

# Klimaökologische Analyse der Stadt Helmstedt

Klimaangepasst Planen

ENTWURF

Mai 2022

### **Auftraggeber (AG)**

Stadt Helmstedt – FB Planen und Bauen

Holzberg

Helmstedt



**HELMSTEDT**  
Stadt der Einheit

### **Ansprechpartnerin**

Frau Louisa Biston

Tel.: +49 5351 17 5211

E-Mail: [louisa.biston@stadt-helmstedt.de](mailto:louisa.biston@stadt-helmstedt.de)

### **Auftragnehmer (AN)**

Burghardt und Partner, Ingenieure

Am Sonnenhang 4

34128 Kassel

### **BearbeiterIn**

René Burghardt

Joann Richtzenhain

Frederik Hilden

### **Ansprechpartner**

Dr. René Burghardt

Tel.: +49 561 76678963

E-Mail: [info@lp-kassel.de](mailto:info@lp-kassel.de)



**BPI**

Burghardt und Partner, Ingenieure

### **Gestattungserklärung / Erklärung des Verfassers:**

Hiermit überträgt der Auftragnehmer dem Auftraggeber die Nutzungsrechte hinsichtlich der vorliegenden Ausarbeitung

**KLIMAÖKOLOGISCHE ANALYSE DER STADT HELMSTEDT** uneingeschränkt, zur öffentlichen Verwendung.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter. Insofern nicht anders angegeben gilt für alle Abbildungen und Tabellen als Quelle:

Burghardt und Partner, Ingenieure (BPI)

Unterschrift

Stempel

gez. Burghardt

---

Dr. René Burghardt

## Inhaltsverzeichnis

### Inhalt

1.	Einleitung .....	5
1.1.	Auftragsgegenstand .....	5
2.	Fachlicher Hintergrund .....	6
2.1.1.	Stadtklima .....	6
2.1.2.	Temperatur und städtische Wärmeinsel .....	7
3.	Charakterisierung des Untersuchungsraums.....	8
4.	Klimatisch-planerische Analyse .....	10
4.1.	Klimatische Charakteristik der Region .....	10
4.1.1.	Temperatur und Niederschlag .....	11
4.1.2.	Extremwerte .....	12
4.1.3.	Ereignistage .....	12
4.2.	Planungsrelevante Themenkarten.....	14
4.2.1.	Vegetationserfassung.....	15
4.2.2.	Vegetationsdichte .....	17
4.2.3.	Bodennahe Lufttemperatur (nachts 04:00 Uhr).....	19
4.2.4.	BlueSpots „.....	21
5.	Zusammenfassung.....	26
6.	Anhang.....	27
6.1.	Glossar.....	27
6.2.	Abbildungsverzeichnis.....	30
6.3.	Tabellenverzeichnis.....	30
6.4.	Datenverzeichnis.....	31
6.5.	Literaturverzeichnis.....	31

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich
°C	Grad Celsius
bspw.	beispielsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
DWD	Deutscher Wetterdienst
GIS	Geoinformationssystem
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kg	Kilogramm
km	Kilometer
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m	Meter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mm	Millimeter
ha	Hektar
NHN	Normalhöhennull
RCP	Representative Concentration Pathways
s	Sekunde
ü.	über
z.B.	zum Beispiel
ggf.	gegebenenfalls
vgl.	vergleiche
o.ä.	oder ähnliches
sog.	sogenannt/e

## 1. Einleitung

Die zunehmende Temperaturverschiebung, insbesondere die Zunahme der Sommertage ( $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) und Tropennächte ( $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ), sowie das verstärkte Auftreten von Extremwetterereignissen (bspw. Starkregen oder Hitzewellen) rücken immer stärker in den Fokus der Stadt- und Landschaftsplanung. Insbesondere durch die Akkumulation der Wärme innerhalb des urbanen Umfelds kann es bereits in mittelgroßen Städten zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel kommen, was zu verstärkten thermischen Beeinflussung von Baustrukturen (und Infrastruktur) sowie bioklimatischer Belastung für Menschen, Tiere und Pflanzen führt. In Anbetracht der weiter voranschreitenden Klimaveränderung ist es daher eine wichtige Aufgabe der Kommunen, klimatische Aspekte bei der Stadtentwicklung systematisch zu berücksichtigen. Belastungen müssen durch eine vorausschauende Stadtplanung und die Umsetzungen von individuellen Klimaanpassungsmaßnahmen gezielt für das Umfeld abgebaut werden.

### 1.1. Auftragsgegenstand

Ziel des Angebotes ist die Entwicklung eines Grünflächenkonzeptes für den durch den Auftraggeber (AG) definierten innerstädtischen Bereich, dass unter ökologischen Gesichtspunkten vielfältig nutzbare Straßenräume schafft und insbesondere auf Teilflächen die Erdgeschossnutzung der Gebäude auf Möglichkeiten einer Außenbewirtschaftung mitdenkt.

Folgenden Hauptzielsetzungen werden im Rahmen der Konzepterstellung verfolgt:

- Für die Innenstadt liegt der Fokus insbesondere auf der Bespielung von Außen- und Freiräumen.
- Attraktivere Situationen zum Verweilen sollen geschaffen werden.
- Unter Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels Lebensqualität im Innerstädtischen Bereich schaffen und erhalten. Speziell im Hinblick auf Extremwetterereignisse (Hitzeperioden und Starkregenereignisse)

Das Konzept sollte schrittweise umsetzbar sein und eine lebendige und attraktive Innenstadt entstehen lassen (z.B. verbessern der (Aufenthalts-) Qualität von Plätzen und Straßenräumen). Dazu müssen die Bedarfe und die jeweiligen Umsetzbarkeiten der Maßnahmen geprüft werden.

Bei allen Untersuchungen und Maßnahmen liegt ein besonderes Augenmerk auf der Verbesserung des ökologischen Zustandes von Flora und Fauna sowie auf der Berücksichtigung von Wetterextremen wie Hitze und Starkregen. Auch der Denkmalschutz sollte Beachtung finden.

## 2. Fachlicher Hintergrund

### 2.1.1. Stadtklima

Der städtische Siedlungsraum unterscheidet sich hinsichtlich seiner klimatischen Wirkungsweise deutlich von seinem unbebauten Umfeld. In Städten und Ballungsräumen herrscht das sogenannte Stadtklima, welches sich aus der menschengemachten Modifikation des natürlichen Mesoklimas (Lokalklimas) ergibt. Während das Meso- und Mikroklima (Kleinklima) mitunter standortbedingt von den globalen Klimaverhältnissen (Makroklima) beeinflusst wird, liegen die Hauptursachen stadtklimatischer Veränderungen in der urbanen Bebauung, Abwärme und Luftbeimengung (Hupfer und Kuttler 1998).

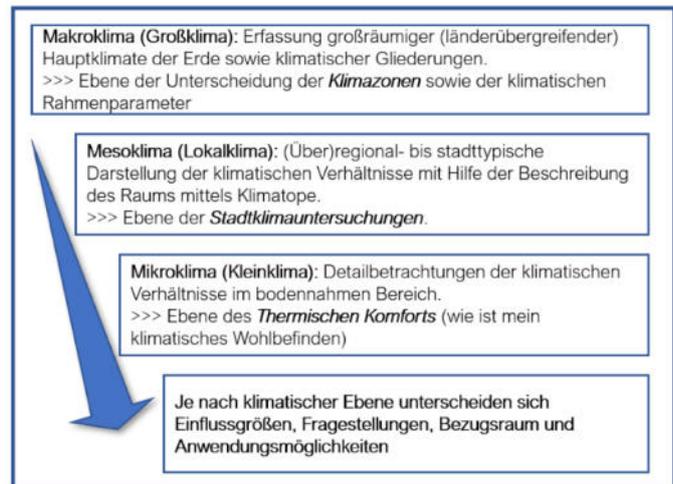


Abbildung 1 Abfolge der Klimaebenen

Das Stadtklima wirkt sich rückwirkend auf die meso- und mikroklimatische Ebene aus, wobei seine konkrete Ausprägung in Abhängigkeit von den vorhandenen Klimaeinflussfaktoren und Klimamodifikatoren variiert (vgl. Tabelle 1). Hiervon unterscheiden sich einige stadtteilbezogen nur wenig (z.B. Sonneneinstrahlung, Niederschlag); andere wiederum, die z.B. durch das Wärmespeichervermögen von Baustoffen, die Versiegelung des Bodens oder anthropogene Abwärme etc. bedingt werden, können spürbar große Unterschiede aufweisen. Auf der mikroklimatischen Ebene machen sich diese im Bereich von Gebäuden, Straßenzügen und Grünanlagen unmittelbar für Menschen, Tiere und Pflanzen bemerkbar.

Tabelle 1 Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkung (rechte Spalte) im städtischen Raum

Parameter   Ursache	Wirkung   Risiko
Beeinflussung durch Oberflächengeometrie, aerodynamische Rauigkeit, Wärmeinseleffekt	Windfeldveränderungen, Turbulenzen
Oberflächenversiegelung	Reduzierte Retentionsfähigkeit (kumulativ)
Oberflächenversiegelung, geringer Grünflächenanteil	Reduzierte Verdunstung
Reduzierte Retentionsfähigkeit	Gefahr von Überschwemmungen
Reduzierte Verdunstung und erhöhte Wärmespeicherung durch Bebauung	Temperaturerhöhung
Temperaturerhöhung	Vorhandensein wärmeliebender Pflanzenarten
	Hitzestress, thermische Belastung
	Anstieg der hitzebezogenen Vulnerabilität unterschiedlicher Bevölkerungsgruppen

## 2.1.2. Temperatur und städtische Wärmeinsel

Ähnlich unterschiedlich wie die Ursachen für die Modifikation des städtischen Mesoklimas sind die Auswirkungen des Stadtklimas auf Menschen, Tiere und Pflanzen. Obwohl nicht alle Eigenschaften des Stadtklimas generell schädlich sind (!), werden viele der stadtklimatischen Wirkungskomplexe wegen ihrer Auswirkung auf die städtische Infrastruktur, das Wohlbefinden oder die Gesundheit der Stadtbewohner negativ konnotiert. Ein solcher Wirkungskomplex ist der städtische Wärmeinseleffekt, der aus der Wechselwirkung von verschiedenen Faktoren und Effekten im urbanen Kontext resultiert. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

Städte tragen stets zur Erwärmung der Lufttemperatur bei; im Jahresmittel sind sie durchschnittlich um 1 bis 2 °C wärmer als die sie umgebende Landschaft (Matzarakis et al. 2008; Kuttler 2011). Der Mittelwert der Lufttemperatur wird langfristig durch urbane Charakteristika wie die Bebauung und die damit einhergehende Bodenversiegelung beeinflusst. Wird beispielsweise der Versiegelungsgrad innerhalb eines Quartiers um 10 % erhöht, steigt auch der Lufttemperaturmittelwert um ca. 0,2 °C gegenüber seiner unbebauten Umgebung an. Dieser Wert kann in Hinsicht auf einzelne Tageswerte, sprich Temperaturminima und -maxima, bei Strahlungswetterlagen noch stärker überschritten werden (Bründl et al. 1986).

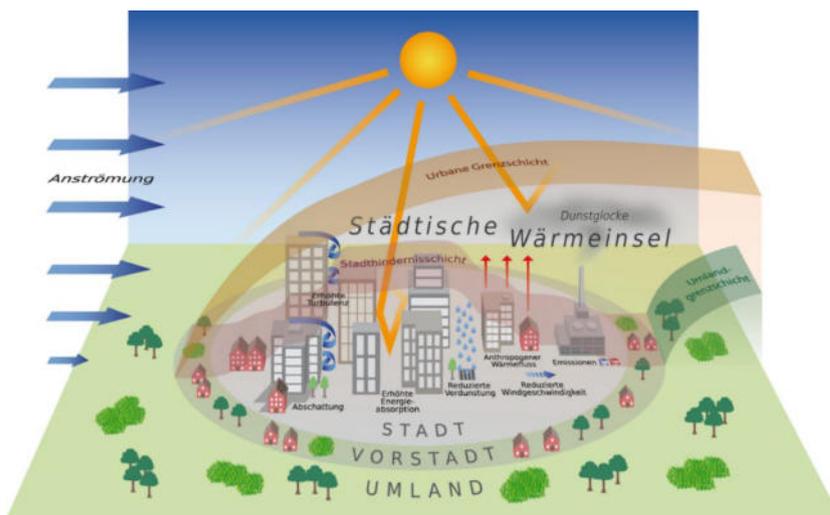


Abbildung 2 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017)

Ergänzend zu der eigentlichen Bebauung spielen auch die Eigenschaften der eingesetzten Materialien (Absorptionsvermögen, Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeemissionsvermögen und Verdunstungsfähigkeit) sowie die Kubaturen, die Baumassen und die Bebauungsmorphologie im Kontext des Überwärmungsrisikos städtischer Räume eine bedeutende Rolle.

Aus diesem Zusammenspiel urbaner Eigenschaften und klimatischer Effekte entsteht die ballungsraumtypische Wärmeinsel. Sie ist durch eine starke Erwärmung am Tag und eine nur eingeschränkte Abkühlung während der Nacht geprägt. Die akkumulative Intensität dieses Effekts kann durch Extremwetter wie länger anhaltende Hitzeperioden zusätzlich verstärkt werden, welche im Zuge des Klimawandels häufiger auftreten. In dieser Form stellt der Effekt der städtischen Wärmeinsel ein gesundheitsbedingtes Risiko für eine ebenfalls zunehmende Zahl an hitzevulnerablen Menschen, Tieren und Pflanzen dar und zählt somit zu den negativen Effekten des Stadtklimas.

### 3. Charakterisierung des Untersuchungsraums

Die Stadt Helmstedt stellt den weiteren Untersuchungsraum im Rahmen der vorliegenden Untersuchung dar. Im Detail und eigentlicher Auftragsgegenstand ist der „React“ Fokusraum im historischen Stadtzentrum.

Der Fokusraum umfasst eine Fläche von 17,33 ha. Dabei erstreckt sich das topographische Profil des „React“ Fokusraums von 121 m bis 141 m. Dabei liegen die niedrigsten Punkte im Norden, im Nordwesten und Westen. Nach Süden steigt das Gelände leicht an. Der höchste Punkt findet sich südwestlich der „Kornstraße“. Für den gesamten Siedlungsraum liegt eine Höhendifferenz von 63,26 m vor. Diese Differenz erstreckt über den Wertebereich von 111,5 m bis 174,76 m. Dabei liegt hier jedoch das Höhenmaximum im Osten („Magdeburger Tor“ / „Bundesstraße 1“ und Norden (BAB 2)).

Abbildung 3 überlagert die topographische Ausprägung des Untersuchungsgebiets mit der Darstellung identischer Oberflächenabflussgebiete und zentraler Abflussachsen. Besonders im Norden und Westen des Kartenausschnitts gestaltet sich die topographische Situation des Stadtgebiets weitgehend homogen: Die Hänge sind hier selten stärker als 5 – 20 % geneigt. Vor diesem Hintergrund sind die stärker ausgeprägten Hangneigungen im Nordwesten, Süden und Nordosten des Untersuchungsgebiets vergleichsweise auffällig. Der sich im Nordosten befindliche Wall, welcher noch Teile des historischen Stadtkerns umschließt, ist > 40 % stark in Richtung Süden und Norden geneigt; nordwestlich des „React Fokusraums“, zwischen den Straßen „Braunschweiger Tor“ und „Trittweg“, ist das Gelände ebenfalls erhöht. Die Kirche an der „Klosterstraße“ markiert den höchsten Punkt dieses Hügels. Der südliche Teil des Fokusraums wird durch das mitunter stark in Richtung Süden ansteigende Gelände gekennzeichnet. Entgegen der südlichen Anstiegsrichtung verlaufen einige zentrale Abflussachsen der topographischen Ausprägung entsprechend Richtung Norden – dem Gefälle folgend – in und durch den Fokusraum hindurch. Hierbei fließt das Wasser auf der „Korn-“ und „Schuhstraße“, „Bauer-“ / „Stobenstraße“, „Gröpern“ sowie der „Leuckartstraße“ von Süden nach Norden durch den Fokusraum bis hin zur von Osten nach Nordwesten verlaufenden „Albrecht-“ und „Conrigstraße“, auf welcher diverse Abflussachsen münden und weitergeleitet werden.

# Charakterisierung des Untersuchungsraums

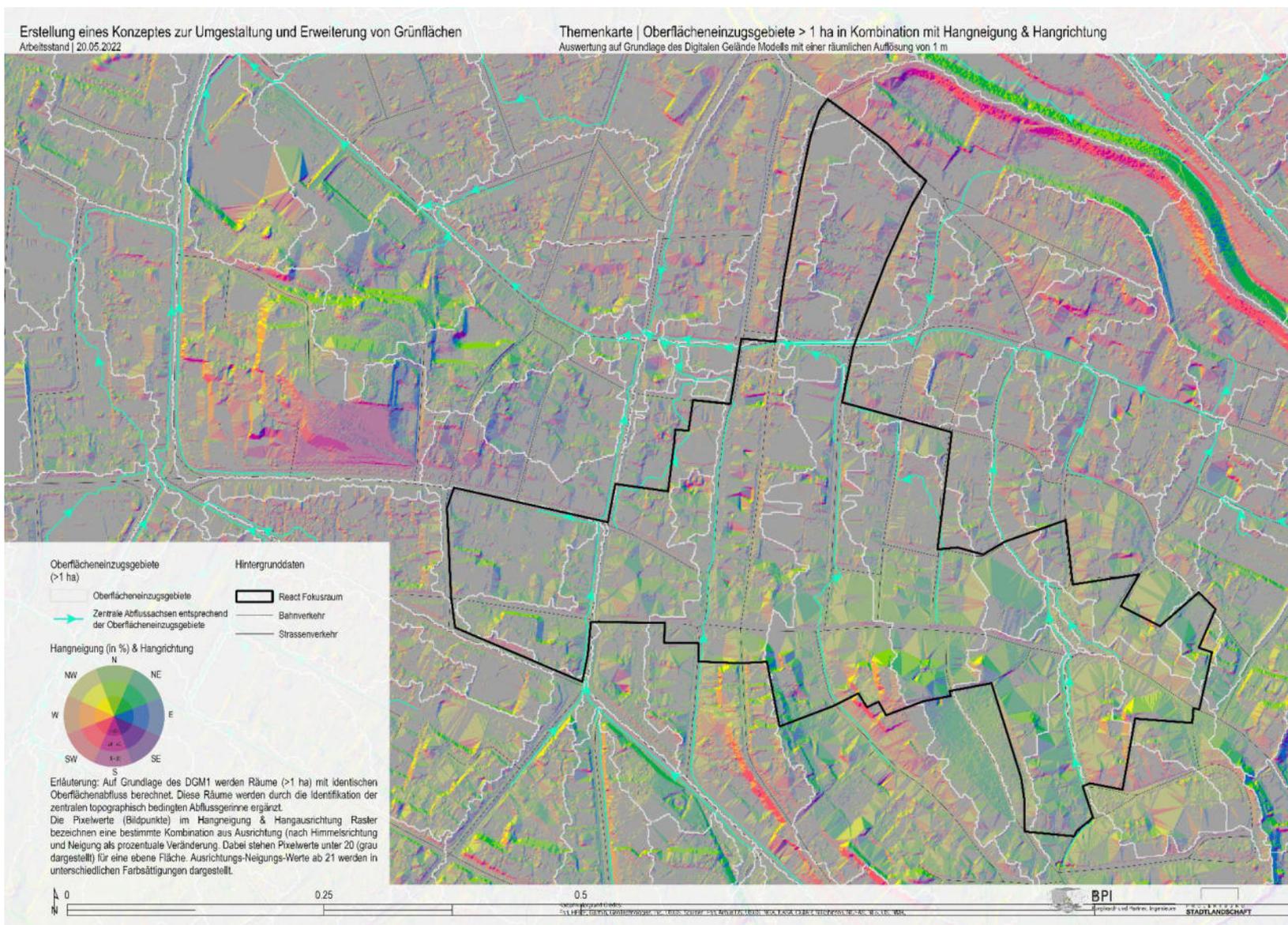


Abbildung 3 Oberflächeneinzugsgebiete > 1 ha in Kombination mit Hangneigung und Hangrichtung für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum

## 4. Klimatisch-planerische Analyse

### 4.1. Klimatische Charakteristik der Region

Die Stadt Helmstedt liegt nördlich des Harzes in einer Region, die einen Übergangsbereich zwischen maritimer und submaritimer thermoklimatischer Typisierung beschreibt (vgl. Abbildung 4). Dabei bedeutet dies eine mittlere jährliche Temperaturschwankung im Bereich zwischen 17 °Kelvin und 18 °Kelvin. Diese Einschätzung spiegelt sich ebenfalls in der statistischen Auswertung zum jährlichen Temperaturverlauf (siehe Kapitel 4.1.1, Abbildung 5) wider. Entsprechend der pluvioklimatischen Typisierung zählt die Region der Stadt Helmstedt zu den, im Gesamtdeutschen Kontext niederschlagsbenachteiligten Gebieten. Damit werden Regionen mit einer Jahresniederschlagssumme von weniger als 600 mm beschrieben. Dies deckt sich mit den statistischen Auswertungen der Niederschlagsmengen (siehe Kapitel 4.1.1).

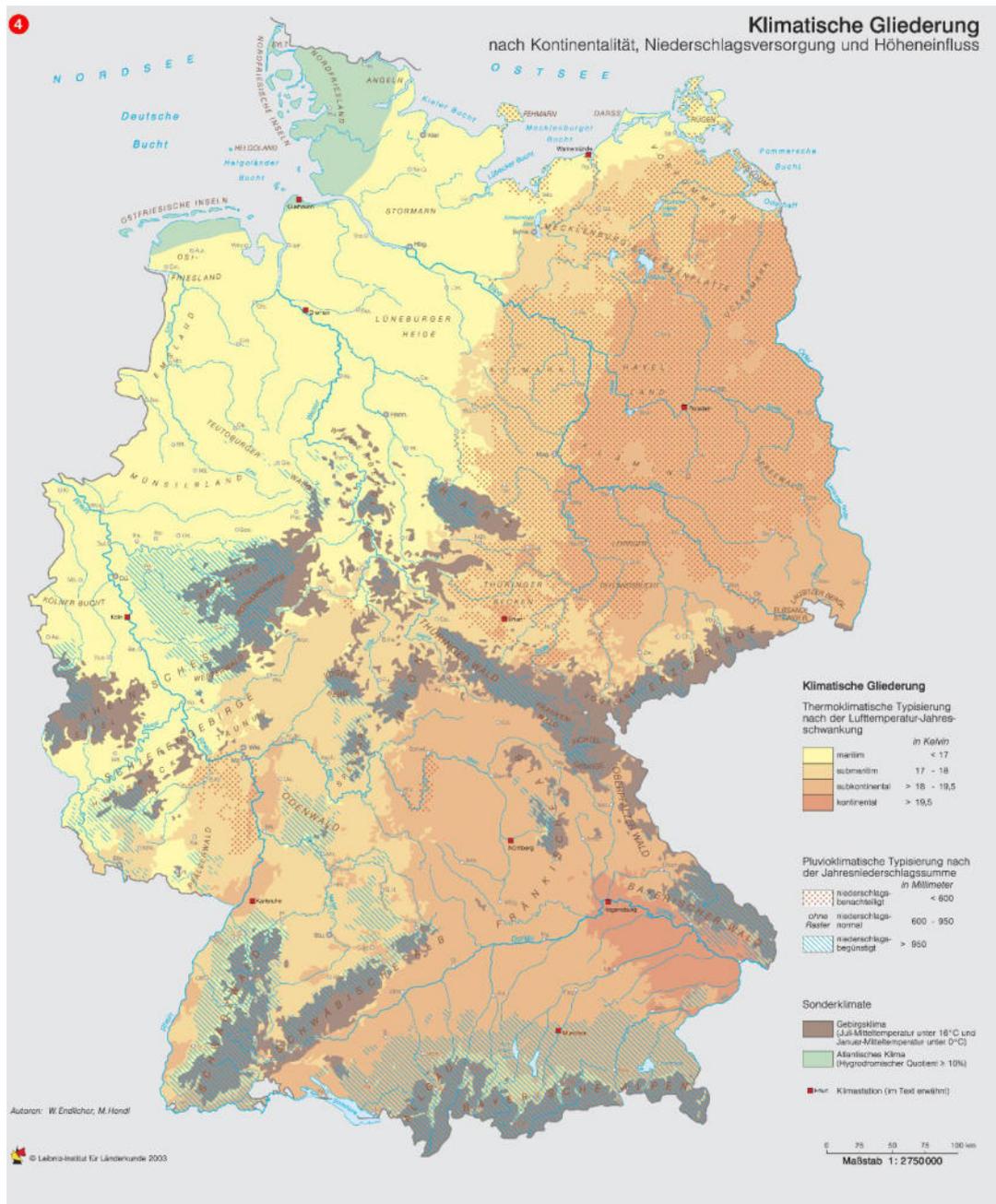


Abbildung 4 Klimatische Gliederung der Bundesrepublik Deutschland nach Kontinentalität, Niederschlagsversorgung und Höheneinfluss (Leibniz-Institut für Länderkunde, 2003)

### 4.1.1. Temperatur und Niederschlag

Die Betrachtung des jährlichen Temperaturverlaufs sowie des Niederschlagsaufkommens bietet eine nützliche klimatische Charakterisierung des Raums, um diese im Kontext der Stadt- und Landschaftsplanung auf zur Anwendung zur bringen. Abbildung 5 beschreibt den jährlichen mittleren Temperaturverlauf nach Monaten für die aktuelle Situation (2008 – 2021) sowie für die Mitte (2041 – 2050) und das Ende (2091 – 2100) des laufenden Jahrhunderts auf Grundlage des aktuellen Klimawandel Trendszenarios RCP8.5. Dabei zeigt sich das der Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen während des gesamten Jahres auftritt. Eine besondere Signifikanz ist für Ende des Jahrhunderts in den Wintermonaten erkennbar. Hier steigt die Durchschnittstemperatur für den Monat Januar beispielsweise um 4 °C, wodurch weniger Schneetage zu erwarten sind, und entsprechend höhere Niederschläge. In den Sommermonaten (Juni, Juli, August) findet eine Zunahme von im Durchschnitt 2,23 °C statt. Dieser Anstieg führt wiederum zu einem massiven Anstieg im Auftreten von Sommertagen und Heißen Tagen zum Ende dieses Jahrhunderts (vgl. Kapitel 4.1.3, Abbildung 7).

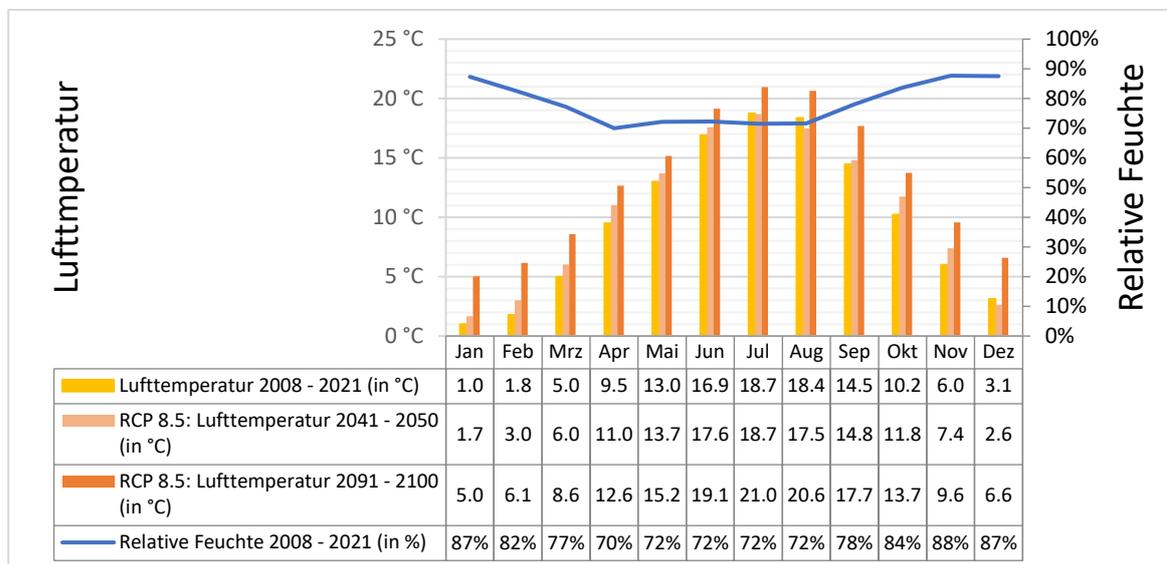


Abbildung 5 Lufttemperatur und relative Feuchte im Jahrgang nach Monaten sortiert, aktuell (2008 bis 2021) sowie für die Mitte (2041 - 2050) und das Ende (2091 - 2100) des Jahrhunderts

Die Betrachtung der Niederschlagsverteilung verdeutlicht einen heterogenen Jahrgang (Abbildung 6). Dabei beschreibt der April den mit Abstand niederschlagsärmsten Monat mit 27 l/m<sup>2</sup>. Gleichzeitig stellen die typischerweise auch wärmsten Sommermonate, Juli und August mit 62 l/m<sup>2</sup> auch die niederschlagsreichsten Monate im Jahresverlauf dar. Damit ergibt sich für die Region Helmstedt eine besondere Planungsvarianz. Zum einen herrscht während Beginn der Vegetationsphasen eine verminderte Niederschlagsversorgung, was sich defizitär auf das Pflanzenwachstum auswirken kann, zum anderen stellen die Monate Mai bis August die niederschlagsreichen Monate dar, was vor dem Hintergrund der steigenden Durchschnittstemperaturen positiv zu bewerten ist. Gleichzeitig besteht jedoch das Risiko, dass ein (Groß)Teil des Niederschlags in Form von Starkregenereignissen niedergeht, wodurch dem Erhalt und Förderung von Vegetationsstrukturen in Kombination mit Schaffung von naturnahen Retentionsräumen eine besondere Bedeutung zukommt.

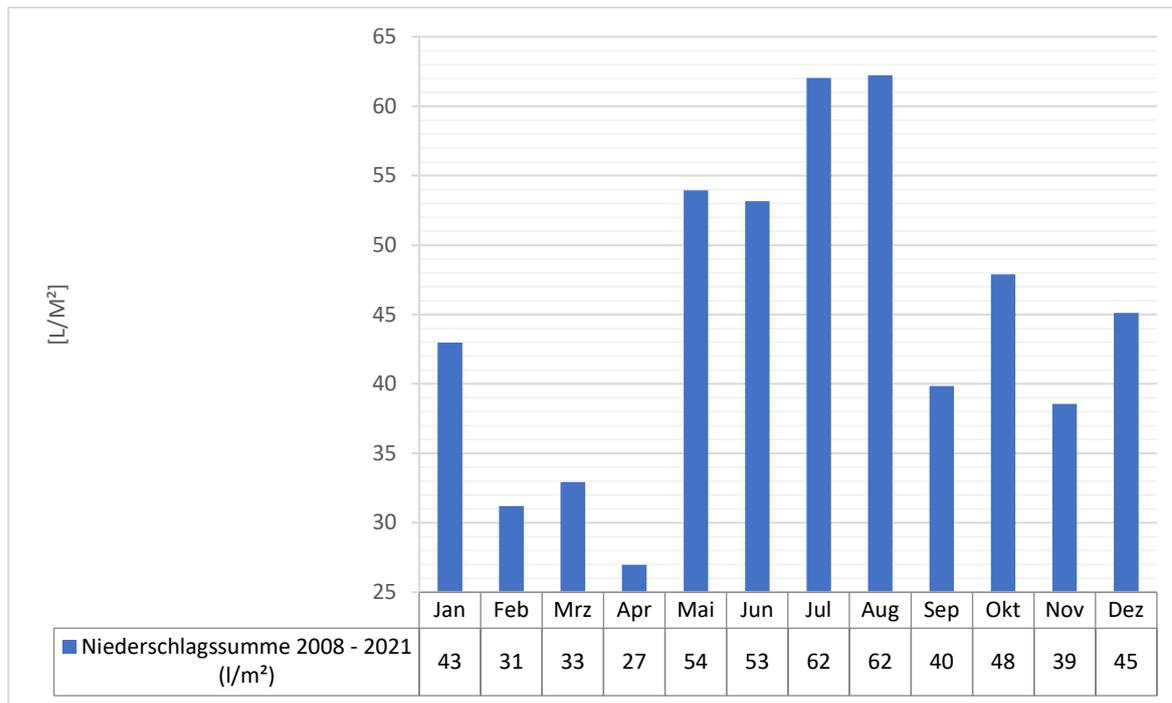


Abbildung 6 Jährliche Niederschlagsmengen nach Monaten sortiert. Abbildung der aktuellen Situation auf Grundlage des Mittels aus den Jahren 2008 bis 2021 für die DWD Station Helmstedt-Emmerstedt (Station 13777)

#### 4.1.2. Extremwerte

#### 4.1.3. Ereignistage

Die Auswertung der Ereignistage (Tage welche per Definition als Sommertage oder als Heiße Tage klassifiziert werden können) beschreibt die aktuelle Situation für den Zeitraum zwischen 2008 bis 2021 der Station Helmstedt-Emmerstedt (Station 13777) und setzt diese in Vergleich zum aktuellen Klimawandel Trendszenario RCP 8.5, welches die aktuelle Situation als Hochemissionsszenario beschreibt (siehe Abbildung 7).

Der Vergleich zwischen der aktuellen und der zukünftigen zu erwartenden Situation gegen Ende des laufenden Jahrhunderts induziert eine signifikante Veränderung (Zunahme) der Sommertage und Heißen Tage ab dem Monat Mai. Während der Peak, also das Maximum der Sommertage und Heißen Tage aktuell im Monat Juli auftritt, wird es im Kontext der zu erwartenden klimatischen Veränderungen eine leichte Verschiebung in den Monat August geben. Aktuell gibt es eine statistische Differenz von 2,2 Sommertagen zwischen den Monaten Juli (13,2 Tage) und August (11,1 Tage). Gegen Ende des Jahrhunderts ist davon auszugehen, dass statistisch betrachtet der Monat August mit 17,6 Tagen gegenüber dem Monat Juli 17,2 Tagen in der maximalen Anzahl der Sommertage übersteigt.

Werden die Sommertage und Heißen Tage zusammengerechnet so bedeutet dies für das Ende dieses Jahrhunderts, dass mehr als  $\frac{3}{4}$  aller Tage (0,754) im Monat Juli und mehr  $\frac{7}{10}$  aller Tage (0,729) im Monat August Tageshöchstwerte von über 25 °C bzw. 30 °C aufweisen werden. Aktuell beläuft sich der Anteil der Summer aus Sommertagen und Heißen Tagen im Monat Juli auf 0,535 und im Monat August auf 0,458, was zusammengenommen einen Durchschnitt von 0,496 ergibt und somit lediglich die Hälfte der Tage im Juli und August ein Temperaturmaximum von über 25 °C bzw. 30 °C aufweisen.

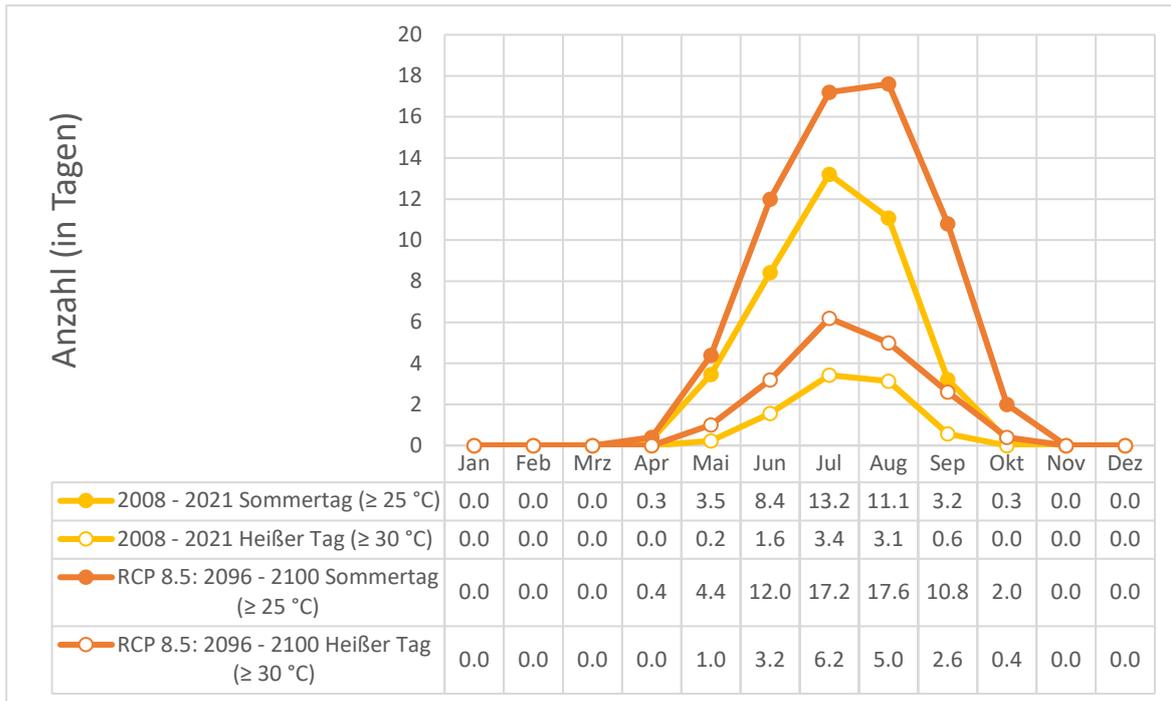


Abbildung 7 Anzahl der Ergebnistage (Sommertrage & Heiße Tage) im Jahresgang aktuell und für das Ende des Jahrhunderts entsprechend des RCP 8.5 Szenarios

## 4.2. Planungsrelevante Themenkarten

Die nachfolgend dargestellten und beschriebenen Themenkarten stellen subsidiäre Elemente im Kontext der klimatischen Analyse der Stadt Helmstedt dar und können entsprechend einen wichtigen Planungs- und Entscheidungsbeitrag leisten.

Mit Hilfe der Themenkarten wird ersichtlich, welche Aspekte / Faktoren für die klimatische Situation der Stadt Helmstedt vor dem Hintergrund der zukunftsgerechten Grünflächenkonzeptionierung von Bedeutung sind. Entsprechend der Einordnung / Zuordnung nach Tabelle 2 können die Themenkarten für die Betrachtung und Folgebetrachtung von klimatischen und planungsbezogenen Fragestellungen herangezogen werden.

Tabelle 2 Übersicht der erstellten Themenkarten und daraus abgeleiteten Anwendungsbeispielen und potenziellen Folgebetrachtungen

Themenkarte	Aspekte / Faktoren	Räumliche Auflösung
<b>Vegetationserfassung</b>	Erfassung aller vitalen Vegetationsstrukturen mit einer räumlichen Auflösung von 20 cm auf Grundlage von Nahinfrarotaufnahmen.	20 cm
<b>Vegetationsdichte</b>	Auswertung der erfassten urbanen und vitalen Vegetationsstrukturen im Kontext der räumlichen Dichte mit Berücksichtigung der Umgebung in einem Umkreis von 100 m zu jeder Rasterzelle.	1 m
<b>Bodennahe Lufttemperatur (nachts 04:00 Uhr)</b>	Berechnung der nächtlichen bodennahen Lufttemperatur zur Darstellung der Überwärmungstendenzen / des städtischen Wärmeinseleffektes.	1 m
<b>BlueSpots „allegmein“</b>	Erfassung und Darstellung der topographie- und hierarchiebasierten potentiellen Überschwemmungsgebiete auf Grundlage der Erfassung der natürlichen Gefälle und Senken Situationen.	1 m
<b>BlueSpots „Fill Event“</b>	Berechnung und Darstellung des Überlaufs der BlueSpots in Abhängigkeit der zu erwartenden Regenmenge sowie der zusätzlichen Zuflüsse.	1 m
<b>BlueSpots „Max Depth“</b>	Berechnung und Darstellung der maximalen Tiefe aller abgeleiteten BlueSpots.	1 m

#### 4.2.1. Vegetationserfassung

##### Vegetationserfassung auf Nahinfrarotgrundlage

Die Erfassung der Helmstedter Vegetationsstrukturen erfolgt auf Basis der kombinierten Informationsgrundlagen von Nahinfrarotaufnahmen und der durch ATKIS bereitgestellten Land- und Flächennutzungsdaten. Die Vegetationsbestände Helmstedts werden somit in ihrer aktuellen Ausprägung dargestellt und der Durchgrünungsgrad des städtischen Siedlungsraums in Abb. X visuell aufbereitet.

Die vorhandenen Vegetationsstrukturen verteilen sich innerhalb des Siedlungsraums weitgehend gleichmäßig. Leichte Unterschiede in der räumlichen Anordnung und Dichte der kleinräumigen (private Gärten, Hinterhöfe etc.) und großräumigen (Parks, Friedhöfe, Waldflächen etc.) Vegetationsbestände ergeben sich in dieser Hinsicht aus der Nutzungsart und Zusammensetzung der urbanen Siedlungsstrukturen. Die Siedlungsbereiche im südöstlichen Teil der Stadt – insbesondere südlich und östlich der Bahngleise – und an der nördlichen Grenze des untersuchten Siedlungsraums sind auf Grund ihrer vergleichsweise aufgelockerten städtebaulichen Gestaltung und ihrer privaten Grünflächen insgesamt stärker durchgrünt als die großflächig versiegelten Gewerbeflächen im nordwestlichen Teil des Untersuchungsraums.

Die historisch geprägte Stadtmitte charakterisiert sich dagegen durch ihre dichte Bebauung und ein damit einhergehendes Defizit an vorhandenen Vegetationsstrukturen. Innerhalb des kleinräumigeren „React Fokusraums“ befinden sich wenige Grün- und Freiflächen; die grüne Achse entlang des „Schützenwalls“ ist hierbei das einzige Verbindungselement mehrerer Vegetationsflächen innerhalb des Fokusraums. Während besonders an dessen nördlicher und westlicher Grenze vereinzelt Vegetationsstrukturen angesiedelt sind, ist der östliche Bereich des Fokusraums mit Ausnahme einzelner, kleinteiliger Grünflächen fast vollständig versiegelt.

Dieser Sachverhalt wird ebenfalls in Abb. Y verdeutlicht. Diese verbildlicht die Vegetationsdichte innerhalb des gesamten Siedlungsraums unter Berücksichtigung der räumlichen Entfernung zwischen den einzelnen Vegetationsstrukturen. Um Aussagen zum Grad der Vegetationsdichte eines beliebigen Punktes auf der Karte treffen zu können, wurde ermittelt, wie viele Vegetationsbestände sich in einem Umkreis von  $d = 100\text{m}$  um diesen Punkt befinden. Die Farbgebung gibt auf einer Skala von 1 (Grün = vegetationsdicht) bis 0 (Rot = vegetationslos) darüber Aufschluss, wie stark die Vegetationsdichte ausgeprägt ist. Wird ein Raum also z.B. der Kategorie „vegetationslos“ zugeordnet, muss dieser und dessen Umfeld zwar nicht ausschließlich, aber in überwiegend hohem Maße versiegelt sein.

Folglich gestalten sich dichte und versiegelte Siedlungsräume hinsichtlich ihrer Vegetationsdichte defizitär. Während sich die aufgelockerten Siedlungsstrukturen um den Stadtkern in diesem Rahmen recht heterogen gestalten, sind sowohl die Gewerbeflächen im Norden des Siedlungsraums als auch die Stadtmitte überwiegend vegetationslos. Der „React Fokusraum“ ist recht homogen ausgeprägt und umspannt Werte von maximal 0,5 bis 0 auf der Bewertungsskala: Der östliche Teil des Fokusraums ist auf Grund seiner mangelnden Vegetationsbestände beinahe ausschließlich der Kategorie 0 = vegetationslos zuzuordnen. Insbesondere im Westen und im Norden, entlang des „Schützenwalls“, gestaltet sich die Vegetationsdichte minimal höher als im restlichen Fokusraum. Im Vergleich zu den Siedlungsstrukturen außerhalb des Stadtkerns ist die Vegetationsdichte in diesem dennoch schwach ausgeprägt.

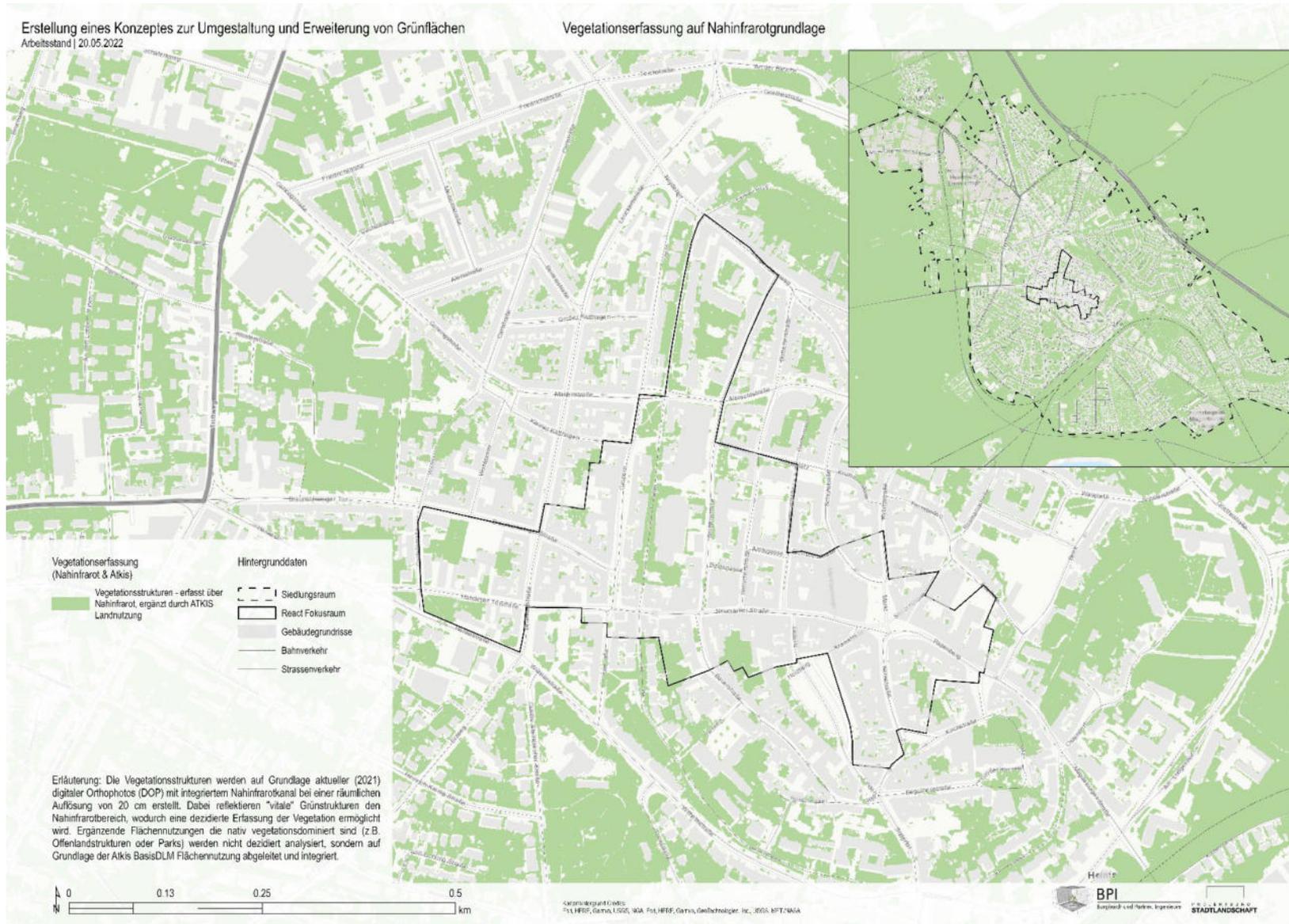


Abbildung 8 Vegetationserfassung auf Grundlage von DOP20 Nahinfrarotaufnahmen ergänzt durch Vegetationsstrukturen auf Grundlage des Atkis BasisDLM für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum

#### 4.2.2. Vegetationsdichte

Die Vegetationsdichte (Abbildung 9) stellt die Vegetationsversorgung im Raum unter Berücksichtigung der räumlichen Entfernung von Vegetationsstrukturen untereinander dar. Als räumlich-relevante Distanz wird ein Radius von 50 m für jede Rasterzelle angenommen. Durch die radiale Distanzermittlung entsteht so ein kreisförmiger Untersuchungsraum für jede Rasterzelle mit 100 m Durchmesser. Innerhalb dieses Untersuchungsraums wird für jede Rasterzelle der Mittelwert aus den Informationen ob Vegetation vorhanden (1) oder Vegetation nicht vorhanden (0) gebildet.

Für den „React“ Fokusraum bedeutet dies eine heterogenes Gesamtbild, wobei im gesamten Fokusraum die Vegetationsdichte nicht über den Wert von ca. 0,54 ansteigt. Dieser Raum befindet sich im Bereich zwischen „Schützenwall“, „Langer Steinweg“ und „Albrechtstraße“. Die geringste Vegetationsdichte findet sich im und um den Bereich des Marktplatzes. Großflächig steigt die Vegetationsdichte nicht über den Wert von 0,1. Damit handelt es sich hierbei um einen hoch defizitären Bereich, der durch das Ausbleiben von Vegetation zudem einen starken Einfluss auf die Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffekte in „React“ Fokusraum und der Gesamtstadt hat. Dieser defizitäre Raum erstreckt sich von der östlichen Grenze des „React“ Fokusraums „Papenberg“ / „Magdeburger Straße“ bis nach Westen in den Bereich zwischen „Collegienstraße“ und „Böttcherstraße“. Von Norden erstreckt sich der Bereich von der „Krumme G.“ in südlicher Richtung bis ca. auf die Hälfte der „Kornstraße“. Damit besitzt dieser defizitäre Raum eine ungefähre zusammenhängende Größe von 4,6 ha. Das entspricht ca. 26,5 % der Gesamtfläche des „React“ Fokusraums (17,34 ha).

Entsprechend gering fällt die gemittelte Vegetationsdichte für den „React“ Fokusraum aus. Sie liegt bei lediglich 0,15 und fällt damit signifikant hinter die mittlere Vegetationsdichte der Gesamtstadt, die 0,53 beträgt, zurück.

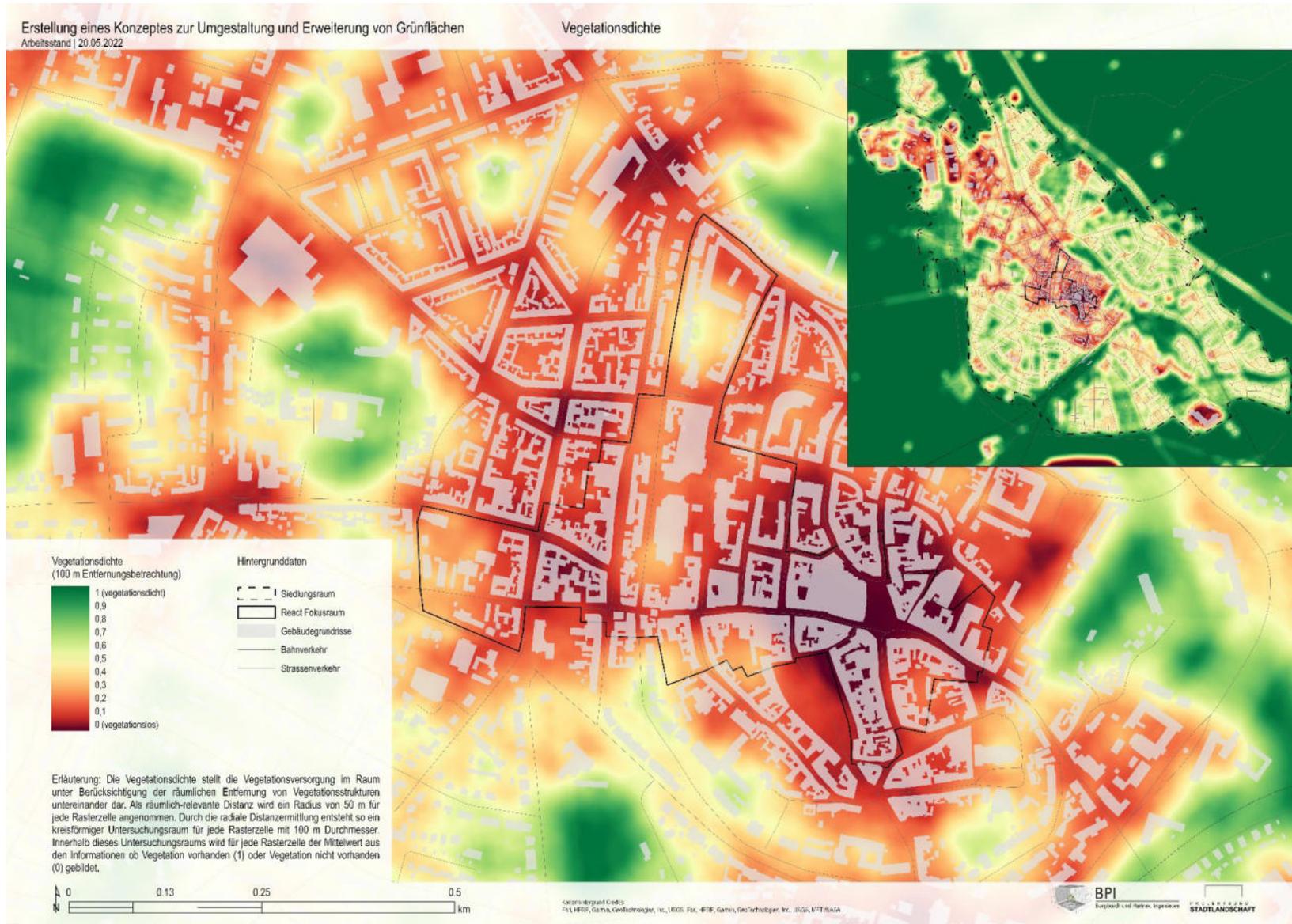


Abbildung 9 Vegetationsdichte auf Grundlage von DOP20 Nahinfrarotaufnahmen ergänzt durch Vegetationsstrukturen auf Grundlage des Atkis BasisDLM für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum

### 4.2.3. Bodennahe Lufttemperatur (nachts 04:00 Uhr)

Die Betrachtung der mesoklimatischen Lufttemperatur kann als Bewertungsgröße / Index des städtischen Wärmeinseleffektes genutzt werden. Bei diesem handelt es sich um einen langsamen und akkumulierenden Effekt; der diesem zugrunde liegende Überwärmungsprozess bzw. die geringere nächtliche Abkühlung (gegenüber dem unversiegelten Außenraum) kann entsprechend durch die Trägheit der Lufttemperatur dargestellt werden. Um die maximal zu erwartenden Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Umland zu ermitteln, wird eine sommerliche austauscharme Nachtsituation (4 Uhr) mit einem Temperaturminimum von 30°C am Tag und einem Temperaturminimum von 12°C in der Nacht angenommen und in 2m Höhe dargestellt.

Entsprechend dieser Vorgaben beträgt die nächtliche bodennahe Lufttemperatur im Helmstedter Siedlungsraum somit Werte zwischen max. 22,7 °C und min. 12,1 °C (Abbildung 10). Oberflächen, Objekte und Räume kühlen unterschiedlich schnell ab; das Offenland um den Siedlungsraum herum verzeichnet die niedrigsten Temperaturen, während sich die Vegetationsstrukturen der Siedlungsräume südöstlich der Innenstadt und an der Grenze des Untersuchungsgebiets ebenfalls positiv auf die Lufttemperatur auswirken. Siedlungsstrukturen haben dagegen grundsätzlich einen negativen Einfluss auf die Lufttemperatur. Die eben benannten vegetationsdurchzogenen Siedlungsräume stellen somit einen Übergangsbereich zwischen dem am stärksten überwärmten Teil des Siedlungsraums – dem historisch geprägten Stadtkern und dem sich in Richtung Nordwesten erstreckenden innerstädtischen Siedlungsbereich – und dessen offenlanddominierter Umgebung dar.

Die Stadtmitte (der „React Fokusraum“) verzeichnet die höchsten Temperaturen des gesamten Siedlungsraums; diese umspannen Werte von 19,93 °C im westlichen Teil des Fokusraums bis zu maximal 22,45 °C (Abbildung 10). Der Fokusraum charakterisiert sich durch ein Defizit an Grün- und Freiflächen (vgl. Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.2.2) und seine historisch bedingte verdichtete städtebauliche Gestaltung, welche sich wegen ihrer Eigenschaft, die Effekte der Energieaufnahme und -speicherung während des Tages zu verstärken, nachteilig auf die Lufttemperatur auswirkt. Besonders die am „Schützenwall“, der „Stobenstraße“ und „Neumärkter Straße“ gelegenen Räume können daher während der Nachtstunden nur langsam abkühlen, weshalb sie in diesem Szenario die höchsten Temperaturen des gesamten Siedlungsraums verzeichnen.

Die mesoklimatische Betrachtung des Untersuchungsraums ermöglicht somit einen Überblick über die klimatische Situation Helmstedts. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass die Erkenntnisse auf mesoklimatischer (gesamstädtischer) Ebene nicht direkt mit der mikroklimatischen (kleinräumigen) Ebene gleichgesetzt werden können. Zwar ermöglicht die mesoklimatische Untersuchung die grobe Zuordnung eines speziellen Raums in dessen gesamstädtischen Kontext, doch die genauere Ausdifferenzierung seiner individuellen klimatischen Potenziale und Herausforderungen kann lediglich in kleinerem Maßstab auf Ebene des Mikroklimas – der kleinstmöglichen klimatischen Untersuchungsebene - erfolgen.

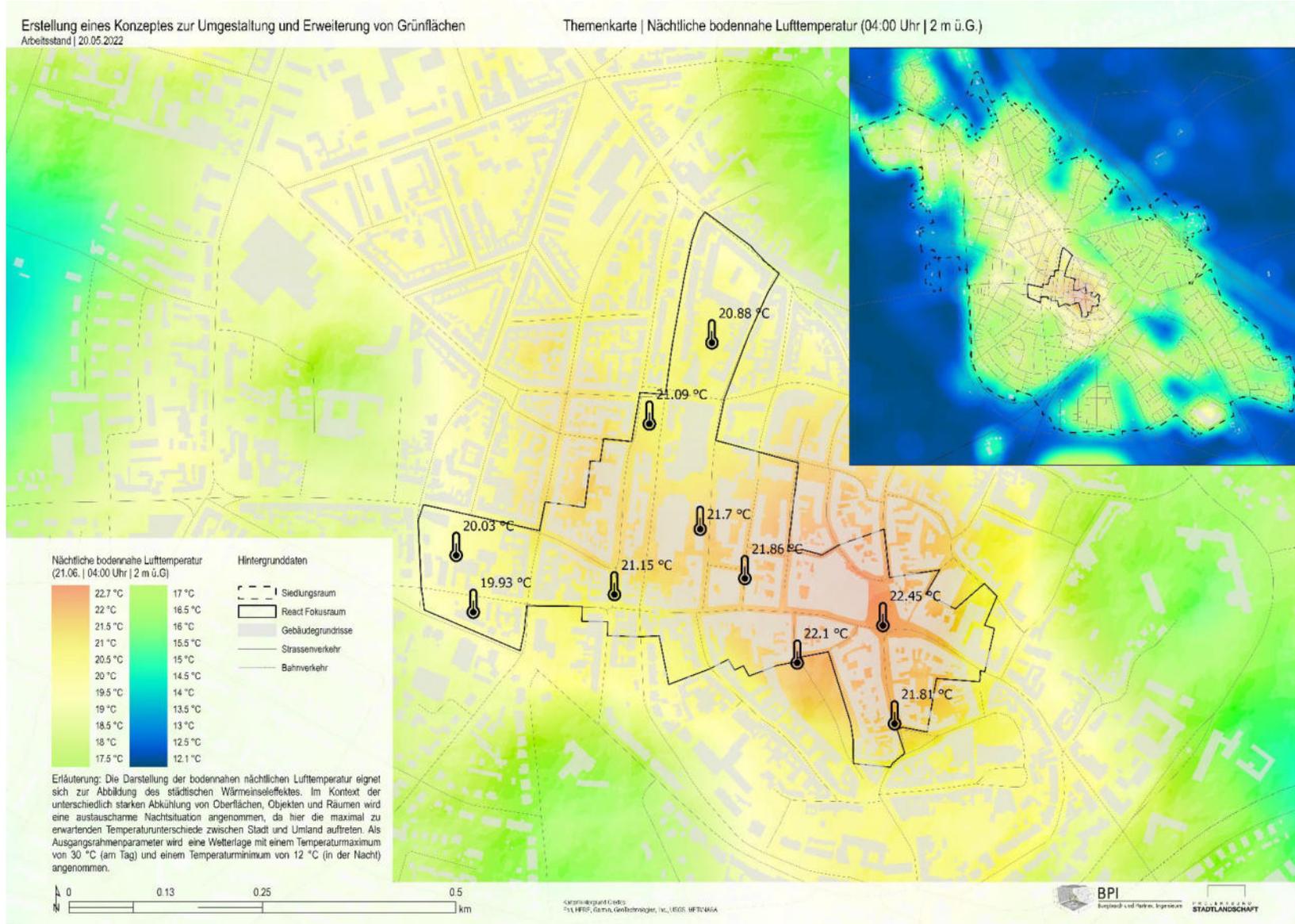


Abbildung 10 Bodennahe Lufttemperatur um 04:00 Uhr nachts für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum

#### 4.2.4. BlueSpots „

Die Analyse zur Identifikation der BlueSpots im Untersuchungsgebiet ist eine topologie- und Hierarchie-basierter Berechnungsalgorithmus. Dabei wird auf Grundlage eines hochaufgelösten Geländemodells die natürlichen Oberflächeneinzugsgebiete, Senken und Abflussregime identifiziert.

Die Methode berücksichtigt nicht die ggf. vorhandenen Infiltrationsraten auf Vegetationsflächen oder Kanalabflüsse. Entsprechend stellt das Ergebnis eine "Worst-Case" Situation vor dem Hintergrund eines maximalen Niederschlags bis 100 mm dar. Je nach Niederschlagsmenge entstehen im Modell "Spillover Effekte" die einen "Überlaufen" des jeweiligen BlueSpots beschreiben. Geschieht dies, werden die Wassermengen des Spillover entsprechend der Abflussachsen an den nachfolgenden BlueSpot weitergegeben. Hierbei handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess, wodurch ein "Überlaufen" eines BlueSpots immer abhängig von seiner Aufnahmekapazität, der aktuellen Regenmenge und dem Spillover Input aus anderen BlueSpots bestimmt wird.

Die potentiellen Überschwemmungsbereiche innerhalb des Siedlungsgebiets – sog. BlueSpots – wurden auf Informationsgrundlage der vorherrschenden topographischen Bedingungen ermittelt. Kanalabflüsse und die natürliche Wasseraufnahmefähigkeit von Vegetationsflächen wurden in dieser computerbasierten Berechnung nicht berücksichtigt; vor diesem Hintergrund stellt das in Abbildung 11 dargestellte Szenario eine „Worst-Case“ Situation bei einer maximalen Niederschlagsmenge von 100mm dar. Neben der flächigen Ermittlung der BlueSpots weisen weitere Linien auf die Abflussrichtung überschüssiger Wassermassen aller BlueSpots hin, welche jeweils über eine individuelle Wasseraufnahmekapazität verfügen. Werden diese Kapazitätsgrenzen überschritten, fließt das Wasser von einem BlueSpot in den topographisch naheliegendsten über.

Um den „React Fokusraum“ herum treten eine Vielzahl an kleinräumigen, vereinzelt BlueSpots auf. Zu den weniger häufig auftretenden großflächigen BlueSpots zählen z.B. die Freiflächen zu beiden Seiten des Walls („Langer Wall“) unmittelbar nördlich des Fokusraums, die gebäudenahen Räume zwischen der „Walpurgisstraße“ und dem „Ziegenmarkt“ nordöstlich, sowie der Innenhof des Wohnblocks zwischen der „Conring-“, „Carl-“ und „Alersstraße“ nordwestlich des Fokusraums. Der Fokusraum selbst enthält westlich der Straße „Gröpern“ und südlich der „Neumärker Straße“ überwiegend kleine, vereinzelt BlueSpots. Im östlichen Teil gibt es nur wenige Überschwemmungsbereiche, dafür aber einen größeren BlueSpot zwischen dem Gebäudeblock der „Papenberg“, „Korn-“ und „Kirchstraße“. Auf den Flächen zwischen dem Gebäudeblock im Norden des Fokusraums sammeln sich ebenfalls mehrere BlueSpots, welche über diverse Abflussachsen mit einem größeren Bluespot an der Kreuzung der „Albrecht-“ und „Stobenstraße“ verbunden sind.

Die Kapazitäten dieser Überschwemmungsbereiche sind unterschiedlich stark ausgeprägt; Abbildung 12 unterteilt die identifizierten BlueSpots hinsichtlich ihrer Wasseraufnahmefähigkeit bei einem Niederschlag von 20 (Rot) – 100mm (Blau). Werden die Überlaufpunkte eines BlueSpots überschritten, tritt der sog. „Spillover“-Effekt ein: Hat eine Senke ihre maximale Wasseraufnahmekapazitätsgrenze erreicht, fließt das überschüssige Wasser dem topographischen Gefälle folgend in den nächsten BlueSpot über. Bei dem Großteil aller BlueSpots des Stadtgebiets tritt dieser Effekt bei einer Niederschlagsmenge von ca. 20 – 40 mm (inkl. möglicher Zuflüsse aus anderen BlueSpots) ein. Lediglich vereinzelt, meist in

Gebäudeinnenhöfen liegende Flächen verzeichnen einen Spillover-Effekt ab einer höheren Niederschlagsmenge (z.B. ab 100mm nordwestlich der Kreuzung „Wohldamm“ und „Braunschweiger Straße“; ab 70mm südöstlich der Kreuzung „Friedrichstraße“ und „Conringstraße“). Innerhalb des „React Fokusraums“ überschreiten nur wenige BlueSpots im Norden und Süden des Gebiets sowie östlich der Straße „Gröpern“ ihre Kapazitätsgrenze bei einer Niederschlagsmenge von 40mm.

BlueSpots, deren Überlaufspunkte im Rahmen der auf der Bewertungsskala aufgeführten Niederschlags- und zusätzlichen Abflussmengen aus anderen BlueSpots nie überschritten werden, werden der Kategorie „kein Spillover“ zugeordnet (Abbildung 13). Abbildung D enthält eine Übersicht über die maximale Tiefe aller BlueSpots im ausgewählten Kartenausschnitt. Diese Darstellung verdeutlicht, dass die identifizierten BlueSpots überwiegend flach ausgeprägt sind, weshalb bereits geringe Niederschlagsmengen (Abbildung 12) zur Überschreitung ihrer Überlaufspunkte führen. Im Kontrast hierzu sind die Flächen der Kategorie „kein Spillover“ tiefer und können dementsprechend mehr Wasser aufnehmen, bis ihr Überlaufspunkt erreicht ist (siehe BlueSpots südlich des Walls („Langer Wall“), nördlich der Straße „Ziegenmarkt“). Innerhalb des „React Fokusraums“ sind die BlueSpots allgemein sehr flach ausgeprägt, weshalb sich hier nur geringe Wassermengen ansammeln können, bevor sie abfließen. Verhältnismäßig tiefere BlueSpots befinden sich zwischen den Gebäuden zu beiden Seiten der „Neumärker Straße“ und „Harlsleber Torstraße“ im südlichen Bereich des Fokusraums. Hier erreichen sie teilweise Tiefenwerte von 0,75m; der tiefste BlueSpot des Fokusraums (bis zu ca. 6m) liegt hierbei im Innenhof des Gebäudeblocks an der „Neumärker Straße“ und „Kornstraße“ – dieser BlueSpot wird ebenfalls der Kategorie „kein Spillover“ zugeordnet (Abbildung 12).



Abbildung 11 Darstellung der BlueSpots – Identifikation von potentiellen Überschwemmungsbereichen für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum



Abbildung 12 Darstellung der BlueSpots – Eintreten von Überschwemmungen in Abhängigkeit der Niederschlagsmengen für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum



## 5. Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung zu ausgewählten klimatischen Faktoren und Aspekten im Untersuchungsgebiet der Stadt Helmstedt liefert grundlegende räumliche und statistische Informationen, die im Kontext des React-Förderprogramms wichtige Grundlagen, für die einer zukunftsgerichteten Konzeptionierung zur Umgestaltung und Erweiterung von Grünflächen darstellen.

Obwohl der Fokus der vorliegenden Untersuchung auf dem städtischen zentral gelegenen Bereich des „React“ Fördergebietes liegt, wurden alle Analysen für (nahezu) den gesamtstädtischen Raum, bei gleichbleibender räumlicher Auflösung durchgeführt. Damit geht von der vorliegenden Untersuchung ein weit- aus größeres stadt- und landschaftsplanerisches Anwendungspotential aus.

Die dezidierte flächendeckende und hochdetaillierte Vegetationserfassung sowie die darauf aufbauende Analyse der Vegetationsdichte beschreiben den „React“ Fokusraum zum einen als heterogenen, wenn gleich auch größtenteils defizitär durchgrünerten urbanen Raum. Insbesondere der Raum des Marktplatzes sowie das ihn umgebende Gebiet sind vegetationstechnisch als hoch defizitär einzustufen. Konträr besitzt der noch bestehende Grünwall (außerhalb des „React“ Fokusraums) eine vegetationstechnisch wie auch klimatisch ausgleichende Funktion mit begrenztem Wirkraum. Innerhalb des Fokusraums treten in der Analyse die „Überreste“ des Grünwalls entlang des „Schützenwalls“ deutlich hervor, und hierbei ist auch eine, wenn auch verringerte Ausgleichsfunktion zu erfassen.

Die durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass der „React“ Fokusraum aus klimatischer Perspektive sowie im Kontext der Durchgrünung einen teils hoch defizitären Raum beschreibt. Insbesondere die Region um den Marktplatz besitzt einen extrem niedrigen Vegetationsanteil, was sich in Kombination mit der bestehenden Bebauung auch in der Ausprägung der maximalen im Stadtgebiet vorhanden nächtlichen bodennahen Temperaturen bzw. des städtischen Wärmeineffektes führt. In stärker durchgrünerten Gebieten des „React“ Fokusraums werden signifikant niedrigere Temperaturen erreicht. Entsprechend der exemplarischen digitalen Messpunkte wird so innerhalb des „React“ Fokusraums eine Temperaturamplitude von ca. 2,52 °C erreicht. Damit liegt das Risiko der Ausbildung bzw. des vermehrten Auftretens von Tropennächten, in denen die Lufttemperatur nicht unter 20 °C sinkt, im Bereich des „React“ Fokusraums signifikant höher als in der restlichen umgebenden Siedlungsraum.

Ergänzend zu den Themen der Durchgrünung und der Temperaturverteilung wurde der Aspekt der Erfassung und Bewertung potentieller Überschwemmungsbereiche im Kontext von Starkregenereignissen für den „React“ Fokusraum sowie das gesamte Stadtgebiet untersucht. Mit Hilfe der sogenannten BlueSpot Kartierung und Berechnung konnte eine quantitative, aber auch qualitative Raumanalyse und Bewertung durchgeführt werden. Dabei zeigt sich, dass im eigentlichen „React“ Fokusraum verstärkt kleinere potentiellen Überschwemmungsräume identifiziert werden konnten. Gleichwohl gibt es jedoch auch einen größeren Überschwemmungsraum entlang der „Albrechtstraße“, wodurch zusätzlich auch eine defizitäre Situation für die lokal verortete Tiefgarage entstehen kann. Innerhalb des „React“ Fokusraums steigen die maximalen BlueSpot Tiefen in der Regel (ausgenommen kleiner Einzelsituationen) nicht über 1 m. Außerhalb des eigentlichen Untersuchungsraums können jedoch auch großflächigere BlueSpots mit maximalen Tiefen über 1 m entstehen. Diese können im Kontext einer zukünftigen Strategie zu Retentionsraumschaffung im urbanen Umfeld wichtige Entscheidungsinformationen liefern.

## 6. Anhang

### 6.1. Glossar

<b>Absorption</b>	wellenlängenabhängige Wechselwirkung zwischen Strahlung und Molekülen, bei welcher Strahlungsenergie in Wärmeenergie überführt wird. Die Absorption von Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche ist Ursache für die unterste Heizschicht der Atmosphäre als Energiequelle für alle atmosphärischen Bewegungsvorgänge.
<b>Bioklima</b>	Gesamtheit aller atmosphärischen Einflussgrößen auf den menschlichen Organismus. Entsprechend ihrer Ausprägung und Wirkung werden sie als belastend, schonend oder als Reiz empfunden.
<b>Emission*</b>	die Abstrahlung oder Aussendung elektromagnetischer Wellen oder Teilchen als Strahlung, ebenso wie der Ausstoß fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe in die Außenluft sowie in Wasser oder andere Umweltbereiche
<b>Extremwetterereignis</b>	Ein Ereignis, dass an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten ist
<b>Heißer Tag</b>	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30$ °C beträgt (früher auch Tropentag).
<b>Hitzewelle</b>	eine mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung. Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann.
<b>Kontinentalklima</b>	Klima, welches charakteristisch für das Innere größerer Festlandsmassen ist. Im Allgemeinen ist das Kontinentalklima durch große jährliche und tägliche Schwankungsbereiche der Temperatur, eine geringe relative Feuchte sowie mäßigen oder geringen, unregelmäßig fallenden Niederschlag geprägt.
<b>Lokalklima</b>	Klima an einem konkreten Ort. Es ist eingebettet in das Regionalklima und wird zusätzlich durch Relief und Flächennutzung in der näheren Umgebung des Ortes bestimmt.
<b>Makroklima</b>	Klima, welches von großskaligen Prozessen geprägt ist
<b>Maritimes Klima</b>	Klima von Gebieten, die an die See bzw. das Meer angrenzen oder davon umgeben sind (auch ozeanisches Klima). Geringe Tages- und/oder Jahresgänge der Temperatur und hohe

	relative Luftfeuchte sind charakteristisch für das maritime Klima.
<b>Mesoklima</b>	Bereich, der zwischen dem Mikroklima und dem Makroklima liegt. Während das Makroklima hauptsächlich von großskaligen und das Mikroklima vor allem von kleinskaligen, lokalen Prozessen beeinflusst ist, ist es im Mesoklima eine Mischung von beiden. Damit umfassen die Skalen der mesoskaligen Phänomene etwa eine horizontale Ausdehnung von ca. 1 bis 2000 km und eine typische Lebensdauer von einer Stunde bis hin zu einer Woche. Geländeform, Hangneigung und Beschaffung der Erdoberfläche sind dabei wichtige Parameter.
<b>Mikroklima</b>	mittlere atmosphärische Zustände und wiederkehrende Phänomene im mikrometeorologischen Maßstabsbereich. Nach Orlandi (1975) werden atmosphärische Prozesse mit einer horizontalen Ausdehnung von wenigen Millimetern bis einigen hundert Metern der Mikroskala zugeordnet. Mit Mikroklima ist damit das spezielle Klima eines Areals gemeint, das sich in den bodennahen Luftschichten ausbildet und stark von den vorhandenen Oberflächen (Untergrund, Bewuchs, Bebauung), z.B. deren Rauigkeit und thermischen Eigenschaften, beeinflusst ist.
<b>PMV</b>	Predicted Mean Vote (erwartete durchschnittliche Empfindung) ist ein Wert, der den Grad der Behaglichkeit oder Unbehaglichkeit beschreibt. Der PMV-Index wurde in den 1970er Jahren vom dänischen Wissenschaftler Ole Fanger entwickelt.
<b>Rauigkeit***</b>	(auch Rauheit) bezeichnet die Unebenheit von Oberflächen
<b>Regionalklima</b>	eng verwandt mit der Begrifflichkeit Mesoklima. Dabei sind Phänomene mit sehr ähnlichen Raum- und Zeitskalen gemeint, die durch sowohl groß- als auch kleinskalige Prozesse beeinflusst werden, aber auch von regionalen Gegebenheiten wie der Geländeform und der Landnutzung abhängen. Beim Regionalklima, im Gegensatz zum Mesoklima, wird der Bezug zu natur- oder kulturräumlichen Klimabesonderheiten deutlicher hergestellt.
<b>Retention**</b>	Rückhaltevermögen von unterschiedlichen Oberflächen für flüssiges Wasser.
<b>Sommertag</b>	ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25$ °C beträgt

<b>Städtische Wärmeinsel*<sup>L</sup></b>	ein typisches Merkmal des Stadtklimas welches durch die Wechselwirkung mehrerer unterschiedlicher Effekte hervorgerufen wird. Durch die starke Aufwärmung tagsüber und die eingeschränkte Abkühlung nachts werden die Städte im Vergleich zum Umland deutlich wärmer.
<b>Strahlungswetterlage*</b>	eine Form des Hochdruckwetters mit geringer Bewölkung und höchstens mäßigen Winden
<b>Tropennacht</b>	eine Nacht (18 bis 06 UTC), in der das Minimum der Lufttemperatur $\geq 20$ °C beträgt
<b>Überwärmungsakkumulationseffekt*<sup>L</sup></b>	während längeren Hitzeperioden kann die nächtliche Abkühlung die erhöhte tägliche Wärmeaufnahme von Atmosphäre und Gebäuden nicht mehr kompensieren, d.h. auch die Minima der nächtlichen Temperaturen steigen an.
<b>Urbaner Raum*</b>	Stadtgebiet; Zweidimensionale Vorstellung einer Stadt — im Vergleich zum Stadtraum
<b>UTCI</b>	Urban Thermal Climate Index. Der Universelle Thermische Klimaindex UTCI ermöglicht eine Bewertung der thermischen Bedingungen im Freien, die auf der mit einem Modell der Thermoregulation des Menschen (Fiala-Modell) berechneten dynamischen physiologischen Reaktion des Organismus basiert. Das Fiala Modell ist dabei mit einem „state-of-the-art“ Bekleidungsmodell gekoppelt.
<b>Vulnerabilität**</b>	der IPCC definiert Vulnerabilität als das Maß, zu dem eine Person, Region oder ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Dabei wird die Vulnerabilität bzw. Verwundbarkeit als eine Funktion von Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit verstanden.

Sofern nicht anders gekennzeichnet gilt als primäre Quelle das Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienst (DWD) ([www.dwd.de/lexikon](http://www.dwd.de/lexikon) oder [www.wetterlexikon.eu](http://www.wetterlexikon.eu)).

\* Wetter-Lexikon von [wetter.net](http://www.wetter.net) - Q.met GmbH (<https://www.wetter.net/wetterlexikon>)

\*\* Lexikon der Nachhaltigkeit der Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken (<https://www.nachhaltigkeit.info>)

\*\*\* Duden - Bibliographisches Institut GmbH (<https://www.duden.de>)

<sup>L</sup> Environmental Sciences Europe – Kuttler 2011 (<http://www.enveurope.com>)

## 6.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Abfolge der Klimatebenen .....	6
Abbildung 2 Schematische Darstellung unterschiedlicher temperaturrelevanter Faktoren und Effekte im urbanen Raum, die zur Ausprägung der städtischen Wärmeinsel beitragen (DWD 2017) .....	7
Abbildung 3 Oberflächeneinzugsgebiete > 1 ha in Kombination mit Hangneigung und Hangrichtung für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum .....	9
Abbildung 4 Klimatische Gliederung der Bundesrepublik Deutschland nach Kontinentalität, Niederschlagsversorgung und Höheneinfluss (Leibnitz-Institut für Länderkunde, 2003).....	10
Abbildung 5 Lufttemperatur und relative Feuchte im Jahresgang nach Monaten sortiert, aktuell (2008 bis 2021) sowie für die Mitte (2041 - 2050) und das Ende (2091 - 2100) des Jahrhunderts.....	11
Abbildung 6 Jährliche Niederschlagsmengen nach Monaten sortiert. Abbildung der aktuellen Situation auf Grundlage des Mittels aus den Jahren 2008 bis 2021 für die DWD Station Helmstedt-Emmerstedt (Station 13777) .....	12
Abbildung 7 Anzahl der Ergebnistage (Sommertrage & Heiße Tage) im Jahresgang aktuell und für das Ende des Jahrhunderts entsprechend des RCP 8.5 Szenarios.....	13
Abbildung 8 Vegetationserfassung auf Grundlage von DOP20 Nahinfrarotaufnahmen ergänzt durch Vegetationsstrukturen auf Grundlage des Atkis BasisDLM für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum.....	16
Abbildung 9 Vegetationsdichte auf Grundlage von DOP20 Nahinfrarotaufnahmen ergänzt durch Vegetationsstrukturen auf Grundlage des Atkis BasisDLM für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum.....	18
Abbildung 10 Bodennahe Lufttemperatur um 04:00 Uhr nachts für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum.....	20
Abbildung 11 Darstellung der BlueSpots – Identifikation von potentiellen Überschwemmungsbereichen für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum.....	23
Abbildung 12 Darstellung der BlueSpots – Eintreten von Überschwemmungen in Abhängigkeit der Niederschlagsmengen für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum .....	24
Abbildung 13 Darstellung der BlueSpots – Tiefendarstellung der potentiellen Überschwemmungsbereichen für die Stadt Helmstedt und den React Fokusraum .....	25

## 6.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiele für typische Einflüsse (linke Spalte) und deren (Aus-)Wirkung (rechte Spalte) im städtischen Raum .....	6
Tabelle 2 Übersicht der erstellten Themenkarten und daraus abgeleiteten Anwendungsbeispielen und potenziellen Folgebetrachtungen .....	14

#### 6.4. Datenverzeichnis

Cloud Optimized GeoTiff Orthophotos

Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM)

3D-Gebäudemodell (LoD1)

Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0“ (<https://www.govdata.de/dl-de/by-2-0>)

Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen,  
© 2022

#### 6.5. Literaturverzeichnis

BRÜNDL W., MAYER H., BAUMGARTNER A. 1986, Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten, Abschlussbericht zum Teilprogramm „Klimamessungen München“

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E. V. (FLL) 2018, Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen

KUTTLER W. 2011, Climate change in urban areas – part 1, Effects Environmental Sciences Europe 23

MATZARAKIS A., RÖCKEL R., RICHTER C-J., HÖFL. H-C., STEINICKE W., STREIFENEDER M., MAYER H., 2008, Planungsrelevante Bewertung des Stadtklimas am Beispiel von Freiburg im Breisgau, Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 68, 334-340

VM BW (Hrsg.) 2012, Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg