

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences
Department Gesundheitswissenschaften

Bachelorarbeit

Effektivität von Hitzewarnsystemen zur Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität

vorgelegt von: Charlotte Bernadette Degenstein

Matrikelnummer: XXXXXXXXXX

Datum: 07.02.2024

Erstprüfer: Prof. Dr. (mult.) Dr. h.c. (mult.) Walter Leal

Zweitprüfer: Dipl.-Gesundheitswirt Gunnar Paetzelt

Abstract

Hintergrund: Extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen nehmen als Folge des Klimawandels zu. Dies stellt eine ernste Bedrohung für die menschliche Gesundheit dar. Hitzewellen sind mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität verbunden. Hier ist dringender Handlungsbedarf gegeben. Hitzewarnsysteme sind eine kurzfristige Schutzmaßnahme, die bereits in vielen Ländern eingesetzt wird. Die Effektivität dieser Systeme ist Forschungsgegenstand dieser Bachelorarbeit.

Methodik: Mittels einer systematischen Literaturrecherche in der Fachdatenbank PubMed und der Metasuchmaschine LIVIVO wurde nach Publikationen aus den letzten 10 Jahren gesucht, die sich mit der Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen zur Reduktion hitzebedingter Morbidität und Mortalität befassen.

Ergebnisse: Es wurden acht Studien identifiziert, in denen die Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen Gegenstand der Untersuchung war. Sechs dieser Studien beziehen sich auf die durch Hitze verursachte Morbidität und Mortalität.

Die Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen wurde mit verschiedenen Ansätzen bewertet, darunter Vergleiche von Morbidität und Mortalität vor und nach der Einführung der Systeme sowie Analysen von Todesfällen und Krankenhauseinweisungen an Tagen mit und ohne Hitzewarnungen. Eine Studie zeigt eine signifikante Verringerung der hitzeassoziierten Morbidität. Eine andere Studie weist einen Rückgang in der Mortalität auf, während eine weitere eine signifikante Reduktion der Mortalität für bestimmte Personengruppen gefunden hat. In den weiteren drei Studien konnte keine signifikante Reduktion der Mortalität und Morbidität durch die Einführung von Hitzewarnsystemen festgestellt werden.

Diskussion/ Fazit: Die Nutzung von zwei Datenbanken erscheint angemessen, um genaue Ergebnisse zu erzielen. Es könnte jedoch argumentiert werden, dass eine umfassendere Suche noch bessere Ergebnisse liefern würde. Die Objektivität dieser Arbeit könnte dadurch beeinträchtigt worden sein, dass die Qualität der einbezogenen Studien nicht ausreichend untersucht und bewertet wurde und die Arbeit ohne Zusammenarbeit im Team erfolgte. Die ausführliche Dokumentation der Literaturanalyse fördert Transparenz und Reproduzierbarkeit. Im Rahmen dieser Thesis wurde es als sinnvoll erachtet, eine einzelne Hitzeschutzmaßnahme zu untersuchen. In der Praxis ist es sinnvoller, die Wirksamkeit von Hitzeaktionsplänen insgesamt zu erforschen.

Schlüsselwörter: Hitzewarnsysteme, Klimawandel, Public Health, Gesundheitsrisiken, Hitzeaktionspläne

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Klimawandel und Gesundheit	4
2.1 Hitze und Hitzewellen	5
2.2 Hitze als Risikofaktor	7
2.3 Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze	8
2.3.1 Direkte Auswirkungen von Hitze	8
2.3.2 Indirekte Auswirkungen von Hitze	9
2.4 Hitzevulnerable Personengruppen	10
2.5 Hitzeschutzmaßnahmen und Prävention	12
2.6 Hitzewarnsysteme	13
3 Methode	18
3.1 Systematische Literaturrecherche	18
3.2 Durchführung der systematischen Literaturrecherche	20
3.3 Dokumentation der systematischen Literaturrecherche	22
4 Ergebnisse	25
4.1 Methoden zur Überprüfung der Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen im Hinblick auf die Verringerung der Morbidität und Mortalität	25
4.2 Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme bei der Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität	30
4.3 Optimierung von Hitzewarnsystemen	38
5 Diskussion	45
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	45
5.2 Diskussion der Methodik	46

5.3	Diskussion der Ergebnisse	47
6	Handlungsempfehlungen.....	50
7	Fazit.....	52
	Literaturverzeichnis.....	53
	Anhang	62
	Eidesstattliche Erklärung	76

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1, Direkte und indirekte Auswirkungen von Hitze auf die Gesundheit</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 2: Die Vier Komponenten von Wetter-Frühwarnsystemen</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 3: Entscheidungsprozess Methode.....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 4: Flussdiagramm auf Grundlage des evidenzbasierten Mindestsatzes an Elementen für die Berichterstattung in systematischen Übersichten PRIAMA.....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 5: Häufigkeit der Anwendung einzelner Methoden</i>	<i>25</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Vulnerable Personengruppen.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 2: Übersicht unterschiedlicher Hitzewarnsysteme weltweit.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 3: Stichwörter und Synonyme für die systematische Literaturrecherche</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 4: Datenbankspezifische Suchstrings</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 5: Ein- und Ausschlusskriterien</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 6: Übersicht der verwendeten Methoden zur Überprüfung der Effektivität</i>	<i>26</i>
<i>Tabelle 7: Übersicht zu den Ergebnissen bezüglich der Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme bei der Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabelle 8: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse von Heo et al.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 9: Verbesserungsvorschläge aus den analysierten Studien.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabelle 10: Gestuftes Vorgehen, Hitzeaktionsplan Italien.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 11: Übersicht über Handlungsempfehlungen für Hitzewarnsysteme und Schutzmaßnahmen.....</i>	<i>51</i>

Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DWD	Deutscher Wetterdienst
GHHIN	Global Heat Health Information Network
HHWS	Heat–Health Warning System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRR	Incidence Rate Ratio
KLUG	Deutsche Allianz Klima und Gesundheit
NLM	National Library of Medicine
NWS	National Weather Service (US)
RKI	Robert Koch Institut
Swiss TPH	Schweizer Tropen- und Public Halte-Institut
UBA	Umweltbundesamt
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
WHO	World Health Organization / Weltgesundheitsorganisation
WMO	World Meteorological Organisation

1 Einleitung

Das IPCC hat durch die Auswertung zahlreicher globaler Studien eindeutig festgestellt, dass menschliche Aktivitäten Emissionen erzeugen, die zu einer anhaltenden Erwärmung der Atmosphäre, der Ozeane und der Landflächen führen und somit den Klimawandel verursachen. Diese Veränderungen zeigen bereits weltweite Auswirkungen in Form von Wetterextremen wie Starkniederschlägen, tropischen Wirbelstürmen, Dürren und Hitzewellen (IPCC, 2021). Der Klimawandel wird von der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 2021) als die größte Bedrohung für die Gesundheit der Menschheit eingestuft und von der international Association of Public Health Institutes als eine der wichtigsten globalen Herausforderungen für die öffentliche Gesundheit (RKI, o. J.a). Hitze hat die höchste Letalität unter allen klimabedingten Risikofaktoren für die menschliche Gesundheit. Insbesondere in den mittleren Breiten wird die Zunahme der hitzebedingten Morbidität und Mortalität als die gravierendste negative Auswirkung des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit angesehen (Eis et al. 2010, S. 95). Im Vergleich zu Überschwemmungen, Stürmen und Erdbeben führen Hitzewellen in der Regel zu deutlich mehr Todesfällen (UBA, 2021). Laut WHO wurden zwischen 1998 und 2017 weltweit 405 Hitzewellen registriert, die insgesamt 97 Millionen Menschen betrafen und 166.000 Todesopfer forderten (Wallemacq et al., 2018, S. 7f). In weiten Teilen Europas kam es beispielsweise 2003 zu einer solchen Hitzewelle. Sie forderte 70.000 Todesopfer (WHO, 2018). Die globale Erwärmung setzt sich fort. 2022 lag die mittlere globale Oberflächentemperatur um 0,89 °C höher als in der Vergleichsperiode 1951-1980 (NASA, 2023a). Es wird erwartet, dass die globale Mitteltemperatur bis zum Jahr 2100 um 1,6 bis 4,7 Grad Celsius gegenüber der Periode 1850-1900 ansteigen wird, abhängig von den zukünftigen Treibhausgasemissionen (IPCC, 2014a, S.10). Bei einer Erwärmung um 3 °C werden Extremwetterereignisse wie Hitzeperioden zur Normalität (UFZ, 2018). Prognosen gehen davon aus, dass sich die Zahl der wetterbedingten Todesfälle in der Europäischen Union bis zum Ende des Jahrhunderts um den Faktor 50 pro Jahr erhöhen könnte. Als Hauptursache wird die Zunahme von Hitzewellen angegeben (Forzieri et al., 2017, S.200). Die negativen Auswirkungen von Hitzewellen in der Vergangenheit in Verbindung mit den Prognosen für die Zukunft zeigen, dass Handlungsbedarf besteht. Der beste Schutz besteht in der Eindämmung des Klimawandels. Zukunftsmodelle zeigen, dass durch die Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 °C, wie es das Pariser Abkommen (Artikel 2.1.a) vorsieht, die Zahl der hitzebedingten Todesfälle in den Sommermonaten in

London und Paris um 15-22 % reduziert werden kann. Im Vergleich zu einer Erwärmung um 2 °C (Mitchell et al. 2018).

Vor dem Hintergrund des bereits stattfindenden Klimawandels ist es notwendig, neben den langfristigen Maßnahmen auch kurzfristige Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Eine mögliche Schutzmaßnahme sind Frühwarnsysteme. Im abschließenden Synthesebericht des sechsten Bewertungszyklus des IPCC werden Frühwarnsysteme als wirksame Maßnahme zur Anpassung an extreme Hitze benannt (IPCC, 2023). Der Generalsekretär der Vereinten Nationen, António Guterres, sagte am World Meteorological Day 2022, dass Frühwarnsysteme Leben retten, und kündigte an, dass die Vereinten Nationen in Zusammenarbeit mit der Weltorganisation für Meteorologie Maßnahmen ergreifen werden, um sicherzustellen, dass bis 2027 jeder Mensch auf der Welt durch Frühwarnsysteme geschützt wird (WMO, o.J.–a).

Die Praktikabilität und Umsetzbarkeit von Frühwarnsystemen war ein Schwerpunkt der 27. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (COP27) und soll auf zukünftigen Konferenzen vertieft werden, um die Umsetzung voranzutreiben (ebd.).

Vor diesem Hintergrund wurden für die vorliegende Bachelorarbeit folgende Forschungsfragen entwickelt:

1. Wie wird die Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme überprüft und gemessen?
2. Wie effektiv sind die etablierten Hitzewarnsysteme bei der Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität?
3. Wie kann die Effektivität vorhandener und neu eingeführter Hitzewarnsystemen gesteigert werden?

Ziel dieser Arbeit ist es, mit Hilfe einer sensitiven Literaturrecherche ein integratives Review zu erstellen, das einen Überblick über die generierten wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Effektivität von Hitzewarnsystemen verschafft und allgemeine Handlungsempfehlungen für die erfolgreiche Etablierung neuer, sowie die Optimierung vorhandener Hitzewarnsysteme aufzeigt.

Dazu wird im folgenden Kapitel zunächst der theoretische Hintergrund beleuchtet und die zugrunde liegenden, gesicherten Erkenntnisse dargestellt. Zur besseren Verständlichkeit wird der Zusammenhang zwischen Klimawandel und Gesundheit aufgezeigt, der Risikofaktor Hitze erläutert und Hitzewarnsysteme als Lösungsansatz vorgestellt. Im 3. Kapitel wird das methodische Vorgehen bei der Durchführung der systematischen Literaturanalyse dargestellt. Gegenstand des 4. Kapitels ist die Darstellung der detaillierten Ergebnisse zu den jeweiligen Forschungsfragen. Im 5. Kapitel werden sowohl das methodische Vorgehen als auch die erzielten

Ergebnisse einer kritischen Diskussion unterzogen. Zudem werden Grenzen und Stärken der Arbeit aufgezeigt, sowie Ansatzpunkte für zukünftige Forschungsvorhaben. Daraufhin werden im 6. Kapitel Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet. Abschließend wird aus den gewonnenen Erkenntnissen ein Fazit für diese Forschungsarbeit gezogen.

2 Klimawandel und Gesundheit

Unter Klimawandel versteht man eine Veränderung des Klimas, welche direkt oder indirekt auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Bei dieser Veränderung des Klimas ändert sich die globale Zusammensetzung der Atmosphäre zusätzlich zu den natürlichen Klimaschwankungen (IPCC, 2014b, S. 8).

Klimawandel und globale Erwärmung sind zwei Phänomene, die miteinander verbunden sind (Heppt & Bachert, 2011, S 5). Die Hauptursache für die globale Erwärmung und den dadurch bedingten Klimawandel ist der Anstieg der Treibhausgasemissionen, welcher insbesondere auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Brennstoffe, die Abholzung von Wäldern, die zunehmende Viehzucht, der Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln und der Ausstoß fluorierter Gase tragen zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen bei (Europäische Kommission, o.J.). Diese Aktivitäten stören den Zyklus des natürlichen Treibhauseffekts und haben schwerwiegende Folgen.

Um die gravierenden Konsequenzen des Klimawandels und der Erderwärmung zu verstehen, kann das Ausmaß des Klimawandels anhand verschiedener Indikatoren gemessen werden. Wie zum Beispiel die Veränderungen der globalen Erdtemperatur, des Meeresspiegels und der Menge von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Einer der wichtigsten Faktoren, der seit Jahren zum Klimawandel beiträgt, sind die durch den Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen. Seit 1850 ist die Kohlendioxidkonzentration (CO₂) in der Atmosphäre um ungefähr 50 % angestiegen. Derzeit liegt der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre bei 419 ppm (NASA, 2023a).

Infolge der hohen CO₂-Menge in der Atmosphäre steigen die Temperaturen auf der Erde und an der Meeresoberfläche. In den letzten 100 Jahren wurde ein Anstieg der globalen Erdtemperatur beobachtet. Von 1901 bis 2012 ist die durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche um 0,8 Grad gestiegen. Seit 2014 wurden die sieben wärmsten Jahre bisher aufgezeichnet. Das heißt, dass in diesen Jahren die höchste durchschnittliche Oberflächentemperatur gemessen wurde. Der aktuelle Höchstwert wurde im Jahr 2020 gemessen, in diesem Jahr lag die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur 1,02° C. über dem Wert des Vergleichszeitraums 1951 bis 1980 (NASA, 2023b). Weitere Folgen des Klimawandels sind die Zunahme extremer Wetterereignisse wie Hitzewellen, Waldbrände, Dürre und Trockenheit (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 2021, S. 13).

Der Mensch ist von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Veränderungen, wie das erhöhte Vorkommen von Hitzewellen, stellen eine Gefährdung für die Gesundheit dar. Wie

sich Hitzewellen auf die Morbidität und Mortalität der Betroffenen auswirken, wird in dem folgenden Kapitel beschrieben.

2.1 Hitze und Hitzewellen

Hitze kann nicht mit hohen Temperaturen gleichgesetzt werden. Es handelt sich um ein komplexes physikalisches System, welches aus den synergistischen Effekten von Lufttemperatur, Feuchtigkeit und Belüftung, Strahlungsbelastung und Stoffwechselaktivität resultiert und beim Menschen zu einer gesundheitlichen Belastung, dem sogenannten Hitzestress führt. Hitzestress ist die Hauptursache für wetterbedingte Todesfälle und kann Grunderkrankungen wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes, psychische Belastungen und Asthma verschlimmern und das Risiko von Unfällen und Infektionskrankheiten erhöhen (Global Heat Health Information Network, o.J.) Um Hitzestress zu bewerten, wurden eine Reihe empirischer, direkter und rationaler Hitzestressindizes entwickelt (McGregor & Vanos, 2018). Ein solcher komplexer human-biometeorologischer Parameter ist die gefühlte Temperatur des Deutschen Wetterdienstes, mit fest definierte Belastungsklassen. Eine gefühlte Temperatur von 32 °C gilt als starker Wärmebelastung, bei 38 °C beginnt die extreme Wärmebelastung (Deutscher Wetterdienst, o.J.–a). Der WBGT-Index steht für Wet Bulb Globe Temperature oder übersetzt Feuchtkugel-Globaltemperatur-Index, ist ein weiterer Parameter zur Berechnung von Hitzestress (Davis et al., 2016).

Tritt Hitze über einen längeren Zeitraum auf, wird dafür oftmals die Bezeichnung Hitzewelle verwendet. Für den Begriff Hitzewelle existiert keine einheitliche, internationale Definition. Häufig wird eine Kombination aus perzentilbasierten Schwellenwerten und einer minimalen Dauer in Tagen verwendet (Deutscher Wetterdienst, o.J.–b). Der Deutschen Wetterdienst legt für seine Klimakarten der Hitzewellen folgende Definition zugrunde:

„Individuell für jeden Rasterpunkt wird aus den täglichen Temperaturmaxima der Referenzperiode (1961-1990) ein Schwellenwert für jeden Tag - entsprechend dem 98-Perzentil - berechnet. Um die Datenbasis von 30 Werten (1961-1990) zu vergrößern, werden auch die 15 Tage vor und nach dem Termin verwendet, was die Datenbasis auf 930 Werte erhöht und auch zu einer Glättung führt. Liegen die aktuellen Rasterwerte des Temperaturmaximums an 3 aufeinanderfolgenden Tagen oder mehr über diesem Klima-Schwellenwert und über 28 °C, so liegt für das markierte Gebiet und die Periode eine Hitzewelle vor“ (Deutscher Wetterdienst, o.J.–b).

Meteorologisch betrachtet sind Hitzewellen beständige, sommerliche Hochdrucksysteme verbunden mit viel Sonnenschein und einer schwachen Windgeschwindigkeit. Die Wärmebelastung durch eine Hitzewelle wird verstärkt, wenn die Luftmasse sehr feucht ist und die natürliche Abkühlung dadurch gedämpft wird (Matzarakis, 2016, S. 458).

Auch für die Bewertung der gesundheitlichen Gefährdung durch eine Hitzewelle sind die Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Strahlung und der dadurch entstehende Hitzestress ausschlaggebend (ebd.).

Je früher im Sommer eine Hitzewelle auftritt, desto höher ist die gesundheitliche Belastung für die Betroffenen und desto stärker steigen Morbidität und Mortalität an. Wenn die Temperaturen hingegen allmählich steigen, findet ein Anpassungsprozess statt, wodurch die Menschen am Ende des Sommers besser mit hohen Temperaturen zurechtkommen (Ragettli & Rösli, 2020, S. 12).

Weltweit wird beobachtet, dass extreme Temperaturereignisse in ihrer Häufigkeit, Dauer und Größenordnung zunehmen. Einzelne Ereignisse können Wochen andauern oder nacheinander auftreten und zu einer erheblichen Übersterblichkeit führen (WHO, 2018). Hitze ist eine ernsthafte Bedrohung für die menschliche Gesundheit. Die Zahl der Menschen, die extremer Hitze ausgesetzt sind, wächst aufgrund des Klimawandels in allen Weltregionen exponentiell (Global Heat Health Information Network, o.J.).

Im Sommer 2021 lag die weltweite Durchschnittstemperatur $0,6\text{ °C}$ über der Durchschnittstemperatur der Jahre 1986–2005 (Romanello et al., S. 1624). Im The Lancet Countdown wird die weltweite Exposition gefährdeter Bevölkerungsgruppen gegenüber Hitzewellen grafisch dargestellt. Es wird die Einheit person-days verwendet. Diese beziehen sich auf die kumulierte Anzahl von Hitzetagen, denen Menschen insgesamt ausgesetzt waren (Beispiel: wenn 100 Personen 5 Tage lang Hitze ausgesetzt sind, ergibt das 500 person-days). Die Ergebnisse sind abrufbar für die zwei Altersgruppen, deren Gesundheit durch Hitze besonders gefährdet ist, Kinder und Personen über 65 Jahre, sowie die sechs Regionen der WHO. In allen sechs Regionen und in beiden Altersgruppen ist im Zeitraum von 1983 bis 2021 ein Aufwärtstrend zu beobachten. In der WHO-Region Westlicher Pazifik, die sich von der Mongolei über China und die Philippinen bis nach Australien und Neuseeland erstreckt, ist der Anteil der über 65-Jährigen in den letzten zehn Jahren am stärksten gestiegen. 2021 waren es hier 1390,3 Mio. person-days. Den zweithöchsten Wert verzeichnete die Region Europa, zu der auch Russland und die Länder der ehemaligen Sowjetunion gezählt werden. Hier waren es 862,39 Mio. person-days. Der niedrigste Wert in dieser Alterskategorie wurde für die Region Afrika ermittelt, er lag 2021 bei 208,95 Mio. person-days. In der Altersgruppe der Kinder dagegen verzeichnete

die Region Afrika im gleichen Jahr den höchsten Wert (187,35 Mio. person-days) und die Region Europa den zweitniedrigsten, mit 70,77 Mio. person-days (The Lancet Countdown, o.J.).

In Deutschland starben, laut Deutsche Allianz Klima und Gesundheit, kurz KLUG, während der Hitzewelle im Jahr 2003 rund 9.500 Menschen. 2018, 2019 und 2020 wurden in Deutschland zum ersten Mal in drei aufeinander folgenden Jahren eine signifikante Übersterblichkeit durch Hitze, mit rund 20.000 Todesfällen, erfasst (KLUG, o.J.). Im Sommer 2022 starben nach Schätzungen des Robert Koch-Instituts (RKI) etwa 4.500 Menschen im Zusammenhang mit extremer Hitze (RKI, o.J.b).

Im folgenden Abschnitt wird erläutert, wie Hitzewellen und der damit verbundene Hitzestress zu einer erhöhten Zahl von Erkrankungen und Todesfällen führen können.

2.2 Hitze als Risikofaktor

In den vorangegangenen Abschnitten wurde aufgezeigt, dass der Klimawandel zu einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen geführt hat und dass diese klimatischen Veränderungen negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben.

Dass der Mensch anfällig für Hitze ist und diese als Belastung erlebt, liegt daran, dass der Wärmehaushalt des Menschen auf eine gleichbleibende Körperkerntemperatur von 37 °C ausgerichtet ist (Brasseur et al., 2017, S. 138). Die Thermoregulation versucht mittels Wärmeproduktion und Wärmeabgabe diese Temperatur konstant zu halten. Dies gelingt am besten, wenn die Umgebungstemperatur im sogenannten Komfortbereich liegt. Bei welchen Temperaturen dieser Komfortbereich liegt, ist abhängig von geografischen und meteorologischen Gegebenheiten und der daraus resultierenden thermophysiologischen Anpassungsfähigkeit und Akklimatisierung. Beispielweise liegt der untere Schwellwert des Komfortbereichs in Oslo bei 10 °C, in Palermo dagegen bei 27 °C (Storch et al., 2018, S. 174). Bei extremen Abweichungen der Umgebungstemperatur vom Komfortbereich steigen die Anforderungen an das Herz-Kreislauf-System, den Bewegungsapparat und die Atmung (Brasseur et al., 2017, S. 138f). Dies kann negative gesundheitlichen Folgen haben. Das folgende Unterkapitel gibt einen Überblick darüber, wie sich anhaltende Hitze negativ auf die menschliche Gesundheit auswirkt. Anschließend wird auf unterschiedliche Vulnerabilitäten eingegangen.

2.3 Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze

Die Auswirkungen von Hitze auf die Gesundheit zeigen sich oftmals unmittelbar während oder direkt nach der Exposition in Form von Hitzestress und den damit einhergehenden Beschwerden wie Hitzeerschöpfung oder Hitzekrampf. Es gibt aber auch indirekte Auswirkungen von Hitze auf die Gesundheit, wie eine Überlastung des Gesundheitssystems oder eine Verknappung wichtiger Ressourcen wie Wasser (WHO, 2018).

2.3.1 Direkte Auswirkungen von Hitze

Anhaltende Hitze führt bei Menschen zu Hitzestress. Dieser äußert sich in Erschöpfung, ausbleibender nächtlicher Erholung, Kopfschmerzen, Atem- und Kreislaufbeschwerden (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 2021, S.19). Die am häufigsten durch Hitze hervorgerufene Erkrankung ist die Hitzeerschöpfung. Mit den Symptomen: intensives Durstgefühl, starkes Schwitzen, Blässe, Unruhe, Angst- und Erschöpfungszustände. Sie kann auch zu Schwindel- und Ohnmachtsanfällen führen, sowie Erbrechen und Kopfschmerzen hervorrufen. Ohne Behandlung kann sich die Erkrankung zu einem Hitzschlag weiter entwickeln und somit zu einer lebensbedrohlichen Erkrankung mit einer starken Erhöhung der Körpertemperatur und zentralnervösen Störungen wie Delirium und Koma (Eis et al., 2010, S. 95). In der ICD-10 Klassifizierung sind diese Erkrankungen unter Schäden durch Hitze und Sonnenlicht aufgelistet. Weitere aufgelistete Störungen sind: Hitzesynkope, Hitzekrampf, Hitzeödem und Hitzeermüdung (BfArM, 2021).

Neben den hauptsächlich auf Hitze zurück zu führenden Erkrankungen und Todesfällen, führen thermische Belastungen auch zu Erkrankungen und Todesfällen, die auf schwere kardiovaskuläre, respiratorische oder andere Grunderkrankungen zurückzuführen sind (Eis et al., 2010, S. 95). Die Folge sind Störungen des Elektrolythaushaltes, akuten Nierenfunktionsstörungen oder Beeinträchtigungen der Atmungsfunktion (UBA, 2021).

Es gibt Hinweise darauf, dass Hitzewellen auch eine psychische Belastung darstellen und insbesondere für Menschen mit psychischen Erkrankungen ein erhöhtes Risiko für die psychische Gesundheit und das Wohlbefinden darstellen. In einer australischen Studie wurde ein positiver Zusammenhang zwischen einer Umgebungstemperatur von über 26,7 °C und Krankenhauseinweisungen wegen psychischer Verhaltensstörungen festgestellt, die bei Hitze um 7,3 % zunahmen (Hansen et al., 2008).

2.3.2 Indirekte Auswirkungen von Hitze

Hitzewellen nehmen auch indirekt Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Laut WHO kann die erhöhte Morbidität und Mortalität zu einer Überlastung des Gesundheitssystems führen. Die thermischen Einwirkungen erhöhen zudem das Unfallrisiko, bei anhaltender Hitze kommt es vermehrt zu Unfällen, Verletzungen und Vergiftungen. Auch das Risiko, eine Ansteckung durch Lebensmittel und Wasser übertragener Krankheiten wird durch lang anhaltende Hitzewellen erhöht. Hohe Temperaturen können zudem wichtige Infrastrukturen wie Strom- und Wasserversorgung, öffentlichen Transport und Produktion stören und unterbrechen (WHO, 2018).

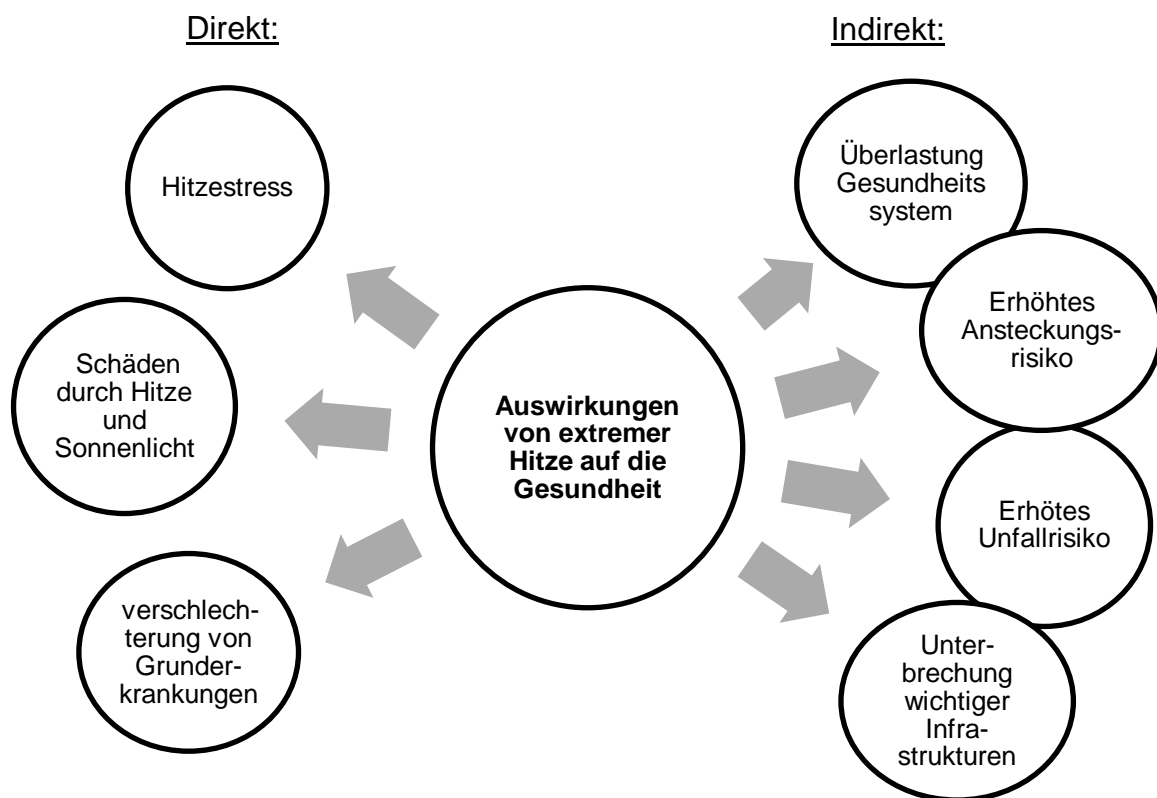


Abbildung 1, Direkte und indirekte Auswirkungen von Hitze auf die Gesundheit. Eigene Darstellung nach (WHO, 2018)

Das Ausmaß und die Art der gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze hängen vom Zeitpunkt, der Intensität und Dauer eines Temperaturereignisses, dem Grad der Akklimatisierung und der Anpassungsfähigkeit der lokalen Bevölkerung, Infrastruktur und Institutionen an das vorherrschende Klima ab (WHO, 2018). Zudem gibt es Personengruppen, die besonders empfindlich

gegenüber Hitze reagieren. Welche Gruppen das sind und welche gesundheitlichen Risiken bei Hitzewellen für diese bestehen, ist Inhalt des folgenden Kapitels.

2.4 Hitzevulnerable Personengruppen

Besonders anfällig für Hitzestress sind Personengruppen, bei denen das Thermoregulationssystem bisher nicht oder nicht mehr voll funktionsfähig oder gestört ist. In der folgenden Tabelle wird ein Überblick gegeben, welche Personengruppen besonders anfällig gegenüber Hitzeexpositionen sind und kurz erläutert, welche Risiken bei anhaltender Hitze für diese Gruppen bestehen.

Tabelle 1: Vulnerable Personengruppen. Eigene Darstellung

Personengruppe	Risiko
Ungeborene, Säuglinge und Kleinkinder	Früh- und Totgeburten, niedriges Geburtsgewicht, erhöhter Neugeborenenstress, Fieberkrämpfe, erhöhte Morbidität und Mortalität (GHHIN, o.J.)
Kinder	Abhängigkeit von Erwachsenen, noch kein ausgeprägtes Bewusstsein für Risiken, Schutzmaßnahmen und Gegenmaßnahmen (GHHIN, o.J.)
Menschen über 65 Jahre	Anstieg der hitzebedingten Mortalität (+12-22 %), der kardiovaskulären Mortalität (+ 15-26 %) (Pfeifer et al., 2020)
Menschen mit chronischen Krankheiten	Auswirkung auf die Körperphysiologie oder die Wirkung von Medikamenten, Anstieg des Risikos für Tod und Krankenhauseinweisung (GHHIN, o.J.)
Schwangere Frauen	Überforderung der Thermoregulationsmechanismen, Dehydration, endokrine Dysfunktion, Beeinträchtigung der Funktion der Plazenta. Folgeerscheinungen wie Schwangerschaftsdiabetes, Früh- und Totgeburten (Chersich et al., 2022)
Personen, die einer körperlichen Tätigkeit nachgehen	Hitzestress, erhöhtes Unfallrisiko, verringerter Produktivität (GHHIN, o.J.). Tragen von Arbeitsschutzkleidung (Messeri et al., 2021)
Personen, die im Freien arbeiten, sportlich aktiv sind oder an Veranstaltungen teilnehmen.	Dehydration, Hitzestress, hitzebedingte Krankheiten (GHHIN, o.J.). Erhöhtes Unfallrisiko (Ricco, 2018)
Menschen mit körperlichen und geistigen Behinderungen	Eingeschränkte Mobilität, Abhängigkeit von Pflegenden, verringerte Fähigkeit Maßnahmen

	zur Selbstkühlung zu verstehen oder umzusetzen (GHHIN, o.J.)
Obdachlose und Geringverdiener	Keinen Zugang zu Klimaanlage oder kühlen Räumen, ungünstige Wohnverhältnisse, soziale Isolation, zusätzliche gesundheitliche Probleme und Sucht (GHHIN, o.J.)
Menschen, die in Gebäuden leben, arbeiten oder studieren, die nicht für extreme Hitze geeignet sind	Langer Aufenthalt in Innenräumen, die keinen Schutz vor hohen Temperaturen bieten. (GHHIN, o.J.)
Menschen, die in Gebieten mit schlecht vorbereiteten oder schlecht ausgestatteten Gesundheitsdiensten leben	Keine Schutzmaßnahmen, mangelnde Versorgung, anhaltende Störungen, erhöhte Anfälligkeit der Bevölkerung (GHHIN, o.J.)
Menschen, die einer hohen Luftverschmutzung ausgesetzt sind	Erhöhte Mortalität (+4-6 %) durch hohe Ozon- und PM10-Werte (GHHIN, o.J.)

Säuglinge, Kleinkinder, ältere und kranke Menschen sind nicht nur aufgrund der eingeschränkten Thermoregulation gefährdet. Eine weitere Gefahrenquelle ist ihre Abhängigkeit von anderen Menschen. Weil sie sich nicht selbst schützen können, sind sie darauf angewiesen, dass andere Menschen dies übernehmen und sie beispielsweise mit ausreichend Flüssigkeit versorgen, für Schatten sorgen und sie nicht fahrlässig Gefahren aussetzen, wie beispielsweise dem warten lassen im heißen Auto (GHHIN, o.J.). In den USA sind, laut Department of Meteorology & Climate Science der San Jose State University, in den letzten 25 Jahren 942 Kinder, überwiegend Kleinkinder unter zwei Jahre, verstorben, die allein in einem heißen Auto zurückgelassen wurden (Null et al., o.J.).

Personen, die draußen arbeiten, sporttreiben, Veranstaltungen besuchen oder leben, sind besonders gefährdet, da sie Hitze und Strahlungen stärker ausgesetzt sind und somit die Exposition größer ist. Aber auch das Arbeiten in warmen, schlecht belüfteten Räumen oder mit Schutzkleidung kann den Hitzestress erhöhen (GHHIN, o.J.). Eine italienische Studie hat gezeigt, dass Beschäftigte im Gesundheitswesen durch das Tragen von persönlicher Schutzkleidung, insbesondere an Tagen mit hohen Umgebungstemperaturen, thermischen Stress stärker wahrnehmen (Messori et al., 2021).

Aufgrund des Wärmeinseleffekts sind Menschen, die in der Stadt leben bzw. sich aufhalten, prinzipiell stärker bedroht als Menschen auf dem Land (KLUG, o.J.). Auch Armut ist ein

Risikofaktor, der die von Hitze ausgehende Gefahr verstärkt. Wenn finanzielle Mittel knapp sind, steht kein oder weniger Geld für Hitzeschutzmaßnahmen zu Verfügung (WHO, o.J.). Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Thermoregulationsfähigkeit nicht nur vom Alter und der individuellen Gesundheit abhängig ist, sondern auch das Geschlecht eine Rolle spielt. Was vermutlich daran liegt, dass eine durchschnittlich große Frau eine niedrigere aerobe Kapazität, also ein geringeres Sauerstoffaufnahmevermögen hat, als ein durchschnittlich großer Mann (Jacklitsch et al., 2016, S. 36).

Die negativen Auswirkungen vergangener Hitzewellen auf die Morbidität und Mortalität haben einen akuten Handlungsbedarf deutlich gemacht. Um die allgemeine Bevölkerung und insbesondere die vulnerablen Bevölkerungsgruppen zu schützen, sollten politische Entscheidungstragende in präventive sowie akute Maßnahmen zum Hitzeschutz investieren. In den folgenden Unterkapiteln wird ein Überblick über mögliche Public-Health-Maßnahmen hergestellt. Mit dem Fokus auf Hitzewarnsystemen, die Forschungsgegenstand dieser Arbeit sind.

2.5 Hitzeschutzmaßnahmen und Prävention

Die durch den Klimawandel bedingte Zunahme von Hitzewellen stellt ein Risiko für die menschliche Gesundheit dar. Aber die negativen gesundheitlichen Auswirkungen sind vorhersehbar und vermeidbar. Gezielte Maßnahmen im Bereich der Public Health können sowohl das Gesamtrisiko als auch das spezifische Risiko einzelner gefährdeter Gruppen verringern. (WHO, o.J.).

Das Schweizer Tropen- und Public Health Institut, nimmt in seinem Maßnahmenkatalog zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Hitze eine Einteilung in die folgenden drei Ebenen vor:

- 1) Ebene A: Bildung und Information zu Gesundheitsrisiken von Hitze
- 2) Ebene B: Spezielle Maßnahmen während einer aktuellen Hitzewelle
- 3) Ebene C: Langfristige Anpassungsmaßnahmen an die zunehmende Hitzebelastung

Zu Maßnahmen der Ebene A gehört das Erstellen und Verteilen von Informationsmaterial und Sensibilisierungskampagnen mit Plakaten, Videos und anderen Medien. Maßnahmen der Ebene B umfassen Frühwarnsysteme, Buddy-Systeme, Hitze Telefon, öffentliche Kühlräume, Verteilung von Trinkwasser sowie ein Monitoring des Morbiditäts- und Mortalitätsgeschehens. Auf der Ebene C sind allgemeine Klimaschutzmaßnahmen, städteplanerische Maßnahmen,

Baumaßnahmen und die Maßnahmen zur allgemeinen Stärkung des Gesundheitssystems angesiedelt (Ragetti & Rösli, 2021, S. 6 + 12). Hitzewarnsysteme sind Frühwarnsysteme. Das bedeutet, dass die Maßnahme, die in dieser Arbeit im Mittelpunkt steht, auf der Ebene B angesiedelt ist. Von besonderem Interesse ist dabei die Wirksamkeit von Hitze Frühwarnsystemen. Auch in der Schweiz war die Überprüfung der Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen Gegenstand von Untersuchungen. Zu diesem Zweck wurde die Mortalität der vier außergewöhnlich heißen Sommer 2003, 2015, 2018 und 2019 untersucht und verglichen. Die Daten geben Hinweise darauf, dass die eingeführten Schutzmaßnahmen insgesamt eine präventive Wirkung haben. Die Mortalität hat trotz ähnlich hoher Temperaturen abgenommen. Eine Tabelle, mit den genauen Vergleichsdaten, befindet sich im Anhang A.1. Eine eindeutige Aussage, ob eine der Maßnahmen wirksamer ist als die anderen, ist aufgrund des Forschungsdesigns nicht möglich. Ragetti & Rösli (2020, S.19) gehen davon aus, dass die zeitnahe Warnung der Bevölkerung und Gesundheitsfachpersonen vor Hitzewellen in Verbindung mit Verhaltensempfehlungen eine der wichtigsten Präventionsmaßnahmen ist. Das Pariser Abkommen sieht in Artikel 7.7 (c) vor, die Anpassungsfähigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel zu verbessern und die Verwundbarkeit zu verringern, was auch durch den Einsatz von Frühwarnsystemen erreicht werden soll (Bundesgesetzblatt online, 2016).

Die Reaktion auf Hitzeperioden in der Vergangenheit war die Implementierung von Hitzewarnsystemen in den betroffenen Ländern (Matzarakis, 2016, S. 457). Im folgenden Kapitel wird der Aufbau und die Funktionsweise dieser Systeme beschrieben.

2.6 Hitzewarnsysteme

Für einen effektiven Hitzeschutz empfehlen Experten unter anderen Maßnahmen auch Hitzewarnsysteme (Forsberg et al., 2012). Wetter-Frühwarnsysteme allgemein bestehen in der Regel aus den vier in Abbildung 2 dargestellten Komponenten.



Abbildung 2: Die Vier Komponenten von Wetter-Frühwarnsystemen. Eigene Darstellung

Das Monitoring beinhaltet das Erkennen, Beobachten, Überwachen, Analysieren und Prognostizieren von Gefahren. Die kontinuierliche Überwachung von Gefahrenparametern ermöglicht es, die Warnungen rechtzeitig zu generieren. Die Bewertung des Risikos ergibt sich aus der Kombination von Gefahren wie Exposition, Verwundbarkeit und Bewältigungsmöglichkeiten einer Region, in Verbindung mit Schwachstellen, Urbanisierung und Landnutzung. Sie erfordert eine systematische Sammlung und Analyse von entsprechenden Daten. Die Verbreitung und Kommunikation von Warnungen erfordert klare Botschaften mit einfachen, nützlichen und anwendbaren Informationen. Die Glaubwürdigkeit und Akzeptanz der Informationsquelle sind entscheidend für die Bereitschaft und Risikotoleranz gefährdeter Personen. Der Fokus liegt auf Bildungs- und Ausbildungsprogrammen (WMO, o.J.–b).

Hitzewarnsysteme verwenden aktuelle Wettervorhersagen, um Episoden mit hoher thermischer Belastung und dem Potenzial, die Morbidität und Mortalität zu erhöhen, vorherzusagen (Matzarakis, 2016, S. 457). Sie sind ein zentraler Bestandteil von Hitzeaktionsplänen (Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, o.J.). Das erste Hitzewarnsystem wurde 1995 in den USA in der Stadt Philadelphia entwickelt. Es gab den Anstoß für weitere Systeme in nordamerikanischen Städten (Casanueva et al., 2019, S. 6). Mittlerweile gibt es weltweit eine Vielzahl unterschiedlicher Warnsysteme. Die Systeme unterscheiden sich, da sie alle auf

unterschiedlichen Definitionen, Schwellenwerten und Parametern basieren (McGregor & Bessemoulin, 2015). Die folgende Tabelle stellt eine Auswahl der weltweit existierenden Hitzewarnsysteme dar und zeigt, wie sich die Systeme hinsichtlich ihres Aufbaus, der Definition von Hitzeereignissen und der Schwellenwerte unterscheiden.

Tabelle 2: Übersicht unterschiedlicher Hitzewarnsysteme weltweit (McGregor & Bessemoulin 2015)

Land (Region, Stadt)	Schwellenwerte	Schwellenwerte basieren auf vergangenen Mortalitätswerten	Übersterblichkeits-Prognosen	Dauer des Hitzeereignisses wird berücksichtigt	Akklimatisierung wird berücksichtigt	Regionale Unterschiede werden berücksichtigt	Menschliche Kompetenz
Australien (Queensland)	AT			2 Tage		✓	✓
Weißrussland	T						
Belgien	Tmax/Tmin/Ozon			3 Tage			
Canada (Toronto Region)	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Canada (Montreal)	Tmax/Tmin			✓			
Canada (Rest)	Humidex			✓			
China (Hing Kong)	NET						
China (Shanghai)	Airmass	✓	✓	✓	✓		✓
Frankreich	Tmax/Tmin	✓		3 Tage		✓	✓
Deutschland	PT			2 Tage	✓	✓	✓
Großbritannien	Tmax/Tmin			✓			
Griechenland	Tmax			✓		✓	
Italien	Airmass/Tapp	✓	✓	✓	✓	✓	
Lettland	Tmax			✓			
Niederlande	Tmax			✓			
Polen	Tmax/Tmin						

Portugal	Tmax	✓	✓	✓		✓	✓
Rumänien	ITU						
Schweiz	HI						
Slowenien	Forecaster						✓
Spanien	Tmax/Tmin	✓				✓	✓
Südkorea	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Südkorea (Seoul*)	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ungarn (Budapest)	Tmean	✓					
USA (synoptic**)	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
USA (Rest)	HI			2 Tage		✓	✓

Legende:

T	temperature	HI	Heat Index
AT / Tapp	apparent temperature	PT	perceived temperature
Tmax	maximum temperature	ET	equivalent temperature
Tmin	minimum temperature	ITU	Temperature Humidity Index
Tmean	mean temperature		

*Seoul besitzt derzeit das einzige städtische HHWS welches, basierend auf einer einzigartigen Klimatologie und Gesundheitsreaktion, die Stadt in fünf Regionen unterteilt.

** Seattle (Washington), Portland (Oregon), San Francisco and San Jose (California), Phoenix and Yuma (Arizona), Dallas and Houston (Texas), Minneapolis (Minnesota), Chicago (Illinois), St. Louis (Missouri), Dayton, Columbus and Cincinnati (Ohio), Philadelphia (Pennsylvania), Washington (DC), Baltimore (Maryland), New Orleans, Monroe, Shreveport, and Lake Charles (Louisiana), Little Rock and Fort Smith (Arkansas), Memphis (Tennessee), Jackson and Meridian (Mississippi)

Vor der Hitzewelle 2003 gab es in Europa nur zwei Hitzewarnsysteme, eines in Lissabon und eines in Rom. Als Reaktion auf die verheerenden Auswirkungen der Hitzewelle auf die Sterblichkeit, die Umwelt und die Wirtschaft wurden nach dem Sommer 2003 in vielen europäischen Ländern Hitzewarnsysteme eingeführt. Seitdem ist die Zahl der Länder mit implementierten Hitzewarnsystemen in Europa kontinuierlich gestiegen. Im Jahr 2013 waren 29 Länder mit einem Hitzewarnsystem ausgestattet (Casanueva et al., 2019, S. 6).

Casanueva et al. haben in einer Studie Hitzewarnsysteme aus 16 europäischen Ländern verglichen. In allen analysierten Ländern gibt es Warnungen auf Regionaler Ebene und auch für einzelne Städte wie Lissabon und Rom. Alle Systeme verwenden unterschiedliche Variablen und Schwellenwerte. Manche verwenden nur die Außentemperatur anderer beziehen auch Variablen wie Luftfeuchtigkeit und Strahlung mit ein und wieder andere vergeben Luftmassen Klassifikationen. Auch welche Zielgruppen angesprochen werden und ob hier eine separate,

spezifische Warnung unter Einbeziehung der Variabilität vorgenommen wird, unterscheidet sich von System zu System (ebd. S. 7ff).

Der Deutsche Wetterdienst beispielsweise warnt mit seinem Hitzewarnsystem vor Tagen mit hoher thermischer Belastung auf Grundlage der gefühlten Temperatur und eine Simulation der Wärmebelastung in Innenräumen (DWD, o.J.–a). Die Hitzewarnungen des DWD werden auf Landkreisebene herausgegeben, wenn eine starke Wärmebelastung für mindestens 2 Tage in Folge vorhergesagt wird. Es gibt zwei Warnstufen. Die Warnung vor einer starken Wärmebelastung erfolgt ab einer gefühlten Temperatur von ca. 32°C am frühen Nachmittag. Ab einer gefühlten Temperatur von 38°C wird vor einer extremen Wärmebelastung gewarnt (DWD, o.J.–c). Um den Akklimatisierungseffekt mit zu berücksichtigen werden die Schwellenwerte an die thermischen Bedingungen der letzten 30 Tage angepasst (Koppe, 2009, S.40).

Das hessische Hitzewarnsystem basiert auf den Warnmeldungen des DWD. Darüber hinaus ist vorgesehen, dass Pflegeeinrichtungen und Krankenhäuser vom DWD über aktuelle und bevorstehende Hitzebelastungen informiert werden und über das Hessische Ministerium für Soziales und Integration sowie die Gesundheitsämter Informationen über Schutzmaßnahmen zur Verfügung gestellt werden (Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, o.J.).

Es wurde gezeigt, dass Hitzewarnsysteme eine Schutzmaßnahme zur Vermeidung hitzebedingter Erkrankungen und Todesfälle darstellen und in vielen Ländern und Städten eingesetzt werden. Die Wirksamkeit dieser Warnsysteme ist Gegenstand einer systematischen Literaturanalyse zur Beantwortung der Forschungsfragen, die dieser Arbeit zu Grunde liegen. Das methodische Vorgehen bei der Literaturanalyse wird im folgenden Kapitel beschrieben.

3 Methode

Zur Beantwortung der Fragestellung im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Diese Methode wurde nach dem Entscheidungsbaum von Ritschl et al. (Siehe Anhang A2) ausgewählt, weil sie einen Überblick über den aktuellen wissenschaftlichen Stand verschafft und auf diese Weise herausgestellt wird, welche Ergebnisse zur Effektivität von Hitzewarnsystemen generiert wurden. Diese können dann analysierter und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Um die Replizierbarkeit und Transparenz der Auswertung zu gewährleisten, wird in diesem Kapitel die angewandte Methodik vorgestellt und anschließend das Vorgehen bei der Literaturrecherche sowie die Auswahlkriterien für die eingeschlossenen Studien beschrieben.

3.1 Systematische Literaturrecherche

Existieren zu einer Fragestellung bereits einige Studien, aber keine aktuellen Zusammenfassungen, erscheint es sinnvoll, diese Lücke durch ein Review zu schließen und einen systematischen Überblick zu geben (Ritschl et al., 2016, S .53).

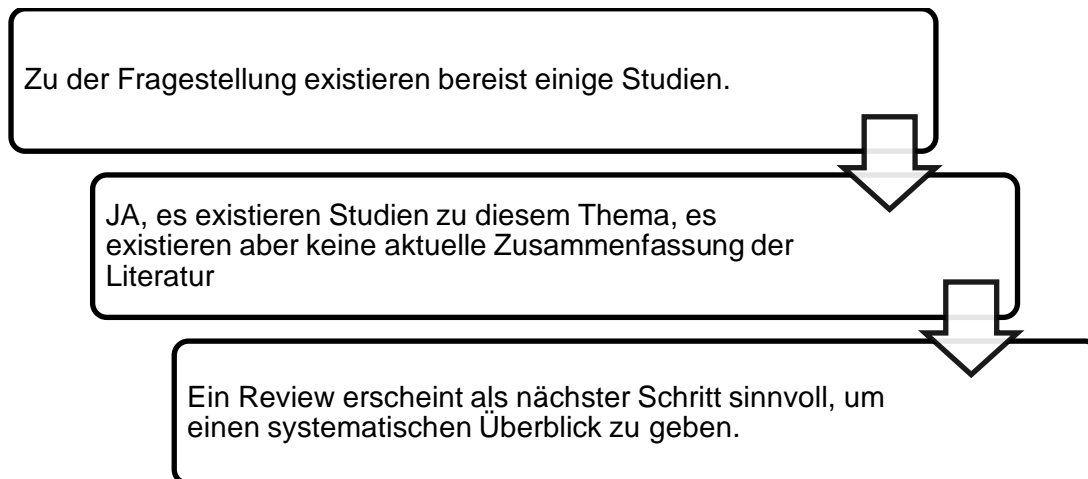


Abbildung 3: Entscheidungsprozess Methode. Eigene Darstellung nach (Ritschl et al., 2016, S .53)

Eine systematische Literaturanalyse dient der Identifizierung, Bewertung und Zusammenfassung aller Publikationen, die für die Beantwortung der Fragestellung relevant sind (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 6).

Die Methode der systematischen Literaturanalyse hat einen großen Nutzen für die klinische Versorgung, denn sie ermöglicht es, die Ergebnisse von Einzelstudien zusammenzuführen und praktische Implikationen abzuleiten. Auch in den Gesundheitswissenschaften hat dieser

Forschungsansatz mittlerweile einen hohen Stellenwert, insbesondere die Recherche in Fachdatenbanken (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 6f).

In dieser Arbeit wird mit Hilfe einer sensitiven Literaturanalyse ein integratives Review erstellt, das einen Überblick über die generierten wissenschaftlichen Erkenntnisse gibt und allgemeine Handlungsempfehlungen aufzeigt. Bei der sensitiven Literaturanalyse handelt es sich um eine umfangreiche Recherche mit einem breiten Suchansatz. Hierfür werden nur wenige Eingrenzungen vorgenommen. Dies führt zu einer hohen Trefferquote mit vielen, nicht relevanten Treffern. Diese müssen aufwendig ausselektiert werden, was einen Nachteil dieser Methode darstellt. Ein Vorteil ist, dass durch diese Vorgehensweise das Risiko, die relevanten Treffer zu übersehen, minimiert werden kann (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 8). Das Forschungsdesign eines integrativen Reviews ermöglicht ebenfalls einen umfangreichen Überblick, da es alle zum Thema durchgeführten Studien berücksichtigt, unabhängig von der angewendeten Forschungsmethode (Ritschl et al., 2016, S. 54).

Für eine methodisch hochwertige Literaturrecherche ist es wichtig, die Eigenheiten der ausgewählten Fachdatenbanken zu kennen und die Suchstrategie daran anzupassen (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 6f). Die Literaturrecherche dieser Forschungsarbeit erfolgt über die Fachdatenbank PubMed und die Metasuchmaschine LIVIVO. Im Folgenden werden diese kurz vorgestellt und anschließend die darauf abgestimmte Suchstrategie beschrieben.

PubMed ist eine frei zugängliche, datenbankbasierte Suchmaschine für Literatur aus dem Bereich der Biomedizin und der Biowissenschaften. Sie enthält mehr als 35 Millionen Zitate und Abstracts, die häufig mit dem Volltext verlinkt sind. Entwickler und Betreiber der Suchmaschine ist das National Center for Biotechnology Information (NCBI) der National Library of Medicine (NLM) der Vereinigten Staaten. Die NLM ist Teil der National Institutes of Health (NIH). Die Suchmaschine basiert auf MEDLINE-Datenbank der National Library of Medicine (NLM), das Volltextarchiv PubMed Central (PMC) mit von der NLM geprüften und für die Archivierung ausgewählten Artikeln aus Zeitschriften sowie das Volltextarchiv Bookshelf mit Auszügen aus der biomedizinischen und gesundheitswissenschaftlichen Fachliteratur (NLM, o.J).

LIVIVO ist eine interdisziplinäre Suchmaschine für die Lebenswissenschaften, Medizin, Public Health, Ernährungs-, Umwelt- und Agrarwissenschaften. Sie wird vom Informationszentrum Lebenswissenschaften der Deutschen Zentralbibliothek für Medizin bereitgestellt.

Durch eine indexbasierte Suchtechnologie können mit einer Suchanfrage eine Vielzahl von Datenquellen und Bestandskatalogen gleichzeitig durchsucht werden. Dazu gehört auch die Datenbank PubMed. Eine weitere Besonderheit der Suchtechnologie ist die automatisierte linguistische Anreicherung und semantische Verknüpfung der Suchbegriffe mit Hilfe definierter Vokabularien, die speziell auf den jeweiligen Bereich der Lebenswissenschaften zugeschnitten sind. Die generierte Trefferliste ist nach Relevanz sortiert und kann nach den oben genannten Lebenswissenschaften gefiltert werden (ZB MED, o.J.).

Obwohl LEVIVO auch eine Recherche in PubMed ermöglicht, wurde aufgrund der unterschiedlichen Struktur der Datenbanken und der damit verbundenen mangelnden Nachvollziehbarkeit, wie die Suchmaschine diese jeweils durchsucht hat, entschieden, LEVIVO ergänzend zu einer Recherche in PubMed zu nutzen (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 22f). Die Entscheidung für die Nutzung von PubMed ist einerseits durch eine methodisch-passende fachliche Ausrichtung zu begründen und andererseits durch pragmatische Aspekte wie freien Zugang und bereits vorhandenen Kenntnisse bezüglich der Suchoberfläche dieser datenbankspezifischen Suchmaschine (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 24).

Im folgenden Abschnitt werden die Schlüsselwörter, Synonyme und Suchbegriffe beschrieben, die verwendet wurden, um die ausgewählten Datenbanken zu durchsuchen.

3.2 Durchführung der systematischen Literaturrecherche

Nach Auswahl der geeigneten Datenbanken werden im nächsten Schritt geeignete Schlüsselwörter und Synonyme für eine systematische Suche identifiziert. Die identifizierten Begriffe und Synonyme sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 3: Stichwörter und Synonyme für die systematische Literaturrecherche

Stichwörter	
- Hitzewarnsystem(e)	- Effektivität
Synonyme / Übersetzung	
- Heat Warning (Systems)	<ul style="list-style-type: none"> - effectiveness - efficacy - validity - evaluati*

Im Sinne einer sensitiven Recherche und der offenen Fragestellung wurden lediglich zwei Stichwörter als Suchkomponenten generiert. Hitzewarnsystem und Effektivität. Da Englisch allgemein als wichtigste Suchsprache in Fachdatenbanken angesehen wird (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 28) wurden bei den Synonymen zunächst die zwei Suchkomponenten ins Englische übersetzt. Anschließend wurden für Effektivität englische Synonyme gebildet. Ergänzend wurde im MeSH-Browser der NLM nach Schlagwörtern gesucht.

Die festgelegten Stichwörter und Synonyme werden anschließend zu einem Suchstring zusammengeführt. Dafür werden die sogenannten booleschen Operatoren AND und OR verwendet (Bartels, 2013, S. 300-302). Für eine datenbankspezifische Suche, welche abhängig von der jeweiligen Datenbank unterschiedliche Suchmöglichkeiten bietet, wird für jede Datenbank ein eigener Suchstring erarbeitet (Nordhausen & Hirt, 2020, S. 35). Zur Sicherung der Qualität werden die Suchstrings nach dem Vieraugenprinzip auf Tippfehler, Unstimmigkeiten und die korrekte Verknüpfung überprüft. Die auf diese Weise erzeugten Suchstrings werden dann für die Durchführung der systematischen Literaturrecherche in den ausgewählten Datenbanken verwendet. Die verwendeten Suchstrings sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 4: Datenbankspezifische Suchstrings

PubMed	LIVIVO
(Heat warning) AND ("effectiveness" OR "efficacy" OR "validity" OR "evalua*")	(Hitzewarnsystem OR Heat warning system) AND (Effektivität OR effectiveness OR efficacy OR validity OR Evalua*)

Während bei PubMed nur die englischen Stichwörter und Synonyme verwendet wurden, enthält der Suchstring für LIVIVO auch die deutschen Stichwörter. Um die Anzahl der Ergebnisse in den beiden Datenbanken weiter zu präzisieren, wurden die Ergebnisse nach Erscheinungsjahr und Verfügbarkeit gefiltert. Als Veröffentlichungszeitraum wurden die letzten 10 Jahre gewählt, um Aktualität und Vergleichbarkeit sicherzustellen. Bei der Verfügbarkeit wurde auf Volltext begrenzt, da die Recherche im Netz der HAW stattfand, wo Lizenzen für kostenpflichtige Texte vorhanden sind und nicht nur auf frei zugängliche Volltexte zurückgegriffen werden konnte. Bei der Suche in LIVIVO wurde MADLINE über die Filterfunktion der Datenquellen

ausgeschlossen, da diese bereits mithilfe von PubMed gründlich durchsucht wurde. Somit konnten von vornherein viele Duplikate vermieden werden.

Die systematische Literaturrecherche in den ausgewählten Datenbanken wurde am 29.05.2023 durchgeführt. Die identifizierten Publikationen wurden anschließend nach dem Sichtungsprinzip Titel, Abstract, Volltext, unter Anwendung der in Tabelle 6 aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien, geprüft und Duplikate ausgeschlossen.

Tabelle 5: Ein- und Ausschlusskriterien

	Einschlusskriterien		Ausschlusskriterien
E1	Befasst sich mit der Effektivität eines etablierten Hitzewarnsystems	A1	Befasst sich mit anderen Merkmalen von Hitzewarnsystemen
E2	Vergleicht die Effektivität unterschiedlicher Hitzewarnsysteme	A2	Befasst sich mit Hitzewarnsystemen nicht, indem hier betrachteten Kontext, sondern beinhaltet Suchbegriffe in einem anderen Kontext.
E3	Enthält Empfehlungen für die Optimierung von Hitzewarnsystemen	A3	Trotz Anwendung von Filtern nicht in deutscher oder englischer Sprache verfügbar
		A4	Kein Zugriff auf Volltext, für Entscheidung über Ein- oder Ausschluss
		A5	Falscher Publikationstyp (Review)

3.3 Dokumentation der systematischen Literaturrecherche

Die systematische Literaturrecherche wurde im Juni 2023, im Netz der HAW, durchgeführt. Zur Dokumentation der systematischen Literaturrecherche wurde Protokolle angefertigt, welche im Anhang zu finden sind (A.3).

Einen zusammenfassenden Überblick über die Rechercheergebnisse verschafft das folgende Flussdiagramm.

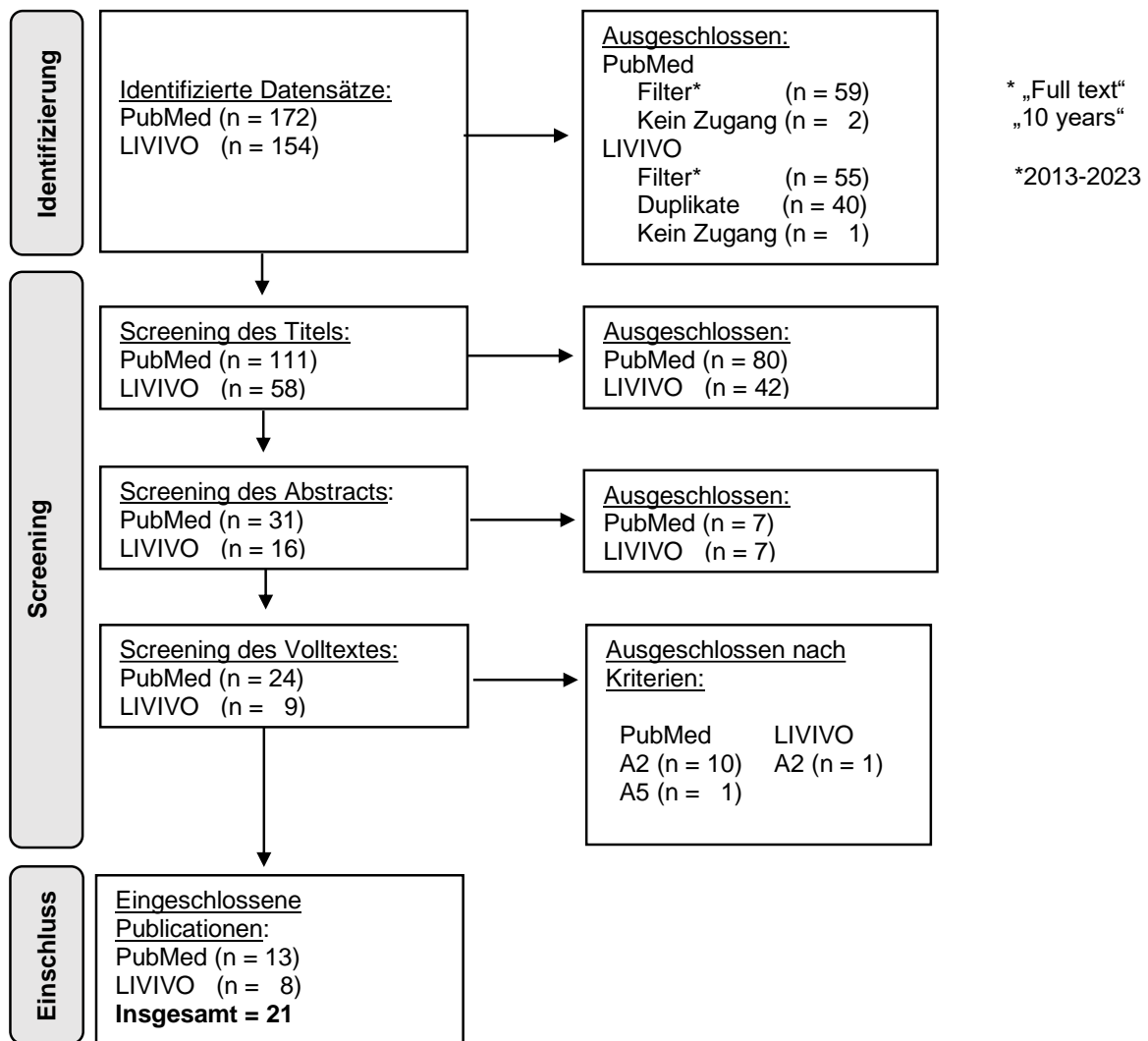


Abbildung 4: Flussdiagramm auf Grundlage des evidenzbasierten Mindestsatzes an Elementen für die Berichterstattung in systematischen Übersichten PRIAMA. Eigene Darstellung nach (Page et al., 2021)

In den ausgewählten Suchmaschinen wurden mithilfe der generierten Suchstrings vorerst 326 Publikationen identifiziert. Durch die Entfernung von 40 Duplikaten wurde die Anzahl auf 286 reduziert. Die Anwendung von Filtern führte zur Selektion von weiteren 114 Publikationen. Gefiltert wurde nach Erscheinungsjahr, hier wurde der Zeitraum 2013-2023 gewählt. Zum einen, um möglichst aktuelle Ergebnisse zu erzielen und zum anderen, weil 2013 eine Literaturanalyse von Toloo et al. zum Thema der Wirksamkeit von HWS in Bezug auf hitzebedingte Morbidität veröffentlicht wurde (Toloo et al., 2013). Für zwei kostenpflichtige Veröffentlichungen mit vielversprechenden Ergebnissen konnte ein kostenloser Vollzugang erlangt werden. Für drei weitere kostenpflichtige Veröffentlichungen, die aufgrund von Titel- und

Abstract-Screenings als weniger relevant eingestuft wurden, wurde auf ein Volltext-Screening verzichtet und die Titel aufgrund des fehlender Volltextzugangs ausgeschlossen.

Durch das systematische Screening von Titel, Abstract und Volltext wurden weitere 148 Publikationen ausgeschlossen.

Somit konnten insgesamt 21 Publikationen identifiziert werden, die zur Beantwortung der Forschungsfragen beitragen. Eine tabellarische Aufstellung der ausgeschlossenen Publikationen befindet sich im Anhang A.3. Das folgende Kapitel beinhaltet die inhaltliche Zusammenfassung der eingeschlossenen Publikationen und somit das Ergebnis der durchgeführten systematischen Literaturanalyse.

4 Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse erläutert. Die Ergebnisse werden gemäß den Zielstellungen der Arbeit dargestellt und in drei Hauptpunkte unterteilt: 1. Methoden zur Überprüfung der Wirksamkeit, 2. Effektivität etablierter Systeme und 3. Optimierung von Hitzewarnsystemen.

4.1 Methoden zur Überprüfung der Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen im Hinblick auf die Verringerung der Morbidität und Mortalität

Unter den 21 eingeschlossenen Studien befinden sich acht Untersuchungen, die die Effektivität eines Hitzewarnsystems untersucht haben. Es wurden drei verschiedene Messmethoden verwendet, um die Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen zu bewerten. Zum Einsatz kamen die vergleichende Analyse, das RCT und die persönliche Befragung. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist, war die vergleichende Analyse die am häufigsten verwendete Methode zur Bewertung der Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen.

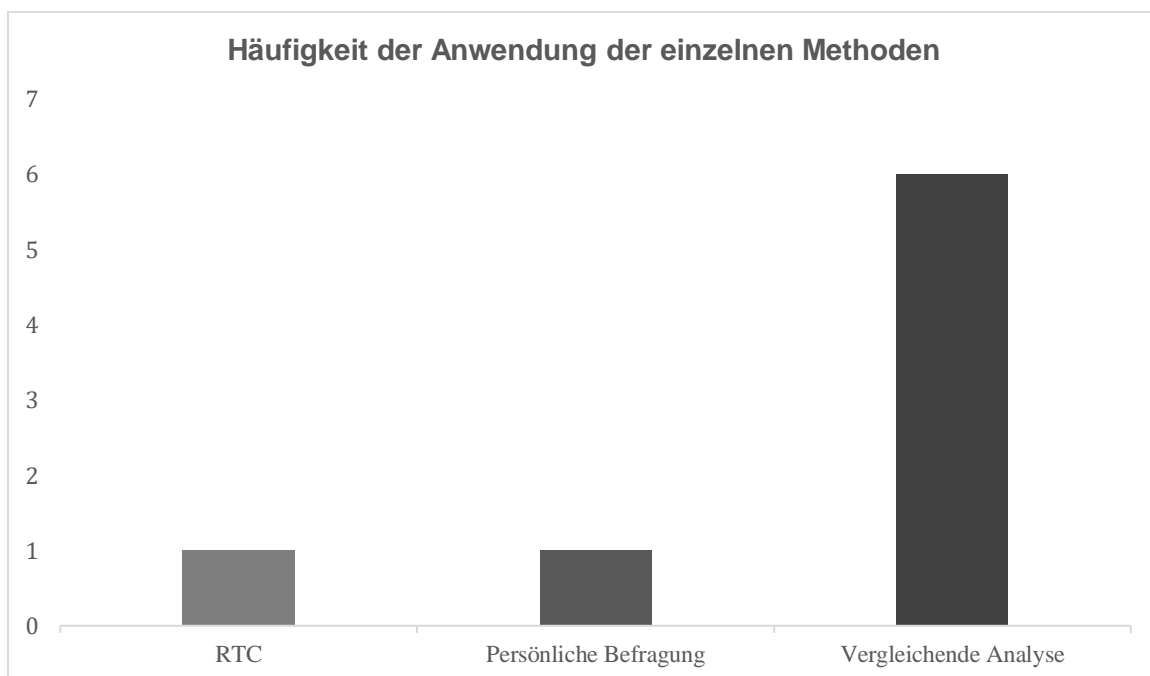


Abbildung 5: Häufigkeit der Anwendung einzelner Methoden. Eigene Darstellung

Bei allen vergleichenden Analysen wurden unterschiedliche Sachverhalte verglichen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die konkret angewendeten Methoden und die Studien,

in denen sie verwendet wurden. Anschließend wird das methodische Vorgehen in den einzelnen Studien abschnittsweise näher erläutert.

Tabelle 6: Übersicht der verwendeten Methoden zur Überprüfung der Effektivität

	Methode	Quelle
1	Vergleich der Morbidität und Mortalität von zwei vergleichbaren Hitzewellen. Vor und nach der Einführung eines HHWS.	Nitschke et al., 2016
2	Vergleicht die Anzahl der Todesfälle oder Einweisungen an Tagen mit Hitzewarnungen ("Hitzewarntage") mit ähnlichen Tagen ohne Hitzewarnungen ("Nicht-Hitzewarntage").	Weinberger et al., 2018 u. 2021
3	Vergleichende Analyse verschiedener Hitzewarnsysteme anhand von Daten zu hitzebedingten Erkrankungen.	Wu et al., 2020
4	Statistische Auswertung von Mortalitäts- und Wetterdaten im Zeitraum 2003-2013 für Frankfurt mit SPSS.	Heudorf & Schade, 2014
5	Differenz-in-Differenzen-Analyse in Kombination mit einer Propensity-Score-Gewichtung. Erhebung von Daten zur Sterblichkeit, zur Wetterüberwachung und zur Ankündigung von Hitzewellenwarnungen für 7 koreanische Großstädte im Zeitraum 2009-2014.	Heo et al., 2019
6	Retrospektive Analyse auf der Grundlage der Umwelt- und Gesundheitsdaten, die jeden Sommer durch das französische Hitzewarnsystem und den Präventionsplan gesammelt werden.	Pascal et al., 2021
7	RCT, Intervention: SMS mit der Warnung und allgemeinen Empfehlungen zum Schutz vor Hitze.	Mehiriz et al., 2018
8	Basiserhebung zu Wissen, Einstellungen und Praktiken im Zusammenhang mit Hitzewellen und Warnsystemen mittels persönlicher Befragung.	Li et al., 2018

In Australien führten Nitschke et al. eine ökologische Studie durch, die sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen von zwei ähnlich starken Hitzewellen im Großraum Adelaide befasste. Dabei wurden Inzidenzraten (IRR), tägliche Notarzteinsätze, Notfallaufnahmen und Mortalitätsdaten herangezogen. Die erste Hitzewelle ereignete sich 2009 und führte zur Einführung eines Hitzewarnsystems im selben Jahr. Die zweite ereignete sich 2014, fünf Jahre nach Einführung des Warnsystems. In der Folge wurden die während der Hitzewellen gemessenen Werte mit den Werten warmer Perioden verglichen, bei denen es sich nicht um Hitzewellen handelte. Fallzahlen wurden berechnet und die Unterschiede in den Fallzahlen zwischen den beiden Hitzewellen geschätzt. Die Daten zur Morbidität und Mortalität wurden vom

Department for Health and Ageing bezogen. Zusätzlich wurden Daten zu Rettungsdienst-Einsätzen vom SA Ambulance Service herangezogen (Nitschke et al., 2016, S. 1–2).

Die Ungenauigkeit von Hitzewarnungen haben sich Weinberger et al. für ihre vergleichende Analyse in den USA zunutze gemacht. Da Hitzewarnungen auf Vorhersagen und Prognosen beruhen, wird nicht für jede Hitzewelle eine Warnung herausgegeben. Auf diese Weise war es möglich, Tage mit und ohne Hitzewarnung zu vergleichen, an denen der beobachtete Hitzeindex in etwa gleich hoch war.

Für die Analyse wurden Daten zu Hitzewarnungen mit Mortalitätsdaten verknüpft. Einbezogen wurden die 20 US-Städte, für die die lokalen NWS-Büros die meisten Hitzewarnungen herausgegeben hatten und tägliche Mortalitätsdaten vorlagen. Untersucht wurde der Zeitraum 2001–2006. Bei der Analyse wurde angenommen, dass an einem beliebigen Ort zwei Tage mit annähernd gleichem Hitzeindex die gleiche Sterblichkeitsrate aufweisen (Weinberger et al., 2018, S. 2–3).

Im Jahr 2021 veröffentlichten Weinberger et al. eine weitere Studie, in der diese Methode verwendet wurde. Diesmal wurde ein längerer Zeitraum von 10 Jahren (2006–2016) untersucht. Als Zielgruppe wurden Personen ab 65 Jahren definiert. Untersucht wurden die Gesamtmortalität und unspezifische Krankenhauseinweisungen.

Die Daten zu medizinischen Leistungen für die Zielgruppe stammten von Medicare, einem bundesstaatlichen Krankenversicherungsprogramm, welches die überwiegende Mehrheit der Altersgruppe in den USA abdeckt (2016 waren etwa 47,8 Millionen der 49,2 Millionen Personen im Alter von 65 Jahren und älter in den USA bei Medicare eingeschrieben). Da keine Informationen über die Todesursachen verfügbar waren, wurden für die Sterblichkeit die Todesfälle aller Ursachen verwendet. Unter Verwendung der Daten der National Oceanic and Atmospheric Administration und der Vorhersagezonen des nationalen Wetterservice NWS wurden alle ausgegebenen Hitzewarnungen identifiziert und tägliche Zeitreihen mit einer binären Variablen für die Hitzewarnungsexposition erstellt. Feinstaub- und Ozonkonzentrationen wurden ebenfalls berücksichtigt. Für jeden Bezirk, in dem zwischen 2006 und 2016 mindestens eine Hitzewarnung ausgegeben wurde, wurden tägliche Zeitreihen erstellt, die die Anzahl aller Todesfälle unter allen Medicare-Begünstigten und die Anzahl der ursachenspezifischen Krankenhauseinweisungen unter den Medicare-Begünstigten, die nach dem Gebührensystem abgerechnet wurden, erfassten.

Bei Krankenhauseinweisungen wurden folgende hitzespezifische Ursachen untersucht: Sepsis, Diabetes mellitus mit Komplikationen, Flüssigkeits- und Elektrolytstörungen, periphere

Gefäßerkrankungen, Niereninsuffizienz, Harnwegsinfektionen, Hitzschlag und andere äußere Ursachen.

Für jeden Tag mit Hitzewarnung wurde für den betroffenen Bezirk ein Pool von möglichen Tagen ohne Hitzewarnung ermittelt, die im selben Monat des Jahres auftraten, einen beobachteten Tageshöchstwert des Hitzeindex innerhalb von $\pm 2^\circ\text{F}$ hatten und nicht innerhalb von drei Tagen nach einem Hitzewarntag lagen. Anschließend wurde jeden Hitzewarntag mit einem zufällig ausgewählten Nicht-Hitzewarntag aus dem Pool der Kandidatentage abgeglichen, wobei Nicht-Hitzewarntage, die bereits mit einem anderen Hitzewarntag abgeglichen wurden, ausgeschlossen wurden.

In diesem Datensatz von Hitzewarntagen und Tagen ohne Warnung wurden die Auswirkungen von Hitzewarnungen auf die Gesundheit mithilfe von überdispersen bedingten Poisson-Regressionsmodellen modelliert. Eine Sensitivanalyse wurde durchgeführt, um Ergebnisse zu validieren (Weinberger et al., 2021, S. 2).

Auch Wu et al. führten eine vergleichende Analyse durch, um die Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen für Shanghai zu erforschen. Verglichen wurden unterschiedliche Hitzewarnsysteme aus aller Welt. Um die Eignung für eine Anwendung in Shanghai zu ermitteln, wurden das HHWS von Shanghai, das HHWS der chinesischen Wetterbehörde, der nationale chinesische Standard für Hitzewellen-Indizes, der Hitzeindex des nationalen Wetterdienstes der USA und die von der Weltorganisation für Meteorologie vorgeschlagene Definition verglichen. Dabei wurden die Temperaturschwellen und verwendeten meteorologischen Indizes bewertet. Der Vergleich wurde auf der Grundlage von Daten über hitzebedingte Erkrankungen, die vom chinesischen Zentrum für Krankheitskontrolle und -prävention (China CDC) erhoben wurden, durchgeführt (Wu et al., 2020, S. 1).

Eine statistische Auswertung der Mortalitäts- und Wetterdaten der Stadt Frankfurt am Main wurde von Heudorf & Schade durchgeführt. Über einen Zeitraum von 10 Jahren (2003-2013) wurde die Wirkung von Hitzeaktionsplänen auf die Sterblichkeit während Hitzewellen untersucht. Ein Bestandteil der Hitzeaktionspläne waren Hitzewarnungen. Weitere Einflussfaktoren wie Luftschadstoffe wurden berücksichtigt (Heudorf & Schade, 2014, S. 477).

Heo et al. untersuchten die Wirksamkeit eines koreanischen Hitzewellenwarnsystems bei der Reduzierung der hitzebedingten Sterblichkeit anhand der Abweichung zwischen Hitzefrühwarnungen und tatsächlich gemessenen Temperaturen. Für den Zeitraum 2009-2014 wurde eine Differenz-in-Differenzen Analyse in Kombination mit einer Propensity Score Gewichtung

durchgeführt, um die Genauigkeit des HHWS bei der Erkennung von tatsächlichen Hitzewel-
lentagen zu messen. Dazu wurden Sterblichkeits-, Wetterüberwachungs- und Hitzewarndaten
aus sieben Großstädten verwendet (Heo et al., 2019, S. 1).

In Frankreich wurde eine retrospektive Analyse durchgeführt. Sie basiert auf den Umwelt- und
Gesundheitsdaten, die jeden Sommer im Rahmen des französischen Hitzewarnsystems und des
Präventionsplans erhoben werden. Zur Identifizierung der Herausforderungen für den franzö-
sischen Hitzewarnplan, der seit 2004 in Kraft ist, haben Pascal et al. die wichtigsten Entwick-
lungen des Systems auf der Grundlage, der jeden Herbst mit den Akteuren des Präventions-
plans durchgeführten Bewertungen untersucht (Pascal et al., 2021, S. 1684).

Mehiriz et al. führten im Rahmen eines Pilotprojekts in der Region Longueuil an der Südküste
von Montreal eine randomisierte kontrollierte Studie zu Hitzewarnungen per SMS durch. Es
gab eine Interventions- und eine Kontrollgruppe mit jeweils rund 250 Teilnehmenden. Im Au-
gust 2015 wurde mit Hilfe des telefonischen Warn- und Beratungssystem Téléphone Santé eine
Warnung herausgegeben. Einen Tag vor dem prognostizierten Beginn der Hitzewelle erhielten
die Teilnehmenden der Interventionsgruppe eine SMS mit der Warnung und allgemeinen Emp-
fehlungen zum Schutz vor Hitze. Die Empfehlungen lauteten: körperliche Aktivität vermeiden,
ausreichend Wasser trinken, Ventilator oder Klimaanlage benutzen, kalt duschen/baden, Zeit
in kühlen Räumen verbringen, Schatten aufsuchen, leichte Kleidung tragen, im Notfall die Not-
rufnummer anrufen (Mehiriz et al., 2018, S. 3).

Zur Kontrolle statistisch signifikanter Unterschiede in den Ausgangsdaten wurde für die Vari-
ablen "Häufigkeit der Verwendung von Ventilatoren" und "Häufigkeit der Verwendung von
Klimaanlagen" ein ordinales Panel-Regressionsmodell zur Kontrolle statistisch signifikanter
Unterschiede in den Ausgangsdaten verwendet. Für die Variable "Risiko, an hitzebedingten
Symptomen zu leiden" wurde zum gleichen Zweck ein Panel-Logit-Modell verwendet (Mehi-
riz et al., 2018, S. 9).

In China verwendeten Li et al. eine weitere Methode. Sie führten eine Basiserhebung zu Wis-
sen, Einstellungen und Praktiken in Bezug auf Hitzewellen und Klimawandel mittels persönli-
cher Befragung durch. Die Interviews fanden zwischen November 2011 und November 2013
in den Pilotgemeinden Harbin, Nanjing, Shenzhen und Chongqing statt. An der Befragung
nahmen 1.604 Personen teil. In den Sommermonaten der Jahre 2013 und 2014 wurden Inter-
ventionsmaßnahmen durchgeführt. Dazu gehörten unter anderem die Bereitstellung von

Frühwarninformationen zu den gesundheitlichen Risiken, die mit Hitzewellen verbunden sind, sowie die Einführung von Maßnahmen zur Gesundheitserziehung und -förderung. Im November 2014 wurde in den gleichen Gemeinden mit dem gleichen Fragebogen und der gleichen Stichprobenmethode wie bei der Basiserhebung eine weitere Befragung durchgeführt, bei der 1.640 Einwohnerinnen und Einwohner befragt wurden. Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests wurden die demografischen Merkmale und das Wissen der Gemeindebewohnerinnen und -bewohner über den Klimawandel vor und nach der Intervention verglichen, und mit Hilfe eines logistischen Mehrebenenmodells mit multiplen Regressionen wurden die Faktoren identifiziert, die für die Wirkung der Intervention von Bedeutung sind (Li et al., 2018, S. 1).

Die Ergebnisse, die mit den verschiedenen Methoden erzielt wurden, werden in den nächsten Abschnitten dargestellt.

4.2 Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme bei der Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität

Mit den beschriebenen Methoden wurden unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen zur Reduktion hitzebedingter Morbidität und Mortalität erzielt. In der folgenden Tabelle werden diese Ergebnisse zunächst in übersichtlicher Form zusammengefasst und im Anschluss daran im Detail beschrieben.

Tabelle 7: Übersicht zu den Ergebnissen bezüglich der Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme bei der Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität

	Methode	Quelle	Ergebnis
1	Vergleichende Analyse	Nitschke et al., 2016	Reduzierung der Nieren- und hitzebedingten Morbidität um 56 % nach Einführung eines HHWS. Kein Unterschied in der Mortalität.
2	Vergleichende Metaanalyse	Weinberger et al., 2018 u. 2021	Kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Hitzewarnungen und Sterblichkeit gefunden.
3	Vergleichende Analyse	Wu et al., 2020	Die Hälfte der hitzebedingten Erkrankungen trat an Tagen auf, an denen die meteorologischen Variablen keine Warnung auslösten.

4	Vergleichende Analyse	Heudorf & Schade, 2014	Reduktion der Übersterblichkeit um mehr als 50 %, nach Einführung von Hitzeaktionsplänen und Hitzewarnungen.
5	Vergleichende Analyse	Heo et al., 2019	Keine Auswirkungen von Hitzewarnungen und Gesundheitsplänen auf die Verringerung der Gesamtmortalität. Hinweise auf Verringerung der Sterblichkeit in verschiedenen Untergruppen.
6	Vergleichende Analyse	Pascal et al. 2021	Die verfügbaren Daten lassen keinen Rückgang der Morbidität und Mortalität erkennen.
7	RCT	Mehiriz et al., 2018	Keine signifikanten statistischen Unterschiede zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Informiertheit.
8	Befragung	Li et al., 2018	Vor der Intervention gaben 70,5 % der Befragten an, sich gut über Hitzewellen informiert zu fühlen, bei der zweiten Befragung nach der Intervention stieg dieser Wert auf 82,9 %.

Beim Vergleich zweier ähnlicher Hitzewellen in der australischen Stadt Adelaide wurde geschätzt, dass es während der Hitzewelle 2014, fünf Jahre nach Einführung eines Hitzewarnsystems, insgesamt 297 (9 %) weniger Krankenwageneinsätze und 207 (59 %) weniger kardiale Krankenwageneinsätze gab als während der Hitzewelle 2009, vor der Einführung eines Warnsystems. Die Notfalleinlieferungen stiegen während der Hitzewelle 2009 an, während 2014 ein signifikanter Rückgang von 3 % zu verzeichnen war, verglichen mit Perioden, in denen keine Hitzewelle herrschte. Die Gesamtzahl der Notfalleinlieferungen wurde 2014 im Vergleich zu den Zeiten ohne Hitzewelle um 440 reduziert, während 2009 ein Überschuss von 302 Fällen geschätzt wurde. In beiden Fällen waren die Konfidenzintervalle breit und die Ergebnisse nicht signifikant. Der Unterschied zwischen den Meldungen von 2009 und 2014 bedeutete eine nicht signifikante Verringerung um 742 Fälle. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte bei den Nierenfällen beobachtet werden. Im Jahr 2009 wurden 125 Nierenfälle mehr geschätzt als erwartet. 2014 waren es 8,7 Fälle weniger. Die Differenz zwischen 2009 und 2014 wird auf 134 (30 %) weniger Nierenerkrankungen geschätzt. Der Überschuss an hitzebedingten Notfalleinweisungen während der Hitzewelle 2014 wurde auf 160 Fälle geschätzt. Dies entspricht etwa der Hälfte des Überschusses von 304 Fällen im Jahr 2009. Die Differenz zwischen den Ereignissen 2009 und 2014 zeigt einen signifikanten Rückgang von 145 (56 %) hitzebedingten Fällen im Vergleich zu den erwarteten Fällen. Bei der Sterblichkeit wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Während der Hitzewelle im Jahr 2009 kam es zu einem Anstieg um

11 % und im Jahr 2014 zu einem statistisch signifikanten Anstieg um 12 %. Die Differenz der Übersterblichkeit von 34,5 Fällen im Jahr 2009 und 38,2 Fällen im Jahr 2014 entspricht einer statistisch nicht signifikanten Differenz von etwa vier zusätzlichen Todesfällen im Jahr 2014 (Nitschke et al., 2016, S. 4–5).

Die Ergebnisse zeigen, dass nach Einführung des Hitzewarnsystems zu einem Rückgang in der Nieren- und hitzebedingten Morbidität gekommen ist. Dies deutet darauf hin, dass Warnungen und Ratschläge, die das Bewusstsein für die von Hitze ausgehende Gefahr stärken, eine effektive Intervention darstellen (Nitschke et al., 2016, S. 8).

Die Analyse von 20 US-amerikanischen Städten mittels einer vergleichenden Metaanalyse mit Zufallseffekten ergab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Hitzewarnungen und Sterblichkeit im Untersuchungszeitraum. Die gepoolte prozentuale Veränderung der Sterblichkeit war mit einem P-Wert von -0,5 % und einem 95 %-Konfidenzintervall von -2,8 bis 1,9 statistisch nicht signifikant (Weinberger et al., 2018, S. 7–8). Der Zusammenhang zwischen Hitzewarnungen und Sterblichkeit war von Stadt zu Stadt unterschiedlich ausgeprägt. In Philadelphia, einer größeren Stadt mit relativ vielen Hitzewarnungen, waren Hitzewarnungen mit einer um 4,4 % [95 % CI: -8,3, -0,3] niedrigeren Sterblichkeitsrate verbunden, was auf einen schützenden Effekt von Hitzewarnungen auf die Sterblichkeit schließen lässt. In anderen Städten wie Phoenix, New York und Dallas, in denen die Schätzungen ähnlich genau waren, konnte der Zusammenhang zwischen Hitzewarnungen und Sterblichkeit jedoch nicht von der Nullhypothese unterschieden werden, so dass kein Zusammenhang bestand.

Die Studie fand keinen Hinweis darauf, dass die von den nationalen Wetterdiensten herausgegebenen Hitzewarnungen in dem untersuchten Zeitraum zu einer Verringerung der Sterblichkeit in den betroffenen Städten geführt haben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Gesundheitsbehörden die Hitzewarnungen bislang nicht ausreichend nutzen, um Hitzeschutzmaßnahmen einzuleiten, und Hitzewarnungen nur dann ihre volle Wirkung entfalten können, wenn sie zu zusätzlichen Schutzmaßnahmen führen (Weinberger et al., 2018, S. 12).

Auch die Nachfolgestudie im Zeitraum 2001-2006 mit einer definierten Zielgruppe fand keine Hinweise darauf, dass Hitzewarnungen mit einem geringeren Sterblichkeitsrisiko verbunden sind. Weinberger et al. fanden in dieser Studie jedoch Hinweise darauf, dass das Risiko von Krankenhauseinweisungen wegen verschiedener hitzebedingter Erkrankungen an Hitzewarntagen erhöht war (Weinberger et al., 2021, S. 7). Insgesamt wurden 92.029 (54,6 %) Hitzewarntage in 2.817 Bezirken mit einem ähnlichen Tag ohne Hitzewarnung abgleichen. Die durchschnittliche Anzahl der erfolgreich abgeglichenen Hitzewarntage in den einzelnen

Bezirken betrug 26 (Spanne: 1 - 148). Der durchschnittliche Prozentsatz der Hitzewarntage mit einer Übereinstimmung in den einzelnen Bezirken lag bei 57 % (Spanne: 12,5 - 100 %). In den 2.817 in die Analyse einbezogenen Bezirken lebten im Jahr 2010 94,0 % der US-Bevölkerung und 93,7 % der US-Bevölkerung im Alter von 65 Jahren und älter. Die Hauptanalysen basieren auf einer Gesamtzahl von 275.653 Todesfällen. Die Gesamtzahl der in die Analysen einbezogenen Krankenhausaufenthalte reichte von 3.780 Krankenhausaufenthalten wegen Hitzschlag bis zu 71.460 Krankenhausaufenthalten wegen Septikämie (Weinberger et al., 2021, S. 4).

Im Gegensatz zur Erwartung zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Hitzewetterwarnungen und der Mortalität (RR: 1,005 [95 % CI: 0,997, 1,013]). Auch ein Zusammenhang zwischen Hitzewarnungen und Einweisungen wegen Sepsis, Diabetes mellitus, peripherer Gefäßerkrankungen, Niereninsuffizienz oder Harnwegsinfektionen konnte nicht nachgewiesen werden. Es zeigte sich jedoch, dass Hitzewarnungen mit einer höheren Rate an Krankenhauseinweisungen wegen Flüssigkeits- und Elektrolytstörungen (RR: 1,040 [95 % CI: 1,015, 1,065]) und Hitzschlag (RR: 1,094 [95 % CI: 1,038, 1,152]) einhergingen. In keinem der Modelle der Hauptanalyse konnte eine Veränderung des Effektmaßes durch die Zeitperiode festgestellt werden (Weinberger et al., 2021, S. 4).

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Hitzewarnungen einen effektiven Beitrag leisten können, um der Zielgruppe 65+ den Zugang zur notwendigen medizinischen Versorgung an gefährlich heißen Tagen zu erleichtern (Weinberger et al., 2021, S. 7).

In der vergleichenden Analyse von fünf verschiedenen Hitzewarnsystemen wurde festgestellt, dass in Shanghai im Vergleichszeitraum 2014-2015 etwa 38,9 % der leichten Erkrankungen, 60,2 % der schweren Erkrankungen und 41,7 % der hitzebedingten Todesfälle an Tagen mit Hitzewarnungen auftraten. Die Hälfte der hitzebedingten Erkrankungen trat also an Tagen auf, an denen die meteorologischen Variablen keine Warnung auslösten. Diese hitzebedingten Erkrankungen und Todesfälle hätten durch eine Herabsetzung der Warnschwellen vermieden werden können. Jedoch zeigten die Ergebnisse, dass 50 % der Hitzepatienten trotz Hitzewarnungen an Symptomen litten (Wu et al., 2020, 2+5).

Der Vergleich der Werte des Cohen's Kappa Koeffizienten zeigt, dass die Hitzewarntage des Shanghai HHWS von allen fünf Systemen die höchste Übereinstimmung mit den Krankheitstagen aufweisen. In Bezug auf das Überlappungsverhältnis (R_i) und das Ablehnungsverhältnis (O_i) erkannte das NOAA-System die meisten Krankheitstage. Seine Warntage deckten 96,4 % der gesamten Krankheitsdatensätze ab, darunter 94,7 % der leichten Erkrankungen, 97,3 % der

schweren Erkrankungen und alle Todesfälle. Die Anzahl der Tage, an denen das NOAA-System Warnungen herausgab, war jedoch wesentlich höher als die Anzahl der Tage, an denen hitzebedingte Erkrankungen auftraten. Diese Diskrepanz lässt sich durch den relativ niedrigen Schwellenwert erklären, der im NOAA-System für die Hitzewarnung verwendet wird (Wu et al., 2020, S. 5).

Insgesamt zeigte der Kappa-Koeffizient für Hitzewarntage und tatsächliche Krankheitstage in Shanghai erhebliche räumliche Unterschiede. Der höchste K-Wert wurde in Qingpul gemessen und lag bei 0,645. Dies deutet darauf hin, dass es eine beträchtliche Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Hitzewarnungen und den negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf lokaler Ebene gab. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass bei der Reaktion der Öffentlichkeit und der lokalen Behörden auf Hitzewarnungen noch Raum für Verbesserungen besteht (Wu et al., 2020, S. 5).

Die Untersuchung von Heudorf & Schade zur Wirkung von Hitzeaktionsplänen und den darin enthaltenen Hitzewarnungen hat gezeigt, dass die Sterblichkeit während der Hitzewelle 2003 in Frankfurt am Main einen Spitzenwert erreichte, der in den Jahren 2004 bis 2011 nach Inkrafttreten der Hitzeaktionspläne nicht wieder erreicht wurde. Im Jahr 2003 lag die allgemeine Übersterblichkeit bei 78 % und bei den über 80-Jährigen bei 113 %. Während der Hitzewelle 2010 wurde eine statistisch signifikante Übersterblichkeit von 23 % für die Gesamtbevölkerung und 38 % für die über 80-Jährigen festgestellt. Bei den anderen Hitzewellen 2006 und 2013 konnte keine signifikante Übersterblichkeit festgestellt werden (Heudorf & Schade, 2014, S. 477).

Heo et al. konnten in ihrer 2019 veröffentlichten Studie keine Auswirkungen von Hitzewarnungen und Gesundheitsplänen auf die Verringerung der Gesamtmortalität in Korea feststellen (Heo et al., 2019, S. 16). Es wurden jedoch Hinweise darauf gefunden, dass Hitzewarnsysteme das Sterberisiko bei Hitzewellen für bestimmte Bevölkerungsgruppen signifikant verringern. Bei Kindern im Alter von 0 - 19 Jahren um - 0,555 Todesfälle je 1.000.000 Einwohner pro Tag [95 % CI: -0,993, -0,117] und Personen ohne Schulbildung im Alter von 19 - 64 Jahren um 0,114 Todesfälle je 1.000.000 Einwohner pro Tag [95 % CI; -0,227, -0,061]. Zudem wurde durch eine Sensitivitätsanalyse mit weniger restriktiven Bedingungen weitere Untergruppen identifiziert, die eine signifikante Verringerung der kardiovaskulären und respiratorischen Sterblichkeit aufzeigen. In der folgenden Tabelle sind die Untergruppen und die errechneten

Effekte, bezogen auf 1.000.000 Einwohner pro Tag, mit den dazugehörigen Konfidenzintervallen, abgebildet (Heo et al., 2019, S. 9).

Tabelle 8: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse von Heo et al. Eigene Darstellung

Personen- gruppe	Effekt kardiovaskuläre Mortalität /1.000.000 Einwohner pro Tag [95 % CI]	Effekt respiratorische Mortalität /1.000.000 Einwohner pro Tag [95 % CI]
Arbeitslose ab 75 Jahren	-5,797 [-10,856, -0. 739]	
Verwitwete ab 75 Jahren	-4,524 [-8,617, -0,431]	
Ohne Schulbil- dung 19 und 64 Jahre	-0,091 [-0,140, -0,042]	
Mit Hochschul- abschluss ab 65 Jahren	-0,612 [-1,140, -0,084]	
Mit Hochschul- abschluss ab 75 Jahren	-1,688 [-3,050, -0,325]	-0,999 [-1,947, -0,050]
0-19 Jahre		-0,090 [-0,128, -0,053]
Verwitwete ab 65 Jahren		-0,310 [-0,526, -0,094]
Alleinstehend ab 65 Jahren		-0,349 [-0,534, -0. 163]
Mit Grund- schulbildung ab 65 Jahren		-0,884 [1,582, -0,185]

Es handelt sich um einen schützenden Effekt für Personen mit Hochschulabschluss im Alter von 65 Jahren und älter sowie für Personen im Alter von 75 Jahren und älter. Die Unterschiede in den geschätzten Effekten der Hitzewellenwarnung zwischen den Altersgruppen sind für diese Reduktionen der Sterblichkeit mit einem Signifikanzniveau von 0,05 signifikant, mit Ausnahme der Schätzungen für das Bildungsniveau (Heo et al., 2019, S. 9).

Im Rahmen der retrospektiven Analyse der Herausforderungen des 2004 eingeführten französischen Hitzealarmplans war eine Bewertung anhand der Auswirkungen auf die Morbidität nur eingeschränkt möglich, da entsprechende Daten vor 2004 nicht verfügbar waren und erst seit

2015 vollständige und stabile Datensätze vorliegen. Die verfügbaren Daten zeigen keinen Rückgang der Morbidität. Auch bei der Mortalität gibt es keine eindeutigen Hinweise auf eine Veränderung nach 2004. Bemerkenswert ist, dass es keine Korrelation zwischen den beobachteten Trends bei Mortalität und Morbidität gibt, was darauf hindeutet, dass diese Indikatoren unterschiedliche Bevölkerungsgruppen und Expositionsmuster repräsentieren. Aufgrund des Mangels an detaillierten Informationen über die auf lokaler Ebene ergriffenen Maßnahmen ist es nur begrenzt möglich, deren Wirksamkeit zu bewerten (Pascal et al., 2021, S. 1692).

Die Rückmeldungen der Akteure des Präventionsplans haben gezeigt, dass die Warnungen rechtzeitig erfolgt sind, und Studien haben gezeigt, dass die Mehrheit der Bevölkerung einige der Empfehlungen kennt und befolgt. Trotzdem ist die individuelle Risikowahrnehmung weiterhin gering und Empfehlungen wie die Reduzierung der körperlichen Aktivität werden nach wie vor kaum befolgt. Das Handeln richtet sich eher nach dem persönlichen Hitzeempfinden als nach Hitzewarnungen, denn durch die Verzögerung bei der Bekanntgabe von Todesfällen wird die Gefahr nicht unmittelbar wahrgenommen. Die Auswirkungen sind nicht klar oder werden auf das Jahr 2003 bezogen, was die Wahrnehmung verzerrt und Sicherheit und Wirksamkeit suggeriert (Pascal et al., 2021, S. 1692).

In der randomisierten kontrollierten Studie von Mehiriz et al. zur Wirksamkeit des telefonischen Frühwarn- und Beratungssystems Téléphone Santé ergab ein zweiseitiger Z-Test der Anteile keine signifikanten statistischen Unterschiede zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Informiertheit (Mehiriz et al., 2018, S. 6). Die Warnung scheint also keinen Einfluss drauf gehabt zu haben, ob die Teilnehmenden über die bevorstehende Hitzeperiode informiert waren. Die Mitglieder der Versuchsgruppe nannten jedoch mit höherer Wahrscheinlichkeit die empfohlenen Verhaltensweisen als besten Schutz vor Hitze. Sie nannten im Durchschnitt 2,3 der 7 empfohlenen Maßnahmen gegenüber 2,1 in der Kontrollgruppe ($p = 0,02$) (Mehiriz et al., 2018, S. 8). Die Behandlungsgruppe erhöhte mit größerer Wahrscheinlichkeit ihren Trinkwasserkonsum als die Kontrollgruppe (4,19 gegenüber 4,04, $p = 0,02$) und duschte oder badet kühl (81,4 % gegenüber 73,6 %, $p = 0,04$). Außerdem gingen die Mitglieder der Interventionsgruppe während der Hitzeperiode seltener ins Freie als die Mitglieder der Kontrollgruppe (62 % gegenüber 70,3 %, $p = 0,05$). In Bezug auf die Zeit, die in kühlen oder klimatisierten Räumen verbracht wird, sowie auf die Verwendung von Ventilatoren und Klimaanlage deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Exposition gegenüber Hitzewarnungen, nach Bereinigung um vorbestehende Unterschiede, keinen Einfluss auf das Verhalten und die Nutzungshäufigkeit hat (Mehiriz et al., 2018, S. 9).

Die Untersuchung von Li et al. kam zu dem statistisch signifikanten Ergebnis, dass sich die befragten Bewohner nach der Intervention besser über Hitzewellen informiert fühlten. Vor der Intervention gaben 70,5 % der Befragten an, sich gut über Hitzewellen informiert zu fühlen, bei der zweiten Befragung nach der Intervention stieg dieser Wert auf 82,9 %. Der Anteil der Bewohnerinnen und Bewohner, die sich Frühwarninformationen wünschten, stieg um 6,3 % und lag nach der Intervention bei 94,6 % im Vergleich zu 88,3 % bei der ersten Befragung. Sowohl die Frühwarnung vor Gesundheitsrisiken bei Hitzewellen als auch die Gesundheitserziehung hatten große Auswirkungen auf die Bewohner. Von den 1.192 Einwohnern, die die Frühwarninformationen erhalten hatten, waren 92,7 % der Meinung, dass sie ihre Arbeits- und Ruhezeiten entsprechend den Frühwarninformationen einteilten. Von den 1.323 Einwohnern, die die in der Gemeinde durchgeführten Aktivitäten zur Gesundheitserziehung kannten, waren 93,0 % der Meinung, dass die Aktivitäten zur Gesundheitserziehung in der Gemeinde eine aktive Rolle beim Schutz der Gesundheit vor Hitzewellen gespielt hatten. Personen mit einem Hochschulabschluss oder höher hatten in allen Städten bessere Kenntnisse über Einstellungen und Verhaltensweisen in Bezug auf Hitzewellen als Personen mit einem niedrigeren Bildungsniveau. Regelmäßige körperliche Aktivität war ebenfalls in allen Städten mit einem besseren Wissen über Hitzewellen verbunden.

Insgesamt stuften Li et al. Frühwarnung und Gesundheitserziehung als wirksame Maßnahmen ein, um die Reaktionsfähigkeit der Bewohner auf den Klimawandel zu verbessern (Li et al., 2018).

Insgesamt konnte in jeweils einer der analysierten Studien eine signifikante Reduktion von Morbidität und Mortalität durch die Einführung von Hitzewarnsystemen festgestellt werden. Eine weitere Studie zeigt eine signifikante Mortalitätsreduktion für einzelne Subgruppen. Im Gegensatz dazu konnte in den drei weiteren Studien keine signifikante Reduktion der Mortalität und Morbidität durch die Einführung von Hitzewarnsystemen festgestellt werden. Im Rahmen der RCT und der Befragung wurden keine Ergebnisse zu Morbidität und Mortalität erhoben. Erfasst wurde der Grad der Informiertheit. Im RCT konnte kein Unterschied zwischen der behandelten und der Kontrollgruppe festgestellt werden. Die Befragung ergab jedoch einen Anstieg um 12,4 %.

Die Ergebnisse zeigen, dass hinsichtlich der Effektivität von Hitzewarnsystemen Optimierungsbedarf besteht. Folglich werden im nächsten Abschnitt die Handlungsempfehlungen vorgestellt, die aus den analysierten Studien hervorgehen.

4.3 Optimierung von Hitzewarnsystemen

Die unterschiedlichen Untersuchungen zur Effektivität von Hitzewarnsystemen haben verdeutlicht, dass es bereits effektive Systeme gibt, aber viele Systeme bisher nicht ihr Ziel erreichen und somit optimiert werden sollten. Die von den Autoren herausgearbeiteten Verbesserungsvorschläge sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst und werden anschließend etwas genauer beschreiben.

Tabelle 9: Verbesserungsvorschläge aus den analysierten Studien

Verbesserungsvorschläge	Quelle
Schwellenwerte anpassen <ul style="list-style-type: none"> - Auf Grundlage historischer Morbiditäts- und Mortalitätsdaten - Morbidität und Mortalität kombinieren - Monatsspezifisch - WBGT als Grundlage - Vereinheitlichen 	Wu et al., 2020, S. 9 Chae & Park, 2021, S. 9 Issa et al., 2021, S. 11 Lung et al., 2021, S. 17 Kanti et al., 2022 Pascal et al. 2021
Einheitliche Definition von Hitzewellen	Kanti et al., 2022 Pascal et al. 2021
Verwendung von Daten des Gesundheitsmonitorings als Grundlage für Warnungen zusätzlich zu den meteorologischen Daten	Pascal et al. 2021
Schnellere Verfügbarkeit und Verbreitung von Schlüsseldaten	Pascal et al. 2021
Warnstufen basierend auf Intensität	Ragetti et al., 2023, 12f
Ortsspezifischen Hitzestresswarnungen für Städte herausgeben und gefühlte Temperatur berücksichtigen	Jänicke et al., 2020, S. 1204 Matzarakis et al., 2020

Bewusstsein in der Bevölkerung verbessern durch Aufklärung über von Hitze ausgehenden Gesundheitsrisiken und Präventionsmaßnahmen	Wu et al., 2020 Li et al., 2018
Personalisierte Warnungen <ul style="list-style-type: none"> - umgebungstemperaturbezogen - tätigkeitsbezogen - risikogruppenbezogen - gezielt per Telefon 	Oetomo et al., 2022, 6 Grifoni et al., 2021 Matzarakis et al., 2020, S. 1011 Nitschke et al., 2016 Mehriz et al., 2018
politische Unterstützung Gewinnen	Wu et al., 2020
Einbindung von Hitzewarnsystemen in Hitzeaktionspläne	Grewe et al., 2014, S. 486 Matzarakis et al., 2020 Nitschke et al., 2016
Kontinuierliche Evaluation, Weiterentwicklung und Anpassung von Hitzewarnsystemen	Nitschke et al., 2016 Wu et al., 2020

Wu et al. empfehlen, die Schwellenwerte bestehender Hitzewarnsysteme anzupassen, indem historische Morbiditäts- und Mortalitätsdaten zugrunde gelegt werden (Wu et al., 2020, S. 9). Die Ergebnisse von Chae & Park deuten darauf hin, dass Hitzewarnsysteme nur dann zur Verringerung von Krankenhauseinweisungen und Todesfällen beitragen können, wenn die Schwellenwerte für Morbidität und Mortalität kombiniert werden. Die Kombination von Morbiditäts- und Mortalitätsschwellen zeigte eine bessere Leistung als eine einzelne Schwellentemperaturen. Daher ist es möglich, die Wirksamkeit des Warnsystems durch die Verknüpfung von Schwellenwerten auf der Grundlage epidemiologischer Studien zur Morbidität und Mortalität zu verbessern (Chae & Park, 2021, S. 9).

Eine in Québec entwickelte Methode zur Optimierung von Hitzewarnsystemen umfasst auch die Anpassung von Schwellenwerten. Die Methode verwendet meteorologische Höchst- und Tiefsttemperaturen und beinhaltet Schwellenwerte für jeden Monat, um eine bessere Berücksichtigung der Akklimatisierung und jahreszeitlichen Schwankungen zu gewährleisten. Im April liegen die Schwellenwerte für Tmax bei 23 °C und für Tmin bei 12 °C. Im Juli erreichen sie

32 °C und 21 °C und im Oktober sinken sie auf 25 °C und 13 °C. Eine mögliche Verbesserung des Systems könnte durch die Einbeziehung weiterer gesundheitlicher Auswirkungen wie beispielsweise Krankenhauseinweisungen erreicht werden (Issa et al., 2021, S. 11). Auch die Analyse von Lung et al. der meteorologischen und gesundheitlichen Daten Taiwans über einen Zeitraum von 18 Jahren führt zu dem Schluss, dass die Anpassung von Schwellenwerten die Warnsysteme verbessert und somit zum besseren Schutz gefährdeter Bevölkerungsgruppen beiträgt. Insbesondere beziehen sie sich auf die Schwellenwerte der Wet-bulb globe temperature, die für die Berechnung von Hitzestress maßgeblich sind (Lung et al., 2021, S. 17).

Eine weitere Vergleichsanalyse von Hitzebedingungen und -folgen in verschiedenen französischen Regionen hat einheitliche Definitionen sowie klar definierte Schwellenwerte als Verbesserungsmöglichkeit für Warnsysteme identifiziert. Nach Kanti et al. ist die Identifizierung der extremen Hitzebedingungen, die in einem bestimmten geografischen Kontext die größte gesundheitliche Belastung verursachen, besonders nützlich für die Entwicklung oder Aktualisierung von Hitzefrühwarnsystemen (Kanti et al., 2022). Pascal et al. betonen ebenfalls, dass eine objektive Definition von Hitzewellen und Messgrößen von großer Bedeutung ist, um eine Risikowahrnehmung und Entscheidungsfindung zu fördern. Primär sollten diese Definitionen zeitlich und räumlich vergleichbar sowie einfach zu berechnen sein, um für ein breites Spektrum von Akteuren verständlich zu sein. Eine Konvergenz der verschiedenen Ansätze zur Berechnung von Schwellenwerten unter Berücksichtigung der Charakteristika der jüngsten Hitzewellen ist dringend erforderlich, um effiziente, flexible und akzeptable Warnsysteme zu entwickeln. Dazu ist eine Aufstockung der Ressourcen für die Bewertung und das Management von Wärmeüberwachung, Prävention und Anpassung erforderlich (Pascal et al., 2021, S. 1692). Ferner wurde festgestellt, dass Epidemiologen empfehlen, Gesundheitsmonitoring-Daten neben meteorologischen Daten als Grundlage für Warnungen zu nutzen (Pascal et al., 2021, S. 1689) Sie haben herausgefunden, dass Epidemiologen empfehlen, neben meteorologischen Daten auch Gesundheitsmonitoring-Daten als Grundlage für Warnungen zu nutzen. In Frankreich kommt hinzu, dass wichtige Daten, wie z. B. die Todesursachen, nur verzögert verfügbar sind, was sich sehr nachteilig auswirkt. Es kann bis zu vier Jahre dauern, um auf diese Daten zugreifen zu können, was angesichts der Geschwindigkeit, mit der aktuelle Umwelttrends verlaufen, nachteilig ist und optimiert werden muss (Pascal et al., 2021, S. 1692)

Verbesserungspotenzial wurde auch bei den Warnstufen festgestellt. In der Schweiz führte eine systematische Analyse von Hitzeindikatoren in Bezug auf die Sterblichkeit zu dem Ergebnis, dass die Intensität einer Hitzewelle einen größeren Einfluss auf die Sterblichkeit hat als die

Dauer der Hitzewelle. Daher wird empfohlen, die verschiedenen Stufen des Hitzewarnsystems anhand der Intensität und nicht anhand der Dauer einer Hitzewelle zu definieren (Ragetti et al., 2023, 12f).

Standortbezogene Hitzestresswarnungen können ebenfalls zur Verbesserung von Hitzewarnsystemen beitragen. In Soul wurde eine Methode zur Ableitung einer einfachen, hochaufgelösten Hitzestress-Vorhersage entwickelt. Hierbei werden durchschnittliche Hitzetage mit aktuellen Temperaturen aus Vorhersagemodellen kombiniert. Dies kann Meteorologinnen und Meteorologen helfen, ortsspezifische Hitzebelastungswarnungen herauszugeben (Jänicke et al., 2020, S. 1204). Auch eine Analyse von Wetterdaten aus Freiburg Stadt und Umland hat gezeigt, dass zusätzliche Faktoren notwendig sind, um die negativen Auswirkungen von Hitze zu quantifizieren, welche Hitzestress beschreiben und steuern. Ein Vergleich der Luft- und Gefühlstemperaturen von Stadt- und Landregionen bietet eine vielversprechende Möglichkeit, Hitze zu messen. Um Warnsysteme zu verbessern, sollten diese Faktoren bei der Berücksichtigung einbezogen werden

Potenziale zur Steigerung der Effektivität von Hitzewarnsystemen werden auch im Bereich der Gesundheitsaufklärung gesehen. Zur besseren Vorbereitung der Bevölkerung auf den Klimawandel wird sie als wirksame Maßnahme eingeschätzt. Die Studie von Li et al. betont die Relevanz der Akzeptanz von HHWS und entsprechend der Aufklärung (Li et al., 2018). Auch Wu et al. empfehlen, das Bewusstsein und die Notfallkenntnisse der lokalen Bevölkerung zu verbessern und die politische Unterstützung von Entscheidungsträgern zu gewinnen (Wu et al., 2020, S. 9).

Die Personalisierung von Hitzewarnungen kann deren Wirksamkeit ebenfalls verbessern. Die persönlichen Warnungen können sich zum Beispiel auf aktuelle Innentemperaturen beziehen. Forscherinnen und Forscher in Quebec stellten fest, dass die derzeitigen Hitzewarn- und Reaktionssysteme auf meteorologischen Außendaten basieren und die Innentemperaturen nicht berücksichtigen. Mit Hilfe intelligenter Thermometer verglichen sie im Sommer 2018 die Innentemperaturen von 768 Haushalten mit und ohne Klimaanlage. Da es im Sommer 2018 nur sechs offizielle Hitzetage gab, waren die Vergleichsdaten begrenzt. Dennoch konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Innentemperaturen von nicht klimatisierten und klimatisierten Häusern festgestellt werden ($P < 001$). Während der offiziellen Hitzewelle vom 30. Juni bis 5. Juli 2018 blieben die Innentemperaturen in klimatisierten Wohnungen mit einer Durchschnittstemperatur von 22,3 °C stabil. In mehreren nicht klimatisierten Wohnungen wurden über einen Zeitraum von mehreren Stunden Innentemperaturen zwischen 27 °C und 32 °C

gemessen, was über dem in vielen gesundheitspolitischen Dokumenten empfohlenen sicheren Grenzwert von 26 °C liegt. Die Smart-Home-Technologie war in der Lage, kontinuierlich Temperaturdaten zu erfassen, die es ermöglichten, Häuser zu identifizieren, in denen die Innentemperaturen über dem Idealwert lagen. Diese Technologie ermöglicht es lokalen Behörden, hyperlokale Hitzewarn- und Reaktionssysteme in Echtzeit zu entwickeln, um die Gesundheit zu schützen. Die Forscherinnen und Forscher empfehlen daher, die Daten von intelligenten Thermostatsystemen zur Überwachung von Hitzewellen im privaten und öffentlichen Raum zu nutzen und ältere Gebäude nachzurüsten. Insbesondere Schulen, Krankenhäusern und Einrichtungen der Langzeitpflege, um vor allem für vulnerable Personengruppen gesundheitsförderliche Innenraumtemperaturen zu gewährleisten (Oetomo et al., 2022, S. 6).

Eine weitere Möglichkeit, Hitzewarnungen zu personalisieren, sind berufs- und tätigkeitsbezogene Warnungen. In Italien wurde dazu das Projekt WORKCLIMATE durchgeführt. Eine experimentelle, hochauflösende Web-Vorhersageplattform, die unter www.workclimate.it zugänglich ist, und eine mobile Web-Anwendung zeigen das persönliche Risiko für Hitzestress auf der Grundlage der Merkmale des Arbeitnehmers und der Arbeitsumgebung an. Durch spezifische und detaillierte Warnungen, die auf einem Hitzestress-Indikator, dem WBGT, basieren, wird ein personalisiertes Hitzewarnsystem bereitgestellt, das für Beschäftigte und verschiedene Interessengruppen nützlich ist. Es bietet detaillierte tägliche Informationen und Vorhersagen für bis zu fünf Tage über das persönliche Hitzerrisiko und Verhaltensempfehlungen. Die Empfehlungen berücksichtigen auch das Vorhandensein individueller Vulnerabilitäts- oder Anfälligkeitsfaktoren (Grifoni et al., 2021, S. 3). Erste Erfolge haben dazu geführt, dass ein erster experimenteller Prototyp des Systems bereits online verfügbar ist. In Zukunft könnten weitere Verbesserungen in der meteorologischen Modellierung, einschließlich der Erhöhung der räumlichen Auflösung, die Vorhersagen insbesondere in Gebieten mit komplexer Topografie deutlich verbessern (Grifoni et al., 2021, S. 17).

Matzarakis et al. schlagen zur Verbesserung der Effektivität von Hitzewarnsystemen risikogruppenspezifische Warnungen vor, die mit entsprechenden Maßnahmen im Rahmen von Hitzeaktionsplänen verknüpft werden. (Matzarakis et al., 2020, S. 1011). Telefonische Hitzewarnungen stellen eine weitere Möglichkeit dar, um Untergruppen, die durch Hitze besonders gefährdet sind, gezielt zu warnen, wie die Studie von Mehriz et al. zeigt. Die Warnungen werden personalisiert und erinnern die Nutzer an übliche Präventionsmaßnahmen. Somit stellen telefonische Hitzewarnungen eine sinnvolle Ergänzung zu den bereits existierenden allgemeinen Hitzewarnungen und -hinweisen dar (Mehriz et al., 2018, S. 10).

Da die Langzeitprognosen nach Hitzestress und Hitzschlag vor allem für ältere Menschen schlecht sind, empfehlen Nitschke et al. eine bessere Kommunikation mit gefährdeten Gruppen, um die Hitzebelastung zu reduzieren, sowie gezielte Präventionsmaßnahmen. Letztere sind auch für die breite Bevölkerung von Nutzen, da jeder potenziell gefährdet ist. Generell empfehlen sie, die Evaluierung von Maßnahmen als iterativen Prozess zu verstehen, der kontinuierlich parallel zur Feinabstimmung von Interventionsmaßnahmen auf der Grundlage evidenzbasierter Forschung stattfindet (Nitschke et al., 2016, S. 8).

Wu et al. schlagen auch vor, die Auswirkungen von Hitzewellen auf verschiedene Merkmale der Bevölkerung wie Geschlecht, Aktivität und Alter weiter zu untersuchen, um die körperliche Anpassungsfähigkeit zu berücksichtigen (Wu et al., 2020, S. 9).

Eine Möglichkeit, eine Verbindung zwischen Hitzewarnungen und Maßnahmen herzustellen, ist die Erstellung von Hitzeaktionsplänen. Hier werden Hitzewarnungen systematisch in einen Maßnahmenplan integriert. Nachfolgend wird ein Good-Practice-Beispiel aus Italien dargestellt.

Tabelle 10: Gestuftes Vorgehen, Hitzeaktionsplan Italien. Eigene Darstellung nach (Grewe et al., 2014, S. 486)

Individuelle Gefährdung				
		Niedrig (≤75 Jahre, soziale Isolation)	Mittel (≤75 Jahre, soziale Isolation, Komorbidität)	Hoch (≤80 Jahre, mehr als ein Krankenhausaufenthalt im letzten Jahr, soziale Isolation)
Warnstufe	1	Plan A - Kontakt 2-mal/ Woche - 1-mal/Woche Gesundheitsscheck	Plan B - Kontakt alle 2 Tage - 1-mal/Woche Gesundheitsscheck	Plan C - Kontakt täglich - 1-mal/Woche Gesundheitsscheck
	2 Hitzewarnung via Radio/TV	Plan D - Kontakt täglich - für Trinkwasser sorgen - Empfehlungen: Alkohol meiden, kühle Orte aufsuchen	Plan E - wie Plan D - Medikationsüberprüfung	Plan F - wie Plan E - Klimageräte installieren
	3 Hitzewarnung via Radio/TV alle 3 h	Plan G - wie Plan F - ggf. klimatisierten Transport an kühlen Ort - enger Arztkontakt	Plan H - wie Plan G - ggf. häusliche Pflege	Plan I - wie Plan H - umgehende Unterbringung an kühlem Ort

Im Stufenplan des italienischen Gesundheitsministeriums sind die Häufigkeit und das Medium der Warnung festgelegt. Außerdem werden die Maßnahmen für die verschiedenen definierten Risikogruppen festgelegt. Der Plan ist beispielhaft für die Vorgaben bzw. Empfehlungen in anderen nationalen Hitzeaktionsplänen. Neben Sozialdiensten und Hilfsorganisationen sind Hausärzte und Pflegepersonal die wichtigsten Adressaten solcher Pläne. Krankenhäuser und Pflegeheime werden gesondert angesprochen (Grewe et al., 2014, S. 486).

5 Diskussion

Die Ergebnisse der Literaturanalyse werden in diesem Kapitel zunächst zusammengefasst. Es folgt eine Diskussion des methodologischen Vorgehens und der erzielten Ergebnisse vor dem Hintergrund der Zielsetzung in Bezug zum theoretischen Hintergrund. Abschließend werden Ansätze für weiterführende Untersuchungen aufgezeigt.

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es konnten acht Studien identifiziert werden, in den die Effektivität von Hitzewarnsystemen untersucht wurde. Die vergleichende Analyse erwies sich als die am häufigsten angewendete Methode. Die Studien verwendeten verschiedene Ansätze, um die Effektivität der Hitzewarnsysteme zu bewerten. Einige verglichen die Morbidität und Mortalität während Hitzewellen vor und nach der Einführung von Hitzewarnsystemen, während andere die Anzahl der Todesfälle oder Einweisungen an Tagen mit und ohne Hitzewarnungen verglichen. Es wurden auch statistische Analysen von Mortalitäts- und Wetterdaten durchgeführt sowie retrospektive Analysen auf der Grundlage von Umwelt- und Gesundheitsdaten durchgeführt.

Die Unterschiede in den angewandten Methoden spiegeln sich auch in den Ergebnissen wider. Die Ergebnisse der Studien sind uneinheitlich und es existiert kein eindeutiger Konsens bezüglich der Effektivität von Hitzewarnsystemen. Eine Studie ergab, dass die Einführung eines Hitzewarnsystems zu einer signifikanten Verringerung der hitzeassoziierten Erkrankungen führt, jedoch keinen Einfluss auf die Sterblichkeit hat. In anderen vergleichenden Analysen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Hitzewarnungen und Sterblichkeit festgestellt werden. Es wurden jedoch Anhaltspunkte für eine Verringerung der Morbidität in bestimmten Personengruppen und auf lokaler Ebene gefunden, sowie eine Verringerung der Übersterblichkeit nach Einführung eines Hitzeaktionsplans. Nach der Einführung von Hitzewarnungen wurde eine signifikante Steigerung der Informiertheit über Hitze und Gesundheit sowie ein Anstieg der Krankenhauseinweisungen aufgrund von Flüssigkeits- und Elektrolytstörungen sowie Hitzeschlag beobachtet.

Die untersuchten Hitzewarnsysteme zeigen Verbesserungspotenzial auf. Die vorgeschlagenen Maßnahmen beinhalten die Anpassung von Schwellenwerten an historische Gesundheitsdaten, eine einheitliche Definition von Hitzewellen, die Integration von Gesundheitsmonitoring-Daten in Warnungen, sowie ortsspezifische und personalisierte Hitzewarnungen. Weiterhin wird die Notwendigkeit politischer Unterstützung betont, sowie die Einbindung in Hitzeaktionspläne und eine kontinuierliche Evaluation und Anpassung der Warnsysteme. Besonders

hervorgehoben wird die Bedeutung der Aufklärung über Gesundheitsrisiken von Hitze sowie die gezielte Kommunikation mit vulnerablen Gruppen. Insgesamt wird die Integration verschiedener Datenquellen und die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten als entscheidend für die Entwicklung effektiver Hitzewarnsysteme betont.

5.2 Diskussion der Methodik

Die Methode ist in Bezug auf die erzielten Ergebnisse kritisch zu diskutieren. Insgesamt scheint die Methode der Literaturanalyse zur Beantwortung der Forschungsfrage im Rahmen dieser Abschlussarbeit passend und geeignet zu sein. Dennoch könnte eine kritische Reflexion über alternative methodische Ansätze und die mögliche Integration verschiedener Methoden oder Datenquellen möglicherweise dazu beitragen, die Validität und Vollständigkeit der Ergebnisse zu verbessern. Eine erweiterte methodologische Perspektive könnte dazu beitragen, verschiedene Facetten der Forschungsfrage umfassender zu betrachten.

Die Fragestellungen und Suchstrategien für die Literaturanalyse wurden allgemein formuliert. Dies hat zu einer großen Anzahl von Treffern und somit zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit, dass relevanten Quellen übersehen wurden, geführt. Allerdings hätte eine präzisere Formulierung der Fragestellungen, beispielsweise durch die Eingrenzung auf eine bestimmte Art von Hitzewarnsystemen, und eine entsprechende Erweiterung der Suchbegriffe dazu beigetragen, die Relevanz und Genauigkeit der Ergebnisse zu steigern.

Für die Literaturrecherche wurden lediglich zwei Datenbanken genutzt. Dies scheint angemessen im Rahmen dieser Abschlussarbeit, jedoch könnte eine umfangreichere Suche in anderen Datenbanken möglicherweise zu genaueren und umfassenderen Ergebnissen führen.

Kritisch anzumerken ist auch die mangelnde Untersuchung und Bewertung der Qualität der einbezogenen Studien. Eine systematische Beurteilung der Qualität der Studien, unter Einbeziehung von Kriterien wie Studiendesign, Stichprobenumfang und methodischem Ansatz, könnte die Validität der Ergebnisse erhöhen und das Risiko von Verzerrungen minimieren.

Ein weiterer Kritikpunkt besteht darin, dass die Forschungsarbeit von einer einzelnen Person durchgeführt wurde und es keine Zusammenarbeit im Team gab. Dies könnte zu einer stärkeren Beeinflussung durch persönliche Präferenzen und zu einer möglichen Beeinträchtigung der Objektivität geführt haben. Eine Zusammenarbeit in einem Team und regelmäßige Diskussionen könnten jedoch dazu beitragen, verschiedene Perspektiven zu integrieren und die Qualität der Forschungsarbeit zu verbessern.

Die ausführliche Dokumentation der durchgeführten Literaturanalyse sorgt für hohe Transparenz. Auf diese Weise wird eine transparente Darstellung ermöglicht, welche andere Forschende in die Lage versetzt, den Forschungsprozess nachzuvollziehen und die Validität der Schlussfolgerungen besser einzuschätzen. Eine ausführliche Dokumentation unterstützt die Reproduzierbarkeit der Studie und ermöglicht eine genauere Bewertung möglicher Limitationen und Einflüsse auf die Ergebnisse. Dadurch werden die Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Forschungsarbeit gestärkt.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

Die erhaltenen Ergebnisse liefern teilweise Antworten auf die im Rahmen der Forschung formulierten Fragen, bleiben jedoch allgemein und oberflächlich. Die Warnsysteme der verschiedenen Länder waren ebenso vielfältig wie die Methoden, mit denen sie untersucht wurden. Diese Vielfalt spiegelt sich ebenfalls in den Ergebnissen wider.

Die erste Forschungsfrage, die die Überprüfung und Messung der Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme betrifft, konnte anhand der angewendeten Methode und der erzielten Ergebnisse beantwortet werden, da wissenschaftliche Veröffentlichungen immer eine Beschreibung des methodischen Vorgehens enthalten. Die zweite Forschungsfrage zur Effektivität etablierter Hitzewarnsysteme bei der Reduzierung hitzebedingter Morbidität und Mortalität konnte nicht eindeutig und für alle Systeme gleichermaßen beantwortet werden. Die Wirksamkeit ist nur für bestimmte Hitzewarnsysteme nachweisbar. Die dritte Forschungsfrage, wie die Effektivität vorhandener und neu eingeführter Hitzewarnsystemen gesteigert werden kann, lässt sich auch mit den vorhandenen Ergebnissen beantworten, da die analysierten Forschungsarbeiten in Diskussion und Fazit, in der Regel, Empfehlungen und Verbesserungsvorschläge enthalten.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Schutz der Bevölkerung vor den gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze eine komplexe Herausforderung darstellt, die eine ganzheitliche und anpassungsfähige Public-Health-Strategie erfordert. Entwicklung und Umsetzung wirksamer Schutzmaßnahmen bedürfen einer engen Zusammenarbeit verschiedener politischer und gesundheitspolitischer Akteure. Dies kann durch Hitzeaktionspläne unterstützt werden. Diese Forschungsarbeit befasst sich mit einem Bestandteil von Hitzeaktionsplänen, den Hitzewarnsystemen. Damit wurde das Thema eingegrenzt. Die Untersuchung einer einzelnen Maßnahme erscheint im Rahmen dieser Thesis sinnvoll. In der Praxis erscheint es sinnvoller, die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen auf den vom Schweizerischen Tropen- und Public Health-Institut entwickelten drei Ebenen Bildung, Sofortmaßnahmen und langfristige

Anpassungsmaßnahmen zu untersuchen. Dazu bietet es sich an, die Wirksamkeit von Hitzeaktionsplänen zu untersuchen. Eine Eingrenzung auf einzelne Hitzeaktionspläne, die miteinander verglichen werden, erscheint vor dem Hintergrund der Ergebnisse zielführender.

Ein weiterer Punkt, der im Zusammenhang von Hitzewarnsystemen und Hitzeaktionsplänen diskutiert werden sollte, sind die Kaskadenkrisen (Pascal et al., 2021, S. 1692). Diese ergeben sich beispielsweise aus dem gemeinsamen Auftreten von Hitze und Waldbränden. Derartige Krisen bedürfen umfassender Systeme und Aktionspläne, die den Schutz vor Hitze im Zusammenhang mit andern große Gesundheitsrisiken wie Waldbränden, Luftverschmutzung oder Pandemien regeln.

Die Festlegung von Warnschwellen ist ein wichtiger und komplexer Prozess, der auch diskutiert werden sollte. Die historischen Daten, die zur Bestimmung Schwellenwerte für Hitzewarnungen verwendet werden, sind für die Leistungsfähigkeit des Systems entscheidend. Bei der Analyse unterschiedlicher Hitzewarnsysteme in Shanghai traten 96,4 % der hitzebedingten Erkrankungen an Tagen mit Hitzewarnungen des NOAA-Systems auf, während es beim GB-System nur 29,5 % waren. Diese Diskrepanz ist auf den niedrigen Schwellenwert des NOAA-Systems zurückzuführen. Dieser zielt darauf ab, das allgemeine Bewusstsein zu schärfen und für die potenzielle Gefahr von Hitze für die menschliche Gesundheit zu sensibilisieren. Dieser Ansatz führt dazu, dass die Warnhäufigkeit des NOAA-Systems 15-mal höher ist als die des GB, und die Mehrzahl der Warntage keine Krankheitsdaten aufweist. Ein niedriger Schwellenwert führt demnach zu einer allgemeinen Erhöhung der Warnhäufigkeit. Für tatsächliche Risikotage ebenso wie für Fehlwarnungen. Dies führt zu einer Erhöhung der sozioökonomischen Kosten und kann zu einer verringerten Risikowahrnehmung beitragen (Wu et al., 2020, S. 5–6).

Im Jahr 2019 wurden in Frankreich aufgrund von Hitzewarnungen Schutzmaßnahmen getroffen, die zu Einschränkungen von Aktivitäten und Absagen von Veranstaltungen führten. Solche Präventionsmaßnahmen sind mit hohen sozialen und öffentlichen Kosten verbunden. Es ist fraglich, ob solche Schutzmaßnahmen im Falle einer lang anhaltenden Hitzewelle wirksam sind und auf Akzeptanz stoßen (Pascal et al., 2021, S. 1692). Die Glaubwürdigkeit und Akzeptanz der Informationsquelle sind entscheidend für die Bereitschaft und Risikotoleranz gefährdeter Personen (WMO, o.J.–b). Entscheidungsträger aus der Politik und Public Health Akteure stehen vor der Herausforderung auf der einen Seite, die Bevölkerung ausreichend zu schützen und auf der anderen Seite nur Maßnahmen zu ergreifen, die gerechtfertigt sind und Kosten und Einschränkungen auf einem nachvollziehbaren und akzeptierten Niveau halten.

Es wurden auch zwei Studien mit aufgenommen, welche die Effektivität von Hitzewarnsystemen untersuchen, aber nicht die Reduzierung der Morbidität und Mortalität. Da sie wichtige Erkenntnisse zur Effektivität von Hitzewarnsystemen liefern und interessante methodische Ansätze haben.

Die Stärke der vorliegenden Arbeit liegt vor allem in der systematischen Vorgehensweise sowie deren nachvollziehbaren Dokumentation. Die Durchführung der systematischen Recherche wurde detailliert beschrieben und dokumentiert. Dabei wurde auf wesentliche Aspekte wie verwendete Datenbanken, Suchbegriffe, Suchstrings sowie Ein- und Ausschlusskriterien eingegangen. Die Vorgehensweise bei der Sichtung und Auswahl sowie die Aufbereitung und Analyse der einbezogenen Literatur wurden ebenfalls beschrieben.

Durch die Arbeit mit Übersetzungsprogrammen, aufgrund unzureichender Sprachkenntnisse, ist es möglicherweise zu einer Verzerrung der Ergebnisse gekommen.

Auf der Grundlage der Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse sowie der Darstellung der Grenzen und Stärken dieser Forschungsarbeit wurden zukünftige Forschungsthemen identifiziert. Eins davon sind der Wärmeinseleffekt und regionale Unterschiede. Diese sollten weiter erforscht und die Ergebnisse für die Optimierung von Hitzewarnsystemen genutzt werden. Ein weiteres Thema, welchem die Forschung noch mehr Beachtung schenken könnte, sind Innentemperaturen. Auf diesem Gebiet gab es bisher nur wenige Untersuchungen, da diese kostspielig und zeitaufwendig sind. Die Studie von Oetomo et al. ist eine der ersten, die Daten von intelligenten Innenraumthermostaten verwendet hat, um extreme Hitzeereignisse in Kanada zu untersuchen (Oetomo et al., 2022, 6). Auch die kontinuierliche Evaluation bereits bestehender Hitzewarnsysteme und weiterer durchgeführter Hitzeschutzmaßnahmen würde Informationen liefern, die zu Optimierung der Systeme und Maßnahmen und somit zu einer Verbesserung der Wirksamkeit beitragen. Da es Personengruppen gibt, die vulnerabel gegenüber Hitze sind und einen besonderen Schutz benötigen, sollte genauer erforscht werden, welche Schutzmaßnahmen diese Personengruppen am effektivsten erreichen.

Aus der Diskussion der Ergebnisse lassen sich Handlungsempfehlungen für die Optimierung von Hitzewarnsystemen und Hitzeschutzmaßnahmen allgemein ableiten. Dies werden im nächsten Kapitel dargestellt.

6 Handlungsempfehlungen

Die hier aufgeführten Handlungsempfehlungen für die Verbesserung von Hitzewarnsystemen und Hitzeschutzmaßnahmen wurden aus den Rechercheergebnissen dieser Abschlussarbeit abgeleitet.

Die Verantwortlichen in Public Health und in der Politik sollten dafür sorgen, dass bezüglich Risikogruppen wie beispielsweise Kindern und älteren Menschen gezielte Warnungen herausgegeben werden, die auch konkrete Handlungsempfehlungen enthalten. In diesen sollte beispielsweise davor gewarnt werden, Kinder in heißen Autos warten zu lassen und pflegende Personen daran erinnert werden, dass sie die von ihnen abgängigen Personen mit ausreichend Flüssigkeit versorgen und für Schatten sorgen.

Im Zuge der Arbeitssicherheit sollte neben der Temperatur am Arbeitsplatz auch die durch Arbeitskleidung entgehende Hitze berücksichtigt werden.

Die Bevölkerung sollte aktiv in die Entwicklung von Schutzmaßnahmen einbezogen werden. Dies könnte die Ermittlung sicherer Orte während Hitzewellen, gemeinschaftlicher Ressourcen und Maßnahmen zur Unterstützung gefährdeter Gruppen umfassen.

Zudem sollten regelmäßige Befragungen Bevölkerung durchgeführt werden, um die Wirksamkeit der einzelnen Hitzewarnsystemen zu evaluieren. Wenn hier ausreichende Daten zur Verfügung stehen und ähnliche Methoden für die Erhebung angewendet werden, sind zukünftig vergleichende Analyse und allgemein Aussagen über die Effektivität von Hitzewarnsystemen möglich.

Für einen umfassenden und effektiven Hitzeschutz sollten nicht nur einzelne Schutzmaßnahmen entwickelt und umgesetzt werden. Es sollte auch Hitzeaktionspläne entwickelt und umgesetzt werden, mit Schutzmaßnahmen auf den drei Ebenen Bildung, Sofortmaßnahmen und Anpassungsmaßnahmen. Da komplexe Herausforderungen auch komplexer Lösungen bedürfen. In solchen Plänen sollten auch Kaskadenrisiken berücksichtigt werden.

In Bezug auf Sofortmaßnahmen, welche die Bevölkerung in ihrer Freiheit einschränken, sollten Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, welche auch die sozialen Kosten berücksichtigt.

Um einen klaren Überblick über diese Empfehlungen zu bieten, wird im Folgenden eine zusammenfassende Tabelle präsentiert. Diese kompakte Darstellung ermöglicht es, die Kernaspekte der Handlungsempfehlungen auf einen Blick zu erfassen und ihre Relevanz für verschiedene Akteure zu verdeutlichen.

Tabelle 11: Übersicht über Handlungsempfehlungen für Hitzewarnsysteme und Schutzmaßnahmen

Empfehlung	Verantwortliche Akteure	Zielgruppen	Maßnahmen
Gezielte Warnungen für Risikogruppen	Public Health, Politik	Kinder, ältere Menschen	Warnungen mit konkreten Handlungsempfehlungen
Berücksichtigung von Arbeitskleidung	Arbeitsschutzbeauftragte, Arbeitgeber	Arbeitnehmer	Bewertung der Hitzebelastung durch Arbeitskleidung
Aktive Einbeziehung der Bevölkerung	Lokale Gemeinden, Gesundheitsorganisationen	Allgemeine Bevölkerung	Identifikation sicherer Orte, Ressourcen und Maßnahmen für gefährdete Gruppen
Regelmäßige Befragungen zur Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen	Forschungseinrichtungen, Regierungsstellen	Allgemeine Bevölkerung	Durchführung von Befragungen zur Bewertung der Effektivität

7 Fazit

Durch den Klimawandel nehmen Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen zu. Diese klimatische Veränderung wirkt sich negativ auf die menschliche Gesundheit aus. Die direkten und indirekten Auswirkungen von Hitzewellen und der damit verbundene Hitzestress führen zu einer erhöhten Zahl von Erkrankungen und Todesfällen, insbesondere bei vulnerablen Personengruppen wie Kindern, älteren und chronisch kranken Menschen. Die negativen gesundheitlichen Auswirkungen sind vorhersehbar und vermeidbar. Eine Schutzmaßnahme zur Vermeidung hitzebedingter Erkrankungen und Todesfälle, welche bereits in vielen Ländern und Städten eingesetzt wird, sind Hitzewarnsysteme. Die Effektivität von Hitzewarnsystemen wurde in dieser Thesis mit Hilfe einer systematischen Literaturanalyse erforscht. Diese eignet sich, da sie einen Überblick über den aktuellen wissenschaftlichen Stand verschafft.

Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass sich die Diversität der verwendeten Methoden, die in den analysierten Studien verwendet wurden, um die Effektivität von Hitzewarnsystemen zu untersuchen, sich auch in den Ergebnissen widerspiegelt. Die Studienergebnisse sind widersprüchlich und es herrscht Uneinigkeit über die Wirksamkeit von Hitzewarnsystemen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass der Schutz der Bevölkerung vor den gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze eine komplexe Herausforderung darstellt, die eine ganzheitliche und anpassungsfähige Public-Health-Strategie erfordert. Dies könnte auch eine engere Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Akteuren, einschließlich Regierungen, Gesundheitsdienstleistern und der Gemeinschaft, erfordern, um effektive Schutzmaßnahmen zu entwickeln und umzusetzen. Eine Verbesserung des Schutzes der Bevölkerung vor den Auswirkungen der Hitze wird nicht nur durch die Verbesserung der Systeme erreicht. Eine höhere Schutzwirkung wird auch durch den Ausbau des Systems in Kombination mit Maßnahmen erreicht.

Weitere Forschungsarbeiten zur Effektivität von Hitzeaktionsplänen könnten dazu beitragen, die Reaktion der öffentlichen Gesundheit auf extreme Hitze zu verbessern und ein bestmögliches Gleichgewicht zwischen Effizienz, Durchführbarkeit und wirtschaftlichen Kosten zu finden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Hitzewarnsysteme ein effektiver Bestandteil von Hitzeaktionsplänen sein können.

Literaturverzeichnis

- Bartels, E. M. (2013). How to perform a Systematik search. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 27(2), 295-306.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.berh.2013.02.001>, Stand 28.05.2023
- BfArM, Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (2021). ICD-10-GM Version 2021. <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2021/block-t66-t78.htm>, Stand 22.04.2023
- Brasseur, G. P., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (2017). *Klimawandel in Deutschland*. Berlin Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3>
- Bundesgesetzblatt online (2016). Gesetz zu dem Übereinkommen von Paris vom 12. Dezember 2015, Vom 28. September 2016. Jahrgang 2016 Teil II Nr. 26, ausgegeben zu Bonn am 30. September 2016
- Casanueva, A., Burgstall, A., Kotlarski, S., Messeri, A., Morabito, M., Flouris, A. D., Nybo, L., Spirig, C., Schwierz, C. (2019). Overview of Existing Heat-Health Warning Systems in Europe. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15), 2657. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph16152657>
- Chae, Y. & Park, J. (2021). Analysis on Effectiveness of Impact Based Heatwave Warning Considering Severity and Likelihood of Health Impacts in Seoul, Korea. *International journal of environmental research and public health*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph18052380>
- Chersich, M. F., Scorgie, F., Filippi, V., Luchters, S., Climate Change and Heat-Health Study Group (2022). Increasing global temperatures threaten gains in maternal and newborn health in Africa: A review of impacts and an adaptation framework. *Int J Gynecol Obstet.* 2023; 160: S. 421-429.
doi:10.1002/ijgo.14381
- Davis, R. E., McGregor, G. R., Enfield, K. B. (2016). Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health, *Environmental Research*, Volume 144, Part A, S. 106-116.
- DWD, Deutscher Wetterdienst (ohne Jahr–a). *Wetter- und Klimalexikon, Gefühlte Temperatur.*

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html;jsessionid=7970B3DE01FA2138C9521A698116512D.live31082?lv2=100932&lv3=100988>, Stand 05.04.2023

DWD, Deutscher Wetterdienst (ohne Jahr–b). Wetter- und Klimalexikon, Hitzewelle.
<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101094&lv3=624852>, Stand 05.04.2023

DWD, Deutscher Wetterdienst (ohne Jahr–c). Hitzewarnung.
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/hitzewarnung/hitzewarnung.html>, Stand 03.05.2023

Eis, D., Helm, D., Laußmann, D., Stark, K. (2010). Klimawandel und Gesundheit: Ein Sachstandsbericht. Hrsg. Robert Koch-Institut, Berlin.
https://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf?__blob=publicationFile, Stand 10.05.2023

Europäische Kommission (ohne Jahr). Ursachen des Klimawandels. https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_de, Stand 18.03.2022

Forsberg, B., Bråbäck, L., Keune, H., Kobernus, M., Krayen von Krauss, M., Yang, A., Bartonova, A. (2012). An expert assessment on climate change and health - with a European focus on lungs and allergies. In: *Environmental health : a global access science source* 11 Suppl 1 (Suppl 1), S4. DOI: 10.1186/1476-069X-11-S1-S4

Forzieri, G., Cescatti, A., e Silva, F. B., Feyen, L. (2017). Increasing risk over time of weather-related hazards to the European population: a data-driven prognostic study. In: *Lancet Planet Health* 2017, Jg. 1, S. 200–208.

GHHIN, Global Heat Health Information Network (ohne Jahr). Heat & Health.
<https://ghhin.org/heat-and-health/>, Stand 18.04.2023

Grewe, H. A., Heckenhahn, S. & Blättner, B. (2014). Gesundheitsschutz bei Hitzewellen: Europäische Empfehlungen und hessische Erfahrungen [Health protection during heat waves: European recommendations and experience in Hesse]. In: *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 47 Jg., Nr.6, S. 483–489.
<https://doi.org/10.1007/s00391-014-0676-z>

- Hansen, A., Bi, P., Nitschke, M., Ryan, P., Pisaniello, D., Tucker, G. (2008). The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian city. *Environ Health Perspect.* Oct;116(10):1369-75. doi: 10.1289/ehp.11339
- Heo, S., Nori-Sarma, A., Lee, K., Benmarhnia, T., Dominici, F., Bell, M. L. (2019): The Use of a Quasi-Experimental Study on the Mortality Effect of a Heat Wave Warning System in Korea. In: *International journal of environmental research and public health* 16 (12). DOI: 10.3390/ijerph16122245
- Heppt, W. & Bachert, C. (2011). *Praktische Allergologie*. Stuttgart: Thieme.
- Hessisches Ministerium für Soziales und Integration (ohne Jahr). *Hitzeaktionsplan. Hessisches Hitzewarnsystem*. <https://soziales.hessen.de/gesundheit/hitzeaktionsplan/hessisches-hitzewarnsystem>, Stand 28.04.2023
- Heudorf, U., Schade, M. (2014). Heat waves and mortality in Frankfurt am Main, Germany, 2003-2013: what effect do heat-health action plans and the heat warning system have? In: *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 47 (6), S. 475–482. DOI: 10.1007/s00391-014-0673-2
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014a). *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/IPCC-AR5_SYR_SPM_deutsch.pdf, Stand 02.11.2023
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014b). *Klimaänderung 2014: Minderung des Klimawandels. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)*. Deutsche Übersetzung durch die Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und das Deutsche Klimakonsortium, Bonn, 2018
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). *Headline Statements from the Summary for Policymakers. Sixth Assessment Report*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Headline_Statements.pdf, Stand 09.05.2023
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2023). *SYNTHESIS REPORT OF THE IPCC SIXTH ASSESSMENT REPORT (AR6), Longer Report*.

- https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf, Stand 29.09.2023
- Issa, M. A., Chebana, F., Masselot, P., Campagna, C., Lavigne, É., Gosselin, P. & Ouarda, T. B M J (2021). A heat-health watch and warning system with extended season and evolving thresholds. *BMC public health*, 21(1).
<https://doi.org/10.1186/s12889-021-10982-8>
- Jacklitsch, B., Williams, W. J., Musolin, K., Coca, A., Kim, J.-H., Turner, N. (2016). Occupational Exposure to Heat and Hot Environments, Criteria for a Recommended Standard. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication 2016-106. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf>
- Jänicke, B., Kim, K. R. & Cho, C. (2020). A simple high-resolution heat-stress forecast for Seoul, Korea: coupling climate information with an operational numerical weather prediction model. *International journal of biometeorology*, 64(7), 1197–1205. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01893-1>
- KLUG, Deutsche Allianz Klimawandel und Gesundheit (ohne Jahr). Hitze im Kontext von Planetary Health. <https://www.klimawandel-gesundheit.de/planetary-health/hitze>, Stand 13.04.2023
- Koppe, C. (2009). Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes. *UMID-Themenheft Klimawandel und Gesundheit*, Ausgabe 3, S. 39-43.
- Li, Y. H., Wang, Q. Q., Lan, L., Luo, S. Q., Fang, D. K., He, J. Y., Yang, C., Ding, Z., Cheng, Y.B., Li, C.C., Wu, Z., Yu, S.Y., Jin, Y.L. (2018). Intervention effect assessment of response to heatwave in communities of four cities, China. In: *Zhonghua yu fang yi xue za zhi [Chinese journal of preventive medicine]* 52 (4), S. 424–429. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2018.04.017
- Lung, S.-C. C., Yeh, J.-C. J. & Hwang, J.-S. (2021). Selecting Thresholds of Heat-Warning Systems with Substantial Enhancement of Essential Population Health Outcomes for Facilitating Implementation. *International journal of environmental research and public health*, 18(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph18189506>
- Matzarakis, A. (2016). Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und seine Relevanz für die menschliche Gesundheit. *Gefahrstoffe-Reinhaltung*

der Luft, 76, 457-460. https://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/GFR_2016_HHWS.pdf

Matzarakis, A., Muthers, S. & Graw, K. (2020). Thermische Belastung von Bewohnern in Städten bei Hitzewellen am Beispiel von Freiburg (Breisgau). *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 63(8), 1004–1012. <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03181-0>

McGregor, G. R., Bessemoulin, P. (Hg.) (2015). Heatwaves and health. Guidance on warning-system development: World Meteorological Organization (WMO, 1142). http://digitale-objekte.hbz-nrw.de/storage2/2016/02/13/file_5/6630776.pdf

McGregor, G. R., Vanos, J. K. (2018). Heat: a primer for public health researchers, *Public Health*, Volume 161, S. 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.11.005>

Mehiriz, K., Gosselin, P., Tardif, I., Lemieux, M.-A. (2018). The Effect of an Automated Phone Warning and Health Advisory System on Adaptation to High Heat Episodes and Health Services Use in Vulnerable Groups-Evidence from a Randomized Controlled Study. In: *International journal of environmental research and public health* 15 (8). DOI: 10.3390/ijerph15081581.

Messeri, A., Bonafede, M., Pietrafesa, E., Pinto, I., de' Donato, F., Crisci, A., Lee, J.K.W., Marinaccio, A., Levi, M., Morabito, M., on behalf of the WORKLIMATE Collaborative Group (2021). A Web Survey to Evaluate the Thermal Stress Associated with Personal Protective Equipment among Healthcare Workers during the COVID-19 Pandemic in Italy. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 3861. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083861>

Mitchell, D., Heaviside, C., Schaller, N., Allen, M., Ebi, K.L., Fischer, E.M., Gasparini, A., Harrington, L., Kharin, V., Shiogama, H., Sillmann, J., Sippel, S., Vardoulakis, S. (2018). Extreme heat-related mortality avoided under Paris Agreement goals. *Nat Clim Chang*. 2018 Jun 25;8(7):551-553. doi: 10.1038/s41558-018-0210-1. PMID: 30319715; PMCID: PMC6181199

NASA, National Aeronautics and Space Administration (2023a). Global Climate Change - Vital Signs of the Planet - Facts - Carbon Dioxide. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide>, Stand 04.04.2023

- NASA, National Aeronautics and Space Administration (2023b). Global Climate Change - Vital Signs of the Planet - Facts - Global Temperature. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>, Stand 02.11.2023
- Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2021). Klimawandel: Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten. https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2021_Factsheet_Klimawandel_web_01.pdf
- NLM, National Library of Medicine (ohne Jahr). PubMed Overview. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/about/>, Stand 27.05.2023
- Nitschke, M., Tucker, G., Hansen, A., Williams, S., Zhang, Y., Bi, P. (2016). Evaluation of a heat warning system in Adelaide, South Australia, using case-series analysis. In: *BMJ open* 6 (7), e012125. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-012125.
- Nordhausen, T., Hirt, J. (2022). Manual zur Literaturrecherche in Fachdatenbanken. RefHunter. Version 5.0 (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg & FHS St.Gallen, Hrsg.). <https://refhunter.eu/manual>, Stand 23.05.2023
- Null, J., Department of Meteorology & Climate Science San Jose State University (ohne Jahr). Heatstroke Deaths of Children in Vehicles. <https://www.noheatstroke.org/>, Stand 24.04.2023
- Oetomo, A., Jalali, N., Costa, P. D. P. & Morita, P. P. (2022). Indoor Temperatures in the 2018 Heat Wave in Quebec, Canada: Exploratory Study Using Ecobee Smart Thermostats. *JMIR formative research*, 6(5), e34104. <https://doi.org/10.2196/34104>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P. & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pascal, M., Lagarrigue, R., Tabai, A., Bonmarin, I., Camail, S., Laaidi, K., Le Tertre, A., Denys, S. (2021): Evolving heat waves characteristics challenge heat warning systems and prevention plans. In: *International journal of biometeorology* 65 (10), S. 1683–1694. DOI: 10.1007/s00484-021-02123-y.

- Pfeifer, K., Oudin Åström, D., Martinsone, Ž., Kaļūznaja, D., & Oudin, A. (2020). Evaluating Mortality Response Associated with Two Different Nordic Heat Warning Systems in Riga, Latvia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7719. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17217719>
- Ragettli, M.S.& Rösli, M. (2020). Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze in der Schweiz und die Bedeutung von Präventionsmassnahmen. Hitzebedingte Todesfälle im Hitzesommer 2019 – und ein Vergleich mit den Hitzesommer 2003, 2015 und 2018. Schlussbericht Juli 2020. https://edoc.unibas.ch/91377/1/20221212132037_63971-c9535ac5.pdf
- Ragettli, M.S.& Rösli, M. (2021). Hitze-Massnahmen-Toolbox 2021. Ein Massnahmenkatalog für den Schutz der menschlichen Gesundheit vor Hitze. SwissTPH, Basel. Im Auftrag des BAG. https://edoc.unibas.ch/91378/1/20221212132242_63971d121ee19.pdf
- Ragettli, M. S., Saucy, A., Flückiger, B., Vienneau, D., Hoogh, K. de, Vicedo-Cabrera, A. M., Schindler, C. & Rösli, M. (2023). Explorative Assessment of the Temperature-Mortality Association to Support Health-Based Heat-Warning Thresholds: A National Case-Crossover Study in Switzerland. *International journal of environmental research and public health*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph20064958>
- Riccò, M. (2018). Air temperature exposure and agricultural occupational injuries in the Autonomous Province of Trento (2000–2013, North-Eastern Italy). *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 31(3), 317-331. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.01114>
- Ritschl, V., Weigl, R. & Stamm, T. (2016). *Wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben. Verstehen, Anwenden, Nutzen für die Praxis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg DOI 10.1007/978-3-662-49908-5
- RKI, Robert Koch Institut (ohne Jahr–a). Klimawandel und Gesundheit. Übersicht. https://www.rki.de/DE/Content/GesundAZ/K/Klimawandel_Gesundheit/Klimawandel_Gesundheit_inhalt.html, Stand 09.05.2023

- RKI, Robert Koch Institut (ohne Jahr–b). Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2022/42/Art_01.html, Stand 13.04.2023
- Romanello, M., Di Napoli, C., Drummonds, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., et al. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet, Countdown, Volume 400, ISSUE 10363*, S. 1619-1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)
- Storch, H., von Meinke, I., Claußen, M. (2018). *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4>
- The Lancet Countdown (ohne Jahr) Explore our data, Exposure of Vulnerable Populations to Heatwaves. <https://www.lancetcountdown.org/data-platform/health-hazards-exposures-and-impacts/1-1-health-and-heat/1-1-2-health-and-exposure-to-warming>, Stand 13.04.2023
- Toloo, G., FitzGerald, G., Aitken, P., Verrall, K., Tong, S. (2013): Evaluating the effectiveness of heat warning systems: systematic review of epidemiological evidence. In: *International journal of public health* 58 (5), S. 667–681. DOI: 10.1007/s00038-013-0465-2.
- UBA, Umwelt Bundesamt (2021). *Wirkungskomplex: Hitze*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/klimawandel-gesundheit/wirkungskomplex-hitze#hitze>, Stand 10.05.2023
- UFZ, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (2018). *Klimawandel verschärft Dürren in Europa*. UFZ-Forscher modellieren Auswirkungen des globalen Temperaturanstiegs. https://www.ufz.de/index.php?de=36336&webc_pm=11/2018, Stand 11.05.2023
- UN, United Nations (ohne Jahr). *Climate Action. The Paris Agreement*. <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>, Stand 10.05.2023
- Wallemacq, P., House, R., McClean, D., Below, R. (2018). *Economic Losses, Poverty & DISASTERS 1998-2017*. https://www.prevention-web.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf?_gl=1*1qq8f6w*_ga*MjQ1MjY3NjluMTcwNTM5OTYyNw..*_g

a_D8G5WXP6YM*MTcwNTM5OTY0Ni4xLjEuMTcwN-
TQwMTQyMy4wLjAuMA..

Weinberger, K. R., Zanobetti, A., Schwartz, J., Wellenius, G. A. (2018). Effectiveness of National Weather Service heat alerts in preventing mortality in 20 US cities. In: *Environment international* 116, S. 1–23. DOI: 10.1016/j.envint.2018.03.028.

Weinberger, K. R., Wu, X., Sun, S., Spangler, K. R., Nori-Sarma, A., Schwartz, J., Requia, W., Sabath, B.M., Braun, D., Zanobetti, A., Dominici, F., Wellenius, G.A. (2021). Heat warnings, mortality, and hospital admissions among older adults in the United States. In: *Environment international* 157, S. 1–8. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106834.

WHO, World Health Organisation (2018). Heat and Health. Who is affected?.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>, Stand 12.04.2023

WHO, World Health Organisation (2021). Climate change and health. Key facts.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>, Stand 09.05.2023

WMO, World Meteorological Organization (ohne Jahr–a). Early Warnings for All. The UN Global Early Warning Initiative for the Implementation of Climate Adaptation. <https://public.wmo.int/en/earlywarningsforall>, Stand 02.05.2023

WMO, World Meteorological Organization (ohne Jahr–b). Multi-Hazard Early Warning Systems: A Checklist. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/natural-hazards-and-disaster-risk-reduction/mhews-checklist>, Stand 02.05.202

Wu, Y., Wang, X., Wu, J., Wang, R., Yang, S. (2020): Performance of heat-health warning systems in Shanghai evaluated by using local heat-related illness data. In: *The Science of the total environment* 715, S. 1–10. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136883.

ZB MED, Deutsche Zentralbibliothek für Medizin (ohne Jahr). Über LIVIVO. Das Suchportal für Medizin, Gesundheitswesen, Ernährungs-, Umwelt- und Agrarwissenschaften. <https://www.livivo.de/app/misc/help/about>, Stand 23.05.2023

Anhang

A.1 Hitzebedingte Übersterblichkeit in der Schweiz während den bisher vier heissesten Sommer

Sommer	Rangfolge der heissesten Sommer ^a	°C über Norm (1981-2010)*	Heissester Monat	Zusätzliche Todesfälle (Anzahl)	Übersterblichkeit (%)	Referenzperiode	Quelle
2003	1	+3.6		975	6.9%	1993-2002	[7]
			August		10.9%		
2015	2	+2.4		804	5.4%	2005-2014	[6]
			Juli	570	11.6%		
2018	4	+2.0		185 ^b	1.2% ^b	2009-2017	[8]
			August	177	3.4%		
2019	3	+2.3		521	3.5%	2009-2018	
			Juli	308	6.1%		

^a gemäss MeteoSchweiz [16-18]

^b nicht statistisch signifikant

Hitzebedingte Übersterblichkeit in der Schweiz während den bisher vier heissesten

Sommer (Juni bis August) seit Messbeginn 1864 (Ragetti, 2020, S. 18).

A.2 Entscheidungsbaum Empirie, Theorie, neue Fragestellung

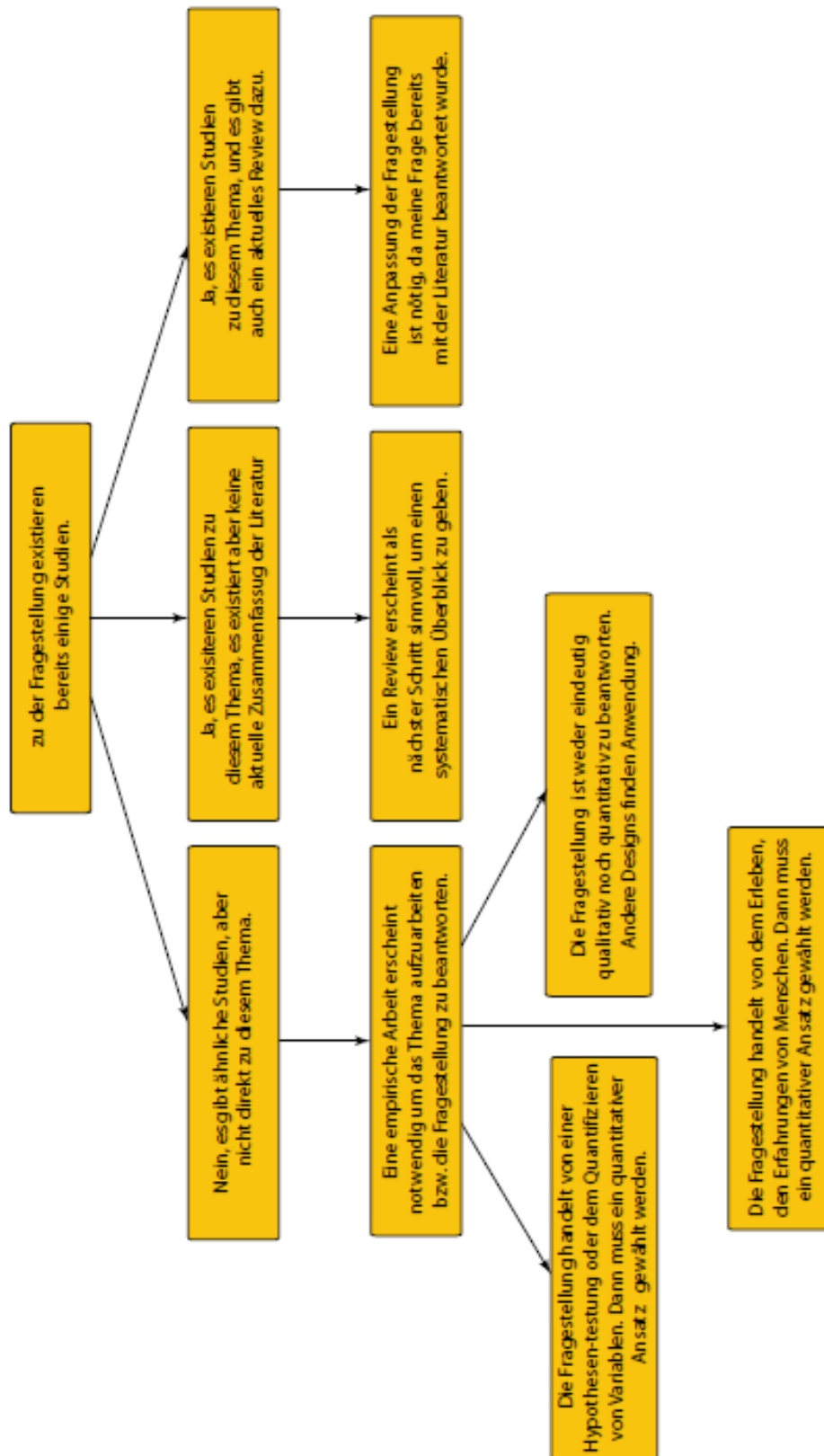


Abb. 4.1 Entscheidungsbaum Empirie, Theorie, neue Fragestellung

(Ritschl et al., 2016, S. 53)

A.3 Recherche Protokoll

Datenbank: PubMed

Datum: 30.05.2023 / 02.06.2023

Syntax: (Heat warning) AND ("effectiveness" OR "efficacy" OR "validity" OR "evalua*")

N = 161

Filter:- Letzten 10 Jahre, -Full Text

N = 112

Ausgeschlossene Titel:

1. Towards a Generic Residential Building Model for Heat-Health Warning Systems.
2. Effective Community-Based Interventions for the Prevention and Management of Heat-Related Illnesses: A Scoping Review.
3. Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013.
4. Evaluating the Sensitivity of Heat Wave Definitions among North Carolina Physiographic Regions.
5. [Health protection against heat extremes in Germany: What has been done in federal states and municipalities?].
6. Assessing mortality risk attributable to high ambient temperatures in Ahmedabad, 1987 to 2017.
7. [Heat-related morbidity: real-time surveillance via rescue service operations data from the interdisciplinary care capacity proof system (IVENA)].
8. Effect of heat waves and fine particulate matter on preterm births in Korea from 2010 to 2016.
9. The association between anthropogenic heat and adult hypertension in Northeast China.
10. VivaSight: a new era in the evolution of tracheal tubes.
11. Does air pollution modify temperature-related mortality? A systematic review and meta-analysis.
12. Comprehensive Risk Assessment of Typical High-Temperature Cities in Various Provinces in China.
13. Increasing global temperatures threaten gains in maternal and newborn health in Africa: A review of impacts and an adaptation framework.
14. Remote quality monitoring in the banana chain.
15. Land-atmosphere coupling speeds up flash drought onset.
16. Individualized estimation of human core body temperature using noninvasive measurements.

17. Heatwave and health events: A systematic evaluation of different temperature indicators, heatwave intensities and durations.
18. Using logic regression to characterize extreme heat exposures and their health associations: a time-series study of emergency department visits in Atlanta.
19. Systematic identification of heat events associated with emergency admissions to enhance the heat-health action plan in a subtropical city: a data-driven approach.
20. Heatwave and elderly mortality: An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement.
21. Development and implementation of South Asia's first heat-health action plan in Ahmedabad (Gujarat, India).
22. Humidicare - an implementation study of a novel HME safety device designed to prevent ventilator circuit occlusion due to inadvertent dual humidification.
23. Prediction of Research Hotspots Based on LSTM: Taking Information Science as Example.
24. Performance of Excess Heat Factor Severity as a Global Heatwave Health Impact Index.
25. Temperature-sensitive morbidity indicator: consequence from the increased ambulance dispatches associated with heat and cold exposure.
26. Application of spatial synoptic classification in evaluating links between heat stress and cardiovascular mortality and morbidity in Prague, Czech Republic.
27. Influence of heat wave definitions to the added effect of heat waves on daily mortality in Nanjing, China.
28. Mortality Risk Related to Heatwaves in Dezful City, Southwest of Iran.
29. Impact of Extreme Temperatures on Ambulance Dispatches Due to Cardiovascular Causes in North-West Spain.
30. Progressing urban climate research using a high-density monitoring network system.
31. Air temperature exposure and agricultural occupational injuries in the Autonomous Province of Trento (2000-2013, North-Eastern Italy).
32. Heat/mortality sensitivities in Los Angeles during winter: a unique phenomenon in the United States.
33. Patterns of outdoor exposure to heat in three South Asian cities.
34. Increasing global temperatures threaten gains in maternal and newborn health in Africa: A review of impacts and an adaptation framework.
35. Perceptions and experiences of outdoor occupational workers using digital devices for geospatial biometeorological monitoring.
36. In vitro and in vivo pharmacological characterization of the synthetic opioid MT-45.
37. High Risk of Potential Diarrheogenic *Bacillus cereus* in Diverse Food Products in Egypt.
38. Governing heatwaves in Europe: comparing health policy and practices to better understand roles, responsibilities and collaboration.

39. 36th International Symposium on Intensive Care and Emergency Medicine : Brussels, Belgium. 15-18 March 2016.
40. Prevalence, Virulence Gene Distribution and Alarming the Multidrug Resistance of *Aeromonas hydrophila* Associated with Disease Outbreaks in Freshwater Aquaculture
41. Evaluating the performance of a climate-driven mortality model during heat waves and cold spells in Europe.
42. The added effects of heatwaves on cause-specific mortality: A nationwide analysis in 272 Chinese cities.
43. [Value of predicting prognosis of patients with heat stroke by three scoring methods].
44. Immune-relevant and new xenobiotic molecular biomarkers to assess anthropogenic stress in seals.
45. Wet Bulb Globe Temperature: Indicating Extreme Heat Risk on a Global Grid.
46. Spatiotemporal influence of temperature, air quality, and urban environment on cause-specific mortality during hazy days.
47. Investigation into the thermal comfort and physiological adaptability of outdoor physical training in college students.
48. Molecular biomarkers as tool for early warning by chlorpyrifos exposure on Alpine chironomids.
49. Explorative Assessment of the Temperature-Mortality Association to Support Health-Based Heat-Warning Thresholds: A National Case-Crossover Study in Switzerland.
50. Examining the joint effects of heatwaves, air pollution, and green space on the risk of preterm birth in California.
51. Rapid culture-based detection of *Legionella pneumophila* using isothermal microcalorimetry with an improved evaluation method.
52. Effects of heat waves on daily excess mortality in 14 Korean cities during the past 20 years (1991-2010): an application of the spatial synoptic classification approach.
53. The Impacts of Heatwaves on Mortality Differ with Different Study Periods: A Multi-City Time Series Investigation.
54. A Web Survey to Evaluate the Thermal Stress Associated with Personal Protective Equipment among Healthcare Workers during the COVID-19 Pandemic in Italy.
55. Alteration in DNA structure, molecular responses and Na⁺ -K⁺ -ATPase activities in the gill of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in response to sub-lethal verapamil.
56. Molecular and ultrastructural insights into the earthworm *Eisenia fetida* of the assessment of ecotoxicity during colistin exposure.
57. Current and Future Climate Extremes Over Latin America and Caribbean: Assessing Earth System Models from High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP).
58. Novel use of the alga *Pseudokirchneriella subcapitata*, as an early-warning indicator to identify climate change ambiguity in aquatic environments using freshwater finfish farming as a case study.

59. Presence probability of *Hemiscorpius lepturus* Peters, 1861 using maximum entropy approach in the western areas of Zagros Mountains, Iran.
60. Development of the Adjusted Wind Chill Equivalent Temperature (AWCET) for cold mortality assessment across a subtropical city: validation and comparison with a spatially-controlled time-stratified approach.
61. Increased high-temperature extremes and associated population exposure in Africa by the mid-21st century.
62. Stakeholders' Perception on National Heatwave Plans and Their Local Implementation in Belgium and The Netherlands
63. Discrimination and surveillance of infectious severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 in wastewater using cell culture and RT-qPCR.
64. The Impact of Natural Elements on Environmental Comfort in the Iranian-Islamic Historical City of Isfahan.
65. Analysis of the impact of urban summer high temperatures and outdoor activity duration on residents' emotional health: Taking hostility as an example.
66. The immediate effects of winter storms and power outages on multiple health outcomes and the time windows of vulnerability.
67. Can leukocyte antisedimentation rate (LAR) predict septic complications and critical care survival early in polytrauma and burn victims?
68. Surveillance of Enteric Viruses and Thermotolerant Coliforms in Surface Water and Bivalves from a Mangrove Estuary in Southeastern Brazil.
69. Shower effect of a rainfall onset on the heat accumulated during a preceding dry spell.
70. The negative effects of short-term extreme thermal events on the seagrass *Posidonia oceanica* are exacerbated by ammonium additions.
71. MHBMDAA: Membrane-based DNA array with high resolution and sensitivity for toxic microalgae monitoring.
72. Is Domain Highlighting Actually Helpful in Identifying Phishing Web Pages?
73. Thermo-resistance of ESKAPE-panel pathogens, eradication and growth prevention of an infectious biofilm by photothermal, polydopamine-nanoparticles in vitro.
74. Laboratory study on the kinetics of the warming of cold fluids-A hot topic.
75. Damage evaluation and precursor of sandstone under the uniaxial compression: Insights from the strain-field heterogeneity.
76. Fire intensity impacts on physiological performance and mortality in *Pinus monticola* and *Pseudotsuga menziesii* saplings: a dose-response analysis.
77. Remote sensing of atmospheric and soil water stress on ecosystem carbon and water use during flash droughts over eastern China.
78. Current and Future Climate Extremes Over Latin America and Caribbean: Assessing Earth System Models from High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP).
79. CASE-REPORT Dysregulation of gene expression in a patient with depressive disorder after transient ischemic attack confirmed by a neurophysiological neuromarker.

80. Evaluating the effectiveness of heat warning systems: systematic review of epidemiological evidence

Ausgeschlossen da Volltext nicht verfügbar:

1. Defining heat waves and extreme heat events using sub-regional meteorological data to maximize benefits of early warning systems to population health.
2. Comparison of health risks by heat wave definition: Applicability of wet-bulb globe temperature for heat wave criteria.

Volltext bei Autor*innen über ResearchGate angefragt:

1. Performance of heat-health warning systems in Shanghai evaluated by using local heat-related illness data.

Ausgeschlossen nach Abstract Screening:

Titel	Grund
1. Evaluating Mortality Response Associated with Two Different Nordic Heat Warning Systems in Riga, Latvia	A2
2. Vulnerability to heatwaves and implications for public health interventions – A scoping review	A5
3. Extreme Heat Exposure: Access and Barriers to Cooling Centers - Maricopa and Yuma Counties, Arizona, 2010-2020	A2
4. Data Analytics of a Wearable Device for Heat Stroke Detection	A2
5. WWOSC 2014: Research Needs for Better Health Resilience to Weather Hazards	A2
6. Evaluations of heat action plans for reducing the health impacts of extreme heat: methodological developments (2012–2021) and remaining challenges	A2
7. Establishing a warning index for evaluating the physiological stress of sanitation workers in high temperature weather	A2

Ausgeschlossen Volltext Screening:

Titel	Grund
1. Implementing the Health Early Warning System based on syndromic and event-based surveillance at the 2019 Hajj	A2
2. Mitigating heat-related mortality risk in Shanghai, China: system dynamics modeling simulations	A2
3. Building Resilience to Climate Change: Pilot Evaluation of the Impact of India's First Heat Action Plan on All-Cause Mortality	A2
4. Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems	A2

5. Evaluation of an Early-Warning System for Heat Wave-Related Mortality in Europe: Implications for Sub-seasonal to Seasonal Forecasting and Climate Services	
6. Iterative management of heat early warning systems in a changing climate	A5
7. Is Physiological Equivalent Temperature (PET) a superior screening tool for heat stress risk than Wet- Bulb Globe Temperature (WBGT) index? Eight years of data from the Gothenburg half marathon	A2
8. Evaluation of wearable sensors for physiologic monitoring of individually experienced temperatures in outdoor workers in southeastern U.S.	A2
9. Developing a Heatwave Early Warning System for Sweden: Evaluating Sensitivity of Different Epidemiological Modelling Approaches to Forecast Temperatures	A2
10. Workers' Perception Heat Stress: Results from a Pilot Study Conducted in Italy during the COVID-19 Pandemic in 2020	
11. Iterative management of heat early warning systems in a changing climate	A2

Datenbank: Livivo

Datum: 28.06.2023

Syntax: (Hitzewarnsystem OR Heat warning system) AND (Effektivität OR effectiveness OR efficacy OR validity OR Evalua*)

N = 154

Filter: Letzten 10 Jahre

N = 99

Duplikate: 40

Ausgeschlossene Titel:

1. A Web Survey to Evaluate the Thermal Stress Associated with Personal Protective Equipment among Healthcare Workers during the COVID-19 Pandemic in Italy
2. Defining indoor heat thresholds for health in the UK
3. Overview of Existing Heat-Health Warning Systems in Europe
4. Extreme Heat and Adverse Cardiovascular Outcomes in Australia and New Zealand: What Do We Know?
5. A general and flexible methodology to define thresholds for heat health watch and warning systems, applied to the province of Québec (Canada)
6. New approach to identifying proper thresholds for a heat warning system using health risk increments
7. Valuing deaths or years of life lost? Economic benefits of avoided mortality from early heat warning systems
8. Effect of the PiAstra Benchtop Flash-Heating Pasteurizer on Immune Factors of Donor Human Milk
9. At which temperature do the deleterious effects of ambient heat "kick-in" to affect all-cause mortality? An exploration of this threshold from an eastern Indian city
10. Characterizing prolonged heat effects on mortality in a sub-tropical high-density city, Hong Kong
11. Does air pollution modify temperature-related mortality? A systematic review and meta-analysis
12. Extreme heat episodes and risk of preterm birth in California, 2005-2013
13. An analysis of past and future heatwaves based on a heat-associated mortality threshold: towards a heat health warning system
14. Intra-urban microclimate investigation in urban heat island through a novel mobile monitoring system
15. Effects of heat waves on daily excess mortality in 14 Korean cities during the past 20 years (1991-2010): an application of the spatial synoptic classification approach

16. Ambient temperature and emergency department visits for heat-related illness in North Carolina, 2007-2008
17. Heat Stress in Indoor Environments of Scandinavian Urban Areas: A Literature Review
18. Optimization of process conditions for Rohu fish in curry medium in retortable pouches using instrumental and sensory characteristics
19. Vulnerability to heatwaves and implications for public health interventions - A scoping review
20. Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development
21. Temperature Measurement Inside Protective Headgear: Comparison With Core Temperatures and Indicators of Physiological Strain During Exercise in a Hot Environment
22. Effect of night-time temperatures on cause and age-specific mortality in London
23. Evaluation of the non-invasive Temple Touch Pro temperature monitoring system compared with oesophageal temperature in paediatric anaesthesia (PETER PAN): A prospective observational study
24. Extreme heat and acute air pollution episodes: A need for joint public health warnings?
25. Towards a Generic Residential Building Model for Heat-Health Warning Systems
26. Evaluating Mortality Response Associated with Two Different Nordic Heat Warning Systems in Riga, Latvia
27. Steps Towards Comprehensive Heat Communication in the Frame of a Heat Health Warning System in Slovenia
28. The effect of hot days on occupational heat stress in the manufacturing industry: implications for workers' well-being and productivity
29. Effects of ventilation behaviour on indoor heat load based on test reference years
30. Using logic regression to characterize extreme heat exposures and their health associations
31. Study on real-time wearable monitoring system for human heat and cold stresses
32. Adaptive Floor Cleaning Strategy by Human Density Surveillance Mapping with a Reconfigurable Multi-Purpose Service Robot
33. Examining the joint effects of heatwaves, air pollution, and green space on the risk of preterm birth in California
34. A Longitudinal Study on the Impact of Indoor Temperature on Heat-Related Symptoms in Older Adults Living in Non-Air-Conditioned Households
35. Development of health risk-based metrics for defining a heatwave: a time series study in Brisbane, Australia
36. The effect of heat waves on ambulance attendances in Brisbane, Australia
37. The predictability of heat-related mortality in Prague, Czech Republic, during summer 2015-a comparison of selected thermal indices
38. The Impacts of Heatwaves on Mortality Differ with Different Study Periods: A Multi-City Time Series Investigation

- 39. Assessing mortality risk attributable to high ambient temperatures in Ahmedabad, 1987 to 2017
- 40. Zero-heat-flux core temperature monitoring system: an observational secondary analysis to evaluate agreement with naso-/oropharyngeal probe during anesthesia
- 41. A cold-health watch and warning system, applied to the province of Quebec (Canada)
- 42. Bedeutung von Hitzeaktionspläne für den präventiven Gesundheitsschutz in Deutschland

Ausgeschlossen da Volltext nicht verfügbar:

- 1. Defining heat waves and extreme heat events using sub-regional meteorological data to maximize benefits of early warning systems to population health

Ausgeschlossen nach Abstract Screening:

Titel	Grund
1. Impacts of heat waves and corresponding measures: a review	A2
2. Effective Community-Based Interventions for the Prevention and Management of Heat-Related Illnesses: A Scoping Review	A5
3. Assessing the use and understanding of the Portuguese heat-health warning system (ÍCARO)	A2
4. An Occupational Heat-Health Warning System for Europe: The HEAT-SHIELD Platform	
5. Application of Low-Cost Sensors for Urban Heat Island Assessment	A2
6. Heat Extremes, Public Health Impacts, and Adaptation Policy in Germany	A2
7. Revealing an Integrative Mechanism of Cognition, Emotion, and Heat-Protective Action of Older Adults	A2

Ausgeschlossen Volltext Screening:

Titel	Grund
1. Gesundheitsschutz bei Hitzeextremen in Deutschland: Was wird in Ländern und Kommunen bisher unternommen?	A2

Eingeschlossene Studien:

Nr.	Jahr	Land	Autor*innen	Titel	Ursprung
1	2014	Deutschland	Grewe, H. A.; Heckenhahn, S.; Blättner, B.	Gesundheitsschutz bei Hitzewellen, Europäische Empfehlungen und hessische Erfahrungen	PubMed
2	2014	Deutschland	Heudorf, U.; Schade, M.	Heat waves and mortality in Frankfurt am Main, Germany, 2003-2013: what effect do heat-health action plans and the heat warning system have?	LIVIVO
3	2015	Deutschland	Capellaro, Marcus	Anpassung an den Klimawandel: Evaluation bestehender nationaler Informationssysteme (UV-Index, Hitzewarnsystem, Pollenflug- und Ozonvorhersage) aus gesundheitlicher Sicht	LIVIVO
4	2020	Deutschland	Matzarakis, Andreas; Muthers, Stefan; Graw, Kathrin	Thermische Belastung von Bewohnern in Städten bei Hitzewellen am Beispiel von Freiburg (Breisgau)	LIVIVO
5	2023	Schweiz	Ragetti, Martina S.; Saucy, Apolline; Flückiger, Benjamin; Vienneau, Danielle; Hoogh, Kees de; Vicedo-Cabrera, Ana M.; Schindler, Christian; Rösli, Martin	Explorative Assessment of the Temperature-Mortality Association to Support Health-Based Heat-Warning Thresholds: A National Case-Crossover Study in Switzerland	LIVIVO
6	2021	Frankreich	Pascal, Mathilde; Lagarigue, Robin; Tabai, Anouk; Bonmarin, Isabelle; Camail, Sacha; Laaidi, Karine; Le Tertre, Alain; Denys, Sébastien	Evolving heat waves characteristics challenge heat warning systems and prevention plans	PubMed
7	2022	Frankreich	Kanti, Fleur Serge; Alari, Anna; Chaix, Basile; Benmarhnia, Tarik	Comparison of various heat waves definitions and the burden of heat-related mortality in France: Implications for existing early warning systems	LIVIVO

8	2021	Italien	Grifoni, Daniele; Messeri, Alessandro; Crisci, Alfonso; Bonafede, Michela; Pasi, Francesco; Gozzini, Bernardo; Orlandini, Simone; Marinaccio, Alessandro; Mari, Riccardo; Morabito, Marco; On Behalf Of The Worklimate Collaborative Group	Performances of Limited Area Models for the WORKLIMATE Heat-Health Warning System to Protect Worker's Health and Productivity in Italy	LIVIVO
9	2021	Korea	Chae, Yeora; Park, Jongchul	Analysis on Effectiveness of Impact Based Heatwave Warning Considering Severity and Likelihood of Health Impacts in Seoul, Korea	Pub-Med
10	2019	Korea	Heo, Seulkee; Nori-Sarma, Amruta; Lee, Kwonsang; Benmarhnia, Tarik; Dominici, Francesca; Bell, Michelle L.	The Use of a Quasi-Experimental Study on the Mortality Effect of a Heat Wave Warning System in Korea	Pub-Med
11	2020	Korea	Jänicke, Britta; Kim, Kyu Rang; Cho, Changbum	A simple high-resolution heat-stress forecast for Seoul, Korea: coupling climate information with an operational numerical weather prediction model	Pub-Med
12	2018	China	Li, Y. H.; Wang, Q. Q.; Lan, L.; Luo, S. Q.; Fang, D. K.; He, J. Y.; Yang, C.; Ding, Z.; Cheng, Y. B.; Li, C. C.; Wu, Z.; Yu, S. Y.; Jin, Y. L.	Intervention effect assessment of response to heatwave in communities of four cities, China	Pub-Med
13	2020	China	Wu, Yaqiao; Wang, Xiaoye; Wu, Jingyan; Wang, Rui; Yang, Saini	Performance of heat-health warning systems in Shanghai evaluated by using local heat-related illness data	Pub-Med
14	2021	China	Lung, Shih-Chun Candice; Yeh, Jou-Chen Joy; Hwang, Jing-Shiang	Selecting Thresholds of Heat-Warning Systems with Substantial Enhancement of Essential Population Health Outcomes for Facilitating	LIVIVO

15	2016	Australien	Nitschke, Monika; Tucker, Graeme; Hansen, Alana; Williams, Susan; Zhang, Ying; Bi, Peng	Evaluation of a heat warning system in Adelaide, South Australia, using case-series analysis	Pub-Med
16	2022	Australien	Williams, Susan; Nitschke, Monika; Wondmagegn, Berhanu Yazew; Tong, Michael; Xiang, Jianjun; Hansen, Alana; Nairn, John; Kar-non, Jonathan; Bi, Peng	Evaluating cost benefits from a heat health warning system in Adelaide, South Australia	Pub-Med
17	2018	Kanada	Mehiriz, Kaddour; Gosselin, Pierre; Tardif, Isabelle; Lemieux, Marc-André	The Effect of an Automated Phone Warning and Health Advisory System on Adaptation to High Heat Episodes and Health Services Use in Vulnerable Groups-Evidence from a Randomized Controlled Study	Pub-Med
18	2021	Kanada	Issa, Mahamat Abdelkerim; Chebana, Fateh; Masselot, Pierre; Campagna, Céline; Lavigne, Éric; Gosselin, Pierre; Ouarda, Taha B M J	A heat-health watch and warning system with extended season and evolving thresholds	LIVIVO
19	2022	Kanada	Oetomo, Arlene; Jalali, Niloofar; Costa, Paula Dornhofer Paro; Morita, Plinio Pelegrini	Indoor Temperatures in the 2018 Heat Wave in Quebec, Canada: Exploratory Study Using Ecobee Smart Thermostats	Pub-Med
20	2018	USA	Weinberger, Kate R.; Zanobetti, Antonella; Schwartz, Joel; Wellenius, Gregory A.	Effectiveness of National Weather Service heat alerts in preventing mortality in 20 US cities	Pub-Med
21	2021	USA	Weinberger, Kate R.; Wu, Xiao; Sun, Shengzhi; Spangler, Keith R.; Nori-Sarma, Amruta; Schwartz, Joel; Requia, Weeberb; Sabath, Benjamin M.; Braun, Danielle; Zanobetti, Antonella; Dominici, Francesca; Wellenius, Gregory A.	Heat warnings, mortality, and hospital admissions among older adults in the United States	Pub-Med

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit eigenhändig und selbständig geschrieben und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt haben. Die Stellen der Arbeit, die wissenschaftlichen oder anderen Quellen sowie bildlichen Darstellungen entnommen wurden, sind durch Angaben der Herkunft kenntlich gemacht.

Hamburg, den 07.02.2024

Bernadette Degenstein [REDACTED]