



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Soziale Vulnerabilität im Fokus der Bewertung der
Hitzeanfälligkeit der Bevölkerung“

verfasst von / submitted by

SANDER ISABELLE, BSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 24.05.2023

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Geographie UG 2002

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Kerstin Krellenberg

Vorwort und Danksagung

Diese Laudatio möchte ich an all diejenigen richten, die mich bei der Entstehung meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Zu Beginn möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern, Elisabeth und Dieter, bedanken, die mich über meine gesamte universitäre Laufbahn hinweg unterstützt, gefördert und begleitet haben. Ohne diesen Rückhalt hätte ich meinen Weg mit Sicherheit nicht auf diese Art und Weise eingeschlagen, über die ich rückblickend sehr dankbar bin. Insbesondere meine Mama, Elisabeth, hat immer an mich und meinen Weg geglaubt und mir das Gefühl gegeben, irrsinnig stolz auf mich zu sein.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Partner Stefan, der mir trotz unterschiedlichem wissenschaftlichen Background immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist und mir Raum zur Diskussion eröffnet sowie mentale Unterstützung geboten hat. Du warst in dieser Zeit eine enorme Stütze, mein begeistertster Zuhörer und größter Kritiker.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Betreuerin Univ.-Prof. Dr. Kerstin Krellenberg für die lehrreiche Zeit und die durchgehende Betreuung dieser Masterarbeit bedanken.

Ein großes Dankeschön auch an meine Studienkolleg*innen, die mich meine Studienzeit über begleitet haben und über die Zeit zu Freunden geworden sind. Ihr habt nicht nur meine Kurse an der Universität bereichert, sondern auch meinen Freundeskreis.

Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, die stets ein offenes Ohr für mich hatten und mich ebenfalls während der Studienzeit und im Speziellen beim Verfassen dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Ich bestätige, dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, 24.05.2023

Sander Isabelle, BSc.

Kurzfassung

In der vorliegenden Masterarbeit wird die soziale Vulnerabilität im Kontext der Bewertung der Hitzeanfälligkeit der Bevölkerung behandelt. Konkret geht es dabei um die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes unter Bezugnahme auf sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen durch den Einsatz von ausgewählten Indikatoren. Dabei liegt der Fokus auf der Bewertung der Hitzeanfälligkeit der Bevölkerung urbaner Gebiete, rurale Gebiete werden im Zuge dieser Arbeit nicht behandelt.

Um dieser Thematik auf den Grund zu gehen, wurde ein systematisches Literaturreview mit Keyword-Suche durchgeführt. Das systematische Literaturreview wurde anhand mehrerer Stufen durchgeführt. Von 616 potenziell geeigneten Literaturquellen nach der Anfangssuche wurden lediglich 22 Literaturquellen als geeignet betrachtet und in die anschließende Datenextrahierung miteinbezogen. Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass bereits eine Vielzahl an Studien sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen durch den Einsatz von Indikatoren in die Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung miteinbeziehen, vorrangig in Form von sozio-demografischen Merkmalen. Bei der Wahl der Indikatoren wurde der Datenverfügbarkeit im Sinne von Open Data eine wichtige Rolle zugewiesen.

Über das Literaturreview hinausgehend wurde ein Expert*inneninterview mit Sagnik Bhattacharjee geführt, um vertiefende Einblicke in die Zusammenarbeit mit der Stadt Wien, die Entwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex sowie die verwendete Datenbasis zu bekommen. Das Expert*inneninterview lieferte hilfreiche und über den Literaturbestand hinausgehende Erkenntnisse zur Indexerstellung und den verwendeten Indikatoren sowie zu ergänzenden Indikatoren die zu einer verstärkten Miteinbeziehung sozial vulnerabler Bevölkerungsgruppen, in der Theorie, beitragen könnten.

Die Ergebnisse aus dem systematischen Literaturreview und dem Expert*inneninterview wurden abschließend genutzt, um am Beispiel des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien auf eine verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung durch den Vorschlag der Indikatoren: (1) Bildung, (2) Gesundheit, (3) Armut, (4) Einkommen und (5) Wohnverhältnisse aufmerksam zu machen.

Abstract

This master's thesis addresses social vulnerability in the context of assessing the populations heat vulnerability. Specifically, it focuses on the development of heat vulnerability indices with reference to socially vulnerable populations through the use of selected indicators. Since the focus is on assessing the heat vulnerability of urban populations, rural areas are not part of this work.

To reach the bottom of the considered topic, a systematic literature review with keyword search was conducted. The implementation was carried out in several stages. Out of 616 potentially suitable literature sources after the initial search, only 22 literature sources were considered suitable and included in the subsequent data extraction. Based on the results obtained, it was found that many of the studies already include socially vulnerable populations through the use of indicators in heat vulnerability index development, primarily in the form of socio-demographic characteristics. In the selection of indicators, data availability in terms of Open Data was assigned an important role.

Beyond the literature review, an expert interview with Sagnik Bhattacharjee was conducted for the purpose of gaining deeper insights into the cooperation with the city of Vienna, the development of the urban heat vulnerability index and the data basis which was used. The expert interview provided helpful insights beyond the literature on the index development and the indicators which were used as well as on further indicators that could theoretically contribute to an increased inclusion of socially vulnerable population groups.

Concluding, the results of the systematic literature review and the expert interview were used to illustrate the increased inclusion of the social vulnerability of the population by proposing the indicators: (1) education, (2) health, (3) poverty, (4) income and (5) housing conditions, based on using the urban heat vulnerability index of the city of Vienna as example.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung	I
Eidesstaatliche Erklärung	II
Kurzfassung.....	III
Abstract	IV
Abkürzungsverzeichnis	IX
Glossar.....	XI
1 Einführung	1
1.1 Einleitung.....	1
1.2 Relevanz des Themas und Motivation.....	2
1.3 Problemstellung und Zielsetzung.....	3
1.4 Zentrale Fragestellungen.....	4
1.5 Methodik	4
1.6 Aufbau der Arbeit	5
2. Grundlage	6
2.1 Städtische Hitze	6
2.1.1 Städtische Hitze im Kontext zum Klimawandel	6
2.1.1.1 Urbane Hitzeinseln.....	7
2.1.1.2 Hitzewellen.....	8
2.1.2 Auswirkung von städtischer Hitze	9
2.1.2.1 Bevölkerung	9
2.1.2.2 Umwelt.....	11
2.1.2.3 Wirtschaft.....	13
2.2 Städtische Hitzeanfälligkeit	14
2.2.1 Allgemeine Begriffserklärung und Definition von Vulnerabilität	14
2.2.2 Soziale Vulnerabilität im Kontext zur städtischen Hitzeanfälligkeit.....	15
2.3 Gängige Konzeptualisierungen in der (Hitze-)Vulnerabilitätsforschung.....	18
2.3.1 The double structure of vulnerability	18
2.3.2 Risk-Hazard (RH) Modell.....	19
2.3.3 Pressure and Release (PAR) Modell	20
2.3.4 Hazard-of-place Modell	22

2.3.5	Das MOVE-Modell	23
2.3.6	Gleichung der Verwundbarkeit der Bevölkerung.....	25
2.3.7	Das Gefahrendreieck	26
2.4	<i>Sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen im Kontext zur städtischen Hitzeanfälligkeit.....</i>	27
2.4.1	Alter	27
2.4.2	Geschlecht	28
2.4.3	Rasse und Ethnie.....	28
2.4.4	Sozioökonomischer Status.....	29
2.4.5	Einkommen, Bildungsniveau und Armut	30
2.4.6	Sozialkapital	30
2.4.7	Chronische Krankheiten und körperliche/geistige Beeinträchtigung	31
3.	Hitzevulnerabilitätsindizes	31
3.1	<i>Entstehung und Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes.....</i>	31
3.2	<i>Aufbau der HVI – Studien</i>	32
3.2.1	Konzeptioneller Rahmen	32
3.2.2	Modellierungsmethoden	33
3.2.3	Gewichtungsmethoden	33
3.2.3.1	Explizite Gewichtung.....	34
3.2.3.2	Objektive Gewichtung.....	35
3.2.4	Ergebnisse der Modellierung.....	37
3.3	<i>Datengrundlage.....</i>	38
3.3.1	Datenqualität.....	38
3.3.2	Datenzugänglichkeit	38
3.3.3	Daten	39
3.3.4	Datenquellen	40
3.4	<i>Ziel</i>	41
3.5	<i>Stärken, Schwächen und Einschränkungen</i>	41
3.6	<i>Perspektive der sozialen Vulnerabilität</i>	42
4.	Systematisches Literaturreview mit Keyword-Suche	43
4.1	<i>Grundlagen.....</i>	43
4.1.1	Merkmale eines systematischen Literaturreviews.....	44
4.1.2	Vor – und Nachteile dieser Methode	45
4.2	<i>Aufbau des systematischen Literaturreviews.....</i>	45
4.2.1	Planungsphase des systematischen Literaturreviews	46
4.2.1.1	Problemformulierung.....	46

4.2.1.2	Überprüfungsprotokoll	46
4.2.2	Durchführungsphase des systematischen Literaturreviews	47
4.2.2.1	Literatursuche	47
4.2.2.2	Screening für die Aufnahme	47
4.2.2.3	Bewertung der Qualität	48
4.2.2.4	Extraktion der Daten	48
4.2.2.5	Analyse und Zusammenfassung der Daten.....	48
4.2.3	Berichterstattungsphase des systematischen Literaturreviews	49
4.3	<i>Durchführung des systematischen Literaturreviews</i>	49
4.3.1	Planung	49
4.3.1.1	Forschungsfragen.....	50
4.3.1.2	Erstellung und Validierung des Überprüfungsprotokolls	50
4.3.2	Forschungsmethodik	51
4.3.2.1	Suchstrategie.....	51
4.3.2.1.1	Datenbanken	51
4.3.2.1.2	Keywords.....	51
4.3.2.2	Einschluss-/Ausschlusskriterien	54
4.3.2.3	Screening-Verfahren	54
4.3.2.4	Qualitätsbewertung	57
4.3.2.5	Datenextrahierung	57
4.3.2.6	Datenanalyse und Datenzusammenfassung.....	58
4.3.3	Berichterstattung des systematischen Literaturreviews.....	58
4.3.3.1	Bibliometrisches Grundprofil der Literaturquellen	58
4.3.3.2	Konzeptioneller Rahmen.....	60
4.3.3.3	Indikatoren zur Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes	61
4.3.3.3.1	Indikatoren der bebauten Umwelt, ökonomische, demografische, klimatische und geographische, institutionelle und weitere, nicht genau zuordenbare Indikatoren	64
4.3.3.4	Sozio-demografische Indikatoren	67
4.3.3.4.1	Allgemeine Übersicht	67
4.3.3.4.2	Datenbasis	71
4.3.4	Diskussion der Ergebnisse des systematischen Literaturreviews	75
4.3.4.1	Berücksichtigung der sozialen Vulnerabilität in der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes	75
4.3.4.2	Open Data im Kontext zu sozio-demografischen Indikatoren	78
5.	Anwendungsbeispiel – UHVI der Stadt Wien	81
5.1	<i>Stadt Wien</i>	81
5.1.1	Klimatische, geographische und demografische Grundlagen	81
5.1.2	Umgang mit urbaner Hitze	84

5.2	<i>Urban Heat Vulnerability Index (UHVI)</i>	84
5.2.1	ECOTEN Urban Comfort.....	84
5.2.2	Entwicklung des UHVI.....	85
5.2.2.1	Berechnung der Komponentenindikatoren	86
5.2.2.2	Berechnung des UHVI	89
5.3	<i>Expert*inneninterview mit Sagnik Bhattacharjee</i>	91
5.3.1	Grundlage	91
5.3.2	Kodierung des Expert*inneninterviews.....	92
5.3.3	Auswertung und Ergebnisse des Expert*inneninterviews	92
5.4	<i>Zukünftiges Weiterentwicklungspotential des Urban Heat Vulnerability Index</i>	93
5.4.1	UHVI im Kontext der Ergebnisse aus dem systematischen Literaturreview	93
5.4.2	Vorschlag zur Erweiterung des UHVI um zusätzliche Indikatoren	95
5.4.2.1	Armut	96
5.4.2.2	Gesundheit.....	97
5.4.2.3	Einkommen	98
5.4.2.4	Bildung	98
5.4.2.5	Wohnverhältnisse	99
5.4.3	Diskussion des Erweiterungsvorschlags des UHVI um zusätzliche Indikatoren	99
6.	Conclusio	100
6.1	<i>Zusammenfassung und Diskussion</i>	100
6.2	<i>Handlungsempfehlung und Ausblick</i>	102
6.3	<i>Fazit</i>	103
7.	Literaturverzeichnis	105
8.	Abbildungsverzeichnis	124
9.	Tabellenverzeichnis	126
10.	Anhang	127
	<i>Anhang A</i>	127
	<i>Anhang B</i>	134
	<i>Anhang C</i>	135
	<i>Anhang D</i>	136
	<i>Anhang E</i>	138

Abkürzungsverzeichnis

ACI	Anpassungsfähigkeitsindex (engl. adaptive capacity index)
AHP	Analytisch-hierarchisches Verfahren (engl. analytical hierarchal process)
BIP	Bruttoinlandsprodukt
EI	Expositionsindex (engl. exposure index)
EVI	erweiterter Vegetationsindex (engl. enhanced vegetation index)
EW	Gleichgewichtung (engl. equal weighting)
d.h.	das heißt
HR-Modell	Risk-Hazard Modell
HRI	Hitzebedingte Erkrankungen (engl. heat-related illnesses)
IPCC	zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change)
LST	Temperatur der Landoberfläche (engl. land surface temperature)
MOVE	Methoden zur Verbesserung der Vulnerabilität in Europa (engl. methods for the Improvement of vulnerability assessment in europe)
NDVI.....	normalisierter Vegetationsdifferenzindex (engl. normalized difference vegetation index)
NDWI	normalisierter Wasserdifferenzindex (engl. normalized difference water index)
OCT	thermischer Komfort im Freien
PAR-Modell	Pressure and Release Modell
PCA	Hauptkomponentenanalyse (engl. principal component analysis)
PCs	Hauptkomponenten (engl. principal components)
SLR	systematisches Literaturreview (engl. systematic literature review)
SI	Empfindlichkeitsindex (engl. sensitivity Index)
SV	soziale Vulnerabilität (engl. social vulnerability)
SVF	Sky View Factor
u.Ä.	und Ähnliche
UHI	urbane Hitzeinsel/städtische Wärmeinsel (engl. urban heat island)
UHI – Effekt	urbaner Hitzeinsel Effekt
UHVI	urbaner Hitzevulnerabilitätsindex (engl. Urban heat vulnerability index)
UNDRR	Büro der Vereinten Nationen für Katastrophenvorsorge (ehem. UNISDR)

UPI urbane Luftverschmutzungsinsel

VPDI Index für die Dichte der gefährdeten Bevölkerung (engl. Vulnerable Population Density Index)

WHO Weltgesundheitsorganisation (engl. world health organisation)

z.B. zum Beispiel

Glossar

BEGRIFF	DEFINITION/ERKLÄRUNG
ANALYTISCH-HIERARCHISCHES VERFAHREN	Das analytisch-hierarchische Verfahren ist eine auf Multi-Kriterien basierende Entscheidungsmethode, die zur Ableitung von Verhältnisskalen diskreter und kontinuierlicher paarweiser Vergleiche verwendet wird (Almodayan, 2018; Saaty, 1987).
ANPASSUNGSFÄHIGKEITSINDEX	Der Anpassungsfähigkeitsindex wird aus dem erweiterten Vegetationsindex und dem normalisierten Wasserdifferenzindex gebildet und mitsamt dem Empfindlichkeitsindex und dem Expositionsindex zur Berechnung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien verwendet (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).
ANTHROPOGENE WÄRME	Der Begriff Anthropogene Wärme wird in der Literatur häufig verwendet, um Wärme zu beschreiben, welche durch vom Menschen verursachte oder beeinflusste Prozesse entstanden ist (Schönwiese, 2000)
BEWÄLTIGUNGSKAPAZITÄT	Unter der Bewältigungskapazität wird nach dem Büro der Vereinten Nationen für Katastrophenvorsorge die Fähigkeit von Menschen, Organisationen und Systemen verstanden, unter dem Einsatz der ihnen zur Verfügung stehenden Fähigkeiten und Ressourcen widrige Umstände, Notfälle oder Katastrophen zu bewältigen (UNDRR, 2004).
DOPPELSTRUKTUR VON VULNERABILITÄT	Das Konzept der Doppelstruktur der Vulnerabilität ist auf Bohle zurückzuführen und erklärt die Anfälligkeit mithilfe einer internen und einer externen Seite (Bohle, 2001).
ECOTEN	ECOTEN Urban Comfort ist ein Stadt- und Umwelttechnikunternehmen, welches 2012 von Jiří Tencar mit der Vision gegründet wurde, eine optimale Lebensqualität in urbanen Gebieten, durch planungstechnische Maßnahmen zum Kühlen von Städten zu schaffen (Bhattacharjee, Gerasimova, et al., 2019; Robine et al., 2008).
EMPFINDLICHKEITSINDEX	Der Empfindlichkeitsindex wird basierend auf dem sozio-demografischen Merkmal Alter gebildet und mitsamt dem Anpassungsfähigkeitsindex und dem Expositionsindex zur Berechnung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien verwendet (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).
ENERGIEBILANZ DER OBERFLÄCHE	Die Energiebilanz der Oberfläche ist eine allgemeingültige Definition der Energieerhaltung, die für Oberflächen und Volumina auf allen räumlichen und zeitlichen Skalen gilt (Oke et al., 2017).
EXPOSITIONSINDEX	Der Expositionsindex wird auf Grundlage der jährlichen ASB-Maximaltemperaturen (2015 bis 2019) berechnet und mitsamt dem Empfindlichkeitsindex und dem Expositionsindex zur Berechnung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien verwendet (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).
GLEICHGEWICHTUNG	Die Gleichgewichtung ist einer der verbreitetsten Ansätze der expliziten Gewichtung in der Hitzevulnerabilitätsforschung (W. Cheng et al., 2021; F. Li et al., 2022) und basiert

	auf der Annahme, dass jede Kategorie und jeder Indikator den Forschungsgegenstand in gleichem Ausmaß beeinflusst (Dizdaroglu et al., 2012).
HAUPTKOMPONENTENANALYSE	Die Hauptkomponentenanalyse ist eine Methode zur Verringerung der Dimensionalität großer, komplexer Datensätze (Cartone & Postiglione, 2021; Jolliffe, 2002; Jolliffe & Cadima, 2016).
HAZARD-OF-PLACE-MODELL	Das Hazard-of-place Modell bestimmt die Anfälligkeit eines Ortes durch eine Kombination aus biophysikalischen Anfälligkeitsfaktoren (z.B. Gefährdung aufgrund der geographischen Lage) und sozialen Anfälligkeitsfaktoren (z.B. demografischen Merkmalen) (Shitangsu, 2013)
INDEX FÜR DIE DICHTEN DER GEFÄHRDETEN BEVÖLKERUNG	Der Index für die Dichte der gefährdeten Bevölkerung ist ein Maß zur Berechnung der Empfindlichkeit innerhalb der Erstellung des Urban Heat Vulnerability Index der Stadt Wien (Bhattacharjee, 2019; Robine et al., 2008).
KATASTROPHE	„Eine Katastrophe ist eine schwerwiegende Störung des Funktionierens eines Gemeinwesens oder einer Gesellschaft auf beliebiger Ebene aufgrund von gefährlichen Ereignissen in Wechselwirkung mit den Bedingungen von Exposition, Anfälligkeit und Kapazität, die zu einem oder mehreren der folgenden Punkte führt: menschliche, materielle, wirtschaftliche und ökologische Verluste und Auswirkungen“ (UNDRR, n.d.).
KÖRPERLICHE/GEISTIGE BEEINTRÄCHTIGUNG	Menschen mit körperlicher/geistiger Beeinträchtigung sind Personen, deren Fähigkeit zur Ausübung bestimmter Tätigkeiten eingeschränkt ist, wie beispielsweise das Sehen, das Hören, das Sprechen, die Wahrnehmung oder die Mobilität (Gamble et al., 2016).
MOVE-MODELL	Das MOVE-Modell wurde im Rahmen des Forschungsprojektes MOVE entwickelt und definiert Verwundbarkeit als einen dynamischen Prozess, der neben den verschiedenen thematischen Dimensionen der Verletzlichkeit auch unterschiedliche Rückkopplungsschleifen miteinbezieht (Alexander et al., 2014; Birkmann et al., 2013; Welle et al., 2014).
NATURGEFAHR	Naturgefahren sind natürliche Prozesse oder Phänomene, die den Verlust von Menschenleben, Verletzungen oder andere gesundheitliche Auswirkungen, Sachschäden, den Verlust von Lebensgrundlagen und Dienstleistungen, soziale und wirtschaftliche Störungen oder Umweltschäden verursachen können (UN-SPIDER Knowledge Portal, n.d.).
NORMALISIERTER DIFFERENZVEGETATIONSINDEX	Der normalisierte Differenzvegetationsindex ist ein geographischer Indikator, der häufig Anwendung bei der Analyse von Fernerkundungsdaten findet, um zu ergründen, ob das erkundete Gebiet über grüne und gesunde Vegetation verfügt oder nicht (Dutta Gupta et al., 2021).
NORMALISIERTER WASSERDIFFERENZINDEX	Der normalisierte Wasserdifferenzindex ist ein von der Fernerkundung abgeleiteter Index für flüssiges Wasser und wurde zur Erstellung des Anpassungsfähigkeitsindex verwendet (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).

PRESSURE AND RELEASE MODELL	Das Konzept von Druck und Freisetzung definiert das Katastrophenrisiko als Funktion einer Naturgefahr und der Vulnerabilität. Die Verwundbarkeit wird als Entwicklungsprozess dargestellt, der auf grundlegende Ursachen, dynamischen Druck und unsichere Zustände zurückzuführen ist (Aziz, 2018; L. et al., 2013; Reyes et al., 2023; Wisner et al., 1994).
RISK-HAZARD MODELL	Das Risk-hazard Modell dient zur Beschreibung der Vulnerabilität und liegt dem Verständnis der Auswirkungen von Naturgefahren auf ein exponiertes System zugrunde (L. et al., 2013).
SKY VIEW FACTOR	Der sky view factor ist ein Maß für die Öffnung eines städtischen Freiraums zum Himmel (Brandenburg et al., 2015)
SOZIALKAPITAL	Unter dem Sozialkapital wird die Verbindung zwischen Individuen, einschließlich ihrer Netzwerke und der Normen der Gegenseitigkeit, verstanden (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022; Nikkanen et al., 2021).
STÄDTISCHE WÄRMEINSEL = URBANE HITZEINSEL	Eine urbane Hitzeinsel ist die Differenz zwischen der Temperatur an einem bestimmten urbanen Ort und der Temperatur an einem bestimmten Referenzpunkt an einem ruralen Ort (Taha, 2004).
SOZIALE VULNERABILITÄT	Die soziale Verwundbarkeit von einer Person bis hin zu einer Bevölkerungsgruppe ergibt sich aus dem Mangel an Vermögenswerten, Wissen (einschließlich der Bildung), politischer Macht und sozialen Netzen sowie aus Glaubensvorstellungen und Bräuchen, physischen Einschränkungen und der Qualität der Infrastruktur und bebauten Umwelt (Nikkanen et al., 2021).
THERMISCHE BEHAGLICHKEIT DES MENSCHEN	Die thermische Behaglichkeit des Menschen (auch menschlicher Komfort) definiert einen Zustand, der die Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung ausdrückt (Kalogeropoulos et al., 2022).
TEMPERATUR DER LANDOBERFLÄCHE	Bei der Temperatur der Landoberfläche handelt es sich um einen Index, der in °C angegeben und häufig zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes verwendet wird (A. A. Khan, 2019).
URBANER HITZEINSEL EFFEKT	Der urbane Hitzeinsel Effekt beschreibt ein Phänomen, bei dem die Luft- und Oberflächentemperaturen in urbanen Gebieten höher sind als in umliegenden Vorstädten und ruralen Gebieten (Liu et al., 2021; Oke, 1973; Taha, 2004).
URBANE LUFTVERSCHMUTZUNGSINSEL	Der Begriff urbane Luftverschmutzungsinsel findet Anwendung, um das Auftreten von räumlichen und zeitlichen Schwankungen der Schadstoffkonzentration zu identifizieren, die auf das Vorhandensein typischer urbaner Merkmale und Aktivitäten zurückzuführen sind (H. Li et al., 2018; Ulpiani, 2021).
URBANER HITZEVULNERABILITÄTSINDEX	Der urbane Hitzevulnerabilitätsindex wurde auf Basis der drei Indizes (1) Empfindlichkeitsindex, (2) Anpassungsfähigkeitsindex (ACI) und (3) Expositionsindex (EI) berechnet, um die Hitzeanfälligkeit in Wien zu bewerten (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).

WÄRMEINSEL	Eine Wärmeinsel ist ein Gebiet, ein Volumen oder eine ganze Region, in dem die Temperatur höher ist als in der Umgebung (Taha, 2004).
ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHUSS FÜR KLIMAÄNDERUNGEN	Der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) ist eine Institution der Vereinten Nationen und hat die Funktion, regelmäßig den aktuellen Kenntnisstand zum Klimawandel zusammenfassen um Entscheidungsträger*innen weltweit eine wissenschaftlich basierte Grundlage zu bieten (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023)

1 Einführung

1.1 Einleitung

Der Klimawandel in Kombination mit der weltweit fortschreitenden Urbanisierung, ist ein treibender Faktor für die Erhöhung der Temperaturen in städtischen Gebieten (W. Cheng et al., 2021; Iping et al., 2019; T. Wolf & McGregor, 2013). Prognosen deuten unverkennbar darauf hin, dass Perioden mit extrem heißen Wetter in Zukunft an Intensität, Häufigkeit und Dauer zunehmen werden (Voelkel et al., 2018; T. Wolf & McGregor, 2013). Konkret könnte das ein vermehrtes Aufkommen von Hitzewellen und die Steigerung der Intensität von urbanen Hitzeinseln in Städten (W. Cheng et al., 2021; Iping et al., 2019; T. Wolf & McGregor, 2013) bedeuten. Die Auswirkungen der urbanen Hitze sind weitreichend und betreffen insbesondere die Bevölkerung (Watts et al., 2021), die Umwelt (Santamouris, 2020) und die Wirtschaft (Nugent, 2022; Parsons, 2002; Zander et al., 2015). Die Folgen machen sich beispielsweise in Form einer Verschlechterung der Luft- (Piracha & Chaudhary, 2022; Ulpiani, 2021) und Wasserqualität (Briciu et al., 2020; Somers et al., 2016), in der Beeinträchtigung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie einer Erhöhung des Energiebedarfs (Santamouris, 2014, 2020; Santamouris et al., 2015) bemerkbar. Aber auch ein Anstieg der hitzebedingten Morbidität und Mortalität der städtischen Bevölkerung ist in diesem Zusammenhang erkennbar (Piracha & Chaudhary, 2022). Im Jahr 2003 wurden in Europa beispielsweise 35.000 zusätzliche Todesopfer aufgrund der schwerwiegenden gesundheitlichen Folgen von Hitzewellen auf die Bevölkerung gemeldet (IPCC, 2007; Marx et al., 2021). Obwohl die Gesamtbevölkerung von Städten die steigenden Temperaturen in Zukunft, wortwörtlich, zu spüren bekommen wird, sind nicht alle Bevölkerungsgruppen in gleichem Ausmaß von den Auswirkungen betroffen. Die Hitzevulnerabilität der Bevölkerung steht in einem engen Zusammenhang mit der sozialen Vulnerabilität der Menschen (Cutter, 1996). Unterschiede in der sozialen Vulnerabilität innerhalb der Bevölkerung ergeben sich aus dem Zusammenspiel von sozioökonomischen, demografischen, baulichen, institutionellen, politischen und kulturellen Aspekten und üben ihrerseits einen Einfluss auf die Fähigkeit von Menschen aus, mit Hitzeereignissen umzugehen, sich erholen und anpassen zu können (Giovane di Girasole & Cannatella, 2017; Sandholz et al., 2021; Turner et al., 2003).

Um die Bevölkerung urbaner Gebiete vor zukünftigen Hitzeereignissen zu schützen und dem Klimawandel sowie den steigenden urbanen Temperaturen entgegenzuwirken, ist die gezielte

Setzung von Anpassungsmaßnahmen von Seiten der lokalen Regierungen, Behörden und der Mitglieder des privaten Sektors essenziell (W. Cheng et al., 2021; Soomar & Soomar, 2023). Insbesondere das Pariser Klimaabkommen im Jahr 2015 konnte das Bewusstsein der Notwendigkeit zur Handlung unterschiedlicher Akteure schärfen (H. Cheng et al., 2021; Soomar & Soomar, 2023). Zu diesem Zweck kam es vor allem im Zuge der letzten Jahre (und Jahrzehnte) zur Entwicklung von einer Vielzahl von Hitzevulnerabilitätsindizes. Der Einsatz von Hitzevulnerabilitätsindizes ermöglicht es, den Grad der Hitzevulnerabilität einer Bevölkerungsgruppe oder eines Stadtgebietes widerzuspiegeln und unterstützt somit Entscheidungsträger*innen bei der Veranlassung von Maßnahmen und Planungsvorhaben (Abrar et al., 2022; Niu et al., 2021; Y. Xu et al., 2021). Aktuell konnte auch ein Wandel hin zur verstärkten Miteinbeziehung sozial vulnerabler Bevölkerungsgruppen in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes durch den Einsatz ausgewählter Indikatoren (beispielsweise sozio-demografische Indikatoren, wirtschaftliche Indikatoren und klimatische Indikatoren) beobachtet werden (Giovene di Girasole & Cannatella, 2017; Guardaro, Hondula, Ortiz, et al., 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022; Sandholz et al., 2021).

1.2 Relevanz des Themas und Motivation

Diese Masterarbeit setzt sich mit der Thematik der urbanen Hitze auseinander, was in Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels ein sehr aktuelles und vielfach diskutiertes Thema darstellt. Vor allem die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes spielt in diesem Kontext eine wichtige Rolle, da basierend auf deren Ergebnissen wichtige Planungs- und Entscheidungsvorhaben zum Schutz der Bevölkerung, gegen die steigenden urbanen Temperaturen und zur Verringerung der sozialen Vulnerabilität der Menschen insbesondere gegenüber Hitze getroffen werden können (Abrar et al., 2022; Niu et al., 2021). Hitzevulnerabilitätsindizes unterliegen jedoch keinen einheitlichen Bestimmungen, was sich durch große Unterschiede beziehungsweise auf die Anzahl sowie die Art der verwendeten Indikatoren widerspiegelt. Überdies lässt sich die Berücksichtigung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes nicht in gleichem Ausmaß erkennen und kann zwischen den einzelnen Studien stark variieren. Für die Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes muss zusätzlich die Thematik der Datenverfügbarkeit betrachtet werden. Durch die Bezugnahme einzelner Indikatoren beispielsweise auf sensible oder personenbezogene

Informationen können die Zugriffsrechte auf die Datenbasis unterschiedlich ausfallen. Open Data ist in diesem Zusammenhang einer der am häufigsten genannten und zukunftsorientiertesten Begriffe und definiert, wie wissenschaftliche Daten ohne jegliche Preis- und Genehmigungseinschränkungen von jedem/jeder weiterverwendet und veröffentlicht werden können (Murray-Rust, 2008).

In weiterer Folge der Masterarbeit wird auch das Thema „urbaner Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien“ behandelt. Die Stadt Wien beziehungsweise der Index der Stadt Wien wird aufgrund seiner geringen Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in der Indexentwicklung (lediglich in Form eines einzelnen Indikators) als Beispiel herangezogen.

1.3 Problemstellung und Zielsetzung

Es gibt bereits eine Vielzahl an Studien und Literaturquellen, die sich mit der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes auseinandersetzen. Allerdings beschäftigen sich bis dato nur wenige Untersuchungen mit der konkreten Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in die Indexerstellung sowie mit der Art und Anzahl der dafür verwendeten Indikatoren. Das Hauptziel dieser Masterarbeit liegt daher in der Ergründung auf welche Art und Weise die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber urbaner Hitze bei der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes berücksichtigt wird. Konkret werden einzelne, ausgewählte Studien im Zuge des systematischen Reviews in Bezug auf ihre, der Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung zugrundeliegenden Indikatoren analysiert. Während in die meisten Hitzevulnerabilitätsindizes bereits sozio-demografische Indikatoren zu diesem Zweck integriert werden, spielen andere Indikatoren wie beispielsweise wirtschaftliche, institutionelle oder bauliche Indikatoren häufig eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Aspekt heraus sowie zur besseren Vergleichbarkeit der Studien wird die Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität im Rahmen dieser Masterarbeit vorrangig auf sozio-demografische Faktoren sowie deren unterschiedlichen Einsatz bezogen. Informationen zur Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in Form von anderen Faktoren werden ergänzend gesammelt, stehen jedoch nicht im Fokus der Analyse.

In diesem Zusammenhang wird auch ein Augenmerk auf die, den verwendeten Indikatoren zugrundeliegenden Datenbasis gelegt. Dabei wird das Ziel verfolgt, zu ergründen inwieweit die Datenbasis bei der Integration der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in die

Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung eine Rolle spielt und welche Relevanz Open Data zuteilwird.

Ein weiteres Ziel dieser Masterarbeit besteht in der Präsentation eines Verbesserungsvorschlages zur verstärkten Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in die Bewertung der Hitzeanfälligkeit der Bevölkerung. Die Stadt Wien beziehungsweise der urbane Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien dient hierfür, aufgrund der Verwendung von lediglich einem einzelnen Indikator zur Abbildung der sozialen Vulnerabilität, als anschauliches Beispiel.

1.4 Zentrale Fragestellungen

Die folgenden Fragestellungen werden im Zuge der vorliegenden Masterarbeit bearbeitet:

1. Inwiefern wird die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber urbaner Hitze von Hitzevulnerabilitätsindizes berücksichtigt?
2. Welche Relevanz wird Open Data bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes in Bezug auf sozio-demografische Indikatoren zugeschrieben?
3. Welche Verbesserungsvorschläge lassen sich hinsichtlich der Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber urbaner Hitze am Beispiel des UHVI der Stadt Wien treffen?

1.5 Methodik

Die Masterarbeit beruht auf einem systematischen Literaturreview mit Keyword-Suche. Das systematische Literaturreview wird herangezogen, um alle verfügbaren Forschungsergebnisse für die Beantwortung der ersten beiden Forschungsfragen (siehe *Kapitel 1.3*) zu identifizieren, diese in Form von Excel Tabellen und Abbildungen zusammenzufassen und anschließend zu bewerten (Kitchenham & Charters, 2007; Margarey, 2000). Basierend auf der Keyword-Suche (die in fünf Suchanfragen unterteilt durchgeführt wird) lassen sich alle potenziell relevanten Literaturquellen auffinden. Dem systematischen Literaturreview liegt überdies ein Review Protokoll zugrunde, dem die verwendeten Datenbanken, Ein- und Ausschlusskriterien sowie die einzelnen Suchanfragen und Einschränkungen zu entnehmen sind (Aromataris & Pearson, 2014; Gurbuz & Tekinerdogan, 2018). Das Review Protokoll wurde vor der Durchführung des systematischen Literaturreviews mit Keyword-Suche einer Qualitätsüberprüfung unterzogen.

Zuzüglich dem systematischen Literaturreview wird ein Expert*inneninterview (siehe *Kapitel 5.3*) mit Sagnik Bhattacharjee, dem Mitbegründer und Leiter der Stadtplanungsdienste von ECOTEN Urban Comfort geführt (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019; S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Das Interview soll einerseits dazu dienen, vertiefende Informationen zur Zusammenarbeit mit der Stadt Wien, der Erstellung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex sowie der zugrundeliegenden Indikatoren zu erhalten. Andererseits eröffnet das Interview die Möglichkeit, weiterführende Indikatoren zur verstärkten Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität, aus der Sicht eines Experten/einer Expertin zu identifizieren. Zur besseren Weiterverarbeitung und anschaulicheren Aufbereitung der Ergebnisse wird das Interview im Anschluss an die Durchführung transkribiert und auf entsprechend eines eigens angefertigten Kodierleitfadens kodiert.

Auf Basis der Auswertung des systematischen Literaturreviews, der vorhergegangenen Literatursuche und den Ergebnissen des Expert*inneninterviews wird abschließend, am Beispiel des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien, ein Verbesserungsvorschlag zur verstärkten Integration der sozialen Vulnerabilität in der Bewertung der Hitzeanfälligkeit unterbreitet. Dieser Vorschlag wird auf Basis von fünf ausgewählten Indikatoren erstellt.

1.6 Aufbau der Arbeit

Die Masterarbeit lässt sich entsprechend der zu bearbeitenden Forschungsfragen in drei große Teilbereiche gliedern. Die *Kapitel 2 und 3* dienen der Kontextbildung und umfassen theoretische Grundlagen zur Hitzevulnerabilitätsforschung, zur Definition von Vulnerabilität im Allgemeinen und der sozialen Vulnerabilität im Konkreten sowie zur Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes. In *Kapitel 4* wird die Durchführung des systematischen Literaturreviews mit Keyword-Suche samt der Präsentation und Diskussion der Ergebnisse abgehandelt. Im 5. *Kapitel* liegt der Fokus auf dem urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien, sowie einer beispielhaften Weiterentwicklung des Index um eine verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze durch vorgeschlagene Indikatoren. Überdies beinhaltet das 5. *Kapitel* ein Expert*inneninterview. Zu Beginn der Arbeit steht eine kurze Einleitung als Einstieg in das Thema. Am Ende folgt eine Conclusio, die sowohl Zusammenfassung und Diskussion, Handlungsempfehlung und Ausblick sowie ein Fazit enthält. Zum leichteren Verständnis der Arbeit werden dem Inhaltsverzeichnis ein Glossar und ein Abkürzungsverzeichnis vorangestellt. Wichtige Anhänge, sowie ein

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis sind im Anschluss an das Literaturverzeichnis am Ende der Masterarbeit zu finden.

2. Grundlage

2.1 Städtische Hitze

2.1.1 Städtische Hitze im Kontext zum Klimawandel

Der Klimawandel ist eine globale Herausforderung mit erheblichen Auswirkungen auf das urbane Leben (UNEP, 2017). Mehr als 55 Prozent der Weltbevölkerung und ein beträchtlicher Anteil der weltweiten Industrie sind in urbanen Gebieten angesiedelt (Coccolo et al., 2018; OECD, 2014). Künftige Trends zeigen, dass durch die Urbanisierung d.h. die allmähliche Verlagerung des Wohnsitzes einer großen Anzahl von Menschen ruraler Gebiete in urbane Gebiete (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2022), in Verbindung mit dem allgemeinen globalen Bevölkerungswachstum, im Jahr 2050 bereits mehr als 70 Prozent der Weltbevölkerung in städtischen Gebieten leben wird (K. Huang et al., 2019; Piracha & Chaudhary, 2022). Insbesondere die Kontinente Afrika und Asien werden von einem Großteil dieses Anstieges betroffen sein (Coccolo et al., 2018; United Nations, 2018). Städte reagieren aufgrund ihrer hohen Bevölkerungs- und Infrastrukturdichte (Kuttler et al., 2017) besonders sensibel in Bezug auf den Klimawandel und seine negativen Folgen. Extreme Wetterereignisse können die komplexen städtischen Systeme stark beeinträchtigen und kostspielige Auswirkungen auf die Grundversorgung der Städte, die Infrastruktur, den Wohnraum und die Lebensgrundlagen der Menschen sowie deren Gesundheit haben (OECD, 2014; UNEP, 2017). Insbesondere Hitzeereignisse haben bereits in der Vergangenheit für verheerende Folgen gesorgt (Robine et al., 2008). In Zukunft wird erwartet, dass Perioden mit extrem heißem Wetter aufgrund des fortschreitenden Klimawandels an Intensität, Häufigkeit und Dauer zunehmen werden (Voelkel et al., 2018; T. Wolf & McGregor, 2013). Konkret könnte das für urbane Gebiete eine gesteigerte Häufigkeit an Hitzewellen und die Intensivierung städtischer Wärmeinseln, auch urbane Hitzeinseln (Abk. UHI) genannt (W. Cheng et al., 2021; Iping et al., 2019; T. Wolf & McGregor, 2013), bedeuten.

2.1.1.1 Urbane Hitzeinseln

Insbesondere urbane Hitzeinseln (*Abbildung 1.*) spielen im Kontext der städtischen Hitze eine zentrale Rolle und werden überdies durch die fortschreitende Urbanisierung weiter verstärkt (Ipíng et al., 2019; Levermore et al., 2018). Der urbane Hitzeinseleffekt (UHI – Effekt) ist ein Phänomen, bei dem die Luft- und Oberflächentemperaturen in urbanen Gebieten höher sind als jene in umliegenden Vorstädten und ruralen Gebieten, aufgrund des Vorhandenseins der städtischen Strukturen und Infrastrukturmaterialien (Liu et al., 2021; Oke, 1973; Taha, 2004). Städtische Wärmeinseln resultieren aus dem veränderten Austausch zwischen der Oberfläche und der Luft, ausgelöst durch eine Veränderung der natürlichen Landschaft und einer verstärkten Zufuhr von Wärmeenergie durch menschliche Aktivitäten (Mills et al., 2022). Hupfer und Kuttler definieren städtische Wärmeinseln als "...eine sich vom kühleren Umland abhebende, meist inselartig auftretende Überwärmung, deren Intensität durch die horizontale positive Temperaturdifferenz ($\Delta t = t_{\text{Stadt}} - t_{\text{Umland}}$) zwischen Stadt und Umland angegeben oder durch einen streckenbezogenen horizontalen Temperaturgradienten ($t_{\Delta \text{Stadt}} - \text{Umland} / \Delta x_{\text{Stadt} - \text{Umland}}$) beschrieben wird" (Kuttler & Hupfer, 2005).

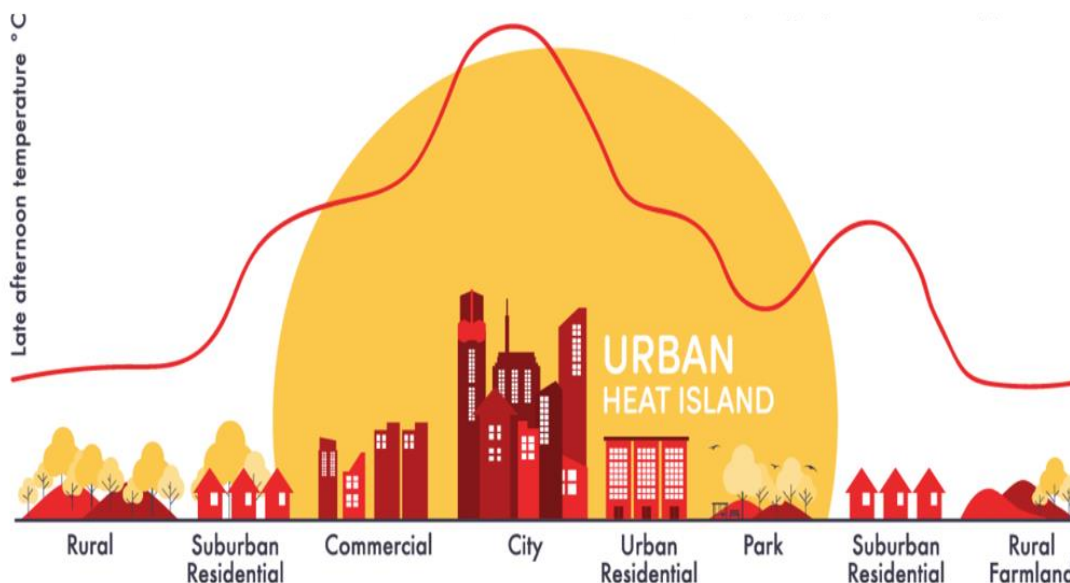


Abbildung 1. Darstellung des urbanen Hitzeinseleffekts anhand unterschiedlichen Abstufungen zwischen urban und rural (Fuladlu et al., 2018).

UHIs lassen sich inzwischen in einer Vielzahl urbaner Gebieten weltweit messen und treten in allen Klimazonen auf (Leal Filho et al., 2018). Die Intensität des urbanen Hitzeinseleffekts hängt dabei von vielen Faktoren ab, wie beispielsweise von der Größe der Stadt und ihrer Bevölkerung, der Topografie, der Klimazone und den meteorologischen Bedingungen

(Pórolniczak et al., 2017). Im Allgemeinen lässt sich jedoch feststellen, dass die Temperaturen in urbanen Gebieten um bis zu 10-15 °C höher sein können als in den umliegenden ruralen Gebieten (Joint Research Centre, 2022) und Großstädte wesentlich stärker betroffen sind als Mittel- oder Kleinstädte (Leal Filho et al., 2021).

2.1.1.2 Hitzewellen

Neben urbanen Hitzeinseln stellen auch Hitzewellen ein weltweit zunehmendes Phänomen in städtischen Gebieten dar (Hintz et al., 2018). Allgemein handelt es sich bei Hitzewellen um eine Periode geprägt durch übermäßig heißes Wetter, welches von hoher Luftfeuchtigkeit begleitet sein kann (Marx et al., 2021). Da Hitzewellen regionsspezifische Unterschiede aufweisen, gibt es keine allgemeingültige und anerkannte Definition des Begriffes, sondern nur eine Definition beziehend auf das übliche Wetter einer Region und die „normalen“ Temperaturen der betrachteten Jahreszeit (IPCC, 2007; Marx et al., 2021).

In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts haben die Häufigkeit und Intensität von urbanen Hitzewellen rund um den Globus merklich zugenommen, was sich sowohl auf die Stadtbevölkerung als auch auf die (bebaute) Umwelt auswirkt (Hintz et al., 2018). Die Zunahme von Hitzewellen lässt sich vorrangig auf den Klimawandel sowie seine Folgen zurückführen (Koppe et al., 2003). Obwohl Hitzewellen mittlerweile zu den gefährlichsten Naturgefahren zählen, wird ihnen bis dato nur selten angemessene Beachtung zuteil, da das Ausmaß der Zerstörung sowie die geforderten Todesopfer nicht immer sofort erkennbar sind (WHO, 2022). Ein Beispiel für die schwerwiegenden Auswirkungen von Hitzewellen spiegelte die Hitzewelle in Europa im Jahr 2003 wider, im Zuge der insgesamt 35.000 zusätzliche Todesopfer gemeldet wurden (IPCC, 2007; Marx et al., 2021). Darüber hinaus findet weiterhin eine Unterschätzung der Risiken von Hitzewellen statt, wie der hitzebedingte Tod von rund 600 Menschen in Chicago, aufgrund einer Fehleinschätzung des Ausmaßes der Hitzebelastung, zeigte (Dematte et al., 1998; Hintz et al., 2018).

Insbesondere in urbanen Gebieten wird der Thematik „Hitzewelle“ aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte und der damit einhergehenden Belastung des Gesundheitssystems, der erhöhten hitzebedingten Mortalität, der Verschlechterung der Luft- und Wasserqualität, dem erhöhten Energiebedarf (z.B. für Kühlzwecke) während intensiver Hitzewellen vermehrt Beachtung geschenkt (Marx et al., 2021; Santamouris et al., 2015; Tuholske et al., 2021).

2.1.2 Auswirkung von städtischer Hitze

2.1.2.1 Bevölkerung

Städtische Hitze ist eine der schwerwiegendsten Gesundheitsgefahren, die der Klimawandel in Kombination mit UHIs und der fortschreitenden Urbanisierung mit sich bringt (Iping et al., 2019; Tong et al., 2021; Tuholske et al., 2021). Mit dem zunehmenden Anteil der in Städten lebenden Weltbevölkerung hat die Exposition gegenüber hitzebedingten Gesundheitsrisiken in Großstädten und größeren urbanen Zentren im Zuge der letzten Jahrzehnte proportional zugenommen (Tong et al., 2021). In den vergangenen 40 Jahren ist die Exposition gegenüber extremer Hitze in Städten um fast 200% gestiegen (Tuholske et al., 2021), schätzungsweise ist knapp ein Viertel der Weltbevölkerung (d. h. fast 1,7 Milliarden Menschen) extremer Hitze ausgesetzt (Piracha & Chaudhary, 2022). Die Exposition gegenüber gefährlich hohen Temperaturen führt unweigerlich zu einem Anstieg der Morbidität (Watts et al., 2021), der Mortalität (Mora et al., 2017) und zur Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit der Menschen (Kalogeropoulos et al., 2022).

Morbidität

Städtische Hitze übt einen starken Einfluss auf die Morbidität (Watts et al., 2021) der urbanen Bevölkerung aus. Der menschliche Körper kann auf erhöhte Umgebungstemperaturen auf zwei verschiedene Arten reagieren (Ellis, 1976a, 1976b). Zum einen wird die Blutzufuhr zur Haut erhöht um die überschüssige Wärme abzuführen, zum anderen wird die Produktion von Schweiß angeregt um die Haut stärker zu kühlen (Piracha & Chaudhary, 2022). Übersteigt die äußere Hitzeeinwirkung ein Ausmaß, welches durch die Kompensationsmechanismen der Thermoregulation nicht mehr ausgeglichen werden kann, führt dies zu einer physiologischen Beeinträchtigung des Körpers und zu hitzebedingten Erkrankungen (HRI), die entweder akut oder verzögert auftreten können (Barrow & Clark, 1998a; A. A. Khan, 2019). HRI können sich durch geringfügige Störungen, leichte Erkrankungen und schwerwiegende Erkrankungen äußern (A. A. Khan, 2019). Die häufigste Form von HRI ist eine leichte Erkrankung in Form einer Hitzeerschöpfung, bestehend aus einer Vielzahl von Symptomen wie Erbrechen, Müdigkeit, Übelkeit und Reizbarkeit (Johns Hopkins Medicine, 2020; Tuholske et al., 2021). Ein Hitzeschlag wird hingegen als schwerwiegend und potenziell lebensbedrohliches akutes Syndrom eingestuft, bei dem die Körperkerntemperatur auf mehr als 40,6 °C ansteigt und neurologische Funktionsstörungen auftreten (A. A. Khan, 2019; Witze, 2021). Darüber hinaus

lassen sich hohe Temperaturen in urbanen Gebieten auch mit einer Zunahme an psychischen Erkrankungen, wie z.B. schweren Depressionen in Verbindung bringen (H. Huang et al., 2022).

Mortalität

Extremtemperaturen wie sie beispielsweise bei Hitzewellen auftreten, können zu starkem Hitzestress führen. Hitzestress ist einer der Hauptauslöser von offensichtlichen Todesfällen aufgrund von Herz-Kreislauf-, Atemwegs- und zerebrovaskulärem Versagen (Barrow & Clark, 1998b) und die Hauptursache für wetterbedingte Sterblichkeit in den USA und Europa (Piracha & Chaudhary, 2022). Eine erhöhte Sterblichkeit während der warmen Jahreszeit lässt sich allerdings auch auf anderen Kontinenten beobachten (Vicedo-Cabrera et al., 2021). Dies gilt insbesondere für größere Städte, wo die hitzebedingte Sterblichkeitsrate deutlich höher (mehr als fünfmal) ausfallen kann als in den umliegenden ruralen Gebieten (Piracha & Chaudhary, 2022). Die Auswirkungen von heißen Temperaturen auf die Mortalität der urbanen Bevölkerung variieren stark zwischen den unterschiedlichen Regionen und werden zusätzlich durch lokale Faktoren, einschließlich der Bevölkerung, des städtischen Grünraums und der Ungleichheit, sowohl innerhalb eines Landes als auch zwischen verschiedenen Ländern beeinflusst (Watts et al., 2021). Laut einer Studie von Tuholske et al. könnte die zunehmende extreme Hitze jedoch die Sterblichkeitsraten in vielen urbanen Gebieten weltweit weiter erhöhen, besonders zu Lasten von sozial und wirtschaftlich am stärksten ausgegrenzten Bevölkerungsgruppen (Tuholske et al., 2021).

Der urbane Hitzeinseleffekt spielt in Bezug auf die hitzebedingte Mortalität eine zentrale Rolle. Laut Macintyre und Heaviside (2019) liegt der Beitrag von städtischen Wärmeinseln zur hitzebedingten Sterblichkeit in einer europäischen Stadt während einer Hitzewelle bei bis zu 40 Prozent (Macintyre & Heaviside, 2019; Piracha & Chaudhary, 2022). Andere Studien gehen davon aus, dass bis zu 50 Prozent der Hitzemortalität auf den UHI-Effekt während einer Hitzewelle in Gebieten mit erhöhten urbanen Temperaturen zurückgeführt werden kann (Ho et al., 2023).

Thermische Behaglichkeit des Menschen (thermischer Komfort)

Urbane Hitze, Hitzewellen sowie UHIs können die Lebensqualität der Bewohner*innen urbaner Gebiete beeinträchtigen und die thermische Behaglichkeit in Innen- und Außenräumen stark beeinflussen (Kalogeropoulos et al., 2022). Die thermische Behaglichkeit

des Menschen ist ein Ausdruck für seine Zufriedenheit mit der thermischen Umgebung (ASHRAE, 2013). Der thermische Komfort im Freien (OTC) hat eine direkte Auswirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Benutzer*innen von Außenbereichen und beeinflusst die wahrgenommene Qualität städtischer Freiräume und die damit einhergehende Teilnahme an Aktivitäten im Freien (Abdollahzadeh & Bilorja, 2021). Darüber hinaus ist die thermische Behaglichkeit ein wichtiger Indikator für die Umweltqualität von Innenräumen und direkt mit dem Vorhandensein und dem Gebrauch von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage verbunden (Baquero & Forcada, 2022)

2.1.2.2 Umwelt

Die hohen Temperaturen in Städten, verglichen mit jenen der Vorstädte und umliegenden ruralen Gebieten, haben überdies auch schwerwiegende Auswirkungen auf die Umweltqualität urbaner Gebiete (Santamouris, 2020). Dies macht sich beispielsweise in der Verschlechterung der Luft- (Piracha & Chaudhary, 2022; Ulpiani, 2021) und Wasserqualität (Briciu et al., 2020; Somers et al., 2016), in der Beeinträchtigung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie einer Erhöhung des Energiebedarfs, insbesondere für Kühlzwecke (Santamouris, 2014, 2020; Santamouris et al., 2015) bemerkbar.

Luftverschmutzung

Eine große Anzahl an Städten weltweit leidet unter Luftverschmutzung. Die mit Smog und Schadstoffen belastete Luft schadet der Gesundheit von Millionen von Stadtbewohner*innen (Oke et al., 2017; US EPA, 2014; Venter et al., 2020). Menschliche Aktivitäten wie kochen und heizen, aber auch industrielle Prozesse, die Stromerzeugung und ein hohes Verkehrsaufkommen gelten als Hauptquellen von Luftverschmutzung (Piracha & Chaudhary, 2022; Sarrat et al., 2006). Die steigenden Temperaturen in urbanen Gebieten verschärfen die Lage weiter (Piracha & Chaudhary, 2022). UHIs und urbane Luftverschmutzung sind keineswegs Phänomene, die unabhängig voneinander in urbanen Gebieten auftreten (Ulpiani, 2021). Im Zuge aktueller Forschungsstudien konnte eine Synergie zwischen städtischen Wärmeinseln und urbanen Luftverschmutzungsinseln (UPI) (H. Li et al., 2018) nachgewiesen werden (Crutzen, 2004; Mendez-Astudillo et al., 2022; Ulpiani, 2021). Städtische Wärmeinseln begünstigen beispielsweise die Entwicklung einer Staubkuppel über Städten und ihre Selbsterhaltung durch das Festigen eines Rezirkulationsmusters, welches

Verschmutzungsepisoden verlängert und verschlimmert (Ulpiani, 2021). Überdies wird die turbulente Durchmischung der Luft durch wärmere Luftmassen angeregt, die wiederum die Ausbreitung von Primärschadstoffen in höhere atmosphärische Schichten fördert (Sarrat et al., 2006).

Laut der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sind mehr als 80 Prozent der Menschen, die in Städten leben in denen die Luftverschmutzung überwacht wird, einer zu hohen Schadstoffbelastung ausgesetzt (United Nations, 2016). Die Luftverschmutzung kann akute und chronische Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben, die von einer leichten Reizung der oberen Atemwege bis hin zu chronischen Atemwegs- und Herzerkrankungen oder Lungenkrebs reichen können (Kampa & Castanas, 2008; United Nations, 2016).

Wasserverschmutzung

Übermäßige städtische Wärme kann einen großen Einfluss auf die Wasserqualität urbaner Gebiete ausüben. Regenwasserabflüsse werden durch die hohen Temperaturen von Bürgersteigen und Dachflächen aufgeheizt und führen zur Erwärmung urbaner (Fließ-) Gewässer wie Bäche, Flüsse oder Seen (Briciu et al., 2020; US EPA, 2014). Akute Regenfälle können eine rasche Temperaturveränderung in aquatischen Ökosystemen auslösen und den Stoffwechsel und die Fortpflanzung vieler Wasserlebewesen negativ beeinflussen und gefährden (Daufresne & Boët, 2007; Somers et al., 2016). Überdies kommt es durch die erhöhten Temperaturen von Fließgewässern urbaner Gebiete zur Verringerung der Selbstreinigungskapazität, was auf eine Beeinträchtigung der aquatischen Biota und der Menge des gelösten Sauerstoffs im Wasser (Briciu et al., 2020) zurückzuführen ist. Aber auch die Trinkwasserqualität kann durch den Anstieg der Temperaturen in urbanen Gebieten in Mitleidenschaft gezogen werden. Erhöhte Temperaturen können zu einer chemischen, physikalischen, mikrobiologischen und bakteriellen Beeinträchtigung in allen Abschnitten des Trinkwasserverteilungssystems führen (Böttcher & Zosseder, 2022; Schönher et al., 2021).

Energiebedarf - Kühlenergiebedarf

Die Erwärmung urbaner Gebiete sorgt für ein immer größer werdendes energetisches Ungleichgewicht in Städten (Santamouris, 2014). Dieses äußert sich insbesondere im Anstieg des Energiebedarfs (sowohl des Spitzen- als auch des Gesamtstrombedarfs) für Kühlungszwecke (Cartalis et al., 2001; Santamouris, 2020). Eine Erhöhung der Lufttemperatur

um ein Grad kann bereits zu einem Anstieg der Spitzenlast des Stromverbrauchs in Gebäuden um bis zu 4,6 Prozent führen, was einem entsprechenden Anstieg des Gesamtstromverbrauchs auf bis zu 8,5 Prozent gleicht (Santamouris et al., 2015). Bereits im Jahr 2014 betrug die durchschnittliche Kühllast von Gebäuden in städtischen Gebieten um dreizehn Prozent mehr als in ländlichen Gebieten (Santamouris, 2014). Die Temperaturerhöhung in Städten könnte diesen Trend verstärken und den Gebäudeenergieverbrauch und den Gesamtenergiebedarf durch zusätzlichen Kühlungsbedarf weiter steigern (X. Li et al., 2019; M. Singh & Sharston, 2022). Prognosen für das Jahr 2100 kalkulieren einen Anstieg des gesamten weltweiten Kühlenergiebedarfs um 72 Prozent (Macintyre & Heaviside, 2019).

2.1.2.3 Wirtschaft

Der Klimawandel und hohe Temperaturen machen sich auch in der lokalen Wirtschaft urbaner Gebiete bemerkbar. Städtische Wärmeinseln sind für eine Steigerung des Hitzestresses am Arbeitsplatz verantwortlich, woraus eine Verringerung der Produktivität der Mitarbeiter*innen resultiert (Nugent, 2022; Parsons, 2002; Zander et al., 2015). Prognosen für das Jahr 2080 deuten darauf hin, dass die Arbeitsproduktivität in heißen Regionen wie Asien und der Karibik um elf bis 27 Prozent zurückgehen könnte (Kjellstrom et al., 2009). Weltweit wird während der heißen Monate ein Verlust bis zu 20 Prozent für das Jahr 2050 prognostiziert (Zander et al., 2015). Darüber hinaus ist Hitzestress am Arbeitsplatz ein häufiger Grund für Produktionsverluste in Firmen und Betrieben und ein negativer Einflussfaktor auf Fehlzeiten von Mitarbeiter*innen (Herbel et al., 2018; International Labour Organization, 2019). Zander et al. widmeten sich im Jahr 2015 den wirtschaftlichen Auswirkungen von klimatologischen Extremevents wie Hitzewellen in Australien und schätzen die entstandenen Gesamtkosten durch Produktivitätsverluste und Fehlzeiten auf mindestens 6,2 Mrd. USD pro Jahr (Zander et al., 2015). Die durch Hitzestress verlorenen Arbeitsstunden und Produktivitätsverluste könnten in Summe zu einem Rückgang der globalen Gesamtproduktion führen (International Labour Organization, 2019). In Zahlen würde dies eine negativ prognostizierte Entwicklung des globalen Bruttoinlandprodukts (BIP) um -5,6 Prozent bis zum Jahr 2100 bedeuten (Ladd, 2017).

2.2 Städtische Hitzeanfälligkeit

2.2.1 Allgemeine Begriffserklärung und Definition von Vulnerabilität

Der Begriff Vulnerabilität leitet sich von dem lateinischen Substantiv *vulnus* ab (Encyclopedia, 2018) und bedeutet übersetzt Wunde. Das lateinische Verb *vulnerare* wurde Anfang des 16. Jahrhunderts als *vulnerable* in die englische Sprache übernommen und hatte ursprünglich die Bedeutung "in der Lage sein, physisch verwundet zu werden" (Merriam-Webster, 2022). Seit dem späten 16. Jahrhundert kommt dem Wort auch eine Verwendung im übertragenen Sinne zu, um eine Schutzlosigkeit gegenüber nicht-physischen Angriffen anzudeuten (Merriam-Webster, 2022). Im deutschen Sprachgebrauch werden die Wörter Vulnerabilität, Verwundbarkeit, Verletzbarkeit und Anfälligkeit (Duden, 2022) häufig als Synonym verwendet.

Der Begriff der Vulnerabilität wurde im Laufe der letzten Jahrzehnte auf zahlreiche Arten definiert, konzeptualisiert und theoretisiert (Cutter, 1996; S. Wolf et al., 2013; T. Wolf & McGregor, 2013). Das Konzept der Vulnerabilität ist traditionell eher im Bereich der Naturwissenschaften verankert (Albrecht et al., 2012) und hat seine Anfänge in der Erforschung von Naturgefahren und Armut (Janssen & Ostrom, 2006). Heute wird Vulnerabilität als Schlüsselbegriff der inter- und transdisziplinären Forschung verwendet (Hornberg & Maschke, 2017) und hat Einzug in eine Vielzahl von Forschungskontexten (Krellenberg et al., 2017), wie beispielsweise der Katastrophenrisiko- und Gefahrenforschung (Cutter, 1996), der öffentlichen Gesundheit (Luna, 2014) oder der Soziologie (Bergstrand et al., 2015) gefunden. Bei der Vulnerabilität handelt es sich keineswegs um ein statisches Konzept, sondern um ein dynamisches, mehrdimensionales Konzept, welches zeitlichen und räumlichen Veränderungen unterliegt und auf Systeme, Bevölkerungsgruppen oder andere Analyseeinheiten anwendbar ist (Bhanjee, 2019; Lee, 2014), um den Umgang mit verschiedensten Phänomenen in Zusammenhang mit Gefahren, Risiken und Schädigungen zu erleichtern (Albrecht et al., 2012). Die Unterschiede in der Verwendung von methodischen Praktiken und Herangehensweisen, der Konzeptualisierung von Vulnerabilität zwischen unterschiedlichen Disziplinen und erkenntnistheoretischen Richtungen (Krellenberg et al., 2017), sowie die teils unklare Verbindung zur Widerstandsfähigkeit sorgen oftmals für Verwirrung in der Terminologie (Janssen & Ostrom, 2006; S. Wolf et al., 2013). Diese, auch "babylonische Verwirrung" genannt (Janssen & Ostrom, 2006), erschwert einerseits eine

gezielte Navigation durch die Vulnerabilitätsliteratur und andererseits die konkrete Anwendung auf reale Kontexte (Xiu et al., 2011).

Trotz der teils großen Unterschiede im Umgang mit Vulnerabilität im inter- und transdisziplinären Kontext versuchte Wolf et al. im Jahr 2013 grundlegende Elemente zur Schaffung einer universellen Grundlage des Begriffes zu definieren (S. Wolf et al., 2013). Diese universelle Grundlage umfasst folgende Bestandteile: (1) eine Entität (d. h. eine Person, eine Gruppe oder ein System), (2) einen Stimulus (d. h. eine Gefahr, ein Ereignis, ein Stressor), (3) eine ungewisse zukünftige Entwicklung (d. h. die Fähigkeit oder Schwierigkeit, damit umzugehen) und (4) den Begriff des Schadens (d. h. Stress, Verlust, negative Auswirkungen) (Bhanjee, 2019; S. Wolf et al., 2013). Darüber hinaus wurden weitere Definitionen für das Konzept der Vulnerabilität entwickelt, die internationale sowie inter- und transdisziplinäre Anerkennung finden. Turner et al. definierten den Begriff Vulnerabilität im Jahr 2003 wie folgt: „Anfälligkeit ist das Ausmaß, in dem ein System, ein Teilsystem oder eine Systemkomponente aufgrund der Exposition gegenüber einer Gefahr wahrscheinlich Schaden erleidet, und zwar entweder in Form einer Störung oder durch einen Stressfaktor“ (Turner et al., 2003). Eine der bekanntesten und gebräuchlichsten Definitionen für Vulnerabilität wurde bereits im Folgejahr vom Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen aufgestellt. „Vulnerabilität ist ein menschlicher Zustand oder Prozess, der sich aus physischen, sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Faktoren ergibt, die die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß von Schäden durch die Auswirkungen einer bestimmten Gefahr bestimmen“ (UNDP, 2004). Wie sich aus den unterschiedlichen Definitionen von Anfälligkeit ableiten lässt, ist die Vulnerabilität entscheidend vom Kontext und den Faktoren, die ein System für eine Gefahr anfällig machen, abhängig, sowie von der Art des Systems und der Art der betreffenden Gefahr (Brooks et al., 2005). Eine einheitliche Konzeptualisierung der Verwundbarkeit konnte daher bislang trotz intensiven Bestrebungen zwischen unterschiedlichen Disziplinen nicht umgesetzt werden, was dem Begriff der Vulnerabilität weiterhin eine gewisse Unschärfe verleiht (Krellenberg et al., 2017).

2.2.2 Soziale Vulnerabilität im Kontext zur städtischen Hitzeanfälligkeit

Ähnlich dem Überbegriff der Vulnerabilität unterliegt auch der Terminus der sozialen Vulnerabilität (SV) einer gewissen Unschärfe, die aus einer Vielzahl an Definitionen und Indikatoren sowie unterschiedlichen disziplinären Zugängen resultiert. Grundlegend für die

Entwicklung des Begriffes „soziale Vulnerabilität“ ist jedoch die Tatsache, dass soziale Systeme eine tragende Rolle für die Anfälligkeit des Menschen für Gefahren spielen (Bergstrand et al., 2015). Cutter beschrieb die soziale Verwundbarkeit im Jahr 1993 als „die Anfälligkeit sozialer Gruppen oder der Gesellschaft insgesamt für potenzielle (strukturelle und nicht-strukturelle) Verluste durch Gefahrenereignisse und Katastrophen“ (Cutter, 1996). Gegenwärtig ist der Begriff breiter gefasst und kann sich disziplinabhängig auf Einzelpersonen, Personengruppen bis hin zu einer Gemeinschaft beziehen (Lee, 2014; Otto et al., 2017; S. R. Singh et al., 2014). Obgleich der Terminus der sozialen Vulnerabilität keiner einheitlichen Definition zugrunde liegt, hat sich dieser aufgrund seiner vermittelnden Funktion zu einem konzeptionellen Nexus entwickelt, der die Beziehung zwischen Menschen und ihrer Umwelt mit sozialen Kräften, Institutionen und kulturellen Werten verbindet (Lee, 2014; S. R. Singh et al., 2014), und der die Auswirkungen von extremen Klimaereignissen, Katastrophen und Umweltveränderungen ortsspezifisch beeinflusst (Cutter, 1996; S. Khan, 2012). Üblicherweise werden bei der Messung der sozialen Vulnerabilität wirtschaftliche, demografische und infrastrukturelle Merkmale einer Gemeinschaft verwendet (Cutter et al., 2003).

Die Einteilung in wirtschaftliche, demografische und infrastrukturelle Merkmale zur Bestimmung von sozialer Vulnerabilität ist unter anderem auf die Arbeiten von Adger, Cutter und Cutter et al. zurückzuführen. Soziale Anfälligkeit kann laut Adger in zwei unterschiedliche Kategorien unterteilt werden: (1) soziale Vulnerabilität auf individueller oder Haushaltsebene und (2) kollektive soziale Vulnerabilität auf gemeinschaftlicher, regionaler oder nationaler Ebene (Adger, 2006; Neil Adger, 1999). Um die soziale Vulnerabilität einer Gemeinschaft beispielsweise gegenüber Hitze verstehen zu können, müssen daher individuelle oder Haushaltsmerkmale sowie Merkmale der Gesellschaft und Infrastruktur in die Betrachtung miteinbezogen werden (Bergstrand et al., 2015). Auf der Individual – und Haushaltsebene wird die soziale Anfälligkeit in der Regel durch eine Kombination der Faktoren sozioökonomischer Status, Geschlecht, Rasse, ethnische Zugehörigkeit und Alter bestimmt (Cutter, 1996; Cutter et al., 2003; Otto et al., 2017). Auf der Makroebene spielen insbesondere (infra-)strukturelle Merkmale eine entscheidende Rolle, wie beispielsweise die Bauqualität der Infrastruktur, die Arbeitslosenquote oder der Zugang zu Dienstleistungen und medizinischer Versorgung (Bergstrand et al., 2015; Cutter, 1996; Cutter et al., 2003). Cutter et al. entwickelten im Jahr 2003 neun zusammengesetzte Faktoren, auf Basis derer sich die soziale Anfälligkeit bestimmen lässt: (1) persönliches Vermögen, (2) Alter, (3) Dichte der

bebauten Umwelt, (4) wirtschaftliche Abhängigkeit von einem einzigen Sektor, (5) Wohnungsbestand und Mietverhältnisse, (6) Rasse, (7) ethnische Zugehörigkeit, (8) Beruf und (9) Abhängigkeit von der Infrastruktur (Cutter et al., 2003).

Der Begriff der sozialen Vulnerabilität hat im Zuge der letzten Jahrzehnte auch Einzug in die Disziplin der Naturwissenschaften gefunden. Insbesondere im Bereich der Risiko- und Gefahrenforschung rückt die Beziehung zwischen Katastrophen und der sozialen Anfälligkeit vermehrt in den Fokus. Ein entscheidender Zusammenhang zwischen Gefahren und sozialer Anfälligkeit wurde bereits im 17. Jahrhundert von Jean-Jacques Rousseau erkannt und als Ausdruck ungleicher politisch-ökonomischer Beziehungen interpretiert (Grove, 2013). Obgleich der Forschungsschwerpunkt im Bereich der Gefahren- und Katastrophenforschung in der Vergangenheit auf dem Risiko der Katastrophenexposition sowie der Bewertung der physikalischen Vulnerabilität lag (Turner et al., 2003), beschäftigten sich Wissenschaftler*innen in den letzten Jahrzehnten vermehrt mit der Perspektive einer Katastrophe als soziales Konstrukt (Cutter, 1996; Cutter et al., 2008). Soziale Verwundbarkeit lässt sich dementsprechend auch als spezifische soziale Ungleichheit im Kontext einer Katastrophe definieren (O’Keefe et al., 1976). Es geht somit nicht nur ausschließlich um das Verständnis vergangener und gegenwärtiger Beziehungen und Dynamiken einer Gesellschaft, sondern darüber hinaus um die Menschen, ihre Wahrnehmungen, Praktiken und ihr Wissen in Bezug auf Klimaereignisse, Katastrophen und Umweltveränderungen (S. R. Singh et al., 2014). Auf diese Weise erfährt die Gefahren- und Katastrophenforschung eine Entwicklung hin zu einem umfassenderen und humanistischeren Rahmen, der neben der Abbildung eines Verlustrisikos auch sozio-demografische Faktoren berücksichtigt (Babcicky & Seebauer, 2021; Turner et al., 2003).

Dieser umfassendere und humanistischere Rahmen im Bereich der Gefahren- und Katastrophenforschung macht sich auch in der Erforschung der städtischen Hitzeanfälligkeit bemerkbar. Es werden zunehmend multidisziplinäre Ansätze entwickelt, die zu einer Vereinigung von Sozial- und Naturwissenschaften führen, über rein biophysikalische Auswirkungen hinausgehen und soziale und strukturelle Faktoren integrieren (Nemec et al., 2013; Otto et al., 2017). Insbesondere durch die verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in die Erforschung der städtischen Hitzeanfälligkeit der Bevölkerung rücken soziale Aspekte vermehrt in den Fokus (Giovane di Girasole & Cannatella, 2017). Dieser Schritt

soll dazu beitragen, die Auswirkungen von urbaner Hitze auf die Bewohner*innen besser zu verstehen und potentiell gefährdete Bevölkerungsgruppen leichter zu identifizieren, und im Zuge von Klimaanpassungsmaßnahmen darauf reagieren zu können (W. Cheng et al., 2021; Giovane di Girasole & Cannatella, 2017). Bis dato ist die Erforschung der sozialen Vulnerabilität im Kontext zur städtischen Hitzeanfälligkeit kein einfaches Unterfangen, da es große Unterschiede innerhalb der Bevölkerung gibt, die sich anhand der unterschiedlichen Verteilung von sozial vulnerablen Bevölkerungsgruppen innerhalb städtischer Gebiete widerspiegeln (O'Brien, 2017). Diese Unterschiede in der sozialen Vulnerabilität innerhalb der Bevölkerung, die sich aus dem Zusammenspiel von sozioökonomischen, demografischen, baulichen, institutionellen, politischen und kulturellen Aspekten ergeben, üben ihrerseits einen Einfluss auf die Fähigkeit von Menschen aus, auf Katastrophenereignisse reagieren, sie zu bewältigen, sich von ihnen zu erholen und sich anpassen zu können (Giovane di Girasole & Cannatella, 2017; Sandholz et al., 2021; Turner et al., 2003).

2.3 Gängige Konzeptualisierungen in der (Hitze-)Vulnerabilitätsforschung

Wie bereits in *Kapitel 2.2* erläutert wurde, unterliegt der Begriff der Hitzeanfälligkeit einer Vielzahl an Definitionen, theoretischen Grundlagen und Konzeptionalisierungen (Cutter, 1996; S. Wolf et al., 2013; T. Wolf & McGregor, 2013) und kann thematisch sowohl dem Forschungsfeld des Katastrophenrisikomanagements (DRM) als auch dem Forschungsfeld zur Anpassung an den Klimawandel (CCA) zugeordnet werden (Birkmann et al., 2013; Welle et al., 2014). Die Forschungsrichtungen DRM und CCA haben gemeinsame Wurzeln in der Sozial- und Politikwissenschaft, es lassen sich jedoch vier unterschiedliche Ansätze erkennen, die sich in ihrem Verständnis von Vulnerabilität und Risiko unterscheiden (Birkmann et al., 2013). In den folgenden Abschnitten (2.3.1 bis 2.3.7) werden gängige Konzepte vorgestellt, die die (Hitze-) Anfälligkeit aus dem Blickwinkel (1) der politischen Ökonomie, (2) der Sozialökologie, (3) der Bewertung von Anfälligkeit und Katastrophenrisiken aus ganzheitlicher Sicht und (4) der Systemwissenschaft des Klimawandels behandeln (Alexander et al., 2014).

2.3.1 The double structure of vulnerability

Der konzeptionelle Rahmen der Doppelstruktur der Verwundbarkeit (= double structure of vulnerability) erklärt die Vulnerabilität mithilfe einer externen und einer internen Seite (Rana & Routray, 2018; Westen, 2011), siehe *Abbildung 2.* . Die externe Seite symbolisiert die

Gefährdung (= exposure) durch Risiken und Schocks und wird durch politisch – ökonomische Ansätze, der humanökologischen Perspektive sowie der Anspruchsberechtigungstheorie beeinflusst (L. et al., 2013). Die interne Seite symbolisiert hingegen die Bewältigung (= coping) und basiert auf der Krisen- und Konflikttheorie, handlungstheoretischen Ansätzen und dem Modell des Zugangs zu Vermögenswerten (Bohle, 2001).

Bohle's Conceptual Framework for Vulnerability Analysis

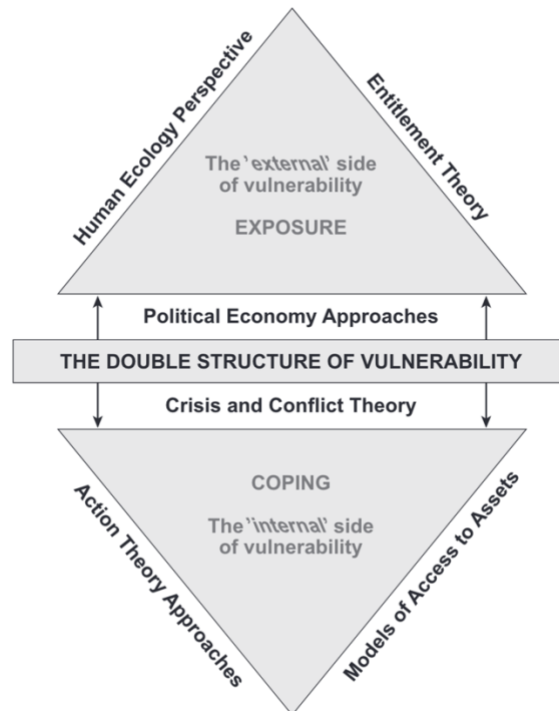


Abbildung 2. Konzeptionalisierung der Doppelstruktur der Verwundbarkeit nach Bohle, gegliedert in eine externe Seite und eine interne Seite (Bohle, 2001).

Das Modell der Doppelstruktur der Verwundbarkeit geht von dem Standpunkt aus, dass die Vulnerabilität nur angemessen berücksichtigt werden kann, wenn sowohl die Bewältigungs- als auch die Reaktionsfähigkeit miteinbezogen werden (L. et al., 2013).

2.3.2 Risk-Hazard (RH) Modell

Die Arbeiten von White im Jahr 1942 und von Burton et al. im Jahr 1978 führten zur Entwicklung des Risiko-Gefährdungs-Ansatzes (siehe *Abbildung 3.*), auch Risk-Hazard (RH) Modell genannt (Beckinsale, 1979; Burton et al., 1978; White, 1945). Das RH-Modell liegt dem Verständnis der Auswirkungen von Naturgefahren auf ein exponiertes System zugrunde (L. et al., 2013).

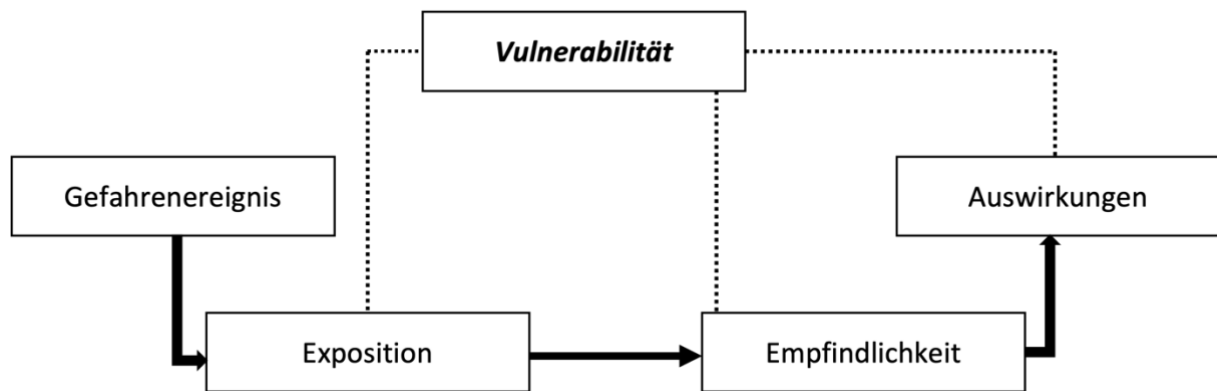


Abbildung 3. Darstellung des RH Modells, durch eine Kettenabfolge, beginnend mit einem Gefahrenereignis (eigene Darstellung nach Turner et al. (2003)).

Die Auswirkung einer Gefahr wird in diesem Kontext als Funktion der Exposition gegenüber dem Gefahrenereignis selbst und der Empfindlichkeit einer exponierten Einheit beschrieben (Turner et al., 2003). Die Vulnerabilität ist implizit in das HR-Modell integriert (Westen, 2011).

2.3.3 Pressure and Release (PAR) Modell

Das Pressure and Release (PAR) Modell wurde Mitte der 90er Jahre als Reaktion auf die Kritik am Risk-Hazard Modell entwickelt, um die komplexen Zusammenhänge zwischen der Entwicklung und der Entstehung von Vulnerabilität besser zu verstehen (L. et al., 2013; Reyes et al., 2023; Wisner et al., 1994). Während das RH-Modell Vulnerabilität als ein Ergebnis darstellt, definiert das PAR-Modell Anfälligkeit als einen dynamischen Prozess, welcher der Steuerung durch sozioökonomische Kräfte unterliegt (Reyes et al., 2023). Der Schwerpunkt dieses konzeptionellen Rahmens liegt somit auf den sozialen Bedingungen eines Systems (Wisner, 2004).

Das PAR-Konzept resultiert aus der Vorstellung einer Katastrophe als Zusammenspiel zweier gegensätzlicher Kräfte, welche Druck (= „pressure“) ausüben: auf der einen Seite stehen die Prozesse, durch die Vulnerabilität verursacht wird, die andere Seite wird durch ein Naturereignis gebildet (Aziz, 2018; Wisner et al., 1994). Der Gedanke der „Freisetzung“ (= „release“) hingegen wird in das Konzept miteinbezogen, um die Verringerung einer Katastrophe durch Minimierung der Vulnerabilität zu erklären (Wisner et al., 1994). Dementsprechend lässt sich das PAR-Modell, wie in *Abbildung 4*. veranschaulicht, in die drei Abschnitte (1) Entwicklung der Verwundbarkeit, (2) Katastrophe und (3) Naturgefahr unterteilen (L. et al., 2013; Reyes et al., 2023; Wisner, 2004; Wisner et al., 1994).

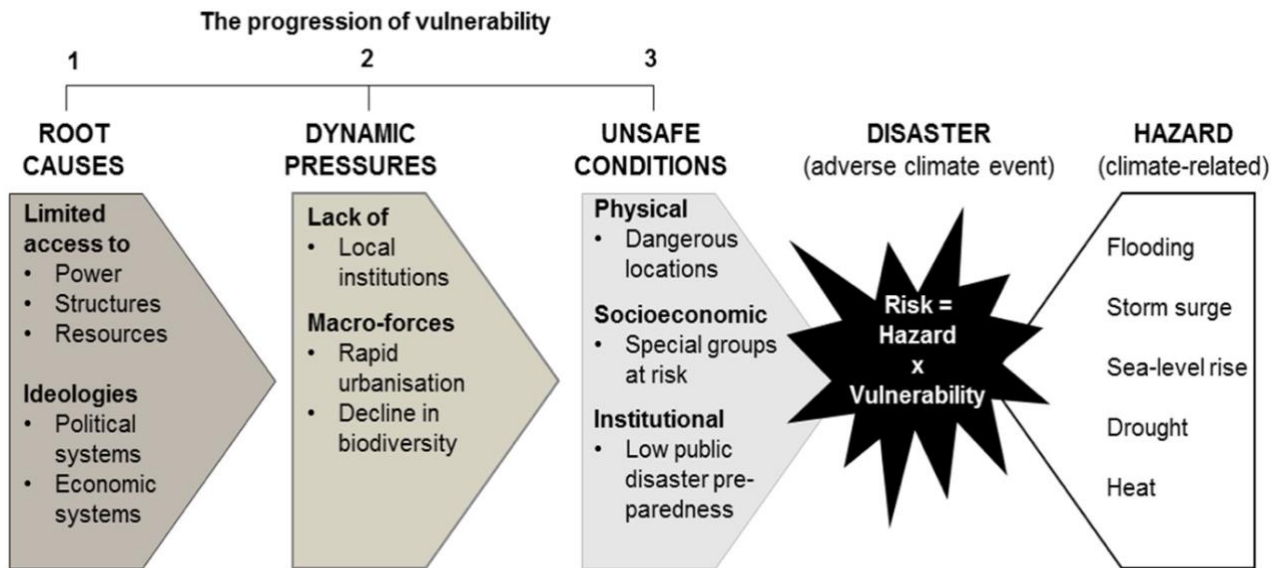


Abbildung 4. Darstellung des PAR-Modells basierend auf der Vorstellung des Katastrophenrisikos als Funktion einer Naturgefahr und der Verwundbarkeit. Die Verwundbarkeit wird als Entwicklungsprozess dargestellt, der auf grundlegende Ursachen, dynamischen Druck und unsichere Zustände zurückzuführen ist (Aziz, 2018; L. et al., 2013; Reyes et al., 2023; Wisner et al., 1994).

Entwicklung der Verwundbarkeit

Die Verwundbarkeit wird im PAR-Modell als ein Entwicklungsprozess dargestellt, der durch das Zusammenspiel von grundlegenden Ursachen, dynamischen Druck und einem unsicheren Zustand entsteht (Aziz, 2018; Reyes et al., 2023; Wisner, 2004; Wisner et al., 1994). Zu den grundlegenden Ursachen, die Vulnerabilität verursachen zählen wirtschaftliche, politische und demografische Prozesse, die sich auf die Zuweisung und Verteilung von unterschiedlichen Ressourcen zwischen verschiedenen gefährdeten Gruppen auswirken (Aziz, 2018). Sie stehen in einem engen Zusammenhang mit politischen Ideologien und wirtschaftlichen Systemen (L. et al., 2013) und spiegeln die Verteilung und Ausübung von Macht wider (Wisner et al., 1994). Der dynamische Druck entsteht durch politische und wirtschaftliche Prozesse beispielsweise auf lokaler Ebene (Aziz, 2018). Er wandelt die grundlegenden Ursachen zur Entstehung von Verwundbarkeit in unsichere Zustände um (Wisner et al., 1994). Unsichere Zustände resultieren aus der physischen und institutionellen Umgebung (beispielsweise geringe Katastrophenvorsorge), sowie dem sozio-ökonomischen und sozio-demografischen Kontext (L. et al., 2013). Sie sind ein Ausdruck für die zeitliche und räumliche Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber einer Naturgefahr (Wisner et al., 1994).

Katastrophe

Das PAR-Modell beruht auf der allgemein angewandten Gleichung des Risikos als eine Funktion der Gefahr und der Vulnerabilität (L. et al., 2013). Basierend auf dieser Gleichung (siehe *Gleichung 1.*) wird das Katastrophenrisiko durch die zusammengesetzte Funktion einer Naturgefahr und der Anzahl der Menschen, die durch Unterschiede in ihrer Anfälligkeit gegenüber dieser spezifischen Gefahr charakterisiert ist, bestimmt (Wisner, 2004; Wisner et al., 1994).

$$R = H \times V$$

Gleichung 1. Darstellung des Katastrophenrisikos (R) als Funktion der Naturgefahr (H) und der Vulnerabilität (V) (L. et al., 2013; Reyes et al., 2023; Wisner et al., 1994).

Naturgefahr

Die Naturgefahr steht im PAR-Konzept in Zusammenhang mit dem Klima und kann sich beispielsweise in Form von Hitze oder Überflutung äußern (Wisner, 2004).

2.3.4 Hazard-of-place Modell

Das Modell der Gefährdung von Orten, auch Hazard-of-place Modell genannt, geht unter anderem auf Burton (1971) und seinen Versuch zurück, die Gefährlichkeit von Orten durch eine Beschreibung der regionalen Ökologie und der Risiken von Naturgefahren auszudrücken (Rashed, 2003). Cutter stellte dieses Konzept 1996 im Rahmen der Risiko- und Gefahrenforschung vor (Cutter, 1996). Entsprechend ihrer Ansicht wird die Anfälligkeit eines Ortes durch eine Kombination aus biophysikalischen Anfälligkeitsfaktoren (z.B. Gefährdung aufgrund der geographischen Lage) und sozialen Anfälligkeitsfaktoren (z.B. demografischen Merkmalen) bestimmt (Shitangsu, 2013) siehe *Abbildung 5*. In diesem konzeptionellen Rahmen wird das Risiko als „die Wahrscheinlichkeit eines Gefahrenereignisses“ definiert und die Abschwächung als „Zusammenfassung aller Aktivitäten oder Maßnahmen zur Verringerung des Risikos beziehungsweise der damit einhergehenden Auswirkungen“ (Shitangsu, 2013). Durch die Interaktion zwischen dem Risiko und der Abschwächung wird anfängliches Gefahrenpotenzial erzeugt (Rashed, 2003). Das Gefahrenpotential wird einerseits durch den geographischen Kontext eines städtischen Ortes (z.B. Standort und Lage) und andererseits durch das soziale Gefüge des städtischen Ortes (d. h. sozioökonomische und demografische Faktoren, Risikowahrnehmung usw.) bestimmt (Cutter et al., 2003; Rashed,

2003; Shitangsu, 2013). Die Anfälligkeit eines Ortes ist daher das Ergebnis aus gegenseitiger Wechselwirkung und Überschneidung zwischen der biophysikalischen und der sozialen Vulnerabilität (Rashed, 2003).

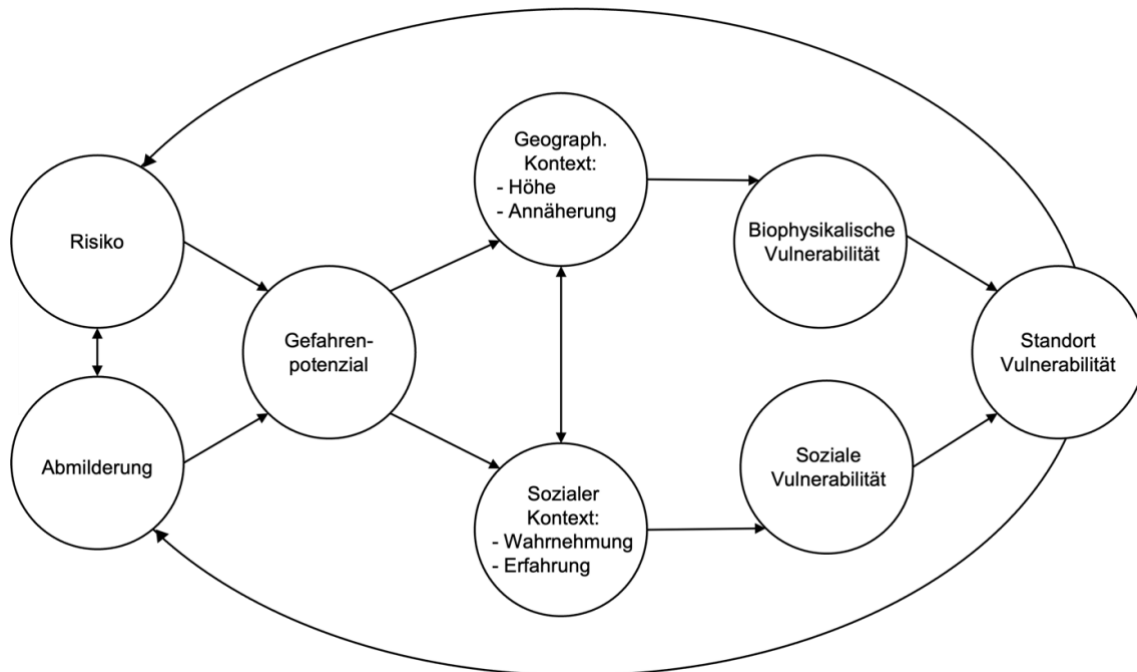


Abbildung 5. Darstellung des Hazards-of-Place-Modells der Anfälligkeit. Die Gefährdung von Orten wird durch die biophysikalische und die soziale Vulnerabilität beeinflusst und wirkt ihrerseits auf das Risiko und die Abschwächung (eigene Darstellung nach Cutter et al. (2003)).

Im konzeptionellen Rahmen des Hazard-of-place Modells liegt der ausdrückliche Fokus auf einem Ort, es wird sowohl der Gesamtzustand dargestellt als auch die einzelnen Aspekte, die Einfluss auf die Vulnerabilität eines bestimmten geographischen Gebiets ausüben (Kumpulainen, 2006). Überdies beinhaltet die Anfälligkeit eines Ortes eine Rückkopplungsschleife zu den ursprünglichen Risiko- und Abschwächungsfaktoren und ermöglicht durch gezielte Maßnahmen und Handlungen eine Verbesserung oder Verringerung sowohl des Risikos als auch der Abschwächung (Rashed, 2003).

2.3.5 Das MOVE-Modell

Das MOVE-Modell wurde im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Forschungsprojektes MOVE (= „Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe“ (Birkmann et al., 2013)) unter Beteiligung von Forscher*innen aus Europa und Lateinamerika entwickelt (Alexander et al., 2014; Birkmann et al., 2013; Welle et al., 2014). Dieses Konzept versteht Verwundbarkeit als einen dynamischen Prozess, der neben den

verschiedenen thematischen Dimensionen der Verletzlichkeit auch unterschiedliche Rückkopplungsschleifen miteinbezieht (Birkmann & UNU-EHS Expert Working Group on Measuring Vulnerability, 2013). Eines der Hauptziele bei der Entwicklung des MOVE-Modells galt der Verbesserung der Konzeptionalisierung von Vulnerabilität, die sowohl die grundlegenden Faktoren von Vulnerabilität (Exposition, Fragilität und Anfälligkeit, mangelnde Widerstandsfähigkeit) als auch die sechs thematischen Dimensionen (physische, soziale, ökologische, wirtschaftliche, kulturelle und institutionelle) berücksichtigt (Alexander et al., 2014; Birkmann et al., 2013), siehe Abbildung 6.

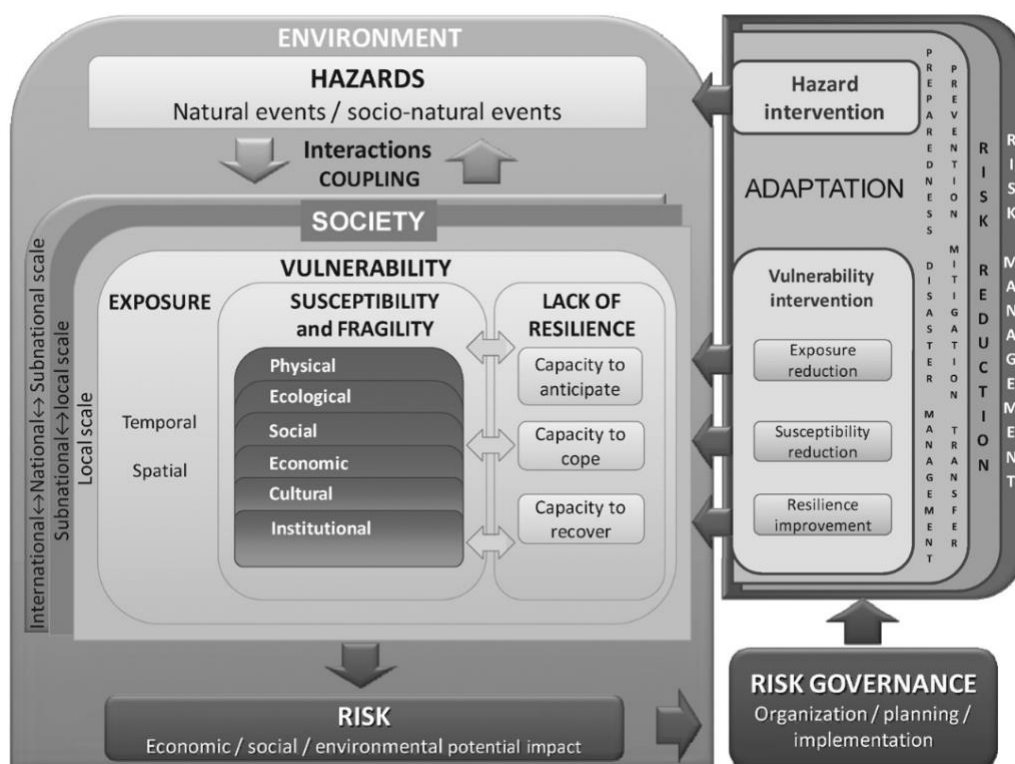


Abbildung 6. Darstellung des MOVE-Modells, gegliedert in die großen Unterkategorien (1) Katastrophe, (2) Gesellschaft, (3) Risiko, (4) Anpassung und (5) Risikosteuerung (Birkmann et al., 2013).

Schlüsselfaktoren der Anfälligkeit im Rahmen von MOVE

Die Exposition wird durch eine zeitliche und räumliche Dimension gebildet und erstreckt sich sowohl auf physische Attribute sozialer Systeme als auch auf menschliche Systeme und ist überdies verbunden mit Ressourcen und Praktiken mit räumlichem Bezug (Birkmann et al., 2013). Die Anfälligkeit und Fragilität dienen zur Beschreibung der Veranlagung von (sozialen und ökologischen) Risikoelementen, im Zuge einer Katastrophe Schaden zu nehmen (Birkmann et al., 2014). Der Mangel an Widerstandsfähigkeit wird durch Fähigkeit zur

Teilnahme, zur Bewältigung und zur Erholung bestimmt (Alexander et al., 2014). Die Gefahr beschreibt ein potenzielles Auftreten von natürlichen, sozio-natürlichen oder anthropogenen Ereignissen, die über einen bestimmten Zeitraum hinweg physische, soziale, wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen innerhalb eines Gebietes verursachen können (Birkmann et al., 2013). Das Risiko gibt die Wahrscheinlichkeit von schädlichen Folgen oder Verlusten an, welche aus der Wechselwirkung zwischen der Gefahr und der Anfälligkeit resultieren (Birkmann & UNU-EHS Expert Working Group on Measuring Vulnerability, 2013).

Der konzeptionelle Rahmen MOVE stellt die Risikobeherrschung als übergeordnetes Element in den Fokus, der insbesondere bei der Festlegung von Anpassungsstrategien und -Maßnahmen berücksichtigt werden soll (Birkmann & UNU-EHS Expert Working Group on Measuring Vulnerability, 2013). Darüber hinaus legt das MOVE-Modell nahe, dass sich Gefahr auf einen natürlichen oder sozio-natürlichen Ursprung zurückführen lässt, während der Facettenreichtum der Anfälligkeit hauptsächlich mit gesellschaftlichen Bedingungen und Prozessen in Zusammenhang steht (Alexander et al., 2014; Birkmann et al., 2013).

2.3.6 Gleichung der Verwundbarkeit der Bevölkerung

Ein weiterer gängiger Ansatz in der Vulnerabilitätsforschung ist die Gleichung der Verwundbarkeit der Bevölkerung, dargestellt in *Gleichung 2*. Die Anfälligkeit wird als eine Funktion der Empfindlichkeit, der Exposition sowie der Anpassungsfähigkeit formuliert (W. Cheng et al., 2021).

$$\text{Vulnerabilität} = \text{Empfindlichkeit} + \text{Exposition} + \text{Anpassungsfähigkeit}$$

Gleichung 2. Darstellung der Anfälligkeit als eine Funktion der Empfindlichkeit, Exposition und Anpassungsfähigkeit (W. Cheng et al., 2021)

Die Empfindlichkeit bezieht sich in diesem Konzept auf die Merkmale von Personen, die sie sensativer gegenüber externen Ereignissen wie beispielsweise urbaner Hitze machen (Inostroza et al., 2016). Unter der Exposition werden physische und soziale Attribute eines Systems oder eines menschlichen Systems verstanden, die in Verbindung zu Ressourcen und Praktiken mit räumlichem Bezug stehen (Birkmann et al., 2013). Die Anpassungsfähigkeit ist ein Maß für die Fähigkeit, sich aktiv an ändernde Bedingungen anzupassen (Birkmann et al., 2022; W. Cheng et al., 2021; ECOTEN Urban Comfort, 2022).

2.3.7 Das Gefahrendreieck

Das Gefahrendreieck, auch Risikodreieck genannt (siehe *Abbildung 7.*), stellt eine zentrale Konzeptionalisierung innerhalb der Vulnerabilitätsforschung dar und geht auf die Arbeit von Crichton sowie den Fünften Sachstandsbericht des IPCC zurück (Crichton, 1999; IPCC, 2014). Dieser Ansatz fand seinen Ursprung in der Versicherungsbranche (Crichton, 1999), wurde später jedoch weiterentwickelt, um die räumliche Verteilung von Risiken in vielen Bereichen des Katastrophenmanagements zu bewerten (Pluchino et al., 2020). Ein Beispiel dafür ist die Bewertung der Auswirkungen des städtischen Wärmeinseleffekts, verstärkt durch den Klimawandel, auf die Gesundheit der Bevölkerung (IPCC, 2014).

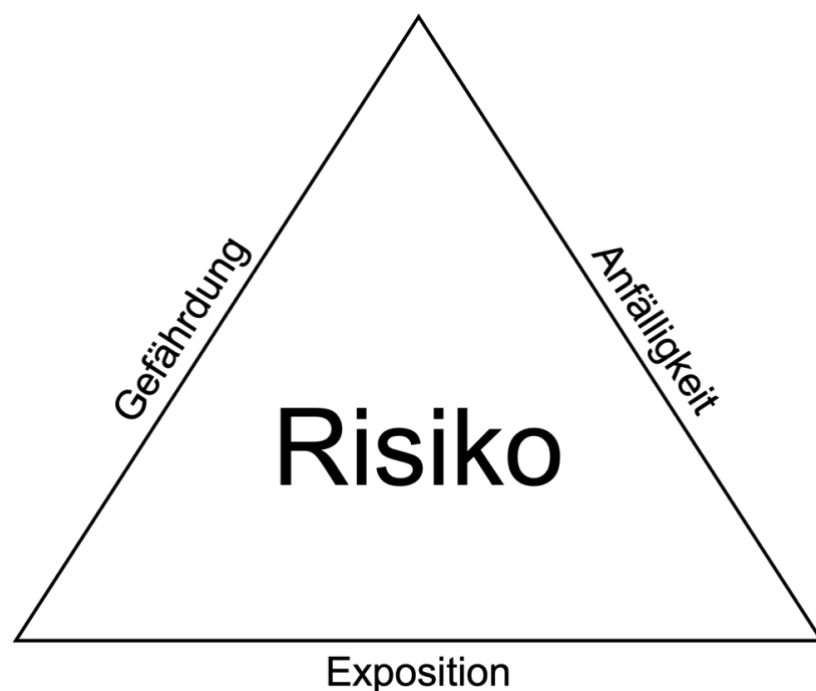


Abbildung 7. Darstellung des Risikodreiecks, gebildet durch die Exposition, die Anfälligkeit und die Gefährdung (eigene Darstellung nach Crichton (1999)).

In diesem Konzept liegt der Fokus nicht auf der Vulnerabilität per se, sondern auf der Bewertung des Risikos. Das Risiko (dargestellt in Gleichung 3.) wird als eine Funktion der Gefährdung, der Exposition und der Anfälligkeit beschrieben (Crichton, 1999; IPCC, 2014; Tomlinson et al., 2011). Essentiell für die Konzeptionalisierung des Risikos nach dem Gefahrendreieck ist die räumliche Nähe, d.h. Gefährdung, Exposition und Anfälligkeit müssen räumlich zusammenfallen um Risiko zu verursachen (Tomlinson et al., 2011).

$$\text{Risiko} = \text{Gefährdung} + \text{Exposition} + \text{Anfälligkeit}$$

Gleichung 3. Risikodreieck nach Crichton (1999) & IPCC (2014)

Die Gefährdung spiegelt in diesem Konzept die potenzielle Gefahr eines Ereignisses sowie seine Fähigkeit, einen Schaden zu verursachen, wider (Pluchino et al., 2020). Die Exposition ist ein Maß für die Vermögenswerte, die dem potenziellen Schaden ausgesetzt sind (z.B. Bauwerke, Personen, Infrastruktur) (Crichton, 1999). Die Anfälligkeit beschreibt das Risiko geschädigt zu werden, wenn man bestimmten Ereignissen ausgesetzt ist (Pluchino et al., 2020).

2.4 Sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen im Kontext zur städtischen Hitzeanfälligkeit

Mit dem Fortschreiten des Klimawandels wird erwartet, dass urbane Gebiete in Zukunft stärker von Perioden mit extrem heißem Wetter sowie Hitzeextremereignissen betroffen sein werden (Voelkel et al., 2018; T. Wolf & McGregor, 2013). Insbesondere sozial vulnerable Gruppen innerhalb einer Bevölkerung reagieren empfindlicher auf Klimaveränderungen und sind aufgrund ihrer geringeren Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit in Bezug auf extreme Hitze sensibler gegenüber den steigenden urbanen Temperaturen (Otto et al., 2017; Renteria et al., 2022). Sozial gefährdete Gruppen lassen sich basierend auf Unterschieden in den sozialen, wirtschaftlichen, politischen und infrastrukturellen Merkmalen, welche ihre Fähigkeit beschränken, sich auf die Auswirkungen der steigenden urbanen Temperaturen vorzubereiten, sie zu bewältigen und sich davon zu erholen, im Gegensatz zur restlichen Bevölkerung identifizieren (Cutter et al., 2003; Cutter & Finch, 2008; U.S. Environmental Protection Agency, 2021). Insbesondere Menschen mit geringerem Bildungsniveau und geringerem Einkommen, Menschen, denen es an sozialem Kapital und Netzwerken fehlt, Arbeitslose, von Armut betroffene Menschen und ältere Menschen sind anfälliger für urbane Hitze (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022).

2.4.1 Alter

Ältere Menschen werden aufgrund ihrer Mobilitätseinschränkung, die es ihnen erschwert Gefahrenzonen zu verlassen, als eine besonders hitzeempfindliche Bevölkerungsgruppe eingestuft (Malmquist et al., 2022; Nikkanen et al., 2021). Das Alter per se macht jedoch eine Person noch nicht anfälliger auf urbane Hitze, sondern die mit dem Älterwerden in Verbindungen stehenden individuellen, physiologischen und sozialen Faktoren (Filiberto et al., 2009). Der erhöhte Hitzestress älterer Menschen lässt sich durch soziale Isolation,

gesundheitliche Beeinträchtigungen, eingeschränkte Mobilität, schlechte Wohnbedingungen und mangelnden Zugang zu Gesundheitsdiensten erklären (Carter et al., 2016; Malmquist et al., 2022). Insbesondere die Kombination aus sozialer Isolation und chronischen Erkrankungen kann die soziale Vulnerabilität in Bezug auf urbane Hitze besonders stark erhöhen (Filiberto et al., 2009). Im Unterschied dazu konnte in Studien festgestellt werden, dass sich soziale Aktivität und Gesundheit positiv auf die Hitzeanfälligkeit auswirken und sich diese Personen selbst als relativ unempfindlich gegenüber erhöhten urbanen Temperaturen einstufen (Abrahamson et al., 2009; Canada, 2020).

Demgegenüber gelten auch Kinder als sozial vulnerabel in Bezug auf urbane Hitze (Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022). Der Anstieg der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur kann zu einem erhöhten Risiko für Infektionskrankheiten wie beispielsweise Durchfall, führen (Z. Xu et al., 2014).

2.4.2 Geschlecht

Obwohl das Geschlecht häufig als relevante demografische Determinante der sozialen Vulnerabilität gesehen wird, ist die Verwendung oft kompliziert und steht in direktem Zusammenhang mit der betrachteten Katastrophe (Nikkanen et al., 2021). Die Unterschiede in der Anfälligkeit zwischen Männern und Frauen lassen sich durch physiologische und biologische Ursachen oder geschlechtsspezifische Unterschiede (z.B. Einkommen und Zugang zu Netzwerken) herleiten (Navas-Martín et al., 2022). In der Hitzevulnerabilitätsforschung gibt es Anzeichen dafür, dass Frauen im Vergleich zu Männern möglicherweise eine erhöhte Anfälligkeit für extreme Hitze aufweisen (Follos et al., 2021). Die Ergebnisse einiger Studien deuten darauf hin, dass die Auswirkungen bei Frauen bis zu 20 mal höher sind als bei Männern (Yu et al., 2010) und vorrangig mit fortgeschrittenem Alter (Folkerts et al., 2022) und bei Problemen mit dem Kreislaufsystem auftreten (Díaz et al., 2018).

2.4.3 Rasse und Ethnie

Die Einteilung von Personen sowie Personengruppen nach Rasse und Ethnie ist mit vielen ethnischen und moralischen Fragen verbunden und muss differenziert betrachtet und kritisch hinterfragt werden. Während sich der Begriff „Rasse“ allgemein auf bestimmte phänotypische Merkmale wie die Hautfarbe oder Gesichtszüge (Kaufman & Cooper, 2001) bezieht, ist die Ethnizität (auch Ethnie) ein weit gesteckter Begriff, der „die gemeinsame Identität oder

Ähnlichkeit einer Gruppe von Menschen auf der Grundlage eines oder mehrerer Faktoren“ beschreibt (Feischmid, 2020; Hansen et al., 2013). Während die rassische/ethnische Zugehörigkeit insbesondere im nordamerikanischen Forschungskontext von Bedeutung ist, werden in Studien im europäischen Kontext vermehrt ausländisch stämmige Menschen oder eingewanderte Personen berücksichtigt (Nikkanen et al., 2021) und mit einer erhöhten hitzebedingten Morbidität und Mortalität in Verbindung gebracht (Gronlund, 2014). Der Zusammenhang zwischen dem rassischen/ethnischen Status und der Wahrscheinlichkeit eines schlechteren Gesundheitszustands, verglichen mit der restlichen Bevölkerung, bei urbaner Hitze ist multidimensional (Hansen et al., 2013) und lässt sich mit einer Reihe von Faktoren wie beispielsweise schlechten Wohnverhältnissen oder einem niedrigen Einkommensniveau in Verbindung bringen (Gronlund, 2014; Hansen et al., 2013; Renteria et al., 2022). Unterschiede in der Hitzetoleranz von Menschen basierend auf ihrer Rasse und Ethnizität konnten bis dato nicht schlüssig bewiesen werden (Taylor, 2006; Yardley et al., 2011).

2.4.4 Sozioökonomischer Status

Der sozioökonomische Status ist ein wichtiger Bestandteil zur Identifizierung sozialer Vulnerabilität im Kontext urbaner Hitze und wird in zusammengefasster Form in vielen Studien zur Ermittlung der Anfälligkeit für hitzebedingte Morbidität oder Mortalität verwendet (Gronlund, 2014). Soziale und wirtschaftliche Determinanten, die einen Einfluss auf das Leben von Menschen ausüben und mit dem sozioökonomischen Status des Einzelnen zusammenhängen, wie beispielsweise Familiengröße, Einkommensniveau, Bildung und Sozialkapital, tragen wesentlich zu einem gesundheitlichen Ungleichgewicht in der Bevölkerung bei (Nikkanen et al., 2021; World Health Organization, 2013). Auf der einen Seite lässt sich die hohe Anzahl an Kleinkindern oder anderen abhängigen Personen in einer Familie mit einer erhöhten sozialen Anfälligkeit in Verbindung bringen (Cutter et al., 2003). Auf der anderen Seite verfügen kleine Haushalte und Alleinlebende oft über ein geringes Maß an Ressourcen um sich effektiv vor den Folgen steigender urbaner Hitze schützen zu können (Nikkanen et al., 2021).

2.4.5 Einkommen, Bildungsniveau und Armut

Armut ist ein zentrales Merkmal für soziale Anfälligkeit und steht in einem direkten Zusammenhang mit dem Zugang zu Ressourcen, der sich auf die Anfälligkeit an sich sowie auf die Art und Weise der Bewältigung von Extremereignissen wie beispielsweise urbaner Hitze auswirkt (Neil Adger, 1999). Innerhalb einer Bevölkerung gehören von Armut betroffene Menschen zu den am stärksten von sozialer Vulnerabilität gegenüber urbaner Hitze betroffenen Bevölkerungsgruppen, da sie über die geringste Menge an Ressourcen, Wissen und Möglichkeiten sowie die geringste Anpassungsfähigkeit verfügen (National Collaborating Centre for Environmental Health, 2010; OECD, 2003). Wohlstand hingegen versetzt Einzelpersonen, Haushalte bis hin zu einer Gemeinschaft in die Lage, mit Verlusten besser umzugehen und sich wieder zu erholen (Cutter et al., 2003). Ein niedriges Einkommensniveau, ein niedriges Bildungsniveau und Arbeitslosigkeit werden häufig mit Armut in Verbindung gebracht und verstärken die Hitzevulnerabilität von Personen (Nikkanen et al., 2021). Zhang et al. konnten in ihrer Studie im Jahr 2009 beispielsweise einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Fehlen einer privaten Krankenversicherung und hitzebedingten Krankenhausaufenthalten während einer Hitzewelle feststellen (Zhang et al., 2013).

2.4.6 Sozialkapital

Das Sozialkapital ist eine wichtige aber komplexe Determinante der sozialen Anfälligkeit von Personen und Personengruppen gegenüber urbaner Hitze (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022). Vereinfacht gesprochen spiegelt es die Verbindungen zwischen Individuen, einschließlich ihrer Netzwerke und der Normen der Gegenseitigkeit wider und beeinflusst die Exposition und Empfindlichkeit gegenüber extremer Hitze (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022; Nikkanen et al., 2021). Soziales Kapital sowie Netzwerke verringern die soziale Vulnerabilität und erleichtern einen Zugang zu individuellen und kollektiven Anpassungsinitiativen, erhöhen die Widerstandsfähigkeit und sorgen für emotionale Unterstützung, die Bereitstellung von Unterkünften und anderen Arten von Hilfe (Nikkanen et al., 2021; J. Wolf et al., 2010). Sowohl Alleinlebende als auch kleine Haushalte werden häufig mit einem geringen Vorhandensein an Sozialkapital in Verbindung gebracht (Działek et al., 2016; Nikkanen et al., 2021).

2.4.7 Chronische Krankheiten und körperliche/geistige Beeinträchtigung

Menschen mit chronischen Erkrankungen und körperlicher/geistiger Beeinträchtigung gelten ebenfalls als sozial vulnerable Bevölkerungsgruppe gegenüber urbaner Hitze (Beckmann & Hiete, 2020; Renteria et al., 2022; US EPA, 2022; Wang et al., 2023). Menschen mit chronischen Erkrankungen haben teilweise eine verminderte Fähigkeit in der Wahrnehmung und Reaktion auf Temperaturschwankungen sowie in der Anpassung an Wetterveränderungen (Beckmann & Hiete, 2020). Steigende urbane Hitze kann nicht nur ein Aufflammen von bereits bestehenden chronischen Erkrankungen auslösen, sondern auch für die Entstehung von chronischen Erkrankungen verantwortlich gemacht werden (Beckmann & Hiete, 2020; Cueto, 2022; Wang et al., 2023). Menschen mit körperlicher/geistiger Beeinträchtigung sind häufig von sozialen und wirtschaftlichen Risikofaktoren wie Arbeitslosigkeit oder Armut betroffen und haben in vielen Fällen weder die Ressourcen noch das Wissen oder die geistige und körperliche Fähigkeit, sich vor extremer urbaner Hitze selbst zu schützen (Gamble et al., 2016; US EPA, 2022).

3. Hitzevulnerabilitätsindizes

3.1 Entstehung und Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes

Die Kombination aus dem globalen Klimawandel und der Verschärfung von urbanen Hitzeinseln führt unweigerlich zur einer Erhöhung der Häufigkeit und Intensität von Hitzeereignissen, was sich in Form einer Steigerung der hitzebedingten Vulnerabilität von Menschen, insbesondere der urbanen Bevölkerung weltweit äußert (W. Cheng et al., 2021). Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, sind eine gezielte Maßnahmensetzung und Planung von Seiten der lokalen Regierungen, Behörden und der Mitglieder des privaten Sektors essentiell, um den Schutz der Einwohner*innen vor künftigen Hitzeereignissen zu gewährleisten (W. Cheng et al., 2021; Soomar & Soomar, 2023). Insbesondere das Pariser Klimaabkommen im Jahr 2015 hat das Bewusstsein unterschiedlicher Akteure zur Setzung von Handlungen und Maßnahmen geschärft (H. Cheng et al., 2021; Soomar & Soomar, 2023). Um dies zu bewerkstelligen, ist im ersten Schritt eine Identifizierung von vulnerablen Gebieten sowie vulnerablen Bevölkerungsgruppen innerhalb eines bestimmten Gebiets von Bedeutung. Die Entwicklung von Vulnerabilitätsindizes hat sich im Zuge jahrzehntelanger Vulnerabilitätsforschung zu einem gängigen Ansatz bei der Charakterisierung von Anfälligkeit

und ihrer anschließenden Kartierung etabliert (T. Wolf & McGregor, 2013). Ein Hitzevulnerabilitätsindex (HVI) ist ein Tool, welches sich aus den Einflussfaktoren zusammensetzt, die den Grad der Vulnerabilität einer Bevölkerungsgruppe oder eines Stadtgebietes für hohe Temperaturen oder extreme Hitzeereignisse widerspiegeln (Abrar et al., 2022; Niu et al., 2021; Y. Xu et al., 2021). Die Hitzeanfälligkeit steht in einem entscheidenden Zusammenhang zum jeweiligen Kontext. Die Faktoren, welche ein System vulnerabel gegenüber Hitze machen, hängen demgegenüber von der Art des Systems ab (Brooks et al., 2005).

3.2 Aufbau der HVI – Studien

3.2.1 Konzeptioneller Rahmen

Der konzeptionelle Rahmen für die Definition des Risikos und der Vulnerabilität spielt sowohl bei der Konstruktion des HVI als auch bei der Auswahl der geeigneten Indikatoren eine entscheidende Rolle (W. Cheng et al., 2021). Eine Auflistung gängiger Konzeptualisierungen von Vulnerabilität im Allgemeinen sowie hitzebedingter Vulnerabilität der Bevölkerung lässt sich dem vorhergehenden *Kapitel 3.1 Gängige Konzeptualisierungen in der (Hitze-) Vulnerabilitätsforschung* entnehmen. Bei der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindikatoren lassen sich vorrangig die beiden Konzepte (1) Gleichung der Verwundbarkeit der Bevölkerung (Inostroza et al., 2016) und (2) Risikodreieck (Crichton, 1999; IPCC, 2014) nennen.

Gleichung der Verwundbarkeit

Die Gleichung der Verwundbarkeit als konzeptioneller Rahmen wurde bereits in *Gleichung 2.* des vorhergegangenen Kapitels erläutert. Die einzelnen Komponenten der Gleichung erfahren im Kontext der Hitzevulnerabilitätsforschung eine leicht abweichende Definition. Sensitivität bezieht sich hier auf die internen Merkmale einer Bevölkerung, dargestellt durch sozio-demografische und gesundheitsbezogene Indikatoren, die die Anfälligkeit gegenüber einer erhöhten Hitzeexposition steigern (Inostroza et al., 2016; Wilson & Chakraborty, 2019). Unter der Exposition werden die auf die Bevölkerung wirkenden externen Umwelteinflüsse verstanden, die sich durch Klima- und Umweltfaktoren ausdrücken lassen (W. Cheng et al., 2021; Zuhra et al., 2019). Die Anpassungsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit von Menschen, sich aktiv an die erhöhte Wärmebelastung anzupassen und bezieht sich darüber hinausgehend auf das Vorhandensein und den Zugang zu Annehmlichkeiten und Einrichtungen, die die

Wärmebelastung abmildern, wie beispielsweise der Zugang zu medizinischen Diensten und Kühleinrichtungen (W. Cheng et al., 2021).

Risikodreieck

Das Konzept des Risikodreiecks nach Crichton (1999) und IPCC (2014) wurde ebenfalls bereits im vorhergehenden Kapitel in *Gleichung 3* erklärt. Im Kontext der Hitzevulnerabilitätsforschung bezieht sich die Gefährdung auf die räumliche Verteilung von schweren, extremen Hitzeereignissen oder Klimaphänomenen (W. Cheng et al., 2021). Die Exposition beschreibt die Elemente, die mit hohem Risiko einem möglichen Gefahrenereignis ausgesetzt sind, und wird häufig durch Indikatoren aus erhobenen Bevölkerungszählungen, wie zum Beispiel der Bevölkerungsdichte gebildet (Buscail et al., 2012). Die Vulnerabilität bezieht sich in diesem Zusammenhang auf den Mangel an Materialien, um Folgen der Hitzeauswirkung auf den Menschen entgegenzuwirken (Buscail et al., 2012). Typische Indikatoren zur Abbildung der Vulnerabilität sind unter anderem sozio-demografische Merkmale der Bevölkerung, Gebäudemerkmale, und Merkmale zur bebauten Umgebung (Buscail et al., 2012; W. Cheng et al., 2021).

3.2.2 Modellierungsmethoden

Die Wahl eines effizienten Modells zur Messung der Hitzeanfälligkeit ist ein wichtiger und zentraler Bestandteil von HVI-Studien (F. Li et al., 2022). In Abhängigkeit zur jeweiligen Studie können unterschiedliche Modellierungsmethoden zum Einsatz kommen. Das Indexierungsverfahren ist in der Hitzevulnerabilitätsforschung die übliche Modellierungsmethode, unter dem Einsatz von Hitzevulnerabilitätsindizes, Hitzerisikoindizes oder anderen hitzebezogenen Indizes (F. Li et al., 2022). Die Modellierungsmethoden basieren in einer Vielzahl der Studien auf den beiden Konzepten (1) Risikodreieck (Buscail et al., 2012; W. Cheng et al., 2021) und (2) Gleichung der Verwundbarkeit (W. Cheng et al., 2021).

3.2.3 Gewichtungsmethoden

Nach der Festlegung der verwendeten Indikatoren und der Modellierungsmethoden besteht der nächste Schritt zur Erstellung eines Hitzevulnerabilitätsindex in der Gewichtung der einzelnen Indikatoren beziehungsweise Kategorien (F. Li et al., 2022). Die Gewichtung ist von zentraler Bedeutung um die relativen Einflüsse der einzelnen Indikatoren korrekt zu erfassen

und den Grad der Auswirkung auf die Wärmegefährdung entsprechend abzubilden (W. Cheng et al., 2021). Hierbei wird zwischen der expliziten Gewichtung von Indikatoren und der objektiven Gewichtung nach statistischen Ansätzen unterschieden (Abrar et al., 2022).

3.2.3.1 Explizite Gewichtung

Methoden der expliziten (auch subjektiven) Gewichtung basieren im Allgemeinen auf der Grundlage von (Fach-)Literatur, der Einschätzung von Forscher*innen oder der Entscheidung eines externen Expert*innengremiums (Abrar et al., 2022; W. Cheng et al., 2021) und sind abhängig von der Präferenz der Entscheidungsträger (Londoño-Pineda et al., 2021). Beispiele für explizite Gewichtungsmethoden in der Hitzevulnerabilitätsforschung sind die Expertengewichtung sowie die Gleichgewichtung (welche aufgrund ihrer häufigen Verwendung eine kurze Erwähnung finden) (W. Cheng et al., 2021; F. Li et al., 2022). Die explizite Gewichtungsmethode basiert entweder auf der Vergabe eines einheitlichen, gleichen Gewichts der Kategorien oder eines von den Experten festgelegten ungleichen Gewichts und ist daraus resultierend häufig durch Verzerrungen betroffen (W. Cheng et al., 2021).

Gleichgewichtung

Einer der verbreitetsten Ansätze der expliziten Gewichtung in der Hitzevulnerabilitätsforschung ist die Methode der Gleichgewichtung (EW) (W. Cheng et al., 2021; F. Li et al., 2022). Die Methode basiert auf der Annahme, dass jede Kategorie und jeder Indikator den Forschungsgegenstand in gleichem Ausmaß beeinflusst (Dizdaroglu et al., 2012). Dabei werden entweder alle Indikatoren gleich gewichtet oder es wird ein hierarchisches Schema mit gleich gewichteten Unterkategorien eingesetzt, innerhalb derer die Gewichtung dann gleichmäßig auf die jeweiligen Indikatoren der Unterkategorien verteilt wird (W. Cheng et al., 2021).

Expertengewichtung

Im Unterschied zur Gleichgewichtung werden bei der Expertengewichtung nicht alle Kategorien mit der gleichen Gewichtung versehen. Die Gewichtung für die verschiedenen Determinanten wird anhand der subjektiven Einschätzung eines Expertenteams getroffen (Räsänen et al., 2019). Das Expertenteam wird grundsätzlich durch Personen gebildet, die vertretend einen der Sektoren präsentieren, welche sich mit den Auswirkungen des

Klimawandels in Bezug auf die individuelle Anfälligkeit von Menschen gegenüber externen Ereignissen und Gefahren befassen müssen, wie beispielsweise die Elektrizitätsversorgung oder das Gesundheitswesen (W. Cheng et al., 2021; Räsänen et al., 2019).

3.2.3.2 Objektive Gewichtung

Im Vergleich zur expliziten Gewichtung basiert die objektive (auch statistische) Gewichtung in der Regel auf statistischen Ansätzen (Buo et al., 2021). Das Hauptaugenmerk von expliziten Gewichtungsmethoden liegt auf dem Verfahren der statistische Datenauswertung, dem komplexen Berechnungsprozess und dem intensiven Datenbedarf (Shao et al., 2020).

Hauptkomponentenanalyse

Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) gilt als einer der am weitesten verbreiteten und gängigsten Ansätze der vergleichenden Forschung (Jolliffe & Cadima, 2016) und findet auch in der Hitzevulnerabilitätsforschung häufig Anwendung. Obwohl die PCA bereits vor dem Beginn des 2. Weltkriegs entwickelt wurde (Pearson, 1901), erfolgte eine breite Anwendung dieser Methode erst im Zuge der „quantitativen Revolution“ in den Natur- und Sozialwissenschaften in den 1960er Jahren (Maćkiewicz & Ratajczak, 1993). Grund dafür waren enorme Schwierigkeiten in der Berechnung, die erst durch die Entwicklung von Computern gelöst werden konnten (Jolliffe & Cadima, 2016). Ab diesem Zeitpunkt wurde die uneingeschränkte Anwendung von multivariaten statistischen Methoden, einschließlich der Hauptkomponenten (PCs), möglich (Maćkiewicz & Ratajczak, 1993).

Die grundlegende Methode

Bei der Hauptkomponentenanalyse handelt es sich um eine Methode zur Verringerung der Dimensionalität großer komplexer Datensätze, wodurch eine Erhöhung der Interpretierbarkeit und gleichzeitig eine Minimierung des Informationsverlustes erzielt wird (Cartone & Postiglione, 2021; Jolliffe, 2002; Jolliffe & Cadima, 2016). Dieser Effekt entsteht durch das Schaffen von neuen, unkorrelierten Variablen, den Hauptkomponenten (PCs), die schrittweise die Varianz maximieren (Jolliffe & Cadima, 2016). Durch die Zusammenführung multivariater Phänomene in den Hauptkomponenten lassen sich in weiterer Folge wirtschaftliche, soziale und ökologische Probleme abbilden (Cartone & Postiglione, 2021; OECD, 1993).

Anpassungen der Hauptkomponentenanalyse

Die Hauptkomponentenanalyse eröffnet überdies auch die Möglichkeit der Modifikationen und Anpassungen, um die Analyse von Daten unterschiedlicher Art zu gewährleisten und den Einsatz in diversen Forschungsdisziplinen zu ermöglichen (Jolliffe, 2002; Jolliffe & Cadima, 2016). Aufgrund des weitreichenden Anwendungsbereichs der PCA gibt es mittlerweile eine große Anzahl an Modifikationen, die über die grundlegenden Komponenten der Hauptkomponentenanalyse hinausgehen. Die funktionale PCA verfolgt beispielsweise das Ziel, funktionale Daten in die Analyse miteinzubeziehen (Yao, 2007), während die symbolische Daten–Hauptkomponentenanalyse die Arbeit mit symbolischen Daten (z.B. komplexe Datenstrukturen wie Intervalle oder Histogramme) erleichtert (Brito, 2014)

Analytisch-hierarchisches Verfahren (AHP)

Das analytisch-hierarchische Verfahren (kurz AHP) wurde 1980 von Saaty entwickelt und findet in der Hitzevulnerabilitätsforschung aufgrund seiner Einfachheit und schnellen Anwendung häufig Gebrauch (Rakotoarison et al., 2021). Bei AHP handelt es sich um eine auf Multi-Kriterien basierende Entscheidungsmethode, die zur Ableitung von Verhältnisskalen diskreter und kontinuierlicher paarweiser Vergleiche verwendet wird (Almodayan, 2018; Saaty, 1987). In das Verfahren werden eine Reihe von Bewertungskriterien und alternative Optionen integriert, auf Basis derer die beste Entscheidung resultieren soll (Almodayan, 2018). AHP lässt sich sowohl in Bezug auf quantitative als auch qualitative Kriterien anwenden und dient zur Überprüfung der Konsistenz einer Entscheidung, was zur Reduktion der Verzerrung im Entscheidungsprozess führt (Shao et al., 2020). Als Datengrundlage eignen sich sowohl Daten, die aus tatsächlichen Messungen (z.B. das Gewicht) gewonnen wurden, sowie Daten aus grundlegenden Skalen zur Feststellung der relativen Stärke von Vorlieben und Gefühlen von Personen (Saaty, 1987).

Das analytisch-hierarchische Verfahren ist ein sehr flexibles und leistungsfähiges Instrument, welches sich an der Erfahrung der Entscheidungsträger orientiert (Almodayan, 2018). Es ermöglicht überdies die Zerlegung von komplexen Problemen in eine hierarchische Struktur (Rakotoarison et al., 2021) sowie eine Anpassung an spezifische Bedingungen innerhalb einer Region (Londoño-Pineda et al., 2021).

Aufbau und grundlegende Methode

Der allgemeine Aufbau eines analytisch-hierarchischen Verfahrens lässt sich anhand der exemplarischen Darstellung in *Abbildung 8.* veranschaulichen. Die Elemente innerhalb der Hierarchie werden entsprechend ihrer Homogenität geclustert, eine Ebene kann aus einem oder mehreren homogenen Clustern aufgebaut sein (Saaty, 1987) Das Gesamtziel steht an der Spitze und wird mit keinem anderen Element verglichen (Nunić, 2019). Auf der ersten Ebene stehen n Kriterien (in dem dargestellten Modell drei), von denen jeweils zwei einem Vergleich hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf ein übergeordnetes Element unterliegen (Starčević et al., 2019). Dieses Prinzip lässt sich hierarchisch, Ebene für Ebene (in dem dargestellten Modell gibt es zwei Ebenen, die Verwendung zusätzlicher Ebenen ist möglich) wiederholen. Abschließend wird eine Synthese aller Bewertungen basierend auf dem Gewichtungskoeffizienten jedes einzelnen Elements der Hierarchie vorgenommen, um die beste Alternative zu erhalten (Almodayan, 2018).

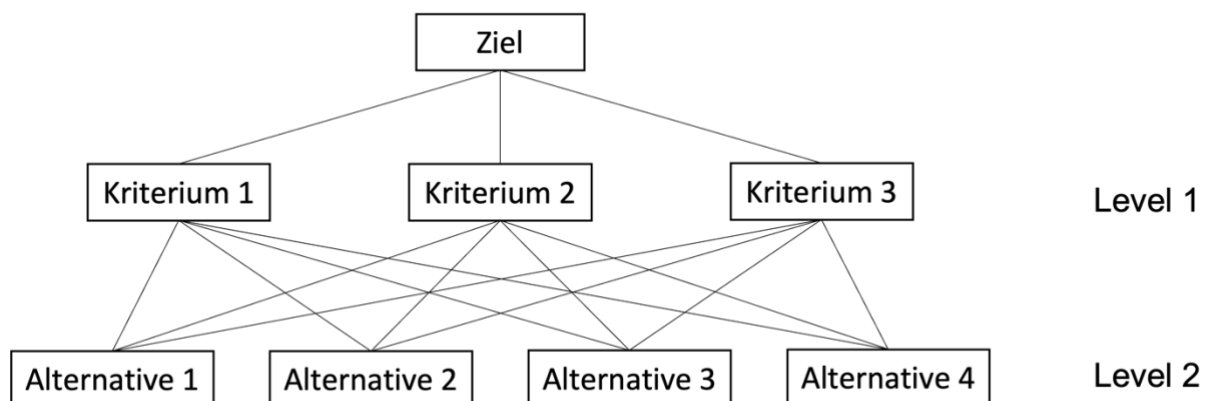


Abbildung 8. Exemplarische Darstellung des analytisch-hierarchischen Verfahrens basierend auf der Unterteilung nach dem Ziel, unterschiedlichen Kriterien und möglichen Alternativen (eigene Darstellung nach Starčević et al. (2019)).

Kurz gefasst erfolgt die Umsetzung dieser Methode anhand von drei aufeinanderfolgenden Schritten: (1) Gewichtung des Kriterien-Vektors, (2) Matrix der Optionsbewertungen, (3) Rangfolge der Optionen (Almodayan, 2018).

3.2.4 Ergebnisse der Modellierung

Als Endergebnis aus den vorhergegangenen Schritten resultiert häufig eine Hitzevulnerabilitätskarte, die zur Abbildung der räumlichen Verteilung der Hitzebelastung und -gefährdung der Bevölkerung oder von Gebieten Einsatz findet (F. Li et al., 2022; Qureshi & Rachid, 2022). Bei der Erstellung der Hitzevulnerabilitätskarte lässt sich häufig ein Farbverlauf

erkennen, um die Hitzebelastung/das Hitzерisiko anschaulich zu visualisieren (W. Cheng et al., 2021; T. Wolf & McGregor, 2013).

3.3 Datengrundlage

Die Datengrundlage ist ein zentraler Bestandteil für die Entwicklung von Indizes und basiert in der Regel auf unterschiedlichen Forschungsergebnissen, Indikatoren, Studien etc. In der Hitzevulnerabilitätsforschung wie auch in anderen wissenschaftlichen Zweigen spielt die Datengrundlage eine entscheidende Rolle und kann den Output durch Eigenschaften wie die Datenqualität oder die Datenzugänglichkeit entscheidend beeinflussen (Karr et al., 2006; Lee, 2014).

3.3.1 Datenqualität

Die Datenqualität beschreibt die Fähigkeit von Daten, effektiv, wirtschaftlich und schnell genutzt werden zu können, um Entscheidungen zu treffen und diese anschließend zu bewerten (Karr et al., 2006). Die Datenqualität ist somit ein Maß, welches den Zustand der Daten, basierend auf Faktoren wie der Genauigkeit, der Vollständigkeit und der Zuverlässigkeit angibt (Stedman, 2022). Aufgrund ihrer mehrdimensionalen Eigenschaften geht sie jedoch auch über die Bewertung der Genauigkeit auf Datensatzebene hinaus um beispielsweise kontextspezifisches Fachwissen, Dokumentation, Kosten oder die Benutzerfähigkeiten und -erwartungen zur berücksichtigen (Karr et al., 2006).

In der Hitzevulnerabilitätsforschung kommen unterschiedliche Methoden zur Qualitäts- und Eignungsbeurteilung zum Einsatz, um die Datenqualität der miteinbezogenen Datengrundlage zu überprüfen und eine möglichst hohe Qualität der Datengrundlage zu erzielen (W. Cheng et al., 2021; Y. Xiao & Watson, 2019).

3.3.2 Datenzugänglichkeit

Die Datenzugänglichkeit ist ein entscheidender Faktor für die Auswahl und Nutzung von Daten und spielt nicht nur in der Hitzevulnerabilitätsforschung, sondern in der Forschung allgemein eine wichtige Rolle (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Die Auswahl der Datengrundlage zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes sowie Einschränkungen der Forschungsmethode lassen sich teilweise auf die Verfügbarkeit von Daten zurückführen (Estoque et al., 2023; Karanja, 2021; Lee, 2014).

Aufgrund der Tatsache, dass Daten sowie die Datenzugänglichkeit für wissenschaftliche Prozesse von wesentlicher Bedeutung sind, wird ein offenerer Zugang in der Wissenschaft vermehrt gefordert (Ramachandran et al., 2021). Open Data ist in diesem Zusammenhang ein häufig diskutierter Begriff, der definiert wie wissenschaftliche Daten ohne jegliche Preis- und Genehmigungseinschränkungen von jedem/jeder weiterverwendet und veröffentlicht werden können (Murray-Rust, 2008). Richtlinien für offene Daten werden in der Regel von staatlichen oder kommerziellen Organisationen entwickelt und regeln welche Daten geteilt werden dürfen, mit wem diese geteilt werden dürfen, zu welchem Preis und unter welchen Bedingungen diese weiterverarbeitet und weitergegeben werden können (Borowitz, 2017; Ramachandran et al., 2021). Der Begriff Open Data findet in der Wissenschaft unter diversen Synonymen Einsatz wie beispielsweise offener Zugriff (= engl. Open Access) oder Open Source (Murray-Rust, 2008).

3.3.3 Daten

Für die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes werden in Abhängigkeit zur jeweiligen Studie unterschiedliche Daten in Form von Indikatoren miteinbezogen. Typischerweise werden Indikatoren berücksichtigt, die sich auf menschliche und/oder umweltbezogene Merkmale beziehen (W. Cheng et al., 2021). Verbreitet sind insbesondere Indikatoren der Kategorien (1) sozio-demografisch, (2) Gesundheit, (3) Umwelt, (4) sozio-ökonomisch und kulturell, die in weiterer Folge kurz erläutert werden (W. Cheng et al., 2021; Giovane di Girasole & Cannatella, 2017; Sandholz et al., 2021; Turner et al., 2003). Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an weiteren Indikatoren, die in die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes miteinfließen, wie beispielsweise institutionelle Indikatoren, bauliche Indikatoren oder politische Indikatoren.

Sozio-ökonomische, sozio-demografische und kulturelle Indikatoren

Sozio-demografische und kulturelle Merkmale von Personen sind für die Bestimmung einer Hitzeanfälligkeit von großer Bedeutung, da die physiologischen Voraussetzungen beispielsweise vom Alter und vom Geschlecht abhängen (Voelkel et al., 2018) und kulturelle Verhaltensweisen einen Einfluss auf die Anpassung an die Hitze ausüben können (W. Cheng et al., 2021). Finanzielle Einschränkungen und Entbehrungen anderer Art führen dazu, dass die Bewältigungskapazität von Personen eingeschränkt wird (W. Cheng et al., 2021)

Indikatoren zum Gesundheitszustand

Der Gesundheitszustand von Menschen ist ein essenzieller Bestandteil in der Hitzevulnerabilitätsforschung. Personen mit körperlicher und geistiger Beeinträchtigung sowie chronischen Krankheiten (beispielsweise Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Diabetes) sind aufgrund ihrer physischen und physiologischen Einschränkungen stärker von hitzebedingten Krankheiten und hitzebedingter Mortalität betroffen (Hammer et al., 2020; Ho et al., 2023)

Umweltindikatoren

Durch Umweltindikatoren lassen sich das Ausmaß der Hitzeexposition (z.B. die Temperatur der Bodenoberfläche) und die Fähigkeit zur Abschwächung der Hitzeauswirkung (z.B. durch Zugang zu Kühleinrichtungen) direkt wiedergeben (W. Cheng et al., 2021).

3.3.4 Datenquellen

Die große Varietät an miteinander bezogenen Indikatoren und somit an verwendeten Daten resultiert in einer Vielzahl an unterschiedlichen und von der Studie individuell abhängenden Datenquellen. Häufig verwendete Umweltindikatoren wie beispielsweise LST und NDVI lassen sich basierend auf multispektralen Fernerkundungsbildern wie Landsat TM/ TEM+ und MODIS erstellen (W. Cheng et al., 2021). Daten zur Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität werden häufig von Wetterstationen (Vescovi et al., 2005) oder nationalen Überwachungssystemen wie dem US EPA bezogen (W. Cheng et al., 2021; Sabrin et al., 2022). Daten zu Wohnbedingungen lassen sich auf nationale Datensätze zurückführen, Daten zur Wohnbevölkerung auf lokale Steuerschätzungsbüros und offizielle Statistiken (W. Cheng et al., 2021). Sozio-ökonomische und sozio-demografische Daten basieren in der Regel auf Volkszählungsstatistiken oder offiziellen Haushaltserhebungen, Daten zur Gesundheitsfürsorge oder zum Gesundheitszustand der Bevölkerung entstammen offenen Daten von nationalen Seuchenbekämpfungsbüros oder landesweiten Erhebungen (Center for Disaster Control and Prevention, 2023; H. Cheng et al., 2021; United Nations, 2023; Weldon Cooper Center for Public Service, 2022)

3.4 Ziel

Die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes verfolgt eine Vielzahl an Zielen. Durch die Kombination unterschiedlicher Arten von Indikatoren wurden verschiedene Modelle zur Bewertung der Hitzeanfälligkeit entwickelt, mit dem Grundgedanken, Bevölkerungsgruppen und Gebiete, die eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber Hitze und Hitzeereignissen aufweisen zu identifizieren und die räumliche und zeitliche Verteilung zu bewerten (F. Li et al., 2022). Anfälligkeitsbewertungen sollen dazu beitragen das Verständnis von komplexen Prozessen wie urbaner Hitze zu erweitern (T. Wolf et al., 2015). Darüber hinaus sollen die gewonnenen Ergebnisse und Informationen als Entscheidungsbasis für politische Entscheidungsträger*innen und diverse weitere Interessensgruppen auf verschiedenen Ebenen dienen (F. Li et al., 2022; T. Wolf et al., 2015). Dies soll einerseits bewirken, dass Regierungen auf dienliche Hinweise zur Setzung von Maßnahmen und Eingriffen zur Abschwächung der urbanen Hitze zurückgreifen können (X. Li et al., 2019). Andererseits sollen zukünftige Planungsvorhaben in Anbetracht des vorhandenen Wissensstands einen bestmöglichen Output liefern.

3.5 Stärken, Schwächen und Einschränkungen

Stärken

Die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes hat in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte erzielt und sich zu einem bewährten Ansatz zur Charakterisierung der Hitzeanfälligkeit und ihrer anschließenden Kartierung etabliert (T. Wolf & McGregor, 2013). Hitzevulnerabilitätsindizes liefern vermehrt Ergebnisse als Entscheidungsbasis im Umgang mit den Folgen urbaner Hitze und möglichen Anpassungs- und Abmilderungsmaßnahmen unterschiedlicher politischer und privater Akteure (F. Li et al., 2022; T. Wolf et al., 2015).

Durch den Einsatz verschiedener Indikatoren bei der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes lassen sich individuelle Interessen, wie beispielsweise die konkrete Betrachtung gewisser Altersgruppen herausarbeiten und für gewünschte Einsatzzwecke optimieren (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023).

Schwächen und Einschränkungen

Status quo herrscht in der Hitzevulnerabilitätsforschung **keine Einigkeit** über die Auswahl und Menge an Indikatoren, die in die Erstellung eines Hitzevulnerabilitätsindex miteinbezogen

werden sollen (F. Li et al., 2022). Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Auswahl an Indikatoren stark von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten anhängig ist (Brooks et al., 2005; Heaton et al., 2014) und teilweise einer **beschränkten Datenzugänglichkeit** unterliegt (Estoque et al., 2023; Karanja, 2021; Lee, 2014). Darüber hinaus stellt die **Subjektivität** eine weitere Schwäche in der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes dar. Die Auswahl der Indikatoren für die Modellentwicklung und -validierung basiert größtenteils auf dem subjektiven Urteil von Forscher*innen sowie der Auswahl plausibler Alternativen (F. Li et al., 2022; Niu et al., 2021).

In den meisten der bereits bestehenden HVI - Studien wird nur die Wärmebelastung urbaner Gebiete im Freien berücksichtigt. Xu et al. gingen im Jahr 2021 mit der Entwicklung eines HVI-Webkarten-Tools darüber hinaus, welches neben der Wärmebelastung im Freien auch die Wärmebelastung in Innenräumen berücksichtigt (Y. Xu et al., 2021). Eine weitere Entwicklung dieser Idee ist notwendig, um die Wärmebelastung in Innenräumen gleichermaßen in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes integrieren zu können.

3.6 Perspektive der sozialen Vulnerabilität

Die Perspektive der sozialen Vulnerabilität wurde erstmalig durch Cutter et al. (2003) in die Hitzevulnerabilitätsforschung integriert. Neue Studien haben die Beziehung zwischen urbaner Hitze und sozialer Anfälligkeit bei der Entwicklung von HVIs berücksichtigt, indem sie hitzebezogene Indikatoren ausgewählt haben, die wiederum als wiederkehrende Anfälligkeitsfaktoren in hitzevulnerablen Bevölkerungsgruppen verbreitet vorkommen (Hammer et al., 2020). Soziale Vulnerabilität wird in der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes größtenteils in Form von sozio-demografischen Indikatoren, wie beispielsweise durch das Alter, das Geschlecht oder die Armutsrate abgebildet (Chen et al., 2022; Qureshi & Rachid, 2022). Da Unterschiede in der sozialen Vulnerabilität innerhalb der Bevölkerung nicht ausschließlich auf sozio-demografische Faktoren zurückzuführen sind, sondern auch durch ökonomische, bauliche, institutionelle, politische und kulturelle Aspekte verursacht werden (Giovene di Girasole & Cannatella, 2017; Sandholz et al., 2021; Turner et al., 2003)., finden diese Aspekte vermehrte Berücksichtigung bei der Auswahl von geeigneten Indikatoren.

Obgleich die Perspektive der sozialen Vulnerabilität bereits als wichtiger Bestandteil der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes weltweit betrachtet wird, geschieht die konkrete Miteinbeziehung nicht in gleicher Form und Ausprägung. Während einige Studien unterschiedliche Indikatoren zur Abbildung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze (Chen et al., 2022; Qureshi & Rachid, 2022) verwenden, basiert die Kalkulation der sozialen Vulnerabilität in anderen Studien dahingehend nur auf einem einzelnen Indikator (Bhattacharjee, 2019; S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Es herrschen auch große Unterschiede in Bezug auf die Art der verwendeten Indikatoren (z.B. Sozio-demografische Indikatoren, ökonomische Indikatoren, Indikatoren zum Gesundheitszustand) zwischen den einzelnen Studien. Daraus resultierend lässt sich festhalten, dass das vorhandene Wissen trotz intensiver Forschung noch nicht ausreichend ist, um ein umfassendes Verständnis der sozialen Anfälligkeit der Bevölkerung aufgrund des Klimas, insbesondere beziehungsweise auf urbane Hitze und Hitzeereignisse, zu haben und es bedarf in Zukunft noch intensiverer Erforschung (Inostroza et al., 2016; Lindley et al., 2011).

4. Systematisches Literaturreview mit Keyword-Suche

4.1 Grundlagen

Die Anzahl an wissenschaftlichen Arbeiten, die in akademischen Datenbanken veröffentlicht werden, nimmt jährlich zu (van Dinter et al., 2021). Die Literaturrecherche hat sich daher zu einem wesentlichen Merkmal der internationalen akademischen Forschung entwickelt, um einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand sowie vorhandene Studien und Publikationen zu gewinnen (Gupta et al., 2018; van Dinter et al., 2021; Y. Xiao & Watson, 2019). Ein systematisches Literaturreview (SLR) ist eine geeignete Methode, um alle verfügbaren Forschungsergebnisse für eine konkrete Forschungsfrage, ein Themengebiet oder ein bestimmtes Phänomen zu identifizieren, zusammenzufassen und anschließend zu bewerten (Kitchenham & Charters, 2007; Margarey, 2000). Dies wird durch eine umfassende sowie unvoreingenommene Zusammenführung von einer Reihe von relevanten Quellen, Studien und Forschungsarbeiten in einem einheitlichen Dokument erreicht (Aromataris & Pearson, 2014). Die Durchsicht der einschlägigen Literatur ermöglicht es, den Umfang und die Tiefe des Literaturbestandes zu verstehen, bestehende Lücken zu identifizieren und diese im

Zuge der Erforschung zu schließen (Y. Xiao & Watson, 2019). Neben wissenschaftlicher Literatur kann auch „graue Literatur“ in das systematische Review einfließen (Bowman, 2023). Kurz gefasst handelt es sich bei einem systematischen Literaturreview sozusagen um eine Zusammenfassung von bereits vorhandenen Erkenntnissen auf höchstem Niveau, die sich auf die Beantwortung einer oder mehrerer konkreter Forschungsfragen bezieht (Gupta et al., 2018). Dabei liegt das SLR einer im Vorhinein klar definierten Methodik zugrunde (Kitchenham & Charters, 2007). Die Verwendung eines im Vorhinein definierten Protokolls, zur Identifikation von klaren, logischen und vernünftigen Informationen zu einem Forschungsthema, macht das SLR zu einer Forschungsstudie an sich (Aromataris & Pearson, 2014; Gurbuz & Tekinerdogan, 2018). Da diese akademische Methode auf einer Vielzahl an Primärstudien basiert, aus denen die Ergebnisse aggregiert werden, handelt es sich bei einem SLR um Sekundärliteratur (Kitchenham & Charters, 2007; Sturma et al., 2016).

4.1.1 Merkmale eines systematischen Literaturreviews

Systematische Literaturreviews unterscheiden sich merklich von konventionellen Literaturüberprüfungen der Fachliteratur und basieren grundsätzlich auf einer Reihe an anerkannten Merkmalen, von denen in Folge einige aufgeführt werden (Aromataris & Pearson, 2014; Kitchenham & Charters, 2007; Y. Xiao & Watson, 2019):

- Eines der wichtigsten Merkmale eines systematischen Literaturreviews ist die Entwicklung eines Reviewprotokolls. Dieses Überprüfungsprotokoll dient zur Spezifikation der zu untersuchenden Forschungsfrage(n), angestrebten Ziele und der zu verwendenden Methode.
- Das systematische Review basiert auf einer vordefinierten Suchstrategie. Dabei besteht das Hauptziel in der Identifizierung einer möglichst großen Anzahl an relevanten Literaturquellen – wobei sowohl veröffentlichte als auch unveröffentlichte Studien in Betrachtung gezogen werden.
- Um die Zuverlässigkeit von Primärstudien zu gewährleisten, werden vorab Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt anhand derer sich die systematische Überprüfung orientiert.
- In einer systematischen Überprüfung müssen die Informationen der eingeschlossenen Studien anhand von Qualitätskriterien auf ihre Gültigkeit überprüft und bewertet werden. Dabei finden beispielsweise Datenextraktionsformulare oder andere Reviewinstrumente Verwendung.

4.1.2 Vor – und Nachteile dieser Methode

Das systematische Literaturreview weist im Vergleich zu konventionellen Literaturüberprüfungen der Fachliteratur sowohl Vor- als auch Nachteile auf. Folgende Vorteile lassen sich nennen (Aromataris & Pearson, 2014; Kitchenham & Charters, 2007; Y. Xiao & Watson, 2019):

- Durch die klar vordefinierte Methodik sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse des Reviews verzerrt sind.
- Systematische Literaturreviews haben ein breites Einsatzspektrum und können Informationen zu einem konkreten Phänomen/einer konkreten Forschungsfrage unterschiedlichster Forschungsumfelder und empirischer Methoden liefern.
- Das systematische Review lässt sich bei qualitativen Studien überdies mit metaanalytischen Techniken kombinieren, durch deren Einsatz tatsächliche Auswirkungen ermittelt werden können, was in kleineren Einzelstudien nicht möglich ist.

Trotz einer Reihe an Vorteilen weisen systematische Literaturreviews auch Nachteile auf, wie sich beispielsweise im Aufwand widerspiegelt. Systematische Überprüfungen bedürfen einem wesentlich höherem zeitlichen Aufwand und zusätzlichem Know-How verglichen mit konventionellen Literaturüberprüfungen (Aromataris & Pearson, 2014; Kitchenham & Charters, 2007; Y. Xiao & Watson, 2019).

4.2 Aufbau des systematischen Literaturreviews

Eine systematische Literaturübersicht basiert auf verschiedenen Teilschritten. Bestehende Leitlinien für die Erstellung von systematischen Literaturreviews unterscheiden sich teils leicht in ihren Vorschlägen zur Anzahl und Reihenfolge der Teilschritte (Kitchenham & Charters, 2007). Allgemein lassen sich systematische Literaturreviews jedoch in die drei Phasen: (1) Planungsphase, (2) Durchführungsphase und (3) Berichterstattungsphase gliedern (Brereton et al., 2007; Kitchenham & Charters, 2007), die in *Abbildung 9* dargestellt werden.

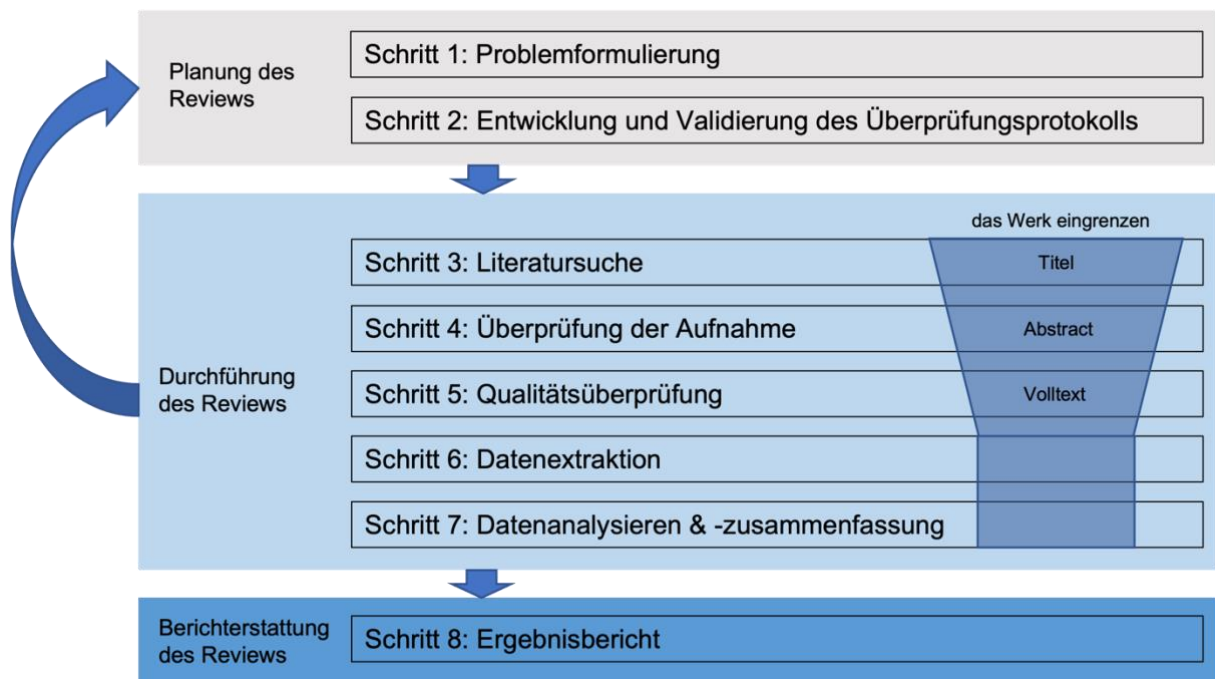


Abbildung 9. Darstellung der drei Planungsphasen eines Reviews inklusive seiner Teilschritte (Planung, Durchführung und Berichterstattung) einer systematischen Literaturüberprüfung (eigene Darstellung nach Y. Xiao & Watson (2019)).

4.2.1 Planungsphase des systematischen Literaturreviews

In der Planungsphase eines systematischen Literaturreviews wird im ersten Schritt der Bedarf einer Überprüfung eruiert, anschließend werden eine oder mehrere Forschungsfrage(n) festgelegt und ein Überprüfungsprotokoll entwickelt (Y. Xiao & Watson, 2019).

4.2.1.1 Problemformulierung

Die Verwendung geeigneter Forschungsfragen ist für die Durchführung einer systematischen Literaturüberprüfung essentiell und bestimmt den gesamten Prozess (Kitchenham & Charters, 2007). Angemessene und fokussierte Forschungsfragen liegen einer a priori-Literaturrecherche zugrunde, um ein Verständnis für den Umfang der verfügbaren Literaturquellen zu entwickeln (Yannascoli et al., 2013).

4.2.1.2 Überprüfungsprotokoll

Ein Überprüfungsprotokoll (d.h. ein Plans) dient zur Festlegung der grundlegenden Methodik, die zur Durchführung einer systematischen Überprüfung angewendet werden soll (Kitchenham & Charters, 2007). Es ist essentiell für die Qualitätssteigerung einer Überprüfung, da es eine mögliche Voreingenommenheit seitens Forscher*innen verringert (Y. Xiao & Watson, 2019).

Ein Überprüfungsprotokoll soll u.a. folgende Merkmale beinhalten (Kitchenham & Charters, 2007):

- Hintergrundinformationen zum systematischen Review
- Festlegung der Forschungsfrage(n) eines systematischen Reviews
- Auflistung der Datenbanken auf denen sich die Literatursuche stützt
- Detaillierte Auflistung der Ein-/Ausschlusskriterien
- Checkliste für die Qualitätsbewertung der einzelnen Literaturquellen
- Beschreibung der angedachten Technik zur Datenextraktion
- Festlegung eines Zeitplans für die Durchführung der unterschiedlichen Phasen der systematischen Literaturüberprüfung

4.2.2 Durchführungsphase des systematischen Literaturreviews

Bei der Durchführung eines systematischen Literaturreviews werden relevante Quellen ausgewählt und die Daten extrahiert, analysiert und synthetisiert (Y. Xiao & Watson, 2019).

4.2.2.1 Literatursuche

Da die Literaturausswahl die Qualität der Literaturüberprüfung zu einem hohen Maß beeinflusst, ist eine systematische Literaturrecherche essentiell (Kitchenham & Charters, 2007; Y. Xiao & Watson, 2019). Darüber hinaus spielt der Umfang eines systematischen Literaturreviews eine entscheidende Rolle, um eine mögliche Verzerrung zu vermeiden (Margarey, 2000). Bei der Literatursuche werden die drei Hauptquellen: (1) elektronische Datenbanken, (2) Rückwärtssuche und (3) Vorwärtssuche unterschieden (Webster & Watson, 2002; Y. Xiao & Watson, 2019). Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Literatursuche ist überdies die Verwendung von Keywords, die Festlegung von Einschluss-/Ausschlusskriterien sowie eine vorher definierte Stichprobenstrategie (Kitchenham & Charters, 2007; Margarey, 2000; Y. Xiao & Watson, 2019; Yannascoli et al., 2013).

4.2.2.2 Screening für die Aufnahme

Nach einer umfangreichen Literatursuche muss jede Literaturquelle einer genaueren Überprüfung unterzogen werden, um über eine mögliche Aufnahme in den Prozess der Datenextraktion und -analyse zu entscheiden (Y. Xiao & Watson, 2019). Hierfür eignet sich im ersten Schritt eine Überprüfung des Abstracts und eine darauffolgende Überprüfung der

Zusammenfassung für weiterführende Informationen (Brereton et al., 2007; Kitchenham & Charters, 2007; Y. Xiao & Watson, 2019).

4.2.2.3 Bewertung der Qualität

Anschließend an das Screening der Literatur zur Aufnahme in das systematische Review erfolgt eine Bewertung der Qualität. Sie basiert in der Regel auf einer Volltextüberprüfung (J. Xiao et al., 2017). Diese Bewertung wird vorgenommen um detailliertere Einschluss-/Ausschlusskriterien zu definieren und eine Orientierungshilfe zur Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen abzuleiten (Kitchenham & Charters, 2007). Bis dato gibt es jedoch keinen Konsens über die Herangehensweise, wie die Qualitätsbewertung eines systematischen Literaturreviews vorgenommen werden soll (Dixon-Woods et al., 2005).

4.2.2.4 Extraktion der Daten

Die Extraktion der Daten stellt einen zentralen Teilschritt eines systematischen Reviews dar. Das Ziel der Datenextraktion besteht darin, ein Datenextraktionsformular (auch Datenerhebungsformular) zu entwerfen auf dessen Basis die Informationen aus den gesammelten Literaturquellen erfasst werden können (Kitchenham & Charters, 2007). Das Datenerhebungsformular ist ein fixer Bestandteil des Literaturreviewprotokolls (Margarey, 2000). Datenextraktionsformulare können in Abhängigkeit zur jeweiligen systematischen Literaturübersicht variieren, den Anfangspunkt bildet in der Regel ein detailliertes Tabellenblatt (Yannascoli et al., 2013).

4.2.2.5 Analyse und Zusammenfassung der Daten

Nach Abschluss der Datenextraktion werden die gesammelten Informationen entsprechend der gewählten Form der Prüfung geordnet, was häufig durch eine Kombination aus Diagrammen, Tabellen und Textbestandteilen erzielt wird (Y. Xiao & Watson, 2019). Ganz allgemein gefasst basiert die Datenanalyse und -zusammenfassung auf qualitativen oder quantitativen Methoden in Abhängigkeit von der Art und dem Forschungsziel des systematischen Literaturreviews (Margarey, 2000).

4.2.3 Berichterstattungsphase des systematischen Literaturreviews

Die letzte Phase eines systematischen Literaturreviews wird durch die Berichterstattung gebildet. Die Berichterstattung dient einerseits der Erfassung der Ergebnisse der durchgeführten Literaturüberprüfung sowie der Begründung und Rechtfertigung jedes einzelnen Analyseschrittes (Kitchenham & Charters, 2007; Margarey, 2000; Y. Xiao & Watson, 2019).

4.3 Durchführung des systematischen Literaturreviews

4.3.1 Planung

Wie bereits in den *Kapiteln 2 und 3* ausdrücklich erwähnt wurde, hat die Perspektive der sozialen Vulnerabilität im Zuge der letzten Jahre Einzug in die Hitzevulnerabilitätsforschung und die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes gefunden (Guardaro, Hondula, Ortiz, et al., 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022), wenn auch nicht in gleicher Form und Ausprägung. Während die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung in vielen Hitzevulnerabilitätsindizes bereits in Form von sozio-demografischen Indikatoren integriert wurde, spielen andere Indikatoren wie beispielsweise wirtschaftliche, institutionelle, kulturelle oder politische Indikatoren häufig eine untergeordnete Rolle. Aus diesem Aspekt heraus sowie zur besseren Vergleichbarkeit der Studien wird die Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung im Rahmen des nachstehenden systematischen Literaturreviews vorrangig auf sozio-demografische Faktoren sowie deren unterschiedlichen Einsatz bezogen. Informationen zu weiteren Indikatoren wie beispielsweise wirtschaftlichen, institutionellen, politischen und kulturellen Faktoren werden ergänzend gesammelt und ausgewertet, stehen jedoch nicht im Fokus der Analyse.

Neben den verwendeten Indikatoren spielt auch die Datenbasis bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes eine entscheidende Rolle. Zuzüglich zu Primärdaten werden auch ergänzend Sekundärdaten verwendet. Dies gilt im Speziellen für sozio-demografische Faktoren, da diese häufig von staatlicher Seite (z.B. durch Zählungen) erhoben und öffentlich zugänglich dargestellt werden (Guardaro, Hondula, Ortiz, et al., 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022).

4.3.1.1 *Forschungsfragen*

Das Hauptziel des nachstehenden Literaturreviews liegt daher in der Ergründung, ob und inwiefern die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung in die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes (in Form von Indikatoren) miteinfließt und auf welcher Datenbasis die mit miteinbezogenen sozio-demografischen Indikatoren beruhen.

Daraus resultieren folgende Forschungsfragen:

1. Inwiefern wird die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber urbaner Hitze von Hitzevulnerabilitätsindizes berücksichtigt?
2. Welche Relevanz wird Open Data bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes in Bezug auf sozio-demografische Indikatoren zugeschrieben?

4.3.1.2 *Erstellung und Validierung des Überprüfungsprotokolls*

Das Reviewprotokoll wurde basierend auf den Leitlinien von Kitchenham und Charters (2007) sowie der Anleitung von Xiao und Watson (2017), im Zuge des Planungsprozesses des systematischen Literaturreviews erstellt und ist in überarbeiteter Version dem Anhang A zu entnehmen. Es setzt sich aus den Unterpunkten (1) Hintergrund, (2) Forschungsfragen, (3) Suchprozess, (4) Einschluss-/und Ausschlusskriterien, (5) Auswahlverfahren der Primärliteratur, (5) Qualitätsüberprüfung, (6) Datenerhebung und (7) Datenanalyse zusammen und wird durch ein Formular zur Datenextraktion (Anhang B) und ein Qualitätsbewertungsformular (Anhang C) ergänzt. Eine erweiterte Ausführung der genannten Unterpunkte ist dem jeweiligen Anhang zu entnehmen und erfolgt vertiefend in *Kapitel 4.3.2. Forschungsmethodik*.

Das Überprüfungsprotokoll wurde vor der Durchführung des Literaturreviews von drei Kommilitonen einer voneinander unabhängig durchgeführten Überprüfung unterzogen, basierend auf den Evaluierungsfragen nach Kitchenham & Charters (2007), eigens adaptiert. Diese Überprüfung resultierte in einer Nachbearbeitung des Überprüfungsprotokolls. Die Literatursuche wurde beispielsweise über die angedachten Datenbanken (1) ScienceDirect, (2) PubMed und (3) u:search um eine vierte Literaturdatenbank (4) Scopus erweitert. Überdies wurden die Keywords in Form von Suchanfragen spezifiziert und somit verbessert.

4.3.2 Forschungsmethodik

4.3.2.1 Suchstrategie

Das systematische Literaturreview mit Keyword-Suche wurde in Anlehnung an die Leitlinien von Kitchenham und Charters (2007), die Anleitung von Xiao und Watson (2017) und das systematische Review von Cheng et al. (2021) durchgeführt. Die eigentliche Literatursuche der systematischen Überprüfung erfolgte im März 2023.

4.3.2.1.1 Datenbanken

Die Literatursuche wurde in vier Datenbanken durchgeführt: (1) ScienceDirect, (2) Scopus, (3) PubMed und (4) u:search. Die Datenbanken wurden aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften ausgewählt. ScienceDirect, Scopus und PubMed zählen zu den weltweit führenden Volltext-Datenbanken und bieten eine umfangreiche Abdeckung von Artikeln aus den Forschungsbereichen der Wissenschaft im Allgemeinen, der Sozialwissenschaft sowie der Medizin (Frandsen et al., 2019; V. K. Singh et al., 2021). U:search ist hingegen eine Datenbank der Universität Wien, die durch den studentischen Zugang zur zentralen Suchmaschine der Universitätsbibliothek Wien den Zugriff auf eine Vielzahl an nationalen und internationalen Literaturquellen ermöglicht. Da ScienceDirect, Scopus und PubMed keinen kostenlosen Zugriff auf den gesamten Literaturumfang ermöglichen, werden im Zuge der Literatursuche lediglich Literaturquellen berücksichtigt, die über „Open Access“ verfügbar sind oder auf die ergänzend über u:search zugegriffen werden kann.

Um eine möglichst vollständige Literatursuche zu gewährleisten, wurde über die Suche in den Datenbanken hinausgehend, eine Rückwärtssuche durchgeführt. Diese Methode eröffnet die Möglichkeit, Arbeiten zu identifizieren, die in dem betrachteten Artikel zitiert wurden (Webster & Watson, 2002). Von einer Vorwärtssuche wurde aufgrund des Umfangs und des zusätzlichen Zeitaufwandes abgesehen.

4.3.2.1.2 Keywords

Um sicherzustellen, dass das systematische Review alle relevanten Studien beinhaltet, wurde eine Keyword-Suche durchgeführt. Die dafür verwendeten Suchanfragen sowie Keyword-Kombinationen sind der nachstehenden Tabelle 1. zu entnehmen. Die Suchanfragen wurden in den oben genannten Literaturdatenbanken durchgeführt und auf den Titel, das Abstract und die Keywords (Ausnahme: in PubMed ist das Filtern nach Keywords nicht möglich)

angewendet. Um dies zu ermöglichen wurden von der Datenbank abhängig unterschiedliche Filter und Formulierungen, wie beispielsweise „or“ auf der Plattform u:search verwendet. Die Literatursuche innerhalb der einzelnen Literaturdatenbanken wurde zur leichteren Durchsicht auf den betreffenden Zeitraum (2015 – 2023) und „Open Access“ eingegrenzt. Während die Keywords der Suchanfragen 1 und 2 wortwörtlich und in angegebener Reihenfolge im Titel, dem Abstract oder den Keywords zur näheren Betrachtung enthalten sein mussten, gestalteten sich die Suchanfragen 3 bis 5 in der Reihenfolge und dem Vorhandensein einzelner Keywords wesentlich offener.

Tabelle 1. Auflistung der verwendeten Keywords nach der Suchanfrage (1-5) samt Gesamtergebnis der als potenziell geeigneten Literaturquellen

Suchanfragen	Verwendete Keywords	Gesamtergebnis
Suchanfrage 1	„heat vulnerability index“	148
Suchanfrage 2	„heat vulnerability assessment“	38
Suchanfrage 3	heat vulnerability map	158
Suchanfrage 4	vulnerability index measure heat city	107
Suchanfrage 5	assessment urban heat vulnerability indicator	165

Das Gesamtergebnis jeder Suchanfrage lässt sich aus Tabelle1. entnehmen. Die einzelnen Suchanfragen wiesen große Unterschiede in Hinblick auf die Anzahl an potenziell relevanten Literaturquellen auf. Suchanfrage 5 wies mit 165 Treffern die höchste Anzahl an potenziell relevanten Literaturquellen auf, dicht gefolgt von Suchanfrage 3 mit 158 Treffern und Suchanfrage 1 mit 148 Treffern. Mittels Suchanfrage 2 konnten lediglich 38 Treffer erzielt werden, was einerseits darauf hindeuten könnte, dass die Suchanfrage zu konkret gestellt wurde (genaues Wording, wie angegeben) beziehungsweise der Einsatz von Wildcards zur Optimierung der Suchanfrage führen hätte können.

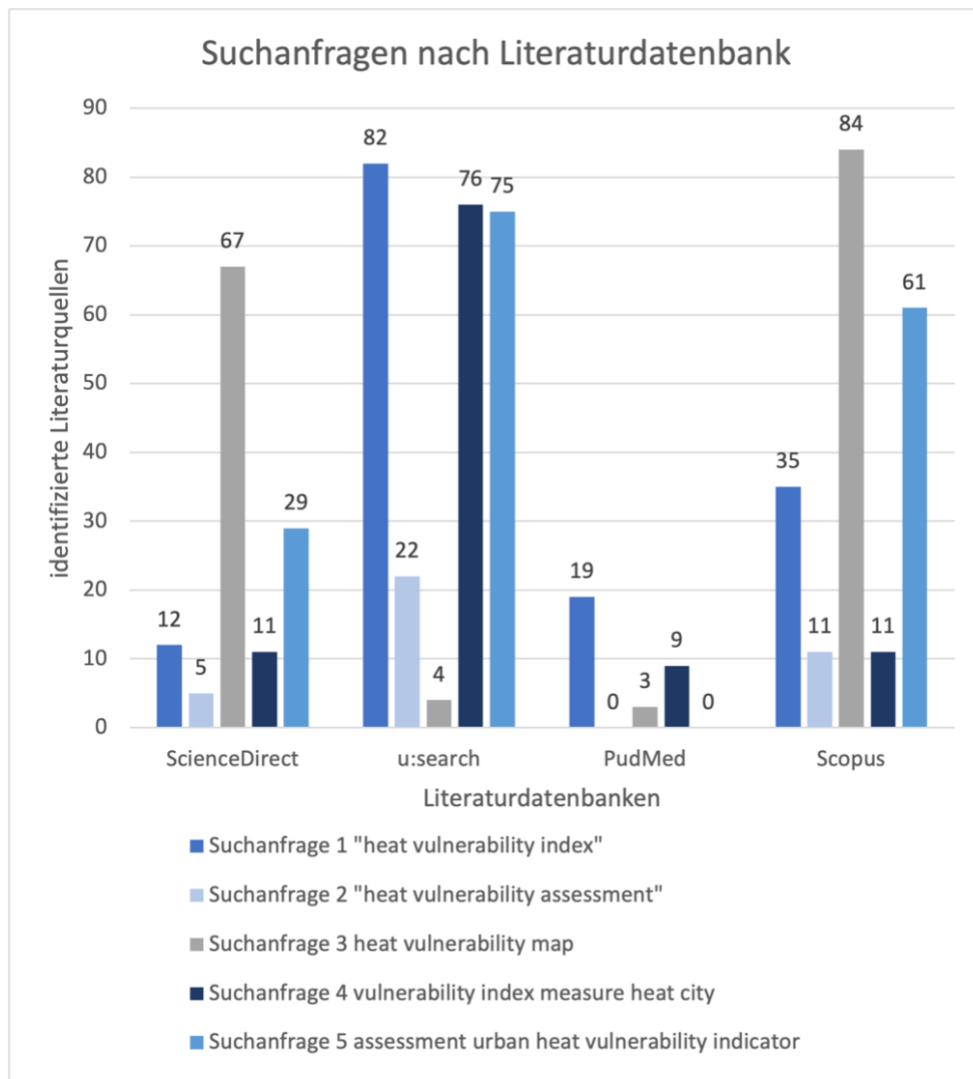


Abbildung 10. Auflistung der identifizierten potentiell geeigneten Literaturquellen nach Suchanfrage (1 bis 5) und nach Literaturdatenbank (ScienceDirect, u:search, Pubmed und Scopus) (eigene Darstellung).

In *Abbildung 10.* sind die Ergebnisse jeder Suchanfrage, sortiert nach der verwendeten Literaturdatenbank, abgebildet. Die einzelnen Suchanfragen unterschieden sich merklich in der Anzahl ihrer Treffer in Abhängigkeit von der jeweils verwendeten Literaturdatenbank. Mit Ausnahme der Suchanfragen 3 und 5 konnte keine annähernd gleiche Anzahl an potenziell relevanten Literaturquellen identifiziert werden.

Die Literaturdatenbank u:search lieferte bei den Suchanfragen 1, 4 und 5 mit Abstand die meisten Ergebnisse. Mittels Scopus wurden in Suchanfrage 3 mit 84 Treffern (insgesamt) die meisten potenziell relevanten Literaturquellen erfasst. Die Literaturdatenbank PubMed lieferte in Anbetracht aller 5 Suchanfragen die wenigsten Treffer. Während mittels Suchanfrage 1 19 potenziell relevante Literaturquellen erfasst werden konnten, lieferten die Suchanfragen 2 und 5 jeweils keinen Treffer.

4.3.2.2 *Einschluss-/Ausschlusskriterien*

Einschlusskriterien

In die Literatursuche wurden Literaturquellen in englischer und deutscher Sprache aufgenommen, die zwischen dem 12.12.2015 und dem 01.03.2023 veröffentlicht wurden und der Populärliteratur oder der Wissenschaftlichen/Fachliteratur zuzuordnen sind. Weitere Einschlusskriterien umfassen den Bezug des Hitzevulnerabilitätsindex auf „Stadt-Niveau“ sowie die namentliche Bezeichnung als „Hitzevulnerabilitätsindex“, „urbaner Hitzevulnerabilitätsindex“, „heat vulnerability index“, „urban heat vulnerability index“ und HVI sowie UHVI. Die namentliche Nennung dient vor allem zur Schaffung einer einheitlichen Vergleichsbasis.

Die Eingrenzung hinsichtlich des Suchzeitraums wurde basierend auf der Pariser Klimakonferenz im Jahr 2015 getroffen. Grund dafür ist der Fakt, dass die Pariser Klimakonferenz ein zentrales Ereignis im Kampf gegen den Klimawandel und der intensiveren Auseinandersetzung mit den Themengebieten urbane Hitze, soziale Vulnerabilität der Bevölkerung und Hitzevulnerabilität darstellt.

Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen werden alle Literaturquellen, die nicht in den Suchzeitraum fallen und weder in englischer noch in deutscher Sprache verfasst wurden. Überdies erfolgt ein Ausschluss, wenn die namentliche Nennung nicht wie definiert zu identifizieren ist und weder die Forschungsfrage noch der Forschungsprozess oder die Art und Weise der Datenextraktion und Analyse beschrieben worden sind.

4.3.2.3 *Screening-Verfahren*

Das Selektionsverfahren umfasste die folgenden vier Stufen: (1) Screening von Titel, Abstract und Keywords in den ausgewählten Literaturdatenbanken, (2) Volltext-Screening der potenziell nützlichen Literaturquellen, (3) Rückwärtssuche innerhalb nützlicher Literaturquellen und (4) erneutes Volltext-Screening der durch die Rückwärtssuche identifizierten potenziell nützlichen Literaturquellen. *Abbildung 13.* stellt das gesamte Selektionsverfahren in seinen Teilschritten, samt inkludierten und exkludierten Literaturquellen grafisch dar.

Die erste Stufe des Screening-Prozesses, die Selektion nach Titel, Abstract und Keywords ergab insgesamt eine Anzahl von 616 potenziell geeigneten Literaturquellen. Dabei variierte der Anteil der identifizierten Studien aus der Anfangssuche, dargestellt in *Abbildung 11.*, stark zwischen den vier verwendeten Literaturdatenbanken. Die meisten Literaturquellen wurden über die Literaturdatenbank u:search und Scopus gefunden. Insgesamt wurden dabei knapp 75% der Literaturquellen abgedeckt. Die Literaturdatenbanken PubMed und ScienceDirect lieferten im Vergleich, mit einem Anteil von knapp 25% an der Gesamtsumme der Studien, einen vernachlässigbaren Output. Während sich u:search mit 259 von 616 Literaturquellen als „erfolgreichste“ Datenbank erwies, ergaben die Suchanfragen auf PubMed insgesamt lediglich 31 potentiell nützliche Studien.

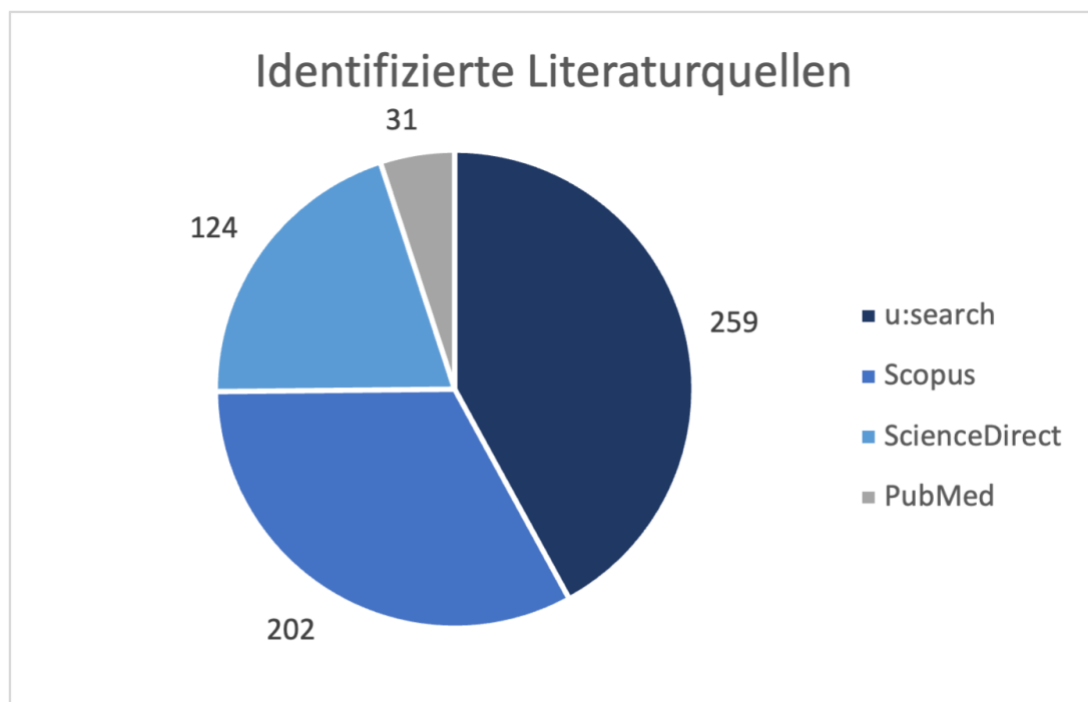


Abbildung 11. Identifizierte Literaturquellen der Anfangssuche, gegliedert nach den verwendeten Literaturdatenbanken: (1)ScienceDirect, (2)PubMed, (3)u:search und (4)Scopus (eigene Darstellung).

Nach Abschluss des Selektionsverfahrens nach Titel, Abstract und Keywords sowie nach Abgleich von Mehrfachtreffern (insgesamt 49 Studien) wurden insgesamt lediglich 53 potenziell nützliche Literaturquellen identifiziert und in das Volltext-Screening in Stufe zwei aufgenommen. Das Volltext-Screening ergab den Ausschluss von 33 Studien und somit einen Einschluss von 20 Studien. In *Abbildung 12.* werden die Kriterien dargestellt, die zu einem Ausschluss der betrachteten Studien geführt haben. In elf der 33 ausgeschlossenen Literaturquellen wurde das Wort „HVI“ oder eines seiner Synonyme nicht erwähnt. Weitere 6

Studien wiesen keinen oder nur teilweise einen Bezug auf „Stadttniveau“ auf. Insgesamt wurden 5 Literaturquellen identifiziert, deren Wording von dem gesuchten Wortlaut abweicht und weitere 6 Literaturquellen, deren Fokus auf der Erstellung anderer Indizes lag.

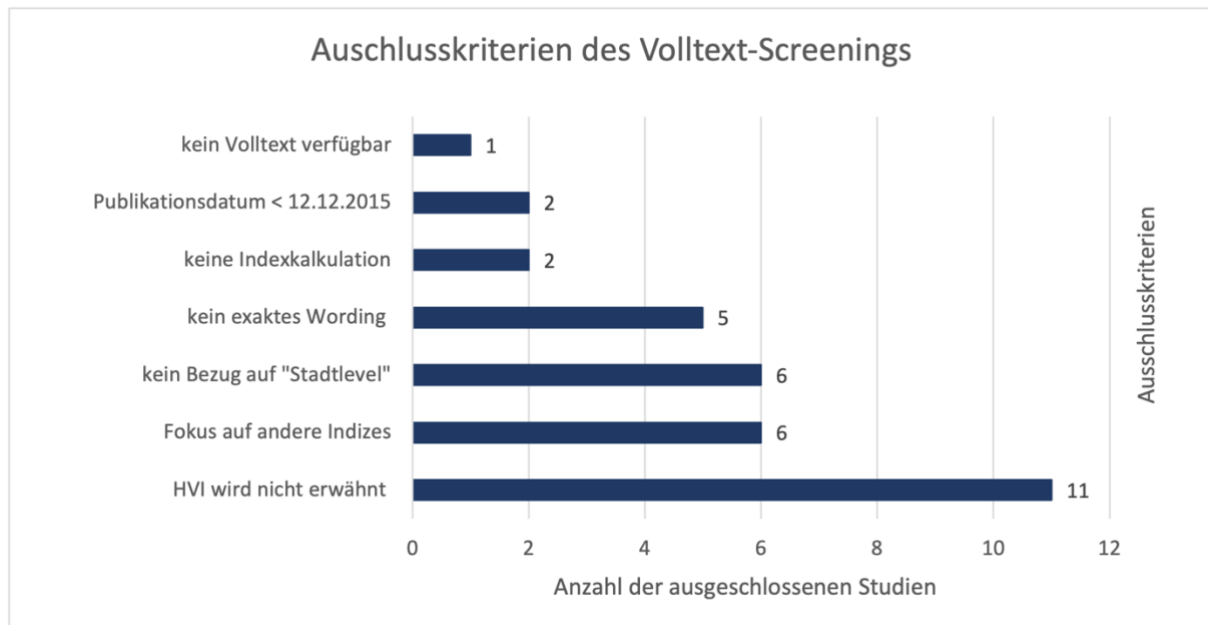


Abbildung 12. Kriterien für einen Ausschluss der Literaturquellen in der Stufe 2 des Screening-Prozesses (Volltext-Screening) (eigene Darstellung).

Die dritte Stufe des Selektionsverfahrens wurde durch eine Rückwärtssuche, auf Basis der 20 aufgenommenen Studien aus dem vorhergegangenen Volltext-Screening gebildet. Die Rückwärtssuche wurde um eine weitere Studie ergänzt, die im Zuge der vorhergegangenen Literatursuche als potenziell geeignet eingestuft wurde. Insgesamt wurden in diesem Schritt somit 21 potenzielle Studien identifiziert, von denen nach erneutem Volltext-Screening lediglich zwei Studien aufgenommen wurden.

Nach Abschluss des mehrstufigen Selektionsverfahrens ergab sich eine Summe von 22 Literaturquellen, die für das weitere systematische Literaturreview als relevant erachtet und zur Datenauswertung miteinbezogen wurden. Das Screening-Verfahren wurde dabei schrittweise auf Microsoft Excel 2016 durchgeführt und tabellarisch dokumentiert und festgehalten. Zusätzlich kam das Literaturverwaltungsprogramm Zotero zum Einsatz. Durch die gezielte Vergabe von sogenannten „Tags“ und Notizen konnten die einzelnen Literaturquellen jeder Stufe des Screening-Verfahrens zugeordnet werden.

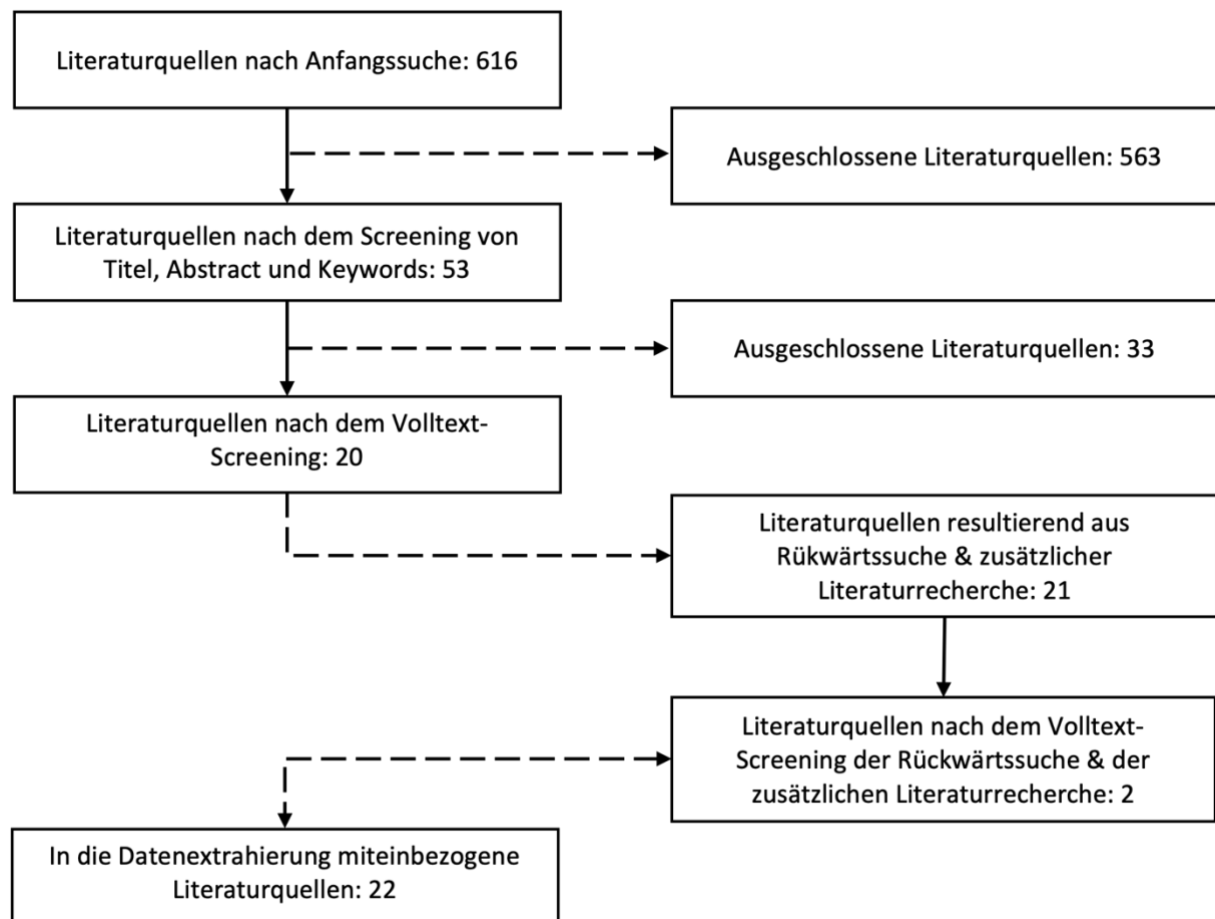


Abbildung 13. Anzahl an Literaturquellen, die in den einzelnen Stufen des Screening-Verfahrens inkludiert und exkludiert wurden (eigene Darstellung nach W. Cheng et al. (2021)).

4.3.2.4 Qualitätsbewertung

Eine Qualitätsbewertung der ausgewählten 22 Literaturquellen wurde zuzüglich durchgeführt. Das Qualitätsbewertungsformular ist dem *Anhang C* zu entnehmen und bezieht sich auf die Qualität der vorhandenen Studien in Hinblick auf die Beantwortung der beiden Forschungsfragen sowie die Aufschlüsselung der gewünschten Daten. Alle aufgenommenen Studien wurden nach Abschluss der Qualitätsbewertung für die Beantwortung der Forschungsfragen als geeignet ausgewiesen.

4.3.2.5 Datenextrahierung

Die Extrahierung der ausgewerteten Daten wurde basierend auf einem vorab erstellten Formular zur Datenextraktion ausgeführt. Das Formular zur Datenextraktion ist dem *Anhang B* zu entnehmen. Aus jeder der 22 Studien wurden im Zuge des Verfahrens (1) generelle Informationen zur Literaturquelle, (2) spezifische Informationen zur Literaturquelle sowie (3) relevante Informationen zum Forschungsgebiet extrahiert. Die generellen Informationen

umfassen neben dem Titel und den Autoren, Informationen zur Datenbasis und der konkreten Bezeichnung des Index in der behandelnden Studie. Durch die Abfrage der spezifischen Informationen wurden neben der Frage zur Klassifikation der Literaturquelle auch die betrachtete Stadt, das Land und der Kontinent ermittelt. Im letzten Teilbereich der Datenextrahierung wurden die relevanten Informationen zum Forschungsgebiet behandelt, die größtenteils zur Beantwortung der Forschungsfragen beigetragen haben. Neben einer genauen Aufschlüsselung der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren und deren Datenbasis wurden auch weitere Indikatoren in die Analyse miteinbezogen, die bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindikatoren in den betrachteten Studien zum Einsatz gekommen sind.

Ähnlich dem Screening-Verfahren kam Microsoft Excel 2016 auch bei der Datenextraktion zum Einsatz. Das Tool wurde zur Sammlung aller wichtigen Informationen, zur Datenabfrage, zur Zusammenfassung und Zusammenstellung der einzelnen Schritte sowie zur Aufbereitung und Visualisierung der Ergebnisse eingesetzt. Zusätzlich wurde Microsoft Excel 2016 zur Erstellung der Abbildung des gesamten Selektionsverfahrens inklusive aller Teilschritte verwendet.

4.3.2.6 Datenanalyse und Datenzusammenfassung

Die Datenanalyse und Datenzusammenfassung wurden ebenfalls via Microsoft Excel 2016 ausgeführt. Die daraus resultierenden Ergebnisse und Visualisierungen in Form von Tabellen und Abbildungen werden im folgenden *Unterkapitel 4.3.3 Berichterstattung des systematischen Literaturreviews* konkretisiert.

4.3.3 Berichterstattung des systematischen Literaturreviews

4.3.3.1 Bibliometrisches Grundprofil der Literaturquellen

Im Zuge der Datenanalyse und Datenzusammenfassung wurden die 22 ausgewählten Literaturquellen hinsichtlich des Publikationsjahres, dem konzeptionellen Rahmen, der Datenbank, der Klassifikation, der geographischen Position (Stadt, Land, Kontinent), der verwendeten Indikatoren und deren Datenbasis zusammengefasst (siehe Anhang B). *Abbildung 14.* zeigt die Anzahl der ausgewählten Literaturquellen, sortiert nach ihrem Publikationsdatum im Zeitraum von 12.12.2015 bis 01.03.2023. In den Jahren 2015 und 2023 wurden keine Studien identifiziert, die in den ausgewählten Zeitraum hineinfallen. Die

meisten ausgewählten Literaturquellen wurden in den Jahren 2019 und 2020 publiziert und machen mit knapp 55 Prozent mehr als die Hälfte aller analysierten Studien aus. Von 2020 auf 2021 konnte eine deutliche Verringerung der ausgewählten Literaturquellen festgestellt werden, die sich im darauffolgenden Jahr wieder umkehrte. Alle ausgewählten Literaturquellen konnten der Kategorie „fachliche/wissenschaftliche Literatur“ zugeordnet werden.



Abbildung 14. Anzahl der ausgewählten Literaturquellen nach Jahr, im Zeitraum von 12.12.2015 bis 01.03.2023 (eigene Darstellung).

Die meisten Studien wurden in Asien durchgeführt (elf Studien, 55%), gefolgt von Nordamerika (fünf Studien, 23 %) und Südamerika (drei Studien, 14 %). Europa, Australien und Afrika waren in dem vorliegenden systematischen Literaturreview mit insgesamt drei Studien unterrepräsentiert (siehe *Abbildung 15.*). Der siebente Kontinent, die Antarktis, wurde bewusst aus der Abbildung ausgeschlossen, da dieses Gebiet nicht besiedelt ist.

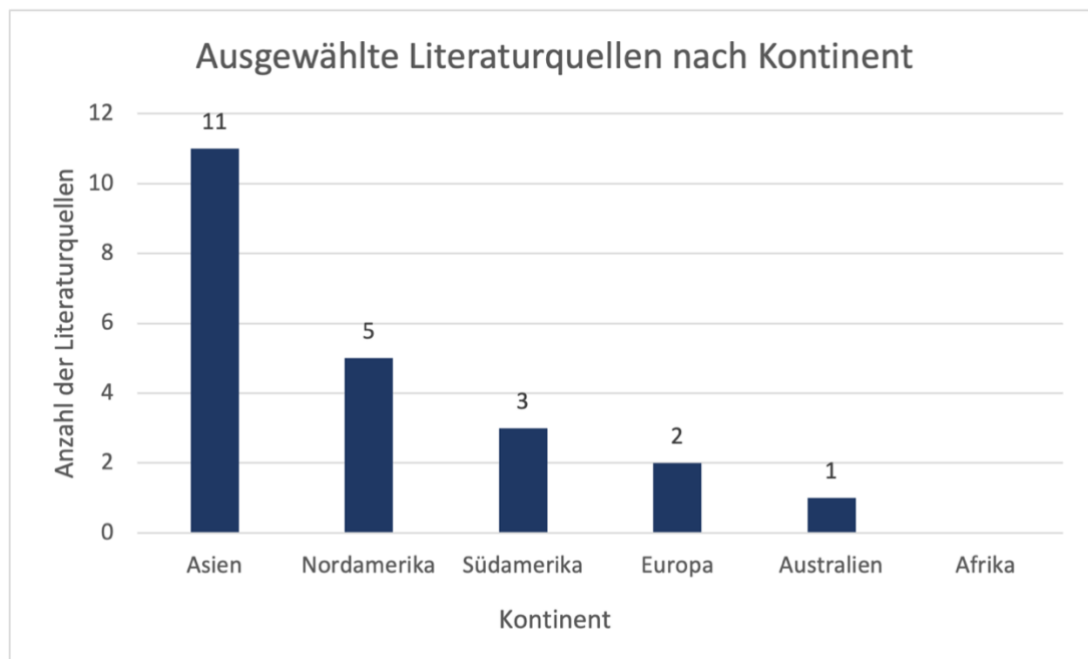


Abbildung 15. Anzahl der ausgewählten Literaturquellen nach Kontinent (eigene Darstellung).

Auf Länderebene konnten 22 unterschiedliche Staaten miteinbezogen werden. Lediglich drei dieser Staaten USA (fünf Studien), China (drei Studien) und Pakistan (zwei Studien) waren mehrfach durch unterschiedliche Studien im systematischen Literaturreview vertreten. Auf Stadtebene bezogen sich 19 Studien auf lediglich eine ausgewählte Stadt und drei Studien auf drei oder mehr Städte. Eine Ausnahme bildete die Studie von Estoque et al. (2017), die das aktuelle Gesundheitsrisiko der Einwohner*innen von 139 philippinischen Städten bewertete.

4.3.3.2 Konzeptioneller Rahmen

Das Konzept des Risikos oder der Gefahr spielt für die Konstruktion von Hitzevulnerabilitätsindizes eine zentrale Rolle (W. Cheng et al., 2021). Die ausgewählten Studien wiesen in Bezug auf den konzeptionellen Rahmen große Unterschiede auf. Aus *Abbildung 16*. kann die Basis der Indexkonstruktion entnommen werden. 45 Prozent aller Studien (10 Studien) nannten sowohl das zugrundeliegende Konzept des Risikos oder der Gefahr sowie Autoren, die für die Konstruktion des Hitzevulnerabilitätsindex entscheidend waren. In fünf Literaturquellen wurde der konzeptionelle Rahmen durch einen Verweis auf die Arbeit anderer Autoren gebildet, drei Studien basierten lediglich auf der Definition eines Konzepts. In vier Literaturquellen wurden weder Autoren noch Konzepte genannt, der konzeptionelle Rahmen wurde aus dem Kontext gebildet.

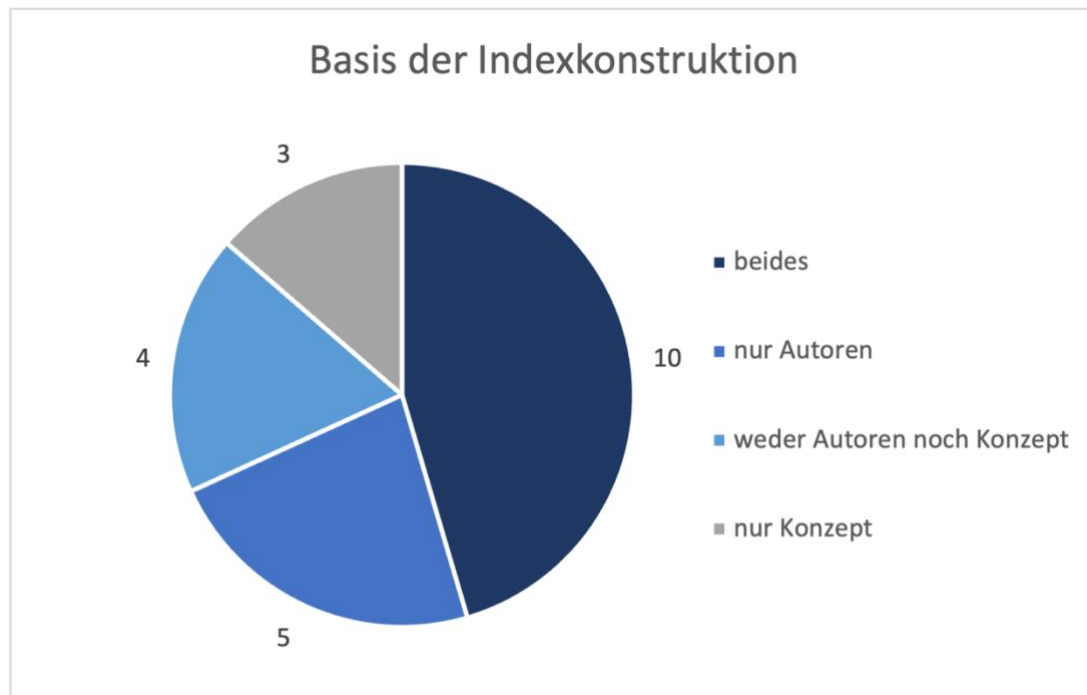


Abbildung 16. Basis der Studien zur Konstruktion von Hitzevulnerabilitätsindizes gegliedert nach: (1) Konzept, (2) Autoren, (3) weder Autoren noch Konzept und (4) beides (eigene Darstellung).

Von den zehn Studien, die sowohl das Konzept als auch wichtige Autoren zur Erstellung des Index nannten, bezogen sich sechs Studien auf einen der Bewertungsberichte des IPCC. Insgesamt wurden auf vier weitere Arbeiten/Autoren referiert. Bezugnehmend auf die verwendeten Konzepte, wurde vorrangig (von 50 Prozent der Studien) die Gleichung der Verwundbarkeit der Bevölkerung (siehe auch *Kapitel 2.3.6.*) als Basis zur Indexkonstruktion genannt.

4.3.3.3 Indikatoren zur Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes

In der Hitzevulnerabilitätsforschung existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Indikatoren, die in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes miteinfließt und den Output stark beeinflusst (F. Li et al., 2022). Indikatoren bilden somit die Basis für die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes. Im Zuge des systematischen Reviews wurden 22 Studien ausgewählt und einer weiterführenden Datenanalyse und Datenextraktion unterzogen. Insgesamt wurden 82 unterschiedliche Indikatoren bei der Auswertung der Literaturquellen identifiziert (siehe *Abbildung 17.*). In etwa $\frac{3}{4}$ der verwendeten Indikatoren konnte den Kategorien „sozio-demografisch“ (24 Indikatoren), „bebaute Umwelt“ (21 Indikatoren) und „klimatisch und geographisch“ (19 Indikatoren) zugeordnet werden. Das übrige $\frac{1}{4}$ ließ sich in

die Kategorien „weitere“ (sieben Indikatoren), „demografisch“ (vier Indikatoren), „Institutionell“ (fünf Indikatoren) und „ökonomisch“ (zwei Indikatoren) unterteilen.

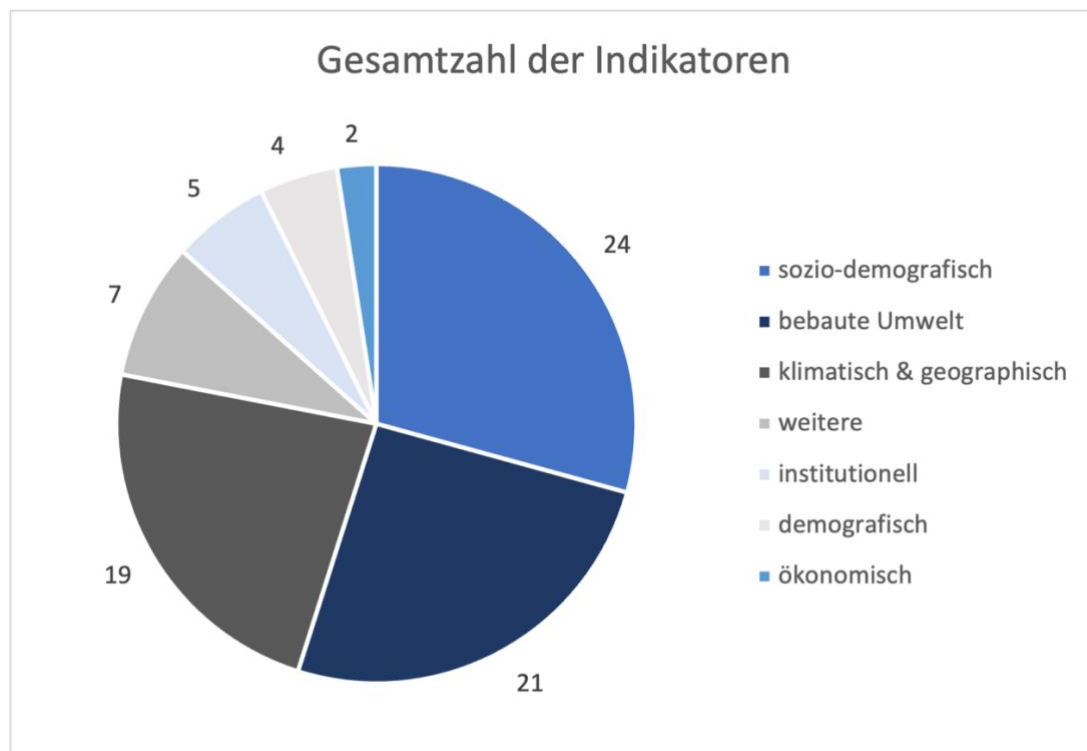


Abbildung 17. Abbildung der Anzahl der verwendeten Indikatoren, gegliedert nach Art der Indikatoren (eigene Darstellung).

Wie *Abbildung 18.* bildlich darstellt, wurden im Durchschnitt zehn Indikatoren zur Entwicklung eines Hitzevulnerabilitätsindex verwendet. 50 Prozent der Studien bezogen mehr als zehn Indikatoren in die Kalkulation mit ein, während die übrigen 50 Prozent jeweils auf den Einsatz von weniger als 10 Indikatoren setzten. Jeweils drei Studien verwendeten zur Indexerstellung elf oder fünf Indikatoren. Weitere zehn Studien (jeweils zwei) basierten auf dem Einsatz von 15, dreizehn, zwölf, acht oder sieben Indikatoren. Lediglich eine Studie verwendete zur HVI-Entwicklung 14 Indikatoren, eine neun und eine drei.

Die meisten Indikatoren, insgesamt 20, wurden in der Studie „A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Urbanites of Four Cities of India“ (Rathi et al., 2022) verwendet. Gefolgt von den Studie von Bodilis et al. (2018) und Prosdociami & Klima (2020), die ihre Indexerstellung auf Grundlage 15 unterschiedlicher Indikatoren bewerkstelligte. Im Gegensatz dazu bezogen Cai et al. (2019) lediglich drei Indikatoren in die Bewertung der Hitzeanfälligkeit in Chongqing ein, was gleichzeitig das Minimum an verwendeten Indikatoren darstellte.

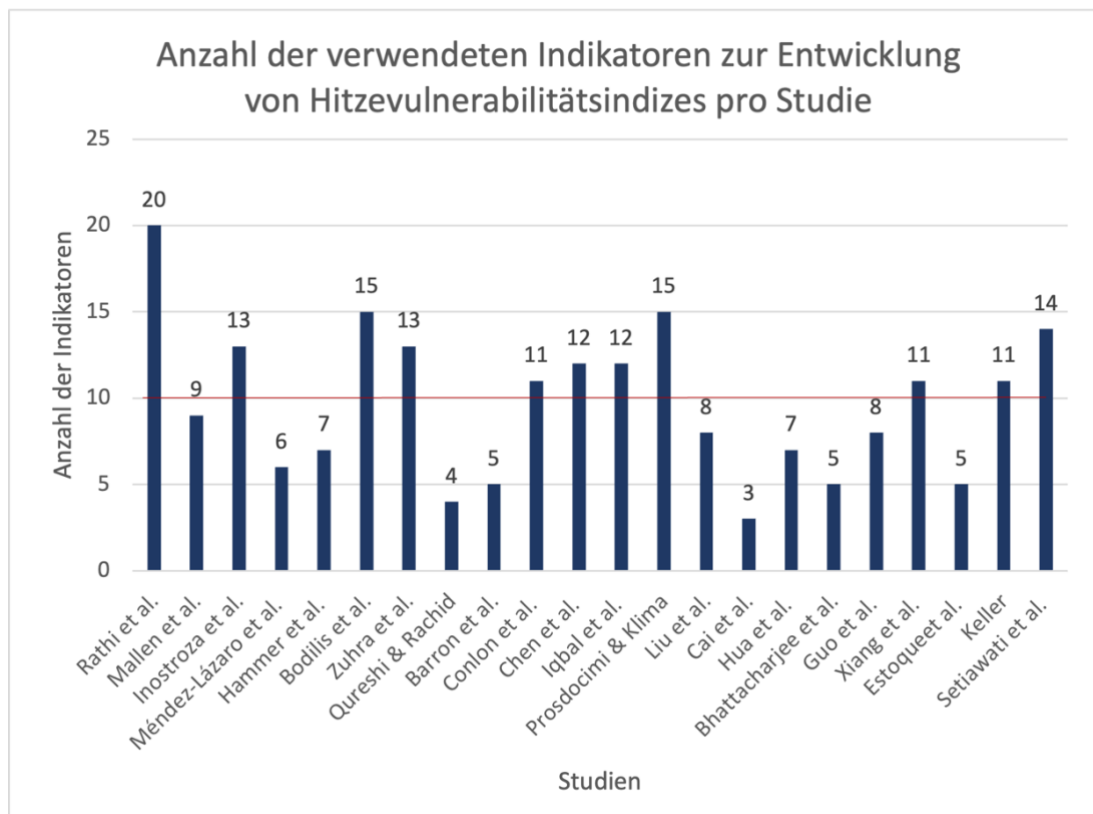


Abbildung 18. Abbildung der Anzahl der verwendeten Indikatoren zur Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes pro Studie. Die Studien wurden nach ihrem Platz in der Auswertungstabelle auf Microsoft Excel nummeriert. Die rote Linie symbolisiert die durchschnittliche Anzahl der verwendeten Indikatoren (eigene Darstellung).

Auf Grundlage der Gesamtanzahl aller verwendeten Indikatoren der 22 ausgewerteten Studien konnte die durchschnittliche Anzahl der verwendeten Indikatoren nach Kategorie ermittelt werden. Im Durchschnitt wurden, wie in *Abbildung 18*. dargestellt, 9,7 Indikatoren (gerundet 10 Indikatoren) für die Erstellung eines Hitzevulnerabilitätsindex verwendet. Sozio-demografische Indikatoren wurden mit einer durchschnittlichen Anzahl von 4,9 Indikatoren pro Studie am häufigsten in die Indexentwicklung integriert. Klimatische und geographische Indikatoren sowie Indikatoren der bebauten Umwelt wurden ebenfalls im Durchschnitt öfter als einmal pro Studie verwendet. Demografische Indikatoren, Institutionelle Indikatoren und weitere, nicht zuordenbare Indikatoren wurden im Schnitt lediglich in jeder zweiten Studie verwendet. Ökonomische Indikatoren kamen in den 22 ausgewerteten Literaturquellen eingeschränkt zum Einsatz. Mit einer durchschnittlichen Anzahl von 0,1 ökonomischen Indikatoren pro Studie (3-mal verwendet in 22 Studien) spielte dieser Faktor eine untergeordnete Rolle.

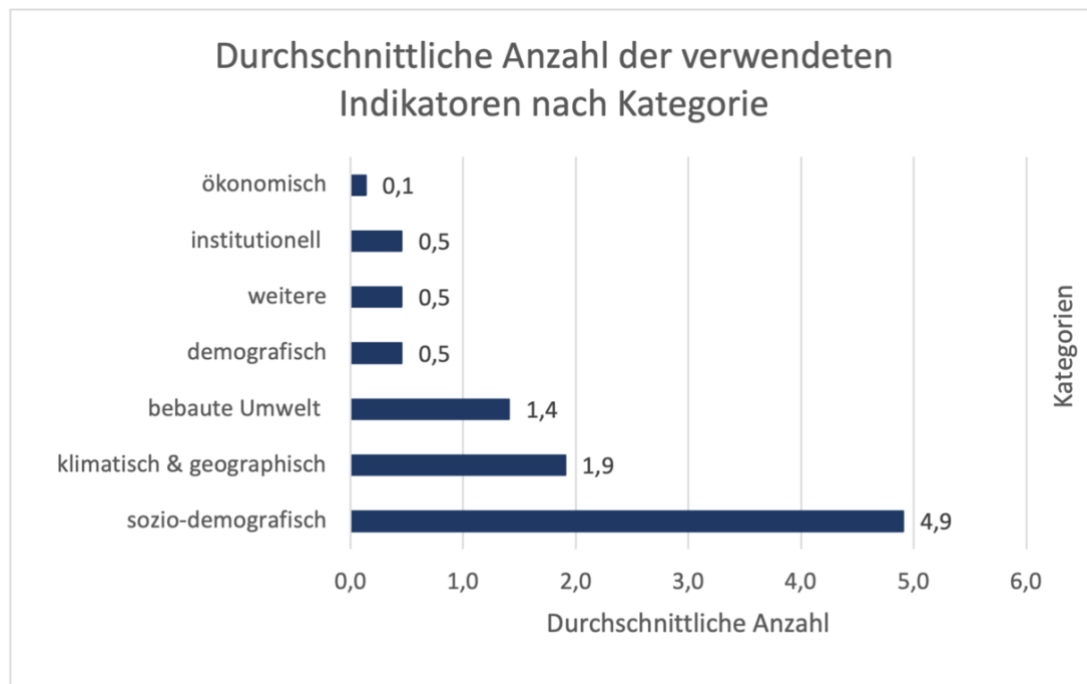


Abbildung 19. Abbildung der durchschnittlichen Anzahl der verwendeten Indikatoren pro Kategorie (eigene Darstellung).

Die Auswertung aller vorhandenen Literaturquellen ergab überdies, dass lediglich neun der 22 Studien soziale Vulnerabilität im Zuge ihrer Arbeit diskutierten und „aktiv“ in der Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung berücksichtigten. In den übrigen dreizehn Studien wurde die soziale Vulnerabilität nicht explizit erwähnt.

4.3.3.3.1 Indikatoren der bebauten Umwelt, ökonomische, demografische, klimatische und geographische, institutionelle und weitere, nicht genau zuordenbare Indikatoren

Wie bereits im vorhergegangenen Kapitel dargestellt, wurden im Zuge der Auswertung des systematischen Reviews 82 Indikatoren identifiziert, die zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes in den betrachteten 22 Studien verwendet wurden. Die folgende Übersichtstabelle (*Tabelle 2.*) stellt die einzelnen Indikatoren kategorisiert nach der Art des Indikators dar, samt Erläuterung und der Anzahl an Studien, die den jeweiligen Faktor in ihre Kalkulation mitaufgenommen hatten. Die Tabelle enthält Informationen zu klimatischen und geographischen Indikatoren, institutionellen Indikatoren, ökonomischen Indikatoren, demografischen Indikatoren, Indikatoren der bebauten Umwelt und weiteren, nicht eindeutig zuordenbaren Indikatoren. Die sozio-demografischen Indikatoren sind in dieser Übersichtstabelle nicht enthalten und werden in der nachfolgenden Tabelle (*Tabelle 3.*) etwas detaillierter dargestellt und erläutert. Unter Berücksichtigung der Mehrfachverwendung eines

Indikatoren innerhalb einer Studie sowie unter den Studien wurden sozio-demografische Indikatoren mit insgesamt 108-mal am häufigsten verwendet. Klimatologische und geographische Indikatoren fanden am zweithäufigsten Einbeziehung (insgesamt 42-mal) in die Hitzevulnerabilitätsindexerstellung. Indikatoren der bebauten Umwelt wurden 31-mal eingesetzt, institutionelle Indikatoren, demografische Indikatoren und weitere Indikatoren insgesamt lediglich 30-mal. Als vernachlässigbar entpuppten sich ökonomische Indikatoren mit einer Gesamtanzahl der Verwendungen zur Indexerstellung von drei.

Tabelle 2. Übersichtstabelle der identifizierten klimatischen und geographischen Indikatoren, institutionellen Indikatoren, ökonomischen Indikatoren, demografischen Indikatoren, Indikatoren der bebauten Umwelt und weiteren, nicht eindeutig zuordenbaren Indikatoren nach der Art des Indikators, sowie der Anzahl an Verwendungen und einer Erläuterung.

Klassifikation nach Art des Indikators	Anz.	Erläuterung
Sozio-demografische Indikatoren (Σ 108)		
weitere Erläuterung in folgender Tabelle (Tabelle 3.)		
Klimatische und geographische Indikatoren (Σ 42)		
Temperatur der Landoberfläche (LST)	10	Temperatur der Landoberfläche in °C
Begrünung	7	Begrünung als Dummy-Variable, Anteil an Begrünung in %
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	5	Normalized Difference Vegetation Index (-1 bis +1)
Wasserflächen	2	Wasserflächen als Dummy-Variable, Anteil an Wasserflächen in %
Bodenbedeckung	2	Klassifizierung der Bodenbedeckung
Bäume	2	Vorhandensein von Bäumen
Relative Feuchtigkeit	2	relative (Luft-)Feuchtigkeit in g/m ³
baumfreies Kronendach	1	Vorhandensein eines "baumfreien Kronendachs"
nicht begrünt, einschließlich Wasser	1	Anteil der nicht begrünten Fläche in %
unbewegliche Oberfläche	1	Anteil an unbeweglicher Oberfläche in %
Geschoßflächenzahl (FAR)	1	Verhältnis der Gesamtgeschoßfläche zur Fläche des Bauplatzes
Städtische Oberflächenrauigkeit (USR)	1	Städtische Oberflächenrauigkeit in μ m
Lufttemperatur	1	Lufttemperatur in °C, Anzahl an Tagen über 38 °C
Verkehrsemissionen	1	Verkehrsemissionen in t
Gasemissionen	1	Gasemissionen in t
Vegetationsdichte	1	Anteil der Vegetation an der Gesamtfläche in %
Windgeschwindigkeit	1	Windgeschwindigkeit in m/s
Sonneneinstrahlung	1	Sonneneinstrahlung in W/m ²
sky view factor (SVF)	1	sky view factor (0-1)
Indikatoren der bebauten Umwelt (Σ 31)		
Klimaanlagen & Kühlanlagen	5	Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlagen und Kühlanlagen
Gebäudealter & -zustand	3	Gebäudealter in Jahren, Gebäudezustand nach Kategorien
Materialien	2	Unterschiedliche Arten von (Bau-)Materialien
Straßen	2	km & km ² Straßen pro Zählbezirk

Wohnpreis & Wert der Wohneinheit	2	Wohnpreis & Wert der Wohneinheit in unterschiedl. Währungen
Distanz zur nächsten Straße	2	Distanz zur nächsten Straße in km
Hohe Gebäude	1	Anzahl an hohen Gebäuden
Industrieknotenpunkte	1	Anzahl an Industrieknotenpunkten
Verkehrsknotenpunkte	1	Anzahl an Verkehrsknotenpunkten
Dachtyp	1	Unterschiedliche Dachtypen
Distanz zum Stadtzentrum	1	Distanz zum Stadtzentrum in m & km
Wegdichte	1	Wegdichte in km ²
Distanz zu Wasser	1	Distanz zum nächsten Wasser in km
zusammenhängendes Stadtgebiet	1	zusammenhängendes Stadtgebiet in km ²
Bebaute Fläche	1	Anteil an bebauter Fläche in %
Energieverbrauch	1	Energieverbrauch in kWh
Anteil der Gewerbeflächen	1	Anteil an Gewerbefläche in %
Abfallwirtschaft	1	Vorhandensein von Abfallwirtschaft
Abfall auf der Straße	1	Vorhandensein von Abfall auf der Straße
Straßenbeleuchtung	1	Vorhandensein von Straßenbeleuchtung
Gehsteig/ Gehweg	1	Vorhandensein von Gehsteigen/ Gehwegen
Institutionelle Indikatoren (Σ 10)		
Wasserversorgung	6	Anteil der Bevölkerung mit Zugang zur Wasserversorgung in %
Gemeinschaftsschulen	1	Vorhandensein von Gemeinschaftsschulen
"kühle" Zentren/ Orte	1	Vorhandensein von "kühlen" Zentren/ Orten
Gesundheitszentren	1	Vorhandensein von Gesundheitszentren
Schwimmbäder und Wasserspielplätze	1	Vorhandensein von Schwimmbädern und Wasserspielplätzen
Demografische Indikatoren (Σ 10)		
Bevölkerungsdichte	5	Anzahl der Einwohner*innen pro Fläche
Wohndichte	2	Anzahl der Bewohner*innen pro Hektar
Einwohnerzahl	2	Einwohnerzahl einer Stadt
Abhängigkeitsquote	1	Abhängigkeitsquote von älteren Personen & Kindern
weitere Indikatoren (Σ 10)		
Elektrizität/Energie	4	Elektrizität als Dummy-Variable, Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu Elektrizität in %
Zeit im Freien	1	Zeit im Freien als Dummy-Variable
Sommergewand	1	Sommergewand als Dummy-Variable
Zeitreduktion draußen	1	Zeitreduktion draußen als Dummy-Variable
Sicherheitsausrüstung	1	Sicherheitsausrüstung als Dummy-Variable
vermehrtes Trinken	1	vermehrtes Trinken als Dummy-Variable
Zeit unter direkter Sonneneinstrahlung	1	Zeit unter direkter Sonneneinstrahlung als Dummy-Variable
Ökonomische Indikatoren (Σ 3)		
Pro-Kopf-Einkommen	2	Pro-Kopf-Einkommen in unterschiedlicher Ausprägung
Stadtnettoeinkommen	1	Nettoeinkommen unterschiedlicher Städte

Innerhalb der klimatischen und geographischen Indikatoren fanden hauptsächlich die Faktoren Temperatur der Landoberfläche und Begrünung sowie der Normalized Difference Vegetation Index mehrfache Verwendung. Von den 19 identifizierten Indikatoren wurden jedoch insgesamt nur sieben Indikatoren mindestens zweimal verwendet. Etwa 30% der 21 Indikatoren zur Abbildung der bebauten Umwelt erfuhren eine Mehrfachverwendung. Fünf Studien bezogen die Ausstattung von Gebäuden mit Klimaanlage und Kühlanlagen in ihre Indexerstellung mit ein und weitere dreimal wurde das Gebäudealter/der Gebäudezustand als wichtiger Faktor genannt. Unter den institutionellen, demografischen und weiteren Indikatoren stachen insbesondere die Faktoren Wasserversorgung (sechsfache mit in Bezugnahme), Bevölkerungsdichte (fünffache mit in Bezugnahme) und Elektrizität/Energie (vierfache mit in Bezugnahme) aus der Übersichtstabelle hervor.

4.3.3.4 Sozio-demografische Indikatoren

4.3.3.4.1 Allgemeine Übersicht

Tabelle 3. Übersichtstabelle der sozio-demografischen Indikatoren, gegliedert nach den einzelnen Indikatoren samt Anzahl der Verwendungen und studienspezifischer konkreter Erläuterung.

Erläuterung der identifizierten Indikatoren	Anz.
Alter	(Σ 19)
Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren in %	9
Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren und unter 5 Jahren in %	3
Durchschnittsalter des Haushalts in Jahren	1
Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren und unter 4 Jahren in %	1
Anteil der Altersgruppen unter 14 Jahren und über 65 Jahren	1
Anteil der Altersgruppen unter 15 Jahren und über 65 Jahren	1
Altersindex	1
Einwohner*innen pro Hektar nach Altersgruppe	1
sozial vulnerable alte Menschen im Sommer	1
Bildung	(Σ 13)
Anteil der Bevölkerung mit Grundbildung und niedrigem Bildungsabschluss in %	3
Anteil der Einwohner*innen pro Hektar mit niedriger Bildung in %	1
Anteil der eingeschriebenen Bevölkerung in öffentlichen Schulen (Kindergarten bis 12. Klasse) in %	1
Anteil der Bevölkerung mit Hochschulabschluss in %	1
Analphabetenrate	1
Anteil an Analphabeten (15 Jahre oder älter) in %	1
Anteil der Bevölkerung mit 25 Jahren oder älter ohne Hochschulabschluss in %	1
Durchschnittliches Bildungsniveau der Bevölkerung in %	1
(1) % Anteil der Bevölkerung mit niedrigem Schulabschluss < HS (2) %satz der Bevölkerung mit Hochschulbildung oder höher (3) Anteil der Analphabeten an der Bevölkerung (Analphabetismus)	1

(1) Anzahl an Analphabeten (15 J oder älter), (2) geringerer Abschluss als "High school"	1
Kategorisierung des Bildungsniveaus in unterschiedliche Kategorien	1
Gesundheit/Krankheit	(Σ 11)
Krankheitsquote der älteren Bevölkerung, Anzahl der Herz-Kreislauf-Patienten, Asthma-Patienten und sonstige Atemwegserkrankungen ohne Asthma	2
Anteil der Bevölkerung der Fürsorge braucht in %	1
Anteil der Bevölkerung mit Vorerkrankungen in %, Anteil der Bevölkerung mit einer Krankenversicherung in %	1
Anteil der Bevölkerung mit bestehender Vorerkrankung in %	1
Anteil der Senioren mit gesundheitlicher Beeinträchtigung in %	1
Anteil der Erwachsenen nach Krankheiten in %	1
Anzahl der Haushaltsmitglieder mit Diabetes, Anzahl der Personen mit Hypertension	1
Anteil der Erwachsenen mit Asthma, obstruktiver Lungenkrankheit, koronarer Herzkrankheit, Diabetes, Fettleibigkeit oder Bluthochdruck in %	1
Anteil der Bevölkerung ohne Krankenversicherungsschutz in %	1
Anzahl der Personen mit Diabetesprävalenz	1
Armut	(Σ 8)
Anteil der Bevölkerung unter der Armutsgrenze in %	4
Armutsrate	3
Anteil der Bevölkerung, der von Armut betroffen ist in %	1
Familienstand	(Σ 7)
Anzahl an alleinlebenden Personen	5
Anteil der alleinlebenden Bevölkerung in %	1
Anteil der Einwohner*innen pro Hektar mit dem Beziehungsstatus "Single" in %	1
Einkommen	(Σ 6)
durchschnittliches Jahreseinkommen pro Haushalt (unterschiedliche Währungen)	3
Anteil der Menschen in Haushalten mit geringem Einkommen in %, Anteil der Haushalte mit geringen Einkommen im Vergleich zu allen Haushalten in %, Anzahl der Personen in Haushalten mit geringem Einkommen und Anzahl an Haushalten mit geringem Einkommen	1
Anzahl an Haushalten mit geringem Einkommen	1
verfügbares Einkommen (unterschiedliche Währungen)	1
Ethnizität und Rasse	(Σ 6)
Anteil der Bevölkerung mit einer anderen Ethnizität als "weiß" in %	5
Kategorisierung der Bevölkerung nach unterschiedlichen Rassen	1
soziale Isolation	(Σ 5)
65 Jahre oder älter & allein	4
60 Jahre oder älter & allein	1
Medizinische Versorgung	(Σ 4)
Anteil der Bevölkerung mit einem Zugang zu Krankenhäusern in %	1
Anteil der Bevölkerung mit einem Zugang zu med. Dienstleistungen in %	1
Entfernung des Schwerpunkts des bebauten Gebiets im Zählungsblock zum nächstgelegenen Gesundheitsversorgungszentrum in m	1
Ihca = Flächenverhältnis innerhalb eines bestimmten Bezirks	1

Haushalt	(Σ 4)
Haushaltsgröße nach Anzahl	1
Haushaltsgröße in %	1
Haushaltszusammensetzung	1
Anteil der nicht alleinstehenden Haushalte in %	1
Kommunikations- und Informationszugang	(Σ 3)
Anteil der Haushalte mit Internetanschluss in %	1
Anteil der Haushalte mit Mobiltelefon, Festnetztelefon, Internetanschluss und Computer in %	1
Anteil der Haushalte mit einem Zugang zu Informationen in %	1
Sprachkenntnisse	(Σ 3)
Anzahl der Haushalte mit limitierten Englisch Sprachkenntnissen	2
Anteil der Bevölkerung mit der Muttersprache Portugiesisch in %	1
Minderheiten	(Σ 3)
Anteil der Bevölkerung "Aborigine" in %	2
Anteil der Bevölkerung, der einer Minderheit zugehört in %	1
Beschäftigung	(Σ 3)
Anteil der Einwohner*innen/Hektar ohne dauerhafte Arbeit in %	1
Anteil der Bevölkerung, der im Freien arbeitet in %	1
Kategorisierung der Bevölkerung nach unterschiedlichen Berufsklassen	1
Eigentum	(Σ 2)
Eigentumsverhältnisse in %	1
Bevölkerung im öffentlichen Mietwohnungsbau in %	1
Körperliche und geistige Beeinträchtigung	(Σ 2)
Anzahl der Einwohner*innen pro Hektar mit Beeinträchtigung	2
Geschlecht	(Σ 2)
Geschlechterverhältnis in %	1
Frauenanteil in %	1
Nachbarschaft	(Σ 1)
Hilfe von Nachbarn als Dummy-Variable	1
Zugang zu "kühlen" Orten	(Σ 1)
Anteil der Bevölkerung mit einem Zugang zu "kühlen Orten" in %	1
Kombination aus Alter und Bildung	(Σ 1)
Kombination aus 15 Jahre oder älter & niedrigem Bildungsniveau in %	1
Wohngegend	(Σ 1)
Haushalte in "schlechter" Gegend in %	1
Kombination aus Alter und Gesundheit	(Σ 1)
Anteil der "ungesunden" Bevölkerung über 60 Jahre in %	1
Sensibilität	(Σ 1)
Anteil der "sensiblen" Bevölkerung in %	1
Zugang zum Abwassernetz	(Σ 1)
Anteil der Bevölkerung mit einem Zugang zum Abwassernetz in %	1

Eine präzise Auflistung aller identifizierten sozio-demografischen Indikatoren samt einer studienspezifischen Erläuterung des jeweiligen Faktors sowie der Darstellung der Gesamtanzahl an Verwendungen ist *Tabelle 3.* zu entnehmen. Die sozio-demografischen Indikatoren Alter, Bildung und Gesundheit wurden vermehrt zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes verwendet, während beispielsweise das Geschlecht, die Wohngegend oder die Nachbarschaft kaum miteinbezogen wurden. Von den 24 identifizierten sozio-demografischen Indikatoren kamen lediglich sieben Indikatoren öfter als fünfmal zum Einsatz und wurden daher eingehendere besprochen. Die sozio-demografischen Indikatoren (1) Alter, (2) Bildung, (3) Gesundheit, (4) Armut, (5) Familienstand, (6) Einkommen und (7) Ethnizität und Rasse wurden insgesamt 70-mal bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes berücksichtigt. Die restlichen Faktoren wurden aufgrund ihrer vernachlässigbaren Stellung nicht weiter diskutiert, lassen sich jedoch bei tiefergreifendem Interesse der *Tabelle 3.* entnehmen.

Der Faktor Alter wurde insgesamt 19-mal in die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes miteinbezogen. Dabei gab es erkennbare Unterschiede in Art und Weise wie Alter definiert und verwendet wurde. In neun Studien wurde bei der Kalkulation des Alters lediglich der Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren (in %) als erwähnenswert erachtet. Weitere drei Studien bezogen zur Klassifizierung der Bevölkerung nach dem Alter darüber hinaus noch den Anteil der Bevölkerung unter fünf Jahren (in %) mit ein. Die Bildung wurde insgesamt dreizehnmal zur Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung verwendet, wenngleich basierend auf elf unterschiedlichen Definitionen. Drei der Studien integrierten die Bildung über den Anteil der Bevölkerung mit Grundbildung und niedrigem Bildungsabschluss (in %) in ihre Berechnungen. Bezugnehmend auf die anderen Studien gab es große Unterschiede in der Art und Weise wie die Bildung klassifiziert wurde und welche Bevölkerungs- und Altersgruppen relevant erschienen. Gesundheit als Indikator konnte elfmal identifiziert werden. Die einzelnen Studien setzen auf unterschiedliche Ansätze, um die Gesundheit in die Erstellung eines HVI zu integrieren. Unterschiede konnten zum einen in Hinblick auf die miteinbezogene Bevölkerung getroffen werden. Während sich beispielsweise vier Studien auf den Anteil der Bevölkerung konzentrierten, inkludierten jeweils zwei Studien den Anteil der Senioren/der älteren Bevölkerung und den Anteil an Erwachsenen in ihre Indexerstellung. Zum anderen bezogen die verschiedenen Studien unterschiedliche Krankheitsbilder, Vorerkrankungen oder allgemeine gesundheitsbezogene Informationen mit ein. Der Faktor Armut wurde insgesamt achtmal

verwendet, wobei sich insgesamt vier Studien auf den Anteil der Bevölkerung unter der Armutsgrenze (in %), drei Studien auf die Armutsrate und eine weitere Studie auf den Anteil der Bevölkerung, der von Armut betroffen ist (in %) bezogen. Der Familienstand konnte in sieben Studien identifiziert werden, wobei in diesem Kontext insbesondere die Anzahl an alleinlebenden Personen (fünfmal verwendet) hervorzuheben ist. Der Indikator Einkommen wurde insgesamt sechsmal verwendet. Drei Studien bezogen sich dabei auf das durchschnittliche Jahreseinkommen pro Haushalt. Ethnizität und Rasse spielte in der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes mit sechs Verwendungen eine nennenswerte, aber vernachlässigbare Rolle. Fünfmal wurde der Bezug zur Hautfarbe in Form des Anteils der Bevölkerung mit einer anderen Ethnizität als "weiß" (in %) hergestellt.

4.3.3.4.2 Datenbasis

Im Zuge der 22 analysierten Studien wurden die 24 identifizierten sozio-demografische Indikatoren insgesamt 108-mal in die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes miteinbezogen. Die Auswertung der zugrundeliegenden Daten ergab klare Unterschiede in der Datenbasis, die bildlich in *Abbildung 19* dargestellt wurden. 89-mal wurde die Datengrundlage durch offenen Zugriff auf Fremddaten (=Open Data) gebildet. In neun Fällen konnte die Datengrundlage nicht klar bestimmt werden, was beispielsweise mit sprachlichen Barrieren oder unübersichtlichen Webseiten in Verbindung gebracht werden konnte. Lediglich fünfmal wurden sozio-demografische Indikatoren aus eigenen Erhebungen im Zuge einer Studie generiert und viermal bestand kein offener Zugang zur Datengrundlage.

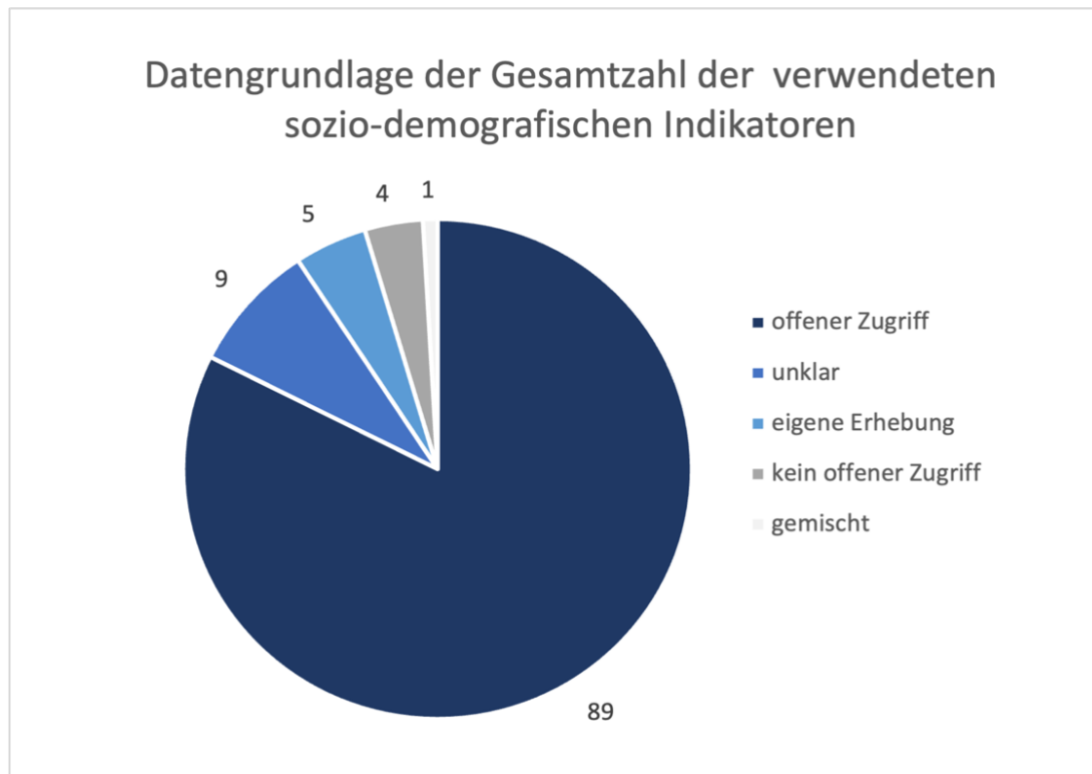


Abbildung 20. Datengrundlage der Gesamtzahl der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren, gegliedert nach (1) offener Zugriff, (2) unklar, (3) eigene Erhebung, (4) kein offener Zugriff und (5) gemischt, wobei sich eigene Erhebung auf Ergebnisse bezieht, die im Zuge der Studie erhoben wurden (eigene Darstellung).

In *Abbildung 21*. werden die insgesamt am häufigsten verwendeten sozio-demografischen Indikatoren (1) Alter, (2) Bildung, (3) Gesundheit, (4) Armut, (5) Familienstand, (6) Einkommen und (7) Ethnizität und Rasse, gegliedert nach Art der Datenbasis, dargestellt. Insgesamt wurden die sieben sozio-demografischen Indikatoren 70-mal in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes integriert. Die Datenbasis jedes Indikators kann auf fünf Arten unterschieden werden und lässt sich separat ablesen.

In einem Großteil der Studien basierte die Datengrundlage der betrachteten Indikatoren auf Open Data. Der Indikator Alter wurde beispielsweise 16-mal unter Verwendung offener Daten in die Indexerstellung miteinbezogen, während der Familienstand sowie die Rasse und Ethnizität insgesamt 13-mal mittels Open Data Miteinbeziehung fanden. In fünf Fällen blieb die Datengrundlage trotz vertiefender Recherche unklar, was größtenteils auf sprachliche Barrieren zurückgeführt werden konnte. Die eigene Datenerhebung spielte für die Erstellung der Indikatoren eine untergeordnete Rolle mit lediglich dreimal von 70-mal. Auch der beschränkte Zugriff auf die Datengrundlage erwies sich in Bezug auf die sieben ausgewählten Indikatoren als vernachlässigbar.

Als besonders interessant entpuppte sich der Indikator Gesundheit. Insgesamt wurde dieser elfmal eingesetzt, wovon nur fünfmal auf Open Data zurückgegriffen wurde. In jeweils zwei Fällen blieb die Datengrundlage unklar oder konnte aufgrund des beschränkten Zugriffs nicht eingesehen werden. Einmal wurde Gesundheit basierend auf mehreren Datengrundlagen in die Erstellung eines Hitzevulnerabilitätsindex aufgenommen, was zur Ausweisung als „gemischt“ führte.

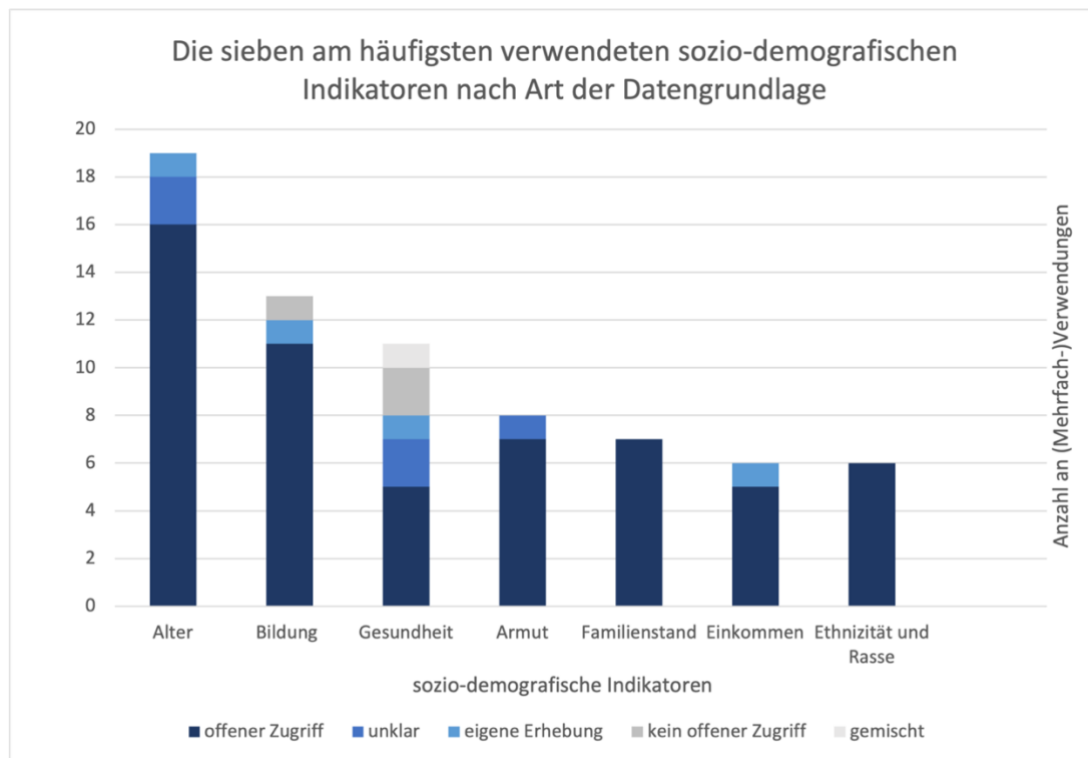


Abbildung 21. Darstellung der sieben am häufigsten verwendeten sozio-demografischen Indikatoren (1) Alter, (2) Bildung, (3) Gesundheit, (4) Armut, (5) Familienstand, (6) Einkommen und (7) Ethnizität und Rasse, nach Art der Datengrundlage (eigene Darstellung).

Die Datenherkunft der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren ist aus *Abbildung 22*. zu entnehmen. Insgesamt wurden 89-mal sozio-demografische Indikatoren eingesetzt, deren Datenherkunft auf 34 Open Data – Quellen zurückgeführt werden konnte. In der Auswertung wurden zwischen den vier Arten der Datenherkunft (1) staatlich, (2) nicht staatliche Unternehmen, (3) Internationale Organisationen und (4) Universitäten/Forschung unterschieden. 75 Prozent der verwendeten Indikatoren wurden durch staatliche Organisationen oder in Auftrag von staatlichen Organisationen erhoben. Zwölf Prozent der sozio-demografischen Indikatoren basierten auf Daten, die von nicht staatlichen Unternehmen erhoben wurden. Auch internationale Organisationen (sechs Prozent) wie beispielsweise die UNICEF sowie Universitäten/der Forschungsbereich (neun Prozent) ließen

sich im Bereich der Datenherkunft nennen, machten jedoch insgesamt lediglich 15 Prozent aus.

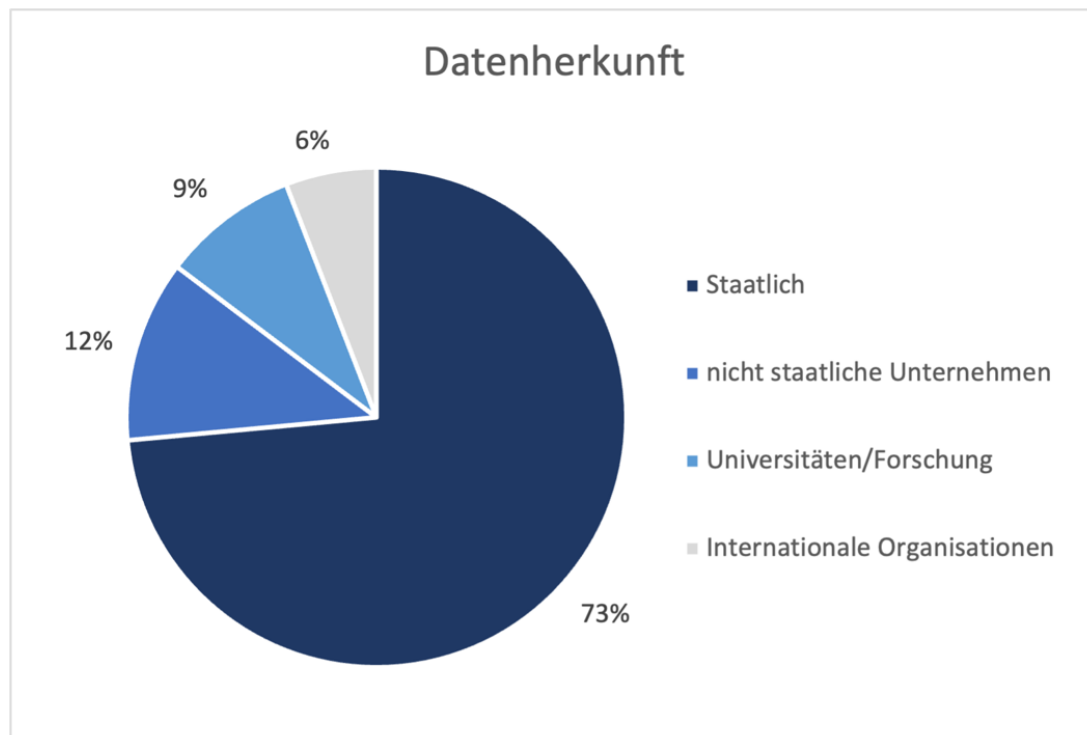


Abbildung 22. Darstellung der verwendeten Daten nach Art ihrer Datenherkunft in Prozent, gegliedert in (1) staatlich, (2) nicht staatliche Unternehmen, (3) Internationale Organisationen und (4) Universitäten/Forschung (eigene Abbildung).

Die Art der Datenerhebung ließ sich ebenfalls in verschiedene Kategorien unterteilen: (1) Bevölkerungsumfrage/Befragung, (2) Volkszählung, (3) Überwachungs-/Kontrollsysteme und GIS, dargestellt in *Abbildung 23*. Ein Großteil der sozio-demografischen Indikatoren (insgesamt 48 Prozent) wurde auf Basis von Bevölkerungsumfragen sowie Befragung generiert. Die Durchführung wurde sowohl von staatlicher Seite als auch von Seiten der Forschung und nicht staatlicher Unternehmen in Auftrag gegeben und durchgeführt. Volkszählungen spielten als zweithäufigste Art der Datenerhebung der miteinander bezogenen Indikatoren, mit 35 Prozent, ebenfalls eine wichtige Rolle. Überwachungs- und Kontrollsysteme wurden insgesamt zur Erhebung von 18 Prozent der sozio-demografischen Daten genannt. Auf öffentlich zugängliche Geoinformationssysteme wurde nur für sechs Prozent der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren zurückgegriffen.

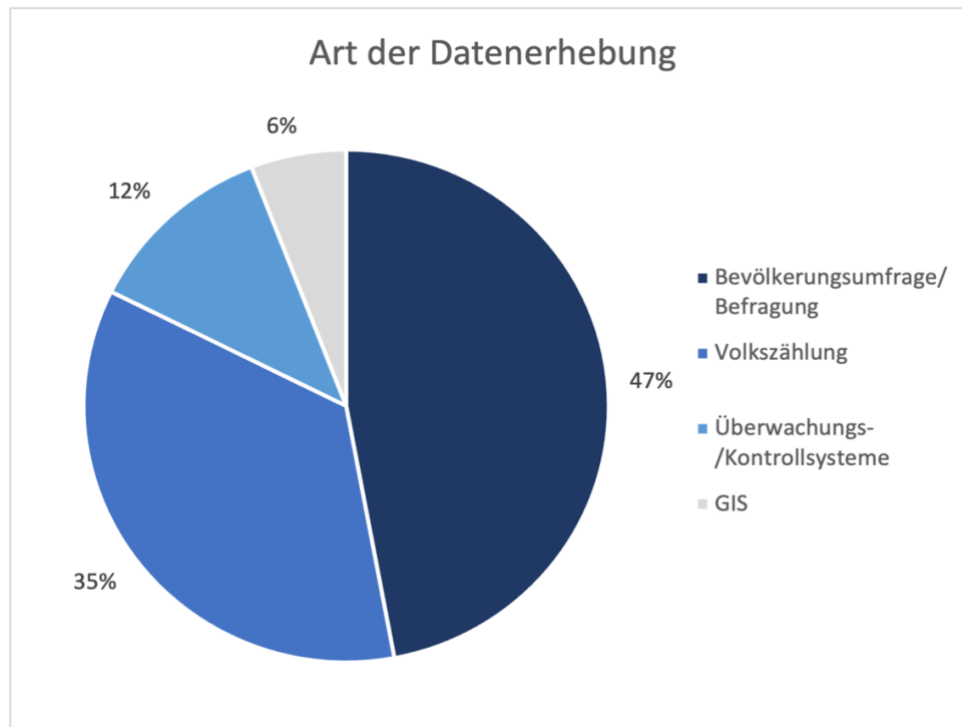


Abbildung 23. Darstellung der verwendeten Daten nach Art der Datenerhebung, gegliedert in (1) Bevölkerungsumfrage/Befragung, (2) Volkszählung, (3) Überwachungs-/Kontrollsysteme und (4) GIS (eigene Darstellung).

4.3.4 Diskussion der Ergebnisse des systematischen Literaturreviews

4.3.4.1 Berücksichtigung der sozialen Vulnerabilität in der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes

Wie bereits Cheng et al. im Jahr 2021 erkannte, beruhen Studien der Hitzevulnerabilitätsforschung auf unterschiedlichen theoretischen Konzeptionalisierungen und richten den Fokus der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes daher auf unterschiedliche Komponenten (W. Cheng et al., 2021). Diese Beobachtung konnte durch die Auswertung des vorliegenden systematischen Reviews bestärkt werden. Insbesondere die Gleichung der Verwundbarkeit der Bevölkerung (Birkmann et al., 2022) lag der Indexkonstruktion einiger Literaturquellen als Basiskonzept zugrunde. Neben theoretischen Konzepten wurden auch einige Autoren/Literaturquellen wie beispielsweise Cutter et al. (2003), IPCC (2014) und Reid et al. (2012) als Orientierungsvorgabe angegeben.

Ähnlich den Unterschieden in den zugrundeliegenden Konzeptionalisierungen der 22 ausgewählten Studien präsentierten sich die verwendeten Indikatoren zur Erstellung der Hitzevulnerabilitätsindizes. Obgleich die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze in expliziter Form in lediglich neun Studien Erwähnung fand, wurde sie basierend auf

einer Vielzahl an verwendeten Indikatoren in der Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung berücksichtigt (Giovane di Girasole & Cannatella, 2017; Sandholz et al., 2021; Turner et al., 2003). Insbesondere sozio-demografische Indikatoren fanden zur Berücksichtigung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze vermehrt Einsatz. Resultierend aus der Gesamtsumme aller pro Studie verwendeten Faktoren (insgesamt 214-mal) kamen sozio-demografische Indikatoren rund 108-mal zum Einsatz. Dies ergab gerundet eine Anzahl von fünf sozio-demografischen Indikatoren pro Studie. Die primäre Verwendung von sozio-demografischen Indikatoren zur Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung könnte einerseits an der guten Zugänglichkeit der Datengrundlage liegen (eingehendere Erläuterung in *Kapitel 4.3.4.2.*) und andererseits einen Versuch widerspiegeln, sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen im Kontext urbaner Hitze offensichtlich zu visualisieren (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022). Ältere Personen werden beispielsweise in einer Vielzahl an Publikationen zur Hitzeanfälligkeit als besonders hitzeempfindliche Bevölkerungsgruppe eingestuft (Malmquist et al., 2022; Nikkanen et al., 2021) und können durch den Indikator Alter verhältnismäßig simpel abgebildet werden. Weitere sozio-demografische Indikatoren wie die Gesundheit, das Bildungsniveau oder das Einkommen spielen ebenfalls eine entscheidende Rolle für das Vorhandensein von sozialer Vulnerabilität einer Person (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022) und lassen sich gleichermaßen einfach erheben und durch Faktoren abbilden. Innerhalb der einzelnen Studien wurden die sozio-demografischen Indikatoren nicht auf die gleiche Art und Weise verwendet und basierten auf unterschiedlicher Daten- und Definitionsbasis. Das Alter wurde in Summe von 19 Studien berücksichtigt, jedoch in neun verschiedenen Formen. Unterschiede umfassten z.B. die betrachteten Altersklassen, die Angaben der betrachteten Bevölkerungsgruppe in Anzahl der Personen oder Anteil an der Gesamtbevölkerung sowie anderen abweichenden Angaben. Die verschiedenen Arten der Daten- und Definitionsbasis einzelner sozio-demografischer Indikatoren könnten ihrerseits auf die vorhandene Datenbasis zurückzuführen sein, sowie auf den Einsatzzweck des zu erstellenden Hitzevulnerabilitätsindex. Während einige Studien durch den Einsatz von Hitzevulnerabilitätsindizes auf die Visualisierung der Hitzegefährdung spezieller sozial vulnerabler Bevölkerungsgruppen abzielten, stand in anderen Studien die Abbildung der Hitzeanfälligkeit der Bevölkerung in ihrer Gesamtheit im Fokus (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023; H. Li et al., 2022; T. Wolf et al., 2015).

Neben sozio-demografischen Indikatoren wurde auch eine nennenswerte Anzahl an Indikatoren der bebauten Umwelt, sowie klimatischen und geographischen Indikatoren in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes miteinbezogen. Einige dieser Faktoren stehen in einem entscheidenden Zusammenhang mit der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung im Kontext urbaner Hitze. Durch das Vorhandensein von Klimaanlage und Kühlanlagen kann beispielsweise der thermische Komfort von Menschen in Innenräumen während Hitzeperioden merklich verbessert und somit etwaigen hitzebedingten Gesundheitsproblemen entgegenwirkt werden (Baquero & Forcada, 2022). Personen mit einem Zugang zu einer Klimaanlage haben in der Regel einen entsprechenden finanziellen Hintergrund. Der finanzielle Hintergrund lässt wieder Rückschlüsse auf das Einkommen zu, welches die soziale Vulnerabilität einer Person grundlegend beeinflussen kann (Neil Adger, 1999; Nikkanen et al., 2021). Das Vorhandensein einer Kühlanlage bedeutet nicht per se, dass eine Person weniger anfällig gegenüber Hitze ist. Es kann jedoch in Hinblick auf finanzielle Ressourcen und die damit einhergehende höhere Anpassungsfähigkeit (Mallen et al., 2019) eine geringe soziale Vulnerabilität bedeuten. Ähnlich den Indikatoren der bebauten Umwelt, können auch klimatische und geographische Indikatoren eine Auswirkung auf die soziale Vulnerabilität von Personen haben. Menschen die beispielsweise durch ihre Arbeit im Freien vermehrt der Luftverschmutzung durch Verkehrsemissionen ausgesetzt sind, haben ein erhöhtes Risiko für respiratorische Erkrankungen (Oke et al., 2017; US EPA, 2014; Venter et al., 2020). Menschen mit (chronischen) respiratorische Krankheiten zählen zu sozial vulnerablen Bevölkerungsgruppen, besonders in Hinblick auf urbane Hitze (Beckmann & Hiete, 2020; HUANG et al., 2019; Renteria et al., 2022). In Summe wurden ökonomischen, institutionellen, demografischen und weiteren, nicht genau zuordenbaren Indikatoren, im Allgemeinen, sowie im Zusammenhang mit der Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in die Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung eine vernachlässigbare Stellung zuteil. Im Zuge der Datenaufbereitung der 22 ausgewählten Studien wurden sie lediglich 33-mal verwendet, was in etwa 15 Prozent der Gesamtanzahl aller eingesetzten Indikatoren ausmacht. Eine Integration der sozialen Vulnerabilität in Zuge der identifizierten ökonomischen, institutionellen, demografischen und weiteren, nicht genau zuordenbaren Indikatoren wurde aufgrund der geringen Verwendung als vernachlässigbar beschrieben.

Resümierend lässt sich festhalten, dass die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze in die Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung aller 22 analysierten Studien auf

unterschiedliche Art und Weise integriert wurde. Während die meisten Literaturquellen dies in Form von sozio-demografischen Indikatoren bewerkstelligten, konnten auch einige klimatische und geographische, institutionelle sowie Indikatoren der bebauten Umwelt identifiziert werden, die eine Berücksichtigung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes ermöglichten. Die Wahl des konzeptionellen Rahmens sowie der des Hitzevulnerabilitätsindex zugrundeliegenden Indikatoren wiesen deutlich erkennbare Unterschiede zwischen den einzelnen Literaturquellen auf und könnten einerseits auf die freie Zugänglichkeit zu Daten, den gewünschten Einsatzzweck des entwickelten Index sowie die Präferenz der Entscheidungsträger oder des Expert*innengremiums zurückzuführen sein (Abrar et al., 2022; W. Cheng et al., 2021; Londoño-Pineda et al., 2021). Die soziale Vulnerabilität hat somit einen erkennbaren Einfluss auf die Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung erhalten, obgleich sich dieser zwischen den Studien merklich anhand der verwendeten Konzeptionalisierungen sowie der Art und Anzahl der inkludierten Indikatoren unterscheidet.

4.3.4.2 Open Data im Kontext zu sozio-demografischen Indikatoren

Die Datengrundlage der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren spielt für die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes eine entscheidende Rolle. Die Auswertung der 22 ausgewählten Literaturquellen ergab einen eindeutig erkennbaren Trend in Bezug auf die, der Faktoren zugrundeliegenden Datenbasis. Insgesamt wurden knapp 83 Prozent aller verwendeten sozio-demografischen Indikatoren aus öffentlich zugänglichen Datenquellen entnommen. Ein Großteil dieser öffentlich zugänglichen Datenquellen ließ sich auf staatliche Akteure zurückführen und wurde in Form von Volkszählungen und Bevölkerungsumfragen/Befragungen generiert. Volkszählungen werden in der Regel alle zehn Jahre durchgeführt und bieten eine gute Möglichkeit, auf eine Vielzahl von bevölkerungsstatistischen und erwerbsstatistischen Informationen Zugriff zu erhalten (Schmidt, 2018; STATISTIK AUSTRIA, n.d.). Bevölkerungsumfragen/Befragungen hingegen werden häufig ergänzend zu Volkszählungen oder aus konkreten Anlässen durchgeführt und liefern oftmals detailliertere Daten zu speziellen Bevölkerungsgruppen oder Themenbereichen. Während Volkszählungen in periodischen Abständen verlässliche und umfassend erhobene Daten zum Umfang und der Struktur der Bevölkerung liefern, sind Bevölkerungsumfragen/Befragungen lediglich Erhebungen einer umfänglich beschränkten

Bevölkerungsanzahl. Dies lässt darauf schließen, dass grundsätzlich sozio-demografische Faktoren wie beispielsweise das Alter, das Geschlecht, das Einkommens- oder Bildungsniveau vorrangig aus Volkszählungen entnommen werden, da diese eine annähernd exakte Abbildung der momentanen Bevölkerung widerspiegeln. Die Auswertung der 22 ausgewählten Studien ergab jedoch, dass 47 Prozent der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren aus Bevölkerungsumfragen/Befragungen resultierten. Dies könnte auf die Aktualität der Daten zurückzuführen sein. Da Volkszählungen in der Regel alle zehn Jahre erhoben werden ist es möglich, dass in der Zwischenzeit Bevölkerungsumfragen/Befragungen durchgeführt wurden, die ebenfalls über die für die Studie relevanten Daten verfügen und nicht so lange zurückliegen. Das American Community Survey wurde in diesem Zusammenhang von einigen Studien genannt. Dabei handelt es sich um eine jährlich stattfindende Erhebung des United States Census Bureau als ergänzendes Instrument zur zehnjährig stattfindenden Volkszählung (Bureau, 2023). Andererseits können auf Basis von Bevölkerungsumfragen/Befragungen teilweise zielgerichtete Informationen zu gewissen Themen erhoben werden, da nur eine ausgewählte Anzahl an Personen als repräsentative Stichprobe herangezogen und befragt wird (Mühlböck, 2022; U.S. Department of Health and Human Service, 2021). Durch das American Community Survey werden beispielsweise jährliche Daten zum Krankenversicherungsschutz erhoben, die im Zuge der zehnjährigen Volkszählung nicht erfasst werden (U.S. Department of Health and Human Service, 2021). Durch die Befragung "So geht's uns heute" werden beispielsweise in zehn EU-Mitgliedsstaaten vierteljährlich Daten zu Themenbereichen wie dem Wohlbefinden der Bevölkerung (z.B. konkret zur Einsamkeit) erhoben (Mühlböck, 2022). Daten aus Befragungen und Umfragen bieten dementsprechend die Möglichkeit, über Volkszählungen hinausgehende Informationen über die Bevölkerung sowie den Zustand der Bevölkerung zu generieren. Diese Informationen könnten sich in der Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung als nützlich erweisen, um einerseits eine stärkere Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in Form von Indikatoren zu bewirken und andererseits die Hitzevulnerabilität besser einschätzen zu können. Universitäten, die Forschung im Allgemeinen sowie internationale Organisationen könnten bei der Bereitstellung von sozio-demografischen Informationen auf Basis von Open Data aufgrund ihrer finanziell beschränkten Möglichkeiten eine untergeordnete Rolle spielen. Dies wäre auch in Bezug auf nicht staatliche Unternehmen denkbar, die eventuell einen größeren finanziellen Nutzen aus dem kostenpflichtigen

Veröffentlichen von erhobenen Daten ziehen, als auf der Bereitstellung auf öffentlich zugänglicher Basis.

In Bezug auf den Datenzugang einzelner sozio-demografischer Indikatoren konnten auch Unterschiede zwischen den einzelnen Indikatoren und zwischen den Studien beobachtet werden. Während die meisten verwendeten sozio-demografischen Indikatoren komplett auf öffentlich zugänglichen Daten beruhten (z.B. der Familienstand oder die Beschäftigung), gab es auch Indikatoren, deren Datenbasis etwas komplexer gestaltet war. Der Indikator Gesundheit wurde insgesamt elfmal verwendet, wovon lediglich fünfmal Open Data als Datengrundlage genannt werden konnte. Zweimal blieb die Datenbasis unklar, dreimal bestand kein offener oder ein teils offener, teils beschränkter Zugang zu den Basisdaten und einmal wurden die Informationen im Verlauf der Studie selbst erhoben. Unterschiede in der zugrundeliegenden Datenbasis (Open Data, beschränkter Zugriff etc.) könnten sich einerseits aus den politischen oder kulturellen Voraussetzungen eines Landes ergeben und andererseits auf die Art der Daten selbst zurückzuführen sein. Einige Datensätze des CDC Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS), die Informationen über die Industrie und den Beruf enthalten, gelten beispielsweise als sensibel und vertraulich und werden daher der Öffentlichkeit nicht zugänglich gemacht (Center for Disaster Control and Prevention, 2023). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Open Data als Datenbasis von sozio-demografische Indikatoren zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes eine zentrale Rolle spielt und daher eine hohe Bedeutsamkeit erfährt. Die meisten sozio-demografische Faktoren werden aus staatlichen Volkszählungen, sowie Bevölkerungsumfragen/Befragungen entnommen. Bei der Bereitstellung der Informationen stehen insbesondere staatliche Akteure im Vordergrund, aber auch Universitäten, die Forschung allgemein sowie nicht staatliche Unternehmen können nützliche und offen zugängliche sozio-demografische Merkmale der Bevölkerung bereitstellen. In Abhängigkeit von den jeweils verwendeten Indikatoren lassen sich zwar Unterschiede in Bezug auf die Verfügbarkeit in Form von Open Data beobachten, abgesehen von einzelnen Ausnahmen ist ein offener Zugang zu sozio-demografischen Merkmalen der Gesellschaft aber vorherrschend.

5. Anwendungsbeispiel – UHVI der Stadt Wien

5.1 Stadt Wien

5.1.1 Klimatische, geographische und demografische Grundlagen

Stadtgebiet

Wien, die Bundeshauptstadt Österreichs, liegt im Wiener Becken (Hofmann et al., 2011) und erstreckt sich über eine Gesamtfläche von knapp 415 km², wovon in etwa 49 Prozent der Stadtfläche als Grünland und Gewässer ausgewiesen sind, 36 Prozent als Bauland und 15 Prozent als Verkehrsfläche (Bauer et al., 2022). Das Stadtgebiet lässt sich in 23 Gemeindebezirke unterteilen, von denen insbesondere die inneren Bezirke (z.B. Mariahilf oder Margareten) eine erhöhte Bevölkerungsdichte aufweisen (Stadt Wien, 2022a).

Bevölkerung

Wien umfasst eine derzeitige Einwohner*innenzahl (Stand 01.01.2023) von knapp 1,9 Millionen Menschen (Stadt Wien, 2023). 51,1 Prozent der Einwohner*innen sind weiblich und 48,9 Prozent männlich. Basierend auf aktuellen Bevölkerungsprognosen könnte die Stadt Wien bis ins Jahr 2030 einen Anstieg der Bevölkerung auf über zwei Millionen Menschen verzeichnen (Brandenburg et al., 2015).

Das Durchschnittsalter der Bevölkerung betrug im Jahr 2021 41,2 Jahre (Mohr, 2022a). Während im Jahr 2021 bereits 19,2 Prozent der Gesamtbevölkerung über 65 Jahre alt waren, stieg der Anteil der über 65 Jährigen bis zu Beginn des Jahres 2023 auf 19,6 Prozent, Tendenz steigend (Mohr, 2023).

Stadtklima

Entsprechend den IPCC-Klimaprojektionen ist ein Anstieg der Sommertemperaturen in Süd- und Mitteleuropa bis Ende des 21. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich (Žuvela-Aloise et al., 2016). Dieser Trend konnte in Österreich bereits im Zuge der letzten Jahrzehnte beobachtet werden. Basierend auf Messungen aus dem 19. und 20. Jahrhundert konnte eine Temperaturerhöhung der jährlichen Mitteltemperatur seit 1880 um 2 °C gemessen werden (Auer, 2014). Wie *Abbildung 24.* veranschaulicht, fällt die regionale Erhöhung der Mitteltemperatur in Österreich beinahe doppelt so hoch aus, wie im globalen Mittel mit etwa 0,9 °C (Auer, 2014; Geosphere Austria, n.d.; Žuvela-Aloise et al., 2016). Diese Differenz im

Anstieg der regionalen und globalen Mitteltemperatur ist auf diverse komplexe Abläufe und Prozesse zurückzuführen, als eine der Hauptursachen lässt sich jedoch die raschere Erwärmung der Luft über den Landoberflächen nennen (Geosphere Austria, n.d.).

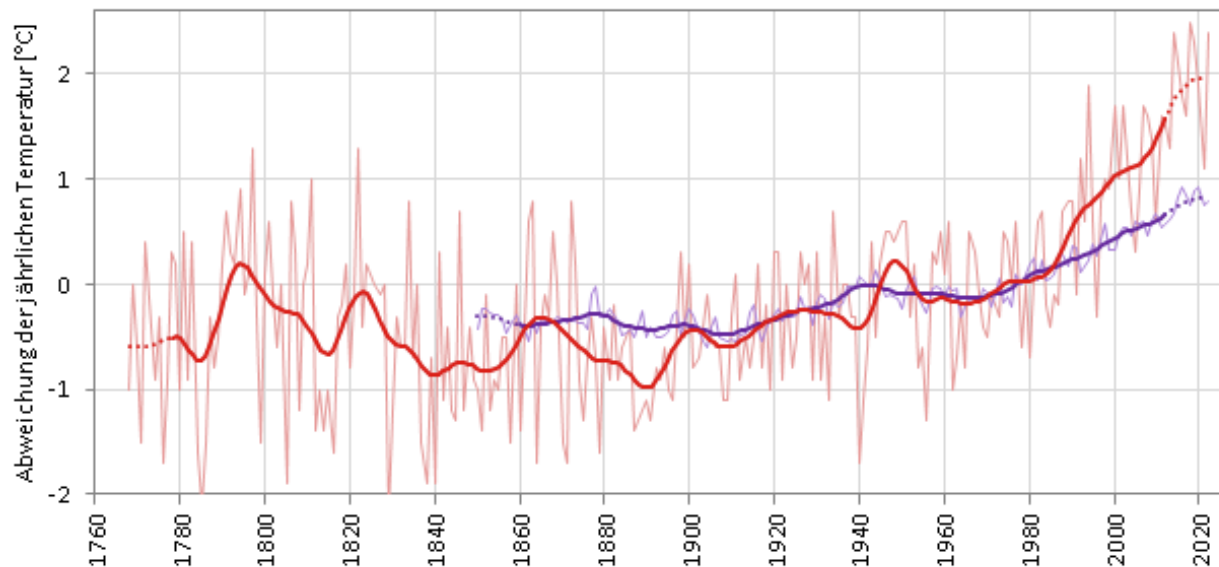


Abbildung 24. Darstellung der Entwicklung der weltweiten mittleren Jahrestemperatur von 1850-2022 (violett) und der regionalen mittleren Jahrestemperaturen in Österreich von 1768-2022 (rot) sowie der jährlichen Abweichungen vom Mittel der Jahre 1961-1990 (dünne Linie) und deren geglättete Trends (dicke Linie) (Geosphere Austria, n.d.).

Dieser Erwärmungstrend lässt sich nicht nur über das gesamte Bundesgebiet Österreichs beobachten, sondern ist auch in der Bundeshauptstadt Wien messbar. Neben der Erhöhung der jährlichen Mitteltemperatur konnte an der Messstation Hohe Warte ein Anstieg der mittleren jährlichen Sommertage ($SU: T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) von 52,1 SU pro Jahr (1961-1990) auf 64,1 SU (1981 - 2010) beobachtet werden (Žuvela-Aloise et al., 2016). Für den Zeitraum 2071-2100 wurde überdies ein Anstieg von ca. 20 bis 50 zusätzlichen Sommertagen pro Jahr prognostiziert (Brandenburg et al., 2015). Neben dem Anstieg der jährlichen Sommertage konnte auch ein Anstieg der jährlichen Hitzetage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) verzeichnet werden. Während zwischen 1961 und 1990 durchschnittlich 9,6 Hitzetage gemessen werden konnten, waren es im Zeitraum von 1981 bis 2010 bereits 15,2 Hitzetage pro Jahr (Umweltbundesamt GmbH, 2023). Neuesten Prognosen zufolge könnten gewisse Stadtteile Wiens bereits im Jahr 2050 von einer Tagestemperatur über 40°C betroffen sein (Seebauer et al., 2021).

Gebiete innerhalb Wiens mit einer erhöhten Vulnerabilität gegenüber extremen Hitzeereignissen lassen sich aus Abbildung 25. entnehmen und sind in der Farbe Rot dargestellt (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019). Gebiete mit erhöhter Hitzeanfälligkeit konzentrieren sich insbesondere im Stadtzentrum. Die inneren Bezirke weisen im Großteil ihrer Zählbezirke eine erhöhte Hitzeanfälligkeit in Bezug auf extremen Hitzeereignissen auf. Aber auch Bezirke über der Donau sowie im Süden Wiens sind von einer erhöhten Vulnerabilität gegenüber extremen Hitzeereignissen betroffen. Innerhalb dieser Bezirke fällt die Hitzevulnerabilität sehr unterschiedlich aus und unterscheidet sich zwischen den einzelnen Gebieten stark.

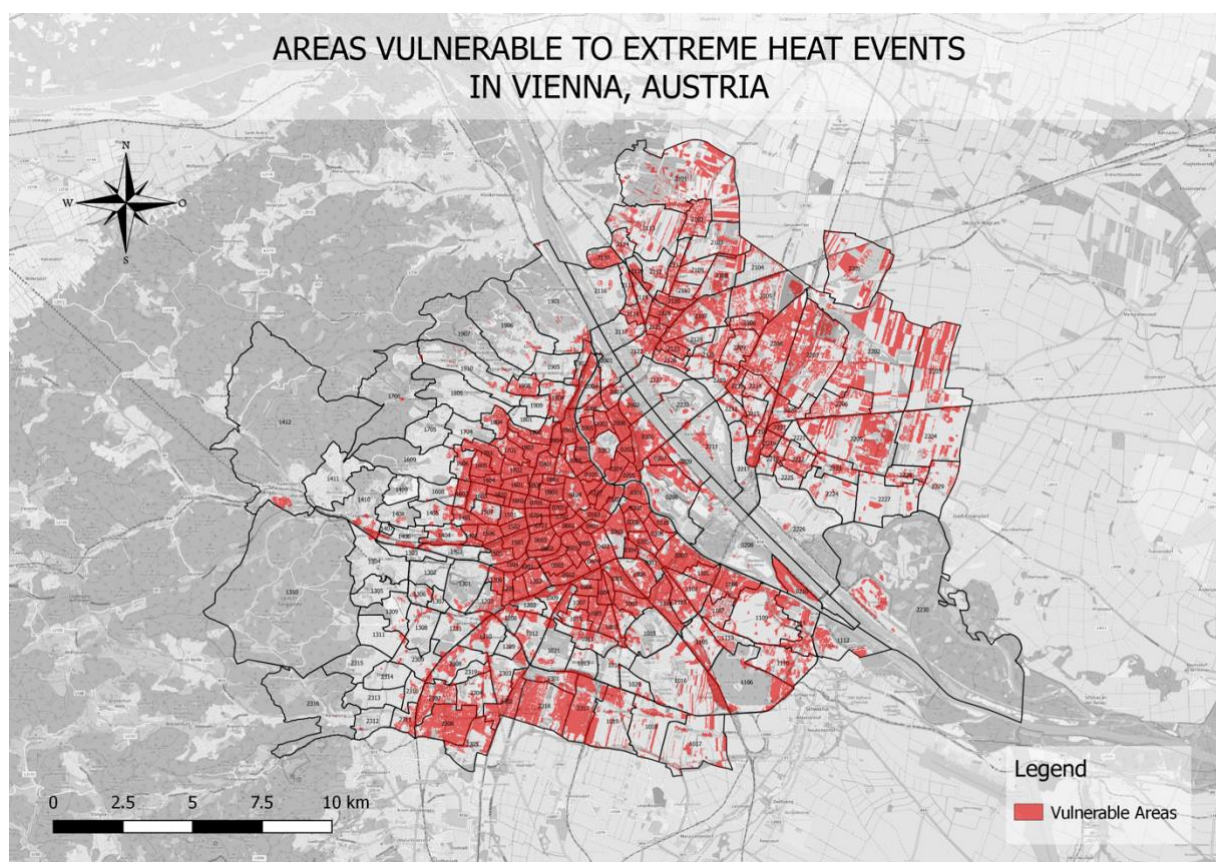


Abbildung 25. Darstellung der Gebiete innerhalb Wiens, die einer erhöhte Vulnerabilität gegenüber extremen Hitzeereignissen aufweisen (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).

Konkret sind vor allem die Wiener Gemeindebezirke 1. bis 9. im Stadtzentrum, sowie 11., 21., 22. und 23. am Stadtrand betroffen. Überdies konnte eine erhöhte Vulnerabilität gegenüber extremen Hitzeereignissen auch entlang der wichtigen Schienenverkehrsverbindungen vor allem im Süden Wiens beobachtet werden.

5.1.2 Umgang mit urbaner Hitze

Im Zuge der letzten Jahrzehnte wurde von Seiten der Stadt Wien die Initiative ergriffen, um Maßnahmen gegen den Klimawandel und seine Auswirkungen, wie beispielsweise die Intensivierung urbaner Hitzeinseln zu setzen. Im Jahr 2015 wurde beispielsweise der „Urban Heat Islands“ Strategieplan der Stadt Wien entwickelt, um den Folgen von urbanen Hitzeinseln auf strategischer großmaßstäblicher sowie konkreter Planungs- und Projektierungsebene entgegenzuwirken (Brandenburg et al., 2015; Damyanovic et al., 2016). Im Jahr 2019 erfolgte schließlich eine systematische Bewertung der Hitzeanfälligkeit der Stadt Wien durch die Entwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex (siehe *Kapitel 5.2*), um eine Beurteilung der Bedrohung durch extreme urbane Hitze zu ermöglichen und den Schutz der Bürger*innen durch die aktive Maßnahmensetzung zu gewährleisten (Bhattacharjee, 2019). Die Bestrebungen der Stadt Wien im Kampf gegen urbane Hitze resultierten zuletzt (im Jahr 2022) in der Erstellung des Wiener Hitzeaktionsplanes. Der Wiener Hitzeaktionsplan enthält zielgruppenübergreifende Maßnahmen, zielgruppenspezifische Maßnahmen sowie langfristige Maßnahmen, um die Hitzevulnerabilität der Bevölkerung zu senken und die Anpassung der Bevölkerung an die steigenden urbanen Temperaturen voranzutreiben (Magistrat der Stadt Wien, 2022).

Neben diversen Strategie- und Aktionsplänen stehen insbesondere sozial vulnerable Bevölkerungsschichten im Umgang mit urbaner Hitze im Fokus der Stadt Wien. Dies lässt sich zum Beispiel aus den zielgruppenübergreifenden und zielgruppenspezifischen Maßnahmen des Wiener Hitzeaktionsplanes ableiten, in Folge dessen vulnerable Bevölkerungsgruppen explizit ausgewiesen wurden (Magistrat der Stadt Wien, 2022).

5.2 Urban Heat Vulnerability Index (UHVI)

5.2.1 ECOTEN Urban Comfort

ECOTEN Urban Comfort ist ein Stadt- und Umwelttechnikunternehmen, welches 2012 von Jiří Tencar mit der Vision gegründet wurde, eine optimale Lebensqualität in urbanen Gebieten, durch planungstechnische Maßnahmen zur Kühlen von Städten zu schaffen (Robine et al., 2008). ECOTEN Urban Comfort berät und unterstützt öffentliche und private Akteure in ihrem Planungs- und Entscheidungsprozess bei der Entwicklung von nachhaltigen und energieeffizienten Städten (Bhattacharjee, 2019; S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). In diesem Zusammenhang stehen insbesondere folgende

Umweltberatungsdienste im Vordergrund (Bhattacharjee, 2019; ECOTEN Urban Comfort, 2022):

- Bewertung der Anfälligkeit für städtische Hitze durch die Erstellung strategischer Karten
- Simulationen des städtischen Mikroklimas anhand der Modellierung von Stadtvierteln in 3D

5.2.2 Entwicklung des UHVI

Um die Anfälligkeit der Stadt Wien gegenüber extremer Hitze zu bewerten und zu visualisieren wurde der Urban Heat Vulnerability Index (UHVI) im Jahr 2019 entwickelt und in Form einer strategischen Karte abgebildet (Bhattacharjee, 2019; Robine et al., 2008). Der UHVI basierte auf der Konzeptionalisierung von Vulnerabilität nach dem IPCC (siehe *Kapitel 2.3.7.*) und wurde als eine Funktion aus (1) Exposition, (2) Empfindlichkeit und (3) Anpassungsfähigkeit beschrieben (Estoque et al., 2023). Die einzelnen Faktoren wurden durch den Einsatz von Indikatoren ausgedrückt (dargestellt in *Abbildung 26.*), denen im Zuge der Entwicklung des UHVI die gleiche Gewichtung zugeschrieben wurde (Bhattacharjee, 2019; Robine et al., 2008). Die Exposition basiert auf der Ermittlung und Kartierung verschiedener Hitzehotspots innerhalb des Stadtgebiets (Bhattacharjee, 2019). Die Anpassungsfähigkeit stellt die Fähigkeit eines Systems dar, mit Hitzeereignissen umzugehen und basiert auf dem Bestand an urbanen Grünflächen und Gewässern (ECOTEN Urban Comfort, 2022). Die Empfindlichkeit wird anhand der Bevölkerungsdichte von besonders hitzeanfälligen Personen(gruppen) bestimmt (ECOTEN Urban Comfort, 2022; Robine et al., 2008).

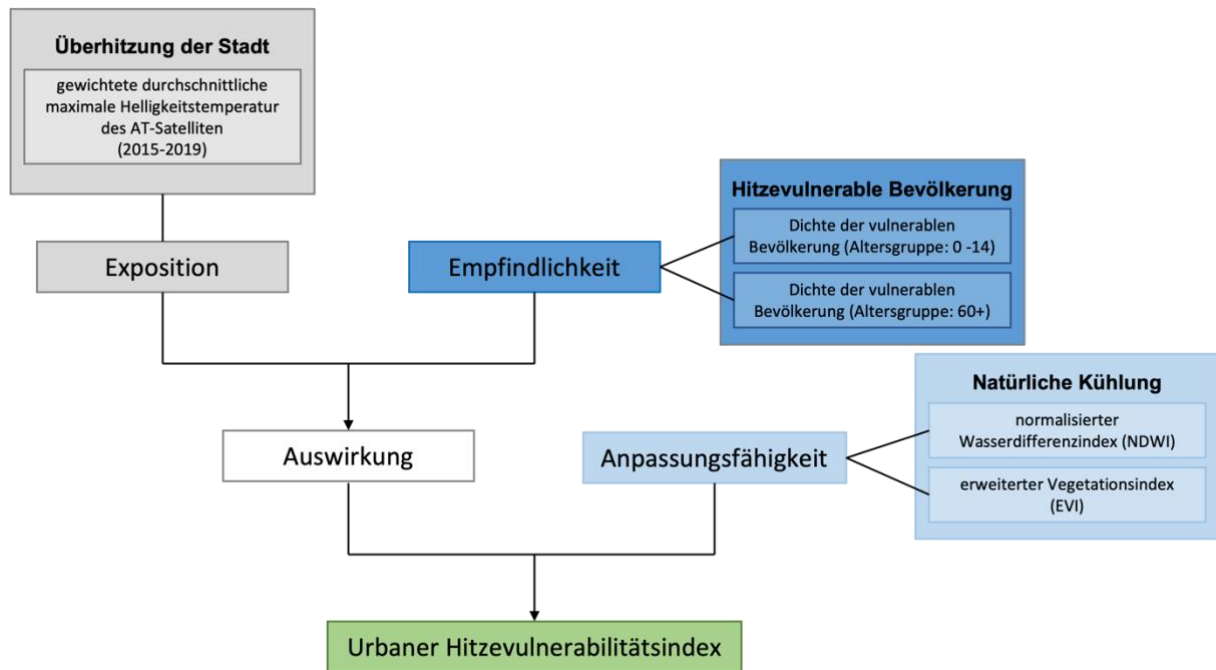


Abbildung 26. Konzeptionalisierung des Urban Heat Vulnerability Index (UHVI) zur Bewertung der Hitzeanfälligkeit der Stadt Wien. In diesem Rahmen wird die Auswirkung von Hitze in Städten durch die Exposition und die Empfindlichkeit dargestellt, während die Anpassungsfähigkeit dazu dient, die Auswirkungen zu vermindern (eigene Darstellung nach Bhattacharjee (2019) und Robine et al. (2008)).

5.2.2.1 Berechnung der Komponentenindikatoren

Die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze wurde in Form des Empfindlichkeitsindex (SI) in die Entwicklung des UHVI der Stadt Wien miteinbezogen. Für die Erstellung des Empfindlichkeitsindex wurde der sozio-demografische Faktor Alter ausgewählt. Die Auswahl des Alters als Indikator basierte einerseits auf der Empfehlung des IPCC und andererseits auf dem konkreten Wunsch der Stadt Wien (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023; Pachauri et al., 2015). Für die Berechnung des Empfindlichkeitsindex wurden die beiden Bevölkerungsgruppen (1) junger Menschen (unter 14 Jahre) und (2) älterer Menschen (über 60 Jahre) herangezogen (ECOTEN Urban Comfort, 2022; Robine et al., 2008). Auf Basis der beiden Altersklassen wurde die Bevölkerungsdichte jedes Unterbezirks der Stadt Wien ermittelt (siehe Gleichung 4.) und in Form des Index für die Dichte der gefährdeten Bevölkerung (engl. Vulnerable Population Density Index = VPDI) für die beiden Altersgruppen separat dargestellt (Bhattacharjee, 2019; Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).

$$\text{Bevölkerungsdichte} = \text{Gesamtbevölkerung} / \text{Gesamtfläche}$$

Gleichung 4. Gleichung zur Berechnung der Bevölkerungsdichte der einzelnen Unterbezirke der Stadt Wien auf Basis der Gesamtfläche und der Gesamtbevölkerung der Unterbezirke (Cohen, 2015).

Der VPDI für die Altersklassen (1) unter 14 Jahre und (2) über 60 Jahre lässt sich den *Abbildungen 27. und 28.* entnehmen. Die Berechnung der Bevölkerungsdichte von älteren und jüngeren Bevölkerungsgruppen der Stadt Wien wies ähnliche Ergebnisse auf. Während die inneren Bezirke, der Süden Wiens und die Bezirke nordöstlich der Donau eine erhöhte Bevölkerungsdichte der beiden Altersklassen verzeichnen konnten, nahm die Bevölkerungsdichte zum Stadtrand hin tendenziell ab. Unterschiede in der Bevölkerungsdichte wurden durch den Einsatz eines farblichen Verlaufes visualisiert. Während Gebiete mit einer leicht erhöhten Bevölkerungsdichte kaum ersichtlich eingefärbt wurden, erschienen Gebiete mit einer stark erhöhten Bevölkerungsdichte als farblich intensiv.

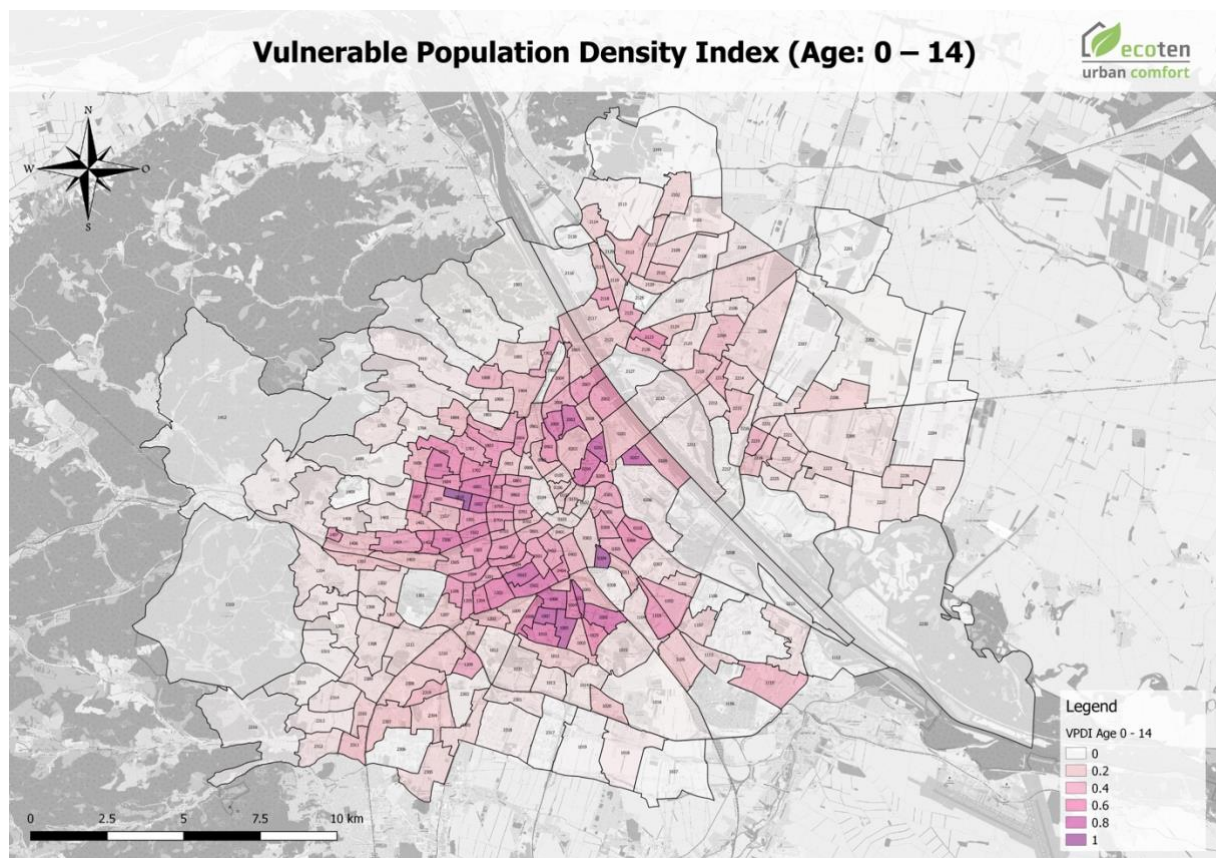


Abbildung 27. Darstellung der Ergebnisse aus der Berechnung des VPDI anhand der Altersgruppe unter 14 Jahre innerhalb des Wiener Stadtgebiets (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).

Die Abbildung des VPCI der beiden Altersklassen kann in Bezug auf ein Merkmal unterschieden werden. Für die grafische Darstellung der Dichte der gefährdeten Bevölkerung über 60 Jahre wurden überdies die Standorte von Altersheimen (gekennzeichnet durch einen schwarzen Punkt) innerhalb des Wiener Stadtgebiets markiert. Die meisten Altersheime konnten in

Zählbezirken erhöhter Bevölkerungsdichte an Personen über 60 Jahren identifiziert werden. Lediglich ein kleiner Anteil der abgebildeten Senioreneinrichtungen befindet sich in Stadtgebieten geringer Bevölkerungsdichte an über 60-Jährigen. Die meisten Altersheime konzentrierten sich innerstädtisch, während in den sich am Stadtrand befindlichen Zählbezirken, mit Ausnahme des 19., 21., 22. und 23. Bezirks, keine Altersheime verortet werden konnten.

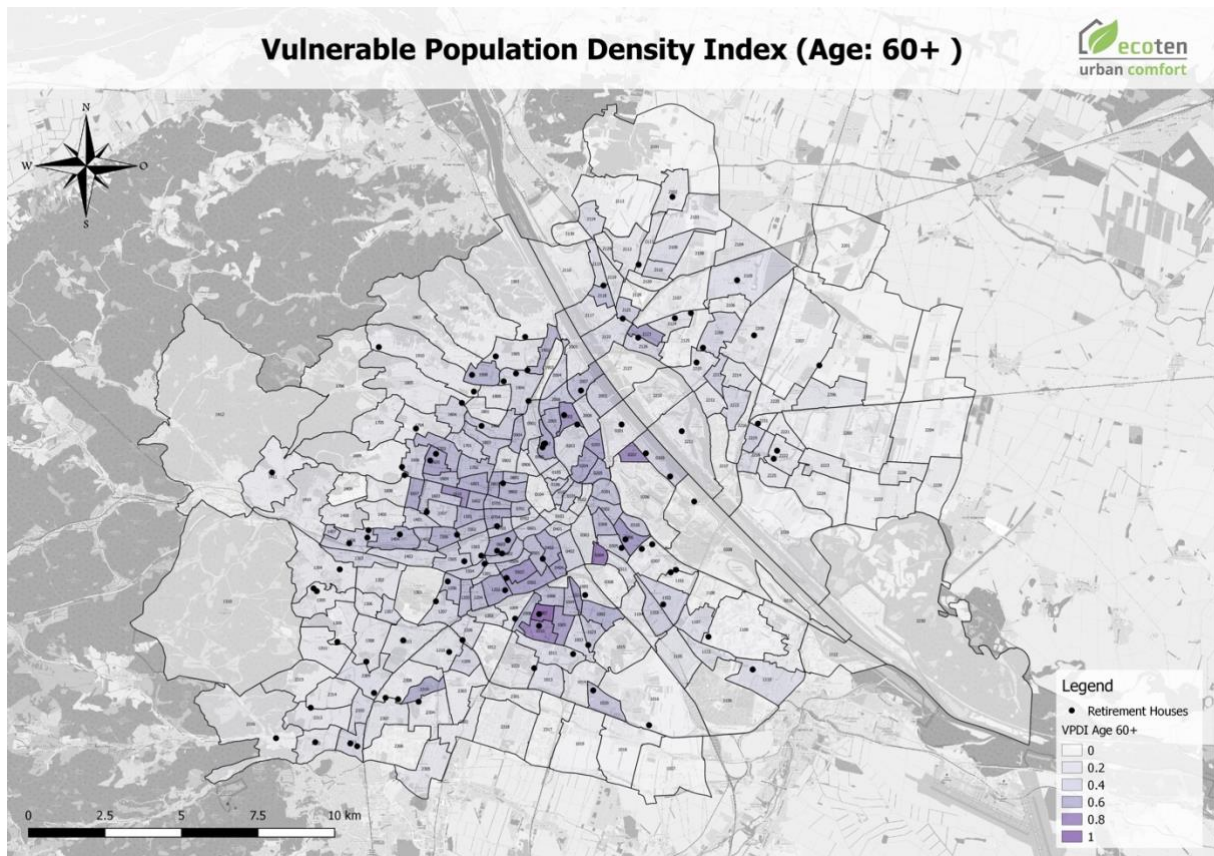


Abbildung 28. Darstellung der Ergebnisse aus der Berechnung des VPDI anhand der Altersgruppe über 60 Jahre innerhalb des Wiener Stadtgebiets (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019).

Anschließend an die Brechung des VPDI für die beiden Altersgruppen erfolgte eine Addition und Normalisierung der beiden Indizes, aus der abschließend der Empfindlichkeitsindex resultierte (Bhattacharjee, 2019; Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019), siehe *Abbildung 29*. Anhand der Abbildung des SI konnte eine erhöhte Empfindlichkeit der Gesamtbevölkerung im Stadtzentrum sowie in den Bezirken nordöstlich der Donau und im Süden Wiens identifiziert werden. Die Stärke der Empfindlichkeit wurde durch den Verlauf der farblichen Intensität widerspiegelt. Gebiete mit mittlerer bis erhöhter Empfindlichkeit wurden dunkler dargestellt als Gebiete mit einer leicht erhöhten Empfindlichkeit.

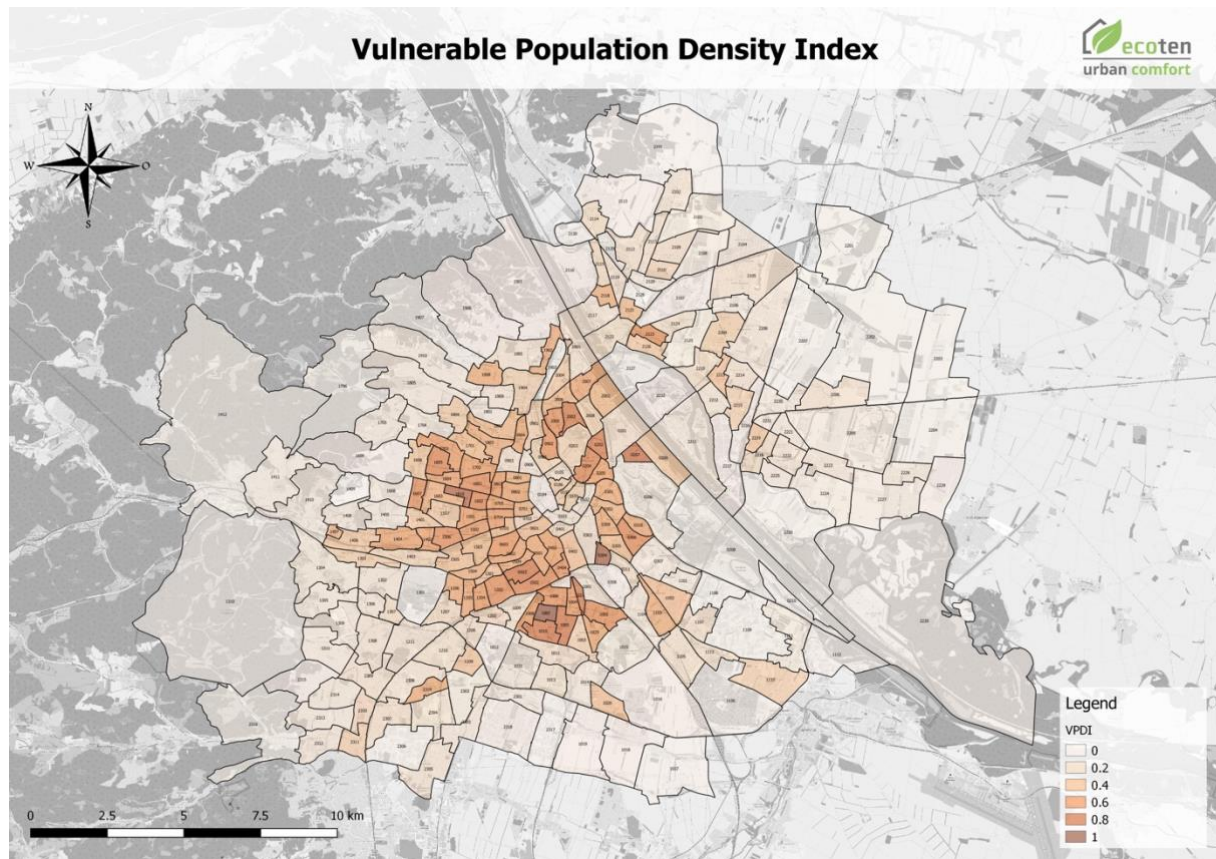


Abbildung 29. Darstellung der Empfindlichkeit der Wiener Stadtbevölkerung resultierend aus den Ergebnissen des SI (Bhattacharjee, 2019).

Als Datenbasis zur Berechnung des Empfindlichkeitsindex wurde der Datensatz "Bevölkerungsprognose 2014 bis 2024 - Zählbezirke (1) Wien" (data.gv.at, 2014) herangezogen, der auf öffentlich zugänglicher Basis von der Stadt Wien zur Verfügung gestellt wird (Bhattacharjee, 2019) .

5.2.2.2 Berechnung des UHVI

Die Berechnung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien ist der nachstehenden Gleichung 5. zu entnehmen und wurde auf Basis der drei Indizes (1) Empfindlichkeitsindex, (2) Anpassungsfähigkeitsindex (ACI) und (3) Expositionsindex (EI) berechnet (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019). Der UHVI ist das Ergebnis aus dem Produkt des Empfindlichkeitsindex und des Expositionsindex nach Abzug des Anpassungsfähigkeitsindex.

$$UHVI = EI * SI - ACI$$

Gleichung 5. Berechnung des UHVI auf Basis der Komponentenindikatoren EI, SI und ACI (Bhattacharjee, 2019)

Die der Berechnung des UHVI entnommenen Ergebnisse wurden abschließend in Form einer strategischen Karte visualisiert (Bhattacharjee, 2019; Robine et al., 2008), siehe *Abbildung 30*. Gebiete mit einer mittel bis stark erhöhten Hitzevulnerabilität wurden in einem farblichen Verlauf von gelb bis rot visualisiert, während Gebiete mit einer leicht erhöhten Hitzevulnerabilität in blau abgebildet wurden. Der Farbverlauf zwischen den Farben ist fließend.

Eine erhöhte Hitzeanfälligkeit konnte insbesondere im Stadtzentrum Wiens beobachtet werden, wie beispielsweise in der Inneren Stadt oder der Josefstadt. Aber auch Zählbezirke im südlichen Teil Wiens sowie in nordöstlichen Teilbezirken über der Donau wurden durch eine erhöhte Hitzeanfälligkeit ausgewiesen. Überdies konnte eine erhöhte Hitzeempfindlichkeit entlang wichtiger Achsen des Schienenverkehrs abgebildet werden.

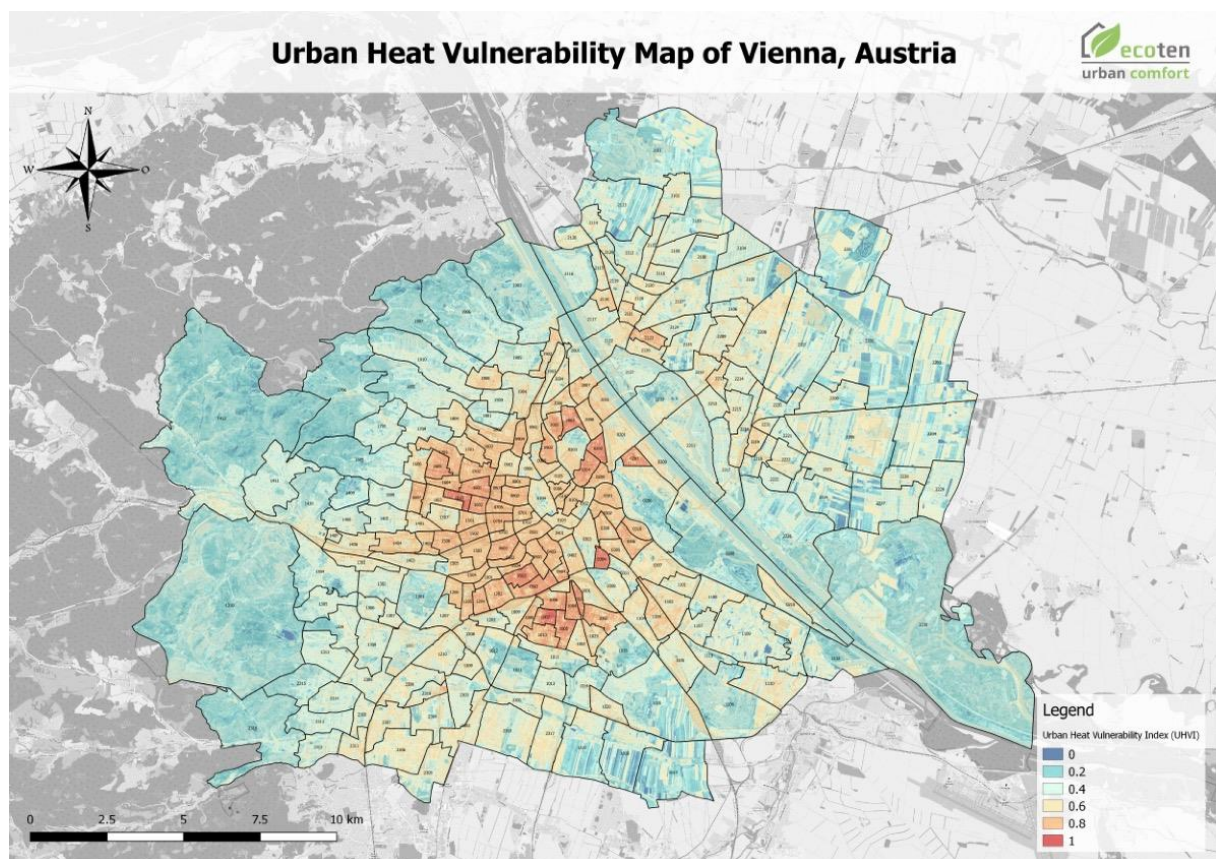


Abbildung 30. Darstellung der Hitzeempfindlichkeit basierend auf den Ergebnissen des UHVI der Stadt Wien (Bhattacharjee, 2019).

5.3 Expert*inneninterview mit Sagnik Bhattacharjee

5.3.1 Grundlage

Um über den online verfügbaren Literaturbestand hinausgehende Informationen zur Entwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien zu erhalten, wurde ein qualitatives leitfadengestütztes Expert*inneninterview mit Sagnik Bhattacharje, MSc., dem Mitbegründer und Leiter der Stadtplanungsdienste von ECOTEN Urban Comfort geführt (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019; S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Das Expert*inneninterview ist nicht nur eines der am häufigsten angewendeten Verfahren in der empirischen Sozialforschung, es wird auch in anderen Forschungsrichtungen regelmäßig zur Erhebung von Informationen direkt aus Expertenquelle eingesetzt (Meuser & Nagel, 2009). Wie der Name bereits vorgibt, wird das Expert*inneninterview mit Expert*innen des ausgewählten Fachbereichs geführt. Als Expert*innen werden im weitläufigen Sprachgebrauch jene Personen bezeichnet (d.h. Sachverständige, Kenner und Fachleute), die über besondere Wissensbestände verfügen (Kühl et al., 2009). Herr Bhattacharje wurde aufgrund seiner leitenden Position im Unternehmen, dem wissenschaftlichen Hintergrund sowie der führenden Rolle bei der Entwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex als geeigneter Experte in diesem Gebiet erachtet und für ein Interview ausgewählt. Das Interview wurde überdies in Form eines leitfadengestützten Expert*inneninterviews durchgeführt. Leitfadengestützte Interviews sind eine stark verbreitete und geeignete Methode um qualitative Daten zu erheben (Baur & Blasius, 2014). Bei der Durchführung eines leitfadengestützten Expert*inneninterviews wird das Ziel verfolgt, durch vorab ausgewählte offene und unbürokratische Fragestellungen die Eigenpräsentation des Experten/ der Expertin (z.B. in Form von freien Erzählpassagen und persönlicher Relevanzvergabe) zu fördern (Kühl et al., 2009). Der des Expert*inneninterviews zugrundeliegende und vorab besprochene Leitfaden ist dem *Anhang D* zu entnehmen und wurde mitsamt einer Einverständniserklärung und einer Datenschutzerklärung im Vorfeld an Bhattacharje S. übermittelt. Der Leitfaden wurde basierend auf dem aktuellen Forschungsstand, den zu beantwortenden Forschungsfragen und den aus der Literaturrecherche offen gebliebenen Fragen in englischer Sprache zusammengestellt (Gläser & Laudel, 2010). Das Expert*inneninterview wurde am 13.03.2023 um 14:00 Uhr via Zoom durchgeführt. Der zur Auswertung des Expert*inneninterviews verwendete Kodierleitfaden ist in *Anhang E* angeführt.

5.3.2 Kodierung des Expert*inneninterviews

Die Auswertung des Expert*inneninterviews wurde auf Basis des Kodierleitfadens nach erfolgreicher Transkription erstellt und in Microsoft Excel durchgeführt. Die Kodierung wurde anhand eines entsprechenden Kategorienschemas abgewickelt (Baur & Blasius, 2014). Der Kodierleitfaden gliedert sich in die drei Teilbereiche (1) Textabschnitt, (2) Kodierung und (3) Kategorie, die zur Sortierung und Aufschlüsselung des Transkriptes, sowie einer vereinfachten Entnahme der Ergebnisse beitragen sollen. Für die Auswertung des Expert*inneninterviews wurde auf sieben Kategorien zurückgegriffen: (1) Hintergrund, (2) Interesse, (3) Zusammenarbeit mit der Stadt Wien, (4) Open Data, (5) ausgewählter Indikator, (6) weiterführende Indikatoren und (7) Zukunftsaussichten, denen die Textabschnitte samt dazugehöriger Kodierung zugeordnet wurden. Im Zuge der Kodierung konnte in jeder Kategorie eine Mindestanzahl von zwei unterschiedlichen Textabschnitten identifiziert werden. Die Auswertung der Kodierung in Form von Ergebnissen wird im folgenden *Kapitel 5.4.2.* näher erläutert.

5.3.3 Auswertung und Ergebnisse des Expert*inneninterviews

Durch das leitfadengestützte Expert*inneninterview mit Bhattacharje S. konnten wesentliche Informationen bezüglich der Erstellung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex, der Zusammenarbeit mit der Stadt Wien, der zugrundeliegenden Datenbasis der verwendeten Indikatoren und der möglichen Miteinbeziehung weiterer Indikatoren zur stärkeren Integration der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung entnommen werden.

Wie bereits in *Kapitel 5.3.3.1* dargelegt, wurde die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber Hitze in den UHVI der Stadt Wien in Form des Empfindlichkeitsindex (SI) durch das sozio-demografische Merkmal Alter abgebildet (Bhanjee, 2019). Aus der Auswertung des leitfadengestützten Expert*inneninterview ging hervor, dass der Indikator Alter aus mehrererlei Hinsicht ausgewählt wurde. Zum einen gelten sowohl ältere Personen als auch Kinder als sozial vulnerabel in Bezug auf urbane Hitze (Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022). Zum anderen nimmt das Alter sowohl im europäischen als auch im österreichischen Kontext aufgrund der alternden Gesellschaft und den damit einhergehenden Herausforderungen und Chancen (Europäische Kommission, 2021) eine zentrale Rolle ein und wird vom IPCC zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes empfohlen (Bhattacharjee, Gerasimova, et al., 2019). Nach Bhattacharje S. wurde die Miteinbeziehung des Alters bei der Entwicklung des

UHVI von Seiten der Stadt Wien aus diesen Gründen ausdrücklich erwünscht, um ältere Bevölkerungsgruppen im Umgang mit urbaner Hitze, beispielsweise in Form von entsprechenden Einrichtungen, gezielt unterstützen zu können (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Diese klare Priorisierung des Alters spielte auch in weiterer Folge eine wesentliche Rolle. Zwar wurde über die Verwendung weiterer Indikatoren zur verstärkten Integration der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung nachgedacht, dieses Vorhaben wurde aber aufgrund einer möglichen Erhöhung der Komplexität des UHVI, dem klaren Fokus auf das Alter (von Seiten der Stadt Wien) sowie der verhältnismäßig einfachen Berechnung nicht weiter verfolgt (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Das Expert*inneninterview lieferte auch einige hilfreiche Informationen bezugnehmend auf eine verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes, durch die mögliche Verwendung weiterer Indikatoren. Bhattacharjee S. nannte in diesem Kontext vor allem die sozio-demografischen Merkmale Einkommen, finanzielle Möglichkeiten, Zugang zu Klima/- und Kühlanlagen, Armut, Gesundheitszustand und Beschäftigung (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Überdies erachtete er auch die beiden Faktoren Infrastruktur und Populationsdichte als relevant in Bezug auf urbane Hitze und die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023).

Dem Begriff Open Data wurde im Gespräch ebenfalls verstärkte Aufmerksamkeit zu teil. Der offene Zugriff auf Daten wurde in der Vergangenheit bereits in diversen Artikel, wie beispielsweise "Open Data in Science" von Murray-Rust (2008) diskutiert. Nach Bhattacharjee S. spielt der offene Zugriff auf Daten im heutigen Zeitalter der Wissenschaft eine essenzielle Rolle. Dies spiegelt sich beispielsweise im urban heat vulnerability index wider, dessen Entwicklung ohne Open Data nicht möglich gewesen wäre (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023).

5.4 Zukünftiges Weiterentwicklungspotential des Urban Heat Vulnerability Index

5.4.1 UHVI im Kontext der Ergebnisse aus dem systematischen Literaturreview

Die Studie zur Entwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindikators der Stadt Wien konnte im Zuge der systematischen Literatursuche auf keiner der vier verwendeten Literaturdatenbanken durch den Einsatz der fünf Suchanfragen (siehe *Kapitel 4*) identifiziert werden. Auch die manuelle Suche ergab in den angegebenen Datenbanken keinen Treffer.

Detaillierte Informationen zur Erstellung des UHVI konnten lediglich über die Stadt Wien und über das Unternehmen ECOTEN Urban Comfort auf Google und Google Scholar gefunden werden. Ähnlich den meisten Studien aus dem systematischen Literaturreview wurde der UHVI ebenfalls im Jahr 2019 entwickelt, zählte aber mit dem Fokus auf eine Stadt in Europa zur Minderheit der betrachteten Literaturquellen.

Der urbane Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien wurde, wie bereits im vorhergegangenen *Kapitel 5.4* eingehend besprochen, auf Basis der drei Indikatoren (1) Empfindlichkeitsindex, (2) Anpassungsfähigkeitsindex und (3) Expositionsindex erstellt (Bhattacharjee, 2019). Der Empfindlichkeitsindex wurde anhand des Alters kalkuliert, in den Anpassungsfähigkeitsindex wurden die beiden Indikatoren - normalisierter Wasserdifferenzindex und erweiterter Vegetationsindex - integriert und in den Expositionsindex die gewichteten jährlichen Durchschnittstemperaturen auf Zählbezirksebene (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019). In Summe wurden für die Erstellung des UHVI somit vier Indikatoren verwendet. Verglichen mit den Ergebnissen des systematischen Literaturreviews konnten lediglich zwei weitere Literaturquellen identifiziert werden, die zumindest gleich viele (Qureshi & Rachid, 2022) oder weniger Indikatoren (Cai et al., 2019) für die Hitzevulnerabilitätsindexerstellung verwendeten. 20 der 22 ausgewählten und analysierten Studien inkludierten mindestens fünf unterschiedliche Indikatoren in den Entwicklungsprozess. Im Durchschnitt wurden im Zuge der 22 ausgewählten Studien knapp fünf sozio-demografische Indikatoren der Entwicklung der Hitzevulnerabilitätsindizes verwendet. Der UHVI der Stadt Wien basierte lediglich auf einem einzelnen sozio-demografischen Merkmal, genauer gesagt dem Alter (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019; S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Im Gegensatz zur durchschnittlichen Anzahl der verwendeten klimatischen und geographischen Indikatoren im systematischen Literaturreview basierte der betrachtete urbane Hitzevulnerabilitätsindex auf insgesamt drei klimatischen und geographischen Indikatoren.

Sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen im Kontext urbaner Hitze wurden in Form des Alters in die Entwicklung des UHVI der Stadt Wien miteinbezogen (Bhattacharjee, Gerasimov, et al., 2019; S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Die beiden Altersgruppen (1) unter 14 Jahren und (2) über 60 Jahren wurden ausschließlich, beziehungsweise auf die Ergebnisse aus dem systematischen Literaturreview, ein weiteres Mal in dieser Kombination

eingesetzt und zwar bei der Erstellung des UHVI für Mailand (Bhattacharjee, Gerasimova, et al., 2019)

5.4.2 Vorschlag zur Erweiterung des UHVI um zusätzliche Indikatoren

Der urbane Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien wurde aus mehrerlei Gründen als Beispiel herangezogen, um die Weiterentwicklung eines Index um eine verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität vorzuschlagen. Zum einen basiert der Index wie bereits erwähnt lediglich auf einem Faktor, der die soziale Vulnerabilität seitens der Bevölkerung widerspiegelt. Zum anderen wurde der UHVI nicht in das systematische Literaturreview miteinbezogen, die Ergebnisse aus der Literatursuche stehen demnach in keinem direkten Zusammenhang mit dem betrachteten Index. Basierend auf den Ergebnissen des systematischen Literaturreviews, dem vorhandenen Literaturbestand und den gewonnenen Informationen aus dem Expert*inneninterview mit Bhattacharje S. werden im folgenden Kapitel Indikatoren genannt, die zur Weiterentwicklung des UHVI der Stadt Wien, um eine verstärkte Integration der Perspektive der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung, beitragen könnten. Vorab folgt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Literaturrecherche, dem systematischen Review und dem Experteninterview.

In der Hitzevulnerabilitätsforschung wird insbesondere die Empfindlichkeit von sozial vulnerablen Bevölkerungsgruppen gegenüber Klimaveränderungen, wie beispielsweise urbaner Hitze vermehrt thematisiert (Otto et al., 2017; Renteria et al., 2022). Die soziale Vulnerabilität lässt sich in diesem Zusammenhang vorrangig durch Unterschiede in den sozialen, wirtschaftlichen, politischen und infrastrukturellen u.Ä. Merkmalen zwischen Personen beobachten (Cutter et al., 2003; Cutter & Finch, 2008; U.S. Environmental Protection Agency, 2021). Sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen im Kontext mit der städtischen Hitzeanfälligkeit werden in *Kapitel 2.4* hauptsächlich über die sozio-demografischen Merkmale (1) Alter, (2) Geschlecht, (3) Rasse und Ethnie, (4) sozioökonomischer Status, (5) Einkommen, (6) Bildungsniveau, (7) Armut, (8) Sozialkapital und (9) Gesundheit identifiziert (Guardaro, Hondula, & Redman, 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022). Ähnliche Ergebnisse ergab auch die Auswertung des systematischen Literaturreviews in *Kapitel 4.3.3.4*. Neben dem sozio-demografischen Merkmal Alter wurden die Indikatoren Bildung, Gesundheit, Armut, Familienstand, Einkommen sowie Rasse und Ethnizität in den 22 betrachteten Literaturquellen am häufigsten zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes

eingesetzt. Aus dem Expert*inneninterview gingen ebenfalls die sozio-demografischen Merkmale Einkommen, Armut und Gesundheit hervor, um die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung verstärkt in die Erstellung zukünftiger Hitzevulnerabilitätsindizes miteinzubeziehen (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). Darüberhinaus verwies Bhattacharjee S. auf die Wichtigkeit und das Potential der Faktoren: finanzielle Möglichkeiten, Beschäftigung, Infrastruktur und Populationsdichte für die Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023).

Basierend auf den zugrundeliegenden Ergebnissen werden die folgenden fünf Faktoren als potenziell hilfreich vorgeschlagen, um den urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien über das Alter hinausgehend, um eine verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung zu erweitern: (1) Einkommen, (2) Bildung, (3) Armut, (4) Gesundheit und (5) Wohnverhältnisse. Obwohl Rasse und Ethnie sowohl in der Literatur als auch im Zuge der Auswertung des systematischen Literaturreviews als wichtiges Merkmal zur Abbildung der sozialen Vulnerabilität im Kontext der Hitzeanfälligkeit genannt wurden, wird diesem Faktor bei der Weiterentwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien keine Aufmerksamkeit gewidmet. Zum einen konnten Unterschiede in der Hitzetoleranz von Personen auf Grundlage ihrer Rasse und Ethnie nicht schlüssig nachgewiesen werden (Taylor, 2006; Yardley et al., 2011). Zum anderen spielen diese Begriffe im europäischen Kontext in der Hitzevulnerabilitätsforschung eine untergeordnete Rolle, im Unterschied zum nordamerikanischen Forschungskontext (Nikkanen et al., 2021), wo die rassische/ethnische Zugehörigkeit vermehrt mit einer erhöhten hitzebedingten Morbidität und Mortalität in Verbindung gebracht wird (Gronlund, 2014).

5.4.2.1 *Armut*

Allgemein wird die Armut als zentrales Merkmal für die soziale Anfälligkeit von betroffenen Bevölkerungsgruppen gesehen, nicht zuletzt durch ihren direkten Zusammenhang mit dem Zugang zur Ressourcen (Cutter et al., 2003; Neil Adger, 1999). In Wien sind knapp zehn Prozent der Bevölkerung materiell depriviert, vier Prozent erheblich depriviert und können es sich beispielsweise nicht leisten ihre Wohnung angemessen zu beheizen oder unerwartete Ausgaben beispielsweise in Form von Reparaturkosten zu tätigen (Stadt Wien, 2022b). Da von Armut betroffene Menschen aufgrund ihrer geringsten Menge an Ressourcen, Wissen und

Möglichkeiten zu den am stärksten von sozialer Vulnerabilität gegenüber urbaner Hitze betroffenen Bevölkerungsgruppen zählen (National Collaborating Centre for Environmental Health, 2010; OECD, 2003), könnte eine Inkludierung der Betroffenen zur Weiterentwicklung des UHVI beitragen. Dies könnte einerseits helfen, von Armut betroffene Menschen in die Hitzevulnerabilitätsforschung stärker zu integrieren und auf deren Bedürfnisse, durch die sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen z.B. Kühlungsbedarf der Wohneinheit gezielt einzugehen.

5.4.2.2 Gesundheit

Menschen mit chronischen Erkrankungen und körperlicher sowie geistiger Beeinträchtigung gelten als sozial vulnerable Bevölkerungsgruppe gegenüber urbaner Hitze (Beckmann & Hiete, 2020; Renteria et al., 2022; US EPA, 2022; Wang et al., 2023) aufgrund ihrer verminderten oder eingeschränkten Fähigkeit in der Wahrnehmung und Reaktion auf Temperaturschwankungen (Beckmann & Hiete, 2020). In Österreich wurde 2019 eine Gesundheitsumfrage auf Selbsteinschätzungsniveau durchgeführt, die ergab, dass 38,3 Prozent der Gesamtbevölkerung unter chronischen Krankheiten leidet (STATISTIK AUSTRIA, 2020). Insbesondere Krankheiten wie Allergien (22,9 Prozent), Asthma (4,3 Prozent) und COPD (4,6 Prozent) (STATISTIK AUSTRIA, 2020) stehen in engem Zusammenhang mit urbaner Hitze sowie der sozialen Vulnerabilität einer Person (Beckmann & Hiete, 2020; Han et al., 2023). Darüber hinaus gaben österreichweit „311.000 Männer und 353.000 Frauen an, aufgrund eines dauerhaften gesundheitlichen Problems bei Tätigkeiten des Alltagslebens stark eingeschränkt zu sein, weitere 745.000 Männer und 808.000 Frauen waren etwas eingeschränkt“ (Holzer, 2019). Gesundheitliche Probleme und Erkrankungen der Bevölkerung sind dementsprechend ein Thema, welches in Bezug auf die Erforschung der Hitzevulnerabilität der Bevölkerung nicht vernachlässigt werden sollte. Basierend auf diesen Ergebnissen könnte eine Integration des sozio-demografischen Merkmales Gesundheit dazu beitragen, sozial vulnerable Bevölkerungsgruppen aufgrund ihres Gesundheitszustandes zu identifizieren und in die Bewertung der Hitzeanfälligkeit der Gesamtbevölkerung zu integrieren.

5.4.2.3 Einkommen

Das Einkommensniveau wird als besonders relevante Determinante der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung gesehen (Oulahen et al., 2015). Ein niedriges Einkommen ist oftmals mit einer geringen Wahrscheinlichkeit verbunden, sich auf Katastrophen wie beispielsweise urbane Hitze sowie den daraus resultierenden Folgen einzustellen (Nikkanen et al., 2021). In Wien wird das Einkommen in eingeschränkter Form, beispielsweise als Durchschnittlicher Jahresbezug pro Arbeitnehmer*in in Euro nach Bezirken öffentlich zugänglich gemacht (STATISTIK AUSTRIA, 2022b). Die Betrachtung und Integration des Einkommens auf Bezirksebene in die Weiterentwicklung des UHVI der Stadt Wien könnten helfen, Bezirke mit erhöhter sozialer Vulnerabilität aufgrund des Einkommens zu identifizieren. Überdies könnten gezielte Maßnahmen gesetzt werden um betroffene Bevölkerungsgruppen bei der Bewältigung urbaner Hitze durch entsprechende finanzielle Aufwendungen von staatlicher Seite sowie Hilfskampagnen zu unterstützen.

5.4.2.4 Bildung

Das Bildungsniveau ist ebenfalls ein bestimmender Faktor für die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung, besonders mit Bezug zu Hitzeanfälligkeit (Cutter et al., 2003; Nikkanen et al., 2021). Bevölkerungsgruppen mit einem niedrigen Bildungsabschluss haben nachweislich eine erhöhte hitzebedingte Sterblichkeitsrate (W. Cheng et al., 2021). Das Bildungsniveau ist in diesem Kontext vorrangig mit einem geringen Einkommen verbunden und übt starken Einfluss auf die Möglichkeiten aus, die eine Person hat, um sich (beispielsweise finanziell) an Hitzekatastrophen anzupassen (Cutter et al., 2003). Rund 300.000 000 Personen im Erwerbsalter (zwischen 25 bis 64 Jahren) besaßen im Jahr 2020 in Wien einen Hochschulabschluss als höchsten abgeschlossenen Ausbildung (Mohr, 2022b). Gleichzeitig lag der Anteil der Wiener Bevölkerung mit bloßer Pflichtschulausbildung (235.000 Personen) ebenfalls relativ hoch und mit mehr als 21 Prozent deutlich über dem österreichischen Durchschnitt (STATISTIK AUSTRIA, 2022a).

Die Bildung könnte aufgrund erkennbarer Divergenzen im Bildungsniveau der Bevölkerung, einen interessanten zusätzlichen Indikator zur Abbildung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung zur Weiterentwicklung des UHVI darstellen. Durch die Miteinbeziehung des Bildungsabschlusses der Wiener*innen können Bevölkerungsgruppen identifiziert werden, die durch einen niedrigeren Bildungsstand sozial vulnerabler und hitzeanfälliger sind als

andere Bevölkerungsgruppen und durch eine gezielte Maßnahmensetzung bei der Bewerkstelligung der Hitzeanpassung besser unterstützt werden.

5.4.2.5 Wohnverhältnisse

In früheren Forschungsarbeiten konnte der Zusammenhang zwischen den Wohnverhältnissen und dem Gesundheitszustand bereits kausal nachgewiesen werden (Maller & Strengers, 2011). Als soziale Determinante der Gesundheit spielt die Wohnsituation eine unverkennbare Rolle für die Anfälligkeit sozial vulnerabler Bevölkerungsgruppen für urbane Hitze und für die Planung und Umsetzung von Anpassungsstrategien seitens der Regierung, der Gemeinschaft und der Familien (Cai et al., 2019; Maller & Strengers, 2011). Im Jahr 2022 betrug die Mietquote für Hauptwohnsitzwohnungen in Wien 77,7 Prozent, wovon sich der Anteil von Haushalten mit Gemeindewohnungen auf 26 Prozent belief. In Bezug auf den verfügbaren Wohnraum pro Person (in Quadratmeter), die Lage sowie die Ausstattung der Wohnung konnten in Wien deutliche Unterschiede zwischen Personengruppen mit unterschiedlichem Migrationshintergrund sowie zwischen Personengruppen unterschiedlichen Bildungsgrades festgestellt werden (Verwiebe et al., 2020).

Die Wohnverhältnisse könnten ein wichtiges, die soziale Vulnerabilität von Personen beeinflussendes Merkmal im Zusammenhang mit urbaner Hitze sowie der Abbildung von Hitzevulnerabilität darstellen. Dies könnte beispielsweise durch die Miteinbeziehung der Wohnverhältnisse in Form von Daten zur Beschaffenheit und Ausstattung, dem Alter des Bauwerks, Art der Dämmung oder Anzahl an Quadratmeter pro Bewohner*in bewerkstelligt werden.

5.4.3 Diskussion des Erweiterungsvorschlags des UHVI um zusätzliche Indikatoren

Die Auswahl der in *Kapitel 5.5.2* angeführten Indikatoren zur Weiterentwicklung des UHVI der Stadt Wien wurde wie bereits erwähnt, auf Basis der vorhergegangenen Literaturrecherche, den Ergebnissen des systematischen Literaturreviews und dem Experteninterview getroffen. Da aus dem systematischen Review resultierte, dass im Schnitt 9,7 Indikatoren zur Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung verwendet wurden, wurde eine Aufstockung des UHVI der Stadt Wien um fünf Indikatoren auf insgesamt neun Indikatoren vorgeschlagen. Es wurden lediglich Indikatoren vorgeschlagen, die einen Bezug zur sozialen Vulnerabilität der

Bevölkerung aufweisen, um dadurch eventuell eine stärkere Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in den UHVI zu bewirken.

Die ausgewählten Indikatoren stellen lediglich einen Vorschlag zur Weiterentwicklung des UHVI dar, die aus den der Masterarbeit zugrundeliegenden Ergebnissen resultieren. Diese repräsentieren den momentanen Stand der verwendeten Indikatoren in der Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung. Die Ergebnisse könnten sich in Anbetracht neuer Erkenntnisse in der Hitzevulnerabilitätsforschung in Zukunft ändern und dementsprechend abweichende Ergebnisse liefern. Für eine tatsächliche Verwendung der fünf genannten Faktoren würde es einer vertiefenden, über die Theorie hinausgehenden Erforschung ihres Einflusses auf das Endergebnis bedürfen. Des Weiteren wurden die Indikatoren in der Vorstellung ausgewählt, keine Limitierungen in Bezug auf den Zugriff der verwendeten Daten vorzufinden. Dabei handelt es sich um eine Idealvorstellung, in der Realität werden beispielsweise in Folge der Sensibilität von persönlichen Daten nicht alle Informationen auf Open Data Basis zur Verfügung gestellt. Für die Miteinbeziehung der fünf vorgeschlagenen Indikatoren müsste daher überprüft werden, inwiefern die Daten frei zugänglich vorzufinden sind, beziehungsweise unter welchen Voraussetzungen der Zugriff und die Verwendung für Forschungszwecke gestattet ist. Neben den fünf ausgewählten Faktoren gäbe es noch eine große Anzahl an weiteren Indikatoren, die zur verstärkten Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in der Indexerstellung Anwendung finden könnte. Diese Optionen sollten im Falle einer tatsächlichen Weiterentwicklung des UHVI der Stadt Wien keinesfalls außer Acht gelassen werden und im Kontext der Stadt sowie der Struktur der Bevölkerung betrachtet werden. Gewisse Indikatoren eignen sich für bestimmte Forschungskontexte besser als andere. Während beispielsweise der Zugang zu Trinkwasser für den amerikanischen und europäischen Kontext der Hitzevulnerabilitätsforschung irrelevant erscheint, ist dieser Faktor in vielen Teilen Asiens und Südamerikas von zentraler Bedeutung.

6. Conclusio

6.1 Zusammenfassung und Diskussion

Der Klimawandel ist ein treibender Faktor für die Erhöhung der Temperaturen in städtischen Gebieten, was sich in Zukunft in Form einer gesteigerten Häufigkeit an Hitzewellen sowie einer Intensivierung urbaner Hitzeinseln äußern wird (W. Cheng et al., 2021; Iping et al., 2019; T.

Wolf & McGregor, 2013). Die Auswirkungen von städtischer Hitze sind weitreichend und betreffen insbesondere die Bevölkerung (Watts et al., 2021), die Umwelt (Santamouris, 2020) und die Wirtschaft (Nugent, 2022; Parsons, 2002; Zander et al., 2015). Die Folgen machen sich beispielsweise in Form einer Verschlechterung der Luft- (Piracha & Chaudhary, 2022; Ulpiani, 2021) und Wasserqualität (Briciu et al., 2020; Somers et al., 2016), in der Beeinträchtigung der Energieeffizienz von Gebäuden sowie einer Erhöhung des Energiebedarfs (Santamouris, 2014, 2020; Santamouris et al., 2015) bemerkbar. Aber auch ein Anstieg der hitzebedingten Morbidität und Mortalität der städtischen Bevölkerung ist in diesem Zusammenhang erkennbar (Piracha & Chaudhary, 2022). Um den Folgen der steigenden Temperaturen in urbanen Gebieten entgegenzuwirken ist eine gezielte Maßnahmensetzung von Seiten der lokalen Regierungen, Behörden und der Mitglieder des privaten Sektors essenziell um den Schutz der Einwohner*innen vor künftigen Hitzeereignissen zu gewährleisten (W. Cheng et al., 2021; Soomar & Soomar, 2023).

Zu diesem Zweck kam es vermehrt zur Entwicklung und zum Einsatz von Hitzevulnerabilitätsindizes, auf Basis derer eine Charakterisierung der Hitzeanfälligkeit sowie eine anschließende Kartierung vorgenommen werden konnte (T. Wolf & McGregor, 2013). Insbesondere im Zuge der letzten Jahrzehnte stieg das Bewusstsein für die Wichtigkeit der konkreten Miteinbeziehung sozial vulnerabler Bevölkerungsgruppen in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes durch den Einsatz ausgewählter Indikatoren (Giovane di Girasole & Cannatella, 2017; Guardaro, Hondula, Ortiz, et al., 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022; Sandholz et al., 2021).

Im Zuge des systematischen Literaturreviews konnte festgestellt werden, dass vorrangig sozio-demografische Indikatoren zur Darstellung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung verwendet wurden, ergänzend aber auch klimatische und geographische, institutionelle sowie Indikatoren der bebauten Umwelt zur Berücksichtigung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung beitrugen. Insbesondere die fünf sozio-demografischen Indikatoren (1) Alter, (2) Bildung, (3) Gesundheit, (4) Armut und (5) Familienstand wurden in einer Vielzahl an Studien verwendet. Durchschnittlich kam es zum Einsatz von zehn Indikatoren pro Arbeit, von denen jeweils knapp fünf Indikatoren auf sozio-demografischen Merkmalen beruhten. Die Datenzugänglichkeit erwies sich bei der Wahl der verwendeten Indikatoren als zentraler Entscheidungsfaktor, wobei insbesondere Open Data in diesem Zusammenhang eine

entscheidende Bedeutung beigemessen werden konnte. Eine tiefergreifende Diskussion der Ergebnisse des systematischen Literaturreviews sind *Kapitel 4.3.4* zu entnehmen.

Die Ergebnisse des systematischen Literaturreviews konnten teilweise durch die Ergebnisse des Expert*inneninterviews bestärkt werden. Bhattacharjee S. bestätigte beispielsweise die Bedeutsamkeit von Open Data im Zusammenhang mit der Wissenschaft im Allgemeinen sowie der Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes im Konkreten (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023).

Bezugnehmend auf die Weiterentwicklung des urbanen Hitzevulnerabilitätsindex der Stadt Wien wurden, auf Basis der vorhergegangenen Literaturrecherche, der Ergebnisse des systematischen Literaturreviews und des Expert*inneninterviews, fünf Indikatoren (1. Einkommen, 2. Bildung, 3. Armut, 4. Gesundheit und 5. Wohnverhältnisse) zur verstärkten Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in die Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung vorgeschlagen. Eine konkrete Begründung und Diskussion der Auswahl der Indikatoren wird in *Kapitel 5.4.3* geführt.

6.2 Handlungsempfehlung und Ausblick

Ein direkter Vergleich zwischen den verschiedenen Hitzevulnerabilitätsindizes erwies sich durch Unterschiede in Bezug auf den konzeptionellen Rahmen, die verwendeten Indikatoren und die Verfügbarkeit von den, den Indikatoren zugrundeliegenden Daten teilweise als herausfordernd. Darüber hinaus unterlagen die einzelnen Indikatoren oftmals einer unterschiedlichen und voneinander abweichenden Definitionsbasis, die einen Vergleich erneut erschwerte.

Um den direkten Vergleich zwischen den verschiedenen Hitzevulnerabilitätsindizes zu erleichtern und eine optimale Vergleichsbasis zu schaffen wäre es daher von Vorteil, einen international gültigen und einheitlichen Leitfaden zur Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes zu erstellen. Darin könnten beispielsweise ein, der Indexentwicklung zugrundeliegender konzeptioneller Rahmen sowie klare Angabe zur Maximalanzahl und Minimalanzahl der zu verwendenden Indikatoren festgehalten werden. Aber auch eine Auflistung aller zur Hitzevulnerabilitätsindexentwicklung vorgeschlagenen Indikatoren samt zugrundeliegender Definition, sowie darüberhinausgehende Indikatoren zur Abbildung von standortsspezifischen Besonderheiten oder studienabhängigen Zielen wäre

denkbar. Die konkrete Erstellung und Umsetzung eines solchen Leitfadens wäre zwar in der Theorie durchführbar, dieses Vorgehen würde jedoch in der Praxis den Diskurs zwischen diversen wissenschaftlichen Disziplinen sowie unterschiedlichen Akteuren bedürfen und weit über das Knowhow einzelner Forschungsdisziplinen weit hinausgehen. Das Potential eines solchen Leitfadens müsste daher im ersten Schritt dem möglichen Nutzen sowie entstehenden Aufwand gegenübergestellt werden.

Für eine stärkere Integration der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in die Entwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes könnte es ebenfalls von Vorteil sein, gewisse Indikatoren einheitlich festzulegen, die in jedem Fall verwendet werden sollten. Diesem Ansatz liegt jedoch zugrunde, dass vorab eine einheitliche Definition der sozialen Vulnerabilität getroffen werden sollte, um Zweideutigkeiten und Irreführungen zu vermeiden. Darüber hinaus ist die Festlegung allgemeingültiger Indikatoren zur Abbildung der sozialen Vulnerabilität mit Sicherheit kein einfaches Unterfangen und bedarf wiederum der Zusammenarbeit unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen.

Bezugnehmend auf den urbanen Hitzevulnerabilitätsindex könnte die verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung basieren auf den vorgeschlagenen Indikatoren erzielt werden. Eine vertiefende Recherche, eine Überprüfung der Datenverfügbarkeit und eine möglicherweise resultierende Steigerung der Komplexität des Index wäre vorab empfehlenswert. Um den UHVI der Stadt Wien um eine verstärkte Integration der sozialen Vulnerabilität zu erweitern, müsste dahingehend auch ein konkretes Interesse von Seiten der Stadt Wien bestehen. Da der urbane Hitzevulnerabilitätsindex im Zuge dieser Masterarbeit lediglich als anschauliches Beispiel herangezogen wurde, wurden keinerlei Gespräche mit der Stadt Wien in diese Richtung geführt. Daher kann das Interesse der Stadt Wien betreffend einer verstärkten Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung zum aktuellen Zeitpunkt weder bestätigt noch ausgeschlossen werden.

6.3 Fazit

In Anbetracht der zahlreichen Studien und Artikel der Hitzevulnerabilitätsforschung in Bezug auf die Verwendung von Indikatoren sowie deren Einsatz in der Entwicklung von Indizes erscheint das Potential zur Abbildung der Hitzevulnerabilität auch in Hinblick auf die Zukunft als nicht erschöpft. Neue Hitzevulnerabilitätsindizes werden laufend, basierend auf dem

fortschreitenden Stand der Wissenschaft entwickelt und liefern immer bessere Ergebnisse zur Abbildung der Hitzevulnerabilität der Bevölkerung. Bhattacharjee S. Einschätzung zufolge wird die Arbeit in der Hitzevulnerabilitätsforschung auch in Zukunft auf dem Einsatz von Indikatoren basieren, es sei denn es kommt zur Entwicklung neuartiger und effektiverer Ansätze (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023). In Hinblick auf die zukünftige Weiterentwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes ist eine verstärkte Integration sozial vulnerabler Bevölkerungsgruppen in Form von weiteren Indikatoren denkbar und wahrscheinlich. Jedoch sollte es mit dem Einsatz von Indikatoren nicht übertrieben werden, da diese auf spezifischen Kontexten basieren und dementsprechend auch angewendet werden sollten (S. Bhattacharjee, personal communication, 13 March 2023).

7. Literaturverzeichnis

- Abdollahzadeh, N., & Biloria, N. (2021). Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 394–409. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.006>
- Abrahamson, V., Wolf, J., Lorenzoni, I., Fenn, B., Kovats, S., Wilkinson, P., Adger, W. N., & Raine, R. (2009). Perceptions of heatwave risks to health: Interview-based study of older people in London and Norwich, UK. *Journal of Public Health*, 31(1), 119–126. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdn102>
- Abrar, R., Sarkar, S. K., Nishtha, K. T., Talukdar, S., Shahfahad, Rahman, A., Islam, A. R. M. T., & Mosavi, A. (2022). Assessing the Spatial Mapping of Heat Vulnerability under Urban Heat Island (UHI) Effect in the Dhaka Metropolitan Area. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su14094945>
- Adger, Neil. W. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(268–281). <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959378006000422?token=7536CEFB1D248605125B8A0082375EB5E767A3DFFFD8EDCAA7D341E9A63D437D1DB62BE9BF2A21C2713BC7D07D99C00D&originRegion=eu-west-1&originCreation=20221220115701>
- Albrecht, S., Parnitzke, A. M., & Reichert, J. (2012). *Verwundbare Stadt: Ein Beitrag zum Konzept Vulnerabilität am Beispiel der 'Schweinegrippe'*. <https://doi.org/10.14279/DEPOSITONCE-3295>
- Alexander, D., Birkmann, J., & Kienberger, S. (Eds.). (2014). *Assessment of vulnerability to natural hazards: A European perspective*. Elsevier.
- Almodayan, A. (2018). Analytical Hierarchy (AHP) Process Method for Environmental Hazard Mapping for Jeddah City, Saudi Arabia. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(6), Article 6. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.66011>
- Aromataris, E., & Pearson, A. (2014). The Systematic Review: An Overview. *AJN The American Journal of Nursing*, 114(3), 53. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0000444496.24228.2c>
- ASHRAE. (2013). *ANSI/ASHRAE Standard 55–2013; Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, GA, USA, 23.
- Auer, I. (2014). Kapitel 3: Vergangene Klimaänderung in Österreich. In H. Kromp-Kolb, N. Nakicenovic, K. Steininger, A. Gobiet, H. Formayer, A. Köppl, F. Prettenhaler, J. Stötter, & J. Schneider (Eds.), *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014* (pp. 227–300). Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. <https://doi.org/10.1553/aar14s227>
- Aziz, T. (2018). MYTH AND REALITY OF VULNERABILITY TO DISASTER: PRESSURE AND RELEASE MODEL FOR HAZARDS IN BANGLADESH. *J. S. Asian Stud*, 06(01), 23–31.
- Babcicky, P., & Seebauer, S. (2021). People, not just places: Expanding physical and social vulnerability indices by psychological indicators. *Journal of Flood Risk Management*, 14(4), e12752. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12752>
- Baquero, M. T., & Forcada, N. (2022). Thermal comfort of older people during summer in the continental Mediterranean climate. *Journal of Building Engineering*, 54, 104680. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104680>
- Barrow, M. W., & Clark, K. A. (1998a). Heat-related illnesses. *American Family Physician*, 58(3), 749–756, 759.
- Bauer, R., Fendt, C., Lukacsy, M., & Trautinger, F. (2022). *Wien in Zahlen 2022*. 15.

- Baur, N., & Blasius, J. (Eds.). (2014). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-18939-0>
- Beckinsale, R. P. (1979). Book reviews: Burton, I., Kates, R. W. and White, G. F. 1978: The environment as hazard. New York: Oxford University Press. xvi+240 pp. £5.00 cloth; £2.95 paper. Waltham, T. 1978: Catastrophe: the violent earth. London: Macmillan. vi + 170 pp. £5.95. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 3(4), 600–603. <https://doi.org/10.1177/030913337900300408>
- Beckmann, S. K., & Hiete, M. (2020). Predictors Associated with Health-Related Heat Risk Perception of Urban Citizens in Germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 874. <https://doi.org/10.3390/ijerph17030874>
- Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B., & Zhang, Y. (2015). Assessing the Relationship Between Social Vulnerability and Community Resilience to Hazards. *Social Indicators Research*, 122(2), 391–409. <https://doi.org/10.1007/s11205-014-0698-3>
- Bhanjee, S. (2019). *Urban (un)planning and social vulnerability in the context of rapid urbanization and data constraints: A quantitative study of Dar es Salaam, Tanzania*. [University of Louisville]. <https://doi.org/10.18297/etd/3254>
- Bhattacharjee, S. (2019). *The urban heat vulnerability map of Vienna, Austria*.
- Bhattacharjee, S. (2023, March 13). *expert interview: Urban heat mapping and creation of the urban heat vulnerability index of the city of vienna* (I. Sander, Interviewer) [Zoom].
- Bhattacharjee, S., Gerasimov, E., Imbert, C., Tencar, J., Telou, B., & Verduga Mayorga, M. G. (2019). Urban Heat Vulnerability Assessment of Vienna. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2), 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.12.001>
- Bhattacharjee, S., Gerasimova, E., Imbert, C., Tencar, J., & Rotondo, F. (2019). Assessment of Different Methodologies for Mapping Urban Heat Vulnerability for Milan, Italy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 290(1), 012162. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012162>
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D. E., Zeil, P., & Welle, T. (2014). Chapter 1 - Theoretical and Conceptual Framework for the Assessment of Vulnerability to Natural Hazards and Climate Change in Europe¹¹This chapter is based on a paper published in Natural Hazards dealing with the MOVE framework; see in detail Birkmann et al., 2013.: The MOVE Framework. In J. Birkmann, S. Kienberger, & D. E. Alexander (Eds.), *Assessment of Vulnerability to Natural Hazards* (pp. 1–19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410528-7.00001-1>
- Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., & Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. *Natural Hazards*, 67(2), 193–211. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>
- Birkmann, J., Jamshed, A., McMillan, J. M., Feldmeyer, D., Totin, E., Solecki, W., Ibrahim, Z. Z., Roberts, D., Kerr, R. B., Poertner, H.-O., Pelling, M., Djalante, R., Garschagen, M., Leal Filho, W., Guha-Sapir, D., & Alegría, A. (2022). Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning. *Science of The Total Environment*, 803, 150065. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150065>
- Birkmann, J., & UNU-EHS Expert Working Group on Measuring Vulnerability (Eds.). (2013). *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies* (Second edition). United Nations University

Press.

Bodilis, C., Yenneti, K., & Hawken, S. (2018, 08). *Heat Vulnerability Index for Sydney*. Research Data Australia. <https://doi.org/10/cs9m>

Bohle, H. G. (2001). Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. *IHDP Update, Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change 2*, Article 1.

Borowitz, M. (2017). *Open Space: The Global Effort for Open Access to Environmental Satellite Data*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/10659.001.0001>

Böttcher, F., & Zosseder, K. (2022). Thermal influences on groundwater in urban environments – A multivariate statistical analysis of the subsurface heat island effect in Munich. *Science of The Total Environment*, 810, 152193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152193>

Bowman, T. (2023, January 24). *Library Guides: Literature Review: Systematic literature reviews*. <https://libguides.csu.edu.au/review/Systematic>

Brandenburg, C., Damyanovic, D., Reinwald, F., Allex, B., Gantner, B., & Czachs, C. (2015). *Urban Heat Islands—Strategieplan Wien*. 116.

Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>

Briciu, A.-E., Mihăilă, D., Graur, A., Oprea, D. I., Prisăcariu, A., & Bistricean, P. I. (2020). Changes in the Water Temperature of Rivers Impacted by the Urban Heat Island: Case Study of Suceava City. *Water*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/w12051343>

Brito, P. (2014). Symbolic Data Analysis: Another look at the interaction of Data Mining and Statistics. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 4(4), 281–295. <https://doi.org/10.1002/widm.1133>

Brooks, N., Neil Adger, W., & Mick Kelly, P. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>

Buo, I., Sagris, V., Burdun, I., & Uuemaa, E. (2021). Estimating the expansion of urban areas and urban heat islands (UHI) in Ghana: A case study. *Natural Hazards*, 105(2), 1299–1321. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04355-4>

Bureau, U. C. (2023). *American Community Survey (ACS)*. Census.Gov. <https://www.census.gov/programs-surveys/acs>

Burton, I., Kates, R. W., & White, G. F. (1978). *The environment as hazard*. Oxford University Press.

Buscail, C., Upegui, E., & Viel, J.-F. (2012). Mapping heatwave health risk at the community level for public health action. *International Journal of Health Geographics*, 11(1), 38. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-38>

Cai, Z., Tang, Y., Chen, K., & Han, G. (2019). Assessing the Heat Vulnerability of Different Local Climate Zones in the Old Areas of a Chinese Megacity. *Sustainability*, 11(7), 2032. <https://doi.org/10.3390/su11072032>

Canada, P. H. A. of. (2020, July 15). *Reducing the risks of extreme heat for seniors: Communicating risks and building resilience* [Research]. <https://www.canada.ca/en/public-health/services/reports-publications/health-promotion-chronic-disease-prevention-canada-research-policy-practice/vol-40-no-7-8-2020/reducing-risks-extreme-heat-seniors.html>

- Cartalis, C., Synodinou, A., Proedrou, M., Tsangrassoulis, A., & Santamouris, M. (2001). Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management*.
- Carter, T. R., Fronzek, S., Inkinen, A., Lahtinen, I., Lahtinen, M., Mela, H., O'Brien, K. L., Rosentrater, L. D., Ruuhela, R., Simonsson, L., & Terama, E. (2016). Characterising vulnerability of the elderly to climate change in the Nordic region. *Regional Environmental Change*, 16(1), 43–58. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0688-7>
- Cartone, A., & Postiglione, P. (2021). Principal component analysis for geographical data: The role of spatial effects in the definition of composite indicators. *Spatial Economic Analysis*, 16(2), 126–147. <https://doi.org/10.1080/17421772.2020.1775876>
- Center for Disaster Control and Prevention. (2023, February 21). *CDC Organization*. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/about/organization/cio.htm>
- Chen, L., Chen, J., & Xia, C. (2022). Social network behavior and public opinion manipulation. *Journal of Information Security and Applications*, 64, 103060. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.103060>
- Cheng, H., Wang, W., van Oel, P. R., Lu, J., Wang, G., & Wang, H. (2021). Impacts of different human activities on hydrological drought in the Huaihe River Basin based on scenario comparison. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100909. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100909>
- Cheng, W., Li, D., Liu, Z., & Brown, R. D. (2021). Approaches for identifying heat-vulnerable populations and locations: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 799, 149417. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149417>
- Coccolo, S., Kämpf, J., Mauree, D., & Scartezzini, J.-L. (2018). Cooling potential of greening in the urban environment, a step further towards practice. *Sustainable Cities and Society*, 38, 543–559. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.019>
- Cohen, D. (2015). Understanding Population Density. *The United States Census Bureau*. <https://www.census.gov/newsroom/blogs/random-samplings/2015/03/understanding-population-density.html>
- Crichton, D. (1999). The risk triangle. *Nat. Disaster Manag.*, 102(3).
- Crutzen, P. (2004). New Directions: The growing urban heat and pollution ?island? effect?impact on chemistry and climate*1. *Atmospheric Environment*, 38(21), 3539–3540. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.03.032>
- Cueto, I. (2022, July 19). It's not just heat stroke. Extreme temperatures pose special risk to people with chronic illness (and that's a lot of us). *STAT*. <https://www.statnews.com/2022/07/19/heat-waves-risk-to-people-with-chronic-illness/>
- Cutter, S. L. (1996). Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20(4), 529–539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18(4), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Cutter, S. L., & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(7), 2301–2306. <https://doi.org/10.1073/pnas.0710375105>

Damyanovic, D., Reinwald, F., Brandenburg, C., Alex, B., Gantner, B., Morawetz, U., & Preiss, J. (2016). Pilot Action City of Vienna – UHI-STRAT Vienna. In F. Musco (Ed.), *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario* (pp. 257–280). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10425-6_9

data.gv.at. (2014, January 1). *Bevölkerungsprognose 2014 bis 2024—Zählbezirke (1) Wien*. https://www.data.gv.at/katalog/dataset/stadt-wien_viebevölkerungsprognose2014bis2024wienerzhlbezirke1

Daufresne, M., & Boët, P. (2007). Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in rivers. *Global Change Biology*, 13(12), 2467–2478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01449.x>

Dematte, J. E., O’Mara, K., Buescher, J., Whitney, C. G., Forsythe, S., McNamee, T., Adiga, R. B., & Ndukwu, I. M. (1998). Near-fatal heat stroke during the 1995 heat wave in Chicago. *Annals of Internal Medicine*, 129(3), 173–181. Scopus. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-129-3-199808010-00001>

Díaz, J., López, I. A., Carmona, R., Mirón, I. J., Luna, M. Y., & Linares, C. (2018). Short-term effect of heat waves on hospital admissions in Madrid: Analysis by gender and comparison with previous findings. *Environmental Pollution*, 243, 1648–1656. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.098>

Dixon-Woods, M., Agarwal, S., Jones, D., Young, B., & Sutton, A. (2005). Synthesising qualitative and quantitative evidence: A review of possible methods. *Journal of Health Services Research & Policy*, 10(1), 45–53. <https://doi.org/10.1177/135581960501000110>

Dizdaroglu, D., Yigitcanlar, T., & Dawes, L. (2012). A micro-level indexing model for assessing urban ecosystem sustainability. *Smart and Sustainable Built Environment*, 1(3), 291–315. <https://doi.org/10.1108/20466091211287155>

Duden (Ed.). (2022). *Vulnerabilität*. Cornelsen Verlag GmbH. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Vulnerabilitaet#bedeutung>

Dutta Gupta, V., Areendran, G., Raj, K., Ghosh, S., Dutta, S., & Sahana, M. (2021). Chapter 26—Assessing habitat suitability of leopards (*Panthera pardus*) in unprotected scrublands of Bera, Rajasthan, India. In P. Kumar Shit, H. R. Pourghasemi, P. P. Adhikary, G. S. Bhunia, & V. P. Sati (Eds.), *Forest Resources Resilience and Conflicts* (pp. 329–342). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00026-5>

Działek, J., Biernacki, W., Fiedeń, Ł., Listwan-Franczak, K., & Franczak, P. (2016). Universal or context-specific social vulnerability drivers – Understanding flood preparedness in southern Poland. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.08.002>

ECOTEN Urban Comfort. (2022). Urban Comfort – Solutions for sustainable cities. *Building Climate-Proof Cities*. <https://urban-comfort.eu/>

Ellis, F. P. (1976a). Heat illness. I. Epidemiology. *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 70(5–6), 402–411. [https://doi.org/10.1016/0035-9203\(76\)90119-X](https://doi.org/10.1016/0035-9203(76)90119-X)

Ellis, F. P. (1976b). Heat illness. II. Pathogenesis. *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 70(5–6), 412–418. [https://doi.org/10.1016/0035-9203\(76\)90121-8](https://doi.org/10.1016/0035-9203(76)90121-8)

Encyclopedia. (2018). *Vulnerability*. <https://www.encyclopedia.com/science-and-technology/computers-and-electrical-engineering/computers-and-computing/vulnerability>

Estoque, R. C., Ishtiaque, A., Parajuli, J., Athukorala, D., Rabby, Y. W., & Ooba, M. (2023). Has the IPCC’s revised

vulnerability concept been well adopted? *Ambio*, 52(2), 376–389. <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01806-z>

Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of The Total Environment*, 577, 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>

Europäische Kommission. (2021, January 27). *Kommission startet Konsultation zu Folgen alternder Bevölkerung*. https://germany.representation.ec.europa.eu/news/kommission-startet-konsultation-zu-folgen-alternder-bevolkerung-2021-01-27_de

Feischmid, M. (2020). Ethnizität. In *Online-Lexikon zur Kultur und Geschichte der Deutschen im östlichen Europa*. <https://ome-lexikon.uni-oldenburg.de/begriffe/ethnizitaet>

Filiberto, D., Wethington, E., Pillemer, K., Wells, N., Wysocki, M., & Parise, J. T. (2009). *Older People and Climate Change: Vulnerability and Health Effects*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Older-People-and-Climate-Change%3A-Vulnerability-and-Filiberto-Wethington/8822bee2804fee8c0e89a188537c276e25b6eb9>

Folkerts, M. A., Bröde, P., Botzen, W. J. W., Martinius, M. L., Gerrett, N., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2022). Sex differences in temperature-related all-cause mortality in the Netherlands. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 95(1), 249–258. <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01721-y>

Follos, F., Linares, C., López-Bueno, J. A., Navas, M. A., Culqui, D., Vellón, J. M., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., & Díaz, J. (2021). Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): Is Spain adapting to heat? *Science of The Total Environment*, 784, 147233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147233>

Frandsen, T. F., Eriksen, M. B., Hammer, D. M. G., & Christensen, J. B. (2019). PubMed coverage varied across specialties and over time: A large-scale study of included studies in Cochrane reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 112, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2019.04.015>

Fuladlu, K., Riza, M., & Ilkan, M. (2018). *THE EFFECT OF RAPID URBANIZATION ON THE PHYSICAL MODIFICATION OF URBAN AREA*.

Gamble, J. L., Balbus, J., Berger, M., Bouye, K., Campbell, V., Chief, K., Conlon, K., Crimmins, A., Flanagan, B., Gonzalez-Maddux, C., Hallisey, E., Hutchins, S., Jantarasami, L., Khoury, S., Kiefer, M., Kolling, J., Lynn, K., Manangan, A., McDonald, M., ... Wolkin, A. F. (2016). *Ch. 9: Populations of Concern. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. U.S. Global Change Research Program. <https://doi.org/10.7930/J0Q81B0T>

Geosphere Austria. (n.d.). *Lufttemperatur*. Retrieved 5 April 2023, from <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportalklimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur>

Giovene di Girasole, E., & Cannatella, D. (2017). Social Vulnerability to Natural Hazards in Urban Systems. An Application in Santo Domingo (Dominican Republic). *Sustainability*, 9(11), 2043. <https://doi.org/10.3390/su9112043>

Gläser, J., & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und Qualitative Inhaltsanalyse*. VS Verlag.

Gronlund, C. J. (2014). Racial and socioeconomic disparities in heat-related health effects and their mechanisms: A review. *Current Epidemiology Reports*, 1(3), 165–173. <https://doi.org/10.1007/s40471-014-0014-4>

Grove, K. (2013). On resilience politics: From transformation to subversion. *Resilience*, 1(2), 146–153. <https://doi.org/10.1080/21693293.2013.804661>

- Guardaro, M., Hondula, D. M., Ortiz, J., & Redman, C. L. (2022). Adaptive capacity to extreme urban heat: The dynamics of differing narratives. *Climate Risk Management*, 35, 100415. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100415>
- Guardaro, M., Hondula, D. M., & Redman, C. L. (2022). Social capital: Improving community capacity to respond to urban heat. *Local Environment*, 27(9), 1133–1150. <https://doi.org/10.1080/13549839.2022.2103654>
- Gupta, S., Rajiah, P., Middlebrooks, E. H., Baruah, D., Carter, B. W., Burton, K. R., Chatterjee, A. R., & Miller, M. M. (2018). Systematic Review of the Literature: Best Practices. *Academic Radiology*, 25(11), 1481–1490. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.04.025>
- Gurbuz, H. G., & Tekinerdogan, B. (2018). Model-based testing for software safety: A systematic mapping study. *Software Quality Journal*, 26(4), 1327–1372. <https://doi.org/10.1007/s11219-017-9386-2>
- Hammer, J., Ruggieri, D. G., Thomas, C., & Caum, J. (2020). Local Extreme Heat Planning: An Interactive Tool to Examine a Heat Vulnerability Index for Philadelphia, Pennsylvania. *Journal of Urban Health*, 97(4), 519–528. <https://doi.org/10.1007/s11524-020-00443-9>
- Han, A., Deng, S., Yu, J., Zhang, Y., Jalaludin, B., & Huang, C. (2023). Asthma triggered by extreme temperatures: From epidemiological evidence to biological plausibility. *Environmental Research*, 216, 114489. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114489>
- Hansen, A., Bi, L., Saniotis, A., & Nitschke, M. (2013). Vulnerability to extreme heat and climate change: Is ethnicity a factor? *Global Health Action*, 6, 10.3402/gha.v6i0.21364. <https://doi.org/10.3402/gha.v6i0.21364>
- Heaton, M. J., Sain, S. R., Greasby, T. A., Uejio, C. K., Hayden, M. H., Monaghan, A. J., Boehnert, J., Sampson, K., Banerjee, D., Nepal, V., & Wilhelmi, O. V. (2014). Characterizing urban vulnerability to heat stress using a spatially varying coefficient model. *Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology*, 8, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2014.01.002>
- Herbel, I., Croitoru, A.-E., Rus, A. V., Roșca, C. F., Harpa, G. V., Ciupertea, A.-F., & Rus, I. (2018). The impact of heat waves on surface urban heat island and local economy in Cluj-Napoca city, Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(3), 681–695. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2196-4>
- Hintz, M. J., Luederitz, C., Lang, D. J., & von Wehrden, H. (2018). Facing the heat: A systematic literature review exploring the transferability of solutions to cope with urban heat waves. *Urban Climate*, 24, 714–727. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.08.011>
- Ho, J. Y., Shi, Y., Lau, K. K. L., Ng, E. Y. Y., Ren, C., & Goggins, W. B. (2023). Urban heat island effect-related mortality under extreme heat and non-extreme heat scenarios: A 2010–2019 case study in Hong Kong. *Science of The Total Environment*, 858, 159791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159791>
- Hofmann, T., Havlíček, P., & Harzhauser, M. (2011). *Das Wiener Becken – geologische Betrachtungen*. 13.
- Holzer, M. (2019). *Österreichische Gesundheitsbefragung 2019*.
- Hornberg, C., & Maschke, J. (2017). Soziale Vulnerabilität im Kontext von Umwelt, Gesundheit und sozialer Lage. *UMID, NR. 2/2017*(1), 43–49.
- Huang, H., Li, Y., Zhao, Y., & Zhai, W. (2022). Analysis of the impact of urban summer high temperatures and outdoor activity duration on residents' emotional health: Taking hostility as an example. *Frontiers in Public Health*, 10, 955077. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.955077>
- HUANG, H., YANG, H., DENG, X., ZENG, P., LI, Y., ZHANG, L., & ZHU, L. (2019). Influencing Mechanisms of Urban

- Heat Island on Respiratory Diseases. *Iranian Journal of Public Health*, 48(9), 1636–1646.
- Huang, K., Li, X., Liu, X., & Seto, K. C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4b71>
- Inostroza, L., Palme, M., & de la Barrera, F. (2016). A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Santiago de Chile. *PLOS ONE*, 11(9), e0162464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162464>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Der IPCC*. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. <https://www.de-ipcc.de/119.php>
- International Labour Organization. (2019). *Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work*. International Labour Office.
- IPCC (Ed.). (2007). *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). Impacts, adaptation, and vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Iping, A., Kidston-Lattari, J., Simpson-Young, A., Duncan, E., & McManus, P. (2019). (Re)presenting urban heat islands in Australian cities: A study of media reporting and implications for urban heat and climate change debates. *Urban Climate*, 27, 420–429. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.014>
- Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2006). Resilience, vulnerability, and adaptation: A cross-cutting theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change. *Global Environmental Change*, 16(3), 237–239. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.003>
- Johns Hopkins Medicine. (2020, February 28). *Heat-Related Illnesses (Heat Cramps, Heat Exhaustion, Heat Stroke)*. <https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/heatrelated-illnesses-heat-cramps-heat-exhaustion-heat-stroke>
- Joint Research Centre. (2022, July 25). *Cities are often 10-15 °C hotter than their rural surroundings*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news/cities-are-often-10-15-degc-hotter-their-rural-surroundings-2022-07-25_en
- Jolliffe, I. T. (Ed.). (2002). Principal Component Analysis for Special Types of Data. In *Principal Component Analysis* (pp. 338–372). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-22440-8_13
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kalogeropoulos, G., Dimoudi, A., Touboulidis, P., & Zoras, S. (2022). Urban Heat Island and Thermal Comfort Assessment in a Medium-Sized Mediterranean City. *Atmosphere*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/atmos13071102>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
- Karanja, J. (2021). *Evolution of Composite Heat Vulnerability Indices in Atlanta using Multiple Weighting Mechanics*. <https://doi.org/10.57709/22714029>
- Karr, A. F., Sanil, A. P., & Banks, D. L. (2006). Data quality: A statistical perspective. *Statistical Methodology*, 3(2),

137–173. <https://doi.org/10.1016/j.stamet.2005.08.005>

Kaufman, J. S., & Cooper, R. S. (2001). Commentary: Considerations for Use of Racial/Ethnic Classification in Etiologic Research. *American Journal of Epidemiology*, 154(4), 291–298. <https://doi.org/10.1093/aje/154.4.291>

Khan, A. A. (2019). Heat related illnesses. *Saudi Medical Journal*, 40(12), 1195–1201. <https://doi.org/10.15537/smj.2019.12.24727>

Khan, S. (2012). Vulnerability assessments and their planning implications: A case study of the Hutt Valley, New Zealand. *Natural Hazards*, 64(2), 1587–1607. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0327-x>

Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. 2.

Kjellstrom, T., Kovats, R. S., Lloyd, S. J., Holt, T., & Tol, R. S. J. (2009). The Direct Impact of Climate Change on Regional Labor Productivity. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 64(4), 217–227. <https://doi.org/10.1080/19338240903352776>

Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G., & Menne, B. (2003). Heat-waves: Risks and responses. *Health and Global Environmental Change SERIES*, No. 2(Heat-waves: risks and responses), 124.

Krellenberg, K., Welz, J., Link, F., & Barth, K. (2017). Urban vulnerability and the contribution of socio-environmental fragmentation: Theoretical and methodological pathways. *Progress in Human Geography*, 41(4), 408–431. <https://doi.org/10.1177/0309132516645959>

Kühl, S., Strodtholz, P., & Taffertshofer, A. (Eds.). (2009). *Handbuch Methoden der Organisationsforschung: Quantitative und qualitative Methoden* (1. Auflage). VS, Verlag für Sozialwissenschaften.

Kumpulainen, S. (2006). *VULNERABILITY CONCEPTS IN HAZARD AND RISK ASSESSMENT*.

Kuttler, W., & Hupfer, P. (2005). *Witterung und Klima—Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie* (11. überarbeitete und erweiterte Auflage). Teubner Verlag. <https://docplayer.org/109122759-Peter-hupfer-wilhelm-kuttler-hrsg-witterung-und-klima.html>

Kuttler, W., Oßenbrügge, J., & Halbig, G. (2017). Städte. In G. P. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöller (Eds.), *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven* (pp. 225–234). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3_22

L., R., Schroter, D., & Glade, T. (2013). Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction. In J. Tiefenbacher (Ed.), *Approaches to Disaster Management—Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters*. InTech. <https://doi.org/10.5772/55538>

Ladd, J. (2017, May 30). *Urban heat islands compound economic impact of climate change | Iowa Environmental Focus*. IOWA ENVIRONMENTAL FOCUS. <https://iowaenvironmentalfocus.org/2017/05/30/urban-heat-islands-compound-economic-impact-of-climate-change/>

Leal Filho, W., Azeiteiro, U. M., Balogun, A.-L., Setti, A. F. F., Mucova, S. A. R., Ayal, D., Totin, E., Lydia, A. M., Kalaba, F. K., & Ogue, N. O. (2021). The influence of ecosystems services depletion to climate change adaptation efforts in Africa. *Science of The Total Environment*, 779, 146414. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146414>

Leal Filho, W., Echevarria Icaza, L., Neht, A., Klavins, M., & Morgan, E. A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1140–1149.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>

Lee, Y.-J. (2014). Social vulnerability indicators as a sustainable planning tool. *Environmental Impact Assessment Review*, 44, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.08.002>

Levermore, G., Parkinson, J., Lee, K., Laycock, P., & Lindley, S. (2018). The increasing trend of the urban heat island intensity. *Urban Climate*, 24, 360–368. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.004>

Li, F., Yigitcanlar, T., Nepal, M., Thanh, K., & Dur, F. (2022). Understanding Urban Heat Vulnerability Assessment Methods: A PRISMA Review. *Energies*, 15(19), 6998. <https://doi.org/10.3390/en15196998>

Li, H., Jombach, S., Tian, G., Li, Y., & Meng, H. (2022). Characterizing Temporal Dynamics of Urban Heat Island in a Rapidly Expanding City: A 39 Years Study in Zhengzhou, China. *Land*, 11(10), 1838. <https://doi.org/10.3390/land11101838>

Li, H., Meier, F., Lee, X., Chakraborty, T., Liu, J., Schaap, M., & Sodoudi, S. (2018). Interaction between urban heat island and urban pollution island during summer in Berlin. *Science of The Total Environment*, 636, 818–828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.254>

Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. *Energy*, 174, 407–419. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183>

Lindley, S., O'Neill, J., Kandeh, J., Lawson, N., Christian, R., & O'Neill, M. (2011). *Climate change, justice and vulnerability* (Joseph Rowntree Foundation).

Liu, J., Zhang, L., Zhang, Q., Zhang, G., & Teng, J. (2021). Predicting the surface urban heat island intensity of future urban green space development using a multi-scenario simulation. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102698. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102698>

Londoño-Pineda, A., Cano, J. A., & Gómez-Montoya, R. (2021). Application of AHP for the Weighting of Sustainable Development Indicators at the Subnational Level. *Economies*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/economies9040169>

Luna, F. (2014). 'Vulnerability', an Interesting Concept for Public Health: The Case of Older Persons | Public Health Ethics | Oxford Academic. *Public Health Ethics*, Volume 7(Issue 2), Pages 180-194. <https://doi.org/10.1093/phe/phu012>

Macintyre, H. L., & Heaviside, C. (2019). Potential benefits of cool roofs in reducing heat-related mortality during heatwaves in a European city. *Environment International*, 127, 430–441. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.065>

Maćkiewicz, A., & Ratajczak, W. (1993). Principal components analysis (PCA). *Computers & Geosciences*, 19(3), 303–342. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(93\)90090-R](https://doi.org/10.1016/0098-3004(93)90090-R)

Magistrat der Stadt Wien. (2022). *Wiener Hitzeaktionsplan—Für ein cooles Wien der Zukunft*. 64.

Mallen, E., Stone, B., & Lanza, K. (2019). A methodological assessment of extreme heat mortality modeling and heat vulnerability mapping in Dallas, Texas. *Urban Climate*, 30, 100528. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100528>

Maller, C. J., & Strengers, Y. (2011). Housing, heat stress and health in a changing climate: Promoting the adaptive capacity of vulnerable households, a suggested way forward. *Health Promotion International*, 26(4), 492–498. <https://doi.org/10.1093/heapro/dar003>

Malmquist, A., Hjerpe, M., Glaas, E., Karlsson, H., & Lassi, T. (2022). Elderly People's Perceptions of Heat Stress

and Adaptation to Heat: An Interview Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3775. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073775>

Margarey, J. M. (2000). Elements of a systematic review. *International Journal of Nursing Practice* 2001, 7, 376–382.

Marx, W., Haunschild, R., & Bornmann, L. (2021). Heat waves: A hot topic in climate change research. *Theoretical and Applied Climatology*, 146(1–2), 781–800. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03758-y>

Mendez-Astudillo, J., Caetano, E., & Pereyra-Castro, K. (2022). Synergy between the Urban Heat Island and the Urban Pollution Island in Mexico City during the Dry Season. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(8), 210278. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210278>

Merriam-Webster (Ed.). (2022). *Vulnerabilität*. Cornelsen Verlag GmbH. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/vulnerable>

Meuser, M., & Nagel, U. (2009). Das Experteninterview—Konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In S. Pickel, G. Pickel, H.-J. Lauth, & D. Jahn (Eds.), *Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft: Neue Entwicklungen und Anwendungen* (pp. 465–479). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-91826-6_23

Mills, G., Stewart, I. D., & Niyogi, D. (2022). The origins of modern urban climate science: Reflections on ‘A numerical model of the urban heat island’. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment, Volume 46*(Issue 4), Pages 649-656. <https://doi.org/10.1177/03091333221107212>

Mohr, M. (2022a). *Bevölkerung von Wien von 2012 bis 2022* [Statistikdatenbank]. <https://www.ssb.no/en/befolkning/folketall/statistikk/befolkning>

Mohr, M. (2022b, June 29). *Wien—Bildungsstand der Bevölkerung 2020*. Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/887424/umfrage/bildungsstand-in-wien-nach-hoechster-abgeschlossener-ausbildung/>

Mohr, M. (2023, March 2). *Altersstruktur Österreich 2023*. Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/217431/umfrage/altersstruktur-in-oesterreich/>

Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., Powell, F. E., Geronimo, R. C., Bielecki, C. R., Counsell, C. W. W., Dietrich, B. S., Johnston, E. T., Louis, L. V., Lucas, M. P., McKenzie, M. M., Shea, A. G., Tseng, H., Giambelluca, T. W., Leon, L. R., Hawkins, E., & Trauernicht, C. (2017). Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>

Mühlböck, M. (2022). *So geht's uns heute: Die sozialen Krisenfolgen im dritten Quartal 2022 – Schwerpunkt Wohlbefinden und Gesundheit*.

Murray-Rust, P. (2008). Open Data in Science. *Nature Precedings*, 1–1. <https://doi.org/10.1038/npre.2008.1526.1>

National Collaborating Centre for Environmental Health. (2010, October). *Vulnerable Populations*. National Collaborating Centre for Environmental Health. <https://ncceh.ca/content/vulnerable-populations>

Navas-Martín, M. Á., López-Bueno, J. A., Ascaso-Sánchez, M. S., Sarmiento-Suárez, R., Follos, F., Vellón, J. M., Mirón, I. J., Luna, M. Y., Sánchez-Martínez, G., Culqui, D., Linares, C., & Díaz, J. (2022). Gender differences in adaptation to heat in Spain (1983–2018). *Environmental Research*, 215, 113986. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113986>

- Neil Adger, W. (1999). Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. *World Development*, 27(2), 249–269. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(98\)00136-3](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(98)00136-3)
- Nemec, J., Nigg, J. M., & Siccardi, F. (2013). *Prediction and Perception of Natural Hazards: Symposium Proceedings, October 22-26, 1990, Perugia, Italy* (1993rd ed.). Springer.
- Nikkanen, M., Räsänen, A., & Juhola, S. (2021). The influence of socioeconomic factors on storm preparedness and experienced impacts in Finland. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, 102089. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102089>
- Niu, Y., Li, Z., Gao, Y., Liu, X., Xu, L., Vardoulakis, S., Yue, Y., Wang, J., & Liu, Q. (2021). A Systematic Review of the Development and Validation of the Heat Vulnerability Index: Major Factors, Methods, and Spatial Units. *Current Climate Change Reports*, 7(3), 87–97. <https://doi.org/10.1007/s40641-021-00173-3>
- Nugent, H. (2022, July 19). *Here's how heat waves can impact economies, as well as people and wildlife*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/heat-waves-economy-climate-crisis/>
- Nunić, Z. (2019). Evaluation and selection of the PVC carpentry manufacturer using the FUCOM-MABAC model. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 1, 13–28. <https://doi.org/10.31181/oresta19012010113n>
- O'Brien, J. (2017, September 21). *Assessing Urban Heat as it Relates to Social Vulnerability and Land Use Changes in Las Cruces, New Mexico* [The Applied Sciences Program is part of the Earth Science Division of the NASA Science Mission Directorate.]. The Applied Sciences Program. <https://www.DeepL.com/translator>
- OECD. (1993). OECD Core set of indicators for environmental performance reviews. *Environment Monographs*, 83. https://methpsy.elearning.psych.tu-dresden.de/mediawiki/index.php/Grundlagen_Hauptkomponentenanalyse
- OECD. (2003). *Poverty and Climate Change Reducing the Vulnerability of the Poor through Adaptation*. 26.
- OECD. (2014). Cities and Climate Change. *Bloomberg Philanthropies*, 21.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769–779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (Eds.). (2017). Urban Heat Island. In *Urban Climates* (pp. 197–237). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476.008>
- Otto, I. M., Reckien, D., Reyer, C. P. O., Marcus, R., Le Masson, V., Jones, L., Norton, A., & Serdeczny, O. (2017). Social vulnerability to climate change: A review of concepts and evidence. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1651–1662. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1105-9>
- Oulahan, G., Shrubsole, D., & McBean, G. (2015). Determinants of residential vulnerability to flood hazards in Metro Vancouver, Canada. *Natural Hazards*, 78(2), 939–956. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1751-5>
- Pachauri, R. K., Mayer, L., & Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.). (2015). *Climate change 2014: Synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Parsons, K. (2002). *The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance, Second Edition* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420025248>
- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559–572. <https://doi.org/10.1080/14786440109462720>

- Piracha, A., & Chaudhary, M. T. (2022). Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health: A Review of the Literature. *Sustainability*, 14(15), 9234. <https://doi.org/10.3390/su14159234>
- Pluchino, A., Inturri, G., Rapisarda, A., Biondo, A. E., Moli, R., Zappalà, C., Giuffrida, N., Russo, G., & Latora, V. (2020). A Novel Methodology for Epidemic Risk Assessment: The case of COVID-19 outbreak in Italy.
- Półrolniczak, M., Kolendowicz, L., Majkowska, A., & Czernecki, B. (2017). The influence of atmospheric circulation on the intensity of urban heat island and urban cold island in Poznań, Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 127(3), 611–625. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1654-0>
- Prosdocimi, D., & Klima, K. (2020). Health effects of heat vulnerability in Rio de Janeiro: A validation model for policy applications. *SN Applied Sciences*, 2(12). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03750-7>
- Qureshi, A. M., & Rachid, A. (2022). Heat Vulnerability Index Mapping: A Case Study of a Medium-Sized City (Amiens). *Climate*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/cli10080113>
- Rakotoarison, T. R., Hajalalaina, A. R., Raonivelo, A., Raherinirina, A., & Zojaona, R. T. (2021). Spatial Analysis of Risks and Vulnerabilities to Major Hazards in Madagascar Using the Multi-Criteria Method Based on the Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.4236/gep.2021.95003>
- Ramachandran, R., Bugbee, K., & Murphy, K. (2021). From Open Data to Open Science. *Earth and Space Science*, 8(5), e2020EA001562. <https://doi.org/10.1029/2020EA001562>
- Rana, I. A., & Routray, J. K. (2018). Multidimensional Model for Vulnerability Assessment of Urban Flooding: An Empirical Study in Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(3), 359–375. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0179-4>
- Räsänen, A., Heikkinen, K., Piila, N., & Juhola, S. (2019). Zoning and weighting in urban heat island vulnerability and risk mapping in Helsinki, Finland. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1481–1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01491-x>
- Rashed, T. (2003). *Measuring the environmental context of social vulnerability to urban earthquake hazards: An integrative remote sensing and GIS approach*.
- Rathi, S. K., Chakraborty, S., Mishra, S. K., Dutta, A., & Nanda, L. (2022). A Heat Vulnerability Index: Spatial Patterns of Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity for Urbanites of Four Cities of India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010283>
- Reid, C. E., Mann, J. K., Alfasso, R., English, P. B., King, G. C., Lincoln, R. A., Margolis, H. G., Rubado, D. J., Sabato, J. E., West, N. L., Woods, B., Navarro, K. M., & Balmes, J. R. (2012). Evaluation of a Heat Vulnerability Index on Abnormally Hot Days: An Environmental Public Health Tracking Study. *Environmental Health Perspectives*, 120(5), 715–720. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103766>
- Renteria, R., Grineski, S., Collins, T., Flores, A., & Trego, S. (2022). Social disparities in neighborhood heat in the Northeast United States. *Environmental Research*, 203, 111805. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111805>
- Reyes, B., Eakin, H., Lara, F., & Aggarwal, R. (2023). *Floods, Vulnerability, and the US-Mexico Border: A Case Study of Ambos Nogales*.
- Robine, J.-M., Cheung, S. L. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2), 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.12.001>

- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Sabrin, S., Karimi, M., & Nazari, R. (2022). Modeling heat island exposure and vulnerability utilizing earth observations and social drivers: A case study for Alabama, USA. *Building and Environment*, 226, 109686. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109686>
- Sandholz, S., Sett, D., Greco, A., Wannewitz, M., & Garschagen, M. (2021). Rethinking urban heat stress: Assessing risk and adaptation options across socioeconomic groups in Bonn, Germany. *Urban Climate*, 37, 100857. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100857>
- Santamouris, M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>
- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change | Elsevier Enhanced Reader. *Energy and Buildings*, 207(109482). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109482>
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, 98, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.052>
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., & Guedalia, D. (2006). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric Environment*, 40(10), 1743–1758. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.11.037>
- Schmidt, K. (2018). Definition: Volkszählung. In <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/volkszaehlung-50077>. Gabler Wirtschaftslexikon. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/volkszaehlung-50077>
- Schönher, C., Proksch, P., Kerschbaumer, D. J., Fiedler, C., Zunabovic-Pichler, M., Mayr, E., & Perfler, R. (2021). Auswirkungen von erhöhten Wassertemperaturen bei der Trinkwassergewinnung, -speicherung und -verteilung. https://info.bml.gv.at/dam/jcr:bb020a24-5a27-48ba-9f01-970ab578ca60/Bericht_TP_final_21_10_08-V03.pdf
- Schönwiese, C.-D. (2000). Anthropogene Klimabeeinflussung. In *Lexikon der Geowissenschaften*. <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/anthropogene-klimabeeinflussung/778>
- Seebauer, S., Lückl, A., Köberl, J., & Kulmer, V. (2021). *Soziale Folgen des Klimawandels in Österreich*.
- Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, 157, 377–403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137>
- Shitangsu, P. (2013). Vulnerability Concepts and its Application in Various Fields: A Review on Geographical Perspective. *Journal of Life and Earth Science (J. Life Earth Sci.)*, 8, 63–81. <https://doi.org/10.3329/jles.v8i0.20150>
- Singh, M., & Sharston, R. (2022). Quantifying the dualistic nature of urban heat Island effect (UHI) on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 255, 111649. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111649>
- Singh, S. R., Eghdami, M. R., & Singh, S. (2014). *The Concept of Social Vulnerability: A Review from Disasters Perspectives*. 1.
- Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126(6), 5113–5142. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>
- Somers, K. A., Bernhardt, E. S., McGlynn, B. L., & Urban, D. L. (2016). Downstream Dissipation of Storm Flow Heat

Pulses: A Case Study and its Landscape-Level Implications. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 52(2), 281–297. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12382>

Soomar, S. M., & Soomar, S. M. (2023). Identifying factors to develop and validate a heat vulnerability tool for Pakistan – A review. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 19, 101214. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101214>

Stadt Wien. (2022a). *Statistische Bezirksdaten der Wiener Bezirke von A bis Z - Reihe 'Wien in Zahlen'*. <https://www.wien.gv.at/statistik/bezirke/>

Stadt Wien. (2022b). *Wiener Mindestsicherung 2021*. <https://www.wien.gv.at/spezial/mindestsicherung/alle-wienerinnen/armut-in-wien/>

Stadt Wien. (2023, January 1). *Bevölkerungsstand Statistiken—Offizielle Statistik der Stadt Wien*. <https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/>

Starčević, S., Bojović, N., Junevičius, R., & Skrickij, V. (2019). ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS METHOD AND DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPLICATION IN TERRAIN VEHICLE SELECTION. *Transport*, 34(5), 600–616. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11710>

STATISTIK AUSTRIA. (n.d.). *Volkszählung*. STATISTIK AUSTRIA. Retrieved 4 April 2023, from <https://www.statistik.at/ueber-uns/erhebungen/registerzaehlung/volkszaehlung>

STATISTIK AUSTRIA. (2020, July 15). *Gesundheitszustand selbstberichtet*. STATISTIK AUSTRIA. <https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/gesundheit/gesundheitszustand/gesundheitszustand-selbstberichtet>

STATISTIK AUSTRIA. (2022a). *Bildung in Zahlen 2020/2021*. 472.

STATISTIK AUSTRIA. (2022b). *Individualeinkommen Statistiken—Offizielle Statistik der Stadt Wien*. <https://www.wien.gv.at/statistik/arbeitsmarkt/einkommen/>

Stedman, C. (2022). *What is Data Quality and Why is it Important?* Data Management. <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/data-quality>

Sturma, A., Ritschl, V., Dennhardt, S., & Stamm, T. (2016). Reviews. In V. Ritschl, R. Weigl, & T. Stamm (Eds.), *Wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben: Verstehen, Anwenden, Nutzen für die Praxis* (pp. 207–221). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49908-5_8

Taha, H. (2004). Heat Islands and Energy. In C. J. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of Energy* (pp. 133–143). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00394-6>

Taylor, N. A. S. (2006). Ethnic differences in thermoregulation: Genotypic versus phenotypic heat adaptation. *Journal of Thermal Biology*, 31(1), 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.11.007>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2022). Urbanization | Definition, History, Examples, & Facts. In *Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/urbanization>

Tomlinson, C., Chapman, L., Thornes, J., & Baker, C. (2011). Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: A case study for Birmingham, UK. *International Journal of Health Geographics*, 10, 42. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-42>

Tong, S., Prior, J., McGregor, G., Shi, X., & Kinney, P. (2021). Urban heat: An increasing threat to global health. *BMJ*, 375, n2467. <https://doi.org/10.1136/bmj.n2467>

Tuholske, C., Caylor, K., Funk, C., Verdin, A., Sweeney, S., Grace, K., Peterson, P., & Evans, T. (2021). Global urban

population exposure to extreme heat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(41), e2024792118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2024792118>

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>

Ulpiani, G. (2021). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework | Elsevier Enhanced Reader. *Science of The Total Environment*, 751(141727). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141727>

Umweltbundesamt GmbH. (2023). *Urbane Hitzeinseln – die Wiener Strategie*. Klimawandel-Anpassung in Österreich. <https://www.klimawandelanpassung.at/newsletter/nl20/kwa-uh>

UNDP. (2004). *Reducing Disaster Risk a challenge for development. A Global Report*.

UNDRR. (n.d.). *Disaster*. Retrieved 17 February 2023, from <https://www.undrr.org/terminology/disaster>

UNDRR. (2004). *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives* (2004 version). United Nations.

UNEP. (2017, September 26). *Cities and climate change*. UNEP - UN Environment Programme. <http://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/cities-and-climate-change>

United Nations. (2016, May 12). UN health agency warns of rise in urban air pollution, with poorest cities most at risk. *United Nations Sustainable Development*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2016/05/un-health-agency-warns-of-rise-in-urban-air-pollution-with-poorest-cities-most-at-risk/>

United Nations. (2023). *Statistics and Indicators: Demographic and Social*. CEPALSTAT Statistical Databases and Publications. <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?theme=1&lang=en>

United Nations, U. (2018). *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN | Umoja wa Mataifa*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/sw/desa/68-world-population-projected-live-urban-areas-2050-says-un>

UN-SPIDER Knowledge Portal. (n.d.). *Risks and Disasters*. Retrieved 17 February 2023, from <https://www.un-spider.org/risks-and-disasters>

U.S. Department of Health and Human Service. (2021, August 2). *American Community Survey (ACS)—Healthy People 2030*. OASH. <https://health.gov/healthypeople/objectives-and-data/data-sources-and-methods/data-sources/american-community-survey-ac>

U.S. Environmental Protection Agency. (2021). *EPA. 2021. Climate Change and Social Vulnerability in the United States: A Focus on Six Impacts* (EPA 430-R-21-003) [Data set]. Koninklijke Brill NV. https://doi.org/10.1163/9789004322714_ccllc_2021-0166-513

US EPA, O. (2014, June 17). *Heat Island Impacts* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-impacts>

US EPA, O. (2022, March 21). *Climate Change and the Health of People with Disabilities* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-and-health-people-disabilities>

van Dinter, R., Tekinerdogan, B., & Catal, C. (2021). Automation of systematic literature reviews: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 136, 106589.

<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106589>

Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020). COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(32), 18984–18990. <https://doi.org/10.1073/pnas.2006853117>

Verwiebe, R., Haindorfer, R., Dorner, J., Liedl, B., & Riederer, B. (2020). Werkstattbericht 187: Lebensqualität in einer wachsenden Stadt—Wiener Lebensqualitätsstudie 2018. *Stadt Wien, Stadtentwicklung und Stadtplanung*.

Vescovi, L., Rebetez, M., & Rong, F. (2005). Assessing public health risk due to extremely high temperature events: Climate and social parameters. *Climate Research*, 30(1), 71–78. <https://doi.org/10.3354/cr030071>

Vicedo-Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., Astrom, C., Guo, Y., Honda, Y., Hondula, D. M., Abrutzky, R., Tong, S., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Correa, P. M., Ortega, N. V., Kan, H., Osorio, S., ... Gasparrini, A. (2021). The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nature Climate Change*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>

Voelkel, J., Hellman, D., Sakuma, R., & Shandas, V. (2018). Assessing Vulnerability to Urban Heat: A Study of Disproportionate Heat Exposure and Access to Refuge by Socio-Demographic Status in Portland, Oregon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4), 640. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040640>

Wang, S., Cai, W., Tao, Y., Sun, Q. C., Wong, P. P. Y., Thongking, W., & Huang, X. (2023). Nexus of heat-vulnerable chronic diseases and heatwave mediated through tri-environmental interactions: A nationwide fine-grained study in Australia. *Journal of Environmental Management*, 325, 116663. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116663>

Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., Capstick, S., Chambers, J., Coleman, S., Dalin, C., Daly, M., Dasandi, N., Dasgupta, S., Davies, M., Di Napoli, C., ... Costello, A. (2021). The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Responding to converging crises. *The Lancet*, 397(10269), 129–170. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32290-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X)

Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Quarterly*, 26(2), xiii–xxiii.

Weldon Cooper Center for Public Service. (2022, August 7). *Guide to Publicly Available Demographic Data*. <https://demographics.coopercenter.org/guide-to-publicly-available-demographic-data>

Welle, T., Depietri, Y., Angignard, M., Birkmann, J., Renaud, F., & Greiving, S. (2014). Vulnerability Assessment to Heat Waves, Floods, and Earthquakes Using the MOVE Framework: Test Case Cologne, Germany. In *Assessment of Vulnerability to Natural Hazards: A European Perspective* (pp. 91–124). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410528-7.00005-9>

Westen, C. van. (2011). Multi-hazard risk assessment Distance education course Guide book. *United Nations University – ITC School on Disaster Geo-Information Management (UNU-ITC DGIM)*. https://www.academia.edu/30308272/Multi_hazard_risk_assessment_Distance_education_course_Guide_book

White, G. F. (1945). *Human adjustment to floods: A geographical approach to the flood problem in the United*

- States. University of Chicago. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/34845278.html>
- WHO. (2022). *Heatwaves*. <https://www.who.int/health-topics/heatwaves>
- Wilson, B., & Chakraborty, A. (2019). Mapping vulnerability to extreme heat events: Lessons from metropolitan Chicago. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(6), 1065–1088. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1462475>
- Wisner, B. (Ed.). (2004). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters* (2nd ed). Routledge.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (1994). *AT RISK: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203428764>
- Witze, A. (2021). THE DEADLY IMPACT OF URBAN HEAT. *Nature*, Vol 595(2021). <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01881-4.pdf>
- Wolf, J., Adger, W. N., Lorenzoni, I., Abrahamson, V., & Raine, R. (2010). Social capital, individual responses to heat waves and climate change adaptation: An empirical study of two UK cities. *Global Environmental Change*, 20(1), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.09.004>
- Wolf, S., Hinkel, J., Hallier, M., Bisaro, A., Lincke, D., Ionescu, C., & Klein, R. J. T. (2013). Clarifying vulnerability definitions and assessments using formalisation. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 5(1), 54–70. <https://doi.org/10.1108/17568691311299363>
- Wolf, T., Chuang, W.-C., & McGregor, G. (2015). On the Science-Policy Bridge: Do Spatial Heat Vulnerability Assessment Studies Influence Policy? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 13321–13349. <https://doi.org/10.3390/ijerph121013321>
- Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.004>
- World Health Organization. (2013). *Social determinants of health*. <https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health>
- Xiao, J., Spicer, T., Jian, L., Yun, G. Y., Shao, C., Nairn, J., Fawcett, R. J. B., Robertson, A., & Weeramanthri, T. S. (2017). Variation in Population Vulnerability to Heat Wave in Western Australia. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00064>
- Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, 2019(Vol. 39(1)), 93–112. <https://doi.org/10.1177/0739456X177239>
- Xiu, C., Cheng, L., Song, W., & Wu, W. (2011). Vulnerability of large city and its implication in urban planning: A perspective of intra-urban structure. *Chinese Geographical Science*, 21(2), 204–210. <https://doi.org/10.1007/s11769-011-0451-7>
- Xu, Y., Hong, T., Zhang, W., Zeng, Z., & Wei, M. (2021). *Heat Vulnerability Index Development and Mapping*.
- Xu, Z., Liu, Y., Ma, Z., (Sam) Toloo, G., Hu, W., & Tong, S. (2014). Assessment of the temperature effect on childhood diarrhea using satellite imagery. *Scientific Reports*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep05389>
- Yannascoli, S. M., Schenker, M. L., Carey, J. L., Ahn, J., & Baldwin, K. D. (2013). *How to Write a Systematic Review: A Step-by-Step Guide*. 23.
- Yao, F. (2007). Functional Principal Component Analysis for Longitudinal and Survival Data. *Statistica Sinica*, 17(3), 965–983.
- Yardley, J., Sigal, R. J., & Kenny, G. P. (2011). Heat health planning: The importance of social and community

factors. *Global Environmental Change*, 2(21), 670–679. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.11.010>

Yu, W., Vaneckova, P., Mengersen, K., Pan, X., & Tong, S. (2010). Is the association between temperature and mortality modified by age, gender and socio-economic status? *Science of The Total Environment*, 408(17), 3513–3518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.058>

Zander, K. K., Botzen, W. J. W., Oppermann, E., Kjellstrom, T., & Garnett, S. T. (2015). Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change*, 5(7), Article 7. <https://doi.org/10.1038/nclimate2623>

Zhang, Y., Nitschke, M., & Bi, P. (2013). Risk factors for direct heat-related hospitalization during the 2009 Adelaide heatwave: A case crossover study. *Science of The Total Environment*, 442, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.042>

Zuhra, S. S., Tabinda, A. B., & Yasar, A. (2019). Appraisal of the heat vulnerability index in Punjab: A case study of spatial pattern for exposure, sensitivity, and adaptive capacity in megacity Lahore, Pakistan. *International Journal of Biometeorology*, 63(12), 1669–1682. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01784-0>

Žuvela-Aloise, M., Koch, R., Buchholz, S., & Früh, B. (2016). Modelling the potential of green and blue infrastructure to reduce urban heat load in the city of Vienna. *Climatic Change*, 135(3), 425–438. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1596-2>

8. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1. DARSTELLUNG DES URBANEN HITZEINSELEFFEKTS ANHAND UNTERSCHIEDLICHEN ABSTUFUNGEN ZWISCHEN URBAN UND RURAL (FULADLU ET AL., 2018).	7
ABBILDUNG 2. KONZEPTIONALISIERUNG DER DOPPEKSTRUKTUR DER VERWUNDBARKEIT NACH BOHLE, GEGLIEDERT IN EINE EXTERNE SEITE UND EINE INTERNE SEITE (BOHLE, 2001).	19
ABBILDUNG 3. DARSTELLUNG DES RH MODELLS, DURCH EINE KETTENABFOLGE BEGINNEND MIT EINEM GEFAHRENEREIGNIS (EIGENE DARSTELLUNG NACH TURNER ET AL. (2003)).	20
ABBILDUNG 4. DARSTELLUNG DES PAR-MODELLS BASIEREND AUF DER VORSTELLUNG DES KATASTROPHENRISIKOS ALS FUNKTION EINER NATURGEFAHR UND DER VULNERABILITÄT. DIE VERWUNDBARKEIT WIRD ALS ENTWICKLUNGSPROZESS DARGESTELLT, DER AUF GRUNDLEGENDE URSACHEN, DYNAMISCHEN DRUCK UND UNSICHERE ZUSTÄNDE ZURÜCKZUFÜHREN IST (AZIZ, 2018; L. ET AL., 2013; REYES ET AL., 2023; WISNER ET AL., 1994).	21
ABBILDUNG 5. DARSTELLUNG DES HAZARDS-OF-PLACE-MODELLS DER ANFÄLLIGKEIT. DIE GEFÄHRDUNG VON ORTEN WIRD DURCH DIE BIOPHYSIKALISCHE UND DIE SOZIALE VULNERABILITÄT BEEINFLUSST UND WIRKT IHRERSEITS AUF DAS RISIKO UND DIE ABSCHWÄCHUNG (EIGENE DARSTELLUNG NACH CUTTER ET AL. (2003)).	23
ABBILDUNG 6. DARSTELLUNG DES MOVE-MODELLS, GEGLIEDERT IN DIE GROßEN UNTERKATEGORIEN (1) KATASTROPHE, (2) GESELLSCHAFT, (3) RISIKO, (4) ANPASSUNG UND (5) RISIKOSTEUERUNG (BIRKMANN ET AL., 2013).....	24
ABBILDUNG 7. DARSTELLUNG DES RISIKODREIECKS, GEBILDET DURCH DIE EXPOSITION, DIE ANFÄLLIGKEIT UND DIE GEFÄHRDUNG (EIGENE DARSTELLUNG NACH CRICHTON (1999)).	26
ABBILDUNG 8. EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG DES ANALYTISCH-HIERARCHISCHEN VERFAHRENS BASIEREND AUF DER UNTERTEILUNG NACH DEM ZIEL, UNTERSCHIEDLICHEN KRITERIEN UND MÖGLICHEN ALTERNATIVEN (EIGENE DARSTELLUNG NACH STARČEVIĆ ET AL, (2019)).	37
ABBILDUNG 9. DARSTELLUNG DER DREI PLANUNGSPHASEN EINES REVIEWS INKLUSIVE SEINER TEILSCHRITTE (PLANUNG, DURCHFÜHRUNG UND BERICHTERSTATTUNG) EINER SYSTEMATISCHEN LITERATURÜBERPRÜFUNG (EIGENE DARSTELLUNG NACH Y. XIAO & WATSON (2019)).	46
ABBILDUNG 10. AUFLISTUNG DER IDENTIFIZIERTEN POTENTIELL GEEIGNETEN LITERATURQUELLEN NACH SUCHANFRAGE (1 BIS 5) UND NACH LITERATURDATENBANK (SCIENCEDIRECT, U:SEARCH, PUBMED UND SCOPUS) (EIGENE DARSTELLUNG).	53
ABBILDUNG 11. IDENTIFIZIERTE LITERATURQUELLEN DER ANFANGSSUCHE, GEGLIEDERT NACH DEN VERWENDETEN LITERATURDATENBANKEN: (1)SCIENCEDIRECT, (2)PUBMED, (3)U:SEARCH UND (4)SCOPUS (EIGENE DARSTELLUNG).....	55
ABBILDUNG 12. KRITERIEN FÜR EINEN AUSSCHLUSS DER LITERATURQUELLEN IN DER STUFE 2 DES SCREENING- PROZESSES (VOLLTEXT-SCREENING) (EIGENE DARSTELLUNG).	56
ABBILDUNG 13. ANZAHL AN LITERATURQUELLEN, DIE IN DEN EINZELNEN STUFEN DES SCREENING-VERFAHRENS INKLUDIERT UND EXKLUDIERT WURDEN (EIGENE DARSTELLUNG NACH W. CHENG ET AL. (2021)).	57

ABBILDUNG 14. ANZAHL DER AUSGEWÄHLTEN LITERATURQUELLEN NACH JAHR, IM ZEITRAUM VON 12.12.2015 BIS 01.03.2023 (EIGENE DARSTELLUNG).....	59
ABBILDUNG 15. ANZAHL DER AUSGEWÄHLTEN LITERATURQUELLEN NACH KONTINENT (EIGENE DARSTELLUNG).	60
ABBILDUNG 16. BASIS DER STUDIEN ZUR KONSTRUKTION VON HITZEVULNERABILITÄTSINDIZES GEGLIEDERT NACH: (1) KONZEPT, (2) AUTOREN, (3) WEDER AUTOREN NOCH KONZEPT UND (4) BEIDES (EIGENE DARSTELLUNG).....	61
ABBILDUNG 17. ABBILDUNG DER ANZAHL DER VERWENDETEN INDIKATOREN, GEGLIEDERT NACH ART DER INDIKATOREN (EIGENE DARSTELLUNG).	62
ABBILDUNG 18. ABBILDUNG DER ANZAHL DER VERWENDETEN INDIKATOREN ZUR ENTWICKLUNG VON HITZEVULNERABILITÄTSINDIZES PRO STUDIE. DIE STUDIEN WURDEN NACH IHREM PLATZ IN DER AUSWERTUNGSTABELLE AUF MICROSOFT EXCEL NUMMERIERT. DIE ROTE LINIE SYMBOLISIERT DIE DURCHSCHNITTICHE ANZAHL DER VERWENDETEN INDIKATOREN (EIGENE DARSTELLUNG).	63
ABBILDUNG 19. ABBILDUNG DER DURCHSCHNITTICHEN ANZAHL DER VERWENDETEN INDIKATOREN PRO KATEGORIE (EIGENE DARSTELLUNG).	64
ABBILDUNG 20. DATENGRUNDLAGE DER GESAMTZAHL DER VERWENDETEN SOZIO-DEMOGRAFISCHEN INDIKATOREN, GEGLIEDERT NACH (1) OFFENER ZUGRIFF, (2) UNKLAR, (3) EIGENE ERHEBUNG, (4) KEIN OFFENER ZUGRIFF UND (5) GEMISCHT, WOBEI SICH EIGENE ERHEBUNG AUF ERGEBNISSE BEZIEHT, DIE IM ZUGE DER STUDIE ERHOBEN WURDEN (EIGENE DARSTELLUNG).....	72
ABBILDUNG 21. DARSTELLUNG DER SIEBEN AM HÄUFIGSTEN VERWENDETEN SOZIO-DEMOGRAFISCHEN INDIKATOREN (1) ALTER, (2) BILDUNG, (3) GESUNDHEIT, (4) ARMUT, (5) FAMILIENSTAND, (6) EINKOMMEN UND (7) ETHNIZITÄT UND RASSE, NACH ART DER DATENGRUNDLAGE (EIGENE DARSTELLUNG).....	73
ABBILDUNG 22. DARSTELLUNG DER VERWENDETEN DATEN NACH ART IHRER DATENHERKUNFT IN PROZENT, GEGLIEDERT IN (1) STAATLICH, (2) NICHT STAATLICHE UNTERNEHMEN, (3) INTERNATIONALE ORGANISATIONEN UND (4) UNIVERSITÄTEN/FORSCHUNG (EIGENE ABBILDUNG).....	74
ABBILDUNG 23. DARSTELLUNG DER VERWENDETEN DATEN NACH ART DER DATENERHEBUNG, GEGLIEDERT IN (1) BEVÖLKERUNGSUMFRAGE/BEFragung, (2) VOLKSZÄHLUNG, (3) ÜBERWACHUNGS-/KONTROLLSYSTEME UND (4) GIS (EIGENE DARSTELLUNG).....	75
ABBILDUNG 24. DARSTELLUNG DER ENTWICKLUNG DER WELTWEITEN MITTLEREN JAHRESTEMPERATUR VON 1850-2022 (VIOLETT) UND DER REGIONALEN MITTLEREN JAHRESTEMPERATUREN IN ÖSTERREICH VON 1768-2022 (ROT) SOWIE DER JÄHRLICHEN ABWEICHUNGEN VOM MITTEL DER JAHRE 1961-1990 (DÜNNE LINIE) UND DEREN GEGLÄTTETE TRENDS (DICKE LINIE) (GEOSPHERE AUSTRIA, N.D.).	82
ABBILDUNG 25. DARSTELLUNG DER GEBIETE INNERHALB WIENS, DIE EINE ERHÖHTE VULNERABILITÄT GEGENÜBER EXTREMEN HITZEEREIGNISSEN AUFWEISEN (BHATTACHARJEE, GERASIMOV, ET AL., 2019). 83	
ABBILDUNG 26. KONZEPTIONALISIERUNG DES URBAN HEAT VULNERABILITY INDEX (UHVI) ZUR BEWERTUNG DER HITZEANFÄLLIGKEIT DER STADT WIEN. IN DIESEM RAHMEN WIRD DIE AUSWIRKUNG VON HITZE IN STÄDTEN DURCH DIE EXPOSITION UND DIE EMPFINDLICHKEIT DARGESTELLT, WÄHREND DIE	

ANPASSUNGSFÄHIGKEIT DAZU DIENT, DIE AUSWIRKUNGEN ZU VERMINDERN (EIGENE DARSTELLUNG NACH BHATTACHARJEE (2019) UND ROBINE ET AL. (2008)).	86
ABBILDUNG 27. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DER BERECHNUNG DES VDPI ANHAND DER ALTERSGRUPPE UNTER 14 JAHRE INNERHALB DES WIENER STADTGEBIET (BHATTACHARJEE, GERASIMOV, ET AL., 2019).	87
ABBILDUNG 28. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE AUS DER BERECHNUNG DES VDPI ANHAND DER ALTERSGRUPPE ÜBER 60 JAHRE INNERHALB DES WIENER STADTGEBIETES (BHATTACHARJEE, GERASIMOV, ET AL., 2019).	88
ABBILDUNG 29. DARSTELLUNG DER EMPFINDLICHKEIT DER WIENER STADTBEVÖLKERUNG RESULTIEREND AUS DEN ERGEBNISSEN DES SI (BHATTACHARJEE, 2019).	89
ABBILDUNG 30. DARSTELLUNG DER HITZEEMPFINDLICHKEIT BASIEREND AUF DEN ERGEBNISSEN DES UHVI DER STADT WIEN (BHATTACHARJEE, 2019).	90

9. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1. AUFLISTUNG DER VERWENDETEN KEYWORDS NACH DER SUCHANFRAGE (1-5) SAMT GESAMTERGEBNIS DER ALS POTENZIELL GEEIGNETEN LITERATURQUELLEN	52
TABELLE 2. ÜBERSICHTSTABELLE DER IDENTIFIZIERTEN KLIMATISCHEN UND GEOGRAPHISCHEN INDIKATOREN, INSTITUTIONELLEN INDIKATOREN, ÖKONOMISCHEN INDIKATOREN, DEMOGRAFISCHEN INDIKATOREN, INDIKATOREN DER BEBAUTEN UMWELT UND WEITEREN, NICHT EINDEUTIG ZUORDENBAREN INDIKATOREN NACH DER ART DES INDIKATORS, SOWIE DER ANZAHL AN VERWENDUNGEN UND EINER ERLÄUTERUNG.	65
TABELLE 3. ÜBERSICHTSTABELLE DER SOZIO-DEMOGRAFISCHEN INDIKATOREN, GEGLIEDERT NACH DEN EINZELNEN INDIKATOREN SAMT ANZAHL DER VERWENDUNGEN UND STUDIENSPEZIFISCHER KONKRETER ERLÄUTERUNG.	67

10. Anhang

Anhang A

Review Protokoll

(überarbeitete Version nach Überprüfung durch Kommilitonen)

Hintergrund

Die Entwicklung von Vulnerabilitätsindizes hat sich im Zuge jahrzehntelanger Vulnerabilitätsforschung zu einem gängigen Ansatz zur Charakterisierung von Anfälligkeit und ihrer anschließenden Kartierung etabliert (T. Wolf & McGregor, 2013). Ein Hitzevulnerabilitätsindex (HVI) ist ein Tool, welches sich aus den Einflussfaktoren zusammensetzt, die den Grad der Vulnerabilität einer Bevölkerungsgruppe oder eines Stadtgebietes für hohe Temperaturen oder extreme Hitzeereignisse quantitativ widerspiegeln (Abrar et al., 2022; Niu et al., 2021; Y. Xu et al., 2021). Auch die soziale Vulnerabilität hat im Zuge der letzten Jahre Einzug in die Hitzevulnerabilitätsforschung in Form von sozio-demografischen Faktoren gefunden (Guardaro, Hondula, Ortiz, et al., 2022; Nikkanen et al., 2021; Renteria et al., 2022). Sozio-demografische Faktoren sind persönliche Merkmale eines Menschen wie beispielsweise das Alter, Geschlecht oder der Bildungsstand, die dazu beitragen, dass eine Person sozial vulnerabel und durch unterschiedliche Katastrophen vermehrt betroffen und gefährdet ist (Cutter et al., 2003; Cutter & Finch, 2008; U.S. Environmental Protection Agency, 2021). Obgleich das Bewusstsein für die Setzung von Maßnahmen und Handlungen im Kampf gegen den Klimawandel seit dem Pariser Klimaabkommen im Jahr 2015 geschärft und die Notwendigkeit zur Weiterentwicklung von Hitzevulnerabilitätsindizes um eine verstärkte Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität erkannt wurde, erfahren sozio-demografischen Indikatoren einen studienabhängig unterschiedlichen Stellenwert in der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes (H. Cheng et al., 2021; F. Li et al., 2022; Soomar & Soomar, 2023).

Forschungsfrage(n)

Im Zuge dieses systematischen Literaturreviews sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Inwiefern wird die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber urbaner Hitze von Hitzevulnerabilitätsindizes berücksichtigt?

- Welche Relevanz wird Open Data bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes, in Bezug auf sozio- demografische Indikatoren zugeschrieben?

Suchprozess

Keyword-Suche

Der Suchprozess des systematischen Literaturreviews basiert auf einer Keyword-Suche innerhalb ausgewählter Datenbanken. Die verwendeten Keywords sind der folgenden *Tabelle 1.* zu entnehmen.

Tabelle 1. Auflistung der verwendeten Keywords nach Suchanfragen (1-5)

Suchanfrage	Verwendete Keywords
Suchanfrage 1	„heat vulnerability index“
Suchanfrage 2	„heat vulnerability assessment“
Suchanfrage 3	heat vulnerability map
Suchanfrage 4	vulnerability index measure heat city
Suchanfrage 5	assessment urban heat vulnerability indicator

Ergänzende Suche

Um so viele passende Studien wie möglich im Zuge des Suchprozesses zu identifizieren, soll die Keyword-Suche um eine Rückwärtssuche, basierend auf den bereits ausgewählten Literaturquellen ergänzt werden.

Datenbanken

Die Keyword-Suche wird auf folgende Datenbanken beschränkt (siehe *Tabelle 2.*):

Tabelle 2. Verwendete Suchmaschinen für die Keyword-Suche

Verwendete Datenbanken	Link
PubMed	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
ScienceDirect	https://www.sciencedirect.com
u:search	usearch.univie.ac.at
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri?zone=header&origin=

Eingrenzungen

Die für den Suchprozess verwendeten Datenbanken (aufgelistet in *Tabelle 2.*) wurden aufgrund gewisser Eigenschaften ausgewählt. ScienceDirect und Scopus und PubMed zählen zu den weltweit führenden Volltext-Datenbanken und ermöglichen eine umfassende Recherche. u:search wurde als zusätzliche Suchmaschine ausgewählt, da der studentische Zugang zur zentralen Suchmaschine der Universitätsbibliothek Wien Zugriff auf eine Vielzahl an Literaturquellen bietet. Da ScienceDirect, PubMed und Scopus keinen kostenlosen Zugriff auf die gesamte Literatur ermöglichen, wird nur auf Literatur zurückgegriffen, die frei zugänglich ist oder auf anderen Suchmaschinen gefunden und kostenlos heruntergeladen werden kann.

Der Suchprozess wird hinsichtlich des Suchzeitraumes begrenzt. Es werden nur Literaturquellen ausgewählt, die nach der Pariser Klimakonferenz im Jahr 2015 veröffentlicht wurden. Inkludiert sind somit jegliche Literaturquellen ab dem 12.12.2015 bis zum Startzeitpunkt der Literaturrecherche (01.03.2023). Diese Einschränkung wurde basierend auf der Tatsache vorgenommen, da die Pariser Klimakonferenz ein zentrales Ereignis im Kampf gegen den Klimawandel und der intensiveren Auseinandersetzung mit den Themengebieten der urbanen Hitze, sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung und der Hitzevulnerabilität darstellt.

Einschlusskriterien

Folgende Literaturquellen werden im Zuge des systematischen Literaturreviews mit einbezogen:

- Literaturquellen, die nach dem 12.12.2015 und bis inklusive 01.03.2023 veröffentlicht wurden
- Populärliteratur sowie Wissenschaftliche/Fachliteratur, die sich auf die Erstellung eines Hitzevulnerabilitätsindikators auf Stadtniveau beziehen, diesen namentlich nennen und Informationen zur Datenbasis des Index liefern
- Literaturquellen in englischer und deutscher Sprache
- Literaturquellen mit „Open Access“

Ausschlusskriterien

Folgende Literaturquellen werden ausgeschlossen:

- Literaturquellen, die den Heat Vulnerability Index (in englischer oder deutscher Sprache) nicht namentlich im Zuge ihrer Studie nennen (Titel, Abstract & Zusammenfassung)
- Literaturquellen, die nicht in deutscher oder englischer Sprache verfasst wurden
- Literaturquellen, die vor 12.12.2015 und nach dem 01.03.2023 veröffentlicht wurden
- Literaturquellen, die weder die Forschungsfrage noch den Forschungsprozess oder die Art und Weise der Datenextraktion und Analyse beschreiben
- Literaturquellen, die sich nicht explizit auf Städte beziehen
- Literaturquellen, die lediglich Hitzevulnerabilitätsindizes und urbane Hitzevulnerabilitätsindizes im Zuge ihrer Arbeit verwenden, diese jedoch nicht eigens kalkulieren und erstellen

Die Literaturquelle wird automatisch ausgeschlossen, sobald eine der oben genannten Ausschlusskriterien zutrifft.

Auswahlverfahren der Literaturquellen

Das Auswahlverfahren der Primärliteratur umfasst den Titel, das Abstract und die Keywords (falls die Datenbank eine Suche mittels Keywords zulässt). Bei Erfüllung der Einschlusskriterien wird eine vertiefende Betrachtung des Volltextes angewendet.

Die Ergebnisse des Auswahlverfahrens werden in Form einer Tabelle dargestellt:

1. Screening Titel, Abstract & Keywords: Auflistung der Literatur nach Titel, Suchanfrage (1-5), Datenbank und Quelle
2. Volltext - Screening: Auflistung der potenziell geeigneten Literatur nach Titel, Einschluss/Ausschluss und Begründung
3. Rückwärtssuche: Auflistung der ausgewählten Literatur aus der Volltextsuche & der identifizierten ergänzenden Literaturquellen
4. Volltext – Screening: Auflistung der potenziell geeigneten Literatur nach Titel, Einschluss/Ausschluss und Begründung

Die Auswahl der abgelehnten Arbeiten (Volltextbetrachtung) wird in einer separaten Liste nach Ausschlussphase sortiert und mit einer Begründung der Ablehnung dokumentiert.

Das Auswahlverfahren wird nach Abschluss zur besseren Nachvollziehbarkeit in Form eines PRISMA Flow Diagramms visualisiert.

Qualitätsüberprüfung

Die Evaluierung des systematischen Literaturreviews orientiert sich an der Studie „Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering“ von Kitchenham und Charters, basierend auf den Kriterien der “Database of Abstracts of Reviews of Effects (DARE) der York University, Centre for Reviews and Dissemination (CDR)” (Kitchenham & Charters, 2007). Die Fragen zur Qualitätsprüfung sind der nachstehenden *Tabelle 3.* zu entnehmen.

Tabelle 3. Evaluierungsfragen nach (Kitchenham & Charters, 2007) samt den Antwortmöglichkeiten „ja“, „teilweise“, „nein“ und „unbekannt“

Frage	Ja	Teilweise	Nein	Unbekannt
Werden die Ein- und Ausschlusskriterien des systematischen Literaturreviews beschrieben und sind diese angemessen? ⁽¹⁾				
Ist es wahrscheinlich, dass bei der Literatursuche alle relevanten Studien erfasst wurden? ⁽²⁾				
Wird die Qualität/Validität der eingeschlossenen Literaturquellen bewertet? ⁽³⁾				
Werden die Basisdaten/Studien angemessen beschrieben? ⁽⁴⁾				

Zu (1):

- die Ein- und Ausschlusskriterien sind klar definiert (ja)
- die Ein- und Ausschlusskriterien sind teilweise definiert (teilweise)
- die Ein- und Ausschlusskriterien sind implizit (nein)
- die Ein- und Ausschlusskriterien sind nicht definiert und können nicht ohne weiteres abgeleitet werden (unbekannt)

Zu (2):

- es wurden 4 oder mehr digitale Bibliotheken durchsucht und zusätzliche Suchstrategien miteinbezogen (ja)
- es wurden 3 oder 4 digitale Bibliotheken ohne zusätzliche Suchstrategien durchsucht (teilweise)
- es wurden 2 digitale Bibliotheken oder eine eingeschränkte Gruppe von Zeitschriften durchsucht

- unbekannt

Zu (3):

- es wurden explizit Qualitätskriterien definiert und aus jeder Primärstudie extrahiert (ja)
- die Forschungsfrage beinhaltet Qualitätsaspekte, welche im Zuge der Studie Berücksichtigung finden (teilweise)
- es wird keine Qualitätsbewertung einzelner Studien vorgenommen (nein)
- unbekannt

Zu (4):

- es werden Informationen zu den einzelnen Arbeiten vorgelegt (ja)
- es werden lediglich zusammengefasste Informationen zu den einzelnen Arbeiten vorgelegt (teilweise)
- es werden keine Informationen zu den einzelnen Arbeiten vorgelegt (nein)
- unbekannt

Datenerhebung

Im Zuge der Datenerhebung werden folgende Daten aus den einzelnen Literaturquellen extrahiert und tabellarisch aufgeführt:

1. Generelle Informationen zur Literaturquelle

- 1.1. der Titel
- 1.2. Autor(en) und Zugehörigkeiten (Organisation, Land)
- 1.3. Bezeichnung des Index
- 1.4. Konzeptioneller Rahmen
- 1.5. die Quelle (d.h. die Datenbank)
- 1.6. das Publikationsdatum – im Falle unterschiedlicher Publikationsdaten zur selben Quelle wird das zeitlich frühere Datum verwendet

2. Spezifische Informationen zur Literaturquelle

- 2.1. Klassifikation der Literaturquelle
- 2.2. die Stadt, auf die sich der Index bezieht
- 2.3. das Land
- 2.4. der Kontinent

3. Relevante Informationen zum Forschungsgebiet

- 3.1. die Anzahl an sozio-demografischen Indikatoren, die für die Erstellung des Hitzevulnerabilitätsindex verwendet wird
 - 3.2. eine Auflistung der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren
 - 3.3. die Datenbasis der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren
 - 3.4. die Anzahl der wirtschaftlichen, institutionellen, kulturellen und politischen Indikatoren, etc., die zur Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in die Erstellung des Hitzevulnerabilitätsindex integriert wird
 - 3.5. eine Auflistung der wirtschaftlichen, institutionellen, kulturellen und politischen Indikatoren, etc.
 - 3.6. Zusätzliche Informationen (z.B. Besonderheiten, Vorschläge zu weiterführender Forschung etc.)
4. der Link zur Studie

Datenanalyse

Die Daten werden in tabellarischer Form (in alphabetischer Reihenfolge nach den Namen des Erstautors/der Erstautorin) präsentiert, um die extrahierten Informationen jeder Literaturquelle abzubilden. Im Zuge der Datenanalyse erfolgt eine Auswertung der gesammelten Informationen, um die Forschungsfragen zu beantworten und darüberhinausgehende Informationen zur Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindikatoren und den Einzug der sozialen Vulnerabilität der Bevölkerung in die Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindikatoren zu ermitteln. Die verwendeten Literaturquellen werden überdies einer Qualitätsbewertung nach dem vorab definierten Qualitätsbewertungsformular (Siehe Anhang C) bewertet.

- Forschungsfrage 1: Inwiefern wird die soziale Vulnerabilität der Bevölkerung bezüglich urbaner Hitze von Hitzevulnerabilitätsindizes berücksichtigt? Diese Frage wird durch die durchschnittliche Anzahl an verwendeten sozio-demografischen Indikatoren pro Studie, einer Auflistung der Häufigkeit der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren, sowie ergänzend durch die durchschnittliche Anzahl und die Häufigkeit an zusätzlich verwendeten beispielsweise wirtschaftlichen, demografischen und institutionellen Indikatoren pro Studie sowie insgesamt ermittelt.
- Welche Relevanz wird Open Data bei der Erstellung von Hitzevulnerabilitätsindizes in Bezug auf sozio- demografische Indikatoren zugeschrieben? Diese Frage wird durch die Ermittlung der Datenbasis der sozio-demografischen Indikatoren abgedeckt.

Anhang B

Formular zur Datenextraktion

Im Zuge der Datenerhebung werden folgende Daten aus den einzelnen Literaturquellen extrahiert und tabellarisch aufgeführt:

5. Generelle Informationen zur Literaturquelle
 - 5.1. der Titel
 - 5.2. Autor(en) und Zugehörigkeiten (Organisation, Land)
 - 5.3. Bezeichnung des Index
 - 5.4. Konzeptioneller Rahmen
 - 5.5. die Quelle (d.h. die Datenbank)
 - 5.6. das Publikationsdatum – im Falle unterschiedlicher Publikationsdaten zur selben Quelle wird das zeitlich frühere Datum verwendet
6. Spezifische Informationen zur Literaturquelle
 - 6.1. Klassifikation der Literaturquelle
 - 6.2. die Stadt, auf die sich der Index bezieht
 - 6.3. das Land
 - 6.4. der Kontinent
7. Relevante Informationen zum Forschungsgebiet
 - 7.1. die Anzahl an sozio-demografischen Indikatoren, die für die Erstellung des (urbanen) Hitzevulnerabilitätsindex verwendet wird
 - 7.2. eine Auflistung der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren
 - 7.3. die Datenbasis der verwendeten sozio-demografischen Indikatoren
 - 7.4. die Anzahl der wirtschaftlichen, institutionellen, kulturellen und politischen Indikatoren, etc., die zur Miteinbeziehung der sozialen Vulnerabilität in die Erstellung des Hitzevulnerabilitätsindex integriert werden
 - 7.5. eine Auflistung der wirtschaftlichen, institutionellen, kulturellen und politischen Indikatoren, etc.
 - 7.6. Zusätzliche Informationen (z.B. Besonderheiten, Vorschläge zu weiterführender Forschung etc.)
8. der Link zur Studie

Anhang C

Qualitätsbewertungsformular

Tabelle 1. Qualitätsbewertungsformular

Frage	Ja	Nein	Teilweise
Werden in der Arbeit HVI oder UHVI behandelt?			
Werden sozio-demografische Indikatoren in die Entwicklung der Indizes miteinbezogen?			
Wird die Datenbasis der sozio-demografischen Indikatoren in der Arbeit genannt?			
Gibt die Arbeit Hinweise auf die Beantwortung der Forschungsfrage (1)?			
Gibt die Arbeit Hinweise auf die Beantwortung der Forschungsfrage (2)?			

Anhang D

Leitfaden des Expert*inneninterviews mit Sagnik Bhattacharjee, MSc., 13.03.2023 um 2 pm.

Interview guide „Urban Heat Vulnerability Index“

Personal Questions & Questions about ECOTEN

- Could you give me a short description about your background and your work at ECOTEN?

Questions ECOTEN & the collaboration with Vienna

- How did ECOTEN come to be commissioned by the City of Vienna to map the heat vulnerability of Vienna and produce the “urban heat vulnerability index” back in 2018?
- Did the city of Vienna state specific wishes or framework specifications for the heat vulnerability assessment?
- Why did you call the index you created for Vienna the "urban heat vulnerability index"?
- What is special about the word “urban”?

Questions about the UHVI and the indicators

- Why did you choose the conceptualization of vulnerability according to the IPCC TAR as base for creating the UHVI?
- Apart from the recommendation of the IPCC for heat vulnerability assessment, is there a reason why the “sensitivity” only consists of one socio-demographic indicator, the age?
- In your paper “THE URBAN HEAT VULNERABILITY MAP OF VIENNA, AUSTRIA” you stand that you chose the age groups below 14 and above 60 based on available data. What is your opinion about “Open Data” in the context of socio-demographic indicators?
- Which role does “Open Data” play in the creation of indices nowadays?
- Do you think that incorporating the perspective of social vulnerability into the creation of heat vulnerability indices is an important step in the development of heat vulnerability assessment?

- Do you think that the inclusion of more factors reflects the population affected by heat better and enhances the quality of the index? Or do you think other indicators, which are not considered so far, might play a more important role in the calculation of heat vulnerability?
- If you were tasked to further develop the UHVI in terms of more inclusiveness of social vulnerability of the population, what indicators do you think could be useful?

Future look

- Do you have a vision how heat vulnerability assessment might change with the background of the perspective of people's social vulnerability in the next few years?
- If you think about your future work, is it planned to refine to UHVI? Was the creation of the UHVI an on-time project or is it still an ongoing process.
- Are there any plans for future creation of heat vulnerability indices for other cities?

Anhang E

Kodierleitfaden zur Auswertung des Expert*inneninterviews mit Sagnik Bhattacharjee, MSc

Tabelle 1. Kodierleitfaden, gegliedert in (1) Textabschnitt, (2) Kodierung und (3) Kategorie

Textabschnitt	Kodierung	Kategorie
„my personal background and of ECOTEN...”	Pers. Hintergrund & von ECOTEN	Hintergrund
“I’m very passionate about urban environment and how to mitigate climate change impacts...”	persönliche Interessen	Interessen
“...program by the European Institute of Technology to kind of support climate-based innovations – climathon...”	Erster Kontakt mit Stadt Wien	Zusammenarbeit Stadt Wien
“...we found the IPCC to be probably one of the most, I mean, one of the most important sources of guidelines, actually...”	IPCC	Konzept
“...like the service wouldn't have been possible without the presence of Open Data”	Service von ECOTEN	Open Data
“...why the city was also very specific that they wanted to deal with the elderly people...”	sozio-demografisches Merkmal Alter	ausgewählter Indikator
“...Infrastructure is important. Urban infrastructure...”	Urbane Infrastruktur	Weiterführende Indikatoren
“In general, population density is also very important.”	Populationsdichte	Weiterführende Indikatoren
“...it would have to be an evolution from indicators for sure.”	Indexentwicklung in Zukunft	Zukunfts-aussichten

Der Kodierleitfaden lässt sich in drei Teilbereiche (Textabschnitt, Kodierung und Kategorie) gliedern. Im Textabschnitt wird die jeweils betrachtete Textpassage angeführt und mit einer Kodierung und Kategorie versehen. Die Textabschnitte in *Tabelle 1.* dienen der vereinfachten Erläuterung der Kodierung und der Kategorie. Insgesamt wurden sieben Kategorien angelegt: (1) Hintergrund, (2) Interesse, (3) Zusammenarbeit mit der Stadt Wien, (4) Open Data, (5) ausgewählter Indikator, (6) weiterführende Indikatoren und (7) Zukunftsaussichten, denen die jeweiligen Textabschnitte samt Kodierung thematisch zugeordnet werden.