



Geographisches Institut Bayreuth

Lehrstuhl Geomorphologie

Studienprojekt

Leitung: Dr. Klaus-Martin Moldenhauer

Sommersemester 2024

## Klimafeste Kommune Bayreuth am Beispiel von Sankt Georgen

Abgabedatum: 21.10.2024

### Jela Düsselmann

Geographie: Gesellschaft und Umwelt  
6. Fachsemester  
Matrikelnummer: 1805600  
[jela.duesselmann@uni-bayreuth.de](mailto:jela.duesselmann@uni-bayreuth.de)

### Sina Lindner

Geographie: Gesellschaft und Umwelt  
6. Fachsemester  
Matrikelnummer: 1633760  
[sina.lindner@uni-bayreuth.de](mailto:sina.lindner@uni-bayreuth.de)

### Tim Neynaber

Geographie: Gesellschaft und Umwelt  
5. Fachsemester  
Matrikelnummer: 1768450  
[tim.neynaber@uni-bayreuth.de](mailto:tim.neynaber@uni-bayreuth.de)

### Louis Schmalisch

Geographie: Gesellschaft und Umwelt  
6. Fachsemester  
Matrikelnummer: 1823650  
[louis.schmalisch@uni-bayreuth.de](mailto:louis.schmalisch@uni-bayreuth.de)

# Inhalt

## Abbildungsverzeichnis

## Tabellenverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Wissenschaftliche Kontextualisierung.....</b>	<b>5</b>
3.1 Urbane Klimaresilienz .....	5
3.2 Städtische Hitzeinseln.....	7
3.3 Konzept „Schwamm-Stadt“.....	9
3.4 Klimawandel und Gesundheit .....	10
<b>4 Methodik.....</b>	<b>12</b>
4.1 Befragung.....	12
4.2 Klimadaten .....	12
4.3 Fernerkundung.....	14
<b>5 Ergebnisse .....</b>	<b>16</b>
5.1 Befragung.....	16
5.2 Klimadaten .....	16
5.3 Fernerkundung.....	23
<b>6 Diskussion.....</b>	<b>27</b>
<b>7 Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>30</b>
<b>8 Fazit.....</b>	<b>34</b>
<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>36</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>40</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets (Eigene Darstellung). ....	4
Abbildung 2: Schematische Darstellung des städtischen Hitzeinsel Effekts auf Meso- und Mikroskala (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 58). ....	8
Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Schwamm-Stadt und der ökologischen Dienstleistungen einer Schwamm-Stadt (Nguyen et al. 2019: 152).....	10
Abbildung 4: Klimastation in St. Georgen (Eigene Aufnahme). ....	13
Abbildung 5: Klimastation in Schanz (Eigene Aufnahme). ....	13
Abbildung 6: Heiße Tage im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	17
Abbildung 7: (Quasi-/)Heiße Tage im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	17
Abbildung 8: Tropennächte im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	18
Abbildung 9: (Quasi-/)Tropennächte in im Sommer St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	18
Abbildung 10: Heiße Tage mit folgender Tropennacht im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	18
Abbildung 11: Heiße Tage mit folgender (Quasi-/)Tropennacht im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	19
Abbildung 12: Heiße Tage mit folgender (Quasi-/)Tropennacht in Folge im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	19
Abbildung 13: Niederschlag im Sommer in St. Georgen 2019, 2020, 2022 und 2024 (Eigene Darstellung). .....	19

Abbildung 14: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefstemperatur und Niederschlag im Sommer 2019 in St. Georgen (Eigene Darstellung).....	20
Abbildung 15: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefstemperatur und Niederschlag im Sommer 2020 in St. Georgen (Eigene Darstellung).....	20
Abbildung 16: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefstemperatur und Niederschlag im Sommer 2022 in St. Georgen (Eigene Darstellung).....	20
Abbildung 17: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefstemperatur und Niederschlag im Sommer 2024 in St. Georgen (Eigene Darstellung).....	20
Abbildung 18: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefstemperatur und Niederschlag im Juli und August 2024 in Schanz (Eigene Darstellung).....	21
Abbildung 19: Verlauf der Durchschnittstemperatur von Juli bis August 2024 in St. Georgen und Schanz (Eigene Darstellung).....	21
Abbildung 20: (Quasi-/)Heiße Tag im Juli und August 2024 in Schanz (Eigene Darstellung).....	22
Abbildung 21: (Quasi-/)Tropennächte im Juli und August 2024 in Schanz (Eigene Darstellung).....	22
Abbildung 22: Abgrenzung der Untersuchungsgebiete (Eigene Darstellung) .....	23
Abbildung 23: Gebäudestruktur in den Untersuchungsgebieten (Eigene Darstellung) .....	24
Abbildung 24: Grünflächen und Baumbestand in den Untersuchungsgebieten (Eigene Darstellung). ....	25
Abbildung 25: NDVI der Untersuchungsgebiete (Eigene Darstellung) .....	26
Abbildung 26: Kriterien guter Partizipationsgestaltung (Grothmann et al. 2021: 17). ....	33
Abbildung 27: Zukunftsbild für ein grünes, klimaresilientes, innerstädtisches Bestandsquartier einer Straße in München (Linke et al. 2022: 14).....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittstemperaturen der Sommermonate in St. Georgen (Eigene Darstellung).....	16
Tabelle 2: Durchschnittstemperaturen der Wintermonate in St. Georgen (Eigene Darstellung) .....	17

## 1 Einleitung

Der Klimawandel stellt eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar und betrifft insbesondere urbane Gebiete, die durch hohe Bevölkerungsdichte, intensive Nutzung und starke Oberflächenversiegelung höchst anfällig für extreme Wetterereignisse sind (Linke et al. 2022: 9). Das International Panel on Climate Change (IPCC) definiert den Klimawandel als den Zustand des Klimas über einen längeren Zeitraum, in der Regel über Jahrzehnte oder länger, der durch die Veränderung der Mittelwerte und/oder der Variabilität der Klimaeigenschaften gekennzeichnet ist. Zudem erfolgt durch die United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) eine Zuordnung des sich wandelnden Klimas zu direkter oder indirekter menschlicher Aktivität, welche die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre beeinflussen und somit zu der natürlich auftretenden Variabilität des Klimas beitragen (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 40).

Aufgrund des Einflusses menschlichen Handelns, sind urbane Gebiete (Städte), welche im Gegensatz zu ruraleren Gebieten Akkumulationsräume für Menschen sind, besonders relevant bei der Betrachtung des Klimawandels. Städte sind für rund 70% der globalen Kohlenstoffdioxidemissionen verantwortlich und begünstigen hierdurch die Veränderung des Klimas. Aber auch die Auswirkungen, wie ein Anstieg der Frequenz, der Dauer und Intensität von Naturgefahrenen sind laut einer Vorhersage des IPCC dort besonders stark spürbar (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 43,47). Beispielsweise wird die global höhere Temperatur innerhalb von urbanen Gebieten durch die Entstehung von städtischen Hitzeinseln („urban heat island“, UHI) weiter verstärkt (siehe Kapitel 3.2). Dies kann zu negativen Folgen für die Gesundheit der Bevölkerung führen (siehe Kapitel 3.4) (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 47).

Die Beziehung zwischen bebauten urbanisierten Gebieten und dem Klimawandel ist reziprok und ineinander greifend sowie sehr komplex. Zum einen beeinflusst der Klimawandel auf unterschiedliche Weise die Gebäude, durch eine Beschädigung der Gebäudestruktur im Zuge von Naturgefahrenen wie Flut, Erdbeben oder Erdrutschen, aber auch langfristig durch die Einschränkung der Leistungsfähigkeit von Baumaterialien (Kleerekoper et al. 2012: 30; Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 44). Ebenso wird die Umgebungsqualität im Innenraum von Gebäuden durch die Klimaparameter Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit beeinflusst, sowie gekennzeichnet durch eine hohe Luftverschmutzung, welche wiederum negative Folgen für die Gesundheit dort agierender Menschen haben kann (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 44). Zum anderen sorgen Treibhausgasemissionen, wie bereits erwähnt, für eine Förderung des Klimawandels, besonders durch eine nicht nachhaltige

Bauweise, sowie einen hohen Energieverbrauch und die Nutzung von nicht nachhaltigen Materialien (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 44 f.).

Aufgrund des starken Einflusses einer Stadt auf das vorherrschende umgebende Klima, wird dieses als urbanes Klima bezeichnet. Bei Betrachtung einer großen Skala ist eine Modifizierung der regionalen Klimabedingungen hinsichtlich der Wolkenbedeckung, des Niederschlags, der Solareinstrahlung und Lufttemperatur sowie der Windgeschwindigkeit und Windflussmuster verglichen mit umliegenden ländlichen Gebieten zu erkennen. Auch die Qualität der Umgebungsluft, determiniert durch Schadstoffemissionen, wird beeinflusst (Kleerekoper et al. 2012: 30; Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 46). Kleinskaliger betrachtet, wird das Mikroklima der Stadt besonders durch die Geometrie, Dichte und Orientierung der Gebäude sowie Freiflächen bestimmt. Wobei eine signifikante Variation des Mikroklimas in Distanzen weniger Meter auftreten kann (Kleerekoper et al. 2012: 30). Grundlegend für beide Betrachtungsskalen ist die Größe und Morphologie der Stadt, sowie vorliegende Landnutzungsmuster und geographische Eigenschaften, beispielsweise die Höhenlage und das lokale Klima (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 46).

Die klimatischen Eigenschaften von sowie Anforderungen an Gebäude sind abhängig vom herrschenden urbanen Klima, ebenso auch die Art der Nutzung des Stadtraumes. Besonders öffentliche Räume, wie Parks, Wohngebiete, Einkaufsstraßen, Fuß- und Radwege, welche zur Nutzung durch die Bevölkerung angelegt wurden, erfahren höhere und freudigere Beachtung bei angenehmerem und gesünderem Klima. Steigende Temperaturen und der Hitzestress sorgen für eine geringere Nutzung öffentlicher Räume (Kleerekoper et al. 2012: 30). Aktuelle Studien, wie die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte ZURES-Studie, betonen die Notwendigkeit hitzeangepasster Stadtentwicklungsstrategien, um die Lebensqualität der Stadtbewohner\*innen zu erhalten und die städtische Infrastruktur an die neuen klimatischen Bedingungen anzupassen (Bundesministerium für Bildung und Forschung o. J.: o. S.).

Auch die Stadt Bayreuth startete 2024 im Rahmen der Initiative „Demografiefeste Kommune“ des Bayerischen Staatsministeriums für Finanzen und Heimat ein Projekt zur Entwicklung umfassender Strategien zur Hitzeanpassung für die Stadtteile St. Georgen und Burg, welche besonders stark von Hitze betroffen sind (Oppold 2024: o.S.). Die Anwohnenden sollen durch die erarbeiteten Maßnahmen vor den Folgen extremer Hitze geschützt werden, was eine Sicherung der Lebensqualität mit sich bringt. Es wird somit ein entscheidender Beitrag zur Auseinandersetzung mit den Folgen des Klimawandels geleistet. Neben grundlegenden (mikro-)klimatischen Analysen vor Ort, sollen auch die Anwohner\*innen aktiv, durch deren Anregungen und Wünsche, eingebunden werden (Oppold 2024: o.S.).

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu dieser Initiative leisten. Es soll herausgearbeitet werden, inwieweit der Bayreuther Stadtteil St. Georgen resilient gegenüber des rezenten Klimawandels ist und welche Maßnahmen zum Ausgleich der Defizite getroffen werden können. Hierfür werden sowohl ökologische Aspekte als auch die Partizipation der Anwohner\*innen betrachtet. Zunächst werden die Untersuchungsgebiete abgegrenzt sowie wissenschaftliche Grundlagen eingeführt. Hierfür ist besonders die Kontextualisierung des Begriffes Klimaresilienz relevant, sowie die Einführung der städtischen Hitzeinsel, des Konzeptes der „Schwamm-Stadt“ und die Beziehung zwischen Gesundheit und Klima. Nach der Beschreibung der Methodik, welche die Erstellung eines Fragebogens, die Auswertung klimatischer Daten sowie Methoden der Fernerkundung umfasst, folgen die Ergebnisse der Forschung und die Beantwortung der Forschungsfrage. Außerdem werden allgemeine Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Klimaresilienz von Städten sowie der Partizipation der Bevölkerung bereitgestellt.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Stadt Bayreuth steht wie viele andere Städte vor den Herausforderungen des Klimawandels. Die Mischung aus historischen Gebäuden und neueren Wohnsiedlungen, kombiniert mit der dichten Bebauung, begünstigt die Bildung von Hitzeinseln und macht die Stadt gleichzeitig anfälliger für Starkregenereignisse. Trotz dieser Risiken bieten die vielfältigen städtischen Strukturen gleichermaßen Potenzial für gezielte Anpassungsmaßnahmen, um die Auswirkungen des Klimawandels zu verringern. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf dem Stadtteil St. Georgen, der im Folgenden näher betrachtet wird und in der Abbildung 1 nochmals zum weiteren Verständnis abgebildet wird.

Das Untersuchungsgebiet umfasst zwei deutlich unterschiedliche Bereiche im Stadtteil St. Georgen im nordöstlichen Teil von Bayreuth. Nach Wanner (1982: 38 ff.) bezeichnet ein Untersuchungsgebiet einen räumlich abgegrenzten Bereich, der im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie analysiert wird. Dieser Bereich wird anhand spezifischer Merkmale oder Fragestellungen ausgewählt, um gezielte Untersuchungen durchzuführen.

Der erste Bereich erstreckt sich entlang der Straße St. Georgen bis zur Brandenburger Straße und zeichnet sich durch historische Bebauung aus, wobei viele Gebäude gleichermaßen unter Denkmalschutz stehen. Der zweite Teil des Untersuchungsgebiets liegt in einem angrenzenden Neubaugebiet, das vor allem durch moderne Wohnsiedlungen und teilweise Bürogebäude geprägt ist (siehe Abbildung 1). Diese klare Trennung zwischen historischen und neuen Bauten bietet eine

interessante Grundlage für die Untersuchung der städtischen Strukturen und deren Reaktion auf den Klimawandel.



Abbildung 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets (Eigene Darstellung).

Neben den baulichen Gegebenheiten spielt auch die geographische Lage eine zentrale Rolle für die Untersuchung. Die Höhenlage des Untersuchungsgebiets liegt zwischen 350 und 400 Metern über dem Meeresspiegel. Das Klima in Bayreuth ist gemäßigt - die Sommer sind mild und die Winter eher kalt. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt etwa 9°C, und es gibt eine jährliche Niederschlagsmenge von ca. 700 mm (Foken 2007: 150 f.). Besonders in urbanen Gebieten wie St. Georgen kommt es durch die dichte Bebauung und die damit verbundenen *Hitzeinseln* zu verstärkten Temperaturerhöhungen, ein Phänomen, das sich durch den Klimawandel immer mehr verschärft (Debbage & Shepherd 2015: 181 f.). Die Bebauung in St. Georgen ist folglich heterogen. Es gibt historische Gebäude, die teilweise - wie schon erwähnt - unter Denkmalschutz stehen, sowie moderne Wohn- und Geschäftsgebäude. Die Häuserstruktur variiert von ein- bis zweigeschossigen Einfamilienhäusern bis hin zu mehrstöckigen Wohn- und Bürogebäuden (Zensus 2022: o. S.). Die Straßen sind eng und viele Gebäude sind dicht aneinandergebaut, was die Durchlüftung erschwert und die sogenannten *Hitzeinsel-Effekte* nur noch mehr verstärkt.

Hinsichtlich der demographischen Gegebenheiten lassen sich auch dort relevante Punkte, welche zu der weiteren Analyse von Bedeutung sind, festhalten. Schnell fällt auf, dass die sozioökonomische Zusammensetzung der Bevölkerung vielfältig ist – bestehend aus einer Mischung aus wohlhabenderen

und weniger wohlhabenden Haushalten (Zensus 2022: o. S.). In St. Georgen leben Menschen unterschiedlichen Alters und sozialer Hintergründe, darunter Familien, Studierende und Senior\*innen (ebd.). Diese Heterogenität beeinflusst gleichermaßen die Art und Weise, ob und wie unterschiedliche Gruppen auf die Auswirkungen des Klimawandels reagieren und welche Maßnahmen zur Anpassung am dringendsten erforderlich sind.

### 3 Wissenschaftliche Kontextualisierung

#### 3.1 Urbane Klimaresilienz

Urbane Bevölkerungen wachsen stetig und hiermit einhergehend auch die Klimaexposition, weshalb das globale Verständnis der Notwendigkeit zur Anpassung der urbanen Planung sowie Entwicklung und des Managements ansteigt. Obwohl die lokalen Bedingungen von Stadt zu Stadt variieren, gleichen sich die Herausforderungen des Klimawandels, welche aus der schnellen Urbanisierung resultieren. Hierzu zählen besonders die erhöhte Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen, der Wasserverfügbarkeitsdruck, steigende Temperaturen sowie ein steigender Meeresspiegel und intensivere Stürme (Linke et al. 2022: 9; Tyler et al. 2016: 420). Obwohl die tatsächliche Entwicklung des Klimas nicht exakt prognostiziert werden kann, müssen Städte dynamisch sein, um die Fähigkeit zu besitzen Klimarisiken, unvorhersehbare Störungen sowie Stress zu bewältigen, sich anzupassen und zeitgleich weiterhin zu prosperieren (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 49, 248 f.).

Bisher wurden in der Regel Anpassungsstrategien („adaptation planning approach“) verfolgt, welche mögliche Maßnahmen zur Prävention, wie die Anpassung der Politik und Handlungsfelder, auf Basis von vorhergesagten Veränderungen des Klimas erstellen (Tyler und Moench 2012: 312). Anpassung wird laut dem IPCC (2007) definiert als die Anpassung an natürliche oder menschliche Systeme als Antwort auf aktuelle oder erwartete klimatische Reize oder Effekte, wodurch Schäden minimiert werden (Tyler et al. 2016: 421). Aufgrund der steigenden Variabilität, Dynamik und Unsicherheit der Klimabedingungen, ist diese Herangehensweise über erwartete Effekte in der praktischen Umsetzung allerdings schwierig. Der Umgang mit unvorhergesehenen überraschenden Störungen ist stark limitiert. Zudem liegt das Hauptaugenmerk auf spezifischen Klimaauswirkungen, wodurch indirekte Effekte, Systemschwächen und institutionelle Einschränkungen vernachlässigt werden, ebenso wie die hohe Relevanz des Lernens und der Regierung, welche wichtige Elemente für laufende adaptive Maßnahmen darstellen (Tyler und Moench 2012: 312; Tyler et al. 2016: 420).

Effektiver als den Fokus auf separate Maßnahmen zur Anpassung an spezifische mögliche zukünftige Klimarisiken zu setzen, ist der Aufbau einer Resilienz der Stadt. Der IPCC definiert Resilienz als die

Fähigkeit eines sozialen oder ökologischen Systems, Störungen zu absorbieren, wobei die grundlegenden Strukturen und Funktionsweisen, die Kapazität der Selbstorganisation und Anpassung an Stress sowie Veränderungen beibehalten werden. Sie wird ausgedrückt als eine Antwort auf einen Schock oder eine Störung eines komplexen Systems, kann aber auch als latente Eigenschaft bei Abwesenheit solcher Störungen angesehen werden (Tyler und Moench 2012: 312; Tyler et al. 2016: 421). Ursprünglich umfasste die Bedeutung von Resilienz nur die Eigenschaften Stärke und Widerstandsfähigkeit, im neueren Verständnis spielen allerdings auch Flexibilität, Veränderung und Wandel sowie das Lernen eine wichtige Rolle (Tyler und Moench 2012: 312).

Urbane Klimaresilienz beschreibt die Kapazität von Städten zu funktionieren und zeitgleich sicherzustellen, dass dort wohnende und/oder arbeitende Menschen überleben sowie prosperieren, während Klimarisiken und Störungen bekämpft werden. Hierbei sollen arme und vulnerable Personen mit hoher Relevanz betrachtet werden (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 49). Hierfür ist die Stärkung der Infrastruktur und Ökosysteme, um deren Fragilität gegenüber Klimaeinflüssen zu reduzieren genauso grundlegend, wie das Risiko von Kaskadeneffekten. Außerdem muss die Kapazität sozialer Akteur\*innen, adaptive Reaktionen vorherzusehen und zu entwickeln, sowie der Zugang zu und Erhalt unterstützender urbaner Systeme aufgebaut und erweitert werden. Ebenso müssen institutionelle Faktoren, welche effektive Reaktionen auf die Systemfragilität oder die Handlungsfähigkeit der Akteur\*innen hemmen adressiert werden (Tyler et al. 2016: 421). Die drei relevanten Elemente für urbane Klimaresilienz sind somit Systeme, Akteur\*innen und Institutionen (Tyler und Moench 2012: 312).

Das höchste Ziel resilenter Städte ist die Sicherung von Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen, anhaltender und fortschreitender ökonomischer Erfolg und Wachstum sowie die ökologische Gesundheit und Qualität, unabhängig von externen Gefahren und Bedrohungen. Die fünf vorherrschenden Eigenschaften für das Erreichen dieses Ziels sind Biodiversität, Vielseitigkeit, ein multiskalares Netzwerk, Modularisierung und ein adaptives Design (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 49, 249). Für eine klimaorientierte Entwicklung von Städten ist die gemeinsame Betrachtung von Hitzestressverteilung und Durchlüftung von hoher Relevanz (siehe Kapitel 7), ebenso wie eine frühzeitige Integration grüner und grauer Infrastruktur in Planungsprozesse, sodass positive wie auch negative Wechselwirkungen bewertet werden können. Hierunter fällt das Anlegen von Grünflächen und das Anpflanzen von Bäumen, aber auch Analysen zum Stellplatzbedarf und Verkehr sowie das Management von Bestandsgebäuden (Linke et al. 2022: 12 f., 17).

### 3.2 Städtische Hitzeinseln

Das Phänomen der städtischen Hitzeinsel („urban heat island“, UHI) beschreibt, dass urbane Gebiete höhere Lufttemperaturen aufweisen als umliegende rurale Gebiete (Deilami et al. 2018: 30; Kleerekoper et al. 2012: 30; Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 57). Das Ausmaß der Temperaturdifferenz variiert sowohl zeitlich als auch räumlich, aufgrund meteorologischer, standortspezifischer und urbaner Charakteristika (Kleerekoper et al. 2012: 30). Im Allgemeinen tragen städtische Hitzeinseln jedoch stark zum Klimawandel bei, besonders durch höhere Temperaturen und die damit verbundene Entstehung von Unwettern. Des Weiteren ist ein steigender Energieverbrauch zur Sicherung der Lebensqualität nötig. Außerdem haben UHI einen negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit durch die Erhöhung der oberflächennahen Ozonkonzentration sowie die Reduktion der Luftqualität und das Fördern hitzebedingter Todesfälle (Debbage und Shepherd 2015: 181; Deilami et al. 2018: 30 f.).

Ursachen für die Entstehung von städtischen Hitzeinseln sind vor allem in der räumlichen Konfiguration der Stadt zu finden (siehe Abbildung 2) (Debbage und Shepherd 2015: 181). Die, von der Sonne einfallende, kurzwellige Strahlung wird von (Bau-)Materialien mit geringer Albedo teilweise absorbiert und in Form von Wärme gespeichert, und teilweise reflektiert. Dabei kommt es zu multipler Reflektion zwischen Gebäuden und Straßenflächen, die Strahlung wird also innerhalb des Gebiets eingefangen und nicht in die Atmosphäre entlassen. Auch langwellige Strahlung und damit einhergehende Wärme kann wegen der Versperrung des Himmels durch hohe Gebäude nicht aus Straßenschluchten entweichen, sondern wird von Gebäude- oder Straßenflächen absorbiert oder multipel reflektiert (Kleerekoper et al. 2012: 30). Langwellige Strahlung wird zusätzlich durch die Luftverschmutzung in der urbanen Atmosphäre absorbiert sowie reflektiert. Hinzukommend zum nicht möglichen Entweichen der Wärme, wird anthropogene Hitze durch Verbrennungsprozesse im Zuge des Verkehrs, der Raumbeheizung und Industrie in die urbane Atmosphäre freigegeben (Debbage und Shepherd 2015: 181; Kleerekoper et al. 2012: 30). Städte haben in der Regel eine größere Gesamtoberfläche, beispielsweise durch sehr viele hohe Häuser, als rurale Gebiete, wodurch mehr Wärme in Baumaterialien mit hoher thermischer Aufnahmekapazität gespeichert werden kann. Die Stadt stellt durch die Bebauung somit einen großen Wärmespeicher dar (Kleerekoper et al. 2012: 30; Landkreis Bayreuth 2022: 101). Aufgrund der starken Versiegelung urbaner Gebiete stehen weniger wasserdurchlässige Flächen, zum Beispiel Grünflächen, zur Verfügung, wodurch die Evaporation verringert wird und folglich mehr Energie in Form von spürbarer Wärme vorliegt als in Form von latenter Wärme. Hinzu kommt eine bebauungsbedingte Reduktion der Windgeschwindigkeit, was zu einem geringeren turbulenten Hitzetransport und Luftaustausch

innerhalb der Straßen führt (Debbage und Shepherd 2015: 181; Kleerekoper et al. 2012: 30; Landkreis Bayreuth 2022: 101). Durch eine offene Zeilenbauweise kann ein Abtransport von Wärme durch den Luftstrom leichter vonstattengehen, wobei hier die Hauptwindrichtung für die Ausrichtung der Gebäude von Relevanz ist. Besonders deutlich ist die stärkere Abkühlung aufgrund der Bauweise nachts (Linke et al. 2022: 11 f.).

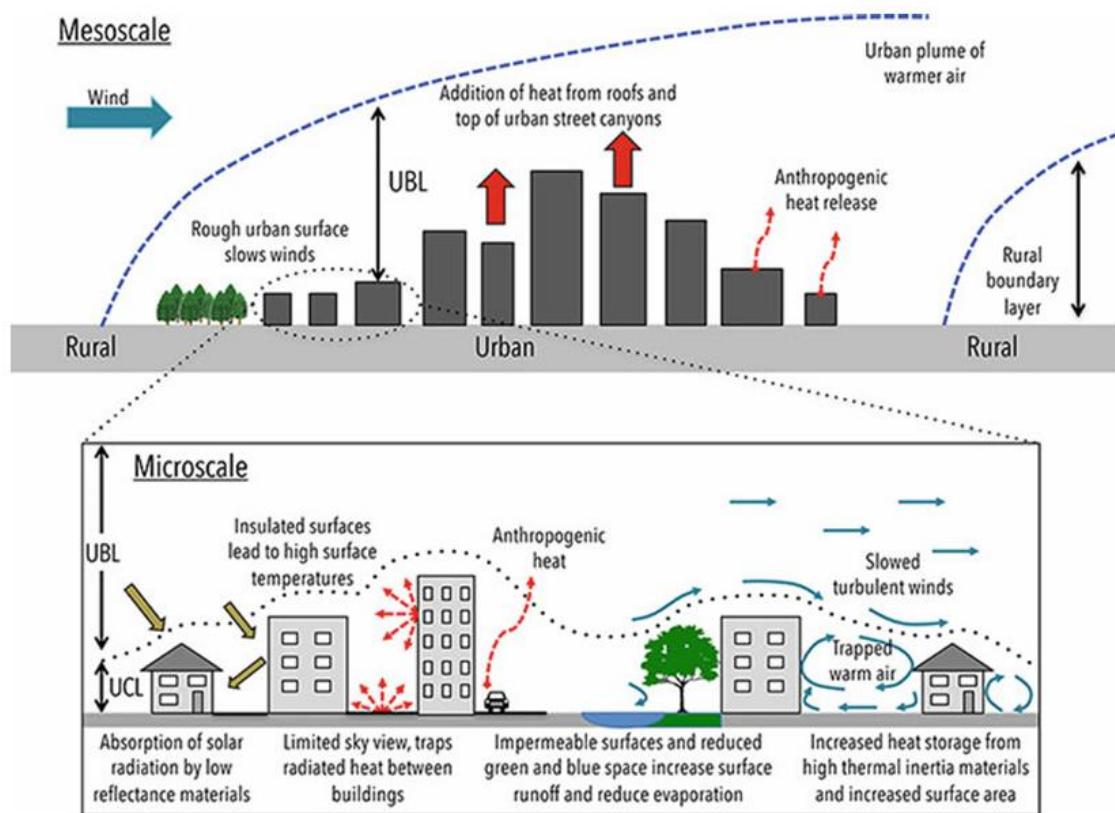


Abbildung 2: Schematische Darstellung des städtischen Hitzeinsel Effekts auf Meso- und Mikroskala (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 58).

Die Lufttemperatur urbaner Gebiete kann, verglichen mit umliegenden Gebieten, bis zu 5-8°C wärmer sein (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 57). Die größte Differenz ist meist während der Nacht feststellbar, da die am Tag, durch Absorption der Strahlung, in Materialien wie Beton und Asphalt gespeicherte Wärme nach Sonnenuntergang nur langsam wieder abgegeben wird. Hinzu kommen die geringen Windgeschwindigkeiten, welche den Abtransport der freigewordenen Wärme erschweren (Deilami et al. 2018: 36; Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 57). Auch saisonal ist eine Variation der Intensität des UHI feststellbar, zum einen aufgrund der unterschiedlichen Menge an Solareinstrahlung, die die Erdoberfläche erreicht und zum anderen aufgrund der unterschiedlichen metabolischen Aktivität der Vegetation je nach Jahreszeit (Deilami et al. 2018: 36). Im Sommer und Frühling ist eine höhere Intensität des UHI vorzufinden, weil diese Monate die Vegetationsperiode umfassen. Somit sind ländliche Gebiete bedeckt mit frischen und aktiven Pflanzen, welche für eine

Abkühlung sorgen, die Lufttemperaturdifferenz zwischen Stadt und Umgebungsland ist somit deutlich größer (Deilami et al. 2018: 36). Hieraus wird erneut der starke Einfluss von Vegetation auf die Intensität der städtischen Hitzeinsel deutlich. Zudem ist der saisonale Einfluss stark abhängig von der geographischen Lage und großflächigeren klimatischen Dynamiken (Deilami et al. 2018: 36).

### 3.3 Konzept „Schwamm-Stadt“

Ein nachhaltiges Wassermanagement ist eine essentielle Anforderung an das Design von resilienten Städten, hinzu kommt eine Steigerung der Lebensqualität und mehr begrünte Flächen (Funke et al. 2020: 6 f.; Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 50; Nguyen et al. 2019: 147). Durch die hohe Nutzung grauer Infrastruktur und grauer Baustoffe, wie Asphalt oder Beton, in urbanen Gebieten, entstehen großflächig undurchlässige Oberflächen, welche die Absorption von Wasser nicht zulassen und somit Überschwemmungen fördern. Durch die steigende Versiegelungsrate werden immer mehr Wälder, Grünflächen und Feuchtgebiete, welche einen natürlichen Wasserspeicher darstellen, entfernt und das Regenwasser somit nicht dem Grundwasser zugeführt oder genutzt, sondern in Form von Abwasser abgeführt (Jia et al. 2022: 1; Nguyen et al. 2019: 148).

Das Konzept der „Schwamm-Stadt“, ursprünglich aus China kommend, verfolgt das Ziel eines naturbasierten Oberflächenabflussmanagements bei Niederschlagsereignissen und somit die Kontrolle von urbaner Überschwemmungsgefahr. Die Stadt muss designt werden, um so viel Regenwasser wie möglich zu speichern. Genutzt werden hierfür Speichertunnel, Regengärten, angebaute Teiche, Vegetationssenken und Feuchtgebiete sowie die Speicherung in Biomasse. Grundlegend sind außerdem wasserdurchlässige Bodenbeläge, die eine Infiltration des Wassers in den Boden ermöglichen (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 20, 118; Nguyen et al. 2019: 151). Ähnlich einem Schwamm soll das Regenwasser absorbiert werden, wobei es zeitgleich zu einer natürlichen Filtration im Boden kommt. Somit kann zum einen der Grundwasserspeicher aufgefüllt werden und zum anderen das gespeicherte Wasser, zum Beispiel in Speichertunneln oder Vegetationssenken, bei Trockenheit genutzt werden (Kumareswaran und Jayasinghe 2023: 118 ff.).

Die Funktionen einer Schwamm-Stadt bestehen in der Sicherung der Wasserversorgung, der Reduktion von Abflussspitzen und des Überschwemmungsrisikos sowie der Abschwächung der Auswirkungen von Dürre und dem Effekt von städtischen Hitzeinseln (siehe Kapitel 3.2). Durch die natürliche Filtration des Wassers im Boden kommt es außerdem zu einer Reinigung und damit Qualitätssteigerung des (Regen-)Wassers. Des Weiteren sind Schwamm-Städte gekennzeichnet durch ein gutes Abwassermanagement und den Erhalt von Biodiversität (Jia et al. 2022: 7; Kumareswaran

und Jayasinghe 2023: 120; Nguyen et al. 2019: 151 f.). Das schematische Design sowie die ökologischen Dienstleistungen einer Schwamm-Stadt sind in Abbildung 3 dargestellt.

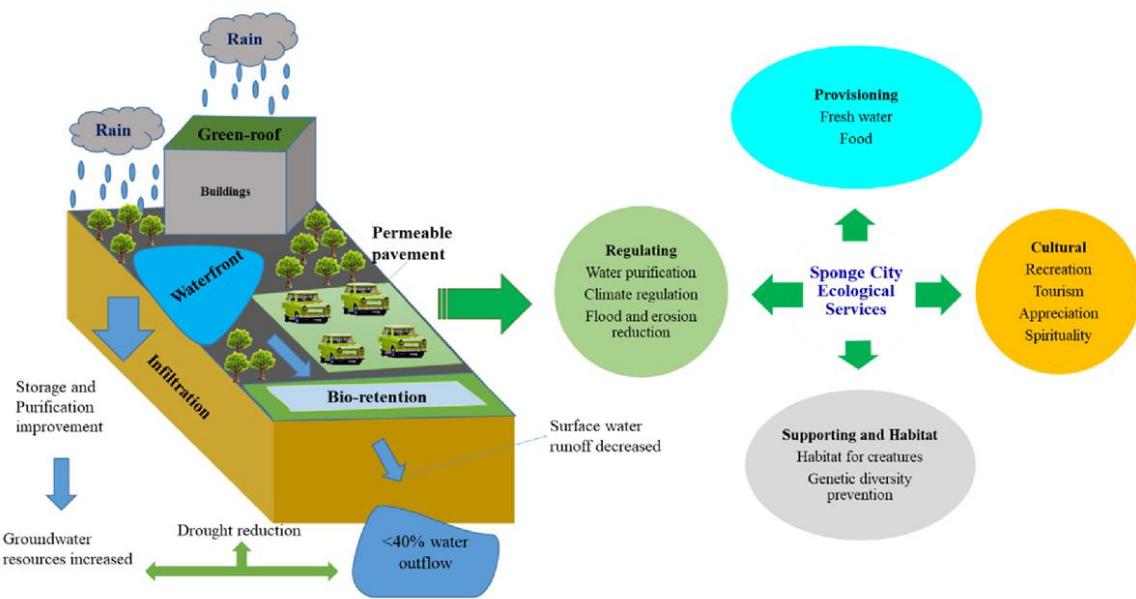


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Schwamm-Stadt und der ökologischen Dienstleistungen einer Schwamm-Stadt (Nguyen et al. 2019: 152).

Genutzte Technologien einer solchen Schwamm-Stadt sind begrünte Dächer, angelegte Grünflächen, künstliche Regenwasserfeuchtgebiete, Infiltrationsteiche, wasserdurchlässige Bodenbeläge und biologische Wasserrückhalteinfrastruktur (Nguyen et al. 2019: 149).

### 3.4 Klimawandel und Gesundheit

Der Klimawandel hat tiefgreifende Auswirkungen auf städtische Gebiete und die Gesundheit ihrer Bewohner\*innen. Städte wie Bayreuth, insbesondere der Stadtteil St. Georgen, sind durch ihre dichte Bebauung und hohe Bevölkerungsdichte besonders anfällig für klimatische Veränderungen. Diese besagten Veränderungen manifestieren sich durch steigende Temperaturen, häufigere und intensivere Extremwetterereignisse und veränderte Niederschlagsmuster, die alle erheblichen Einfluss auf die städtische Umwelt und die öffentliche Gesundheit haben (Linke et al. 2022: 9).

Gesundheitliche Auswirkungen stehen an erster Stelle, wenn es um die Auswirkungen des Klimawandels geht. Besonders durch die *Urban Heat Island-Effekte* kommt es zu einer überproportionalen Erwärmung der städtischen Gebiete (Debbage & Shepherd 2015: 181 f.). *Urban Heat Islands (UHI)* beschreiben das Phänomen, bei dem städtische Gebiete deutlich höhere Temperaturen aufweisen als das umgebende ländliche Umland. Dies ist hauptsächlich auf die dichte Bebauung, die Versiegelung von Flächen und das Fehlen von Vegetation zurückzuführen - Asphalt,

Beton und Gebäude speichern die tagsüber aufgenommene Wärme und geben sie nachts nur langsam wieder ab, was zu einer kontinuierlichen Erwärmung der Stadt führt (ebd.). Ein weiterer relevanter Aspekt im Zusammenhang mit der gesundheitlichen Belastung durch den Klimawandel ist die Zunahme von *Hitzetagen* und *Tropennächten*. Hitzetage, also Tage mit Temperaturen über 30°C, führen zu einem Anstieg von Hitzestress, insbesondere bei gefährdeten Bevölkerungsgruppen wie älteren Menschen, Kindern und Menschen mit Vorerkrankungen (Hörz 2016: 39 ff.) Tropennächte, bei denen die Temperatur nachts nicht unter 20°C fällt, verhindern eine ausreichende Abkühlung des Körpers und können zu Schlafstörungen sowie einer Verschlechterung der allgemeinen Gesundheit führen (ebd.) Des Weiteren können Hitzewellen zu Hitzestress, Dehydrierung und hitzebedingten Erkrankungen wie Hitzschlag und Herz-Kreislauf-Problemen führen (Brasseur et al. 2023: 176). Der Klimawandel beeinflusst auf der anderen Seite auch die Luftqualität, da höhere Temperaturen die Bildung von bodennahem Ozon fördern und längere Trockenperioden zu einer Zunahme von Feinstaubbelastungen führen (Brasseur et al. 2023: 176 ff.). Schlechte Luftqualität kann Atemwegserkrankungen wie Asthma und chronische Lungenerkrankungen verschlimmern und das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen ebenfalls erhöhen (ebd.). Der Klimawandel kann zudem die Verbreitung von krankheitsübertragenden Insekten wie Mücken beeinflussen, die Vektoren für Krankheiten wie unter Anderem Dengue-Fieber sind (Voigt et al. 2009: 184).

Ein weiterer bedeutender Aspekt sind die durch den Klimawandel verursachten veränderten Niederschlagsmuster. Häufigere und intensivere Niederschläge können zu Überlastungen der Kanalisation und Überschwemmungen führen, was eine Modernisierung und Anpassung der städtischen Wasserinfrastruktur zur Bewältigung von Starkregenereignissen und zur Verbesserung des Wassermanagements notwendig macht (Brasseur et al. 2023: 279 ff.).

Generell tragen Grünflächen in Städten zur Kühlung bei und verbessern die Luftqualität. Sie sind essenziell für die Erholung und das Wohlbefinden der städtischen Bevölkerung (Linke et al. 2022: 9). Allerdings setzt Hitze- und Dürrestress städtische Vegetation unter Druck, was zu einer Verschlechterung des Stadtklimas führen kann. Um Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen, müssen Gebäude an höhere Temperaturen angepasst werden, etwa durch bessere Isolierung, Begrünung von Dächern und Fassaden sowie den Einsatz klimafreundlicher Baumaterialien (Linke et al. 2022: 12 ff.). Daher sind eine nachhaltige Energieversorgung und effiziente Kühlsysteme von großer Bedeutung und müssen in Zukunft weiterhin ausgebaut und transformiert werden (Linke et al. 2022: 11 ff.).

## 4 Methodik

### 4.1 Befragung

#### Forschungsdesign

Die Methodik zur Befragung soll anschließend der Vollständigkeit wegen nur kurz erläutert werden, da aufgrund der geringen Beteiligung keine brauchbaren (inhaltlichen) Erkenntnisse gewonnen werden konnten.

Als Erhebungsmethode wurde eine quantitative Befragung mittels eines Fragebogens (siehe Anhang 2a-c) gewählt. Diese Befragung hatte das Ziel zu ermitteln, ob für die Bewohner\*innen des Untersuchungsgebiets bereits Auswirkungen des Klimawandels am Wohnort spürbar sind und wie sich diese äußern. Beim Entwickeln des Forschungsdesigns und der Erstellung des Fragebogens wurde sich an den Vorgaben und Empfehlungen von Meier Kruker und Rauh (2005) orientiert.

Bei der Konstruktion der Fragen wurden unterschiedliche Fragetypen (Faktfragen, planungsbezogene Fragen, Meinungsfragen und Handlungsfragen) gewählt. Diese waren in den meisten Fällen geschlossene Fragen. Gewisse Informationen konnten jedoch nur über offene Fragen gewonnen werden (siehe Frage 1, 2, 8, 11, 14 und 15). Das Alter wurde mittels einer geschlossenen Frage ermittelt, da diese in ihrer Konfiguration eine ausreichende Kategorisierung bietet (vgl. Kruker und Rauh 2005: 91 ff.).

Die Befragungen wurden vor Ort an den Türen der bzw. daheim bei den Bewohner\*innen durchgeführt werden. Dies sollte immer wochentags zwischen 16:00 Uhr und 18:00 Uhr geschehen.

#### Auswertung

Aufgrund der absolut als auch relativ gesehen geringen Beteiligung an der Befragung wurde der Versuch einer umfangreicherer Erhebung nach dem zweiten Pre-Test eingestellt. Eine Auswertung war somit nicht möglich.

### 4.2 Klimadaten

#### Forschungsdesign

Um Aussagen über die derzeitigen mikroklimatischen Verhältnisse und eventuelle Veränderungen treffen zu können, sind Messungen vor Ort nötig. Diese sind im Rahmen eines Studienprojektes jedoch nicht umsetzbar. Aus diesem Grund erhielten wir die Daten zweier Messstationen im

Untersuchungsgebiet vom Lehrstuhl für Mikrometeorologie der Universität Bayreuth<sup>1</sup>, welcher derzeit auch an der Initiative „Demografiefeste Kommune“ beteiligt ist.

Seit Juli 2024 ist ein Netz von insgesamt acht Klimastationen (inklusive der an der Wilhelminenaue) im Stadtteil St. Georgen installiert. Einzelne Stationen, z. B. in der Straße St. Georgen sind bereits länger vor Ort. Diese Messstationen erheben unter anderem Daten zur Windgeschwindigkeit, Sonneneinstrahlung, dem Luftdruck, etc. Für die Analysen in diesem Bericht wurden nur Daten zur Temperatur und dem Niederschlag analysiert. Für diesen Bericht wurden die Daten von zwei Stationen verwendet: die Station in der Straße St. Georgen (Untersuchungsgebiet St. Georgen) und die Station in der Leersstraße (Untersuchungsgebiet Schanz). Wenn im Folgenden von St. Georgen gesprochen wird, ist die Straße und nicht der Stadtteil gemeint.

Beide Stationen wurden in einer Höhe von 3m über dem Boden an Straßenlaternen montiert (siehe Abbildung 4 und 5). Die Daten für St. Georgen reichen bis zum 9. August 2018 zurück. Es bestehen jedoch Datenlücken aufgrund von Störungen der Station in den Zeiträumen vom 3. Mai bis zum 25. Oktober 2023 sowie vom 23. November 2023 bis zum 5. März 2024. Bei dieser Station werden alle Parameter in fünfminütigen Abständen gemessen. Zur Analyse erhielten wir immer den stündlichen Durchschnitt. Von der Klimastation in der Leersstraße erhielten wir die Daten vom Juli sowie August 2024. Dabei liegen hier die Daten der Messungen in fünfminütigen Intervallen vor.



Abbildung 4: Klimastation in St. Georgen (Eigene Aufnahme).



Abbildung 5: Klimastation in Schanz (Eigene Aufnahme).

### Auswertung

Um den Umfang der Daten zu verringern, wurden mithilfe von ChatGPT 4o die Tageshöchst- sowie die Tagestiefstemperatur, die Durchschnittstemperatur und die Summe des Niederschlags für jeden Tag ermittelt. Ohne diesen Schritt wäre eine Auswertung der Daten in einem Studienprojekt nicht umsetzbar. Zwar kann nach der Vereinfachung der Daten kein Rückschluss mehr auf den Zeitpunkt der Werte Tageshöchst- und Tagestiefstemperatur gezogen werden, jedoch wird davon ausgegangen, dass die Tageshöchsttemperatur stets am Tag und die Tagestiefstemperatur stets in der Nacht auftritt.

---

<sup>1</sup> Kontakt: [https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/meteo/de/kontakt17/gru/html.php?id\\_obj=124839](https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/meteo/de/kontakt17/gru/html.php?id_obj=124839)

Das Ziel der Auswertung soll es sein den Einfluss des Klimawandels und seiner Phänomene auf die Bewohner\*innen des Untersuchungsgebietes zu ermitteln. Für die Gesundheit des Menschen ist vor allem die zunehmende Hitzebelastung von erheblicher Bedeutung (Umweltbundesamt 2024: o. S.).

Aus diesem Grund wurden die Kenngrößen *Heiße Tage* und *Tropennächte* (vgl. Umweltbundesamt 2024a: o. S.) für die Sommermonate Juni, Juli und August (DWD o. J.a: o. S.) verwendet. Ein *Heißer Tag* ist ein Tag mit einer Tageshöchsttemperatur  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  (DWD o. J.b: o. S.) und eine *Tropennacht* ist eine Nacht, in der das Minimum der Lufttemperatur  $\geq 20^{\circ}\text{C}$  beträgt (DWD o. J.c: o. S.).

Zusätzlich wurden die Kategorien *Quasi-Heiße Tage* und *Quasi-Tropennächte* gebildet. An einem *Quasi-Heißen Tag* liegt die Tageshöchsttemperatur im Intervall  $[29^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}]$  und in einer *Quasi-Tropennacht* liegt die Tagestiefsttemperatur im Intervall  $[19^{\circ}\text{C}, 20^{\circ}\text{C}]$ . Diese beiden zusätzlichen Kategorien wurden gebildet, um ein differenzierteres Bild der Risikotage/-nächte zu erhalten. Wenn im Folgenden von *(Quasi-/)Heißen Tagen* gesprochen wird, ist die Summe aus *Heißen Tagen* und *Quasi-Heißen Tagen* gemeint. Analog für *(Quasi-/)Tropennächte*.

Da anhaltend hohe Lufttemperaturen ein zusätzliches Gesundheitsrisiko darstellen (Umweltbundesamt 2024: o. S.), wurde zudem die Abfolge von *Heißen Tagen* und *(Quasi-/)Tropennächten* analysiert.

#### 4.3 Fernerkundung

Die Fernerkundung ermöglicht uns einen detaillierten Überblick über unser Forschungsgebiet zu erhalten. Zusätzlich können über die Fernerkundung nicht sichtbare Charakteristika eines Gebietes erfasst werden, die ohne die fluggestützten Daten nicht bemerkbar waren.

Um Probleme oder Ergebnisse besser darzustellen, dient die graphische Verarbeitung von Informationen mit Hilfe der Fernerkundung. So können abstrakte Phänomene einfacher und leichter transportiert werden.

Wenn die Fernerkundungsdaten, wie in unserem Falle, nicht selbst erhoben werden, gibt es eine Vielzahl an Diensten, die über die benötigten Daten verfügen. Ein Großer Datenanbieter ist das europäische „Copernicus“ Programm. Über einen Webbrowser (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>) lassen sich die benötigten Daten suchen und kostenlos herunterladen. Die Daten können für die gewünschten Zwecke gefiltert und nach der Veröffentlichung sortiert werden. Sie reichen von den Sentinel-1 Satelliten über Sentinel-5P hin zu den Daten von Copernicus Satelliten. Mithilfe von weiteren Tools des Browsers kann man sich die gewünschten Daten und Bilder für das ausgewählte Gebiet anpassen lassen und nur diese Daten herunterladen.

Weitere kostenlose Möglichkeiten, um an Daten zu gelangen ist die NOAA (National Ozeanic and Atmospheric Administration), eine wissenschaftsbasierte Bundesbehörde der USA, die über das NESDIS (National Environmental Satellite, Data, and Information Service) Daten und interaktive Karten frei zur Verfügung stellen (<https://www.nesdis.noaa.gov>). Auch die NASA stellt über ihren Service „EARTHDATA“ Daten kostenlos zur Verfügung und stellt Hilfe für die Datensuche zur Verfügung (<https://www.earthdata.nasa.gov>). Um Daten der Landsat-Satelliten zu bekommen, kann man die Dienste des „USGS Earth Explorers“ (<https://earthexplorer.usgs.gov>) nutzen. Das USGS ist der „United States Geological Survey“ und stellt das wichtigste kartographische Amt der Vereinigten Staaten dar.

Auch ESRI, der Hersteller der ArcGis-Software, stellt in einem Datenkatalog eine Vielzahl an Daten kostenfrei zur Verfügung (<https://opendata-esridech.hub.arcgis.com>). Diese gehen im Vergleich zu den anderen Anbietern aber über reine Satellitenbilder hinaus. Die Datensets von ESRI umfassen auch bereits integrierte Daten, wie zum Beispiel „Gebäudestrukturen“, ein „Straßenbaumkataster in Hamburg“ oder auch den „Verdienstunterschied zwischen Männern und Frauen in Deutschland“. Diese bereits modellierten Daten sind frei verfügbar und wurden auch in diesem Projekt genutzt.

Für dieses Projekt genutzte Daten stammen vor allem von „Copernicus“ und den ESRI beziehungsweise „ArcGis“ Daten. Über den Copernicus Browser wurden uns bereits berechnete NDVI-Werte aus den vorhandenen Sentinel-2 Daten für unsere Untersuchungsgebiet geliefert. Läßt man die gewünschten Daten herunter, erhält man eine Reihe von Daten, die bereits in einzelne „Layer“ für bestimmte Zwecke unterteilt sind. So kann man zum Beispiel den Layer „2023-09-25\_Sentinel-2\_L2A\_NDVI.tif“ einfach in ein GIS-System, in unserem Falle wurde mit ArcGis gearbeitet, ziehen und die Daten werden als Kartenausschnitt angezeigt. Auch lässt sich im Namen des „Layers“ erkennen, von wann die Aufnahme stammt. Die anderen Karten, die im Zuge dieses Projektes erstellt wurden, entstanden mithilfe der ESRI-Datenbank und den in ArcGis bereits verfügbaren Grundkarten (z.B. OpenStreetMap, topographische Karten).

Bei der Auswahl der Daten wurde immer die aktuelle Version, wenn diese nutzbar war (d.h. keine Wolkenbedeckung über unserem Forschungsgebiet), verwendet, um ein möglichst akkurate Ergebnis zu erlangen. Im Falle der Copernicus-Daten ist es der Datensatz vom 25.09.2023. Zu beachten im Bezug auf das Alter der Daten ist, dass wir in unserem Falle von einem eher kleinen Forschungsgebiet sprechen, weshalb Satelliten genau dieses Gebiet nicht so häufig überfliegen. Die von ESRI bereitgestellten Daten bewegen sich auch in diesem Zeitraum. Der von uns genutzte Datensatz zum Gebäudebestand wurde am 12.01.2023 von „Esri Deutschland Content“ veröffentlicht und zuletzt am 27.12.2023 aktualisiert ([https://opendata-esridech.hub.arcgis.com/datasets/00ffdc0a483648989c72c84dfa92a09e\\_0/explore?location=49.955872%2C11.596247%2C16.78](https://opendata-esridech.hub.arcgis.com/datasets/00ffdc0a483648989c72c84dfa92a09e_0/explore?location=49.955872%2C11.596247%2C16.78)). Die Grundkarten, die für die

Erstellung der Grünflächen genutzt wurden, stammen vom 28.03.2024 (<https://livingatlas.arcgis.com/wayback/#active=13968&mapCenter=11.59614%2C49.95650%2C17>).

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Befragung

Mittels der Befragung konnten keine inhaltlichen Ergebnisse gewonnen werden (siehe Anhang 1a-c). Jedoch ist aufgefallen, dass die Teilnahmebereitschaft der angetroffenen Bewohner\*innen gering war und die Einladung zur Partizipation abgelehnt wurde. Manche Personen, die zuerst bereit waren unsere Fragen zu beantworten, wollten dies nicht mehr nachdem sie das Thema der Befragung erfuhren.

### 5.2 Klimadaten

In St. Georgen konnte im Rahmen der Untersuchung kein eindeutiger linearer Trend bezüglich der Lufttemperatur in den Sommer- und Wintermonaten erkannt werden (siehe Tabelle 1 und 2). Dies liegt jedoch an der kurzen Betrachtungsperiode, welche bloß fünf Datenreihen enthält, denn in Deutschland werden seit vielen Jahren steigende Lufttemperaturen beobachtet (Umweltbundesamt 2024b: o. S.).

*Tabelle 1: Durchschnittstemperaturen der Sommermonate in St. Georgen (Eigene Darstellung).*

<b>Jahr</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Aug.</b>	<b>Sommer</b>
2019	21,8 °C	20,8 °C	20 °C	20,9 °C
2020	17,3 °C	19,4 °C	20,8 °C	19,2 °C
2021	20,1 °C	18,9 °C	16,8 °C	18,6 °C
2022	20,6 °C	20,3 °C	21,2 °C	20,7 °C
2024	18,5 °C	20,5 °C	21,9 °C	20,3 °C

Tabelle 2: Durchschnittstemperaturen der Wintermonate in St. Georgen (Eigene Darstellung).

Jahr	Dez.	Jan.	Feb.	Winter
2018/19	3 °C	- 0,2 °C	2,6 °C	1,8 °C
2019/20	2,9 °C	1,8 °C	4,8 °C	3,1 °C
2020/21	2,2 °C	1,1 °C	1,2 °C	1,1 °C
2021/22	2,2 °C	2 °C	3,9 °C	2,7 °C
2022/23	1,3 °C	3 °C	2,2 °C	2,2 °C

Sowohl nach der Durchschnittstemperatur als auch der Anzahl der Heißen Tage, war der Sommer 2019 der wärmste in den analysierten Daten. Dabei traten heiße Tage (20) im Vergleich mit dem deutschen Durchschnitt für das Jahr 2019 (17) überdurchschnittlich häufig auf (Umweltbundesamt o. J.: o. S.). In den folgenden Jahren lagen die Werte stets knapp unter dem deutschen Durchschnitt (2020: 11,4; 2021: 4,5; 2022: 17,3) und für das Jahr 2024 sind noch keine Vergleichsdaten verfügbar (Umweltbundesamt o. J.: o. S.).

Besonders interessant ist die Betrachtung der *Heißen Tage*, wenn die *Quasi-Heißen Tage* inkludiert werden. So kommt man im Jahr 2019 auf 27 (*Quasi-/Heiße Tage* (siehe Abb. 6 und 7). Zudem lässt sich nun seit 2021 ein Trend erkennen, dass immer mehr (*Quasi-/Heiße Tage* in St. Georgen auftreten – jedoch fehlen die Daten für 2023. Auffällig ist, dass der Sommer 2024 nach (*Quasi-/Heißen Tagen* der zweitwärmste Sommer in der Betrachtungsperiode und fast so heiß, wie der Sommer 2019 war.

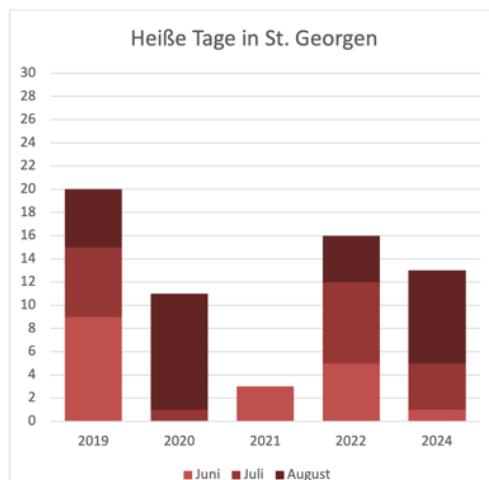


Abbildung 6: Heiße Tage im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung).

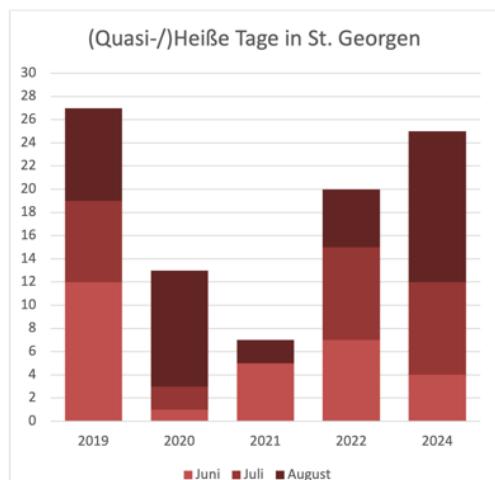


Abbildung 7: (Quasi-/)Heiße Tage im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung).

Wie bereits im Kapitel 4.2 erläutert, sind nicht bloß die *Heißen Tage* alleine eine Bedrohung für die Gesundheit der Bewohner\*innen eines Raumes, sondern auch die Tropennächte sowie die Aneinanderreihung von *Heißen Tagen* und *Tropennächten* (Umweltbundesamt 2024: o. S.). Laut Deutschem Wetterdienst gibt es an den meisten Standorten im Durchschnitt weniger als eine *Tropennacht* im Jahr (DWD o. J.c: o. S.). In St. Georgen traten im Untersuchungszeitraum durchschnittlich 2,2 *Tropennächte* pro Jahr auf. Auch hier sticht der Sommer 2019 mit insgesamt sechs *Tropennächten* heraus. Im Jahr 2021 sowie 2022 wurde eine *Tropennacht* registriert, im Jahr 2020 gar keine und 2024 drei (siehe Abbildung 8).

Bei der Betrachtung der *(Quasi-/)-Tropennächte* zeigt sich erneut ein anderes Bild. Hier sticht neben dem Sommer 2019 auch der des Jahres 2022 mit acht *(Quasi-/)-Tropennächten* heraus (siehe Abbildung 9).

Die Ergebnisse der *Heißen Tage* mit folgender *Tropennacht* bzw. *(Quasi-)Tropennacht* decken sich bezüglich der Verteilung weitestgehend mit den Ergebnissen der *Tropennächte* bzw. *(Quasi-/)-Tropennächte* (vgl. Abb. 8 und Abb. 10 bzw. Abb. 9 und Abb. 11). Auffällig ist, dass bei den *Heißen Tagen* mit folgender *(Quasi-/)-Tropennacht* 2019 und 2022 jeweils sieben Stück aufweisen (siehe Abbildung 9). Somit war im Sommer 2022 die Hitzebelastung in St. Georgen durchaus höher als es Abb. 10 mit dem Indikator des Deutschen Wetterdienstes suggeriert.

Von besonderer Bedeutung ist jedoch nicht bloß die absolute Häufigkeit von *Heißen Tagen* und *(Quasi-/)-Tropennächten*, sondern auch deren zeitliche Verteilung bzw. Abfolge (vgl. Umweltbundesamt 2024: o. S.). Im Untersuchungszeitraum waren die Abfolgen von *Heißen Tagen* und *(Quasi-/)-Tropennächten* in den meisten Fällen singuläre Ereignisse. Jedoch darf das seltene Auftreten von mehreren *Heißen Tagen* und *(Quasi-/)-Tropennächten* nicht unterschätzt werden, da aufgrund dieser

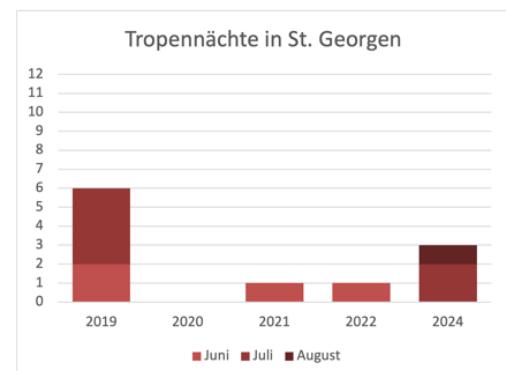


Abbildung 8: *Tropennächte im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung)*.

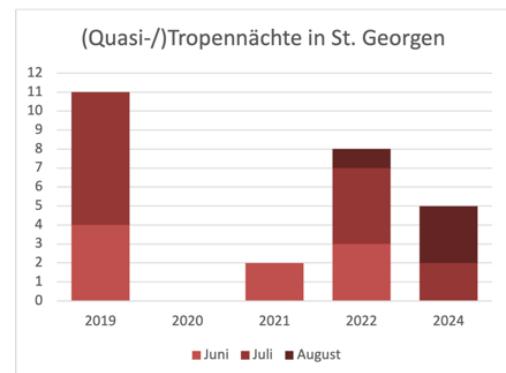


Abbildung 9: *(Quasi-/)-Tropennächte in im Sommer St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung)*.

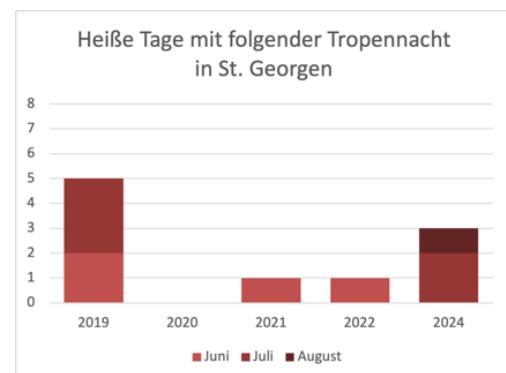


Abbildung 10: *Heiße Tage mit folgender Tropennacht im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung)*.

anhaltenden Hitzebelastung der menschlichen Körper keine Zeit hat sich von der Belastung zu regenerieren (vgl. Umweltbundesamt 2024a).

In den Jahren 2019 und 2024 kam es jeweils dazu, dass drei *Heiße Tage* und (*Quasi-/*)*Tropennächte* aufeinanderfolgten (siehe Abbildung 12).

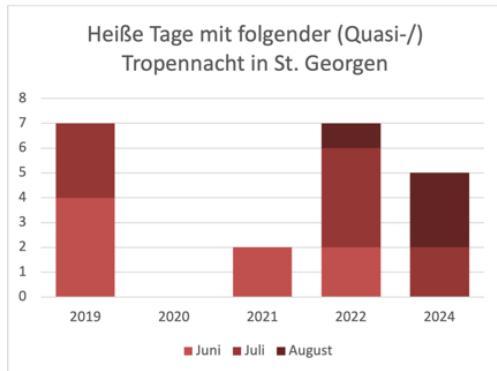


Abbildung 11: *Heiße Tage mit folgender (Quasi-/)**Tropennacht im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung).*

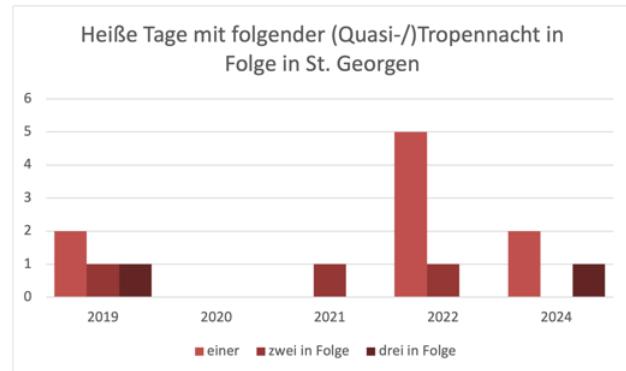


Abbildung 12: *Heiße Tage mit folgender (Quasi-/)**Tropennacht in Folge im Sommer in St. Georgen von 2019 bis 2022 und 2024 (Eigene Darstellung).*

Im Rahmen der Analyse wurden auch die Niederschlagssummen für den Sommer – gegliedert nach Monaten – berechnet. Aufgrund eines Messfehlers bei der Niederschlagsmessung konnten jedoch keine Daten für den Sommer 2023 berechnet werden. Für den Sommer 2019 wurde eine Niederschlagssumme von 127,3 mm, für den Sommer 2020 eine von 304,7 mm, 2022 eine von 117,5 mm und im Jahr 2024 eine Summe von 144,3 mm berechnet (siehe Abbildung 13).

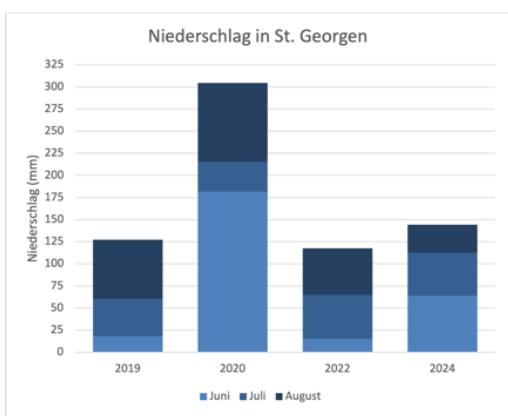


Abbildung 13: *Niederschlag im Sommer in St. Georgen 2019, 2020, 2022 und 2024 (Eigene Darstellung).*

Für die Jahre 2019, 2020, 2022 und 2024 wurde jeweils der Verlauf der Tageshöchst- und Tagestiefstemperatur sowie des Niederschlages während der Sommermonate (Juni, Juli, August) in St. Georgen dargestellt (siehe Abbildung 14, Abbildung 15, Abbildung 16 und Abbildung 17).

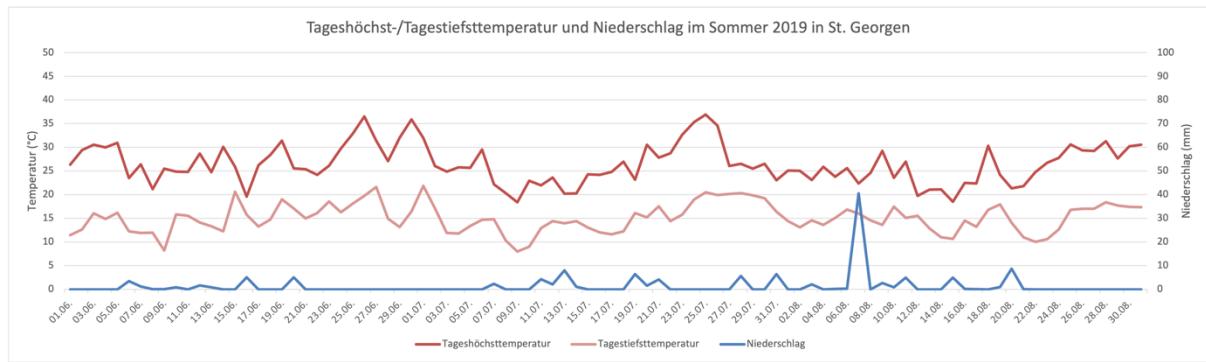


Abbildung 14: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefsttemperatur und Niederschlag im Sommer 2019 in St. Georgen (Eigene Darstellung).

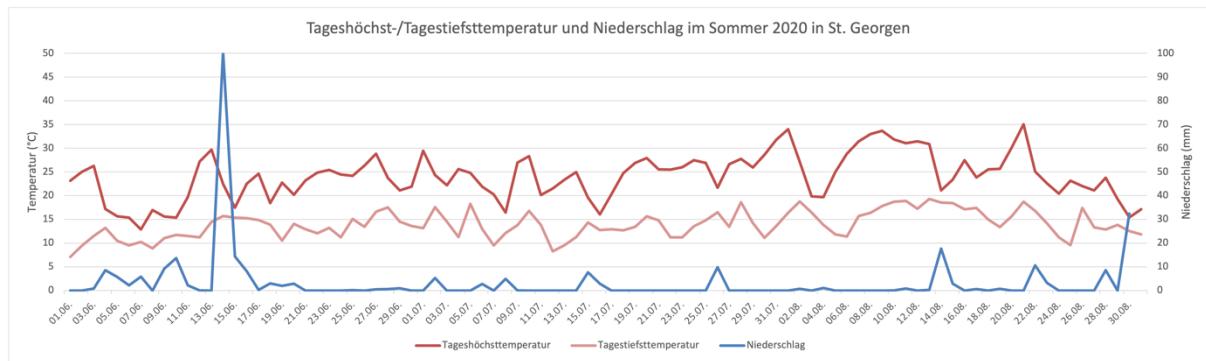


Abbildung 15: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefsttemperatur und Niederschlag im Sommer 2020 in St. Georgen (Eigene Darstellung).

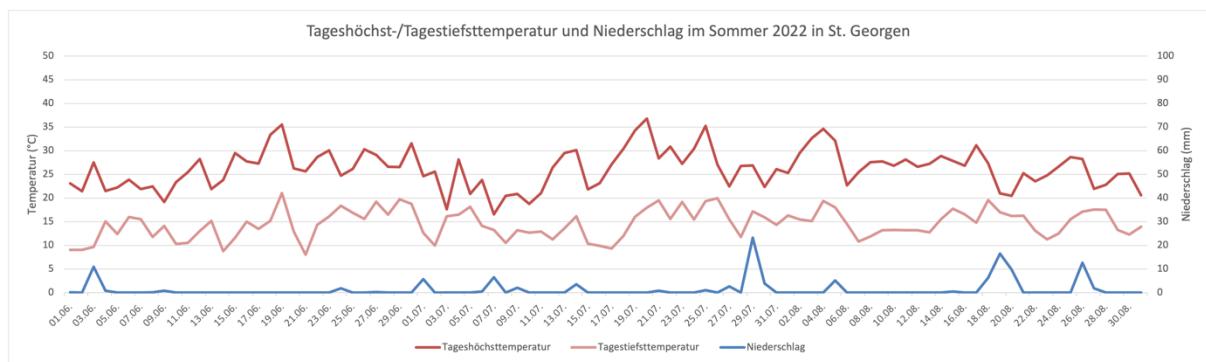


Abbildung 16: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefsttemperatur und Niederschlag im Sommer 2022 in St. Georgen (Eigene Darstellung).

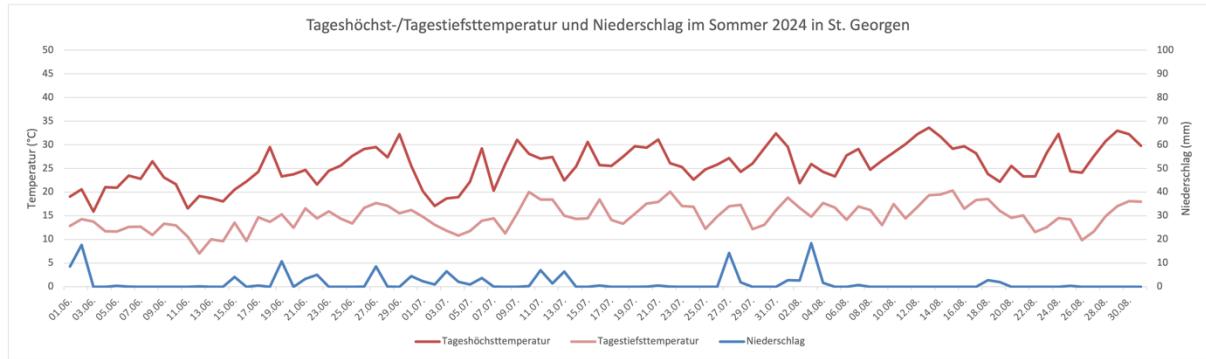


Abbildung 17: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefsttemperatur und Niederschlag im Sommer 2024 in St. Georgen (Eigene Darstellung).

Für das Untersuchungsgebiet Schanz wurden – soweit möglich – die gleichen Untersuchungen für Juli und August 2024 angestellt.

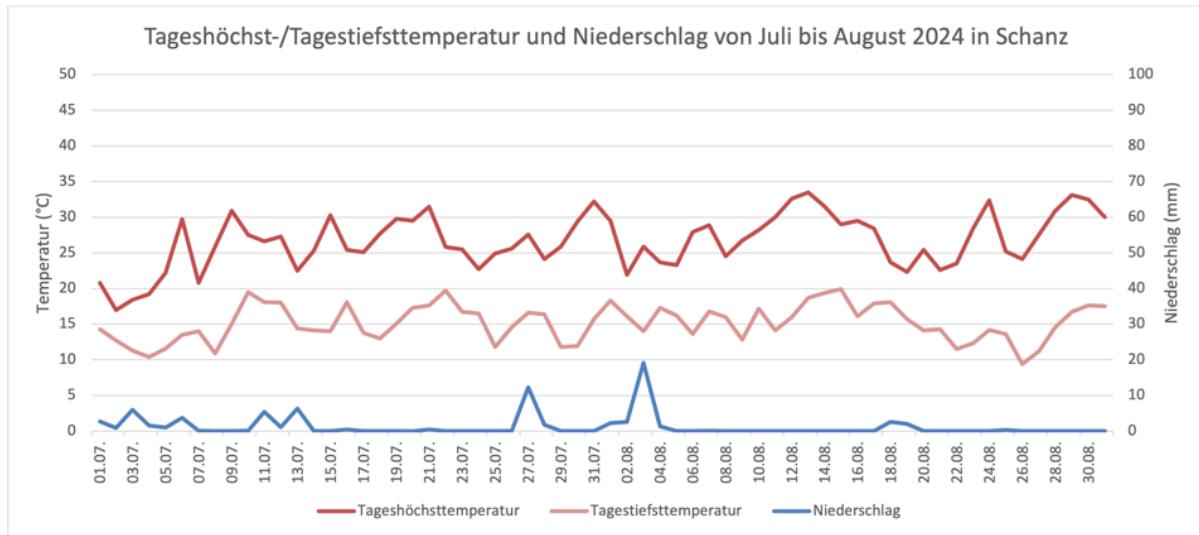


Abbildung 18: Verlauf von Tageshöchst-/Tagestiefsttemperatur und Niederschlag im Juli und August 2024 in Schanz (Eigene Darstellung).

Beim Verlauf der Tageshöchst- und Tagestiefsttemperatur sind keine nennenswerten Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgebieten zu erkennen. Dies ist auf die geringe Entfernung zurückzuführen. Trotz dieser geringen Entfernung ist die durchschnittliche Temperatur im Juli 2024 in Schanz jedoch mit 20,0 °C geringer als in St. Georgen (20,5 °C). Gleiches gilt für den August 2024: In Schanz durchschnittlich 21,4 °C und in St. Georgen 21,9 °C. Dies spiegelt sich auch im Verlauf der Durchschnittstemperatur beider Gebiete wider (siehe Abbildung 19).

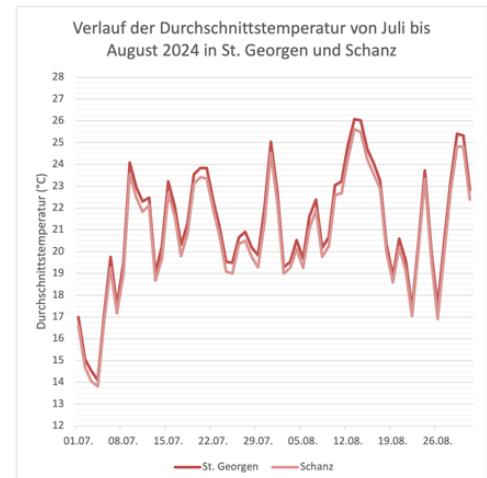


Abbildung 19: Verlauf der Durchschnittstemperatur von Juli bis August 2024 in St. Georgen und Schanz (Eigene Darstellung).

Bezüglich der *Heißen Tage* weist im Bezugszeitraum Schanz 13 und somit eine mehr als St. Georgen auf. Wenn nun die *Quasi-Heißen Tage* addiert werden, erhält man 20 (*Quasi-Heiße Tage*) und somit einen weniger als in St. Georgen (siehe Abbildung 20).

Im Untersuchungsgebiet Schanz gab es von Juli bis August 2024 keine *Tropennacht*, in St. Georgen hingegen drei, und insgesamt vier *Quasi-Tropennächte*, in St. Georgen fünf. Jedoch ging jeder *Quasi-Tropennacht* ein *Heißer Tag* voran (siehe Abbildung 21). In St. Georgen liegt dieser Wert bei fünf (siehe Abbildung 11).

Die Differenz der Werte zwischen den Untersuchungsgebieten, welche nur einige hundert Meter entfernt voneinander liegen, lässt sich mit Hilfe der stärkeren Bebauung und weniger Grünflächen in St. Georgen erklären (vgl. Kapitel von Louis) sowie der Lage auf dem Hügel, welcher ein Abfließen der kalten Luft entlang der Brandenburger Straße begünstigt (Häckel 2021: 32).

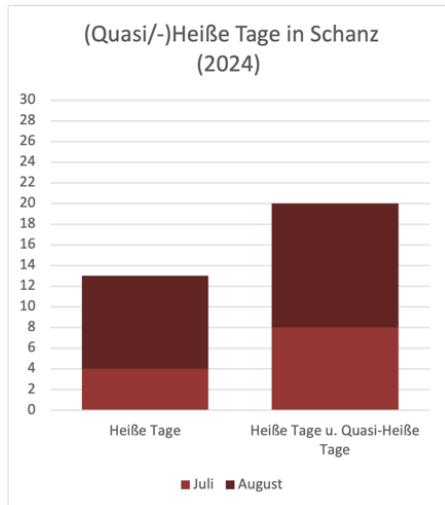


Abbildung 20: (Quasi-/)Heiße Tag im Juli und August 2024 in Schanz (Eigene Darstellung).

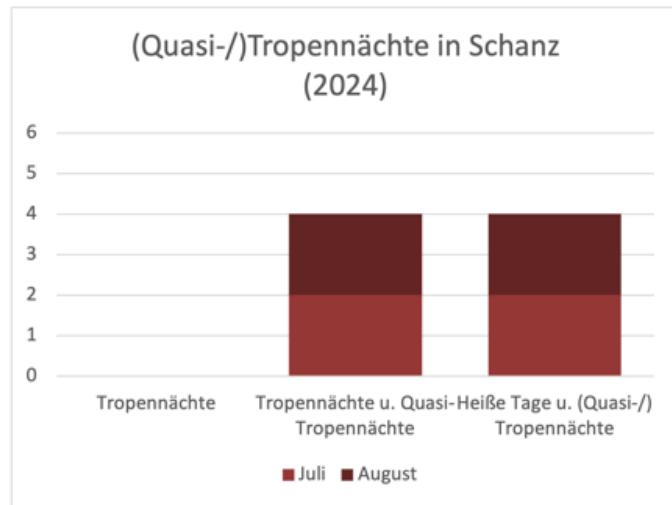


Abbildung 21: (Quasi-/)Tropennächte im Juli und August 2024 in Schanz (Eigene Darstellung).

## 5.3 Fernerkundung

In Zuge des Projektes entstanden vier Karten, die einen Überblick über das Forschungsgebiet bieten. Ohne die Fernerkundung wäre ein solcher Überblick über das Forschungsgebiet kaum möglich gewesen.

### Untersuchungsgebiet

Das Forschungsgebiet besteht aus zwei einzelnen Teilen, die sich im Bayreuther Stadtteil „St. Georgen“ befinden. Das eine Erhebungsgebiet ist begrenzt auf die Straße St. Georgen (Rot) und der andere Teil auf die „Schanz“ (Blau) (siehe Abbildung 22). Der Teil rund um die Straße St. Georgen ist noch von alter Bausubstanz, hingegen sind Teile der Schanz erst zwischen 2018 und 2019 entstanden. Dies lässt sich auf den Satellitenbildern von „ESRI World Imagery Wayback“ erkennen (<https://livingatlas.arcgis.com/wayback/#active=13968&mapCenter=11.59614%2C49.95650%2C17>).

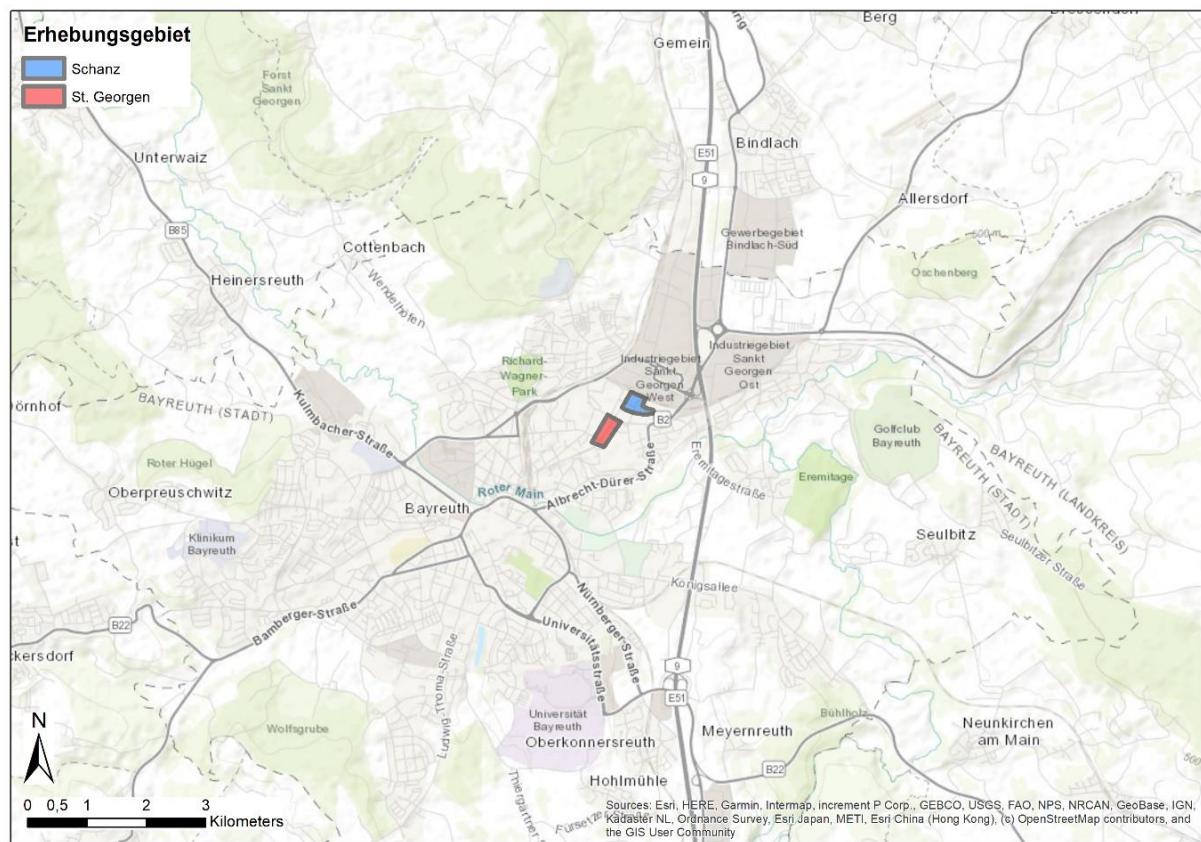


Abbildung 22: Abgrenzung der Untersuchungsgebiete (Eigene Darstellung).

## Gebäudestruktur

Die Daten der Gebäudestruktur wurden wie bereits erwähnt Anfang 2023 auf der Esri-Datenbank veröffentlicht. Sie sind Teil eines Datensatzes, der die gesamte Baustuktur Bayerns digitalisiert beinhaltet. Für dieses Projekt wurden die irrelevanten „Objekte“ aus dem Datensatz gelöscht, sodass nur noch relevante Baustuktur zu erkennen ist (siehe Abbildung 23). Wie man bereits erkennt, unterscheiden sich die beiden Forschungsgebiete in Ihrer baulichen Charakteristik. Während der ältere Teil (Rot) geprägt von Einfamilienhäusern mit Hinterhöfen und wenig Freifläche ist, wurde im neueren Teil (Blau) auf einen geordneten Bau von Mehrfamilienhäusern mit großen Freiflächen gesetzt.

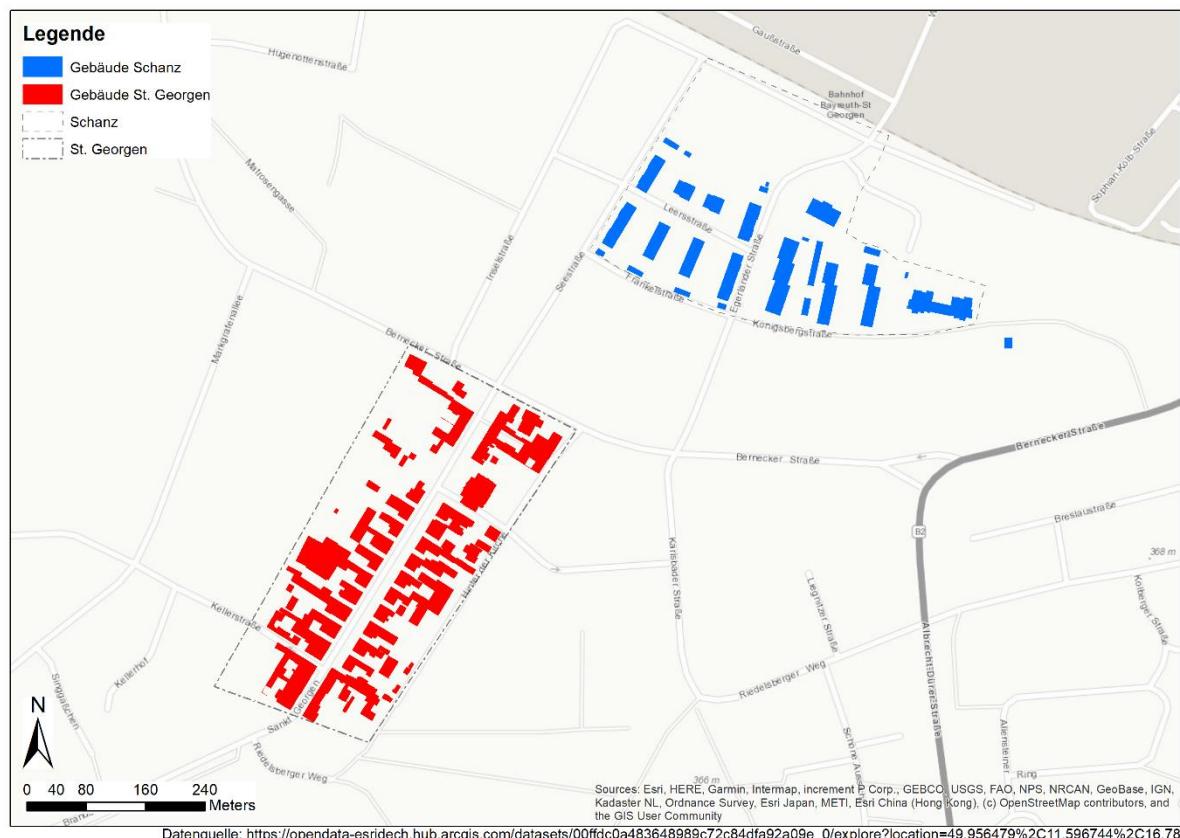


Abbildung 23: Gebäudestruktur in den Untersuchungsgebieten (Eigene Darstellung).

## Grünflächen

Grünflächen bieten in einer Stadt die Möglichkeit „Urban Heat Islands“ (Hitzeinseln) zu verhindern, und die Stadt dadurch klimaresilienter zu machen (Nastran et al. 2019). Diese Karte wurde mithilfe der ESRI-Grundkarte für ArcGis erstellt (Satellitenbild vom 28.03.2024) und dient der vergleichenden Übersicht von Grünflächen in unserem Forschungsgebiet (siehe Abbildung 24). Klar erkennbar ist, dass die „Schanz“ einen klar größeren Anteil an Grünfläche hat als die Straße „St. Georgen“. Auch schattenspendenden Bäume sind in der „Schanz“ (98 Bäume) mehr angepflanzt als rund um die Straße „St. Georgen“ (46 Bäume).

Die nicht gekennzeichneten Flächen stellen versiegelten Boden dar. Vergleicht man auch in dieser Hinsicht die beiden Teile, lässt sich eine deutlich höhere Versickerungsfläche in der Schanz erwarten. Folglich ist die Anfälligkeit für Überschwemmungen durch zunehmende Starkregenereignisse geringer.



Abbildung 24: Grünflächen und Baumbestand in den Untersuchungsgebieten (Eigene Darstellung).

## NDVI

Anhand des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) lässt sich das bereits an den Grünflächen erkennbare feststellen. Der NDVI ist ein Fernerkundungsindex, der als Analyse der Vegetation von Gebieten eingesetzt wird. Durch Reflexionsmessung von nah-infrarotem (NIR) Licht durch Pflanzen wird er berechnet. Der NDVI liegt auf einer Skala von 1 bis -1, wobei 1 eine hohe Vegetationsdichte, 0 eine spärliche oder gestresste Vegetation bzw. unbewachsene Flächen (z.B. urbane Gebiete) und negative Werte Wasser oder nicht-vegetative Flächen aufweisen. Wir können also in unseren beiden Teilgebieten erkennen, dass es sowohl vorhandene als auch gestresste Vegetation gibt (siehe Abbildung 25). Die „Schanz“ ist jedoch deutlich „grüner“ dargestellt, somit auch deutlich dichter und gesünder bepflanzt.

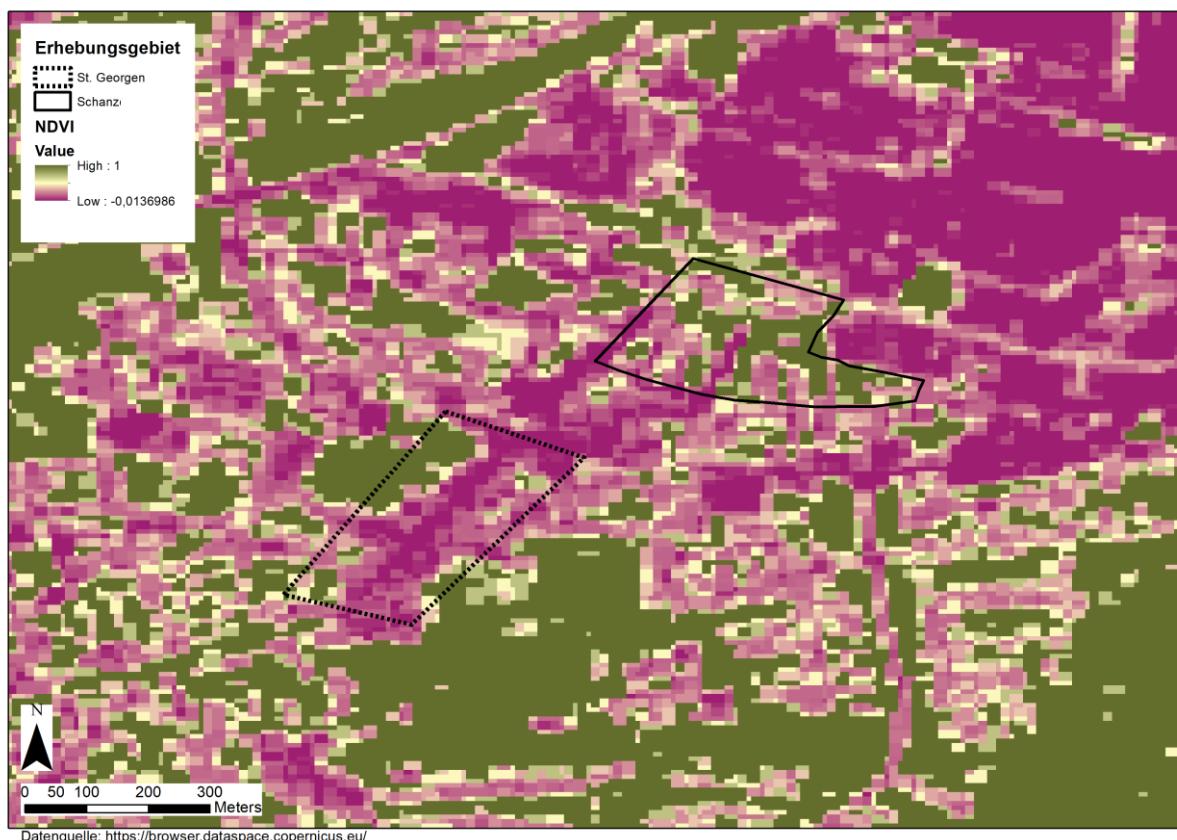


Abbildung 25: NDVI der Untersuchungsgebiete (Eigene Darstellung).

## Probleme

Das größte Problem der Fernerkundung im Bezug auf unser Projekt, liegt an der Kleinräumigkeit des Erhebungsgebiets. Es ist nicht möglich kostenlose Daten zu finden, die in einem so hohen Detailgrad zum Beispiel die lokalen klimatischen Eigenschaften zu erfassen und dann auch zu vergleichen.

## 6 Diskussion

Vergleicht man die beiden Teile unseres Untersuchungsgebietes lassen sich anhand der erstellten Karten deutliche Unterschiede erkennen. Man kann sagen, dass das neu entstandene Gebiet „Schanz“ eine deutlich klimaresilientere Struktur im Vergleich zu dem „Altbestand“ der Straße St. Georgen aufweist.

Im Kontext der Klimaresilienz ist eine größere Menge an Vegetation in einem Stadtgebiet eine gute Maßnahme gegen die Folgen des rezenten Klimawandels. Durch die Karte der Grünflächen lassen sich die Unterschiede deutlich erkennen. Die „Schanz“ verfügt über mehr Grünflächen und Bäume, die sowohl für den Abfluss von Regenwasser als auch den Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung im Hinblick auf die Bildung von Hitzeinseln einen positiven Effekt haben. Zwar ist nicht jede Grünfläche gleich effektiv wie jede andere, dennoch sind alle Grünflächen besser als versiegelte Flächen (siehe Kapitel 3.2 und Kapitel 7). Im Hinblick auf die Unterschiede der durchschnittlichen Temperatur lässt sich erkennen, dass die „Schanz“ sowohl im Juli ( $20^{\circ}$  C) als auch August 2024 ( $21,4^{\circ}$  C) trotz der geringen Entfernung zu St. Georgen in beiden Monaten ( $20,5^{\circ}$  C bzw.  $21,9^{\circ}$  C) kühler ist. Auch die (Quasi-) heißen Tage (2024) sind in der „Schanz“ (20) geringer als in St. Georgen (25). Gleichermaßen lässt sich über die (Quasi-) Tropennächte (2024) sagen. Die „Schanz“ mit nur vier Nächten im Vergleich zu St. Georgen mit fünf. Der Unterschied der tatsächlich vorkommenden Tropennächte (2024) bestätigt den Temperaturunterschied (Schanz: null; St. Georgen: 3) Diese Daten lassen vermuten, dass die Grünflächen einen kühlenden Effekt auf das umliegende Gebiet haben.

Möchte man im Sinne der Nachhaltigkeit einen Blick auf die Baustruktur der beiden Gebiete werfen, stellt man auch hier große Unterschiede fest. Während die „alte“ Baustruktur hauptsächlich Einfamilienhäuser beinhaltet, besteht die „Schanz“ aus Mehrfamilienhäusern. Somit kommen mehr Menschen auf eine geringere Flächenversiegelung durch Bauwerke, als es bei Einfamilienhäusern der Fall ist. Ebenfalls ist die neue Baustruktur resistenter gegen Hitze im Sommer und Kälte im Winter, wodurch zum einen die Bewohner\*innen geschützt werden und zum anderen die Kosten und Emissionen für das Heizen durch Heizungen bzw. Kühlen durch Klimaanlagen verringert wurden. Auch hat die Anordnung der Gebäude in einer offenen Zeilenbauweise in der „Schanz“ einen positiven Einfluss auf das vorherrschende Mikroklima. Die Wärme kann nachts besser entweichen und folglich kommt es zu einer stärkeren Abkühlung, ebenso kann eine bessere Durchlüftung, abhängig von der Windrichtung, und somit der aktive Abtransport von Wärme durch Wind vorstatten gehen. Die verschachtelte Bauweise entlang der Straße St. Georgen hingegen erlaubt keine gute Durchlüftung und aufgrund der Enge der Freifläche eine geringere Abkühlung. Durch die Bebauungsgeometrie kann eine Erklärung für die geringe Anzahl an (Quasi-)Tropennächten gefunden werden. Die große Straße

in St. Georgen stellt eine wichtige Durchlüftungssachse zum Wärmeabtransport dar, während die kleinen Innenhöfe und schmalen Gassen vermutlich wenig bis keine Durchlüftung erfahren. In der „Schanz“ können mindestens zwei Durchlüftungssachsen durch die sehr offene Bauweise definiert werden, weshalb die Anzahl hier noch geringer ist.

Des Weiteren zeigt sich, dass die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene demographische Gruppen in St. Georgen nur unzureichend erfasst werden konnten. Unsere Erhebung stieß auf sehr geringe Resonanz, was auf ein mangelndes Bewusstsein oder fehlendes Interesse der Bewohner\*innen zurückzuführen sein könnte. Um jedoch zukünftige Erhebungen zu verbessern und die Beteiligung der Bevölkerung zu steigern, könnten verschiedene Maßnahmen ergriffen werden:

Eine Möglichkeit wäre die verstärkte Aufklärungsarbeit durch Sensibilisierungskampagnen, um das Bewusstsein für die Dringlichkeit klimatischer Anpassungsmaßnahmen zu schärfen. Diese Kampagnen könnten durch lokale Veranstaltungen, Flyer oder Informationsstände in den betroffenen Gebieten durchgeführt werden, um die Reichweite zu maximieren. Auch digitale Befragungen bieten Potenzial, vor allem jüngere Bevölkerungsgruppen besser zu erreichen. Plattformen wie soziale Medien könnten genutzt werden, um die Befragungen niederschwelliger zugänglich zu machen und eine größere Reichweite zu generieren. Ein weiteres Instrument zur Steigerung der Partizipation wären partizipative Workshops, die einen direkten Dialog ermöglichen und den Austausch zwischen Bürger\*innen und Expert\*innen im gleichen Rahmen fördern.

Eine ergänzende und zukunftsweisende Möglichkeit ist die Nutzung der digitalen Plattform „[Hitzeanpassung Bayreuth]“ ([https://www.jetzt-mitmachen.de/hitzeanpassung\\_bayreuth/list](https://www.jetzt-mitmachen.de/hitzeanpassung_bayreuth/list)). Diese bietet Bürger\*innen die Gelegenheit, aktiv Ideen zur Klimaanpassung einzubringen und sich über bereits bestehende Maßnahmen zu informieren. Die Einbindung dieser Plattform in die Kommunikationsstrategie für St. Georgen könnte die Partizipation nicht nur verbessern, sondern auch die Akzeptanz und das Engagement der Bevölkerung für notwendige Anpassungsmaßnahmen nachhaltig stärken.

Bezüglich der konkreten Maßnahmen zur Steigerung der Klimaresilienz in St. Georgen bieten sich verschiedene Strategien an, die auf den spezifischen Gegebenheiten des Untersuchungsgebiets basieren. Die bereits erwähnten Handlungsempfehlungen (vgl. Kapitel 7) können in diesem Kontext angewendet und angepasst werden, um die Resilienz des Stadtteils zu erhöhen.

Eine der zentralen Maßnahmen ist die Ausweitung von Grünflächen, da diese eine wichtige Rolle bei der Reduzierung urbaner Hitzeinseln spielen. In dem neueren Gebiet „Schanz“ ist bereits eine deutlich höhere Dichte an Grünflächen vorhanden, was sich positiv auf das Mikroklima auswirkt. Der ältere Teil

von St. Georgen hingegen könnte von einer verstärkten Bepflanzung profitieren. Bäume entlang der Straßen, die Begrünung von Dächern und Fassaden sowie die Schaffung neuer Parkanlagen könnten dazu beitragen, das Gebiet klimaresilienter zu gestalten. Wissenschaftliche Quellen betonen die Rolle von Grünflächen bei der Minderung der städtischen Erwärmung und der Verbesserung der Luftqualität (vgl. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.).

Ebenso essenziell ist die Verbesserung der städtischen Wasserinfrastruktur, um auf vermehrte Starkregenereignisse zu reagieren. In St. Georgen könnten Versickerungsanlagen sowie Regenrückhaltebecken implementiert werden, um die Kanalisation zu entlasten und das Risiko von Überschwemmungen zu reduzieren. Diese Maßnahmen tragen nicht nur zur Klimaanpassung bei, sondern fördern auch einen nachhaltigen Umgang mit den vorhandenen Wasserressourcen (vgl. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.).

Die Förderung energieeffizienter Gebäude stellt eine weitere wichtige Maßnahme dar. Vor allem die älteren Gebäude im historischen Teil von St. Georgen könnten von energetischen Sanierungen profitieren. Eine bessere Dämmung und der Einsatz erneuerbarer Energien, wie Photovoltaikanlagen, würden nicht nur den CO<sub>2</sub>-Ausstoß verringern, sondern auch die Wohnqualität erhöhen. Dies ist vor dem Hintergrund der zunehmenden Sommerhitze von besonderer Bedeutung, da energieeffiziente Gebäude sowohl vor Hitze als auch vor Kälte besser schützen (vgl. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.).

Abschließend lässt sich sagen, dass der Bayreuther Stadtteil St. Georgen nur teilweise resilient gegenüber den Phänomenen des rezenten Klimawandels ist. Während das neuere Gebiet „Schanz“ durch seine größere Anzahl an Grünflächen, die moderne Gebäudestruktur und die geringere Flächenversiegelung besser auf die klimatischen Herausforderungen vorbereitet ist, zeigt der ältere Teil des Stadtteils deutliche Defizite. Die dichte Bebauung, die geringe Vegetationsdichte und die veraltete Gebäudestruktur machen diesen Bereich anfälliger für die Folgen des Klimawandels, insbesondere in Bezug auf Hitzeinseln und Starkregenereignisse.

Um diese Defizite auszugleichen, sind verschiedene Maßnahmen erforderlich. Dazu gehören insbesondere die Ausweitung von Grünflächen, die Begrünung von Dächern und Fassaden sowie die Verbesserung der Wasserinfrastruktur durch Versickerungsanlagen und Regenrückhaltebecken. Auch die energetische Sanierung der historischen Bausubstanz und der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien sind von zentraler Bedeutung. Zusätzlich sollte die Einbindung der Bevölkerung in den Planungsprozess durch Plattformen wie „Hitzeanpassung Bayreuth“ gefördert werden, um die Akzeptanz und das Engagement für diese Maßnahmen zu erhöhen.

Insgesamt zeigt sich, dass St. Georgen durch eine gezielte Kombination dieser Maßnahmen resilenter gegenüber den Phänomenen des rezenten Klimawandels werden kann. Die Frage

*„Inwieweit ist der Bayreuther Stadtteil St. Georgen resilient gegenüber Phänomenen des rezenten Klimawandels? Welche Maßnahmen können zum Ausgleich der Defizite getroffen werden?“*

verdeutlicht, dass der Stadtteil zwar Ansätze einer Resilienz aufweist, jedoch erhebliche Anpassungen erforderlich sind, um den klimatischen Herausforderungen langfristig zu begegnen.

## 7 Handlungsempfehlungen

Im Hinblick auf die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels sollten in St. Georgen mehrere Maßnahmen ergriffen werden, um sowohl die städtische Infrastruktur zu stärken als auch die Lebensqualität der Bewohner\*innen langfristig zu sichern.

Eine der zentralen Maßnahmen ist die **Erweiterung und Pflege von Grünflächen**. Grünflächen spielen eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung der Luftqualität und der Reduktion von städtischen Hitzeinseln, da langwellige Strahlung und somit Hitze ohne Hindernis entweichen kann (siehe Kapitel 3.2) (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.; Kleerekoper et al. 2012: 32). Grünflächen in urbanen Räumen haben eine geringere Luft- und Oberflächentemperatur und können somit „park cool islands“ (PCI), also Kühlungsinseln, formen, welche UHI entgegenwirken können. Die Fläche muss für den Effekt der PCI nicht groß sein, wichtiger für das räumliche Ausmaß des Effektes hingegen ist die Luftbewegung sowie weitere klimatologische Umstände (Kleerekoper et al. 2012: 32). Das Pflanzen von Bäumen entlang der Straßen sowie die Begrünung von Dächern und Fassaden tragen wesentlich zur Temperaturregulation bei, indem sie Schatten spenden und durch Verdunstungskühlung die Umgebungstemperaturen senken (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.). Der Effekt von Stadtbäumen wirkt aufgrund der Verteilung zunächst gering, jedoch kann die Evapotranspiration eines einzelnen Baumes an einem sonnigen Tag einen Kühlungseffekt vergleichbar mit zehn Klimaanlagen haben. Eine große Menge an Bäumen hat dementsprechend einen sehr großen Einfluss auf das Stadtklima (Kleerekoper et al. 2012: 32).

Der vorteilhafte Kühlungseffekt von Vegetation kann 1-4,7°C erreichen, welcher noch in einer Distanz von rund 100 bis 1000 m wirkt, dies ist allerdings stark abhängig von der Menge verfügbaren Wassers für die Pflanze (Kleerekoper et al. 2012: 32). Gleichzeitig bieten diese Grünflächen den Bewohner\*innen wichtige Erholungsräume, die zur Verbesserung des städtischen Mikroklimas beitragen (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.).

Neben den Maßnahmen zur Begrünung ist auch die **Verbesserung der Wasserinfrastruktur** von zentraler Bedeutung, um den zunehmenden Herausforderungen durch häufigere und intensivere Starkregenereignisse gerecht zu werden. Starkregen kann die städtische Kanalisation schnell überlasten, was zu Überschwemmungen und erheblichen Schäden führen kann. Die Implementierung von Regenwasserrückhaltebecken und Versickerungsanlagen könnte hier Abhilfe schaffen, indem sie das anfallende Regenwasser kontrolliert speichern und langsam in den Boden leiten, wodurch das Risiko von Überschwemmungen verringert wird. Diese Maßnahmen würden nicht nur zur Klimaanpassung beitragen, sondern auch den nachhaltigen Umgang mit Wasserressourcen fördern (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.). Wasser kann zudem einen kühlenden Effekt auf das Stadtklima haben, durch Evaporation, Absorption von Hitze in größeren Wassermassen, welche als Hitzepuffer wirken, und durch den Transport von Hitze heraus aus dem Gebiet, zum Beispiel durch einen Fluss. Der durchschnittliche Kühlungseffekt von Wasser beträgt 1-3°C und wirkt über eine Distanz von rund 30-35m, was stark abhängig vom transportierenden Luftstrom und den Wetterumständen ist (Kleerekoper et al. 2012: 32). Die effektivste Kühlung entsteht bei dispergiertem Wasser (z.B. Fontaine), gefolgt von fließendem Wasser und zuletzt stehenden Gewässern, wobei eine größere Oberfläche hier dienlicher ist (Kleerekoper et al. 2012: 32).

Eine weitere essenzielle Maßnahme ist die **Förderung energieeffizienter Gebäude**. Gebäude in St. Georgen sollten verstärkt auf nachhaltige Baumaterialien und moderne Wärmedämmungen setzen, um den Energieverbrauch zu reduzieren und gleichzeitig den Wohnkomfort zu erhöhen. Besonders wichtig ist der vermehrte Einsatz erneuerbarer Energien, etwa durch Photovoltaikanlagen, um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu minimieren. Solche energieeffizienten Gebäude sind nicht nur umweltfreundlicher, sondern tragen auch dazu bei, dass die Bewohner besser gegen extreme Wetterbedingungen wie Hitze oder Kälte geschützt sind (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung o. J.: o. S.).

Auch durch eine veränderte **Anordnung von Gebäuden** kann das urbane Klima beeinflusst und verbessert werden. Die Bebauungsdichte und -Geometrie von Gebäuden beeinflusst den Einfall von kurzwelliger Strahlung auf das Gebäude, welches Wärme absorbieren oder (multipel) reflektieren kann (siehe Kapitel 3.2) (Kleerekoper et al. 2012: 33). Auch die Höhe der Gebäude ist entscheidend. Wird der Himmel verdeckt, kommt es zu einem geringeren Wärmeverlust durch langwellige Strahlung, stattdessen wird die Strahlung absorbiert oder in die Straßenschlucht reflektiert und im System gehalten. Ein hohes Verhältnis der Gebäudehöhe zur Straßenweite kann im Sommer zu einer Beschattung und somit geringeren Sonneneinstrahlung führen, wodurch weniger kurzwellige Strahlung innerhalb der Straßenschlucht absorbiert werden kann, jedoch sind die negativen Auswirkungen dieser Bauweise, wie die Reduktion des Luftstromes oder die Begünstigung multipler

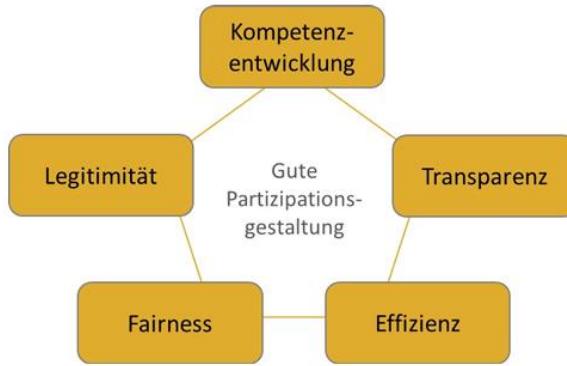
Reflektion, zu schwerwiegend (Kleerekoper et al. 2012: 33). Idealerweise zu berücksichtigen wäre außerdem die Hauptwindrichtung, sodass die Windgeschwindigkeit nicht durch Gebäude verringert wird und folglich die Hitze aus der Straßenschlucht abtransportieren kann. Je nach geographischer Lage der Stadt kann dies aber auch zum Herantransport kältester Luft im Winter und heißester Luft im Sommer führen, was wiederum keinen Vorteil für das urbane Klima darstellt (Kleerekoper et al. 2012: 33).

Neben den vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung vorgeschlagenen Maßnahmen zur Schaffung und Pflege von Grünflächen gibt es auch Studien, die ähnliche Empfehlungen geben. So betonen Debbage & Shepherd (2015: 192) die Bedeutung von Begrünung zur Minderung des UHI-Effekts und schlagen die Integration von grüner Infrastruktur in städtische Planung vor. Auch Matzarakis (2013: 117) weist darauf hin, dass Dach- und Fassadenbegrünungen sowie Parks wichtige Maßnahmen zur Reduktion der städtischen Hitzeinseln und zur Verbesserung der Luftqualität darstellen.

Zusammengefasst tragen diese Klimaanpassungsmaßnahmen dazu bei, die Auswirkungen des Klimawandels in St. Georgen abzumildern und gleichzeitig die städtische Lebensqualität zu verbessern. Sie sind ein notwendiger Schritt auf dem Weg zu einer klimaresilienten und zukunftsfähigen Stadtentwicklung, die sowohl ökologische als auch soziale Aspekte berücksichtigt.

Bei der Veränderung einer Stadt hin zur Klimaresilienz ist die Partizipation der Bevölkerung von großem Interesse. So wird auch im Rahmen des Projekts der Stadt Bayreuth zur Entwicklung umfassender Strategien zur Hitzeanpassung für die Stadtteile St. Georgen und Burg (siehe Kapitel 1) großer Wert auf die aktive Beteiligung der Anwohner\*innen gelegt (Oppold 2024: o.S.).

Um eine gute Partizipation zu erreichen, müssen fünf Kriterien im Beteiligungsprozess erfüllt werden, diese sind in Abbildung 26 dargestellt. Teilnehmende Personen sollen eine Kompetenzentwicklung erfahren, also durch eine verständliche Vermittlung von Informationen und Expert\*innenwissen in der Lage sein, reflektierte und wissensbasierte Diskussionen über das behandelte Thema zu führen. Die Klimaresilienz von Städten ist ein vergleichsweise neues Thema, welches weniger bekannt ist. Somit ist von einem geringen Vorwissen der Bevölkerung auszugehen. Besonders in solch einem Fall muss zunächst entsprechende Aufklärung erfolgen (Grothmann et al. 2021: 17). Zudem soll allen Beteiligten im Rahmen der Fairness die Möglichkeit zur Beteiligung und Mitsprache gegeben werden, was das Möglichmachen der Teilnahme an Beteiligungsprozessen, beispielsweise durch Berücksichtigung von Arbeitszeiten, sowie der Meinungsäußerung umfasst. Im Zuge dessen muss jede geäußerte relevante Meinung und jedes Interesse in gleichem Maße einbezogen werden (Grothmann et al. 2021: 18).



*Abbildung 26: Kriterien guter Partizipationsgestaltung (Grothmann et al. 2021: 17).*

Die Legitimität bezieht sich auf die Mitsprachemöglichkeiten, was das Ermöglichen der Diskussion des Themas aus verschiedenen Perspektiven meint. Als ein Grundprinzip der Demokratie steht die Transparenz für eine nachvollziehbare Informationspräsentation (Grothmann et al. 2021: 18). Alle verfügbaren und relevanten, das Thema betreffenden Informationen müssen vollständig sowie verständlich aufbereitet zugänglich sein, gleiches gilt für die Absichten, Ziele und Grenzen des Beteiligungsprozesses. Es sollte außerdem offen kommuniziert werden welche Verwendung die Ergebnisse haben und inwieweit sie einen Einfluss auf die Politik und Verwaltung haben können, sodass keine falschen Hoffnungen oder Erwartungen bei Teilnehmenden entstehen. Im Rahmen der Effizienz muss besonders auf das Verhältnis eingesetzter Mittel und erreichter Ergebnisse geachtet werden (Grothmann et al. 2021: 18).

Ein solcher Partizipationsprozess kann beispielsweise über Beteiligungsworkshops oder Vorträge durchgeführt werden. Haben Anwohner\*innen eines Gebiets selbst noch kein durch den Klimawandel induziertes Schadensereignis erlebt, ist die Partizipation häufig gering, wie es auch in dieser Forschung der Fall war (siehe Kapitel 5.1). Dies kann idealerweise durch eine gezielte Einladung zu Workshops oder ähnlichem verbessert werden. Im Rahmen der weiteren Verfolgung des Projekts der Stadt Bayreuth in St. Georgen wäre daher eine zufällige Auswahl eingeladener Personen, zur Generierung einer repräsentativen Gruppe der Anwohner\*innen, oder eine gezielte Auswahl einzelner Personen oder Personengruppen (z.B. besonders vulnerable Personengruppen), zur Repräsentation verschiedener Perspektiven, zu empfehlen. Dennoch sollten Veranstaltungen zusätzlich für alle Freiwilligen zugänglich sein (Grothmann et al. 2021: 25). Außerdem können auch die folgenden Punkte zu einer Zunahme der Teilnehmendenzahl führen. Die Relevanz des Themas muss, zum Beispiel durch das Herausstellen der direkten oder indirekten Betroffenheit, deutlich werden, um eine mögliche Eigeninitiative zu bewirken. Auch kann die Attraktivität der Veranstaltung durch die Ausrichtung von der Stadt selbst, lokalen Autoritäten oder angesehenen Akteur\*innen gesteigert werden, wobei eine neutrale und professionelle Moderation unter Einbindung der Teilnehmenden zu gewährleisten ist.

Befindet sich die Veranstaltung in räumlicher Nähe oder direkt vor Ort, ist eine Teilnahme wahrscheinlicher, da die Anreise kein Hindernis darstellt und der lokale Bezug vorhanden ist (Grothmann et al. 2021: 25 f.).

Weiterhin zu empfehlen die Nutzung von Zukunftsbildern, welche im Gegensatz zu problemfokussierten Ansätzen und individuellen Betroffenheiten eine lösungsorientierte Gestaltungsoption darlegen. Sie regen einen Austausch zwischen beteiligten Akteur\*innen an und können so auch schon frühzeitig wünschenswerte Zielzustände sowie Möglichkeiten für deren Erreichen aufzeigen (Rupp und Schmitz 2022: 9). Sowohl im Diskurs direkt beteiligter Akteur\*innen als auch in der Veröffentlichung für die breite Gesellschaft sorgen Zukunftsbilder für eine Sensibilisierung der Thematik und verschiedener Perspektiven, sowie eine gesteigerte Akzeptanz und Aktivität bei kommenden Veränderungen. Sie stellen daher ein gutes Kommunikationsmittel dar (Rupp und Schmitz 2022: 10, 13). Abbildung 27 zeigt ein Zukunftsbild für ein grünes, klimaresilientes, innerstädtisches Bestandsquartier einer Straße in München (Linke et al. 2022: 14).



Abbildung 27: Zukunftsbild für ein grünes, klimaresilientes, innerstädtisches Bestandsquartier einer Straße in München (Linke et al. 2022: 14).

Zudem ist für Hauseigentümer\*innen oder Anwohner\*innen ein gezieltes Beratungsangebot mit kostenloser Erstberatung zu empfehlen, Kosten, Förderprogramme und weiterführende Beratungsangebote sollten hier aufgezeigt werden (Linke et al. 2022: 14).

## 8 Fazit

Die vorliegende Forschung verfolgte das Ziel die aktuelle Klimaresilienz des Bayreuther Stadtteils St. Georgen zu bewerten, sowie Maßnahmen zum Ausgleich vorliegender Defizite aufzuzeigen. Durch die Auswertung der vorhandenen klimatischen Daten, sowie die Fernerkundung des Untersuchungsgebietes konnte ein großer Unterschied zwischen den zwei Teiluntersuchungsgebieten festgestellt werden. Während der neuere Ortsteil Schanz bereits teilweise klimaresiliente

Eigenschaften aufweist, wie eine hohe Anzahl an Grünflächen und Bäumen, eine modernere Gebäudestruktur mit Durchlüftungssachsen und mehr Freiflächen sowie eine geringere Flächenversiegelung, sind im älteren Ortsteil St. Georgen mehr Defizite vorzufinden. Aufgrund der alten Baustruktur und der geringen Begrünung kann in diesem Ortsteil nicht von Klimaresilienz gesprochen werden. Die auftretenden Auswirkungen des Klimawandels können im aktuellen Zustand weder verhindert noch stark abgeschwächt werden.

Trotz der dargelegten Ergebnisse kann das Forschungsziel nicht erreicht werden. Grundlegend für die Bewertung der Klimaresilienz sind mikroklimatische Werte der Untersuchungsgebiete, um Aussagen hinsichtlich relevanter urbaner Eigenschaften, wie kleinräumige Temperaturunterschiede und das Vorkommen von städtischen Hitzeinseln, die kleinräumige Verteilung von Niederschlägen, die Erfüllung eines nachhaltigen Wassermanagements („Schwamm-Stadt“) und die Veränderung der Windgeschwindigkeit und Windfließrichtung, treffen zu können. Besonders Daten zur Hauptwindrichtung zur Bestimmung einer sinnvollen Durchlüftungssachse wären von großem Vorteil für die Planung und Bewertung der Bebauungsgeometrie. Da diese Daten erst im Rahmen des Projekts der Stadt Bayreuth für die Initiative „Demografiefeste Kommune“ erhoben werden und während dieser Forschung noch nicht zur Verfügung standen, gelang keine vollständige Erfassung der Klimaresilienz für St. Georgen. Zudem wurde mit einer höheren Teilnahmebereitschaft der Anwohner\*innen gerechnet, um ein Meinungsbild der dort lebenden Personen generieren und direkte mögliche erwünschte Maßnahmen aufzeigen zu können.

Eine stärkere Aktivierung und Aufklärung der Anwohner\*innen St. Georgens wäre wünschenswert, sodass die aktive Beteiligung sowie das Verständnis gesteigert werden könnte und eine Entwicklung hin zu einer Klimaresilienz im Einklang mit den Bürger\*innen vorangehen könnte.

## Quellenverzeichnis

Brasseur, Guy P.; Jacob, Daniela & Schuck-Zöller, Susanne (Hrsg.) (2023): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Spektrum.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. J.): ZURES-Studie: Ganz schön heiß hier- Lösung für eine hitzeangepasste Stadtentwicklung. Online abrufbar unter: <https://www.project.uni-stuttgart.de/zures/>. Zuletzt abgerufen am 19.05.2024.

Debbage, Neil; Shepherd, J. Marshall (2015): The urban heat island effect and city contiguity. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 54, S. 181–194. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002.

Deilami, Kaveh; Kamruzzaman, Md.; Liu, Yan (2018): Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 67, S. 30–42. DOI: 10.1016/j.jag.2017.12.009.

DWD (o. J.a): Jahreszeiten. Online abrufbar unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?jsessionid=AB957502291333179E012D53422665EF.live11043?lv2=101304&lv3=101324>. Zuletzt geprüft am: 13.10.2024.

DWD (o. J.b): Heißer Tag. Online abrufbar unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv3=101162&lv2=101094>. Zuletzt geprüft am: 13.10.2024.

DWD (o. J.c): Tropennacht. Online abrufbar unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102672&lv3=102802>. Zuletzt geprüft am: 13.10.2024.

Foken, Thomas (2007): Das Klima von Bayreuth: status quo und Aufgaben für die Stadtplanung. *Standort*, 2007, 31. Jg., S. 150-152.

Funke, Fabian; Dr. Matzinger, Andreas; Gunkel, Michel; Nenz, Diana; Prof. Dr. Schulte, Achim; Reichmann, Brigitte; Dr. Rouault, Pascale (2020): Partizipative Regenwasserkonzepte als wirksames Element zur Gestaltung klimaresilienter Städte. Modernisierungsreport 2019/20. Online verfügbar unter [https://www.regenwasseragentur.berlin/wp-content/uploads/2020/12/wwt\\_2019-20-beitrag-matzinger-et.-al.komp\\_-1.pdf](https://www.regenwasseragentur.berlin/wp-content/uploads/2020/12/wwt_2019-20-beitrag-matzinger-et.-al.komp_-1.pdf).

Grothmann, Torsten; Michel, Theresa; Ediz, Evin (2021): Urbane Klimaresilienz partizipativ gestalten. Praxisleitfaden. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Online verfügbar unter [https://bresilient.de/wp-content/uploads/2021/07/praxisleitfaden\\_urbane\\_klimaresilienz\\_partizipativ\\_gestalten.pdf](https://bresilient.de/wp-content/uploads/2021/07/praxisleitfaden_urbane_klimaresilienz_partizipativ_gestalten.pdf).

Häckel, Hans (2021). Meteorologie. 9. Aufl. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.

Hörz, Michael (2016): Datenjournalistische Nutzung üblicher und unüblicher urbaner Daten. *Stadtforschung und Statistik*, 2016, 2. Jg., Nr. 1, S. 35-42.

Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (o.J.): Grüne Stadt der Zukunft – klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt. Online abrufbar unter: [https://www.ioew.de/projekt/gruene\\_stadt\\_der\\_zukunft\\_klimaresiliente\\_quartiere\\_in\\_einer\\_wachsenden\\_stadt](https://www.ioew.de/projekt/gruene_stadt_der_zukunft_klimaresiliente_quartiere_in_einer_wachsenden_stadt). Zuletzt abgerufen am 17.07.2024.

Jia, Haifeng; Hu, Jiangyong; Huang, Tianyin; Chen, Albert S.; Ma, Yukun (2022): Urban Runoff Control and Sponge City Construction: MDPI Books.

Kleerekoper, Laura; van Esch, Marjolein; Salcedo, Tadeo Baldiri (2012): How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. In: *Resources, Conservation and Recycling* 64, S. 30–38. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.06.004.

Kumareswaran, Keerththana; Jayasinghe, Guttila Yugantha (2023): Green Infrastructure and Urban Climate Resilience. Cham: Springer International Publishing.

Landkreis Bayreuth (Hg.) (2022): Klimaanpassungskonzept für den Landkreis Bayreuth. Unter Mitarbeit von KlimaKom eG - Gemeinnützige Genossenschaft für nachhaltige Entwicklung und ThINK – Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH. Bayreuth.

Linke, Simone; Zölch, Teresa; Erlwein, Sabrina; Bauer, Amelie; Meier-Dotzler, Christina; Putz, Andreas et al. (2022): Klimaresiliente Quartiere in einer wachsenden Stadt – Forschungsergebnisse Projekt „Grüne Stadt der Zukunft“. In: *Anliegen Natur* 44 (1). Online verfügbar unter [https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an44114linke\\_et\\_al\\_2022\\_gruene\\_stadt.pdf](https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an44114linke_et_al_2022_gruene_stadt.pdf).

Matzarakis, Andreas (2013): Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 2013, 73. Jg., Nr. 3, S. 115-118.

Meier Kruker, Verena und Rauh, Jürgen (2005): Arbeitsmethoden der Humangeographie. Darmstadt: Wiss. Buchges (Geowissen kompakt). Online abrufbar unter [http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2641777&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_e\\_xt=htm](http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2641777&prov=M&dok_var=1&dok_e_xt=htm) 8.

Nastran, Mojca/Kobal, Milan/Eler, Klemen (2019). Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening* 37, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.008>.

Nguyen, Thu Thuy; Ngo, Huu Hao; Guo, Wenshan; Wang, Xiaochang C.; Ren, Nanqi; Li, Guibai et al. (2019): Implementation of a specific urban water management - Sponge City. In: *Science of The Total Environment* 652, S. 147–162. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.168.

Oppold, Joachim (2024): Eine Hitzeschutz-Strategie für St. Georgen/Burg - Bayreuth.de. Online verfügbar unter <https://www.bayreuth.de/eine-hitzeschutz-strategie-fuer-st-georgen-burg/>, zuletzt aktualisiert am 27.09.2024, zuletzt geprüft am 14.10.2024.

Rupp, Johannes; Schmitz, Henri (2022): Zukunftsbilder für grüne, klimaresiliente Quartiere. Reflexion von Potenzialen und Grenzen am Beispiel von Zukunftsbildprozessen im Projekt „Grüne Stadt der Zukunft“. In: *RaumPlanung* 218 (5). Online verfügbar unter [https://www.ioew.de/fileadmin/user\\_upload/bilder\\_und\\_downloaddateien/publikationen/2023/raumplanung\\_2022\\_zukunftsbilder.pdf](https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/bilder_und_downloaddateien/publikationen/2023/raumplanung_2022_zukunftsbilder.pdf).

Tyler, Stephen; Moench, Marcus (2012): A framework for urban climate resilience. In: *Climate and Development* 4 (4), S. 311–326. DOI: 10.1080/17565529.2012.745389.

Tyler, Stephen; Nugraha, Erwin; Nguyen, Ha Kim; van Nguyen, Nhung; Sari, Aniessa Delima; Thinpanga, Pakamas et al. (2016): Indicators of urban climate resilience: A contextual approach. In: *Environmental Science & Policy* 66, S. 420–426. DOI: 10.1016/j.envsci.2016.08.004.

Umweltbundesamt (2024a): Gesundheitsrisiken durch Hitze. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze#indikatoren-der-lufttemperatur-heisse-tage-und-tropennachte>. Zuletzt geprüft am: 13.10.2024.

Umweltbundesamt 2024b: Trends der Lufttemperatur. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#steigende-durchschnittstemperaturen-weltweit>. Zuletzt geprüft am: 13.10.2024.

Umweltbundesamt (o. J.): Anzahl der Tage mit einem Lufttemperatur-Maximum über 30 Grad Celsius.

Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/anzahl-der-tage-einem-lufttemperatur-maximum-ueber>. Zuletzt geprüft am: 13.10.2024.

Voigt, Annette; Lampert, Matthias; Breuste, Jürgen (2009): Anpassung an den Klimawandel als Aufgabe für eine ökologisch orientierte Stadtentwicklung. In: Klimawandel und Raumentwicklung (34). Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/profile/annette-voigt/publication/272172838\\_klimawandel\\_und\\_raumentwicklung\\_anpassung\\_an\\_den\\_klimawandel\\_als\\_aufgabe\\_fuer\\_eine\\_okologisch\\_orientierte\\_stadtentwicklung/links/54ddc6900cf23bf204388252/klimawandel-und-raumentwicklung-anpassung-an-den-klima-wandel-als-aufgabe-fuer-eine-oekologisch-orientierte-stadtentwicklung.pdf](https://www.researchgate.net/profile/annette-voigt/publication/272172838_klimawandel_und_raumentwicklung_anpassung_an_den_klimawandel_als_aufgabe_fuer_eine_okologisch_orientierte_stadtentwicklung/links/54ddc6900cf23bf204388252/klimawandel-und-raumentwicklung-anpassung-an-den-klima-wandel-als-aufgabe-fuer-eine-oekologisch-orientierte-stadtentwicklung.pdf).

Wanner, Herbert (1982): Wissenschaftstheoretische Aspekte einer Definition von Geographie. Geographica Helvetica, 1982, 37. Jg., Nr. 1, S. 38-42.

Zensus (2022): Zensus 2022: Eine neue Datenbasis für Deutschland. Online abrufbar unter: <https://www.zensus2022.de>. Zuletzt abgerufen am 15.09.2024.

## Anhang

 UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

Studienprojekt: Klimafeste Kommune  
Fragebogen Nr.: 1

Heutzutage ist häufig die Rede vom globalen Klimawandel und dessen Folgen. Aus diesem Grund führen wir in Kooperation mit der Stadt Bayreuth eine Befragung zur Wahrnehmung des Klimawandels im Stadtteil Sankt Georgen durch. Alle Antworten und Daten werden anonymisiert, sowie vertraulich von den Forschenden behandelt.

1. Wie lange wohnen Sie bereits hier?  
3
2. Wie lange halten Sie sich jeden Tag durchschnittlich in Ihrer Wohnung/ Ihrem Haus auf?  
92 Stunden
3. Arbeiten Sie im Homeoffice? Wenn ja, wie viele Stunden pro Woche?  
*Bitte ankreuzen*  
 Ja, \_\_\_\_\_ Stunden pro Woche  
 Nein
4. Wie gut sind Sie über den Klimawandel und seine Folgen informiert?  
*Bitte ankreuzen*  

sehr gut	gut	weder noch	nicht so gut	gar nicht	k. A.
			X		
5. Wie denken Sie über den Klimawandel und seine Folgen?  
*Bitte ankreuzen*  
 Ich habe ernsthafte Bedenken  
 Ich habe Bedenken  
 Ich habe mir dazu noch keine Gedanken gemacht  
 Ich mache mir keine Gedanken  
 keine Angabe  
Ich habe keine Bedenken
6. Bemerken Sie eine Veränderung des Klimas? Wenn ja, seit wie vielen Jahren?  
*Bitte ankreuzen*  
 Ja, seit ca. \_\_\_\_\_ Jahren  
 Nein

In den folgenden Fragen (7.-10.) beziehen sich die Aussagen "früher" und "zuvor" auf den Zeitraum, bevor Sie eine Veränderung des Klimas festgestellt haben.

7. Spüren Sie heute bereits Auswirkungen des Klimawandels an Ihrem Wohnort (es gibt mehr heiße Tage als früher, es gibt mehr Gewitter oder Überschwemmungen als früher, etc.)?

Bitte ankreuzen

Ja

Nein

Ich bin mir nicht sicher

keine Angabe

8. Wenn ja, welche Auswirkungen spüren Sie?
- 
- 
- 

9. In welcher Jahreszeit sind die Auswirkungen des Klimawandels am stärksten spürbar?

Bitte ankreuzen

Frühling

Sommer

Herbst

Winter

UkA.

10. Beurteilen Sie folgende Aussagen.

(++ = stimme voll zu; + = stimme eher zu; 0 = neutral; - = stimme eher nicht zu; -- = stimme nicht zu)

Bitte ankreuzen

	++	+	0	-	--	k. A.
Ich besitze und benutze eine Klimaanlage oder einen Ventilator zuhause.					<input checked="" type="checkbox"/>	
Ich verlasse im Sommer ungern mein Haus, wenn es warm ist.					<input checked="" type="checkbox"/>	
Im Sommer benutze ich ungern den Bus.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ich schlafe im Sommer schlechter als im Winter.	<input checked="" type="checkbox"/>					
Früher hat es öfter und mehr geschneit.					<input checked="" type="checkbox"/>	
Früher lag im Winter mehr und länger Schnee.					<input checked="" type="checkbox"/>	
Früher war es im Winter kälter.	<input checked="" type="checkbox"/>					
An warmen Sommertagen fühle ich mich erschöpft.			<input checked="" type="checkbox"/>			
Ich habe im Sommer häufiger Kreislaufprobleme als früher.				<input checked="" type="checkbox"/>		
Die Wärme im Sommer ist für mich eine zunehmende Belastung, verglichen mit früher.				<input checked="" type="checkbox"/>		



Ich habe in den letzten Jahren eine Pollenallergie entwickelt.					X
Ich leide mehr unter meiner Pollenallergie als früher.					X
Ich habe mehr Zukunftsängste als früher.					X
Mückenstiche und/oder Zeckenbisse sind häufiger als zuvor.					X
Ich habe das Gefühl, dass sich durch den Klimawandel meine Gesundheit verschlechtert.					X

11. Welche konkreten Veränderungen wünschen Sie sich, damit die Auswirkungen des Klimawandels in St. Georgen abgeschwächt und die Lebensumstände erträglicher werden?

keine Angabe

12. Wie alt sind Sie?

Bitte ankreuzen

Im Alter von ... bis unter ... Jahren					
Unter 20	20 bis 40	40 bis 60	60 bis 80	80 bis 100	über 100
			X		

13. Wurde Ihnen kürzlich eine chronische Krankheit diagnostiziert?

Bitte ankreuzen

Ja

Nein

keine Angabe

14. Geschlecht:

männlich

15. Ort der Erhebung:

St. Georgen Lederstraße 26

16. Befragung durchgeführt am:

15.07.24

Heutzutage ist häufig die Rede vom globalen Klimawandel und dessen Folgen. Aus diesem Grund führen wir in Kooperation mit der Stadt Bayreuth eine Befragung zur Wahrnehmung des Klimawandels im Stadtteil Sankt Georgen durch. Alle Antworten und Daten werden anonymisiert, sowie vertraulich von den Forschenden behandelt.

1. Wie lange wohnen Sie bereits hier?

---

2. Wie lange halten Sie sich jeden Tag durchschnittlich in Ihrer Wohnung/ Ihrem Haus auf?

\_\_\_\_\_ Stunden

3. Arbeiten Sie im Homeoffice? Wenn ja, wie viele Stunden pro Woche?

Bitte ankreuzen

- Ja, \_\_\_\_\_ Stunden pro Woche  
 Nein

4. Wie gut sind Sie über den Klimawandel und seine Folgen informiert?

Bitte ankreuzen

sehr gut	gut	weder noch	nicht so gut	gar nicht	k. A.

5. Wie denken Sie über den Klimawandel und seine Folgen?

Bitte ankreuzen

- Ich habe ernsthafte Bedenken  
 Ich habe Bedenken  
 Ich habe mir dazu noch keine Gedanken gemacht  
 Ich mache mir keine Gedanken  
 keine Angabe

6. Bemerken Sie eine Veränderung des Klimas? Wenn ja, seit wie vielen Jahren?

Bitte ankreuzen

- Ja, seit ca. \_\_\_\_\_ Jahren  
 Nein

In den folgenden Fragen (7.- 10.) beziehen sich die Aussagen "früher" und "zuvor" auf den Zeitraum, bevor Sie eine Veränderung des Klimas festgestellt haben.

7. Spüren Sie heute bereits Auswirkungen des Klimawandels an Ihrem Wohnort (es gibt mehr heiße Tage als früher, es gibt mehr Gewitter oder Überschwemmungen als früher, etc.)?

Bitte ankreuzen

- Ja                                    Nein  
 Ich bin mir nicht sicher            keine Angabe

8. Wenn ja, welche Auswirkungen spüren Sie?

---

---

---

9. In welcher Jahreszeit sind die Auswirkungen des Klimawandels am stärksten spürbar?

Bitte ankreuzen

- Frühling                                    Sommer  
 Herbst                                    Winter

10. Beurteilen Sie folgende Aussagen.

(++ = stimme voll zu; + = stimme eher zu; 0 = neutral; - = stimme eher nicht zu; -- = stimme nicht zu)

Bitte ankreuzen

	++	+	0	-	--	k. A.
Ich besitze und benutze eine Klimaanlage oder einen Ventilator zuhause.						
Ich verlasse im Sommer ungern mein Haus, wenn es warm ist.						
Im Sommer benutze ich ungern den Bus.						
Ich schlafe im Sommer schlechter als im Winter.						
Früher hat es öfter und mehr geschneit.						
Früher lag im Winter mehr und länger Schnee.						
Früher war es im Winter kälter.						
An warmen Sommertagen fühle ich mich erschöpft.						
Ich habe im Sommer häufiger Kreislaufprobleme als früher.						
Die Wärme im Sommer ist für mich eine zunehmende Belastung, verglichen mit früher.						

Ich habe in den letzten Jahren eine Pollenallergie entwickelt.					
Ich leide mehr unter meiner Pollenallergie als früher.					
Ich habe mehr ZukunXsängste als früher.					
Mückens@che und/oder Zeckenbisse sind häufiger als zuvor.					
Ich habe das Gefühl, dass sich durch den Klimawandel meine Gesundheit verschlechtert.					

**11. Welche konkreten Veränderungen wünschen Sie sich, damit die Auswirkungen des Klimawandels in St. Georgen abgeschwächt und die Lebensumstände erträglicher werden?**

---

---

---

**12. Wie alt sind Sie?**

*Bi\$e ankreuzen*

Im Alter von ... bis unter ... Jahren					
Unter 20	20 bis 40	40 bis 60	60 bis 80	80 bis 100	Über 100

**13. Wurde Ihnen kürzlich eine chronische Krankheit diagnostiziert?**

*Bi\$e ankreuzen*

Ja

Nein

keine Angabe

**14. Geschlecht:** \_\_\_\_\_

**15. Ort der Erhebung:** \_\_\_\_\_

**16. Befragung durchgeführt am:** \_\_\_\_\_