

Climate, Health and Population (CHAP) – Klimawandel und Vulnerabilitätsunterschiede in der Metropolregion Wien

Ingrid Setz, Roman Hoffmann, Anna-Theresa Renner, Erich Striessnig

Urbane Räume wie die Metropolregion Wien (Wien und Niederösterreich) sind überproportional stark von extremen Temperaturen, insbesondere von Hitzeepisoden, betroffen. Diese können sich in vielfältiger Weise auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirken. Die direkten Folgen reichen von Dehydrierung über Hitzschlag bis hin zu Erkrankungen des Herzkreislaufsystems. Im Zentrum des *Climate, Health and Population (CHAP)* Projektes steht die Frage, wie sich solch extreme Temperaturveränderungen auf Hospitalisierungsraten auswirken. Ziel des Gesamtprojektes ist es, die zukünftige hitzebedingte Belastung des Gesundheitswesens unter verschiedenen Klima- und Bevölkerungsszenarien zu projizieren. Der vorliegende Artikel untersucht den historischen Zusammenhang und zeigt, dass Hospitalisierungen positiv mit Temperaturextremen assoziiert sind. Darüber hinaus wird die Bedeutung der Bevölkerungsstruktur sowie der Bebauung für die Identifizierung einer hitzebedingten Belastung des Gesundheitswesens diskutiert. Die Auswertungen sind für die öffentliche Planung relevant, da vor allem urbane Gebiete zunehmend mit höheren Temperaturen, einem Anwachsen der vulnerablen Bevölkerungsgruppen und der Gefahr von Wärmeinseln konfrontiert sind.

1 Hintergrund

Als Folgen des Klimawandels ist zu erwarten, dass extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen, Kälteperioden, Starkregen und Dürren in Zukunft häufiger und intensiver auftreten werden. Österreich ist zunehmend von den sich ändernden klimatischen Bedingungen, insbesondere im Hinblick auf Temperaturrisiken, betroffen. Seit den 1880er Jahren ist die durchschnittliche Jahrestemperatur um mehr als 2 °C gestiegen (APCC, 2018). Während Wien in den 1960er und 1970er Jahren durchschnittlich 8,9 Hitzetage (d.h. Tage mit einer Höchsttemperatur ≥ 30 °C) verzeichnete, stieg diese Anzahl zwischen 2010 und 2020 auf durchschnittlich 27,2 Hitzetage (Stadt Wien, 2021). Außerdem nahm die Anzahl der Tropennächte (d. h. Nächte mit einer Mindesttemperatur ≥ 20 °C) stetig zu. Bis zum Ende des Jahrhunderts wird erwartet, dass die durchschnittliche Anzahl der Hitzetage und Tropennächte

in Wien pro Jahr auf mehr als 50 Tage und 30 Nächte ansteigen wird (APCC, 2018; Chimani et al., 2016).

Diese sich wandelnden klimatischen Bedingungen stellen eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar, wobei nicht nur das Risiko einer erhöhten Sterblichkeit (Mortalität) besteht, sondern auch eine Zunahme der Belastung im Gesundheitssektor durch eine steigende Zahl an Erkrankten (Morbidität). So kann eine direkte Exposition von extremer Hitze zu Erschöpfung, Dehydrierung, Hyperthermie und Hitzeschlägen führen, aber auch bestehende Herz-Kreislauf-Probleme verschlimmern (Crandall & Gonzalez-Alonso, 2010; González-Alonso et al., 2008; Kenny et al., 2010; Michelozzi et al., 2009). Weiters können die klimatischen Veränderungen sich indirekt auf die Gesundheit auswirken, sei es über Folgewirkungen auf Ökosysteme, die Wirtschaft oder gesundheitsrelevante Institutionen (Watts et al., 2018). Dementsprechend warnt

die Lancet Commission on Health and Climate Change: „climate change is a medical emergency“ (Watts et al., 2015). Ohne entsprechende Anpassungsmaßnahmen könnte die hitzebedingte Sterblichkeit in Wien in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts um bis zu 129 % höher sein als im Zeitraum 1970-2000 (Muthers et al., 2010). Vergleichbare Studien zu den Morbiditätsauswirkungen der Klimakrise fehlen einstweilen aber noch.

Angesichts der Dringlichkeit, die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, zielt das durch den Jubiläumsfonds der Stadt Wien für die Österreichische Akademie der Wissenschaften geförderte Projekt *Climate, Health and Population (CHAP)* darauf ab, die Auswirkungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen auf die Gesundheit der Bevölkerung in der Metropolregion Wien (Wien und Niederösterreich) zu untersuchen. Ziel ist es, die zu erwartende Belastung des Gesundheitswesens auf Basis historischer Erkenntnisse und Berücksichtigung künftiger Klima- und Bevölkerungsdynamiken zu schätzen.

Erstmals sollen dabei die Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel, der demographischen Dynamik und jener der städtischen Infrastruktur gemeinsam betrachtet werden. Zwar haben sich bereits Studien mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzeextremen im städtischen Raum befasst, Unterschiede und Veränderungen in der demographischen Zusammensetzung bleiben dabei aber zumeist unberücksichtigt. Ein weiterer wichtiger Beitrag ist der Fokus auf Morbidität. Während es bereits Belege für ein erhöhtes Sterblichkeitsrisiko aufgrund von Temperaturextremen gibt (speziell für Wien siehe Muthers et al., 2010), gibt es bisher kaum Studien, die sich mit den potentiellen Morbiditätsauswirkungen des Klimawandels befassen. Diese Lücke gilt es zu schließen, da frühzeitig gesetzte Maßnahmen helfen können, vermeidbare Krankheits- und Todesfälle zu verhindern.

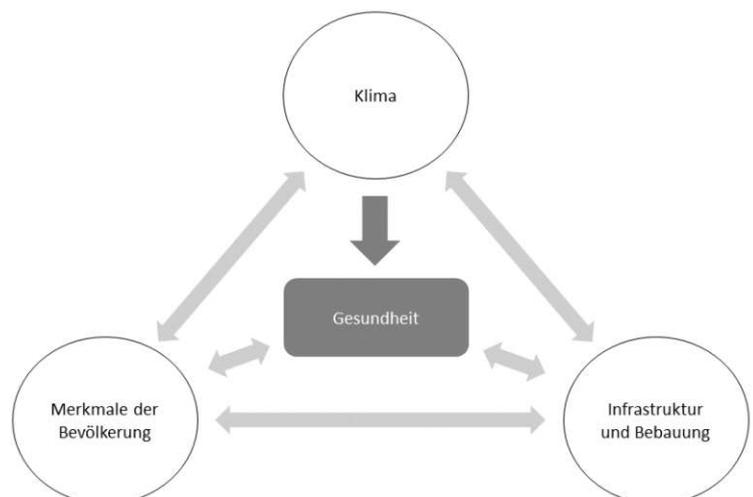
Die erwarteten Erkenntnisse aus dem CHAP-Projekt sind nicht nur für die akademische Forschung von hoher Relevanz, sondern bieten auch vielfältige Lehren für die Klimawandelanpassung und Klimaresilienz in der Raumplanung. Selbst innerhalb ein und derselben Stadt können am gleichen Tag stark unterschiedliche Temperaturen herrschen, was wiederum mit infra-, siedlungsstrukturellen und wirtschaftlichen Bedingungen zusammenhängen kann. Zugleich bestehen Unterschiede in der Bevölkerungszusammensetzung, die bei der Bewertung des Hitzerrisikos miteinbezogen werden müssen. Mittels kleinräumiger Analysen lassen sich Hotspots identifizieren, an denen vulnerable Bevölkerungsgruppen mit nachteiligen Umweltbedingungen zusammentreffen. Das Aufzeigen dieser Hotspots ermöglicht es, gezielt Vorsorgemaßnahmen zu treffen (Muttarak et al., 2015; Zagheni et al., 2015).

Der vorliegende Artikel präsentiert deskriptive, sowie erste analytische Resultate, die die räumliche Heterogenität der genannten Faktoren aufzeigen. Demographische Vulnerabilitätsunterschiede werden dabei durch eine Differenzierung der Bevölkerung nach Alter, Geschlecht und sozioökonomischem Status erfasst. Zusätzlich zu diesen sozialen Faktoren werden bauliche und infrastrukturelle Aspekte, wie die Verfügbarkeit von Grünflächen, als Treiber differenzieller Vulnerabilität behandelt. Mithilfe von Klimadaten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung sowie umfangreicher Daten zu Hospitalisierungen werden die historischen Zusammenhänge zwischen meteorologischen Bedingungen und gesellschaftlicher Morbidität auf der Gemeinde- beziehungsweise PLZ-Ebene analysiert.

2 Klimawandel und Gesundheit

Der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Gesundheit kann nicht ohne moderierende Faktoren betrachtet werden, die das Ausmaß der Auswirkungen von Temperaturveränderungen auf hitzebedingte Hospitalisierungen bestimmen. Dazu gehören Bevölkerungsmerkmale, sowie infrastrukturelle und bauliche Aspekte. Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung dieser Wechselwirkungen. Anzumerken ist, dass die dargestellten Wechselwirkungen unterschiedliche Zeithorizonte aufweisen. Während sich die Gesundheitsfolgen von Infrastruktur und Bebauung mittel- bis langfristig entfalten (gesundheitliche Folgen prekärer Wohnverhältnisse), kann die Wirkung des Klimas auf die Gesundheit sowohl langfristig als auch kurzfristig (Hitze als „Schock“) betrachtet werden.

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Nexus von Klima und Gesundheit



2.1 Bevölkerung(heterogenität)

Zu den häufig mit Temperaturextremen in Verbindung stehenden Erkrankungen, die auch ein erhöhtes Risiko für Hospitalisierungen oder ein Sterberisiko zur Folge haben, gehören kardiovaskuläre und psychiatrische Störungen (Semenza et al., 1999; Stafoggia et al., 2006), Diabetes und Nierenerkrankungen (Semenza et al., 1999) sowie Drogenmissbrauch und Leberzirrhose (Cusack et al., 2011; Hansen et al., 2008; Semenza et al., 1999). All diese chronischen Erkrankungen führen bei Betroffenen zu zusätzlicher Vulnerabilität und zu einer höheren Zahl an Krankenhausaufenthalten bei extremer Hitze (Basagaña et al., 2011; Gronlund et al., 2014; Hess et al., 2014; Rocklöv & Forsberg, 2009). Darüber hinaus ist die Gruppe der über 60-Jährigen aufgrund der hohen Prävalenz von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes und psychischen Erkrankungen besonders vulnerabel für die Auswirkungen von Temperaturextremen (Clayton et al., 2017; Haas et al., 2014; Hutter et al., 2007).

Zahlreiche wissenschaftliche Belege sprechen dafür, dass verschiedene Bevölkerungsgruppen nicht gleichermaßen von Temperaturextremen betroffen sind, sondern sich hinsichtlich ihrer Vulnerabilität unterscheiden (IPCC, 2014). Diese können verschiedene Ursachen haben, wie etwa Ungleichheiten in der physiologischen Anfälligkeit, der Exponiertheit oder auch sozioökonomische Faktoren, die die Risikowahrnehmung und Anpassungsfähigkeit beeinflussen.

Aus einer physiologischen Perspektive können Unterschiede in der Vulnerabilität auf die Fähigkeit zur Thermoregulation von Hitze und Kälte zurückgeführt werden (Moran & Mendal, 2002). Insbesondere ältere Menschen sind aufgrund ihrer nachlassenden Fähigkeit zur Thermoregulation anfälliger für Temperaturextreme (Baccini et al., 2008; Kenny et al., 2017; Wanka et al., 2014). Die Thermoregulationsfähigkeit kann zusätzlich von Medikamenten, die bei altersbedingten Erkrankungen eingenommen werden, beeinträchtigt sein (Abrahamson et al., 2009; Conti et al., 2007). Außerdem lässt sich bei Säuglingen und Kleinkindern eine erhöhte Anfälligkeit beobachten, da ihr Immun-, Atmungs- und Thermoregulationssystem noch nicht voll entwickelt ist (Kakkad et al., 2014; Xu et al., 2012, 2017).

Neben biologischen Unterschieden beeinflussen auch demographische und sozioökonomische Merkmale die Fähigkeit, sich auf extreme Ereignisse vorzubereiten, auf sie zu reagieren und sie zu bewältigen. Menschen mit niedrigerem Bildungsniveau verfügen oft nicht über ausreichende Informationen, um Risiken korrekt einzuschätzen. Sowohl auf individueller als auch auf gesellschaftlicher Ebene führt dies zu einer schlechteren Risikowahrnehmung, aber auch zu einem geringeren Vorbereitungsgrad in Bezug auf extreme Wetterereignisse

und Notfallsituationen (Hoffmann & Mutarak, 2017; Pichler & Striessnig, 2013). Während die intakte Risikowahrnehmung für das Verhalten im Ernstfall von grundlegender Bedeutung ist, sind Menschen oft nicht in der Lage, Risiken richtig abzuschätzen und angemessen zu reagieren (Paton & Johnston, 2001). So sehen sich ältere Menschen oftmals nicht als „alt“ oder einer Risikogruppe zugehörig und sind sich deshalb auch nicht im Klaren, inwieweit ihr Alter oder ihr beeinträchtigter Gesundheitszustand das Risiko einer hitzebedingten Erkrankung erhöht (Abrahamson et al., 2009; Bittner & Stöbel, 2012; Sheridan, 2007). Außerdem kann eine unzuverlässigere Wahrnehmung von bedrohlichen Temperaturveränderungen sowie eine eingeschränkte Mobilität dazu führen, dass selbst einfache Anpassungsmaßnahmen, wie das Aufsuchen kühlerer Räume, das Wechseln der Kleidung, oder eine ausreichende Flüssigkeitsaufnahme zur Herausforderung werden.

2.2 Infrastruktur und Bebauung

Ungeachtet des Klimawandels führt das Bevölkerungswachstum in den Städten zu einer erhöhten Flächenversiegelung und einer verstärkten Wirtschaftstätigkeit. Die tagsüber entstehende Wärme wird in der baulichen Infrastruktur gespeichert, im Falle von längeren Hitzeperioden nachts aber nur langsam wieder abgegeben. Aufgrund dieses Urban heat island-Effektes sind Städte und die darin lebende Bevölkerung daher besonders anfällig gegenüber steigenden Temperaturen. Eine städtische Wärmeinsel zeichnet sich durch höhere Temperaturen als jene in umliegenden Gebieten aus. Diese erhöhte Temperaturen können das Ergebnis von zunehmend undurchlässigen Oberflächen, fehlender Vegetation, konzentrierten städtischen Strukturen, sowie der anthropogenen Wärmeemissionen sein (Johnson et al., 2020). Dabei ist zu beachten, dass diese Temperaturunterschiede nicht nur zwischen der Stadt und dem Umland auftreten können, sondern auch innerhalb einer Stadt, da einzelnen Stadtteile durch unterschiedliche topographische sowie infrastrukturelle und bauliche Gegebenheiten gekennzeichnet sein können.

Der Wärmeineleffekt wurde bereits in verschiedenen geografischen, sozioökonomischen und kulturellen Kontexten für eine erhöhte Mortalität und Morbidität während Hitzewellen verantwortlich gemacht (Founda & Santamouris, 2017; Hajat & Kosatky, 2010; Lemonsu et al., 2015; Smargiassi et al., 2009). Zugleich erhöht er den Energiebedarf für Kühlung, was zu einer weiteren Erwärmung in städtischen Gebieten beiträgt und die Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt und die öffentliche Gesundheit verschärft (Mohajerani et al., 2017). Für das Jahr 2019 wurden Wärmeinsel-Hospots in Wien, welche sich überwiegend im 3., 5., 10. und

16. Gemeindebezirk liegen, identifiziert (MA 20, 2019), wobei in allen Bezirken Wiens kleinräumigere Hitzeinseln nachweisbar sind.

Bis zum Jahr 2050 wird erwartet, dass der Anteil der Menschen, die weltweit in Städten leben, von etwa 55 % in 2018 auf 68 % steigen wird (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2019). Prognosen zeigen, dass Wiens Bevölkerung bis 2048 um 15,5% zunehmen wird, und die Stadt bereits im Jahr 2027 zur Zwei-Millionen-Metropole werden wird (MA23, 2018). Das räumliche Wachstumsmuster ist wiederum sehr heterogen, wobei die stärksten Zuwächse in den bereits bevölkerungsreichen Bezirken (10., 11. und 20.) zu verzeichnen sind, gefolgt von den anderen äußeren Bezirken. In einigen inneren Bezirken (4. bis 8.) kommt es gemäß der vorliegenden Prognosen hingegen sogar zu Bevölkerungsrückgängen.

Obwohl das Wachstum der Bevölkerung in Wien insgesamt zu einer Verjüngung der städtischen Altersstrukturen führen wird, nimmt die Anzahl vulnerabler, älterer Menschen mit dem Altern der Babyboomer-Generation weiter zu. Der Anteil der über 65-Jährigen wird von 16,5 % (2018) auf 21,6 % steigen, wovon mehr als die Hälfte auf das starke Wachstum der über 80-Jährigen zurückzuführen ist.

Das Wachstum der urbanen Bevölkerung und die zunehmenden wirtschaftlichen Aktivitäten führen auch zu erhöhter Landnutzung und zunehmender Bodenversiegelung. In Österreich ist die Flächeninanspruchnahme zwischen 2001 und 2018 deutlich stärker gestiegen (+26,0 %) als die Bevölkerung (+9,9 %) (Statistik Austria, 2019). Besonders problematisch an den versiegelten Flächen ist, dass weniger Wasser verdunsten kann. Dies wiederum bedeutet weniger Abkühlung und zusätzlich Hitzespeicherung von Asphalt, Beton und Gebäude –Treiber für den Wärmeinsel Effekt.

Insgesamt wird deutlich, dass eine gemeinsame Betrachtung von demographischen Strukturen und baulichen Aspekten unumgänglich ist, um die Auswirkungen des Klimas auf Hospitalisierungen zu erfassen. Dies gilt insbesondere für städtische Gebiete, da Wärmeinseln eine noch größere Bedrohung für wachsende, alternde und vulnerable Bevölkerungsgruppen darstellen.

3 Daten

Zur Bewertung der Fragestellung, wie sich erwartbare demographische und klimatologische Veränderungen in der Metropolregion Wien in Zukunft auf die Zahl der Hospitalisierungen auswirken werden, verwenden wir Daten vom Dachverband der österreichischen Sozialversicherungsträger (DVB).

Dieser Datensatz enthält sämtliche Hospitalisierungen in österreichischen Krankenanstalten von 2009 bis 2018. Darin sind anonymisierte Informationen zu Haupt- und Nebendiagnosen (nach ICD-10) jedes Krankenhausaufenthalts, das Datum der Aufnahme und Entlassung, der Grund für die Entlassung, Merkmale der Patient:innen wie Altersgruppe, Geschlecht und Postleitzahl des Wohnortes, sowie der Krankenhauscode der aufnehmenden Einrichtung enthalten.

Tägliche und kleinräumige Klimadaten beziehen wir von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Der historische Datensatz umfasst Minimal-, Maximal- und Durchschnittstemperatur sowie Luftfeuchtigkeit und Niederschlag auf einem 1x1 km Raster. Für unsere Auswertungen werden diese Klimaindikatoren mit den DVB-Daten auf der individuellen Ebene gematcht. Das bedeutet, dass wir die Punktdaten der Postleitzahlen der Wohnorte der Patient:innen aus dem DVB-Datensatz mit den Rasterdaten abgleichen, um die Wetterbedingungen zu bestimmen, denen eine bestimmte Person vor Krankenhausaufenthalt ausgesetzt war. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Patient:innen vor dem Krankenhausaufenthalt an ihrem Wohnort oder in dessen Nähe aufhielten.

Um unterschiedliche Vulnerabilitäten innerhalb der Bevölkerung zu erfassen, verwenden wir soziodemographische Daten der Statistik Austria. Diese Daten umfassen Informationen zum Alter, dem Geschlecht sowie dem Bildungsstand der Bevölkerung auf der PLZ Ebene.

Schließlich verwenden wir zur Erfassung der primären Urbanisierungstrends und -muster in unserem Untersuchungsgebiet Daten zu versiegelten Flächen. Diese stammen aus einem globalen Datensatz, welcher den Anteil der versiegelten Flächen für fünf verschiedene Szenarien während des 21. Jahrhunderts auf einem 1x1 km Raster beinhaltet (Gao & Pesaresi, 2020). Der Vorteil dieses Datensatzes besteht darin, dass zukünftige Urbanisierungsdynamiken abgebildet werden, welche in weiterer Folge für die Projektion der zu erwartenden Belastung des Gesundheitssystems im Gesamtprojekt relevant sein wird.

4 Resultate

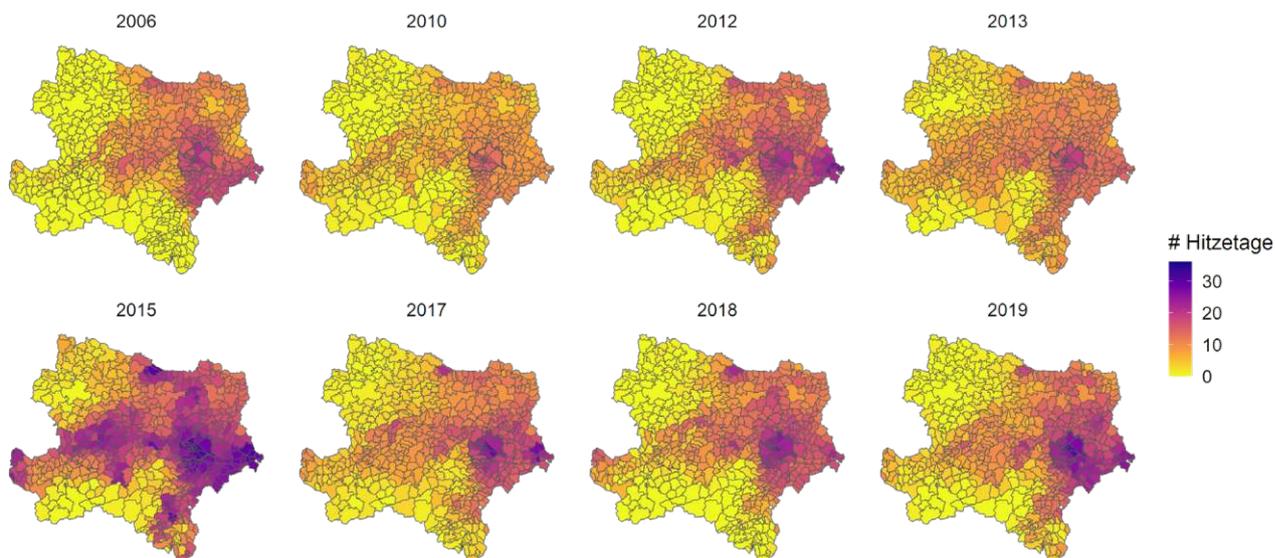
4.1 Deskriptive Statistiken

Im Folgenden werden die räumlichen Muster der in Kapitel 2 beschriebenen Faktoren dargestellt. Es zeigen sich räumliche Heterogenitäten bei Temperaturextremen, der Altersstruktur sowie der Flächenversiegelung zwischen Wien und Niederösterreich, aber auch innerhalb des

Stadtgebietes. Während die wärmsten der letzten 15 Jahre der Messgeschichte fast ausschließlich im vergangenen Jahrzehnt zu finden sind, zeigt sich weiters, dass die Anzahl der Hitzetage stets in der dicht bebauten Stadtregion am höchsten war.

In Abbildung 2 wird die räumliche Verteilung der jährlichen Hitzetage in der Metropolregion Wien dargestellt. Ein Hitzetag ist definiert als ein Tag mit einer Höchsttemperatur von über 30 °C und einer Mindesttemperatur von 18 °C. Es ist zu beobachten, dass in allen Jahren unseres

Abbildung 2: Jährliche Anzahl an Hitzetagen in Wien und Niederösterreich für den Zeitraum 2006 bis 2019



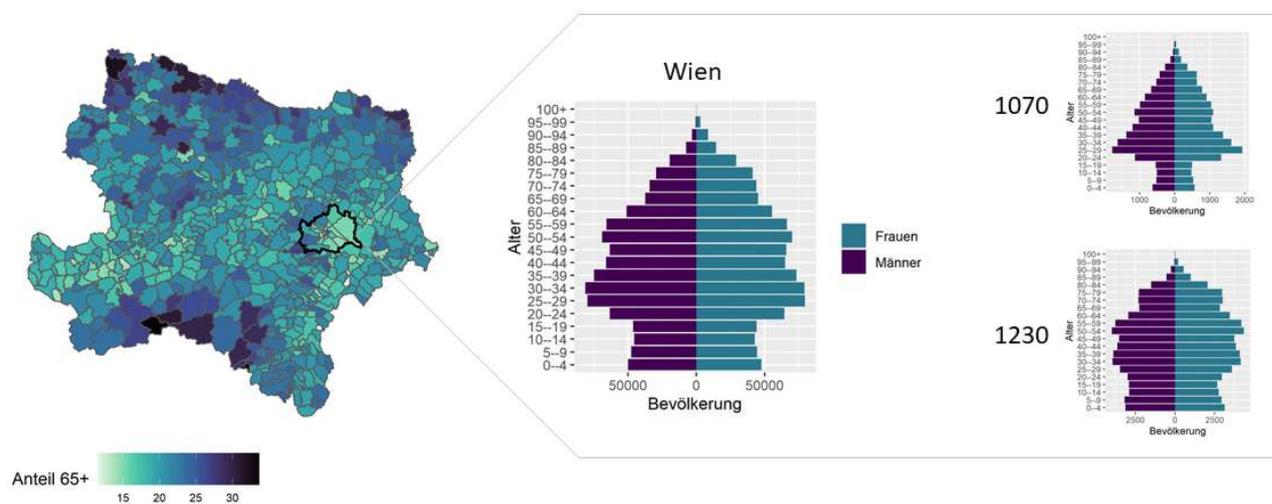
Quelle: INCA, ZAMG

Beobachtungszeitraums 2006-2019 starke räumliche Unterschiede vorhanden sind. So gibt es Gemeinden, die über alle Jahre hinweg keinen einzigen Hitzetag verzeichnen, während andere über 30 Hitzetage im Jahr zählen. Wenn wir nur die Stadt Wien betrachten, sehen wir auch, dass räumliche Variationen in der Anzahl der Hitzetage innerhalb der Gemeindebezirke bestehen. Erwähnenswert ist auch das Hitzejahr 2015, welches

durch eine außergewöhnlich hohe Anzahl von Hitzetagen gekennzeichnet war.

Abbildung 3 zeigt die räumliche Verteilung der über 65-Jährigen für die Metropolregion Wien. Auch hier ist eine starke räumlich Heterogenität zu beobachten: So variiert der Anteil der über 65-Jährigen im Untersuchungsgebiet zwischen 11.6 % und 33.6 %. Erkennbar ist, dass der Anteil

Abbildung 3: Anteil der über 65-Jährigen in Wien und Niederösterreich; sowie Bevölkerungspyramiden für Wien gesamt, den 7. und 23. Wiener Gemeindebezirk in 2021

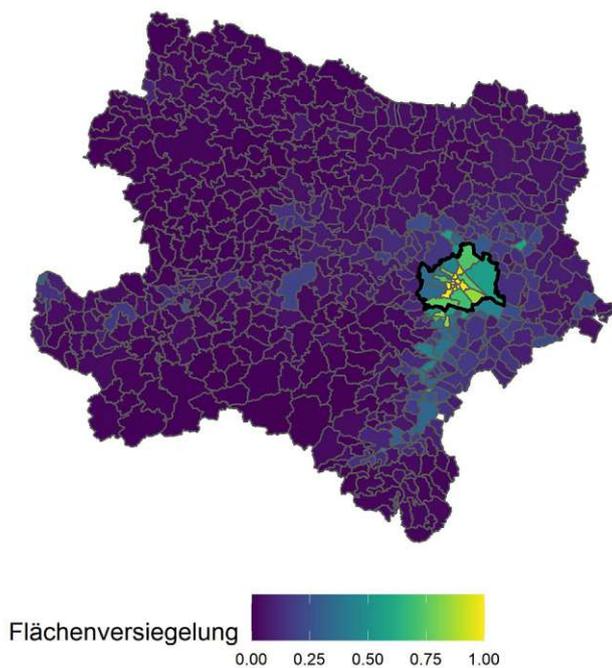


Quelle: Statistik Austria 2021

der Älteren in weniger urbanen Räumen ausgeprägter ist. Weiters zeigt Abbildung 3 die Bevölkerungspyramiden für Wien sowie exemplarisch für zwei Wiener Gemeindebezirke. Es ist unmittelbar ersichtlich, dass die Bevölkerungsstrukturen ein uneinheitliches Bild zeigen. Während die Pyramide für Wien bereits einige wichtige Bevölkerungsdynamiken der Stadt abbilden kann, ist diese definitiv nicht für alle Stadtteile aussagekräftig. Um die ausgeprägte räumliche Heterogenität zu verdeutlichen, sind der 7. und der 23. Wiener Gemeindebezirk abgebildet. Die Altersverteilung im 7. Bezirk ist in hohem Ausmaß von jungen Erwachsenen geprägt. Gleichzeitig weist dieser Bezirk nur einen sehr geringen Anteil an Kindern und Jugendlichen sowie an älteren Menschen auf. Im Gegensatz dazu sehen wir im 23. Bezirk einen überdurchschnittlichen Anteil an Menschen hohen Alters, der deutlich über dem Wiener Durchschnitt liegt. Weiters ist erkennbar, dass der 23. Bezirk signifikant mehr Kinder und Jugendliche, und keinen Sprung zwischen jungen Erwachsenen und Erwachsenen aufweist.

Die räumliche Heterogenität spielt auch bei der Flächenversiegelung eine Rolle. Abbildung 4 zeigt den Anteil der versiegelten Flächen für die Metropolregion Wien im Jahr 2020. Insgesamt zeigt sich für den Raum Wien der höchste Grad der Versiegelung. Nahezu das ganze Stadtgebiet ist von enormer Flächenversiegelung geprägt. Während der Westen an den Wienerwald und der Osten an die Lobau grenzt, sind die Gründerzeitviertel als urbane Bereiche noch stärker versiegelt. Nur wenige Bezirke innerhalb des städtischen Raumes weisen einen

Abbildung 4: Flächenversiegelung in Prozent in Wien und Niederösterreich im Jahr 2020



Quelle: Gao und Pesaresi 2020

Anteil von weniger als 80 % auf. Des Weiteren sind Flächenversiegelungshotspots am Stadtrand, sowie im Osten und Richtung Süden (z.B. Baden, Wiener Neustadt und Semmering) erkennbar. Auch entlang der größeren Orte an der Westautobahn A1 ist der Anteil der versiegelten Flächen höher, jedoch bei weitem nicht so ausgeprägt wie in Teilen des innerstädtischen Raumes in Wien.

4.2 Modellergebnisse

Zur Schätzung des Zusammenhangs zwischen den Hospitalisierungen und Temperaturveränderungen verwenden wir Poisson-Regressionen auf der PLZ-Ebene. Die dazugehörige Bevölkerungszahl wird dabei als Offset verwendet. Die abhängige Variable wird somit als der Anteil der Hospitalisierungen an der Gesamtbevölkerung eines PLZ-Gebietes gemessen. Die Standardfehler werden auf der PLZ-Ebene geclustert. Weiters bezieht sich das Sample nur auf die Monate Mai bis September, da nur in diesen Monaten mit Hospitalisierungen infolge von erhöhter Außentemperatur zu rechnen ist. Zusätzlich kontrollieren die Modelle für die durchschnittliche Niederschlagsmenge am jeweiligen Tag. Zur besseren Lesbarkeit wurden die geschätzten Koeffizienten für das Jahr, den Monat, den Wochentag sowie die Niederschlagsmenge für jedes Modell in Tabelle 1 und 2 weggelassen.

Die Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen die Assoziationen zwischen verschiedenen Temperaturindikatoren und hitzebedingten Krankenhausaufenthalten. Wie in Jones, Dunn, und Balk (2021) dargelegt, gibt es keinen wissenschaftlichen Konsens zur adäquaten Definition eines Hitzeextremes. Daher verwenden wir vier verschiedene Temperaturindikatoren für unsere Auswertungen: die Maximaltemperatur eines bestimmten Tages in dem jeweiligen PLZ-Gebiet, ob es sich bei diesem Tag um einen Hitzetag handelte, ob dieser Tag Teil einer Hitzeepisode war (bestehend aus mindestens drei aufeinanderfolgenden Hitzetagen) und die Anzahl der Hitzetage in den letzten sieben Tagen.

Die Ergebnisse zu den unterschiedlichen Temperaturindikatoren sind in Tabelle 1 dargestellt. Modell 1 zeigt, dass die Anzahl der Hospitalisierungen an Tagen mit einer Temperatur von mehr als 30 °C um 1,3 % höher war als an jenen Tagen, die unter diesem Schwellenwert lagen. Dieses Bild zeigt sich auch, wenn wir statt des Hitzetag-Dummies die Maximaltemperatur als erklärende Variable verwenden. Hier ist ein Temperaturanstieg von 1 °C mit einem 0,8%-igen Anstieg an täglichen Hospitalisierungen assoziiert. Im Gegensatz zu den vorhergehenden Temperaturindikatoren steht eine Hitzewelle (definiert als mindestens drei aufeinanderfolgende Tage mit einer Höchsttemperatur von 30 °C und einer Mindesttemperatur von 18 °C) in keinem signifikanten Zusammenhang zu den Hospitalisierungen (Modell 3). Das letzte Modell bezieht sich auf die Anzahl der Hitzetage innerhalb

Tabelle 1: Assoziationen von verschiedenen Temperaturindikatoren und der Anzahl an Hospitalisierungen

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
<i>Abhängige Variable: Hospitalisierungen (Anteil an der jeweiligen Bevölkerung im PLZ-Gebiet)</i>				
Hitzetag (Dummy)	0,0130*** (0,0016)			
Maximale Temperatur		0,0084*** (0,0007)		
Hitzewelle (Dummy)			0,0073 (0,0049)	
Hitzetage				0,0031*** (0,0004)
Fixed Effects				
PLZ	x	x	x	x
Jahr	x	x	x	x
Monat	x	x	x	x
Wochentag	x	x	x	x
Pseudo R2	0,79916	0,79917	0,79916	0,79907
Log-Likelihood	-1.402.084,1	-1.402.031,2	-1.402.109,4	1.402.078,1
BIC	2.813.257,3	2.813.137,7	2.813.308,0	2.813.231,5

Signifikanzlevel: ***: 0,01, **: 0,05, *: 0,1

Quelle: Eigene Auswertungen.

Anmerkungen: Alle Modelle sind Poisson Modelle, die die Bevölkerungszahl pro PLZ-Gebiet als Offset und Jahr, Monat und Postleitzahl als Fixed Effects verwenden. Die geschätzten Koeffizienten für die tägliche Niederschlagsmenge als Kontrollvariable werden nicht gezeigt. Die Standardfehler sind auf der PLZ-Ebene geclustert. Das Sample bezieht sich auf die Monate Mai bis September.

Tabelle 2: Assoziationen von verschiedenen Hitze-Schwellenwerten und der Anzahl an Hospitalisierungen

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
<i>Abhängige Variable: Hospitalisierungen (Anteil an der jeweiligen Bevölkerung im PLZ-Gebiet)</i>				
Hitzetag (>30 °C)	0,0130*** (0,0016)			
Hitzetag (>32 °C)		0,0157*** (0,0023)		
Hitzetag (>34 °C)			0,0202*** (0,0040)	
Hitzetag (>36 °C)				0,0134 (0,0085)
Fixed Effects				
PLZ	x	x	x	x
Jahr	x	x	x	x
Monat	x	x	x	x
Wochentag	x	x	x	x
Pseudo R2	0,79916	0,79916	0,79916	0,79916
Log-Likelihood	-1.402.084,1	-1.402.089,0	-1.402.097,6	-1.402.110,8
BIC	2.813.257,3	2.813.267,2	2.813.284,4	2.813.310,7

Signifikanzlevel: ***: 0,01, **: 0,05, *: 0,1

Quelle: Eigene Auswertungen.

Anmerkungen: Alle Modelle sind Poisson Modelle, die die Bevölkerungszahl pro PLZ-Gebiet als Offset und Jahr, Monat und Postleitzahl als Fixed Effects verwenden. Die geschätzten Koeffizienten für die tägliche Niederschlagsmenge als Kontrollvariable werden nicht gezeigt. Die Standardfehler sind auf der PLZ-Ebene geclustert. Das Sample bezieht sich auf die Monate Mai bis September.

der letzten sieben Tage (einschließlich des aktuellen Tages). Diese erklärende Variable zeigt wiederum eine signifikant positive Assoziation, allerdings mit einem etwas kleineren Koeffizienten als jener von anderen Temperaturindikatoren.

Tabelle 2 zeigt wie sich der Hitzeeffekt auf Hospitalisierungsraten bei unterschiedlichen Hitze-Schwellenwerten (30-36 °C) verändert. Je höher der Schwellenwert, ab dem wir einen Tag als Hitzetag bezeichnen, desto stärker die Assoziation. Beispielsweise zeigt sich bei einem Hitze-Schwellenwert von 34 °C eine Zunahme von Hospitalisierungen um 2,0 %. Bei Temperaturen über 36 °C beginnt der Effekt wieder zu schrumpfen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass es in der Metropolregion Wien noch nicht viele solcher extremen Hitzetage in der Observationsperiode gab.

Diese Schätzungen bilden innerhalb des CHAP Projekts die Grundlage für weitere Modellierungen, welche auch demographische und bauliche Aspekte auf der PLZ- bzw. Gemeindeebene berücksichtigen werden. Es wird erwartet, dass diese moderierenden Faktoren eine genauere Bestimmung des Ausmaßes der Auswirkungen von Temperaturextremen auf Hospitalisierungen zulassen werden.

5 Diskussion

Die Metropolregion Wien stellt in Bezug auf die Hitzevulnerabilität seiner Bevölkerung keinen homogenen Raum dar. So zeigen sich für Hitzeextreme, die Altersstruktur und die Bebauung deutliche räumliche Unterschiede. Die Bestimmung von Vulnerabilitätshotspots ist für die Abschätzung der zukünftigen, hitzebedingten Belastung des Gesundheitswesens von Bedeutung.

Wie aus der Literatur hervorgeht, sind die ältesten Bevölkerungsgruppen am stärksten von Hitze gefährdet. Am Beispiel Wien zeigt sich, dass der Anteil an zur Risikogruppe zählenden Personen stark nach Gemeindebezirk variieren kann: So ist der Anteil der älteren Personen beispielsweise im 23. Bezirk viel stärker ausgeprägt als im 7. Bezirk. Weiters lässt sich auch für die Zukunft eine ungleich verteilte Alterung innerhalb Wiens feststellen, die maßgeblich Vulnerabilitätshotspots bestimmen wird (MA23, 2018). Vulnerabilitätsunterschiede ergeben sich aber auch durch unterschiedliche Grade der Urbanisierung und die damit verbundene Flächenversiegelung (siehe dazu auch Stiles et al., 2014).

Unsere ersten Modelle zeigen bereits positive Assoziationen zwischen Temperaturindikatoren und Krankenhausaufenthalten. So sind sämtliche Definitionen von Temperaturextremen, sei es in der Art des Hitzeextremes oder des Hitze-Schwellenwertes,

mit mehr hitzerelevanten Hospitalisierungen in der Metropolregion Wien assoziiert. Die Effektgröße variiert je nach Temperaturindikator zwischen 0,3 % und 2,0 %, woraus sich bereits Rückschlüsse auf das Ausmaß der Vulnerabilität gegenüber unterschiedlichen Formen von Hitzebelastung ziehen lassen. Für detailliertere Schlussfolgerungen, beispielsweise in Bezug auf die Verteilung der Hospitalisierungen nach Alter und Geschlecht, sowie den Einfluss von kontextuellen Faktoren sind allerdings noch komplexere Modellierungsschritte ausständig.

Mit Hinblick auf die Planung im Gesundheitssektor sprechen unsere bisherigen Ergebnisse dafür, dass mit einem weiteren Anstieg der klimabedingten Hospitalisierungen zu rechnen ist. Dabei sollten die sich verändernden demographischen Muster berücksichtigt und künftige Klimarisiken antizipiert werden. Dementsprechend gilt es, rechtzeitig Vorkehrungen zu treffen, um eine Überlastung im Gesundheitssektor zu bestimmten Jahreszeiten zu verhindern. Eine unzureichende Berücksichtigung der Heterogenität der Bevölkerung kann zu fehlgeleiteten Maßnahmen führen, die die Bedürfnisse gefährdeter Gruppen nicht (ausreichend) berücksichtigt (Muttarak et al., 2015).

Während das Gesundheitswesen sicherstellen muss, dass auch im Falle von langanhaltenden Hitzewellen eine ausreichende Versorgung der Bevölkerung möglich ist, gilt es, in der Raumplanung die Frage nach der Verteilung der vorhandenen Flächen so zu beantworten, dass neben ausreichendem Wohnraum auch Grünflächen und viele andere Maßnahmen der Klimawandelanpassung im öffentlichen Raum realisiert werden, die eine Abmilderung im Falle von Hitzewellen schaffen können. Hierbei müssen auch soziale Aspekte berücksichtigt werden: Während es für einkommensstarke Haushalte möglich ist, die eigene Wohnsituation an sich wandelnde Umweltbedingungen anzupassen, und der Hitze in der Stadt auszuweichen, weisen einkommensschwache und vulnerable Bevölkerungsgruppen oft nur geringe Anpassungskapazitäten auf.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie zeigt, dass es in Wien in Gebieten mit Bäumen im Sommer durchschnittlich um bis zu 11 °C kühler ist als in bebauten Gebieten (Schwaab et al., 2021). Auf bloßen Grünflächen ohne Bäume ist die Temperatur jedoch nur um 5,5 °C kühler. Die Aufrechterhaltung bzw. Schaffung von nahegelegenen Grünflächen (unter anderem auf Dächern und Fassaden) im gesamten Stadtgebiet, wie sie auch schon im Strategieplan der Stadt Wien zum Umgang mit Wärmeinseln beschrieben wurden (Brandenburg et al., 2015; MA 20, 2019), stellt daher eine wesentliche Handlungsoptionen für die Raumplanung dar.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Artikel stellt erste Ergebnisse aus dem Projekt Climate, Health and Population vor, das sich mit den Auswirkungen von extremen Temperaturschwankungen auf Hospitalisierungsraten in der Metropolregion Wien beschäftigt. Diese Ergebnisse zeigen, dass für den Untersuchungszeitraum 2009 bis 2018 positive Assoziationen zwischen Temperaturindikatoren und Krankenhausaufenthalten in der Metropolregion Wien besteht. Zwar variieren diese je nach gewähltem Temperaturindikator in ihrer Größe und Signifikanz, insgesamt zeigt sich jedoch ein deutlicher positiver Zusammenhang. Je höher der Schwellenwert, ab dem wir einen Tag als Hitzetag bezeichnen, desto stärker ist diese Assoziation ausgeprägt. Erste deskriptive Resultate deuten darauf hin, dass eine Einbeziehung von demographischen Charakteristika, sowie jenen der Bebauung weiteren Aufschluss über eine potentielle, hitzeinduzierte Belastung des Gesundheitssektors in der Metropolregion Wien liefern könnte. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden die Grundlage für die Prognose der zukünftigen, hitzebedingten Belastung des Gesundheitswesens unter verschiedenen Klima- und Bevölkerungsszenarien bilden.

Unsere Resultate belegen, dass sowohl Klima- als auch Bevölkerungstrends Herausforderungen für den Gesundheitssektor und die Raumplanung darstellen. Vor allem urbane Gebiete, wie die Metropolregion Wien, befördern durch fortschreitende Verstädterung und Flächenversiegelung Wärmeinseleffekte, was den Druck auf dort lebende vulnerable Bevölkerungsgruppen weiter erhöht. Um dem entgegenzuwirken, gilt es, den Effekt von Hitze auf Hospitalisierungen auf möglichst kleinräumiger Ebene zu analysieren, um Variationen in Bezug auf individuelle, wie auch Bevölkerungsmerkmale besser verstehen zu lernen.

Dieses Forschungsvorhaben ist nicht nur von hoher Relevanz für die Wissenschaft, sondern auch für politische Entscheidungsträger:innen im Gesundheitswesen und der Raumplanung. Während es bereits zahlreiche Studien zu den Auswirkungen von extremen Wetterereignissen, insbesondere extremer Temperaturen, auf die Mortalität gibt (siehe Metastudie von Campbell et al., 2018), fehlen solche Studien zur Morbidität weitgehend. Dies ist umso bemerkenswerter, als es infolge des Klimawandels insbesondere in Städten zu einer erhöhten Hitzebelastung kommen kann. Die Erkenntnisse aus Studien wie der hier vorliegenden können frühzeitig Handlungsempfehlungen liefern, die zur Festlegung von Maßnahmen zur Vermeidung vermeidbarer Todesfälle und einer Überlastung des Gesundheitssektors beitragen können.

Quellenverzeichnis

- 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.
- APCC. (2018). Österreichischer special report : Gesundheit, Demographie und Klimawandel. In ISBN. Austrian Academy of Science.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., *Epidemiology*, T. K., & 2008, undefined. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *JSTOR*. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318176b6fd>
- Basagaña, X., Sartini, C., Barrera-Gómez, J., Davdand, P., Cunillera, J., Ostro, B., Sunyer, J., & Medina-Ramón, M. (2011). Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiology*, 765–772.
- Bittner, M.-I., & Stöbel, U. (2012). Perceptions of heatwave risks to health: Results of an qualitative interview study with older people and their carers in Freiburg, Germany. *GMS Psycho-Social-Medicine*, 9.
- Brandenburg, C., Damyanovic, D., Reinwald, F., Alex, B., Gantner, B., Czachs, C., Morawetz, U., Kömle, D., & Kniepert, M. (2015). Urban Heat Islands—Strategieplan Wien.
- Campbell, S., Remenyi, T. A., White, C. J., & Johnston, F. H. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health & place*, 53, 210–218.
- Chimani, B., Heinrich, G., Hofstätter, M., Kerschbaumer, M., Kienberger, S., Leuprecht, A., & Lexer, A. (2016). Endbericht ÖKS15–Klimaszenarien für Österreich—Daten—Methoden—Klimaanalyse. Projektbericht. CCCA Data Centre. <https://data.ccca.ac.at/dataset/a4ec86ca-eeae-4457-b0c7-78eed6b71c05>.
- Clayton, S., Manning, C., Krygman, K., & Speiser, M. (2017). Mental health and our changing climate: Impacts, implications, and guidance. Washington, DC: American Psychological Association and ecoAmerica.
- Conti, S., Masocco, M., Meli, P., Minelli, G., Palummeri, E., Solimini, R., Toccaceli, V., & Vichi, M. (2007). General and specific mortality among the elderly during the 2003 heat wave in Genoa (Italy). *Environmental research*, 103(2), 267–274.
- Crandall, C. G., & Gonzalez-Alonso, J. (2010). Cardiovascular function in the heat-stressed human. *Acta physiologica*, 199(4), 407–423.
- Cusack, L., de Crespigny, C., & Athanasos, P. (2011). Heatwaves and their impact on people with alcohol, drug and mental health conditions: a discussion paper on clinical practice considerations. *Journal of advanced nursing*, 67(4), 915–922.

- Founda, D., & Santamouris, M. (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012). *Scientific reports*, 7(1), 1–11.
- Gao, J., & Pesaresi, M. (2020). Global 1-km Downscaled Urban Land Extent Projection and Base Year Grids by SSP Scenarios, 2000–2100 (Preliminary Release).
- González-Alonso, J., Crandall, C. G., & Johnson, J. M. (2008). The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *The Journal of physiology*, 586(1), 45–53.
- Gronlund, C. J., Zanobetti, A., Schwartz, J. D., Wellenius, G. A., & O'Neill, M. S. (2014). Heat, heat waves, and hospital admissions among the elderly in the United States, 1992–2006. *Environmental health perspectives*, 122(11), 1187–1192.
- Haas, W., Weisz, U., Maier Scholz, F., Themessl, M., Wolf, A., Kriebel, M., & Pech, M. (2014). Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit des Menschen. CCCA.
- Hajat, S., & Kosatky, T. (2010). Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 64(9), 753–760.
- Hansen, A. L., Bi, P., Ryan, P., Nitschke, M., Pisaniello, D., & Tucker, G. (2008). The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. *International journal of epidemiology*, 37(6), 1359–1365.
- Hess, J. J., Saha, S., & Luber, G. (2014). Summertime acute heat illness in US emergency departments from 2006 through 2010: analysis of a nationally representative sample. *Environmental health perspectives*, 122(11), 1209–1215.
- Hoffmann, R., & Muttarak, R. (2017). Learn from the past, prepare for the future: Impacts of education and experience on disaster preparedness in the Philippines and Thailand. *World Development*, 96, 32–51.
- Hutter, H.-P., Moshhammer, H., Wallner, P., Leitner, B., & Kundi, M. (2007). Heatwaves in Vienna: effects on mortality. *Wiener klinische Wochenschrift*, 119(7), 223–227.
- IPCC. (2014). Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1454.
- Johnson, D., See, L., Oswald, S. M., Prokop, G., & Krisztin, T. (2020). A cost–benefit analysis of implementing urban heat island adaptation measures in small-and medium-sized cities in Austria. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2399808320974689.
- Jones, B., Dunn, G., & Balk, D. (2021). Extreme Heat Related Mortality: Spatial Patterns and Determinants in the United States, 1979–2011. *Spatial Demography*, 9(1), 107–129.
- Kakkad, K., Barzaga, M. L., Wallenstein, S., Azhar, G. S., & Sheffield, P. E. (2014). Neonates in Ahmedabad, India, during the 2010 heat wave: A climate change adaptation study. *Journal of environmental and public health*, 2014.
- Kenny, G. P., Poirier, M. P., Metsios, G. S., Boulay, P., Dervis, S., Friesen, B. J., Malcolm, J., Sigal, R. J., Seely, A. J. E., & Flouris, A. D. (2017). Hyperthermia and cardiovascular strain during an extreme heat exposure in young versus older adults. *Temperature*, 4(1), 79–88.
- Kenny, G. P., Yardley, J., Brown, C., Sigal, R. J., & Jay, O. (2010). Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *Cmaj*, 182(10), 1053–1060.
- Lemonsu, A., Viguie, V., Daniel, M., & Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, 14, 586–605.
- MA 20. (2019). The urban heat vulnerability map of Vienna, Austria.
- MA23. (2018). Wien in Zahlen: Bevölkerungsprognose 2018. *Statistik Journal Wien*, 1(2018).
- Michelozzi, P., Accetta, G., De Sario, M., D'Ippoliti, D., Marino, C., Baccini, M., Biggeri, A., Anderson, H. R., Katsouyanni, K., & Ballester, F. (2009). High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 179(5), 383–389.
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of environmental management*, 197, 522–538.
- Moran, D. S., & Mendal, L. (2002). Core temperature measurement. *Sports Medicine*, 32(14), 879–885.
- Muthers, S., Matzarakis, A., & Koch, E. (2010). Climate change and mortality in Vienna—a human biometeorological analysis based on regional climate modeling. *International journal of environmental research and public health*, 7(7), 2965–2977.
- Muttarak, R., Lutz, W., & Jiang, L. (2015). What can demographers contribute to the study of vulnerability? *Vienna Yearbook of Population Research*, 13, 1–13.
- Paton, D., & Johnston, D. (2001). Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.
- Pichler, A., & Striessnig, E. (2013). Differential vulnerability to hurricanes in Cuba, Haiti, and the Dominican Republic: the contribution of education. *Ecology and Society*, 18(3).
- Rocklöv, J., & Forsberg, B. (2009). Comparing approaches for studying the effects of climate extremes—a case study of hospital admissions in Sweden during an extremely warm summer. *Global Health Action*, 2(1), 2034.

- Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature communications*, 12(1), 1–11.
- Semenza, J. C., McCullough, J. E., Flanders, W. D., McGeehin, M. A., & Lumpkin, J. R. (1999). Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. *American journal of preventive medicine*, 16(4), 269–277.
- Sheridan, S. C. (2007). A survey of public perception and response to heat warnings across four North American cities: an evaluation of municipal effectiveness. *International journal of biometeorology*, 52(1), 3–15.
- Smargiassi, A., Goldberg, M. S., Plante, C., Fournier, M., Baudouin, Y., & Kosatsky, T. (2009). Variation of daily warm season mortality as a function of micro-urban heat islands. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(8), 659–664.
- Stadt Wien. (2021). *Statistisches Jahrbuch der Stadt Wien 2021: Leben in Wien- Stadtgebiet, Wetter und Umwelt*.
- Stafoggia, M., Forastiere, F., Agostini, D., Biggeri, A., Bisanti, L., Cadum, E., Caranci, N., de’Donato, F., De Lisio, S., & De Maria, M. (2006). Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis. *Epidemiology*, 315–323.
- Statistik Austria. (2019). *Wie geht’s Österreich? 2019*.
- Stiles, R., Gasienica-Wawrytko, B., Hagen, K., Trimmel, H., Loibl, W., Köstl, M., Tötzer, T., Pauleit, S., Schirmann, A., & Feilmayr, W. (2014). *Urban Fabric Types and Microclimate Response-Assessment and Design Improvement. Final report*. Vienna: Vienna Technical University.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P. D. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (Patent Nr. (ST/ESA/SER.A/420))*.
- Wanka, A., Arnberger, A., Allex, B., Eder, R., Hutter, H.-P., & Wallner, P. (2014). The challenges posed by climate change to successful ageing. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 47(6), 468–474.
- Watts, N., Adger, W. N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., Chaytor, S., Colbourn, T., Collins, M., & Cooper, A. (2015). Health and climate change: policy responses to protect public health. *The lancet*, 386(10006), 1861–1914.
- Watts, N., Amann, M., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., Bouley, T., Boykoff, M., Byass, P., Cai, W., Campbell-Lendrum, D., & Chambers, J. (2018). The Lancet Countdown on health and climate change: from 25 years of inaction to a global transformation for public health. *The Lancet*, 391(10120), 581–630.
- Xu, Z., Crooks, J. L., Black, D., Hu, W., & Tong, S. (2017). Heatwave and infants’ hospital admissions under different heatwave definitions. *Environmental pollution*, 229, 525–530.
- Xu, Z., Eitzel, R. A., Su, H., Huang, C., Guo, Y., & Tong, S. (2012). Impact of ambient temperature on children’s health: a systematic review. *Environmental research*, 117, 120–131.
- Zagheni, E., Muttarak, R., & Striessnig, E. (2015). Differential mortality patterns from hydro-meteorological disasters: Evidence from cause-of-death data by age and sex. *Vienna Yearbook of Population Research*, 47–70.