-Parks). Bei der Interpretation der Ergebniskarten muss jedoch berücksichtigt werden, dass die „Aufnahmekapazität“ kleiner Grünflächen begrenzt ist.

Eine Herausforderung dieser Analyse liegt in der Ermittlung der realen fußläufigen Erreichbarkeit, die sich momentan auf die vereinfachende Annahme von Luftliniendistanzen stützt und somit keine realen Wegebeziehungen abbildet (Straßen, Barrieren). Auch in Bezug auf die öffentliche Zugänglichkeit wurden, wie eingangs beschrieben, Annahmen getroffen, die von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichen können.

ERGEBNISSE

Im Braunschweiger Stadtgebiet weisen 20 % des Siedlungsraums ein Gründefizit auf, wobei die Grünversorgung in Wohngebieten besser ausfällt (15 % Gründefizit) als in Gewerbegebieten (30 %; Tabelle 10). Ein eindeutiges räumliches Muster ist nicht zu erkennen, auffallend sind jedoch die vielen gründefizitären Wohngebiete geringerer Dichte bzw. am Siedlungsrand (z.B. *Hondelage, Lamme, Wenden*; Abb. A 7).

Zur Einordnung der Ergebnisse ist es daher geboten, neben der reinen räumlichen Ausprägung auch die Belastungssituation darzustellen, die in Form der bioklimatischen Belastung am Tage in die Karten eingebunden wurde (vgl. PHK Tagsituation in Kap. 4.2). Entsprechend sind Siedlungs- und Gewerbeflächen mit Gründefizit in Abhängigkeit von den Belastungsstufen in Gelb- bis Rottönen, Flächen ohne Gründefizit von hell- bis dunkelblau dargestellt (Abb. 13). Damit wird ersichtlich, dass der überwiegende Anteil an Wohnsiedlungsflächen mit Gründefizit eine *Mittlere bioklimatische Belastung* aufweist (76 %, Tabelle 10). Dies betrifft insb. die angesprochenen Bereiche geringerer Dichte bzw. am Siedlungsrand, von denen es sich vorwiegend um Einfamilienhaus- bzw. Reihenhausbereiche handelt, die in der Regel einen eigenen Garten aufweisen und entsprechend weniger auf öffentliche Grünflächen als Rückzugsorte angewiesen sind.

In den Fokus rücken dagegen *Ungünstig* bewertete Wohngebiete, die einen gewichtigen Anteil von 14 % ausmachen und mehrheitlich im *Östlichen* und *Westlichen Ringgebiet* liegen (Abb. 13). Bei der Interpretation sind die genannten Einschränkungen hinsichtlich der Größe der Grünflächen zu berücksichtigen. So können der *Prinz-Albrecht-Park* bzw. *Bürgerpark* aufgrund ihrer Größe auch über eine Entfernung von 300 m hinaus gewisse Entlastungsfunktionen für diese Siedlungsräume übernehmen. Doch ist das Gründefizit ebenfalls im Hinblick auf weniger mobile (und meist besonders hitzesensible) Bevölkerungsgruppen wie hochaltrige Personen oder Kleinkinder zu sehen, für die eine gute fußläufige Erreichbarkeit zu Entlastungsräumen besonders wichtig ist. Umgekehrt wird die Grünraumversorgung der



Innenstadt leicht überschätzt, da sich die Grünflächen entlang der *Okergräben* nicht für alle Nutzerinnen und Nutzer eignet – neben der dort wohnenden Bevölkerung halten sich am Tage zusätzlich eine hohe Zahl an Berufstätigen sowie Besucherinnen und Besucher auf – und kleinräumige Rückzugsorte fehlen (Pocket-Parks). In Betracht gezogen werden könnte die temporäre Öffnung nicht öffentlich zugänglicher bzw. kostenpflichtiger Grünflächen an Tagen außergewöhnlich hoher Belastung (z.B. Kleingärten, Schwimmbäder oder der Zoo), wobei deren Erreichbarkeit aus den besonders betroffenen Grunddefiziträumen aufgrund ihrer räumlichen Lage eingeschränkt ist.

Bei den Gewerbeflächen liegt der Anteil an (belasteten) Grunddefiziträumen deutlich höher (Tabelle 10). Während der Arbeitszeit halten sich die Beschäftigten meist innerhalb der Gebäude auf, doch für Pausen und insb. den Arbeitsweg können kleine Grünflächen Rückzugsorte darstellen bzw. die Aufenthaltsqualität erhöhen – dazu gehört bspw. auch die Verschattung von Parkplätzen bzw. von Rad- und Gehwegen.

Öffentlich verfügbare Vergleichszahlen aus anderen Städten sind bislang kaum bekannt, doch kommt Frankfurt am Main mit einer ähnlichen Methodik zu vergleichbaren Ergebnissen: 80 % der dortigen Stadtfläche sind mit Grünflächen im Umkreis von bis zu 300 m ausgestattet (BBSR 2017).

Tabelle 10: Flächenanteile von Grunddefiziträumen aufgeteilt nach Wohn- und Gewerbegebieten in Abhängigkeit von der bioklimatischen Belastungssituation am Tage.

Bioklimat. Situation am Tage	Anteil an Grunddefiziträumen [%]		
	Wohngebiete	Gewerbegebiete	Siedlungsraum gesamt
1 = Sehr günstig	0,8	0,0	0,4
2 = Günstig	9,0	1,0	5,3
3 = Mittel	76,2	14,6	47,7
4 = Ungünstig	13,9	39,8	25,9
5 = Sehr ungünstig	0,1	44,6	20,7
Gesamt	15,1	30,5	19,7

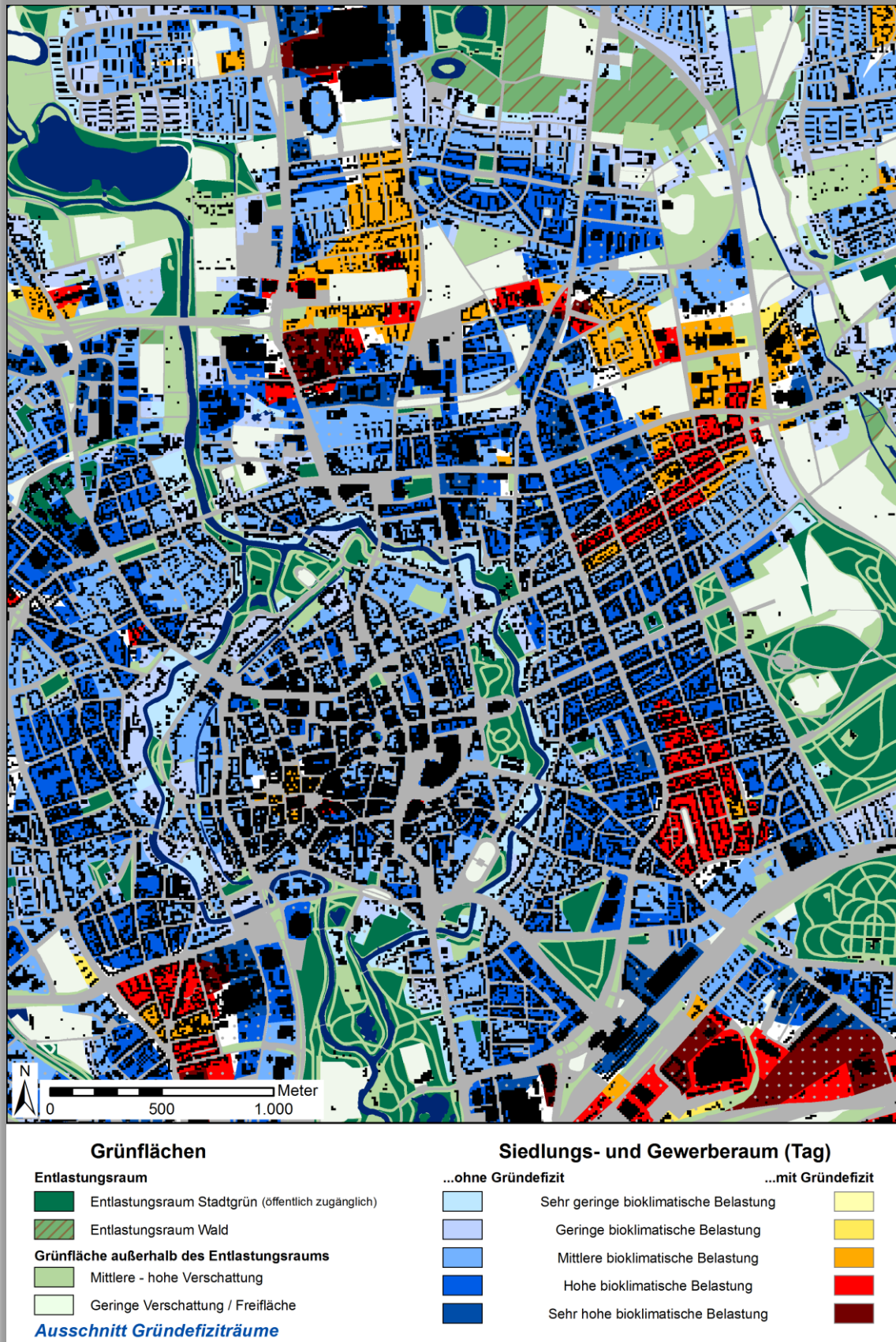


Abb. 13: Grundefizitanalyse für einen Ausschnitt des Braunschweiger Stadtgebiets mit verkürzter Legende (für Details siehe gesamtstädtische Darstellung im A3-Format in Abb. A 7 im Anhang)



4.4 DEMOGRAPHISCHE VERLETZLICHKEIT

Es existiert ein Zusammenhang zwischen thermischem Stress und Morbidität bzw. Mortalität sowie der Leistungsfähigkeit und dem Wohlbefinden einer Stadtbevölkerung. Neben kranken bzw. verletzten Menschen (mit bedingt durch ihre geringere Mobilität) gelten Kleinkinder (bis 6 Jahren) sowie Seniorinnen und Senioren (ab 65 Jahren) als besonders verletzlich. In Braunschweig gehören gegenwärtig ca. 65.000 Menschen einer dieser beiden altersbedingten Hauptrisikogruppen an – dies entspricht knapp 26 % der Stadtbevölkerung (nach Stadt Braunschweig (2017b)).

Die – absolut betrachtet – meisten Kleinkinder haben ihren Wohnsitz im *Westlichen* bzw. *Östlichen Ringgebiet* und der *Weststadt*. In diesen Stadtteilen lebt, genau wie in *Lehndorf-Watenbüttel* und *Wabe-Schunter-Beberbach*, gleichermaßen eine große Zahl älterer Menschen. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass es sich um besonders einwohnerstarke Stadtteile handelt, in denen die Risikogruppen entsprechend größer ausfallen (Abb. A 8).

Bei Betrachtung des relativen Anteils der Risikogruppen fallen räumliche Unterschiede auf. Diese sind weniger bei Kleinkindern zu erkennen, die im Mittel ca. 5,1 % der Stadtbevölkerung ausmachen und deren Zahl nur wenig um diesen Wert schwankt, mit den höchsten Anteilen in der *Weststadt* (6,1 %) und den geringsten in der *Innenstadt* (3,6 %, Abb. 14). Deutlicher wird die räumliche Abweichung beim Anteil älterer Menschen, der bspw. in *Heidberg-Melverode* und *Hondelage* (jeweils ca. 30 %) merklich über dem städtischen Mittel von 20,8 % liegt, während die *Innenstadt* bzw. *Weststadt* die geringsten Anteile aufweisen (15,1 % bzw. 16,7 %, Abb. 15).

In Abb. 16 sind die Einwohnerzahlen pro Blockfläche (visualisiert über die Höhe des Baublocks) mit der thermischen Belastung in der Nacht kombiniert (Farbgebung von gelb bis rot; vgl. Kap. 4.1) sowie sensible Einrichtungen wie Krankenhäuser verortet. Diese Form der Darstellung verdeutlicht, dass im Stadtkern viele Menschen von einer hohen (*Östliches* bzw. *Westliches Ringgebiet*) bis sehr hohen bioklimatischen Belastung betroffen sind (*Innenstadt*), während in der ebenfalls dicht besiedelten *Weststadt* eine überwiegend mittlere bioklimatische Belastung vorzufinden ist. Mit steigender Entfernung zum Stadtkern nehmen tendenziell sowohl die Einwohnerdichte als auch die bioklimatische Belastung ab. In den zumeist stark belasteten Gewerbegebieten sind die Einwohnerzahlen sehr gering, sodass hier in der Nacht wenige Konflikte auftreten.

Die Ergebnisse beziehen sich auf die derzeitige bioklimatische Belastung in Braunschweig. Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, muss in Zukunft mit einem höheren Belastungsniveau gerechnet werden, auf das sich hitzesensible Bevölkerungsgruppen weniger gut einzustellen vermögen. Entsprechend ist die Umsetzung von (Grün-)Maßnahmen zur stadtklimatischen Optimierung in belasteten Gebieten, die einen hohen Anteil der Hauptrisikogruppen beherbergen (oder generell hohe Einwohnerzahlen aufweisen) als nach wichtiger anzusehen – gerade vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, der bereits innerhalb der nächsten zehn Jahre zu einem Anstieg von Seniorinnen und Senioren um 9 % führt, was in absoluten Zahlen einem Zuwachs von ca. 4.800 Personen entspricht (Betrachtungszeitraum 2016-2026; nach LSN 2016).

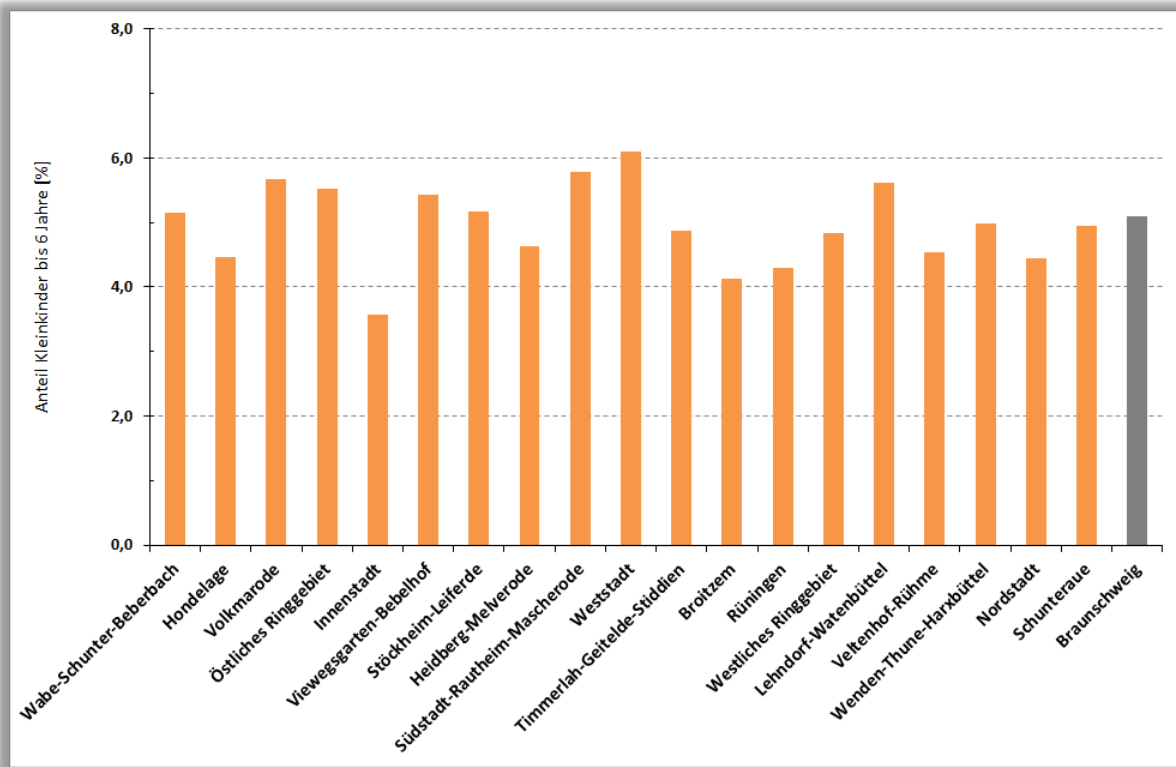


Abb. 14: Anteil Kleinkinder bis 6 Jahre nach Stadtteilen (Stand 2016; nach Stadt Braunschweig (2017b))

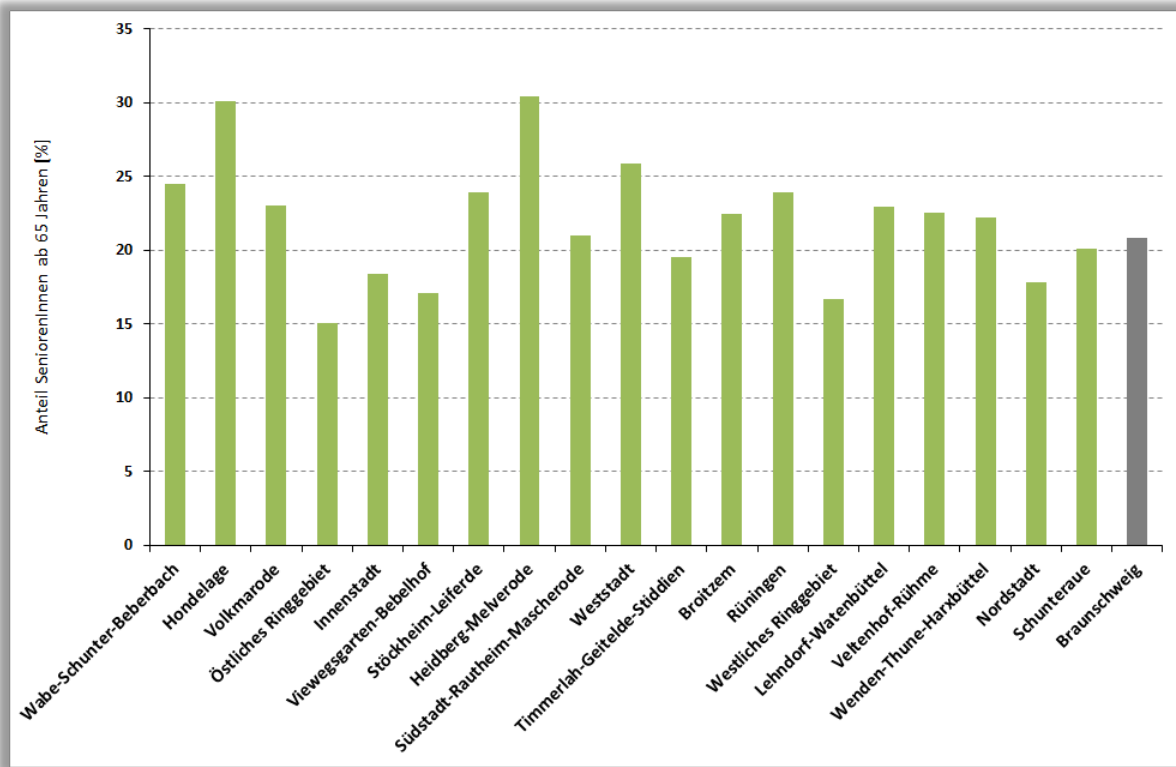


Abb. 15: Anteil Seniorinnen und Senioren nach Stadtteilen (Stand 2016; nach Stadt Braunschweig (2017b))

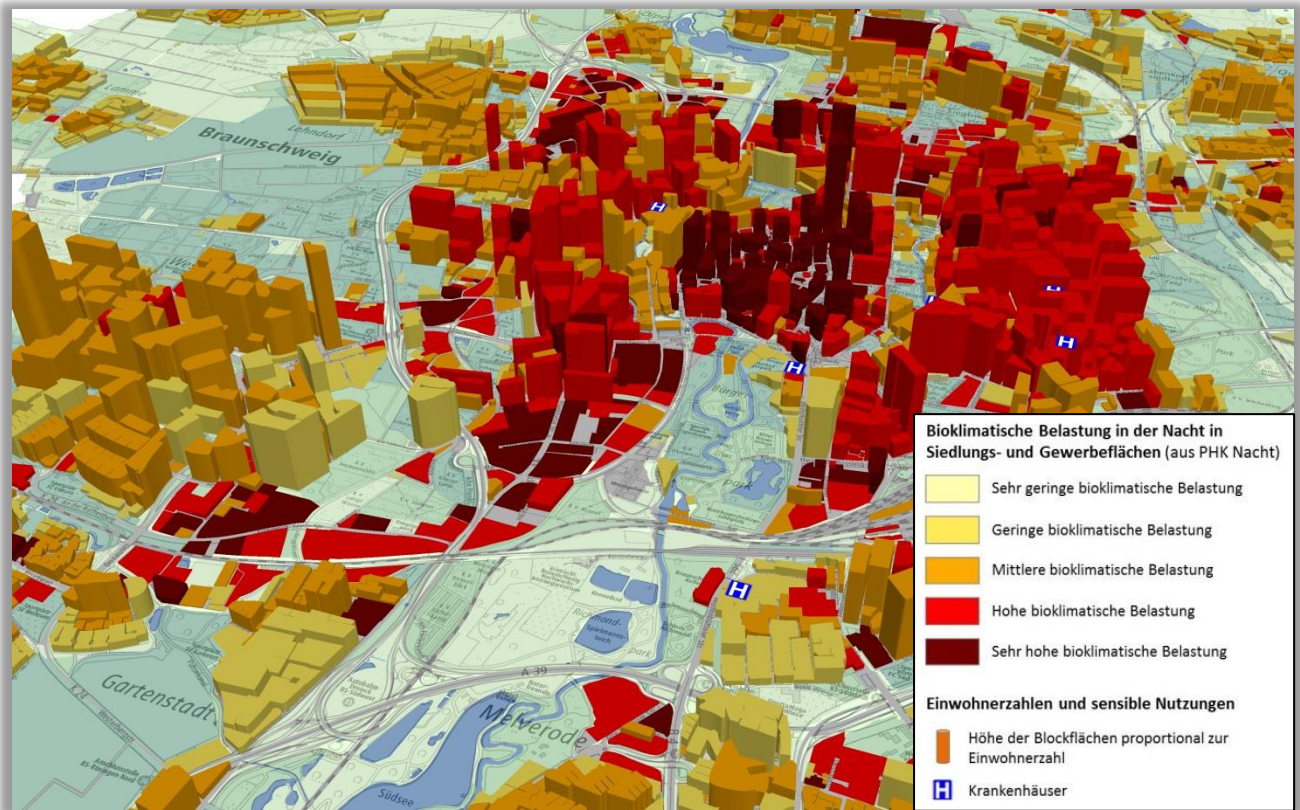


Abb. 16: Thermische Belastung und Einwohnerzahlen in Siedlungs- und Gewerbegebieten im Stadtkern Braunschweigs (basierend auf der Planungshinweiskarte Nachtsituation und nach Stadt Braunschweig (2017b))

4.5 MAßNAHMENKATALOG AKTIONSPLAN ANPASSUNG

Für Braunschweig wurde ein Katalog aus 23 klimaökologisch wirksamen Einzelmaßnahmen identifiziert, die einzelnen Blockflächen räumlich zugeordnet werden können. Dieser Katalog ergänzt die Planungshinweiskarten als GIS-gestützter „Aktionsplan Anpassung“ um eine weitere Informationsebene. Die Auswahl der Maßnahmen sowie deren Übertragung auf konkrete Flächen erfolgten durch fachgutachterliche Einschätzung und basierend auf einer Literatursauswertung sowie den Erkenntnissen anderer Klimaanalysen (vgl. Berlin 2015, MUNLV 2010, MVI 2012).

Die Zuordnung bestimmter Maßnahmensets aus dem Portfolio der 23 Einzelmaßnahmen hängt vom Flächentyp und den Bewertungen in den Planungshinweiskarten unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels ab (z.B. bioklimatische Belastung in der Nacht und/oder am Tage, Bedeutung für den Kaltlufthaushalt). Zusätzlich fließen die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse sowie weitere Sach- und Geoinformationen ein (z.B. Gründefiziträume, Einwohnerdichte; vgl. Abb. 17). Die Ergebnisse sind jeweils als Planungsempfehlungen zu verstehen, die bei Betrachtung einer konkreten Fläche oder spezifischen Maßnahme einer Überprüfung bedürfen (z.B. beruht die Empfehlung *Dachbegrünung* auf der stadtklimatischen Situation, ohne zu berücksichtigen, ob deren bauliche Umsetzung tatsächlich möglich wäre, da keine Informationen über den Dachtyp der Gebäude auf der Blockfläche vorlagen). Die Maßnahmen sind stickpunktartig in Tabelle 11 beschrieben und in verschiedene Cluster aufgeteilt:

- × Verbesserung der Durchlüftung
- × Thermisches Wohlbefinden
- × Reduktion der Wärmebelastung im Innenraum
- × Sonstige Maßnahmen



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

Soweit möglich sollte der **Grünanteil** im Stadtgebiet erhöht werden, insb. in thermisch belasteten Bereichen (→ *M09: Innen-/Hinterhof-Begrünung*, → *M10: Schaffung von Pocket-Parks*). Wasserversorgte strukturreiche Grünflächen (mit Bäumen, Sträuchern) wirken sich durch ihre Verdunstung positiv auf das Umgebungsklima aus und erhöhen durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität (→ *M12: Erhöhung der mikroklimatischen Vielfalt*). Im Vergleich zu wärmespeichernden städtischen Baumaterialien kühlen Grünflächen nachts deutlich schneller ab und können (ab einer gewissen Größe) als Kaltluftentstehungsgebiete auf ihr (nahes) Umfeld wirken. Gleichzeitig erfüllen sie viele weitere Funktionen wie die Möglichkeit zur Erholung, die Erhöhung der Biodiversität und Synergieeffekte zum Niederschlagsmanagement (Versickerung) und zur Luftreinhaltung (Deposition von Luftschadstoffen).

Neben ihres Potentials zur Verringerung der thermischen Belastung am Tage und in der Nacht (Schattenwurf, Verdunstung, etc.), übernehmen **Bäume** (und Sträucher) im Straßenraum die Funktion der Deposition und Filterung von Luftschadstoffen und verbessern dadurch die Luftqualität. Bei der Umsetzung entsprechender Maßnahmen sollte darauf geachtet werden, dass der (vertikale) Luftaustausch erhalten bleibt, um Schadstoffe abzutransportieren und die nächtliche Ausstrahlung zu gewährleisten. Geschlossene Kronendächer sind daher insbesondere bei kleinen Straßenquerschnitten und hohem motorisierten Verkehrsaufkommen zu vermeiden. Bei mehrspurigen Straßen bieten sich begrünte Mittelstreifen zur Baumpflanzung an. Im Bereich von Luftleitbahnen dürfen Verschattungselemente zudem keine Barriere für Kalt- und Frischluftströmungen darstellen und sollten möglichst nicht quer zur Fließrichtung angelegt werden. Dabei sind solche Gehölze zu bevorzugen, die keine hohen Emissionen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen, aufweisen. Großkronige Laubbäume sind Nadelbäumen vorzuziehen, da sie im Winter geringeren Einfluss auf die Einstrahlung ausüben und dadurch zu einer Reduktion von Heizenergie und damit von Heizkosten und Treibhausgasemissionen führen können. Mit Blick auf den Klimawandel sollte bei der Artenauswahl von Neu- oder Ersatzpflanzungen auf deren Hitze- und Trockenheitstoleranz geachtet werden (vgl. Klima-Arten-Matrix; Rolof et al. 2008).

Maßnahmen zur Verschattung verringern die durch direkte Sonneneinstrahlung bedingte thermische Belastung am Tage. Beschattete Straßen und versiegelte Gehwege speichern weniger Wärme als die der Sonnenstrahlung ausgesetzten (→ *M05: Verschattung von Straßen und Gehwegen*). Bei großflächiger Verschattung kann somit auch der nächtliche Wärmeinseleffekt und damit die thermische Belastung angrenzender Wohnquartiere reduziert werden (→ *M17: Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen*).

Klimaangepasstes Bauen enthält viele der bisher genannten Maßnahmen und ist am einfachsten bei Neubauten umzusetzen, doch auch im Bestand und bei Nachverdichtung sind Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Berücksichtigung stadtklimatischer Belange möglich. Im Neubau bietet sich die Chance, die *Gebäudeausrichtung* zu optimieren und damit den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition sollten Gebäude so ausgerichtet werden, dass in sensiblen Räumen wie z.B. Schlafzimmern (oder auch Arbeitszimmer/Büroräume) der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird (→ *M21: Anpassung des Raumnutzungskonzeptes*). Umso mehr gilt dies für



sensible Gebäudenutzungen wie z.B. Krankenhäuser. Durch geeignete Gebäudeausrichtung kann darüber hinaus eine gute Durchlüftung mit kühlender Wirkung beibehalten bzw. erreicht werden (Ausrichtung parallel zur Kaltluftströmung, Vermeidung von Querriegeln zur Strömungsrichtung, ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen den Gebäuden; → *M01: Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten*). Auch die *Verwendung geeigneter Baumaterialien* lässt sich im Wesentlichen nur bei Neubauten realisieren. Dabei ist auf deren thermische Eigenschaften zu achten – natürliche Baumaterialien wie Holz haben einen geringeren Wärmeumsatz und geben entsprechend nachts weniger Energie an die Umgebungsluft ab als z.B. Stahl oder Glas. Auch die *Albedo* kann über die Wahl entsprechender Baumaterialien beeinflusst werden. Z.B. ist die Reflektion der solaren Einstrahlung auf hellen Oberflächen größer, sodass sich diese weniger stark aufheizen (→ *M08: Erhöhung der Oberflächen-Albedo*). Bautechnische Maßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas wie *Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungselemente*¹¹ oder *Wärmedämmung*¹² sind dagegen auch im Bestand umsetzbar und bieten vielfach Synergieeffekte zum Energieverbrauch der Gebäude (→ *M15, M16, M19*).

Bei **Nachverdichtung** im Stadtgebiet sollten die Belange klimaangepassten Bauens berücksichtigt werden (insb. die Gewährleistung einer guten Durchlüftung). In der Regel stellt die vertikale Nachverdichtung dabei die aus stadtklimatischer Sicht weniger belastende Lösung dar, wobei die genaue Ausgestaltung jeweils im Einzelfall geprüft werden muss. Um Nachverdichtung möglichst klimaverträglich zu gestalten, ist die sogenannte *doppelte Innenentwicklung* in den Blickpunkt geraten (BfN 2016). Dabei geht es darum, Flächenreserven im Siedlungsraum nicht nur baulich, sondern auch mit Blick auf urbanes Grün zu entwickeln. Damit bildet diese auch Schnittstellen zum Städtebau, der Freiraumplanung und dem Naturschutz.

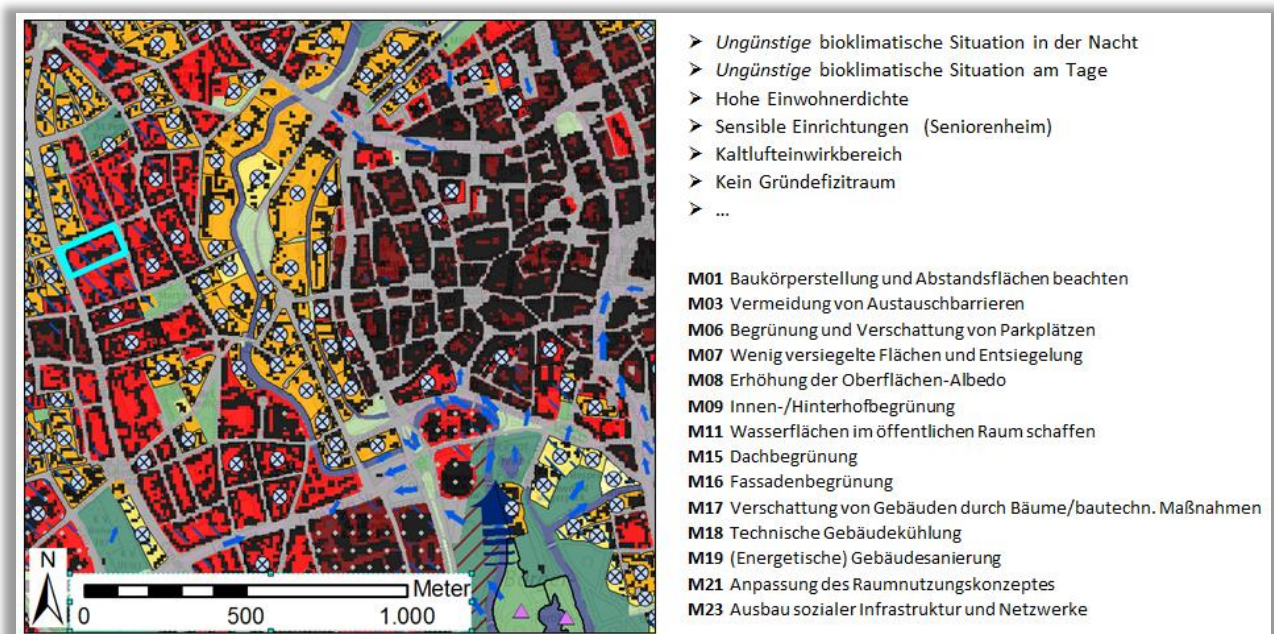


Abb. 17: Beispielhafte Ableitung von Maßnahmen für eine Siedlungsfläche in einem Ausschnitt der Planungshinweiskarte Nachtsituation (türkiser Rahmen)

¹¹ Bäume, Vordächer, Markisen, Jalousien/Außenrollos, Sonnensegel, Sonnenschutzglas, etc.

¹² Wirkt nicht nur Energieverlusten im Winter entgegen, sondern auch als Hitzeschutz gegen übermäßiges Aufheizen der Fassaden im Sommer.

Tabelle 11: Empfehlungen raumeinheitenspezifischer stadtklimatisch wirksamer Maßnahmen für die Stadt Braunschweig (Maßnahmenkatalog Aktionsplan Anpassung).

Nr.	Maßnahme	Erläuterung	Wirkung	Räumliche Umsetzung
VERBESSERUNG DER DURCHLÜFTUNG				
01	Baukörperstellung und Abstandsflächen beachten	Gebäudeanordnung parallel zur Kaltluftströmung und/oder ausreichend (grüne) Freiflächen zwischen der Bebauung (aufgelockerte Bebauung)	<ul style="list-style-type: none"> * Verbesserung der Kaltluftströmung / Durchlüftung * Reduktion des Wärmestaus 	Neubau, Gebäudekomplexe (auf winterliche Behaglichkeit in den Innenräumen achten)
02	Entdichtung (Rückbau)	Rückbau von Gebäuden verringert die Bebauungsdichte und das Bauvolumen	<ul style="list-style-type: none"> * Reduktion der Wärmebelastung insb. nachts * Verbesserung der Durchlüftung * Synergien zum Niederschlagsmanagement 	Blockinnenhöfe (Garagen, Lagerhallen, ggf. Industrie- und Gewerbebrachen, Bahnanlagen)
03	Vermeidung von Austauschbarrieren	<ul style="list-style-type: none"> * Quer zur Fließrichtung verlaufende bauliche (Dämme, Gebäude) oder natürliche Hindernisse (Baumgruppen, jedoch Beibehaltung bestehender Gehölze!) im Einflussbereich von Kaltluftflüssen vermeiden bzw. Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte auf klimaökologische Belange anpassen * Schutz des Luftaustauschsystems 		Grün- und Freiflächen, gut durchlüftete Wohn- und Gewerbeflächen, Straßen, Wege, Plätze
04	Schutz und Vernetzung für den Kaltlufthaushalt relevanter Flächen	<ul style="list-style-type: none"> * Schutz vor stärkerer Überwärmung und Verschlechterung der Durchlüftung * Freihaltung großräumiger, möglichst wasserversorgter und durch flache Vegetation geprägter Grünflächen wie Wiesen, Felder, Kleingärten und Parklandschaften (im Außen- und Innenbereich), die Einfluss auf den lokalen Kaltlufthaushalt haben * Kleine Parks als Trittsteine für Kaltluft * Synergien zur Biodiversität 		Grün- und Freiflächen
THERMISCHES WOHLBEFINDEN				
05	Verschattung von Straßen und Gehwegen	Bäume oder bautechnische Maßnahmen (Markisen, Überdachung der Haltestellen, Sonnensegel, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> * Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber und nachts 	Straßen, Wege, Plätze
06	Begrünung und Verschattung von Parkplätzen	Bäume, Sträucher oder Überdachung	<ul style="list-style-type: none"> * Reduktion der Wärmebelastung insb. tagsüber und nachts * Deposition und Filterung von Luftschadstoffen * Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Parkplätze
07	Wenig versiegelte Flächen und Entsiegelung	Rasenflächen oder Teilversiegelung (Schotter, Rasengittersteine, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> * Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und insb. nachts * Synergien zum Niederschlagsmanagement 	Straßen, Wege, Plätze, Innen- und Hinterhöfe, Vorgärten, Betriebshöfe

08	Erhöhung der Oberflächen-Albedo	Helle Farben (insbesondere von Dächern) und Baumaterialien, die wenig Wärme speichern	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts 	Dächer (Neubau und Bestand), ggf. Straßen, Wege, Plätze
09	Innen-/Hinterhofbegrünung	Vegetation und Entsiegelung	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts ✗ Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Hinterhöfe
10	Schaffung von Pocket-Parks	Kleine Parks und gärtnerisch gestaltete Grünflächen im innerstädtischen Raum, die auch Erholung bieten	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts ✗ Vernetzung von Grünflächen ✗ Synergien zum Niederschlagsmanagement und zur Biodiversität 	Baulücken, größere Hinterhöfe (insb. in thermisch belasteten Wohngebieten)
11	Wasserflächen im öffentlichen Raum schaffen	Fontänen, Wasserspielplätze, Teiche, Regenrückhaltebecken, offene Führung der Oberflächenentwässerung (Gräben, Mulden), etc.	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber ✗ Wärmeabgabe nachts möglich ✗ ggf. Synergien zum Niederschlagsmanagement ✗ bewegtes Wasser mit stärkerer Wirkung als stehende Gewässer 	Plätze, Spielplätze, Parks
12	Erhöhung der mikroklimatischen Vielfalt	Vielfältigkeit der Grünflächen (offene Wiesenflächen, Bäume, Wasserflächen, Pflanzungen)	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts ✗ Synergien zur Biodiversität 	Grün- und Freiflächen, Straßen, Wege, Plätze
13	Schutz bestehender großflächiger Parks/Grünflächen	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Bedeutung für den Kaltlufthaushalt ✗ Wichtige Funktionen für die Erholung, Biodiversität und Niederschlagsmanagement 		Grün- und Freiflächen (insb. im Umfeld hoher Einwohnerdichten)
14	Schutz von Waldflächen	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Besonders schützenswerte Biotope mit vielen Funktionen (CO₂ Deposition, Arten- und Biotopschutz, Grundwasserneubildung, Bodenschutz, Erholung, etc.), darunter auch für das Stadtklima (Bestandteil des Luftaustauschsystems, Erholung und Rückzugsort tagsüber, Filterfunktion für Luftschadstoffe) 		Waldflächen
REDUKTION DER WÄRMEBELASTUNG IM INNENRAUM				
15	Dachbegrünung	Extensive oder intensive Dachbegrünung (bis hin zu Gärten und urbaner Landwirtschaft auf Dächern; unter Bevorzugung heimischer Pflanzen), blaugrüne Dächer (im Wasser stehende Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Verbesserung des Innenraumklimas ✗ Bei großflächiger Umsetzung und geringer Dachhöhe Verbesserung des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas möglich ✗ Synergien zum Niederschlagsmanagement, Biodiversität und Klimaschutz 	Flachdächer, ggf. flach geneigte Dächer

16	Fassadenbegrünung	Boden- oder systemgebundene Fassadenbegrünung (Bevorzugung heimischer bzw. bienenfreundlicher Pflanzen)	<ul style="list-style-type: none"> * Verbesserung des Innenraumklimas und des unmittelbar angrenzenden Außenraumklimas * Synergien zur Luftreinhaltung, Biodiversität, Lärm- und Gebäudeschutz 	Gebäude (Neubau und Bestand; soweit rechtlich zugelassen)
17	Verschattung von Gebäuden durch Bäume oder bautechnische Maßnahmen	Fassadenbegrünung, Bäume, Balkongestaltung, bautechnische Maßnahmen wie außen liegende Sonnenschutzelemente (Jalousien, Markisen, etc.), reflektierendes Sonnenschutzglas bzw. -folie, geeignete Raumlüftung (Verhalten der Bewohner)	<ul style="list-style-type: none"> * Wirkung tagsüber und nachts * Verbesserung des Innenraumklimas * Synergien zum Klimaschutz 	Gebäude, v.a. Südfassaden und in Bezug auf Fenster- und sonstige Glasflächen (Neubau und Bestand)
18	Technische Gebäudekühlung	Klimaanlagen bzw. ressourcenschonende Lösungen wie Erdkältenutzung, adiabate Abluftkühlung, etc.	<ul style="list-style-type: none"> * Reduktion der Wärmebelastung in Innenräumen 	Gebäude (vorwiegend Neubau)
19	(Energetische) Gebäudesanierung	Dämmung von Gebäuden, Erhöhung der Albedo	<ul style="list-style-type: none"> * In erster Linie Klimaschutzmaßnahme * Verbesserung des Innenraumklimas tagsüber 	Gebäude (Bestand)
SONSTIGE MAßNAHMEN				
20	Schutz von offenen Wasserflächen	<ul style="list-style-type: none"> * Stadtklimafunktion größerer Fließ- und Standgewässer * Rauhigkeitsarme Ventilationsbahnen, über die v.a. bei allochthonen Wetterlagen Kalt- und Frischluft transportiert wird * Während der Sommermonate und speziell Hitzeperioden wirken Gewässer auf ihr nahes Umfeld tagsüber kühlend (auch kleinere Gewässer, Wasserspielplätze oder Brunnen in Parks) * Oberflächennahe Temperatur kann nachts über der umgebenden Lufttemperatur liegen und eine Wärmeabgabe bewirken 	<ul style="list-style-type: none"> * Gewässer, Grün- und Freiflächen 	
21	Anpassung des Raumnutzungskonzeptes	Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Nutzung von Innenräumen, d.h. sensible Räume nicht nach Süden ausrichten (z.B. Schlaf-, Arbeits- oder von Risiko-gruppen genutzte Zimmer (etwa im Krankenhaus))	<ul style="list-style-type: none"> * Verbesserung des Innenraumklimas (in sensiblen Räumen) 	Gebäude, insb. klimasensible Gebäudenutzungen (vorwiegend Neubau)
22	Reduktion Wärmeemissionen aus dem Verkehr	Förderung des Nicht-motorisierten Individualverkehrs und Elektromobilität, Verkehrsberuhigung, Tempolimits, Ausbau des Erholungswegenetzes	<ul style="list-style-type: none"> * Reduktion der Wärmebelastung tagsüber und nachts * Synergien zur Luftreinhaltung 	Straßen, Wege, Plätze, Industrie- und Gewerbegebiete
23	Ausbau sozialer Infrastruktur und Netzwerke	Partizipative Projekte (z.B. Quartiersmanagement) oder aus Bevölkerung heraus (z.B. Trinkpatenschaften, Urban Gardening)	<ul style="list-style-type: none"> * Minderungen der Vulnerabilität der Quartiersbevölkerung gegenüber thermischem Stress 	(thermisch belastete) Quartiere hoher Einwohnerdichte



Quellenverzeichnis

- BBSR (2017) - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.): Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte.
- Berlin (2015) – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt: Planungshinweiskarte Stadtklima 2015. Begleitdokument zur Online-Version. Online: www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/db411_01.htm (Abruf 27.07.2018)
- BfN (2016) – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. BfN-Skripten 444.
- DKRZ (2017) – Deutsches Klimarechenzentrum: Globale Mitteltemperatur. Online: www.dkrz.de/Klimaforschung/konsortial/ipcc-ar5/ergebnisse/Mitteltemperatur (Abruf 10.01.2018).
- DWD (2016) – Deutscher Wetterdienst: Nationaler Klimareport 2016. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland.
- Höppe, P. und H. Mayer (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft und Stadt* 19 (1): S. 22-29.
- Jendritzky, G., et al. 1990. Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). *Beitr. Akad. Raumforsch. Landesplan.* Nr. 114.
- Klimanavigator (2017): Die RCP-Szenarien für den aktuellen 5. IPCC-Sachstandsbericht. Online: www.klimanavigator.eu/dossier/artikel/012038/index.php (Abruf 10.01.2018).
- LSN (2016) – Landesamt für Statistik Niedersachsen: Bevölkerungsvorausberechnungen für Niedersachsen. Online: www.statistik.niedersachsen.de/themenbereiche/bevoelkerung/bevoelkerungsvorausberechnungen/bevoelkerungsvorausberechnung-en-fuer-niedersachsen-90671.html (Abruf 27.07.2018)
- MUNLV (2010) – Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel.
- MVI (2012) - Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg: Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung.
- Roloff A., Gillner S., Bonn S., TU Dresden (2008): Klima-Arten-Matrix (KLAM- Stadt) aus der Broschüre des Bundes Deutscher Baumschulen e.V. (BdB): Forschungsstudie Klimawandel und Gehölze.
- Stadt Braunschweig (2017a): Stadtklimaanalyse Braunschweig 2017. Teil I: Modellergebnisse und Planungskarten. Erstellt von GEO-NET Umweltconsulting GmbH.
- Stadt Braunschweig (2017b): Braunschweig in der Statistik. Sechszwanzigste Folge 2017. Online: www.braunschweig.de/politik_verwaltung/statistik/jahrbuch.html (Abruf 09.07.2018)
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lüftungshygiene.



Anhang

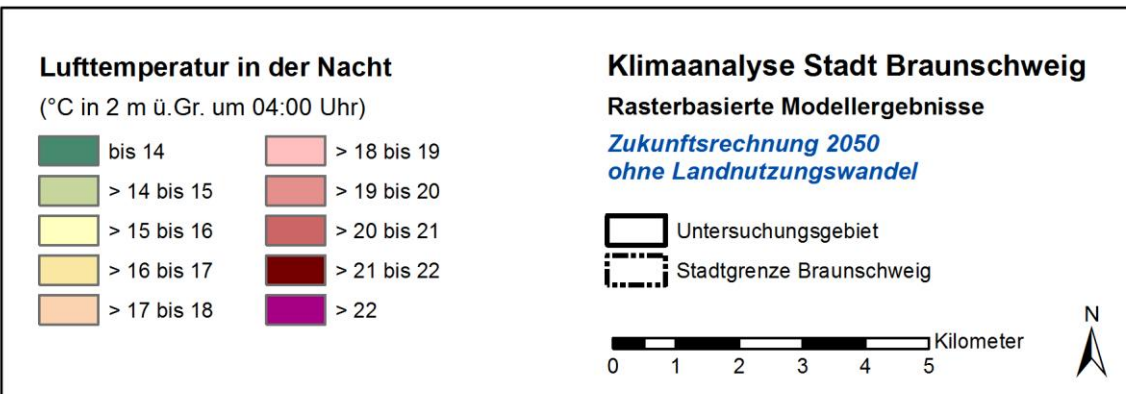
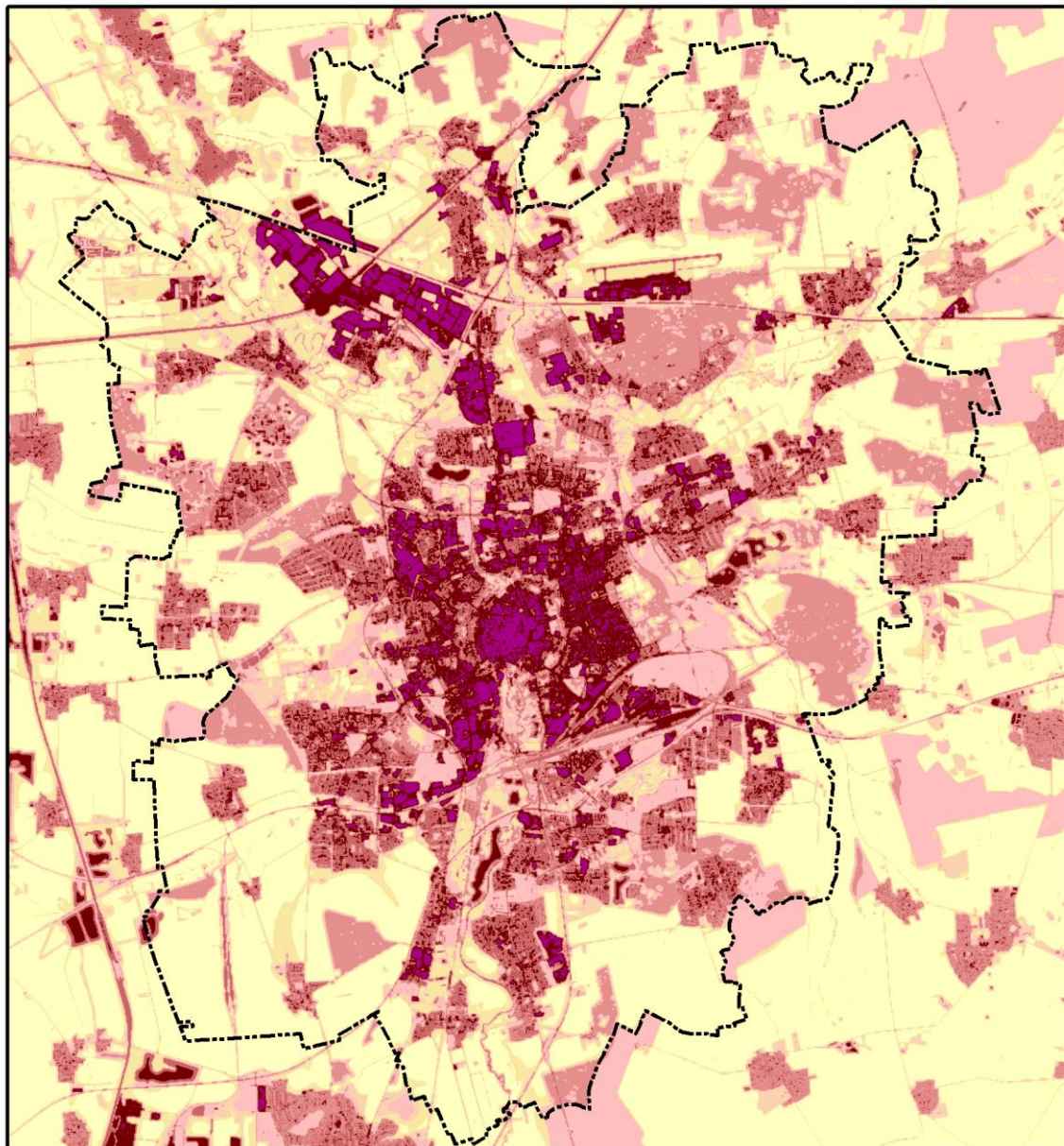


Abb. A 1: Nächtliches Temperaturfeld der Zukunftsrechnung 2050 im Untersuchungsgebiet

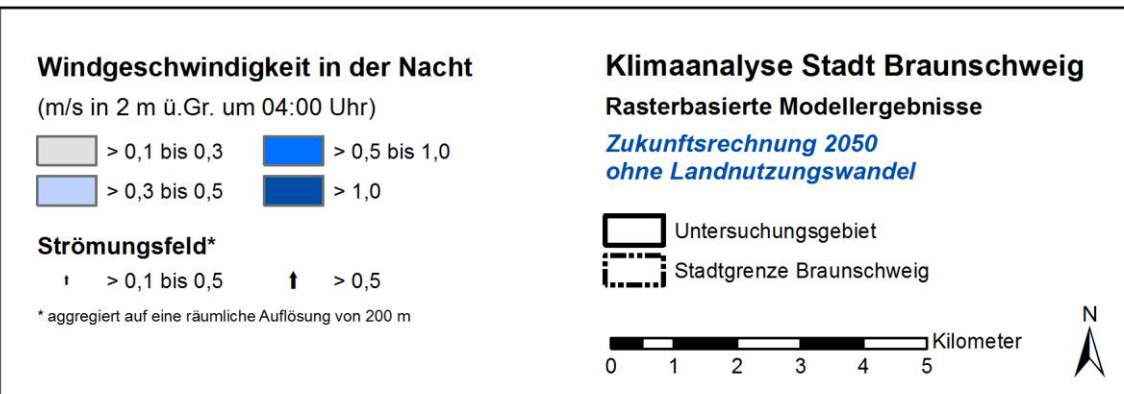
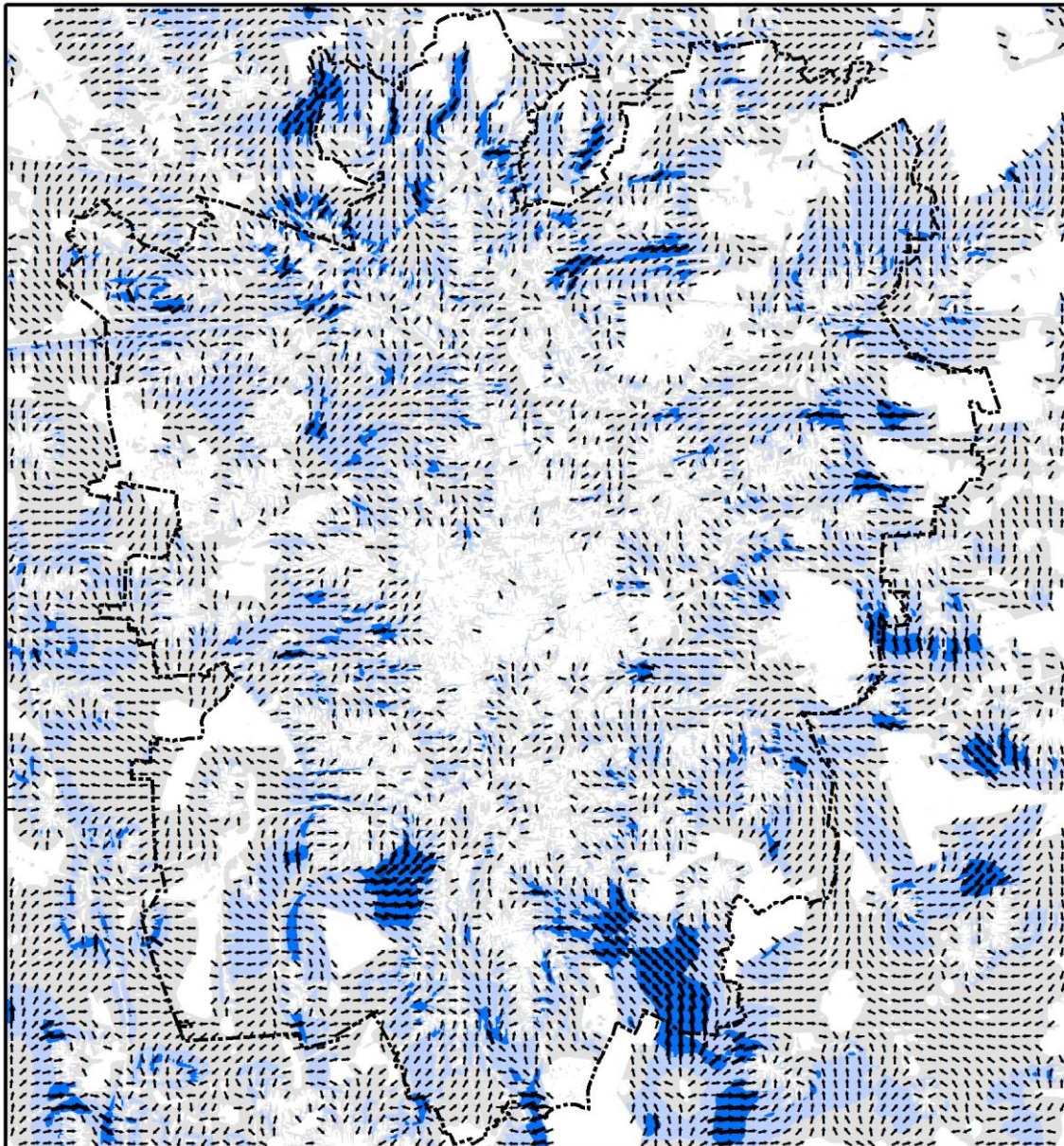


Abb. A 2: Nächtliches Kaltluftströmungsfeld der Zukunftsrechnung 2050 im Untersuchungsgebiet

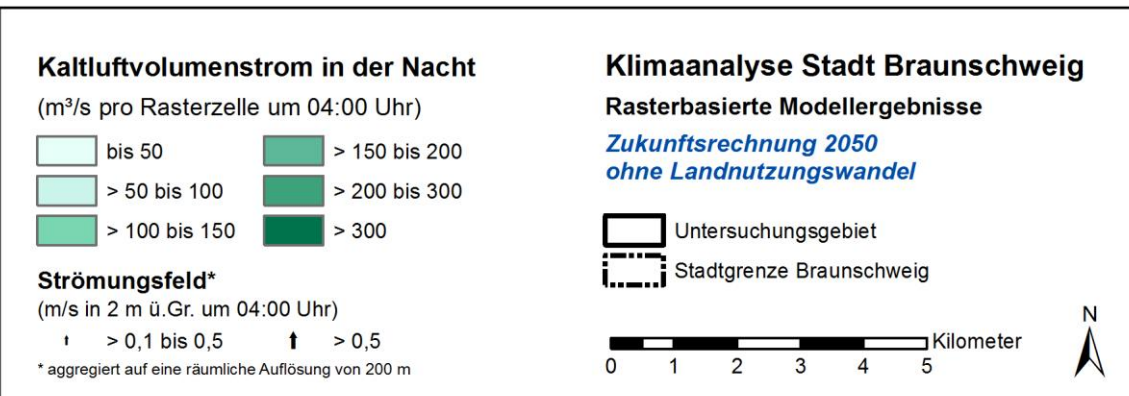
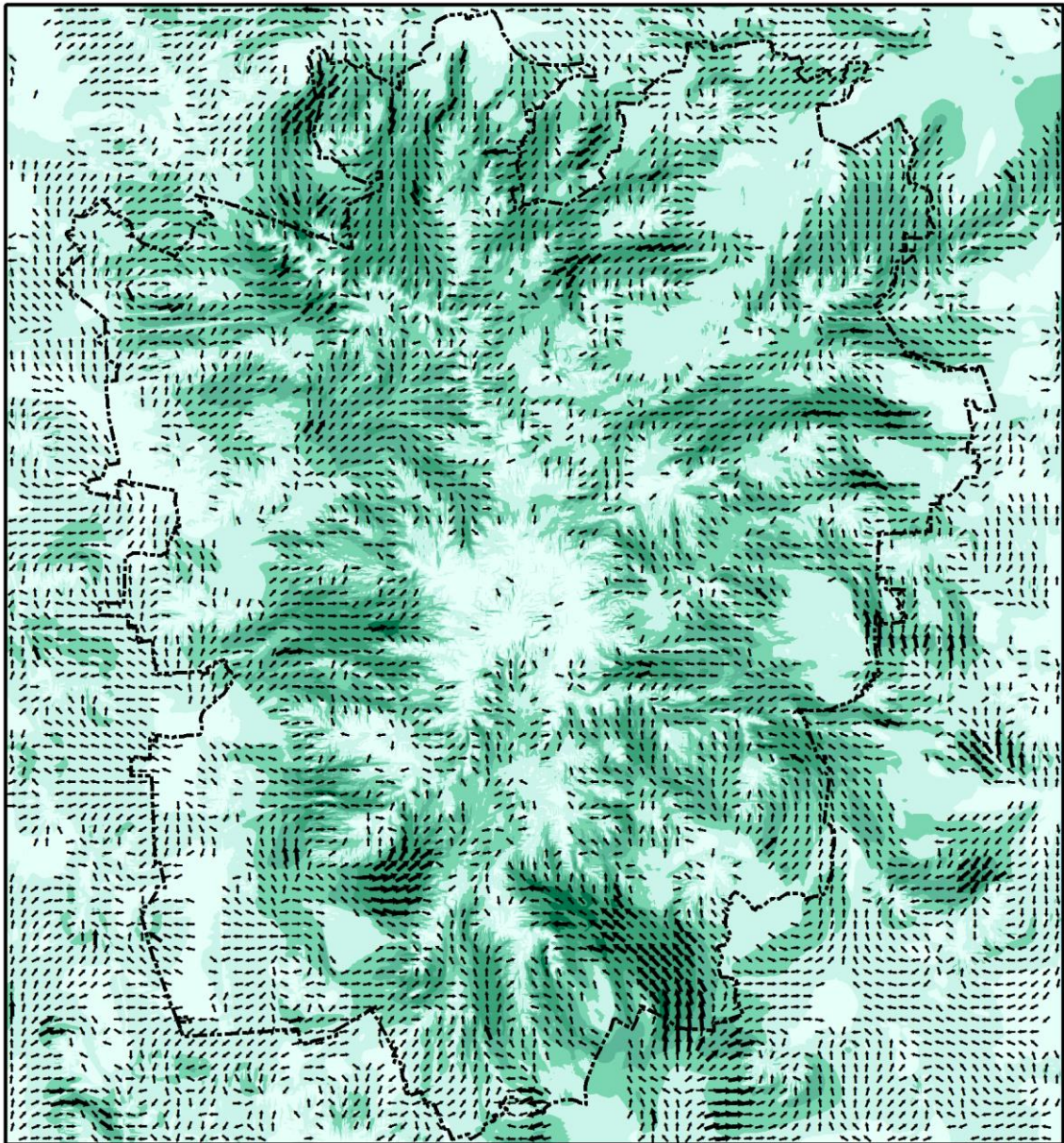


Abb. A 3: Nächtlicher Kaltluftvolumenstrom der Zukunftsrechnung 2050 im Untersuchungsgebiet

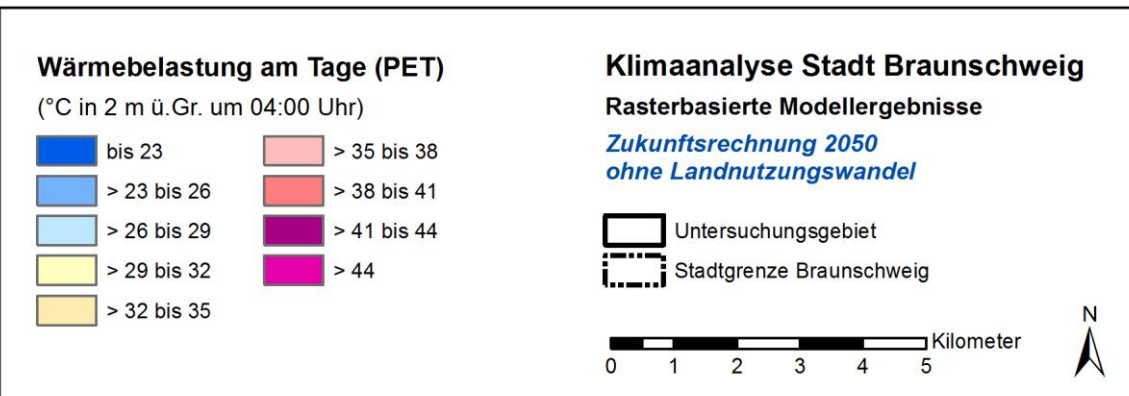
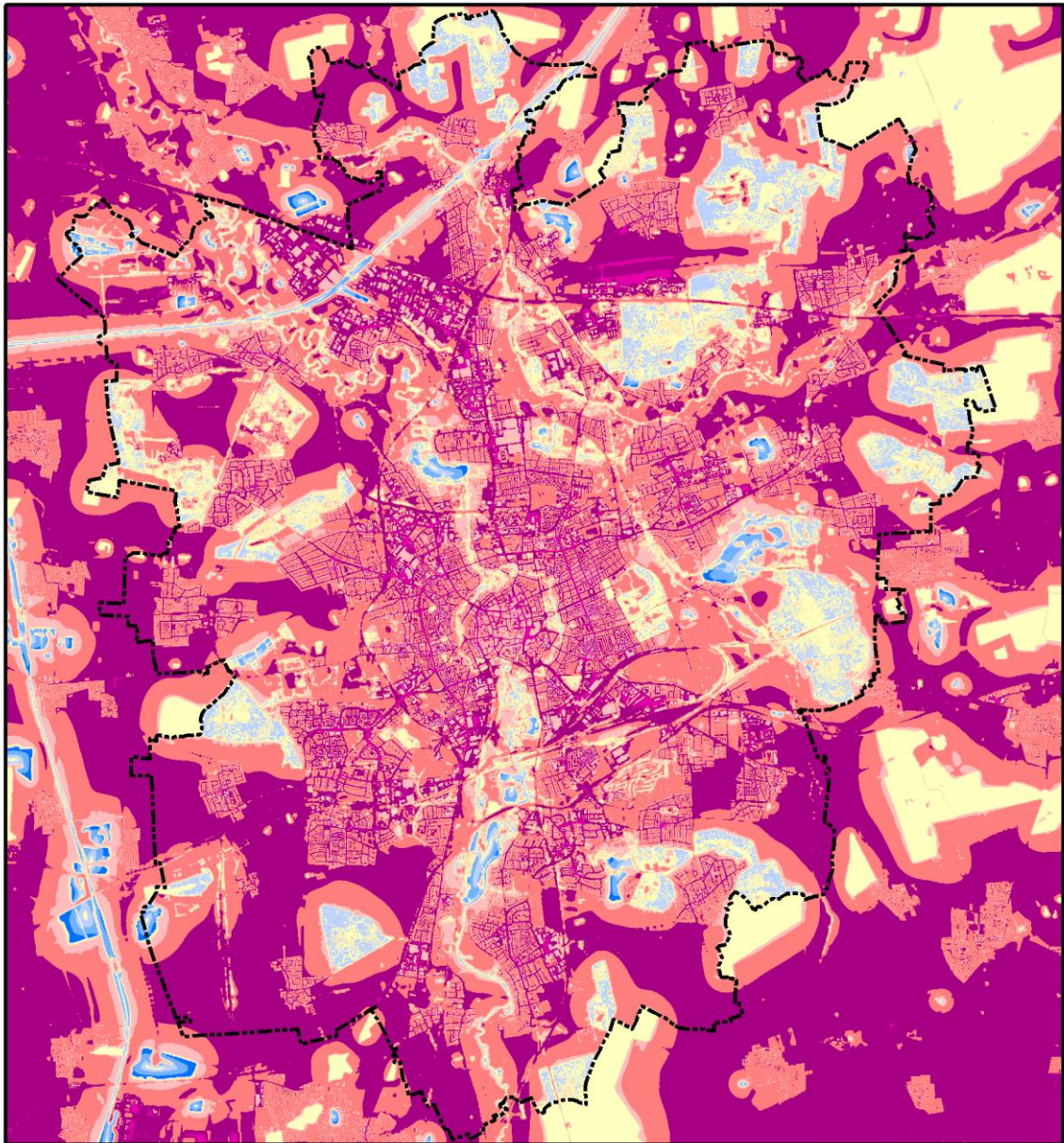
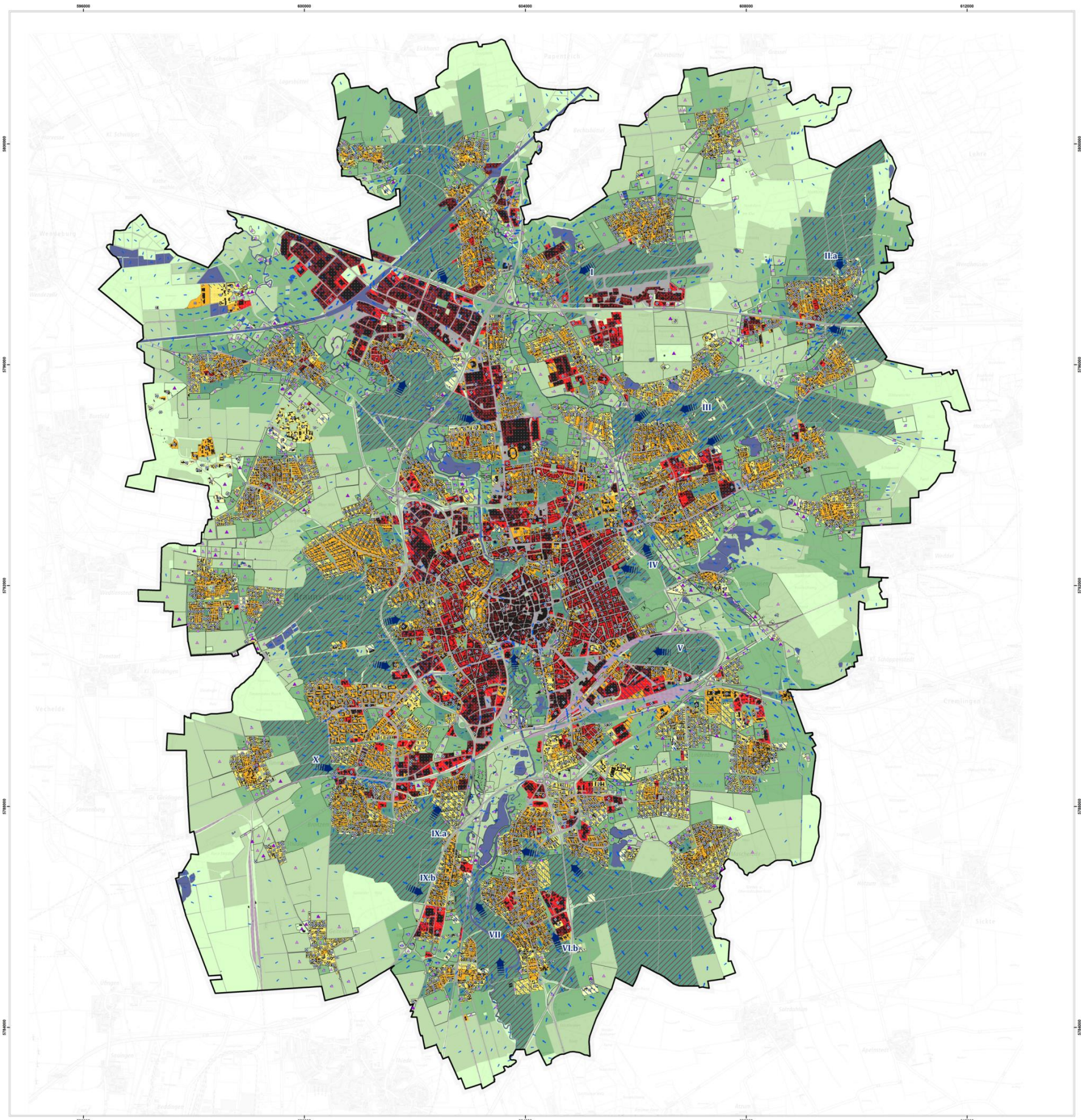


Abb. A 4: Wärmebelastung am Tage der Zukunftsrechnung 2050 im Untersuchungsgebiet (PET = Physiologisch Äquivalente Temperatur)



Stadtklimaanalyse Braunschweig: Planungshinweiskarte Nachtsituation (Ist- und Zukunftsszenario)

Grün- und Freiflächen - Ausgleichsräume
Im Falle einer Bebauung auf den Flächen selbst bzw. in ihrer näheren Umgebung muss die Bewertung ggf. neu vorgenommen werden.

- Sehr hohe bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten gänzlich vermieden bzw. sofern bereits planungsrechtlich zulässig unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung ist anzustreben und zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen).
- Hohe bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden.
- Mittlere bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.
- Geringe bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit und weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen.

Zukünftig höhere / deutlich höhere Bedeutung der Grünfläche (Bewertung 1 / 2-3 Stufen höher in 2050)

Siedlungs- und Gewerbeflächen - Wirkungsräume
Bauliche Eingriffe sollten nicht zu einer Verschlechterung auf der Fläche selbst bzw. angrenzenden Flächen führen.

- Sehr günstige bioklimatische Situation (Status quo)**
Vorwiegend offene Siedlungsstruktur mit guter Durchlüftung und einer geringen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierungen bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das sehr günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich. Der Vegetationsanteil sollte möglichst erhalten bleiben.
- Günstige bioklimatische Situation (Status quo)**
Geringe bis mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung bei Beachtung klimaökologischer Aspekte. Das günstige Bioklima ist zu sichern. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht notwendig. Freiflächen und der Vegetationsanteil sollten möglichst erhalten bleiben.
- Mittlere bioklimatische Situation (Status quo)**
Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Die Baukörperstellung sollte beachtet, Freiflächen erhalten und möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden.
- Ungünstige bioklimatische Situation (Status quo)**
Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sollten erhalten und der Vegetationsanteil erhöht werden (z.B. Begrünung von Blockinnenhöfen).
- Sehr ungünstige bioklimatische Situation (Status quo)**
Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün-/Freiflächen) erfolgen und eine Verbesserung der Durchlüftung angestrebt werden. Freiflächen sind zu erhalten und der Vegetationsanteil sollte erhöht sowie möglichst Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt werden (z.B. Pocket-Parks, Begrünung von Blockinnenhöfen).

Zukünftig höhere Belastungskategorie im Siedlungs-/Gewerbebau (Bewertung in 2050 mindestens 1 Stufe ungünstiger)

Luftaustausch (modelliertes Kaltluftströmungsfeld Status quo)

- Kaltluftleitbahn (Benennung: I, II, ..., XIII)
- Kaltluftvolumenstrom Mittel / Hoch / Sehr hoch
- Kaltluftentstehungsgebiet
- Kaltluftwirkungsbereich innerhalb der Bebauung

Sonstiges

- Gebäude
- Gleisfläche
- Straßen-/Parkplatzfläche
- Gewässer
- Gewerbefläche

Zukunfts-Szenario 2050 ohne Landnutzungswandel
Maßstab: 1 : 25 000 (bezogen auf DIN A0)
Koordinatensystem: UTM (ETRS89)

Auftraggeber: Stadt Braunschweig
Stadt Braunschweig
FB Stadtplanung u. Umweltschutz
Richard-Wagner-Straße 1
38106 Braunschweig

Auftragnehmer: GEO-NET Umweltconsulting GmbH
GEO-NET
Große Pfahlestraße 5 a
30161 Hannover
Tel. (0511) 385 72 00
Email: info@geo-net.de
Internet: www.geo-net.de

Im Hintergrund: Stadtplan (Stadt Braunschweig - Open GeoData, 2016, Lizenz: dl-de/by-2-0)

Hannover, Juli 2018

Abb. A 5: Planungshinweiskarte Nachtsituation



Stadtklimaanalyse Braunschweig: Planungshinweiskarte Tagsituation (Ist- und Zukunftsszenario)

Grün- und Freiflächen - Ausgleichsräume

Maßnahmen zur Verbesserung der Tagsituation sind auch hinsichtlich ihrer Wirkung auf die nächtliche Durchlüftung zu prüfen und sollten diese nicht einschränken.

- Sehr hohe bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Grünflächen mit einem hohen Maß an Verschattung und damit einhergehender hoher Aufenthaltsqualität, die fußläufig aus den belasteten Siedlungsgebieten erreicht werden können. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung), die gute Erreichbarkeit ist weiterhin zu gewährleisten.
- Hohe bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Siedlungsnahen Grünflächen mit einem durchschnittlichen Maß an Verschattung, bei denen der bioklimatisch positive Einfluss durch Vegetationselemente überwiegt. Verschattende Vegetationselemente sind zu erhalten und zu schützen (ggf. Bewässerung) bzw. ggf. auszubauen. Siedlungsfremde Grünflächen mit hoher Verschattung, die nicht in fußläufiger Erreichbarkeit liegen, aber als Rückzugsorte dienen können.
- Mittlere bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Frei- und Grünflächen mit einem Defizit an Verschattung (geringe Ausgleichsfunktion) bzw. unzureichender Erreichbarkeit aus belasteten Siedlungsräumen (nicht als Rückzugsort geeignet). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
- Geringe bioklimatische Bedeutung (Status quo)**
Freiflächen bzw. siedlungsfremde Grünflächen mit wenig Schatten und intensiver solarer Einstrahlung (vorwiegend Rasen- bzw. landschaftliche Nutzflächen). Innerhalb des Siedlungsgebiets sind verschattende Vegetationselemente zu entwickeln bzw. auszubauen (Erhöhung der Mikroklimavielfalt).
- Zukünftig höhere Bedeutung der Grünfläche (Bewertung 1 Stufe höher in 2050)**

Sonstiges

- Gebäude
- Gewässer
- Gleisfläche
- Gewerbefläche

Siedlungs- und Gewerbeflächen sowie Straßen, Wege und Plätze - Wirkungsräume

- Sehr geringe bioklimatische Belastung (Status quo)**
Es liegen bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein hoher Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
- Geringe bioklimatische Belastung (Status quo)**
Es liegen überwiegend bioklimatisch günstige Bedingungen sowie ein ausreichender Grünanteil vor, die es jeweils zu erhalten gilt. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind nicht erforderlich, sollten bei wichtigen Fuß- bzw. Radwegen und Plätzen jedoch geprüft werden.
- Mittlere bioklimatische Belastung (Status quo)**
Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen, z.B. in Form von Verschattungselementen bzw. zusätzlicher Begrünung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausgleichsräume sollten fußläufig erreichbar und zugänglich sein.
- Hohe bioklimatische Belastung (Status quo)**
Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung und Verschattung sowie ggf. Entseigerung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
- Sehr hohe bioklimatische Belastung (Status quo)**
Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sehr hoher Bedarf an Anpassungsmaßnahmen wie zusätzlicher Begrünung (z.B. Pocket-Parks), Verschattung und Entseigerung. Dies gilt auch für Flächen des fließenden und ruhenden Verkehrs (insb. Fuß- und Radwege sowie Plätze). Ausreichend Ausgleichsräume sollten fußläufig gut erreichbar und zugänglich sein.
- Zukünftig höhere Belastungsklasse im Siedlungs-/Gewerbebereich bzw. über Straßen, Wegen, Plätzen (Bewertung in 2050 mindestens 1 Stufe ungünstiger)**

Zukunfts-Szenario 2050 ohne Landnutzungswandel

Maßstab: 1 : 25 000 (bezogen auf DIN A0)

Koordinatensystem: UTM (ETRS89)

0 1 2 Kilometer

Im Hintergrund: Stadtplan (Stadt Braunschweig - Open GeoData, 2016, Lizenz: dl-de/by-2-0)

Auftraggeber: Stadt Braunschweig

Stadt Braunschweig
FB Stadtplanung u. Umweltschutz
Richard-Wagner-Straße 1
38106 Braunschweig



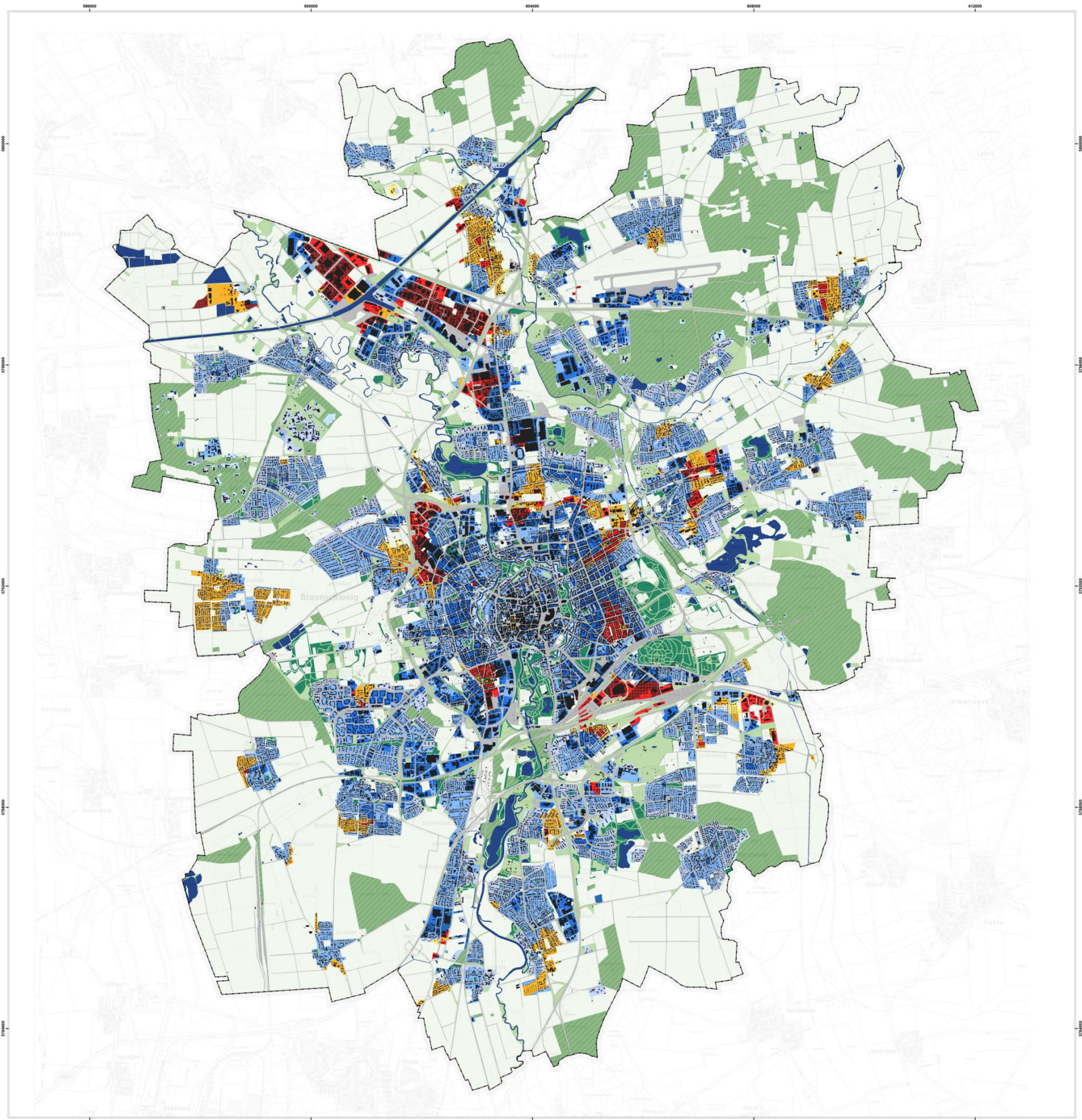
Auftragnehmer: GEO-NET Umweltconsulting GmbH

GEO-NET
Große Pfahlestraße 5a
30161 Hannover
Tel. (0511) 385 72 00
Email: info@geo-net.de
Internet: www.geo-net.de



Hannover, Juli 2018

Abb. A 6: Planungshinweiskarte Tagsituation



Sensitivitätsanalyse Braunschweig: Entlastungs-/Defiziträume Stadtgrün (Ist-Szenario)

Siedlungs- und Gewerbeflächen (Tagsituation)		Grünflächen		<p>1) Sehr gute fußläufige Erreichbarkeit des Entlastungsraums (300 m Luftlinie) bzw. fußläufige Erreichbarkeit großflächiger Entlastungsräume ab 10 ha (700 m Luftlinie).</p> <p>2) Bedingung aus 1) ist nicht erfüllt.</p> <p>3) Bewertungen basieren auf der Planungshinweiskarte Tagsituation (PHK) 2017 (thermische Belastung am Tage, Verschattung)</p> <p>4) Grünflächen, die bei starker Wärmebelastung einen Rückzugsort für die Bevölkerung darstellen können (mindestens mittlere Verschattung; öffentlich zugängliche Parks und Friedhöfe basierend auf einer von der Stadt Braunschweig zur Verfügung gestellten Flächenkulisse, Waldareale basierend auf ALKIS-Daten sowie Luftbildgleich)</p>
...ohne Gründefizit ¹		...mit Gründefizit ²		
<ul style="list-style-type: none"> Sehr geringe bioklimatische Belastung³ Geringe bioklimatische Belastung Mittlere bioklimatische Belastung Hohe bioklimatische Belastung Sehr hohe bioklimatische Belastung 	<ul style="list-style-type: none"> 	<ul style="list-style-type: none"> Entlastungsraum Stadtgrün (öffentlich zugänglich) Entlastungsraum Wald 		
Sonstiges		Grünflächen außerhalb des Entlastungsraums		
<ul style="list-style-type: none"> Gebäude Gewässer Verkehrsfläche Gewerbefläche 	<ul style="list-style-type: none"> Mittlere - hohe Verschattung³ Geringe Verschattung / Freifläche 			

Maßstab: 1 : 25 000 (bezogen auf DIN A0)
 Koordinatensystem: UTM (ETRS89)

0 1 2 Kilometer

Im Hintergrund: Stadtplan (Stadt Braunschweig - Open GeoData, 2016, Lizenz: dl-de/by-2-0)

N

Auftraggeber: Stadt Braunschweig

Stadt Braunschweig
 FB Stadtplanung u. Umweltschutz
 Richard-Wagner-Straße 1
 38106 Braunschweig

Auftragnehmer: GEO-NET Umweltconsulting GmbH

GEO-NET
 Große Pfahlestraße 5 a
 30161 Hannover
 Tel. (0511) 385 72 00
 Email: info@geo-net.de
 Internet: www.geo-net.de

Hannover, Juli 2018

Abb. A 7: Gründefizitanalyse für die Tagsituation und das Ist-Szenario

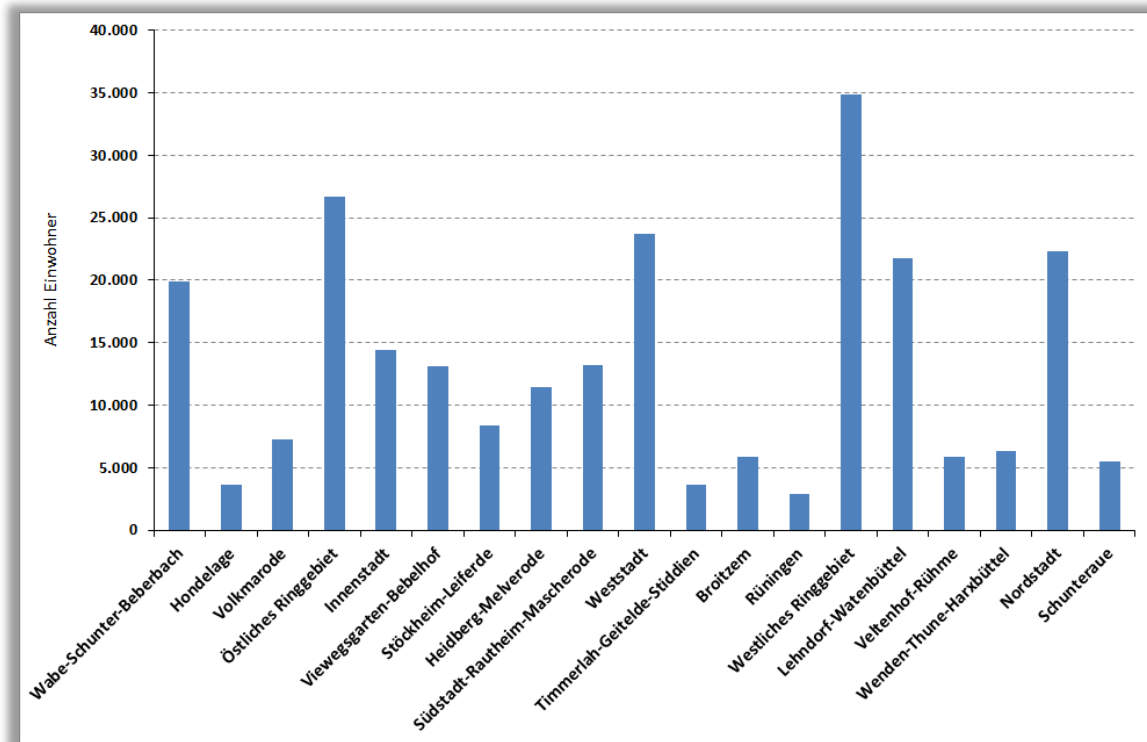


Abb. A 8: Einwohnerzahlen nach Stadtteilen (Stand 2016; nach Stadt Braunschweig (2017b))

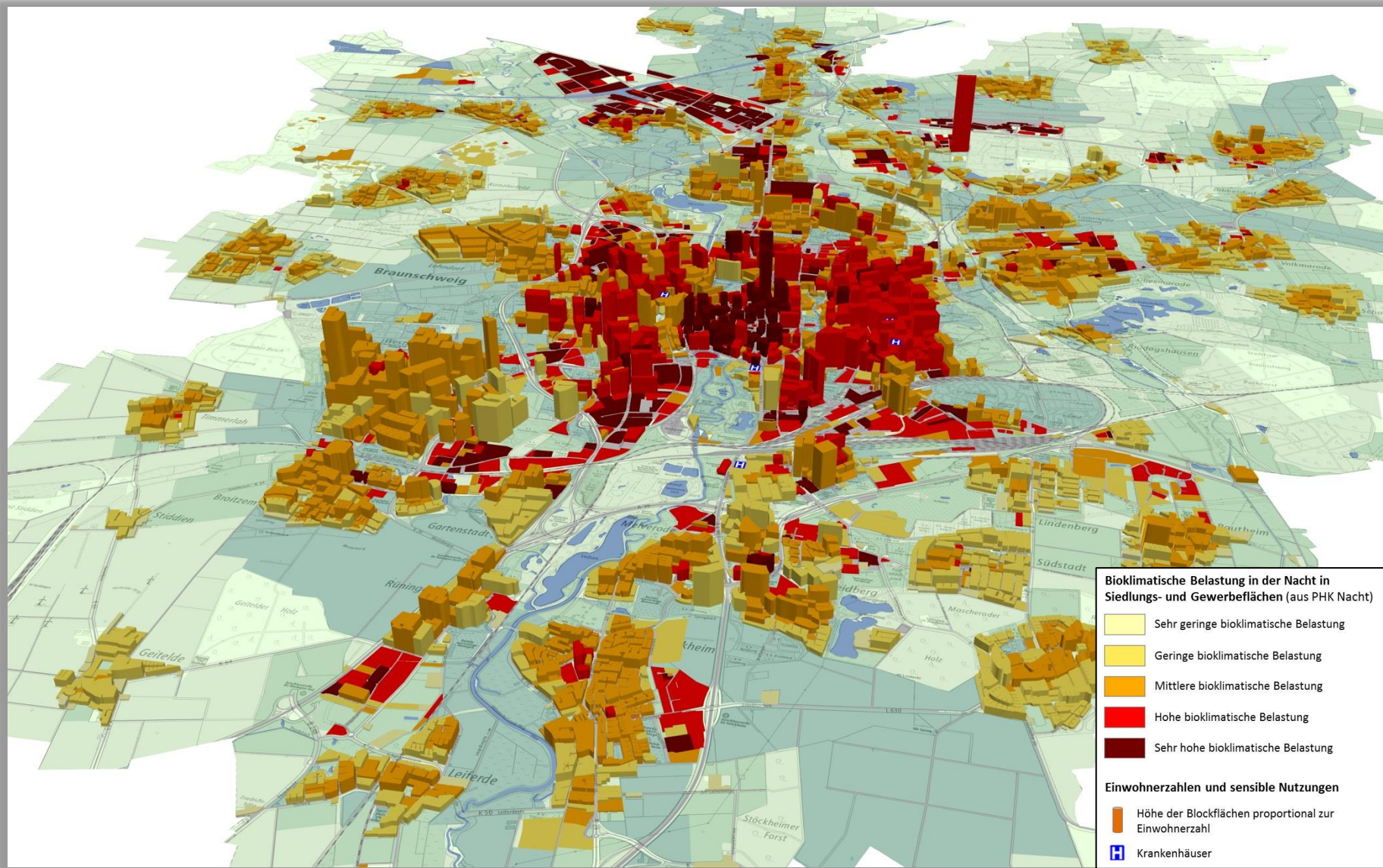


Abb. A 9: Thermische Belastung und Einwohnerzahlen in Siedlungs-/Gewerbegebieten in Braunschweig (basierend auf der PHK Nachtsituation und Stadt Braunschweig (2017b))