



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences

**Umgang mit dem Klimawandel: Welche Auswirkungen
haben Hitzewellen auf die Struktur des
Rettungswesens in Deutschland?**

Bachelorarbeit
Gefahrenabwehr/ Hazard Control

eingereicht: 24. März 2022

von: Sven Jönsson



1. Gutachter: Prof. Dr. Marc Schütte
2. Gutachter: Dipl.-Ing Matthias Freudenberg

Vermerk

Für alle Beschreibungen gilt: Die gewählte männliche Form bezieht sich immer zugleich auf weibliche und männliche Personen sowie sonstige Geschlechtsbezeichnungen. Auf Mehrfachbezeichnungen wurde zugunsten einer besseren Lesbarkeit verzichtet.

Zusammenfassung

Die Einflüsse des Klimawandels auf den menschlichen Organismus bergen eine Reihe aktueller und zukünftiger Gesundheitsrisiken, die die Akteure des Gesundheitssystems verstehen, verfolgen und bewältigen müssen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen Hitzewellen und Krankenhauseinweisungen als Indikator für den Einfluss von Hitze auf Morbidität. Zur erhöhten Mortalität bei Hitzewellen liegen bereits valide Daten vor, wohingegen die Morbidität im Rahmen von Hitzeereignissen bisher nur unzureichend betrachtet wurde. Für die Untersuchung wurde die Methode der systematischen Literaturanalyse mit anschließender Metaanalyse der resultierenden Studien gewählt. Mit Hilfe von wissenschaftlichen Datenbanken wurde die vollständige aktuelle Literatur zum Thema hitzeassoziierte Krankenhauseinweisungen für den Zeitraum zwischen 2016 und 2021 gesichtet. Nach der Anwendung entsprechender Ein- und Ausschlusskriterien wurden acht Studien für die Metaanalyse zugelassen. Anhand der vorliegenden Daten zu Effektschätzern wurde eine Aussage über das erhöhte Risiko von Krankenhauseinweisungen durch Hitzewellen getroffen.

In Deutschland existieren zum jetzigen Zeitpunkt im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern keine Hitzeschutzpläne, um auf Hitzewellen entschieden zu reagieren. Das Risiko vermehrter Krankenhauseinweisungen ist ein bisher wenig untersuchter Faktor in der Bewältigung klimabedingter Gefahren und wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Fragestellung	2
1.2 Zielsetzung und Eingrenzung des Themenschwerpunktes	2
2 Grundlagen	3
2.1 Operationalisierung des Begriffs Hitze	3
2.2 Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Organismus	3
2.2.1 Temperaturregulation	4
2.2.2 Kühlgrenztemperatur als Indikator für Hitzestress	6
2.2.3 Hitzeerkrankungen	7
2.2.4 Weitere Gesundheitsrisiken durch vermehrtes Auftreten von Hitze- wellen	9
2.3 Hitzevulnerable Personengruppen	13
2.4 Grundlagen zur Simulation des zukünftigen Klimawandels	13
2.5 Urbanisierung	15
2.6 Hitzeschutzpläne	16
2.6.1 Hitzeschutzpläne in Deutschland	16
2.6.2 Wirksamkeit von Hitzeschutzplänen	17
3 Methode	18
3.1 Suchstrategie und Auswahlkriterien	18
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien	18
3.2.1 PRISMA Flow Diagramm	20
3.3 Random-Effects-Modell	21
3.4 Heterogenitätsmaß I^2	22
4 Ergebnisse	23
4.1 Deskriptive Darstellung	23
4.2 Metaanalytische Auswertung der Effektgrößen	26
4.2.1 Relatives Risiko	26
4.2.2 Odds Ratio	28

5	Limitation der Studie	30
5.1	Interraterreliabilität	30
5.2	Uniformitätsproblem	30
5.3	Publikationsbias	30
5.4	Studiengewichtung	31
6	Fazit	32
7	Ausblick	34
	Literaturverzeichnis	35
A	Anhang	44
A.1	Alle Studien die in die Vorauswahl aufgenommen wurden (vgl. Tabelle 3.1)	44

Abkürzungsverzeichnis

RCP (trans) Repräsentativer Konzentrationspfad, engl. Portable Document Format
Representative Concentration Pathways

WHO (trans) Weltgesundheitsorganisation, engl. World Health Organisation

WMO (trans) Weltorganisation für Meteorologie, engl. World Meteorological Organization

GAK Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels

RKI Robert Koch-Institut

T_w (trans) Kühlgrenztemperatur, engl. Wet-bulb temperature

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

Art. Artikel

PTBS posttraumatischen Belastungsstörungen

Abbildungsverzeichnis

2.1	Mittlere tägliche Oberflächenlufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit während tödlicher Hitzeereignisse.	6
2.2	Zusammenhang zwischen Temperatur und Suizidalität.	12
2.3	Darstellung des relativen Risiko zwischen Suiziden in warmen Monaten. . .	12
2.4	Darstellung des zeitlichen Zusammenhangs zwischen den möglichen RCP-Szenarien und deren Auswirkungen auf das Klima.	15
3.1	PRISMA-Flow Diagramm: Prozess der systematischen Literaturrecherche. .	21
4.1	Darstellung hitzebedingter Krankenhauseinweisungen in Folge von Hitze- wellen. Darstellung der Effektstärken unter Angabe des Konfidenzintervalls sowie der gemittelten gewichteten Gesamteffektstärke.	27
4.2	Darstellung hitzebedingter Krankenhauseinweisungen in Folge von Hitze- wellen. Darstellung der Effektstärken unter Angabe des Konfidenzintervalls sowie der gemittelten gewichteten Gesamteffektstärke.	29

Tabellenverzeichnis

2.1	Abgabe von Schweiß in Litern pro Stunde bei einem erwachsenen Mann, in Abhängigkeit von körperlicher Aktivität und Umgebungstemperatur. . . .	5
2.2	Darstellung der vier RCP-Szenarien.	14
2.3	Darstellung der Wirksamkeit einiger Hitzeschutzpläne.	17
3.1	Auswahlkriterien für die systematische Literaturanalyse	19
4.1	Übersicht über die in der Metaanalyse aufgenommenen Studien.	24

1 Einleitung

„Mehr als 4000 Hitzetote gab es im Sommer 2020 – doppelt so viele wie Unfallopfer pro Jahr“ [1]. Mit dieser Aussage aus einem Bericht aus der Zeitung „Die ZEIT“ vom 02. September 2021 wird auf die Einflüsse des Klimawandels auf die Gesundheit aufmerksam gemacht.

Die Klimaforschung hat bereits in den 1990er Jahren für das Jahr 2020 vorhergesagt, dass Wetterextreme und Umweltkatastrophen zunehmen werden, die Ursache liegt dabei in der menschengemachten Klimakrise [2]. Eine zunehmend wachsende Weltbevölkerung, steigender Energiebedarf und ein gestiegener Lebensstandard führt zur Zunahme des Ausstoßes von Emissionen und somit zu einer weiteren Zuspitzung des bestehenden Klimawandels. Konkret heißt dies, dass die zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahre 1880 allesamt nach 2005 auftraten [3].

Die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels durch Hitzetage betreffen vor allem vulnerable Personengruppen. Insbesondere ältere, pflegebedürftige sowie vorerkrankte Menschen sind besonders gefährdet [4, S. 571]. Forschungen zur Exzessmortalität im Hitzesommer 2003 in Europa gehen in diesem Jahr von einer starken Übersterblichkeit im Zusammenhang mit Hitze aus [5]. Anders als in Deutschland reagierten die Gesundheitsministerien in Frankreich, der Schweiz, in Österreich, in Luxemburg und Großbritannien auf den Hitzesommer mit Hitze Notfallplänen und Gesetzen, um die Bevölkerung in Zukunft vor den Auswirkungen von Hitze zu schützen [5, S. 24].

In Deutschland hingegen sind einheitliche Meldesysteme zur Dokumentation hitzeassoziierter Mortalität und Morbidität nicht existent. Die vorliegende Arbeit untersucht den Zusammenhang zwischen Hitze und Krankenhauseinweisungen als Indikator für hitzeassoziierte Morbidität.

1.1 Fragestellung

Die Auswirkungen von Hitze auf die Mortalität sind umfangreich untersucht und die veröffentlichten Daten führen international zu übereinstimmenden Ergebnissen. Eine hitzeassoziierte Exzessmortalität konnte in vielen validen Studien nachgewiesen werden [2, S. 501]. Wohingegen die Auswirkungen von Hitze auf die Morbidität kaum untersucht wurden [6,7]. Aus diesem Grund untersucht diese Arbeit den Einfluss von Hitzewellen auf die Zahl der Krankenhauseinweisungen. Daraus soll abgeleitet werden, wie stark die Belastung des Gesundheitssystems in Deutschland durch Hitze in Zukunft sein könnte. Daraus wird abgeleitet, wie gut das deutsche Gesundheitssystem auf den Klimawandel vorbereitet ist, unter der Berücksichtigung, dass in Deutschland keine einheitliche Alarmierungssysteme oder Hitzeschutzpläne existieren.

1.2 Zielsetzung und Eingrenzung des Themenschwerpunktes

Um die Frage des Einflusses von Hitzewellen auf die Morbidität zu beantworten, steht eine systematische Literaturrecherche im Vordergrund der Arbeit. Die Studie verfolgt die Absicht die Korrelation zwischen Hitzewelle und Krankenhauseinweisung anschließend durch eine Metaanalyse zu quantifizieren. Dazu wird zunächst der Einfluss vermehrter Hitzeeinwirkungen auf die Gesundheit des Menschen analysiert und die möglichen Folgen auf das Gesundheitssystem dargestellt. Zur differenzierten Betrachtung der Folgen auf das Gesundheitssystem werden die Hitzeschutzpläne und Maßnahmen des Gesundheitssystems im In- und Ausland untersucht. Abschließend wird die Resilienz des Gesundheitssystems in Deutschland im Umgang mit Hitzewellen betrachtet und kritisch hinterfragt.

2 Grundlagen

2.1 Operationalisierung des Begriffs Hitze

Für die Durchführung der systematischen Literaturanalyse und der nachfolgenden Metaanalyse müssen einheitliche Ein- und Ausschlusskriterien entwickelt werden. Eines dieser Kriterien ist das Vorliegen einer Definition für Hitzewellen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) beschreibt eine Hitzewelle als mehrtägige Periode mit ungewöhnlich hoher thermischer Belastung [8]. Es handelt sich um ein Extremwetterereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur durch erhöhte Temperaturen schädigen kann. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) spricht von einer Hitzewelle, wenn die Tageshöchsttemperatur für mehr als fünf Tage die durchschnittliche Tageshöchsttemperatur (gemessen zwischen 1961 und 1990) um mindestens fünf Grad überschreitet [9].

Eine weltweit gültige Definition einer Hitzewelle existiert allerdings nicht [10]. Trotzdem weisen alle Definitionen bestimmte Merkmale einer Hitzewelle auf, die in der vorliegenden Arbeit als Einschlusskriterium gewählt wurden.

Typische Merkmale einer Hitzewelle

- Intensität: Temperatur überschreitet einen bestimmten Schwellenwert
- Zeitlicher Umfang: Vorliegen einer Mindestdauer
- Geographischer Umfang: Methodologische Eingrenzung auf ein bestimmtes geographisches Gebiet

2.2 Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Organismus

Um den Einfluss von Hitzewellen auf das Rettungsdienstwesen zu untersuchen, muss zunächst erläutert werden, welche Auswirkungen Hitze auf den menschlichen Organismus haben kann und welche dieser Auswirkungen von Hitze eine erhöhte Zahl von Rettungsdiensteinsätzen bedingen kann. Der Klimawandel wird als eine der größten Bedrohungen für die menschliche Gesundheit im 21. Jahrhundert gesehen [11]. Das Pariser Klimaabkommen von 2015 sieht eine Eingrenzung der Temperaturerhöhung auf „deutlich unter 2°C“ vor [12]. Eine Schätzung hitzebedingter Todesfälle des RKI hat ergeben, dass sich mit einer Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 1,5°C im Vergleich zu einem Anstieg von 3°C allein in Deutschland 1000 Herzinfarktereignisse vermeiden ließen [13, S. 62]. Bunz et al. postulierten schon 2017, dass durch den Klimawandel in Zukunft ein erhöhtes Risiko

für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Atemwegserkrankungen und Infektionen mit Krankheitserregern wie Viren und Bakterien bestehen wird [14]. Auch führen eine gesteigerte Lebenserwartung und eine alternde Gesellschaft durch den demographischen Wandel dazu, dass die gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels noch verstärkt werden [15]. Der Grund dafür ist eine hohe Zahl an Vorerkrankungen (Multimorbidität) bei älteren Menschen, die diese Bevölkerungsgruppe besonders vulnerabel für hitzebedingte Auswirkungen auf die Gesundheit macht [16, 17].

Neben den direkten Auswirkungen wie Hitze oder Extremwetterereignissen besteht eine Vielzahl indirekter Auswirkungen des Klimawandels und insbesondere von Hitze die Gesundheit. Bisher werden zur Berechnung klimabedingter Gesundheitsrisiken fast ausschließlich direkte Auswirkungen verwendet [18]. Zurückzuführen ist dies auf die nur unzureichende Datenlage und die nicht hinreichende Quantifizierung indirekter Auswirkungen auf die Gesundheit. In Folge der bestehenden Wissenslücken und Unsicherheiten in den Ausgangsdatensätzen, ist eine Bezifferung der Gesamtbelastung durch indirekte Faktoren nicht ausreichend möglich [19]. Somit ergibt sich eine hohe Dunkelziffer von nicht stratifizierbaren Risiken von Hitzeeinwirkung und Klimawandel auf die Gesundheit. Beispielsweise zeigen Studien, dass auch die Einweisung aufgrund von psychischen Erkrankungen bei erhöhter Temperatur zunimmt [20]. Es ist also davon auszugehen, dass die resultierenden Folgen in der Zukunft hunderte Millionen Menschen mehr vom Klimawandel betroffen machen könnten als derzeitige Vorhersagen prognostizieren [21].

2.2.1 Temperaturregulation

Der menschliche Körper funktioniert nur bei einer Körpertemperatur zwischen 36 °C und 37,5 °C optimal. Bereits bei einer Temperatur von 38,2 °C, also leicht erhöhter Temperatur, kann dies den Menschen physisch und psychisch einschränken. Bei Körpertemperaturen von über 40 °C verlieren bereits viele Proteine ihre Funktion. Somit werden essenzielle zelluläre Prozesse wie Enzymreaktionen gestört, was bei längerem Andauern der Hitzebelastung unmittelbar zum Tod führt [22]. Um den Organismus zu schützen, besitzt der menschliche Körper bestimmte Steuermechanismen zur Hitzeregulation. Die Regulation der Körpertemperatur erfolgt unwillkürlich über den Hypothalamus – ein Steuerzentrum des unwillkürlichen Nervensystems im Gehirn.

Von dort aus werden die Hitzeregulationsmechanismen über Botenstoffe gesteuert, die im Körper Effekte auslösen, die zur Erhöhung oder Erniedrigung der Körpertemperatur beitragen können. Es können beispielsweise die peripheren venösen Gefäße weitgestellt werden, um das Blut an die Körperoberfläche zu bringen und dort abzukühlen. Dieser Mechanismus funktioniert so lange bis die Außentemperatur die Körpertemperatur nicht übersteigt. Ein weiterer Regulationsmechanismus ist das Schwitzen. Über eine Stimulation

des sympathischen Nervensystems werden die Schweißdrüsen angeregt, der Körper beginnt zu schwitzen. Die Erniedrigung der Körpertemperatur erfolgt bei diesem Mechanismus durch die Verdunstungskälte des Schweißes auf der Haut [23, S. 365-366].

Wie in Tabelle 2.1 zu erkennen, schwitzt ein erwachsener Mann, der bei 38°C im Schatten sitzt, pro Stunde 0,2 L aus [5, S. 30]. Bei schwerer körperlicher Belastung kann ein Mann bis zu vier Liter ausschwitzen, um seine Körpertemperatur durch eine Befeuchtung der Hautoberfläche zu reduzieren. Dieser Mechanismus sorgt auch bei Außentemperaturen über der Körpertemperatur mithilfe von Verdunstungskälte für eine gewisse Kühlung des Körpers [24, S. 19].

Tabelle 2.1: Abgabe von Schweiß in Litern pro Stunde bei einem erwachsenen Mann, in Abhängigkeit von körperlicher Aktivität und Umgebungstemperatur. ¹

	27 °C	32 °C	38 °C	43 °C
Im Schatten sitzen	0,05 l	0,1 l	0,2 l	0,6 l
Auto fahren	0,2 l	0,4 l	0,7 l	1,0 l
Spazieren gehen (5 km/h)	0,4 l	0,7 l	1,0 l	1,3 l
Marathon laufen	k. A.	k. A.	k. A.	Max. 4 l

Die oben beschriebenen Mechanismen können allerdings nur begrenzt die Hitzebelastung des Körpers regulieren. Die Erweiterung der venösen Gefäßsysteme ist so lange die Außentemperatur die Körpertemperatur nicht übersteigt wirksam. Eine hohe relative Luftfeuchtigkeit führt dazu, dass die Temperaturregulation durch Schwitzen unwirksam wird.

Somit lässt sich auch erklären, weshalb eine Hyperthermie selbst bei Temperaturen niedriger der optimalen Körpertemperatur und einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit entstehen kann. In Abbildung 2.1 wird dieser Zusammenhang deutlich: Bei einer erhöhten Wasserdampfmenge in der Luft sind bereits niedrigere Außentemperaturen mit tödlichen Hitzeereignissen assoziiert. Die Grenze tödlicher Hitzebedingungen nimmt also mit einer erhöhten Wasserdampfmenge in der Umgebungsluft zu [25, S. 2]. Die Hitzeempfindlichkeit des Menschen hängt also neben der der Lufttemperatur von weiteren Parametern ab, wie der Luftfeuchtigkeit, dem Wind und der Sonneneinstrahlung.

¹Quelle: [5, S. 31]

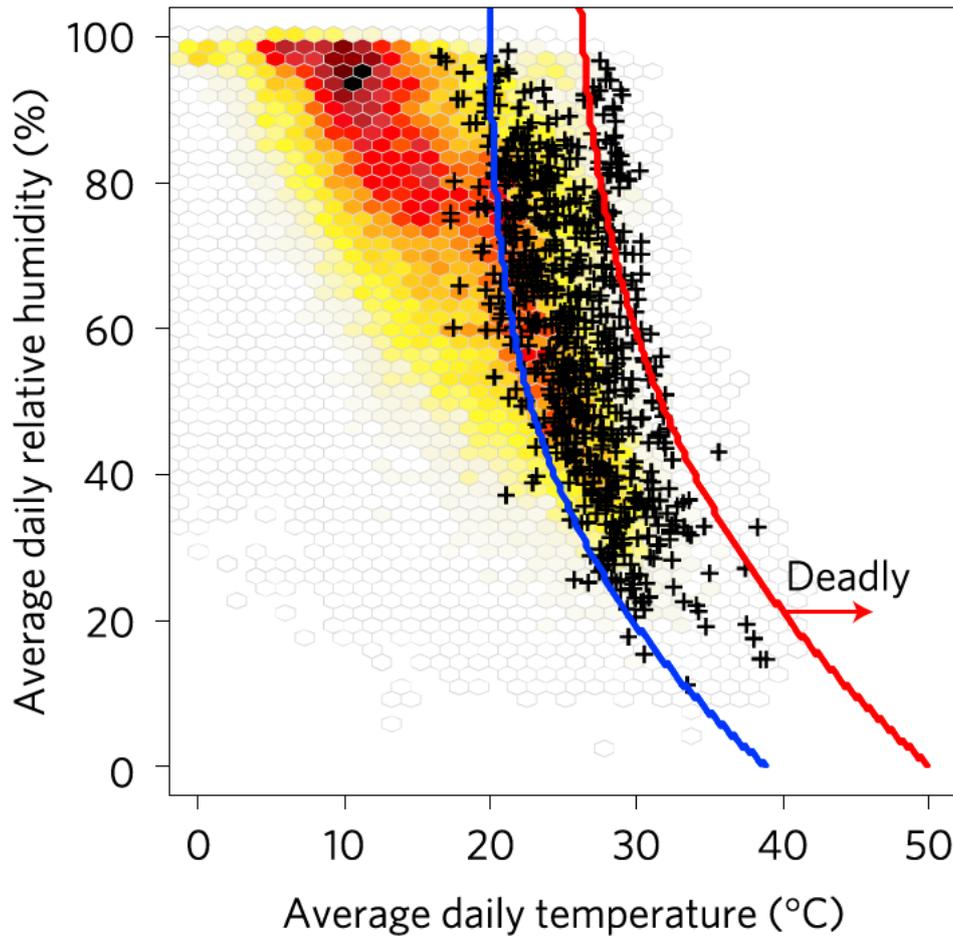


Abbildung 2.1: Mittlere tägliche Oberflächenlufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit während tödlicher Hitzeereignisse.²

2.2.2 Kühlgrenztemperatur als Indikator für Hitzestress

Um die gesundheitlichen Gefahren durch Hitze zu quantifizieren, wurde eine Überlebensschwelle auf Grundlage der Feuchtigkeits- und Temperaturparameter definiert. Diese Überlebensschwelle wird anhand der Kühlgrenztemperatur (T_W) definiert. Sie bezeichnet die tiefste Temperatur, die durch Verdunstungskühlung – also beispielsweise durch Schwitzen – erreicht werden kann [26, S. 9554-9555].

Ab einer Kühlgrenztemperatur von 35 °C kann die durch den menschlichen Stoffwechsel entstehende Wärme nicht mehr an die Umgebungsluft abgegeben werden [26, S. 9552]. Ist der Mensch einer T_W von etwa 35 °C auch nur für einige Stunden ausgesetzt, führt dies selbst bei gesunden Menschen unter schattigen, gut belüfteten Bedingungen zum Tod durch Hyperthermie [26, S. 9554-9555].

²Quelle: [2, S. 502]

2.2.3 Hitzeerkrankungen

Als Hitzeerkrankungen oder Hitzeschäden werden Gesundheitsstörungen bezeichnet, die durch eine erhöhte Umgebungstemperatur bedingt sind. Hitzeerkrankungen entstehen durch eine akute Hyperthermie, die vom Organismus physiologisch nicht mehr ausgeglichen werden kann. Unterschieden wird zwischen leichten Formen des Hitzeschadens mit intakter Thermoregulation und schweren Hitzeschäden mit lebensbedrohlichem Anstieg der Körpertemperatur [27, S. 300-303]. Zu leichten Hitzeschäden werden die Hitzeerschöpfung, der Hitzekrampf und der Hitzekollaps gezählt. Zu schweren Hitzeschäden zählen der Sonnenstich und der Hitzschlag.

Hitze-Erschöpfung

Die Hitzeerschöpfung bezeichnet eine Kreislaufdysregulation aufgrund von Elektrolyt- und Flüssigkeitsverlusten durch vermehrtes Schwitzen als Reaktion auf eine erhöhte Umgebungstemperatur. Leichte Flüssigkeitsverluste äußern sich durch eine Leistungsminderung sowie Schwäche, Übelkeit und Kopfschmerzen. Ein stärkerer Flüssigkeits- und Elektrolytverlust kann sogar zu Bewusstseinsstörungen bis hin zum Bewusstseinsverlust (Synkope) führen [27, S. 303] [28].

Im Fokus der Therapie steht der Ausgleich von Elektrolyten und Flüssigkeit mittels Gabe von intravenöser Vollelektrolytlösung sowie die Überwachung der betroffenen Person durch medizinisches Fachpersonal für mindestens 90 bis 120 Minuten [27, S. 305]. Bei leichteren Fällen von Hitzeerschöpfung reicht die Überwachung der betroffenen Person vor Ort (ambulant), bei schwerwiegenderen Fällen kann eine stationäre Überwachung notwendig werden. Von zentraler Bedeutung ist die regelmäßige Messung der Körpertemperatur, da eine Hitzeerschöpfung sich auch zu einem lebensgefährlichen Hitzschlag entwickeln kann [27, S. 305].

Hitzekrampf

Ein Hitzekrampf bezeichnet einen schmerzhaften Krampf in der Muskulatur nach körperlicher Anstrengung bei erhöhter Umgebungstemperatur. Der Krampf in der Muskulatur entsteht durch Elektrolyt- und Flüssigkeitsverluste bei vermehrtem Schwitzen [29, S. 682]. Oft entstehen diese Krämpfe mit leichter Verzögerung, wenn durch Schwitzen entstandene Elektrolytverluste nicht ausreichend ausgeglichen wurden. Vorrangig sollte bei der Therapie der entstandene Elektrolytverlust ausgeglichen werden, selten ist eine intravenöse Substitution dieser Elektrolyte notwendig. Eine orale Aufnahme von natriumreicher Lösung und

eine kurze ambulante Überwachung der betroffenen Person reicht in den meisten Fällen aus und eine stationäre Aufnahme ist nicht notwendig [27, S. 303] [29, S. 682-683].

Hitzekollaps

Als Hitzekollaps oder Hitzesyndrome wird eine vorübergehende Kreislaufdysregulation bezeichnet, die mit einem Bewusstseinsverlust einhergeht. Der Bewusstseinsverlust entsteht durch eine Minderversorgung des Gehirns mit Blut aufgrund einer Umverteilung des Blutes in die Peripherie. Wie bereits beschrieben ist ein Mechanismus der Thermoregulation die Weitstellung (Dilatation) der peripheren Gefäße, so dass mehr Blut an der Körperoberfläche fließt. Wird nun zu viel Blut umverteilt, kann es zu einer Unterversorgung des Gehirns kommen, was mit einer Synkope (Bewusstseinsverlust) einhergeht [27, S. 303].

Die Behandlung eines Hitzekollaps besteht in der Schocklagerung mit erhöhten Beinen der betroffenen Person sowie der Kühlung und Flüssigkeitssubstitution [29, S. 674]. In den meisten Fällen ist im Rahmen eines Hitzekollaps keine stationäre Behandlung notwendig. Kommt es jedoch zu einem längerfristigen Bewusstseinsausfall, kann sogar eine intensivmedizinische Behandlung notwendig werden. Wichtig ist die Überprüfung auf sturzbedingten Verletzungen sowie der Ausschluss kardialer Ursachen für die Synkope [29, S. 95].

Sonnenstich

Ein Sonnenstich ist definiert als eine akute Temperaturerhöhung des Kopfes durch direkte Sonneneinstrahlung [27, S. 302-303]. Kann die Temperatur des Kopfes durch Temperaturregulation nicht mehr adäquat gesenkt werden führt dies zur Erweiterung der Gefäße im Schädelinneren, was daraufhin zu einer Druckerhöhung im Kopf führen kann. Die Druck- und die Temperaturerhöhung kann eine Reizung der Hirnhäute zur Folge haben. Ein Sonnenstich entsteht meistens bei Massenveranstaltungen im Freien ohne entsprechende Beschattung. Die Symptome reichen von einer Erhitzung und Rötung des Kopfes und des Gesichts bis zu Kopfschmerzen und Übelkeit. Eine Reizung der Hirnhäute im Sinne einer abakteriellen Meningitis (Hirnhautentzündung) zeigt sich durch eine Steifigkeit des Nackens.

Zumeist reicht die Behandlung durch vor Ort stationierte Sanitätsdienste, die eine Kühlung des Kopfes mit feuchten Tüchern oder Kompressen durchführen. Weiterhin sollte die betroffene Person angehalten werden Flüssigkeit in Form von alkoholfreien Getränken zu sich zu nehmen. Die rettungsdienstliche Behandlung eines Sonnenstichs ist dann erforderlich, wenn sich eine Hirnhautreizung durch Nackensteifigkeit oder eine Bewusstseinsvertrübung zeigt. Es erfolgt zur Behandlung eine intravenöse Flüssigkeitsgabe, die Kühlung des

Kopfes sowie die Bereitschaft zur Intubation und medikamentöser Durchbrechung von möglicherweise auftretenden Krampfanfällen [27, S. 303].

Hitzschlag

Der gefährlichste Hitzeschaden ist der Hitzschlag. Bei diesem Krankheitsbild kommt es zu lebensgefährlichen Erhöhungen der Körpertemperatur auf jenseits der 40°C aufgrund von hohen Umgebungstemperaturen, die nicht mehr durch die körpereigenen Regulationsprozesse kompensiert werden können. Vom klassischen Hitzschlag (“classic heat stroke”) sind meistens ältere, vorerkrankte Personen sowie Kinder mit noch nicht ausgereifter Thermoregulation betroffen. Als Risikofaktoren gelten kardiovaskuläre Vorerkrankungen sowie eine Behandlung mit entwässernden Medikamenten (Diuretika). Junge, gesunde Personen sind vor allem vom Hitzschlag durch übermäßige Anstrengung (“exertional heat stroke”) betroffen [30].

Durch die extreme Hitzeeinwirkung auf den Körper, die durch Regulationsmechanismen nicht mehr ausgeglichen werden kann, können irreversible Organschäden entstehen [31, S. 445]. Im Extremfall kann ein Hitzschlag durch eine Wassereinlagerung im Gehirn (Hirnödem) und Multiorganversagen zum Tode führen [32, S. 503]. Sobald der Verdacht auf einen Hitzschlag besteht, ist ein Rettungsdiensteinsatz mit Transport in ein Krankenhaus erforderlich, da die Gefahr eines Herz-Kreislauf-Stillstandes besteht. Die Therapie des Hitzschlags besteht neben der Oberflächenkühlung und gegebenenfalls auch inneren Kühlung auch in der Überwachung der Organfunktionen. So muss beispielsweise eine strikte Überwachung am Monitor durchgeführt werden, falls Herz-Rhythmus-Störungen auftreten. Auch die Blutgase, Elektrolyte, der Blutdruck und die Körperkerntemperatur müssen regelmäßig überprüft werden. Neben der Körperkühlung müssen auch fehlende Elektrolyte und Flüssigkeit durch intravenöse Therapie ausgeglichen werden und möglicherweise maschinelle Organersatzverfahren wie beispielsweise eine Dialyse oder eine invasive Beatmung durchgeführt werden [29, S. 682]. Die 2-jahres-Mortalität eines Hitzschlags liegt selbst bei Krankenhauseinweisungen bei bis zu 71% [33, S. 2181].

2.2.4 Weitere Gesundheitsrisiken durch vermehrtes Auftreten von Hitzewellen

In diesem Abschnitt sollen einige weitere Gesundheitsrisiken thematisiert werden, die durch ein vermehrtes Auftreten von Hitzewellen ebenfalls zu vermehrter Krankenhauseinweisung führen könnten. Die genannten Gesundheitsrisiken sollen als Beispiele für den breiten Einfluss des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit dienen. Dabei wird speziell auf Krankheitsbilder eingegangen, die durch eine Änderung des Klimas vermehrt auftreten werden.

Allergisches Asthma bronchiale

Allergisches Asthma bronchiale ist eine entzündliche Erkrankung der Atemwege, deren Ausprägung von milden Verläufen bis zu lebensbedrohlichen Asthmaanfällen reichen kann. Als ein Risikofaktor für die Entwicklung eines allergischen Asthma bronchiale gelten unter anderem exogene Allergene wie Staub und Pollen. Wenn ein allergisches Asthma bronchiale vorliegt, kann eine Exposition gegenüber diesen exogenen Allergenen einen akuten Asthmaanfall auslösen. Dieser zeichnet sich aus durch extreme Luftnot infolge einer akuten Verengung der Atemwege. Ohne medizinische Behandlung kann ein akuter Asthmaanfall lebensbedrohlich sein [31, S. 238].

Eine erhöhte CO₂-Konzentration und steigende Temperaturen können die Pollenmenge erhöhen und zu einer verlängerten Pollensaison führen [34, S. 2]. Als logische Schlussfolgerung wird in Zukunft eine Zunahme von Pollenallergien infolge des Klimawandels erwartet. Es wird schon jetzt eine zunehmende Inzidenz von Asthma bronchiale beobachtet, die in so kurzer Zeit aufgetreten ist, dass sie nicht mit genetischen Veränderungen im Menschen erklärbar sein kann [35, S. 912-913]. Eine nachvollziehbare Erklärung dafür wäre der Klimawandel.

Mit der prognostizierten Zunahme von Hitzeperioden (s. oben) steigt ebenfalls die Wahrscheinlichkeit von Hitzegewittern. Es zeigt sich dabei auch, dass Asthmaanfälle insbesondere kurz vor oder kurz nach einem Gewitter auftreten [36, S. 411]. Dieser Zusammenhang ist auf die Verwirbelung der Atmosphäre mit den vermehrt freigesetzten Partikeln und Pollen zurückzuführen [37, S. 605]. In Verbindung mit Gewittervorkommnissen wurde eine 4 bis 12-fache Anstieg der Gräserpollen-Konzentration nachgewiesen [38, S. 486]. Auch Marks et al. (2001) beobachtete einen Zusammenhang zwischen einer ungewöhnlich hohen Anzahl von Rettungsdiensteinsätzen aufgrund von Asthma an Tagen mit Gewitterausbrüchen im Frühjahr und Sommer [38, S. 468-469].

Mikroorganismen

Mit der Veränderung des Klimas werden auch Mikroorganismen, die bisher nur in tropischen Klimazonen beobachtet worden sind, vermehrt Einzug in gemäßigte Klimazonen halten. Eine Erwärmung der Wassertemperatur führt beispielweise schon jetzt zu einer vermehrten Verbreitung von Blaualgen (Cyanobakterien), die bei Hautkontakt zu Hautreaktionen und beim Verschlucken zu Beschwerden im Magen-Darm-Trakt führen, denn sie bilden hochgiftige Neuro- und Lebertoxine [39]. Weiterhin können bereits in milderen Klimazonen verbreitete Erreger ihre Ausbreitung vermehren, wie es bereits bei Krankheiten, die durch bestimmten Zeckenarten übertragen werden, zu verzeichnen ist. Die Frühsommer-Meningo-Enzephalitis (FSME) ist ein durch Zecken (*Ixodes ricinus*) übertragenes Virus, welches in

bestimmten Risikogebieten insbesondere in bewaldeten Gebieten in Bayern und Baden-Württemberg verbreitet ist. Sie stellt neben der Borreliose eine der bedeutendsten durch Vektoren übertragenen Krankheiten in Deutschland und Europa dar. Die Durchseuchungsrate der Zecken in Deutschland beträgt ungefähr 1 % und die Hauptübertragungszeit sind namensgebend der Frühling und Anfang des Sommers. Durch gemäßigte Winter könnten sich die Hauptübertragungszeiten ausweiten und somit die Infektionswahrscheinlichkeit erhöhen [40, S. 703]. Eine Infektion mit dem FSME-Virus kann beim Menschen in bis zu 10 % der Fälle zu einer Entzündung der Hirnhäute (Meningen) und des Gehirns führen, bisher gibt es keine kausale Therapiemöglichkeit. Eine Meningoenzephalitis führt zu Schwindel, Übelkeit und Kopfschmerzen sowie sehr hohem Fieber. In Extremfällen kann sie auch zu Bewusstseinsstörungen führen, die eine Atemwegssicherung notwendig machen.

In jedem Fall sollte ein Verdacht auf eine Meningitis oder Meningoenzephalitis stationär überwacht werden und mit Flüssigkeitssubstitution sowie Antipyretika (Medikamente zur Fiebersenkung) behandelt werden [41]. Eine weitere Problematik besteht darin, dass die primäre Methode zur Bekämpfung von Erregern im menschlichen Körper die Erhöhung der Körperkerntemperatur ist. Wenn die Erreger jedoch durch die generelle Temperaturerhöhung durch den Klimawandel schon an sehr hohe Lufttemperaturen gewöhnt sind, könnte dieser Abwehrmechanismus nicht greifen. Der Mensch ist also dadurch noch vulnerabler gegenüber eindringenden Mikroorganismen [42, S. 554].

Exazerbation psychiatrischer Erkrankungen

Der Klimawandel hat nicht nur einen Einfluss auf physische sondern auch auf psychische Erkrankungen. Extremwetterereignisse, die durch den Klimawandel vermehrt stattfinden, führen beim Menschen zu psychischer Verunsicherung bis hin zu posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS) [43, S. 293]. Durch Extremwetterereignisse wie beispielsweise „Hurricane Katrina (USA)“ verloren viele Menschen Familienmitglieder, persönliche Besitztümer und ihr Zuhause. Die Rate von Depressionen und anderen Psychosen infolge dieses Extremwetterereignisses verdoppelte sich [44, S. 2-4]. Neben der psychischen Belastung durch Extremwetterereignisse führt auch eine vermehrte Hitzebelastung zu einer erhöhten Inzidenz von psychischen Erkrankungen und einer vermehrten Rate von Suiziden [43, S. 93-95] [45, S. 731].

Die genaue Ursache für dieses Phänomen ist noch nicht untersucht, aber es zeigt sich ein saisonaler Zusammenhang bei der Rate von Suiziden. Anders als zunächst anzunehmen, findet die höchste Zahl an Suiziden nicht in den Wintermonaten statt, wo die Zahl der sogenannten „seasonal affective disorders“ (saisonal gebundene Depression oder Winterdepression) deutlich erhöht ist. Wie in Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3 zu sehen korreliert die Inzidenz von Suiziden nicht mit der Inzidenz von der sogenannten „Winterdepression“, sondern

zeigt einen genau entgegengesetzten Zusammenhang. In den warmen Sommermonaten ist die Zahl der Suizide deutlich höher als in den kalten Wintermonaten.

Viele Autoren gehen deshalb von einem klimatischen Einfluss der erhöhten Suizidalität aus [17, S. 58]. Im Fokus liegt dabei häufig die Stärke der maximalen solaren Einstrahlung. Auch wird durch andere Autoren ein Zusammenhang zwischen der nervalen Reizbarkeit und der Temperatur vermutet [46, S. 94-95]. Es gibt viele Studien, die mögliche Risikofaktoren untersucht haben, allerdings scheint dies ein komplexer multifaktorieller Zusammenhang zu sein und kann nach aktueller Studienlage noch nicht als Kausalzusammenhang gewertet werden, sondern nur als Korrelation [17, S. 58].

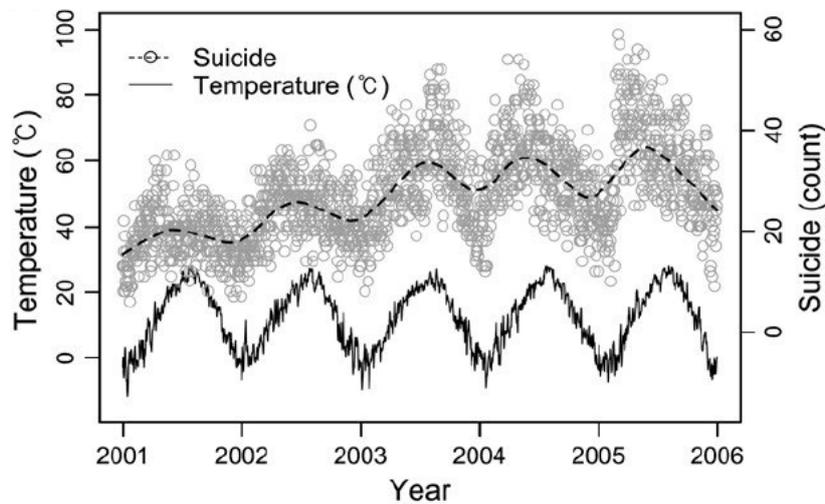


Abbildung 2.2: Zusammenhang zwischen Temperatur und Suizidalität.³

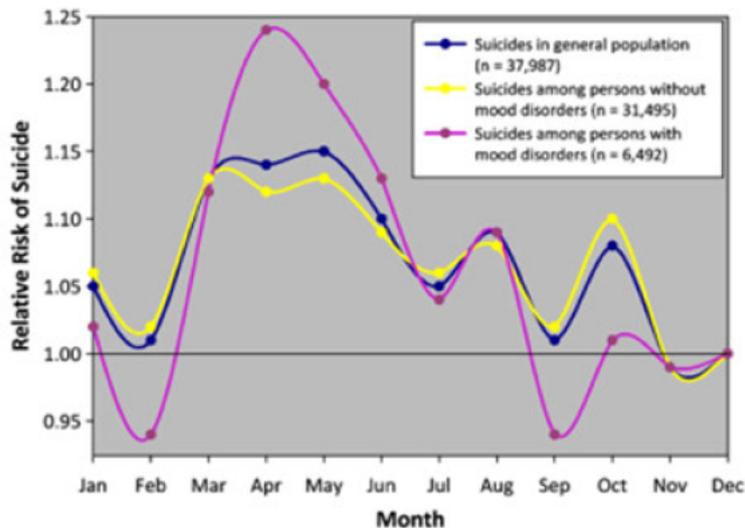


Abbildung 2.3: Darstellung des relativen Risikos zwischen Suiziden in warmen Monaten.⁴

³Quelle: [17, S. 58]

⁴Quelle: [47, S. 536]

2.3 Hitzevulnerable Personengruppen

Anhand der oben beschriebenen Einflüsse von Hitzeereignissen und erhöhten Temperaturen kann man ableiten, welche Personengruppen eine besondere Vulnerabilität gegenüber Hitze haben könnten. Ein besonderes Gesundheitsrisiko haben Menschen mit chronischen Vorerkrankungen des kardiovaskulären und respiratorischen Systems sowie ältere Menschen (> 75 Jahre) mit Einschränkungen der thermophysiologischen Anpassungskapazität [17, S. 24-25]. Da die Multimorbidität (das Vorliegen mehrerer Krankheiten) vor allem mit dem Alter zunimmt, sind Personengruppen höheren Alters die primäre vulnerable Personengruppe, wenn es um erhöhte Temperaturen und Hitzeereignisse geht. Ebenfalls handelt es sich bei den Krankheiten im Alter meistens um Krankheiten des kardiovaskulären oder respiratorischen Systems wie beispielsweise Bluthochdruck, koronare Herzkrankheit oder Herzinfarkte [48, S. 579-580]. Zusammenfassend ist festzustellen, dass ältere und vorerkrankte Personengruppen ein besonders hohes Risiko tragen einen hitzebedingten Rettungsdiensteinsatz auszulösen.

2.4 Grundlagen zur Simulation des zukünftigen Klimawandels

Neben der zu erwartenden Erderwärmung und der Veränderung der Mitteltemperatur in Deutschland werden in der Zukunft insbesondere die Temperaturextreme unser Leben prägen. Es wird davon ausgegangen, dass es in Zukunft aufgrund von vermehrter Klimavariabilität zu häufigeren und intensiveren Hitzeperioden kommen wird [49, S. 15-16].

Durch die Überlagerung eines Anstiegs der Mitteltemperatur sowie einer erhöhten Temperaturvariabilität ist zu erwarten, dass intensivere Hitzeereignisse zunehmen und Kälteereignisse abnehmen werden [50, S. 86, 110-113].

Um den Einfluss des Lufttemperaturanstiegs vorauszusagen, werden vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sogenannte RCP-Szenarien erstellt. Das IPCC ist ein Gremium der Vereinten Nation, das wissenschaftliche Erkenntnisse einschätzt und diese Erkenntnisse regelmäßig in Sachstandsberichten zusammenfasst. Wie in der Tabelle 2.2 erkennbar beschreiben die RCP-Szenarien unterschiedliche Klimamodelle, welche anhand der Treibhausgas-Emissionen den Klimawandel bis 2100 vorhersagen. Sie werden von unabhängigen Wissenschaftlern erstellt und wurden im 5. Sachstandsbericht des IPCC veröffentlicht [51].

Tabelle 2.2: Darstellung der vier RCP-Szenarien.

Übersicht		
RCP-Szenario	Lufttemperaturanstieg gegenüber für 2081 – 2100 im Vergleich mit 1986 - 2005	Eigenschaften
RCP2.6	0,3 °C bis 1,7 °C	Szenario mit extrem niedrigen Emissionen. <ul style="list-style-type: none"> • Tage mit Temperaturen unterhalb des 10. Perzentil zum Referenzzeitraums [51, S. 754]. • Annahme, dass die Pro-Kopf Emission bis 2080 den Wert 0 erreichen [52].
RCP4.5	1,1 °C bis 2,6 °C	Anstieg der Weltbevölkerung auf 9 Mrd und Ausstoß der Pro-Kopf-Emissionen von 5 t /Jahr bis 2080 auf 1,5 t/Jahr [52].
RCP 6.0	1,4 °C bis 3,1 °C	Moderater Anstieg der jährlichen Emissionen im Vergleich zum derzeitigen Stand. Begrenzung der Bevölkerung auf 10 Mrd. Menschen bei gleichbleibenden Pro-Kopf-Emissionen [52].
RCP 8.5	2,6 °C bis 4,8 °C	Szenario mit sehr hohen Emissionen. - Tage mit Temperaturen oberhalb des 90. Perzentil zum Referenzzeitraums [51]. <ul style="list-style-type: none"> • Tage mit Temperaturen oberhalb des 90. Perzentil zum Referenzzeitraums [51, S. 754].

Das Ergebnis sind vier Szenarien, in denen die Treibhausgaskonzentrationen bis in das Jahr 2100 gegenüber vorindustriellen Werten von 1850 vorhergesagt wird und anhand von wissenschaftlicher Literatur eine Prognose zum Temperaturanstieg gemacht wird. Die vier Szenarien (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6 und RCP 8.5) machen dabei Aussagen über unterschiedliche Verläufe der globalen Entwicklung der Pro-Kopf-Emission. Dabei steht RCP 2.6 für extrem niedrige Emissionen und RCP 8.5 für ein Szenario mit sehr hohen Emissionen. Die Abbildung 2.4 zeigt die möglichen RCP-Szenarien und die daraus folgenden Temperaturentwicklungen im Zeitraum von 1950 bis 2100. Dargestellt sind die Szenarien RCP 2.6 (blau) und RCP 8.5 (rot). Die schwarze Linie mit ihrer grauen Schattierung modelliert die historische Entwicklung. Für die Unsicherheitsbereiche sind für alle RCP-Szenarien vertikale Balken dargestellt.

⁴Quelle: Eigene Darstellung

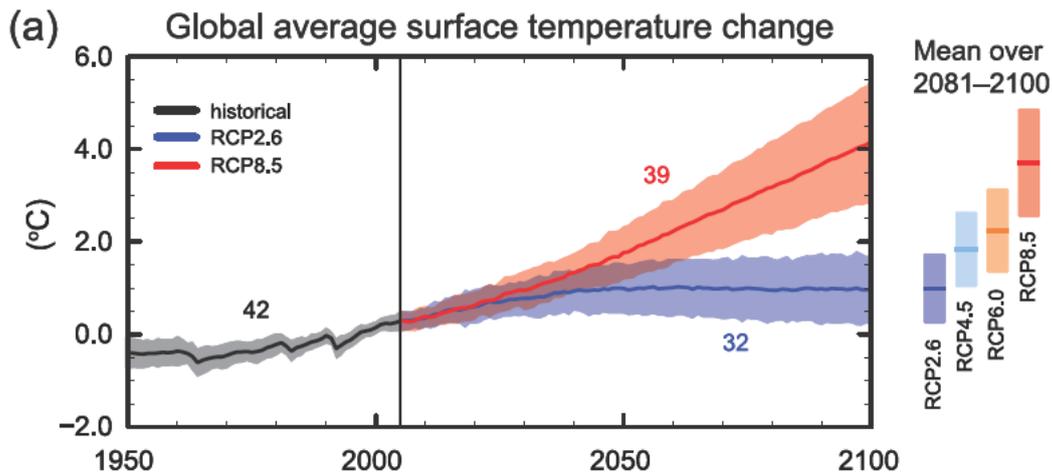


Abbildung 2.4: Darstellung des zeitlichen Zusammenhangs zwischen den möglichen RCP-Szenarien und deren Auswirkungen auf das Klima.⁵

Die RCP-Szenarien stellen dabei keine Prognosen oder Handlungsempfehlungen dar, sondern dienen der Abbildung eines breiten Spektrums möglicher Klimaszenarien. Ein RCP 8.5-Szenario ist mit einer Temperaturerhöhung von ca. 4,5 °C verbunden. Bei Eintritt dieses Klimaszenarios würde eine Kühlgrenztemperatur von 35 °C das Leben im nördlichen Indien [54, S. 4]. sowie im nördlichen Südamerika, Mittelamerika und der Sahararegion unmöglich machen [55, S. 60-61].

2.5 Urbanisierung

Nicht nur die zu erwartende Erhöhung der globalen Mitteltemperatur, sondern auch die zunehmende Urbanisierung führt zu einer erhöhten Belastung des Gesundheitssystems durch Hitze. Die Jahresmitteltemperatur liegt selbst ohne eine Erhöhung der Mitteltemperatur durch den Klimawandel in urbanen Räumen um 0,5 - 1,5 °C höher als im Umland [56, S. 87]. Dazu kommt, dass der prognostizierte Temperaturanstieg in Städten auch noch wesentlich höher liegt als der globale Durchschnitt. Nach RCP 8.5 (Anstieg von 2,7 - 4,8 °C) ist in vielen Städten sogar mit einem Temperaturanstieg von 4 - 7 °C zu rechnen [57, S. 5-7]. Dies gilt insbesondere für dicht besiedelte und wenig bewachsende Gebiete [58, S. 497-498].

Zu erklären ist dies mit dem urbanen Hitzeinsel-Effekt. Bei der Verdunstung von Wasser aus Pflanzen (Transpiration) wird der umgebenden Luft Energie in Form von Wärme entzogen und die Lufttemperatur nimmt folglich ab [56, S. 48-54]. Derselbe Effekt findet bei der Verdunstung von Wasser aus Böden und Wasserflächen (Evaporation) statt. Wegen

⁵Quelle: [53]

dichter Bebauung und Versiegelung der Bodenflächen in Städten können diese Effekte nicht stattfinden.

Zudem speichern Gebäude und Asphaltstraßen die Hitze des Tages ab und geben diese im Verlauf der Nacht wieder an die Umgebung ab. Deshalb kann in urbanen Gebieten nachts keine signifikante Abkühlung der Luft stattfinden. Bereits im Jahr 2020 leben ca. 77,4 % der Bevölkerung in Deutschland Städten – in Zukunft wird diese Zahl laut den vorliegenden Trends noch steigen [59]. Dieser Anteil der Bevölkerung wird folglich noch höheren Temperaturen ausgesetzt sein als durch die vorliegenden Szenarien beschrieben.

2.6 Hitzeschutzpläne

Nach dem Hitzesommer 2003 veröffentlichte die Weltgesundheitsorganisation Europa (WHO) eine Leitlinie für die Erarbeitung von Hitzeaktionsplänen und forderte die Länder auf diese zu entwickeln und umzusetzen [60]. Ein Hitzeschutzplan beinhaltet Maßnahmen zur Reaktion auf Hitze im Sinne von Meldesystemen, die auf eine Gefahrenlage aufmerksam machen, Schutzmaßnahmen für vulnerable Bevölkerungsgruppen sowie Handlungsanweisungen für die Bereiche der kritischen Infrastruktur. Der Hitzeschutzplan stellt eine Entwicklungsstrategie aufgrund von epidemiologischer Forschung zum verbesserten Umgang mit Umweltveränderungen dar [61].

2.6.1 Hitzeschutzpläne in Deutschland

Ein einheitlicher Hitzeschutzplan nach den Leitlinien der WHO existiert in Deutschland nicht [5, S. 63-65]. Begründet wird dies mit dem Föderalismus in Deutschland. Die generelle Gesetzgebungskompetenz zum Klimaschutz liegt in Deutschland bei den Bundesländern (Art. 70 Abs. 1 GG). Das bedeutet, dass die Länder gesetzgeberisch tätig werden müssen, sofern der Bund kein entsprechendes Gesetz erlassen hat (Art. 72 Abs. 1 GG).

Aufgrund der Leitlinien der WHO wurde eine Handlungsempfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (GAK) zur Erstellung von Hitzeschutzplänen ausgegeben [62]. Dieser Handlungsempfehlung, Hitzeschutzpläne zu entwickeln sind bisher das Land Hessen, Thüringen und Nordrhein-Westfalen nachgekommen. Zudem haben bereits einige Städte angefangen Hitzeschutzpläne zu entwickeln.

2.6.2 Wirksamkeit von Hitzeschutzplänen

Die Wirksamkeit von Hitzeschutzplänen ist belegbar anhand von Daten aus europäischen Ländern, die bereits nationale Hitzeschutzpläne entwickelt haben. In Frankreich, Italien und Spanien existieren bereits seit einigen Jahren Hitzeschutzpläne mit dem Ziel vulnerable Personen zu schützen und zu einer Verringerung der hitzebedingten Morbidität und Mortalität beizutragen.

Die Wirksamkeit von Hitzeschutzplänen verdeutlicht sich dabei in der Betrachtung europäischer Studien (siehe Tabelle 2.3). Insbesondere konnte ein Effekt auf die Reduktion der Mortalität und der Krankenhauseinweisungen festgestellt werden. Die Wirksamkeit eines Hitzeschutzplans hängt laut Blättner et. al. insbesondere vom Umfang, der Intensität und dem Organisationsgrad der einzelnen Elemente des Hitzeschutzplans ab [5, S. 66] [63].

Tabelle 2.3: Darstellung der Wirksamkeit einiger Hitzeschutzpläne.⁶

Autoren	Jahr	Land	Intervention	Schlussfolgerung
Martinez-Solanes und Basagaña	2019	Spanien	Plan Nacional de Actu-aciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperturas sobre la Salud	Rückgang der Mortalität bei extremer Hitze nach Implementierung.
De' Donato et al.	2018	Italien	Piano Operativo Na-zionale per la Preven-zione degli Effetti del Caldo sulla Sa-lute	Rückgang der Mortalität an heißen und extrem heißen Tagen bei > 65 Jährigen.
Green et al.	2016	England	Heatwave Plan	Erwartete Übersterblichkeit bei > 65 Jährigen ist 2013 nicht eingetroffen.
Fouillet et al.	2008	Frankreich	Plan National Canicule	Übersterblichkeit fiel geringer aus als erwartet.

⁶Quelle: In Anlehnung an [63, S. 15]

3 Methode

Die vorliegende Arbeit untersucht den Zusammenhang zwischen Hitzewellen und Krankenhauseinweisungen. Es soll gezeigt werden, dass eine erhöhte Lufttemperatur zu einer erhöhten Zahl von Krankenhauseinweisungen führt. Als Methode wird dafür die systematische Literaturrecherche mit anschließender Metaanalyse der gefundenen Studien genutzt. Bei der Analyse der Datensätze werden Rettungsdiensteinsätze mit Hitzebezug untersucht, dies dient als Indikator für Morbidität unter Hitzeeinfluss.

3.1 Suchstrategie und Auswahlkriterien

Für die Literatursuche geeigneter Publikationen wurde auf die Datenbanken PubMed, Embase, CINAHL, Springer und Elsevier zurückgegriffen. Für die Literatursuche in den genannten Datenbanken wurde eine Suchmatrix erstellt, um alle themenbezogenen Studien zu finden. In Tabelle 3.1 werden die genutzten Suchbegriffe als Suchmatrix dargestellt. Nach der elektronischen Suche in den Datenbanken wurden 984 Studien gefunden, die dem Suchalgorithmus entsprechen.

Bei der Literaturrecherche wurden sowohl Artikel, Meta-Analysen, Journals, Reviews und systematische Reviews sowie Fachbücher und Dokumente untersucht. Die Recherche begrenzt sich dabei auf englische und deutsche Literatur, dafür wurden deutsche Suchbegriffe und äquivalente englische Suchbegriffe verwendet. Kernelement in der Suche war es, Datensätze zu finden, die den Einfluss von Hitze auf die Gesundheit beschreiben. Aus diesem Grund wurde im Suchalgorithmus eine Kombination aus medizinischen Begriffen und meteorologischen Begriffen verwendet. Für die Analyse wurde der Zeitraum zwischen 2016 und 2022 gewählt. Die Suche wurde am 15.01.2022 durchgeführt.

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Für die Entwicklung des Suchschemas wurde das Prinzip des PICO-Schemas (Akronym für Participants, Intervention, Comparison, Outcome) angewendet und für die vorliegende Fragestellung angepasst. Ausgehend davon wurde eine Auswahl relevanter und irrelevanter Literatur festgelegt. Mit der bereits zu Beginn der Studie festgelegten Eingrenzung konnte gezielt nach relevanten Publikationen gesucht werden.

Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien

Participants: Zur Beantwortung der Leitfrage und gleichzeitigen Eingrenzung relevanter Literatur, wird die Studie auf Menschen begrenzt. Eine weitere Eingrenzung auf Geschlecht, Herkunft, Familienstand, Einkommen oder soziale Merkmale werden in der Studie nicht vorgenommen. Studien, die ausschließlich Populationen mit Vorerkrankungen betrachten oder die Auswirkungen eines bestimmten Medikamentes untersuchten, werden ausgeschlossen.

Intervention: Die Studie soll Aufschluss über die Kausalität zwischen Hitzewellen und Morbidität geben. Um die Studie vergleichbar zu machen, werden Studien ausgeschlossen, die keine Definition einer Hitzewelle enthalten. Ein Einschluss trotz fehlender Definition einer Hitzewelle findet dann statt, wenn dies begründet wird.

Comparison: Es wird keine Eingrenzung der Art der Publikation durchgeführt. Dementsprechend werden alle Artikel, Meta-Analysen, Berichte, Journals und Reviews mit einbezogen.

Outcome: Studien, die keine Aussage über das Verhältnis von Hitzewellen gegenüber Krankenhauseinweisungen treffen können, werden ausgeschlossen. Somit fallen alle Studien aus der Bewertung, sofern keine Aussage bezüglich Effektschätzern oder Häufigkeiten getroffen werden kann.

Tabelle 3.1: Auswahlkriterien für die systematische Literaturanalyse ⁷

Suchnummer	Suchanfrage
#1	"heat-wave" OR "heat*" [tw] OR "global warming*" [tw] OR "hot weather condition*" [tw] AND ((humans[Filter]) AND (english[Filter] OR german[Filter]))
#2	"medical service" OR "emergency" [tw] OR "emergency service*" [tw] OR "Emergency Medical Service*" [tw] OR "hospital*" [tw] OR "hospital* admission*" [tw] AND ((humans[Filter]) AND (english[Filter] OR german[Filter]))
#3	"event*" [tw] OR "volume" [tw] OR "effect" [tw] OR "transport*" [tw] OR "analysis*" [tw] OR "incidence" [tw] OR "direction" [tw] OR "number" [tw] OR "call-out" [tw] OR "call out" [tw] OR "indicator*" [tw] Filters: Humans, English, German
#4	(((((heat*[Title/Abstract]) AND (hospital*[Title/Abstract]))) OR (emergency[Title/Abstract]))) OR (medical[Title/Abstract])) OR (global warming[Title/Abstract])) OR (hot weather condition[Title/Abstract]) Filters: Humans, English, German
#5	1 AND 2 AND 3 AND 4 Filters: Humans, English, German, from 2016 - 2022

⁷Quelle: Eigene Darstellung

3.2.1 PRISMA Flow Diagramm

Um zu prüfen, welche Studien sich für eine Metaanalyse mit den oben genannten Ein- und Ausschlusskriterien eignen, wurde die gefundene Literatur in mehreren Schritten auf Eignung geprüft. Abbildung 3.1 zeigt in einem PRISMA Flow Diagramm den Prozess der systematischen Literaturrecherche, der in dieser Arbeit angewandt wurde.

Die elektronische Suche in den oben genannten Datenbanken ergaben 980 Treffer, wobei der überwiegende Teil der Studien in der Datenbank von PubMed gefunden wurde. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Datenbank PubMed gleichermaßen die Datenbanken Embase, CINAHL, Elsevier und Springer mitbetrachtet. Bei der eigenen von einer bestimmten Datenbank - unabhängigen Suche wurden zu dem noch sechs weiteren Quellen gefunden, die nach unterzogener Prüfung in die systematische Literaturrecherche gingen. Nach der Untersuchung möglicher Duplikate, wurden 980 Studien in die Vorauswahl aufgenommen.

Beim Screening wurden 980 Studien untersucht, indem Titel und Abstract der Studie gelesen und auf die oben genannten Ein- und Ausschlusskriterien geprüft wurden. Mit dem Screening konnten 936 Studien bereits aus der systematischen Literaturrecherche ausgeschlossen werden. Nach dem Schritt des Screenings blieben also noch 44 Studien in der Vorauswahl für Prüfung der Eignung übrig. Diese Studien wurden anhand des Volltextes noch genauer auf die Ein- und Ausschlusskriterien untersucht. Dabei fiel auf, dass weitere 35 Studien nicht der Kriterien entsprechen. 15 Studien besaßen keine genaue Hitzedefinition, 13 Studien wurden nach Volltextbewertung ausgeschlossen vier Studien untersuchten nicht die Morbidität, eine Studie wurde ausgeschlossen, weil es sich nicht um eine Originalstudie handelte und zwei Studien untersuchten nicht den Ursache-Wirkungszusammenhang zwischen Hitze und Morbidität. Nach der Eignungsprüfung blieben noch acht Studien, die in die Metaanalyse eingeschlossen wurden.

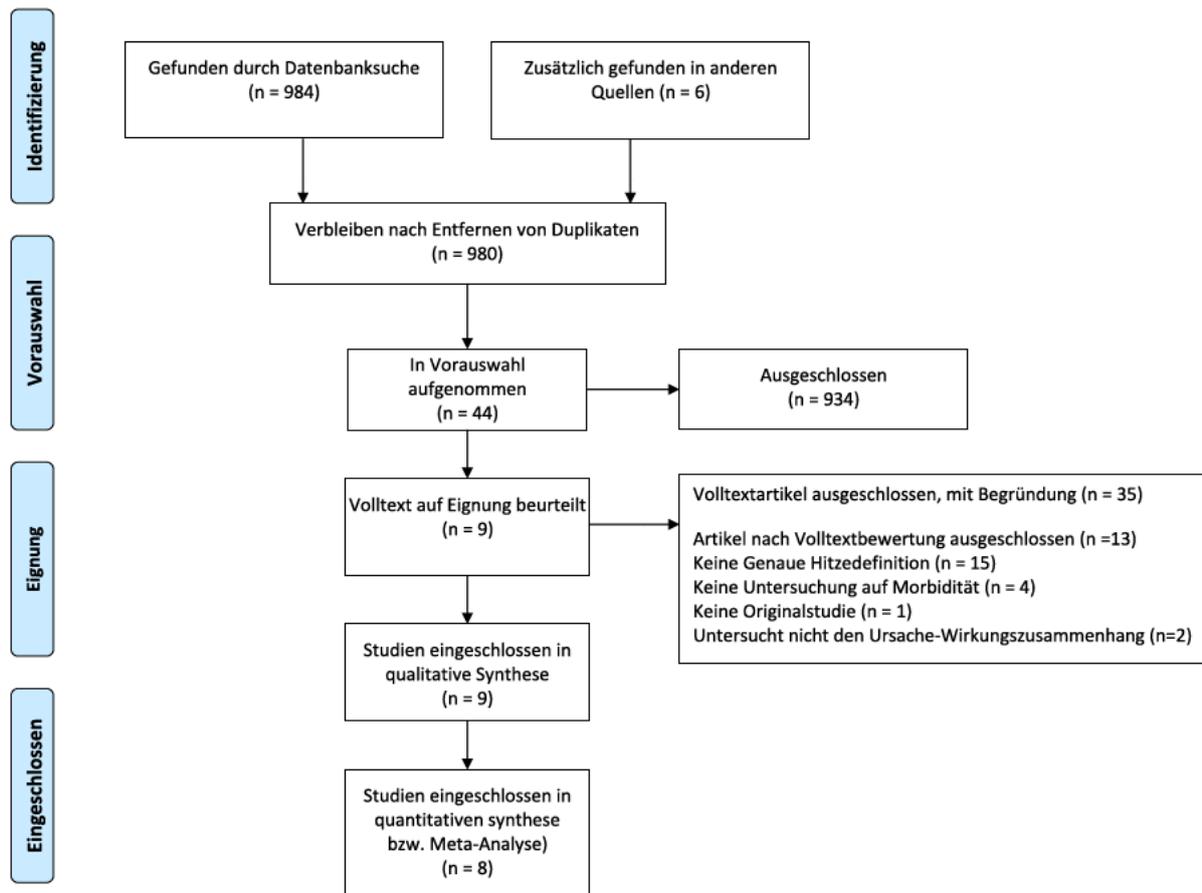


Abbildung 3.1: PRISMA Flow Diagramm: Prozess der systematischen Literaturrecherche.⁸

3.3 Random-Effects-Modell

Für die Zusammenfassung der einzelnen Primärstudien in eine Metaanalyse, bedarf es der Feststellung möglicher Heterogenitäten. Dabei besteht die generelle Möglichkeit die Daten mithilfe des Fixed-Effects-Modells oder des Random-Effects-Modells auszuwerten. Das Fixed-Effects-Modell geht dabei von einer hohen Vergleichbarkeit der Einzelstudien einer Metaanalyse aus und unterstellt, dass in der Auswertung erkannte Streuung ausschließlich auf die Zufallsvariation in den Studien zurückführbar ist [64, S. 225]. Das Random-Effects-Modell hingegen modelliert die in der Metaanalyse erkannte Streuung als Superposition von Streuungen innerhalb der Studien (bedingt durch die Studienpopulation) oder zwischen den Studien (z.B. bedingt durch das Studiendesign). Bereits bei der Sichtung (PRISMA-Flow) konnten Unterschiede im Studien-Design sowie unterschiedliche Definitionen einer Hitzewelle (Einschlusskriterium) festgestellt werden.

Aufgrund der anzunehmenden Heterogenität wird das Random-Effects-Modell für die Betrachtung der Effektstärke verwendet. Das Random-Effects Modell berücksichtigt im

⁸Quelle: Eigene Darstellung

Gegensatz zum Fixed-Effects-Modell die Variabilität der Studien. Die Schätzung des mittleren Effekts ist mit einer größeren Unsicherheit behaftet. Dies ist insbesondere notwendig da bereits bei der Sichtung unterschiedliche Studienbedingungen sowie unterschiedliche Definitionen von Hitzewellen vorlagen. Ein Vorgehen, das zu vorsichtigeren und konservativeren Schätzern der Effektstärke führt.

3.4 Heterogenitätsmaß I^2

Zur Quantifizierung der Variabilität wird das Heterogenitätsmaß I^2 verwendet. Es ist ein Maß für die Heterogenität, das heißt für die Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Studien. Das Maß kann dabei als Verhältnis der Varianz zwischen den Studien, zur Varianz der Metaanalyse verstanden werden. I^2 besitzt den Vorteil, dass es nicht von der Studienanzahl abhängig ist, weshalb es robuster gegenüber Verzerrungen ist [65, S. 471-472]. Das Maß ist auf den Wertebereich zwischen 0 und 100 % normiert. Je größer I^2 , desto größer die Heterogenität innerhalb der Metaanalyse, da die Streuung zwischen den Studien, der Streuung innerhalb der Metaanalyse überwiegt. Ein $I^2 \neq 0$ % entspricht einem Hinweis auf Heterogenität, bereits ab einem $I^2 > 50$ % wird von einer erheblichen Heterogenität [64, S. 226].

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Darstellung

Unter den 980 Suchergebnissen fanden sich nach der Volltextbeurteilung 9 Studien, die für die Analyse als geeignet beurteilt wurden. Die meisten Studien ($N = 15$) wurden aufgrund einer fehlenden Hitzedefinition ausgeschlossen. 13 Studien wurden nach Volltextbewertung ausgeschlossen, vier Untersuchungen aufgrund der Untersuchungsbedingung, eine Studie, da es sich um keine Originalstudie handelt und zwei Studien, die nicht die Korrelation zwischen Hitzewelle und Krankenhauseinweisungen untersuchten. Nach der quantitativen Synthese wurde eine Studie aufgrund eines unterschiedlichen Untersuchungsdesigns ausgeschlossen.

Letztlich kamen sechs Beobachtungsstudien und zwei Metaanalyse zur Auswertung. Je nach zeitlicher Richtung der Betrachtung finden sich sowohl retrospektive als auch prospektive Studien in der Analyse wieder. Eine Zusammenfassung der Studien findet sich in Tabelle 4.1.

Insgesamt wurden die Ereignisse in sieben unterschiedlichen Regionen, im Zeitraum zwischen 1991 bis 2015, durchgeführt. Bei vier Studien wurde zudem eine zusätzliche Einschränkung des Untersuchungszeitraumes für die Sommermonate vorgenommen. Für die vorliegende Metaanalyse wurden die Daten von insgesamt $N = 60.750.209$ Krankenhauseinweisungen bzw. Rettungsdiensteinsätzen mit Hitzebezug erhoben. Die Stichprobengröße lag zwischen $N = 701$ hitzebedingten Krankenhauseinweisungen innerhalb einer Kohortenstudie und $N = 58.400.682$ Krankenhauseinweisungen in einer Meta-Analyse.

Alle Studien erfüllen das Einschlusskriterium einer Hitzedefinition oder bieten eine Begründung, weshalb explizit auf die Verwendung einer Definition verzichtet wurde. Zwei Studien nehmen Abstand von einer eindeutigen Begriffsdefinition [66, 67]. Alle weiteren Studien definieren eine Hitzewelle zwar nicht einheitlich, allerdings weisen alle Definitionen eines der oben genannten Merkmale auf: Die Hitzewelle ist ortbezogen, liegt in einem spezifischen Zeitraum oder verfügt über einen bestimmten Temperaturschwellenwert.

Aufgrund der unterschiedlichen Studientypen und Untersuchungskriterien mussten die Studienergebnisse teilweise zusammengefasst werden. Um eine einheitliche Betrachtung zu ermöglichen, werden die Ergebnisse der Einzelstudien zu einer Gesamteffektstärke zusammengefasst. Das heißt sofern eine Studie mehrere Untersuchungskriterien betrachtete, wurden eine Gesamteffektstärke für die Studie berechnet (s. Anhang). Aufgrund der unterschiedlichen Effektschätzer (Odds ratio und relatives Risiko) wurden die Ergebnisse in zwei unterschiedlichen Forest Plots dargestellt und zunächst getrennt betrachtet.

Tabelle 4.1: Übersicht über die in der Metaanalyse aufgenommenen Studien.⁹

	Autor & Jahr	Region und Zeitraum	Definition Hitzewelle	Studientyp	N	Effektstärke
1	Cheng et al. 2016 [68]	Huainan, China; 2011 - 2013	zwei aufeinanderfolgender Tage > 95%-Perzentil der täglichen Mitteltemperatur.	Prospektive Kohortenstudie	33.523 Rettungsdienstleistungen	RR = 1.03; 95 %-KI = [1.01, 1.05]
2	Liu et al. 2018 [69]	Jinan, China; 1. Juni 2010 - 31. August, 2010	drei aufeinanderfolgender Tage 35 °C.	Retrospektive Fall-Kontrollstudie	3.573 Rettungsdienstleistungen	OR = 2.81; 95 %-KI = [2.29, 3.46]
3	Schillo et al. 2019 [70]	8 Regionen oder Städte, Deutschland; 30.06.2015 - 07.07.2015	drei aufeinanderfolgender Tage 32 °C gefühlte Temperatur und tagesmaximale Lufttemperatur 30°C.	Systematische Literaturanalyse	1.348.759 versicherte Personen	OR = 1.90; 95 %-KI = [1.31, 2.76]
4	Regettili et al. 2019 [66]	7 Regionen, Schweiz; Juni – August 2015	Keine; Begründung: Keine einheitliche Definition einer Hitzewelle, welches den Vorteil besitzt, dass keine Annahme über Verzögerungseffekte getroffen werden müssen.	Retrospektive Fall-Kontrollstudie	144.687 Krankenhausweisungen	OR = 2.4; 95 %-KI = [1.6, 3.2]
5	Zhao et al. 2019 [71]	5 Regionen, 1814 Städte, Brasilien; die fünf heißesten Monate zwischen 2000 - 2015	Region spezifische Definition; Abhängig der Tagesmitteltemperatur.	Prospektive Kohortenstudie	58.400.682 Krankenhausweisungen	RR = 1.68; 95 %-KI = [1.36, 2.07]

6	Watson et al. 2019 [67]	Tasmania, Australien; 2003 - 2010	Keine; Begründung: Aufgrund regionaler Unterschiede ist eine allgemeingültige Definition nicht möglich. Fehlende Vergleichbarkeit.	Retrospektive Kohortenstudie	324.000 Krankenhausweisungen	RR = 1.34; 95 %-KI = [1.25, 1.44]
7	Williams et al. 2020 [72]	Boston, USA; 01. November 2010 - 21. April 2014	Tage an denen die Höchsttemperatur 90°F (ca. 32.2 °C) überschreiten oder Tage die nach Hitzeindex (Temperatur in Abhängigkeit zur relativen Luftfeuchtigkeit) den Wert von 95°F (35 °C) überschreiten.	Prospektive Kohortenstudie	494.284 Rettungsdienst-einsätze	RR = 1.07; 95 %-KI = [1.06, 1.09]
8	Liss et al. 2017 [73]	Boston, USA; 1991 - 2006	Vier Unterschiedliche Definitionen: <ol style="list-style-type: none"> 1. Überschreiten der Tagesmaximaltemperatur über dem 95 %-Perzentil für mindestens drei aufeinander folgende Tage. 2. Überschreiten der Tagesmaximaltemperatur über dem 95 %-Perzentil für mindestens drei aufeinander folgende Tage im Zeitraum zwischen 1. Mai und 30 September. 3. Überschreiten der Tagesmaximaltemperatur über 27 °C für mindestens sechs aufeinander folgende Tage. 4. Definition nach Hitzeindex (Temperatur in Abhängigkeit zur relativen Luftfeuchtigkeit) über 40 °C für mindestens zwei aufeinanderfolgende Tage. 	Retrospektive Kohortenstudie	701 Krankenhausweisungen	RR = 2.81; 95 %-KI = [2.29, 3.46]

4.2 Metaanalytische Auswertung der Effektgrößen

Aufgrund der unterschiedlichen Studientypen und Untersuchungskriterien der Einzelstudien, wurden mehrere Effektstärken innerhalb einer Studie zu einer Effektstärke zusammengefasst. Dieses Vorgehen ermöglicht es, eine allgemeingültige Aussage zur Kausalität zwischen Hitze und Morbidität treffen zu können. Hierzu wurden aufgrund der zwei unterschiedlichen Studiendesigns (Fall-Kontrollstudie und Kohortenstudie) die Effektstärken mit Konfidenzintervall in zwei unterschiedlichen Forest Plots dargestellt.

4.2.1 Relatives Risiko

Die Berechnung der relativen Risikoerhöhung von Morbidität in Zusammenhang mit Hitzewellen erfolgte auf der Grundlage von fünf Datensätzen mit insgesamt $N = 59.253.190$ Personen. Abbildung 4.1 zeigt den auf diese Weise ermittelten Gesamteffekt sowie die berücksichtigten Studien mit Angabe der jeweiligen Effektstärke und dem relativen Anteil (relative weight) am Gesamteffekt. Visualisiert werden die mittlere, gewichtete Effektstärke und die einzelnen Effektstärken unter Angabe des 95 %-Konfidenzintervalls im Forest Plot.

Alle genannten Studien zeigen eine Zunahme der Krankenhauseinweisungen mit Hitzebezug. Zudem sind alle Ergebnisse statistisch signifikant, da keines der Konfidenzintervalle den Wert 1 einschließt, so dass davon ausgegangen werden kann, dass Hitzewellen Auswirkungen auf Krankenhauseinweisungen haben. Der gepoolte Effekt wird mit Einschluss der Konfidenzintervalle als Raute in der Farbe schwarz dargestellt. Der Gesamteffekt, für die Berechnung der Effektstärke liegt bei 33 % $RR = 1.33$; 95 %-KI = [1.21, 1.48].

Cheng et al. (2016) untersuchte die Auswirkungen von Hitzewellen bei Überschreitung des 95 %-Perzentil der täglichen Mitteltemperatur an zwei aufeinanderfolgenden Tagen [68, S. 28]. Die prospektive Kohortenstudie untersuchte 33.523 Rettungsdienststeinweisungen mit Hitzebezug und konnte ein statistisch signifikant höheres Ergebnis zugunsten der Krankenhauseinweisung feststellen. Die Effektstärke liegt bei 3 % ([95 %-KI: 1.01, 1.05]) und weist die kleinste Konfidenzintervall der hier präsentierten Studien auf.

Liss et al. (2017) untersuchte explizit den Effekt von Hitze auf die Hospitalisierung von Personen älter als 65 Jahre. Dabei wurden vier unterschiedliche Hitzedefinitionen verwendet [73, S. 2]. Die Studie weist mit 701 Krankenhauseinweisungen den geringsten Anteil an Krankenhauseinweisungen auf. Mit einem relativen Risiko von 181 % ([95 %-KI: 2.29, 3,46]) stellt die Studie allerdings auch die größte Effektstärke innerhalb des Forrest

⁹Quelle: eigene Darstellung

Plots. Das Ergebnis lässt vermuten, dass hitzebedingte Krankenhauseinweisungen mit einem höheren Alter (Mediatorvariable) verstärkt werden.

In der Kohortenstudie von Watson et al. (2019) wird von einer Hitzedefinition abgesehen, da regionale Unterschiede bezüglich des Klimas in Australien vorliegen und dadurch eine fehlende Vergleichbarkeit der Studien besteht [67, S. 333]. Mit 324.000 untersuchten Krankenhauseinweisungen gehört die Studie zu den größeren Studien der Metaanalyse. Die Effektstärke liegt mit einem relativen Risiko von 34 % (95 %-KI = [1.21, 1.48]) nah an dem gepoolten Effekt im Forrest Plot.

Williams et al. (2020) definiert eine Hitzewelle als Höchsttemperatur größer 32.2 °C sowie Tage die nach Hitzeindex den Wert von 35 °C überschreiten [72, S. 662]. Die Studie hat mit 26 % die größte Gewichtung (relative weight) innerhalb des Forrest Plots. Zu dem die zweit größte Anzahl (N = 494.282) untersuchter Rettungsdiensteinsätze. Die Studie weist ein relatives Risiko von 7 % (95 %-KI = [1.21, 1.48]) auf.

Mit 58.400.682 Krankenhauseinweisungen stellt die Studie von Zhao et al (2019) die mit Abstand größte Studie (N = 58.400.682) innerhalb der Metaanalyse dar [71]. Die Studie verglich dabei die Krankenhauseinweisungen mit Hitzebezug in fünf unterschiedlichen Regionen Brasiliens miteinander. Aufgrund der geographischen und klimatischen Unterschiede wurde eine Region spezifische Hitzedefinition getroffen. Die Studie kam zu der Auffassung, dass das Risiko einer Krankenhauseinweisung mit hoher Tagestemperatur über einen längeren Zeitraum zunimmt. Das kumulierte relative Risiko für Hitzewellen liegt bei 68 % (95 %-KI = [1.31, 2.07]).

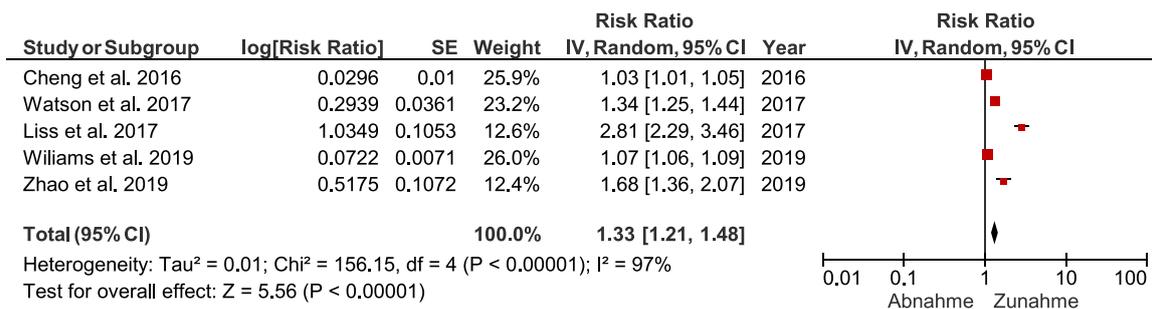


Abbildung 4.1: Darstellung hitzebedingter Krankenhauseinweisungen in Folge von Hitzewellen. Darstellung der Effektstärken unter Angabe des Konfidenzintervalls sowie der gemittelten gewichteten Gesamteffektstärke.¹⁰

¹⁰Quelle: Eigene Darstellung

4.2.2 Odds Ratio

Die Berechnung der Effektstärke von Hitzewellen auf die Morbidität erfolgte auf der Grundlage von drei Datensätzen mit insgesamt $N = 1.497.019$ Personen. Abbildung 4.2 zeigt den so ermittelten Gesamteffekt sowie die in diesem Zusammenhang berücksichtigten Studien mit Angabe der jeweiligen Effektstärke und deren relativen Anteil (relative weight) am Gesamteffekt. Visualisiert werden die mittlere, gewichtete Effektstärke und die einzelnen Effektstärken unter Angabe des 95 %-Konfidenzintervalls im Forest Plot.

Bei den im Forest Plot berücksichtigten Studien handelt es sich um zwei retrospektive Fall-Kontrollstudien sowie einer systematischen Literaturanalyse. Der Studienzeitraum der drei Studien beschränkt sich dabei auf einen Zeitraum von maximal drei Monaten, innerhalb der Sommermonate Juni bis August. Das Chancenverhältnis einer Krankenhauseinweisung in Folge einer Hitzewelle liegt im gepoolten Gesamteffekt um den Faktor 2,26 höher, als an Tagen ohne Hitzewelle. Zudem weisen alle drei Studien statistisch signifikante Ergebnisse auf. Das Ergebnis zeigt ein I^2 von 42 %, welches einen Hinweis auf eine moderate heterogene Studienlage liefert [64].

Liu et al. (2018) definiert eine Hitzewelle als drei aufeinanderfolgende Tage mit Temperaturen größer 35 °C [69, S. 2-3]. Die Studie untersuchte die Einwirkungen von Hitze auf psychisch erkrankte Personen innerhalb der Stadt Jinan, China. Für die Studie wurden 3.573 Rettungsdiensteinsätze mit Hitzebezug ausgewertet. Die Studie weist die größte Gewichtung (relative weight) mit 43,3 % auf. Die Chance einer Krankenhauseinweisung bei einer Hitzewelle liegt mit dem Faktor 2,81 (95 %-KI = [1.62, 3.56]) höher, als an Tagen ohne Hitzewelle.

Die Studie von Schillo et al. (2019) definiert eine Hitzewelle als drei aufeinanderfolgende Tage mit Überschreitung einer gefühlten Temperatur größer 32 °C und einer tagesmaximalen Lufttemperatur von mindestens 30 °C [70, S. 17-18]. In der systematischen Literaturanalyse wurden acht Regionen oder Städte in einem Zeitraum zwischen dem 30. Juni 2015 und dem 07. Juli 2015 verglichen. In der Studie wurde die Morbidität in Folge einer Hitzewelle von 1.348.759 versicherte Personen untersucht. Das Ergebnis zeigt eine erhöhte Chance einer Krankenhauseinweisung in Folge einer Hitzewelle, um das 1,9-Fache (95 %-KI = [1.31, 2.76])

Regettli et. al. (2019) verglichen sieben Regionen innerhalb der Schweiz [66]. In der Fall-Kontrollstudie wurden 144.687 Krankenhauseinweisungen untersucht. Eine Hitzedefinition wird in dieser Studie nicht verwendet, da keine einheitliche Hitzedefinition besteht [66, S. 8]. Das Ergebnis der Studie zeigt ein signifikantes Ergebnis mit einem odds ratio von 2,4 (95 %-KI = [1.86, 3.10]).

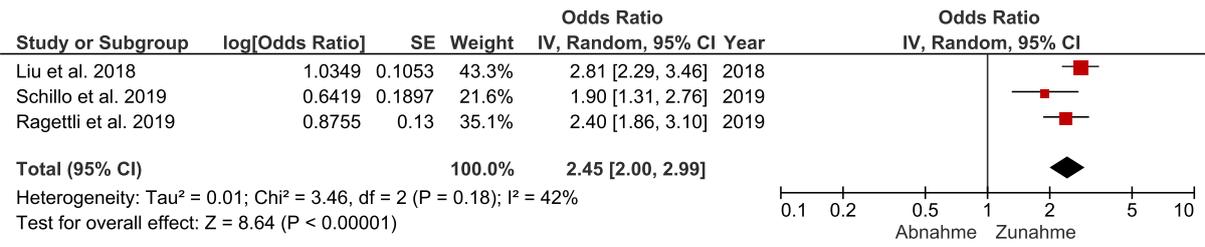


Abbildung 4.2: Darstellung hitzebedingter Krankenhauseinweisungen in Folge von Hitze-
 wellen. Darstellung der Effektstärken unter Angabe des Konfidenzintervalls
 sowie der gemittelten gewichteten Gesamteffektstärke.¹¹

¹¹Quelle: Eigene Darstellung

5 Limitation der Studie

5.1 Interraterreliabilität

Die Untersuchung relevanter Literatur für eine systematische Literaturrecherche soll nach dem Goldstandard durch mindestens zwei Personen (Peer-Review-Verfahren) durchgeführt werden. Dieses Vorgehen dient der Steigerung der Interraterreliabilität der Literatursauswahl sowie der Erfassung aller in einem bestimmten Fachbereich vorhandenen Studien [74]. In der vorliegenden Arbeit wurde entgegen dem Goldstandard die Literaturselektion nur von einer Person (Reviewer) vorgenommen.

5.2 Uniformitätsproblem

Ein bekanntes Problem von Metastudien stellt die Heterogenität der betrachteten Studien dar, da sich reelle Studien inhaltlich und methodisch selten exakt überschneiden und trotzdem zur Beantwortung der Forschungsfrage zusammengefasst werden müssen [75, S. 903]. Auf der anderen Seite besteht der Informationsnutzen von Metaanalysen auch darin unterschiedliche Studien miteinander zu verknüpfen und auf diese Weise durch eine größere Studienpopulation eine größere Studienpower zu erzielen [75, S. 903].

Zwar wurden für die vorliegende Arbeit Ein- und Ausschlusskriterien formuliert, um eine möglichst große Uniformität zu erzielen, allerdings bestehen trotz alledem Unterschiede in der Methodik, Definition und Ergebnisdarstellung. Um die Vergleichbarkeit der Studien anhand der Streuung zu prüfen, kann eine sogenannte Moderatorvariablen-Analyse durchgeführt werden z.B. mittels Meta-Regression oder Varianz-Analyse. Jenes Verfahren bedarf allerdings einer größeren Studienzahl, weshalb es für diese Metaanalyse nicht durchgeführt werden konnte.

5.3 Publikationsbias

Um zu gewährleisten, dass nur aktuelle Forschungsergebnisse einfließen, wurde der Publikationszeitraum auf die vergangenen fünf Jahre beschränkt. Wissenschaftliche Studien außerhalb des Studienzeitraums wurden aufgrund des Ausschlusskriteriums nicht berücksichtigt.

Zudem bezieht sich die Literaturrecherche nur auf deutsch- oder englischsprachig publizierte Studien in etablierten Fachzeitschriften, bei denen ein Volltextzugriff möglich war.

Anderssprachige Studien oder Studien in nicht etablierten Zeitschriften wurden nicht berücksichtigt.

Eine generelle Problematik besteht darin, dass Studien mit nicht signifikanten Ergebnissen seltener publiziert werden als Studien mit signifikanten Ergebnissen.

Insgesamt führt dies möglicherweise zu einer Verzerrung der Effektstärke der Metastudie. Eine Vorgehensweise zur Überprüfung der Publikationsverzerrung stellen dabei sogenannte Trichter-Grafiken (funnel-plots) dar. Dieses Verfahren konnte wegen der geringen Studienanzahl nicht angewendet werden, weshalb ein Publikationsbias nicht ausgeschlossen werden kann.

5.4 Studiengewichtung

Ein weiteres Problem stellt die unterschiedliche Gewichtung der betrachteten Studien unabhängig von der Teilnehmerzahl dar. Die Gewichtung (relative weight) ist lediglich abhängig von der Größe des Konfidenzintervalls.

Beispielsweise hat die Studie von Liu et al. die größte Gewichtung innerhalb des Forest Plots, weist allerdings die geringste Anzahl an Rettungsdiensteinsätzen auf. Diese Studie hat also in der Einzelbetrachtung eine geringere Power als andere Studien mit höheren Teilnehmerzahlen, wird aber im Gesamteffekt höher gewichtet.

6 Fazit

Die Folgen des Klimawandels sind bereits jetzt zu spüren und werden in Abhängigkeit des menschlichen Willens, den Klimawandel zu begrenzen, unterschiedlich stark ausfallen. Diese Folgen betreffen schon heute ca. 30 % der Weltbevölkerung. Zusammenfassend lassen sich durch die durchgeführte Metaanalyse eindeutige Ergebnisse erkennen. Je wärmer die Lufttemperatur über einen längeren Zeitraum ist, desto mehr Krankenhauseinweisungen wird es geben. Wenn man diese Trends nun mit den Zukunftsprognosen für den Klimawandel zusammenführt, die durch das IPCC veröffentlicht wurden, wird es in Zukunft durch die Temperaturerhöhung eine deutliche Zunahme von Krankenhauseinweisungen mit Hitzebezug geben. Viele Länder haben für diesen Fall in der Zukunft Hitzeschutzpläne entwickelt und diese auch bereits erfolgreich auf Wirksamkeit geprüft.

Aufgrund des Prinzips des Föderalismus gibt es in Deutschland keinen einheitlichen Hitzeschutzplan – viele Städte und Bundesländer haben überhaupt keinen Notfallplan für Hitzewellen. Die Hitzeschutzpläne im Ausland beinhalten Warnsysteme für die Bevölkerung, Schutzmaßnahmen für vulnerable Personengruppen und Handlungsanweisungen für Bereiche der kritischen Infrastruktur – wie zum Beispiel Krankenhäuser. Das bedeutet zusammengefasst, dass die Mehrbelastung der Krankenhäuser durch vermehrte Einweisungen mit Hitzebezug durch diese Pläne abgefangen werden können. Dies konnte auch in Studien gezeigt werden, insbesondere profitieren davon vulnerable Personengruppen. Neben der angestrebten Reduzierung von Treibhausgasen zur Bewältigung der Klimakrise muss sich also in Zukunft ebenfalls mit der Prävention vulnerabler Personen sowie der Schulung von medizinischem Personal im Umgang mit Hitze befasst werden.

Störungen der körpereigenen Thermoregulationsprozesse treten am häufigsten bei vulnerablen Personengruppen auf, also älteren und vorerkrankten Personen sowie Kindern mit noch nicht ausgereifter Thermoregulation. Doch nicht nur die vulnerablen Personengruppen sind von der Einwirkung von Hitze betroffen. Wird dem menschlichen Organismus über einen länger andauernden Zeitraum Hitze zugeführt, kommt es zu relevanten gesundheitlichen Einschränkungen, die in vielen Fällen die stationäre Behandlung in einem Krankenhaus erfordern. Ist der menschliche Körper bestimmten Temperaturbedingungen für eine zu lange Zeit ausgesetzt führt dies auch bei vollkommen gesunden Menschen zum Tod.

Steigende Temperaturen führen neben direkten Effekten auf die Gesundheit ebenfalls zu einer Veränderung weiterer indirekter Effekte auf die Gesundheit. Ein vermehrtes Auftreten von entzündlichen Atemwegserkrankungen ist zu beobachten, welche bedingt ist durch eine verlängerte Pollensaison sowie einer Zunahme von Hitzegewittern. Auch ist damit zu rechnen, dass die Verbreitung von Viren und Bakterien aus tropischen Regionen zunehmen wird, gegen die in gemäßigten Klimazonen kein ausreichender immunologischer Schutz besteht.

Der Mensch wird in Zukunft deutlich häufiger Extremwetterereignissen ausgesetzt sein, dies führt zu einer Zunahme posttraumatischer Belastungsstörungen und anderer psychischer Erkrankungen. Ein Zusammenhang zwischen Hitzebelastung und psychischer Belastung ist durch eine saisonale Zunahme von Suiziden erkennbar. Die beschriebenen Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Organismus ließen sich in der Zunahme der hitzeassoziierten Morbidität in der Metaanalyse bestätigen. Die Betrachtung verdeutlicht insgesamt die gesellschaftliche Verwundbarkeit durch den Klimawandel.

7 Ausblick

Die Zunahme von Hitzeereignissen führt zu einer höheren Belastung des Gesundheitssystems. Ein einheitlicher Plan, um auf Hitzeereignisse entschieden und geschlossen reagieren zu können existiert nicht. Um auf die globale Klimakrise adäquat zu reagieren, müssen die Folgen für die menschliche Gesundheit weiter evaluiert werden und zielorientierte Ansätze entwickelt werden. Ein umfassender Anpassungsprozess ist notwendig, um ein hitzeresilientes Gesundheitssystem aufzubauen.

Es erfordert die Implementierung eines Hitzeschutznotfallplans, welcher Alarmierungssysteme, Aufklärung und den Schutz vulnerabler Personengruppen beinhalten muss. Auch kann ein widerstandsfähiges System nur dann entstehen, wenn das Bewusstsein und die Verantwortung der Akteure im Gesundheitssystem erhöht wird. Zudem müssen effiziente Indikatoren entwickelt werden, die die erzielten Fortschritte verfolgen und aufzeigen, wann Zwischenkorrekturen die Wirksamkeit erhöhen könnten.

Die Klimakrise stellt eine der größten Bedrohungen für die menschliche Gesundheit im 21. Jahrhundert dar und die erforderlichen Anpassungsprozesse sollten daher eine der größten Prioritäten der Zukunft darstellen, um ein robustes Gesundheitssystem auch im 21. Jahrhundert sicherzustellen.

Literaturverzeichnis

- [1] TRIPPEL, Katja: Klimawandel in Deutschland: Tödliche Hitze. (2021). <https://www.zeit.de/2021/36/klimawandel-deutschland-anpassung-hitzewellen-extremwetter-gesundheitsschutz-vorsorge>
- [2] MORA, Camilo ; DOUSSET, Bénédicte ; CALDWELL, Iain R. ; POWELL, Farrah E. ; GERONIMO, Rollan C. ; BIELECKI, Coral R. ; COUNSELL, Chelsie W. ; DIETRICH, Bonnie S. ; JOHNSTON, Emily T. ; LOUIS, Leo V.: Global risk of deadly heat. In: *Nature climate change* 7 (2017), Nr. 7, S. 501 506. ISSN 1758 6798
- [3] (NCEI), National Centers for Environmental I.: Assessing the Global Climate in 2020. (2022). <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202012>
- [4] BITTNER, M-I: Auswirkungen von Hitzewellen auf die Mortalität in Deutschland. In: *Das Gesundheitswesen* 76 (2014), Nr. 08/09, S. 508 512
- [5] TRAIDL-HOFFMANN, Claudia ; TRIPPEL, Katja: *Überhitzt - Die Folgen des Klimawandels für unsere Gesundheit*. Berlin : Bibliographisches Institut, Berlin, 2021. ISBN 9783411756667
- [6] ÅSTRÖM, Daniel O. ; BERTIL, Forsberg ; JOACIM, Rocklöv: Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. In: *Maturitas* 69 (2011), Nr. 2, S. 99 105
- [7] LI, Mengmeng ; GU, Shaohua ; BI, Peng ; YANG, Jun ; LIU, Qiyong: Heat waves and morbidity: current knowledge and further direction-a comprehensive literature review. In: *International journal of environmental research and public health* 12 (2015), Nr. 5, S. 5256 5283
- [8] WETTERDIENST, Deutsche: *Wetter- und Klimalexikon - Hitzewelle*. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101094&lv3=624852>
- [9] SRF: Hitzewelle - Eine Hitzewelle, was ist das überhaupt? (2017). <https://www.srf.ch/meteo/meteo-news/hitzewelle-eine-hitzewelle-was-ist-das-ueberhaupt>
- [10] ROBINSON, Peter J.: On the Definition of a Heat Wave. In: *Journal of Applied Meteorology* 40 (2001), Nr. 4, 762-775. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0762:Otdoah>2.0.Co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0762:Otdoah>2.0.Co;2). DOI 10.1175/1520 0450(2001)040<0762:Otdoah>2.0.Co;2. ISSN 0894 8763

- [11] BOURQUE, François ; CUNSOLO WILLOX, Ashlee: Climate change: the next challenge for public mental health? In: *International Review of Psychiatry* 26 (2014), Nr. 4, S. 415 422
- [12] MATEMILOLA, Saheed ; FADEYI, Oluwaseun ; SIJUAE, Timothy: Paris Agreement. In: *Encyclopedia of Sustainable Management 2020* (2020), S. 1 5
- [13] NIKENDEI, Christoph ; BUGAJ, Till J. ; NIKENDEI, Frederik ; KÜHL, Susanne J. ; KÜHL, Michael: Klimawandel: Ursachen, Folgen, Lösungsansätze und Implikationen für das Gesundheitswesen. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 156 (2020), S. 59 67
- [14] BUNZ, Maxie ; MÜCKE, Hans-Guido: Klimawandel physische und psychische Folgen. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 60 (2017), Nr. 6, S. 632 639
- [15] (DESTATIS), Statistisches B.: *Bevölkerung Deutschlands bis 2060*. 2019
- [16] BÖHM, Karin ; MARDORF, Silke ; NÖTHEN, Manuela ; SCHELHASE, Torsten ; HOFFMANN, Elke ; HOKEMA, Anna ; MENNING, Sonja ; SCHÜZ, Benjamin ; SULMANN, Daniela ; TESCH-RÖMER, Clemens u. a.: *Gesundheit und Krankheit im Alter*. (2009)
- [17] ZACHARIAS, Stefan: Literaturstudie zum Einfluss des Wetters auf die menschliche Gesundheit. In: *Umweltbundesamt: UBA-FB-00* (2012)
- [18] ORGANIZATION, World H. u. a.: *COP24 special report: health and climate change*. (2018)
- [19] CASIMIRO, Elsa ; CALHEIROS, Jose ; SANTOS, Filipe D. ; KOVATS, Sari: National assessment of human health effects of climate change in Portugal: approach and key findings. In: *Environmental health perspectives* 114 (2006), Nr. 12, S. 1950 1956
- [20] HANSEN, Alana ; BI, Peng ; NITSCHKE, Monika ; RYAN, Philip ; PISANIELLO, Dino ; TUCKER, Graeme: The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian city. In: *Environmental health perspectives* 116 (2008), Nr. 10, S. 1369 1375
- [21] ORGANIZATION, World H. u. a.: *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s*. World Health Organization, 2014
- [22] WALTER, Edward J. ; HANNA-JUMMA, Sameer ; CARRARETTO, Mike ; FORNI, Lui: The pathophysiological basis and consequences of fever. In: *Critical Care* 20 (2016), Nr. 1, S. 1 10

- [23] BRANDES, Ralf ; LANG, Florian ; SCHMIDT, Robert F.: *Physiologie des Menschen*. Springer, 2019
- [24] GUNGA, Hanns-Christian: *Am Tag zu heiß und nachts zu hell*. Reinbek : Rowohlt (Verlag), 2019. ISBN 978 3 498 02540 3
- [25] OSTRO, Bart D. ; ROTH, Lindsey A. ; GREEN, Rochelle S. ; BASU, Rupa: Estimating the mortality effect of the July 2006 California heat wave. In: *Environmental Research* 109 (2009), Nr. 5, S. 614 619
- [26] SHERWOOD, Steven C. ; HUBER, Matthew: An adaptability limit to climate change due to heat stress. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (2010), Nr. 21, S. 9552 9555
- [27] MUTH, CM: Hitzeerkrankungen. In: *Notfall+ Rettungsmedizin* 23 (2020), Nr. 4, S. 299 312
- [28] SHIBAO, Cyndya ; LIPSITZ, Lewis A. ; BIAGGIONI, Italo: ASH position paper: evaluation and treatment of orthostatic hypotension. In: *The Journal of Clinical Hypertension* 15 (2013), Nr. 3, S. 147 153
- [29] BAENKLER, HW ; GOLDSCHMIDT, H ; HAHN, JM u. a.: *Kurzlehrbuch Innere Medizin*. Stuttgart, 2007
- [30] SCHOENENBERGER, Ronald A.: *Internistische Notfälle: Sicher durch die Akutsituation und die nachfolgenden 48 Stunden*. Thieme, 2009
- [31] FLEISCHMANN, Thomas ; HOHENSTEIN, Christian ; SCHITTEK, Willi: *Klinische Notfallmedizin-Wissen eBook: Emergency Medicine nach dem EU-Curriculum*. Elsevier Health Sciences, 2020
- [32] DUNKER, M ; REHM, M ; BRIEGEL, J ; THIEL, M ; SCHELLING, G: Anstrengungs-induzierter Hitzschlag Tod durch "Abschwitzen": Letales Multiorganversagen durch akzidentielle Körpertemperaturerhöhung bei einem 23-jährigen Sportler. In: *Der Anaesthetist* 50 (2001), Nr. 7, S. 500 505
- [33] ARGAUD, Laurent ; FERRY, Tristan ; LE, Quoc-Hung ; MARFISI, Aurélia ; CIORBA, Diana ; ACHACHE, Pierre ; DUCLUZEAU, Roland ; ROBERT, Dominique: Short-and long-term outcomes of heatstroke following the 2003 heat wave in Lyon, France. In: *Archives of internal medicine* 167 (2007), Nr. 20, S. 2177 2183
- [34] SONEJA, Sutyajeet ; JIANG, Chengsheng ; FISHER, Jared ; UPPERMAN, Crystal R. ; MITCHELL, Clifford ; SAPKOTA, Amir: Exposure to extreme heat and precipitation

- events associated with increased risk of hospitalization for asthma in Maryland, USA. In: *Environmental Health* 15 (2016), Nr. 1, S. 1-7
- [35] BACH, J. F.: The effect of infections on susceptibility to autoimmune and allergic diseases. In: *N Engl J Med* 347 (2002), Nr. 12, S. 911-20. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra020100>. DOI 10.1056/NEJMra020100. ISSN 0028-4793. 1533-4406 Bach, Jean-Francois Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't Review United States 2002/09/20 N Engl J Med. 2002 Sep 19;347(12):911-20. doi: 10.1056/NEJMra020100.
- [36] TAYLOR, Philip E. ; JONSSON, Haffidi: Thunderstorm asthma. In: *Current allergy and asthma reports* 4 (2004), Nr. 5, S. 409-413
- [37] CELENZA, Antonio ; FOTHERGILL, Jane ; KUPEK, Emil ; SHAW, Rory J.: Thunderstorm associated asthma: a detailed analysis of environmental factors. In: *Bmj* 312 (1996), Nr. 7031, S. 604-607
- [38] MARKS, GB ; COLQUHOUN, JR ; GIRGIS, ST ; KOSKI, M H. ; TRELOAR, ABA ; HANSEN, Peter ; DOWNS, SH ; CAR, NG: Thunderstorm outflows preceding epidemics of asthma during spring and summer. In: *Thorax* 56 (2001), Nr. 6, S. 468-471
- [39] *Cyanobakterien*. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/cyanobakterien/16137>. Version: 04.09.2018
- [40] STARK, Klaus ; NIEDRIG, Matthias ; BIEDERBICK, Walter ; MERKERT, H ; HACKER, Jörg: Die Auswirkungen des Klimawandels. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 52 (2009), Nr. 7, S. 699-714
- [41] HEROLD, Gerd: *Innere medizin 2021*. De Gruyter, 2021
- [42] CASADEVALL, Arturo u. a.: Climate change brings the specter of new infectious diseases. In: *The Journal of Clinical Investigation* 130 (2020), Nr. 2, S. 553-555
- [43] GIFFORD, Eva ; GIFFORD, Robert: The largely unacknowledged impact of climate change on mental health. In: *Bulletin of the Atomic Scientists* 72 (2016), Nr. 5, S. 292-297
- [44] RHODES, Jean ; CHAN, Christian ; PAXSON, Christina ; ROUSE, Cecilia E. ; WATERS, Mary ; FUSSELL, Elizabeth: The impact of hurricane Katrina on the mental and physical health of low-income parents in New Orleans. In: *American journal of orthopsychiatry* 80 (2010), Nr. 2, S. 237
- [45] BURKE, Marshall ; GONZÁLEZ, Felipe ; BAYLIS, Patrick ; HEFT-NEAL, Sam ; BAYSAN, Ceren ; BASU, Sanjay ; HSIANG, Solomon: Higher temperatures increase suicide

- rates in the United States and Mexico. In: *Nature climate change* 8 (2018), Nr. 8, S. 723 729
- [46] DIXON, Keith W. ; SHULMAN, Mark D.: A statistical investigation into the relationship between meteorological parameters and suicide. In: *International journal of biometeorology* 27 (1983), Nr. 2, S. 93 105
- [47] WOO, Jong-Min ; OKUSAGA, Olaoluwa ; POSTOLACHE, Teodor T.: Seasonality of Suicidal Behavior. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 9 (2012), Nr. 2, 531 547. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph9020531>. DOI 10.3390/ijerph9020531. ISSN 1660 4601
- [48] FUCHS, Judith ; BUSCH, Markus ; LANGE, Cornelia ; SCHEIDT-NAVE, Christa: *Prevalence and patterns of morbidity among adults in Germany*. 2012
- [49] SOKOLOV, Andrei P. ; STONE, Peter H. ; FOREST, Chris E. ; PRINN, R ; SAROFIM, Marcus C. ; WEBSTER, M ; PALTSEV, Sergey ; SCHLOSSER, C A. ; KICKLIGHTER, D ; DUTKIEWICZ, Stephanie u. a.: Probabilistic forecast for twenty-first-century climate based on uncertainties in emissions (without policy) and climate parameters. In: *Journal of Climate* 22 (2009), Nr. 19, S. 5175 5204
- [50] In: STOCKER, T. F. ; QIN, D. ; PLATTNER, G.-K. ; ALEXANDER, L. V. ; ALLEN, S. K. ; BINDOFF, N. L. ; BRÉON, F.-M. ; CHURCH, J. A. ; CUBASCH, U. ; EMORI, S. ; FORSTER, P. ; FRIEDLINGSTEIN, P. ; GILLETT, N. ; GREGORY, J. M. ; HARTMANN, D. L. ; JANSEN, E. ; KIRTMAN, B. ; KNUTTI, R. ; KRISHNA KUMAR, K. ; LEMKE, P. ; MAROTZKE, J. ; MASSON-DELMOTTE, V. ; MEEHL, G. A. ; MOKHOV, I. I. ; PIAO, S. ; RAMASWAMY, V. ; RANDALL, D. ; RHEIN, M. ; ROJAS, M. ; SABINE, C. ; SHINDELL, D. ; TALLEY, L. D. ; VAUGHAN, D. G. ; XIE, S.-P.: *Technical summary*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2013, S. 33 115
- [51] MOSS, Richard H. ; EDMONDS, Jae A. ; HIBBARD, Kathy A. ; MANNING, Martin R. ; ROSE, Steven K. ; VAN VUUREN, Detlef P. ; CARTER, Timothy R. ; EMORI, Seita ; KAINUMA, Mikiko ; KRAM, Tom u. a.: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: *Nature* 463 (2010), Nr. 7282, S. 747 756
- [52] VAN VUUREN, Detlef P. ; EDMONDS, Jae ; KAINUMA, Mikiko ; RIAHI, Keywan ; THOMSON, Allison ; HIBBARD, Kathy ; HURTT, George C. ; KRAM, Tom ; KREY, Volker ; LAMARQUE, Jean-Francois u. a.: The representative concentration pathways: an overview. In: *Climatic change* 109 (2011), Nr. 1, S. 5 31
- [53] STOCKER, Thomas: *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press, 2014

- [54] IM, Eun-Soon ; PAL, Jeremy S. ; ELTAHIR, Elfatih A.: Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. In: *Science advances* 3 (2017), Nr. 8, S. e1603322
- [55] NIKENDEI, Christoph ; BUGAJ, Till J. ; NIKENDEI, Frederik ; KÜHL, Susanne J. ; KÜHL, Michael: Klimawandel: Ursachen, Folgen, Lösungsansätze und Implikationen für das Gesundheitswesen. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 156-157 (2020), 59-67. <http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.zefq.2020.07.008>. DOI <https://doi.org/10.1016/j.zefq.2020.07.008>. ISSN 1865 9217
- [56] BAFU, Bundesamt für U.: Hitze in Städten. Grundlage für eine klimaangepasste Siedlungsentwicklung. In: *Umwelt-Wissen* (2018), 55. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/hitze-in-staedten.html>
- [57] MILNER, James ; HARPHAM, Colin ; TAYLOR, Jonathon ; DAVIES, Mike ; LE QUÉRÉ, Corinne ; HAINES, Andy ; WILKINSON, Paul: The challenge of urban heat exposure under climate change: An analysis of cities in the Sustainable Healthy Urban Environments (SHUE) database. In: *Climate* 5 (2017), Nr. 4, S. 93
- [58] GELETIČ, Jan ; LEHNERT, Michal ; DOBROVOLNÝ, Petr ; ŽUVELA-ALOISE, Maja: Spatial modelling of summer climate indices based on local climate zones: expected changes in the future climate of Brno, Czech Republic. In: *Climatic Change* 152 (2019), Nr. 3, S. 487 502
- [59] STATISTA: *Grad der Urbanisierung in Deutschland bis 2020*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/662560/umfrage/urbanisierung-in-deutschland/#professional>
- [60] MATTHIES, Franziska ; BICKLER, Graham ; HALES, Simon ; MARÍN, N C. n.: *Heat-health action plans: guidance*. World Health Organization, 2008
- [61] HAINES, Andy: *Health in the Anthropocene epoch implications for epidemiology*. 2018
- [62] KLIMAWANDELS (GAK), Bund/Länder A.: Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit. In: *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 60 (2017), Nr. 6, S. 662 672
- [63] BLÄTTNER, Beate ; GREWE, Henny A.: Arbeitshilfe zur Entwicklung und Implementierung eines Hitzeaktionsplans für Städte und Kommunen.

- [64] KNIPPSCHILD, Stephanie ; BAULIG, Christine ; KRUMMENAUER, Frank: Heterogenität in Meta-Analysen kein Vergleich von Äpfeln und Birnen erlaubt.. In: *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie* 2 (2015), S. 224 229
- [65] WECKMANN, Gesine ; CHENOT, Jean-François ; REBER, Katrin C.: Metaanalysen lesen und interpretieren: eine praktische Anleitung. In: *Zeitschrift für Allgemeinmedizin* 91 (2015), Nr. 11, S. 469 473
- [66] RAGETTLI, Martina S. ; VICEDO-CABRERA, Ana M. ; FLÜCKIGER, Benjamin ; RÖÖSLI, Martin: Impact of the warm summer 2015 on emergency hospital admissions in Switzerland. In: *Environmental health* 18 (2019), Nr. 1, S. 1 10
- [67] WATSON, Kaitlyn E. ; GARDINER, Kyle M. ; SINGLETON, Judith A.: The impact of extreme heat events on hospital admissions to the Royal Hobart Hospital. In: *Journal of Public Health* 42 (2020), Nr. 2, S. 333 339
- [68] CHENG, Jian ; XU, Zhiwei ; ZHAO, Desheng ; XIE, Mingyu ; ZHANG, Heng ; WANG, Shusi ; SU, Hong: The burden of extreme heat and heatwave on emergency ambulance dispatches: A time-series study in Huainan, China. In: *Science of the Total Environment* 571 (2016), S. 27 33
- [69] LIU, Xuena ; LIU, Hui ; FAN, Hua ; LIU, Yizhi ; DING, Guoyong: Influence of heat waves on daily hospital visits for mental illness in Jinan, China a case-crossover study. In: *International journal of environmental research and public health* 16 (2019), Nr. 1, S. 87
- [70] SCHILLO, Sonja ; RICHTER, Ann-Kathrin ; WASEM, Jürgen: Untersuchung des Einflusses von Hitze auf Morbidität / IBES Diskussionsbeitrag. 2019. Forschungsbericht
- [71] ZHAO, Qi ; LI, Shanshan ; COELHO, Micheline S. ; SALDIVA, Paulo H. ; HU, Kejia ; HUXLEY, Rachel R. ; ABRAMSON, Michael J. ; GUO, Yuming: The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: a nationwide time series study between 2000 and 2015. In: *PLoS medicine* 16 (2019), Nr. 2, S. e1002753
- [72] WILLIAMS, Augusta A. ; ALLEN, Joseph G. ; CATALANO, Paul J. ; BUONOCORE, Jonathan J. ; SPENGLER, John D.: The influence of heat on daily police, medical, and fire dispatches in Boston, Massachusetts: relative risk and time-series analyses. In: *American journal of public health* 110 (2020), Nr. 5, S. 662 668
- [73] LISS, Alexander ; WU, Ruiruo ; CHUI, Kenneth Kwan H. ; NAUMOVA, Elena N.: Heat-related hospitalizations in older adults: An amplified effect of the first seasonal heatwave. In: *Scientific reports* 7 (2017), Nr. 1, S. 1 14

- [74] LUEGINGER, Elisabeth ; RENGER, Rudi: Das weite Feld der Metaanalyse. Sekundär-, literatur-und metaanalytische Verfahren im Vergleich. In: *kommunikation. medien.(2)* (2013), S. 1 31
- [75] DÖRING, Nicola ; BORTZ, Jürgen: Forschungsmethoden und evaluation. In: *Wiesbaden: Springer* (2016)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt habe. Ich habe alle Stellen, die ich aus den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommen habe, als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Sven Jönsson, Hamburg, den 24. März 2022

A Anhang

A.1 Alle Studien die in die Vorauswahl aufgenommen wurden (vgl. Tabelle 3.1)

1: Calleja-Agius J, England K, Calleja N. The effect of global warming on mortality. *Early Hum Dev.* 2021 Apr;155:105222. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2020.105222. Epub 2020 Oct 6. PMID: 33097356; PMCID: PMC7536190.

2: O'Donnell E, Honan B, Quilty S, Schultz R. The Effect of Heat Events on Prehospital and Retrieval Service Utilization in Rural and Remote Areas: A Scoping Review. *Prehosp Disaster Med.* 2021 Dec;36(6):782-787. doi: 10.1017/S1049023X21001163. Epub 2021 Nov 2. PMID: 34726143.

3: Oray NC, Oray D, Aksay E, Atilla R, Bayram B. The impact of a heat wave on mortality in the emergency department. *Medicine (Baltimore).* 2018 Dec;97(52):e13815. doi: 10.1097/MD.00000000000013815. PMID: 30593174; PMCID: PMC6314671.

4: Sherbakov T, Malig B, Guirguis K, Gershunov A, Basu R. Ambient temperature and added heat wave effects on hospitalizations in California from 1999 to 2009. *Environ Res.* 2018 Jan;160:83-90. doi: 10.1016/j.envres.2017.08.052. Epub 2017 Sep 30. PMID: 28964966.

5: Hanefeld C, Klaaßen-Mielke R, Miebach J, Muthers S, Haschemi A, Trampisch H, Kloppe C, Matzarakis A, Krogias C, Schroeder C. Einfluss von Wetterextrema auf Einsatzzahlen im Notarzteinsatz [Influence of extreme weather conditions on the deployment volume of emergency medical services]. *Med Klin Intensivmed Notfmed.* 2021 Mar;116(2):154-160. German. doi: 10.1007/s00063-019-00641-7. Epub 2019 Dec 4. PMID: 31802135.

6: Curtis S, Fair A, Wistow J, Val DV, Oven K. Impact of extreme weather events and climate change for health and social care systems. *Environ Health.* 2017 Dec 5;16(Suppl 1):128. doi: 10.1186/s12940-017-0324-3. PMID: 29219105; PMCID: PMC5773887.

7: Hopp S, Dominici F, Bobb JF. Medical diagnoses of heat wave-related hospital admissions in older adults. *Prev Med.* 2018 May;110:81-85. doi: 10.1016/j.ypmed.2018.02.001. Epub 2018 Feb 8. PMID: 29428173; PMCID: PMC6040588.

8: Yoo EH, Eum Y, Gao Q, Chen K. Effect of extreme temperatures on daily emergency room visits for mental disorders. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021 Aug;28(29):39243-39256. doi: 10.1007/s11356-021-12887-w. Epub 2021 Mar 22. PMID: 33751353.

- 9: Watson KE, Gardiner KM, Singleton JA. The impact of extreme heat events on hospital admissions to the Royal Hobart Hospital. *J Public Health (Oxf)*. 2020 May 26;42(2):333-339. doi: 10.1093/pubmed/fdz033. Erratum in: *J Public Health (Oxf)*. 2021 Apr 12;43(1):e114. PMID: 31220305.
- 10: Campbell SL, Remenyi T, Williamson GJ, Rollins D, White CJ, Johnston FH. Ambulance dispatches and heatwaves in Tasmania, Australia: A case-crossover analysis. *Environ Res*. 2021 Nov;202:111655. doi: 10.1016/j.envres.2021.111655. Epub 2021 Jul 10. PMID: 34252428.
- 11: Tsangari H, Paschalidou AK, Kassomenos AP, Vardoulakis S, Heaviside C, Georgiou KE, Yamasaki EN. Extreme weather and air pollution effects on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Cyprus. *Sci Total Environ*. 2016 Jan 15;542(Pt A):247-53. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.106. Epub 2015 Oct 28. PMID: 26519584.
- 12: Xie J, Zhu Y, Fan Y, Xie L, Xie R, Huang F, Cao L. Association between extreme heat and hospital admissions for cataract patients in Hefei, China. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020 Dec;27(36):45381-45389. doi: 10.1007/s11356-020-10402-1. Epub 2020 Aug 13. PMID: 32789637; PMCID: PMC7686207.
- 13: van Loenhout JAF, Delbiso TD, Kiriliouk A, Rodriguez-Llanes JM, Segers J, Guha-Sapir D. Heat and emergency room admissions in the Netherlands. *BMC Public Health*. 2018 Jan 5;18(1):108. doi: 10.1186/s12889-017-5021-1. PMID: 29304777; PMCID: PMC5756417.
- 14: Phung D, Chu C, Rutherford S, Nguyen HLT, Do CM, Huang C. Heatwave and risk of hospitalization: A multi-province study in Vietnam. *Environ Pollut*. 2017 Jan;220(Pt A):597-607. doi: 10.1016/j.envpol.2016.10.008. Epub 2016 Oct 13. PMID: 27743790.
- 15: Steul K, Jung HG, Heudorf U. Hitzeassoziierte Morbidität: Surveillance in Echtzeit mittels rettungsdienstlicher Daten aus dem Interdisziplinären Versorgungsnachweis (IVENA) [Heat-related morbidity: real-time surveillance via rescue service operations data from the interdisciplinary care capacity proof system (IVENA)]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2019 May;62(5):589-598. German. doi: 10.1007/s00103-019-02938-6. PMID: 30989261.
- 16: Williams AA, Allen JG, Catalano PJ, Buonocore JJ, Spengler JD. The Influence of Heat on Daily Police, Medical, and Fire Dispatches in Boston, Massachusetts: Relative Risk and Time-Series Analyses. *Am J Public Health*. 2020 May;110(5):662-668. doi: 10.2105/AJPH.2019.305563. Epub 2020 Mar 19. PMID: 32191522; PMCID: PMC7144447.
- 17: Hu J, Wen Y, Duan Y, Yan S, Liao Y, Pan H, Zhu J, Yin P, Cheng J, Jiang H. The impact of extreme heat and heat waves on emergency ambulance dispatches

- due to external cause in Shenzhen, China. *Environ Pollut.* 2020 Jun;261:114156. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114156. Epub 2020 Feb 15. PMID: 32092626.
- 18: Liu X, Liu H, Fan H, Liu Y, Ding G. Influence of Heat Waves on Daily Hospital Visits for Mental Illness in Jinan, China-A Case-Crossover Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2018 Dec 30;16(1):87. doi: 10.3390/ijerph16010087. PMID: 30598018; PMCID: PMC6339177.
- 19: Pantavou K, Giallouros G, Philippopoulos K, Piovani D, Cartalis C, Bonovas S, Nikolopoulos GK. Thermal Conditions and Hospital Admissions: Analysis of Longitudinal Data from Cyprus (2009-2018). *Int J Environ Res Public Health.* 2021 Dec 18;18(24):13361. doi: 10.3390/ijerph182413361. PMID: 34948967; PMCID: PMC8702178.
- 20: Guo Y, Ma Y, Ji J, Liu N, Zhou G, Fang D, Huang G, Lan T, Peng C, Yu S. The relationship between extreme temperature and emergency incidences: a time series analysis in Shenzhen, China. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018 Dec;25(36):36239-36255. doi: 10.1007/s11356-018-3426-8. Epub 2018 Oct 26. PMID: 30367425.
- 21: Williams MN, Hill SR, Spicer J. Do hotter temperatures increase the incidence of self-harm hospitalisations? *Psychol Health Med.* 2016;21(2):226-35. doi: 10.1080/13548506.2015.1028945. Epub 2015 Apr 7. PMID: 25849087.
- 22: Ogbomo AS, Gronlund CJ, O'Neill MS, Konen T, Cameron L, Wahl R. Vulnerability to extreme-heat-associated hospitalization in three counties in Michigan, USA, 2000-2009. *Int J Biometeorol.* 2017 May;61(5):833-843. doi: 10.1007/s00484-016-1261-5. Epub 2016 Oct 30. PMID: 27796569; PMCID: PMC5410403.
- 23: Mathes RW, Ito K, Lane K, Matte TD. Real-time surveillance of heat-related morbidity: Relation to excess mortality associated with extreme heat. *PLoS One.* 2017 Sep 6;12(9):e0184364. doi: 10.1371/journal.pone.0184364. PMID: 28877241; PMCID: PMC5587263.
- 24: Cheng J, Xu Z, Zhao D, Xie M, Zhang H, Wang S, Su H. The burden of extreme heat and heatwave on emergency ambulance dispatches: A time-series study in Huainan, China. *Sci Total Environ.* 2016 Nov 15;571:27-33. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.103. Epub 2016 Jul 22. PMID: 27454572.
- 25: Calkins MM, Isaksen TB, Stubbs BA, Yost MG, Fenske RA. Impacts of extreme heat on emergency medical service calls in King County, Washington, 2007-2012: relative risk and time series analyses of basic and advanced life support. *Environ Health.* 2016 Jan 28;15:13. doi: 10.1186/s12940-016-0109-0. PMID: 26823080; PMCID: PMC4730772.

- 26: Wang Q, He Y, Hajat S, Cheng J, Xu Z, Hu W, Ma W, Huang C. Temperature- sensitive morbidity indicator: consequence from the increased ambulance dispatches associated with heat and cold exposure. *Int J Biometeorol.* 2021 Nov;65(11):1871-1880. doi: 10.1007/s00484-021-02143-8. Epub 2021 May 8. PMID: 33963898.
- 27: Steul KS, Latasch L, Jung HG, Heudorf U. Morbidität durch Hitze – eine Analyse der Krankenhauseinweisungen per Rettungseinsatz während einer Hitzewelle 2015 in Frankfurt/Main [Health Impact of the Heatwave of 2015: Hospital Admissions in Frankfurt/Main, Germany]. *Gesundheitswesen.* 2018 Apr;80(4):353-359. German. doi: 10.1055/a-0586-8255. Epub 2018 Apr 11. Erratum in: *Gesundheitswesen.* 2018 Aug;80(8-09):767. PMID: 29642257.
- 28: Ragettli MS, Vicedo-Cabrera AM, Flückiger B, Rösli M. Impact of the warm summer 2015 on emergency hospital admissions in Switzerland. *Environ Health.* 2019 Aug 15;18(1):66. doi: 10.1186/s12940-019-0507-1. PMID: 31412877; PMCID: PMC6694501.
- 29: Campbell SL, Remenyi TA, Williamson GJ, White CJ, Johnston FH. The Value of Local Heatwave Impact Assessment: A Case-Crossover Analysis of Hospital Emergency Department Presentations in Tasmania, Australia. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 Oct 2;16(19):3715. doi: 10.3390/ijerph16193715. PMID: 31581630; PMCID: PMC6801666.
- 30: Yang M, Li Z, Zhao Y, Zhou F, Zhang Y, Gao J, Yin T, Hu X, Mao Z, Xiao J, Wang L, Liu C, Ma L, Yuan Z, Lv J, Shen H, Hou PC, Kang H. Outcome and risk factors associated with extent of central nervous system injury due to exertional heat stroke. *Medicine (Baltimore).* 2017 Nov;96(44):e8417. doi: 10.1097/MD.0000000000008417. PMID: 29095276; PMCID: PMC5682795.
- 31: Fechter-Leggett ED, Vaidyanathan A, Choudhary E. Heat Stress Illness Emergency Department Visits in National Environmental Public Health Tracking States, 2005-2010. *J Community Health.* 2016 Feb;41(1):57-69. doi: 10.1007/s10900-015-0064-7. PMID: 26205070; PMCID: PMC4715715.
- 32: O’Lenick CR, Baniassadi A, Michael R, Monaghan A, Boehnert J, Yu X, Hayden MH, Wiedinmyer C, Zhang K, Crank PJ, Heusinger J, Hoel P, Sailor DJ, Wilhelmi OV. A Case-Crossover Analysis of Indoor Heat Exposure on Mortality and Hospitalizations among the Elderly in Houston, Texas. *Environ Health Perspect.* 2020 Dec;128(12):127007. doi: 10.1289/EHP6340. Epub 2020 Dec 10. PMID: 33300819; PMCID: PMC7727721.
- 33: Ponjoan A, Blanch J, Alves-Cabreros L, Martí-Lluch R, Comas-Cufí M, Parramon D, Del Mar Garcia-Gil M, Ramos R, Petersen I. Effects of extreme temperatures on cardiovascular emergency hospitalizations in a Mediterranean region: a self-controlled case

series study. *Environ Health*. 2017 Apr 4;16(1):32. doi: 10.1186/s12940-017-0238-0. PMID: 28376798; PMCID: PMC5379535.

34: Graham DA, Vanos JK, Kenny NA, Brown RD. Modeling the Effects of Urban Design on Emergency Medical Response Calls during Extreme Heat Events in Toronto, Canada. *Int J Environ Res Public Health*. 2017 Jul 14;14(7):778. doi: 10.3390/ijerph14070778. PMID: 28708081; PMCID: PMC5551216.

35: Adelaine SA, Sato M, Jin Y, Godwin H. An Assessment of Climate Change Impacts on Los Angeles (California USA) Hospitals, Wildfires Highest Priority. *Prehosp Disaster Med*. 2017 Oct;32(5):556-562. doi: 10.1017/S1049023X17006586. Epub 2017 Jun 13. PMID: 28606202.

36: Schwarz L, Hansen K, Alari A, Ilango SD, Bernal N, Basu R, Gershunov A, Benmarhnia T. Spatial variation in the joint effect of extreme heat events and ozone on respiratory hospitalizations in California. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021 Jun 1;118(22):e2023078118. doi: 10.1073/pnas.2023078118. PMID: 34031244; PMCID: PMC8179213.

37: Layton JB, Li W, Yuan J, Gilman JP, Horton DB, Setoguchi S. Heatwaves, medications, and heat-related hospitalization in older Medicare beneficiaries with chronic conditions. *PLoS One*. 2020 Dec 10;15(12):e0243665. doi: 10.1371/journal.pone.0243665. PMID: 33301532; PMCID: PMC7728169.

38: Jagai JS, Grossman E, Navon L, Sambanis A, Dorevitch S. Hospitalizations for heat-stress illness varies between rural and urban areas: an analysis of Illinois data, 1987-2014. *Environ Health*. 2017 Apr 7;16(1):38. doi: 10.1186/s12940-017-0245-1. PMID: 28388909; PMCID: PMC5384150.

39: Liss A, Wu R, Chui KK, Naumova EN. Heat-Related Hospitalizations in Older Adults: An Amplified Effect of the First Seasonal Heatwave. *Sci Rep*. 2017 Jan 11;7:39581. doi: 10.1038/srep39581. PMID: 28074921; PMCID: PMC5225426.

40: Weinberger KR, Wu X, Sun S, Spangler KR, Nori-Sarma A, Schwartz J, Requia W, Sabath BM, Braun D, Zanobetti A, Dominici F, Wellenius GA. Heat warnings, mortality, and hospital admissions among older adults in the United States. *Environ Int*. 2021 Dec;157:106834. doi: 10.1016/j.envint.2021.106834. Epub 2021 Aug 27. PMID: 34461376.

41: Zhao Q, Li S, Coelho MSZS, Saldiva PHN, Hu K, Huxley RR, Abramson MJ, Guo Y. The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: A nationwide time series study between 2000 and 2015. *PLoS Med*. 2019 Feb 22;16(2):e1002753. doi: 10.1371/journal.pmed.1002753. PMID: 30794537; PMCID: PMC6386221.

42: Iñiguez C, Royé D, Tobías A. Contrasting patterns of temperature related mortality and hospitalization by cardiovascular and respiratory diseases in 52 Spanish cities. *Environ Res.* 2021 Jan;192:110191. doi: 10.1016/j.envres.2020.110191. Epub 2020 Sep 24. PMID: 32980302.

43: Vaidyanathan A, Saha S, Vicedo-Cabrera AM, Gasparri A, Abdurehman N, Jordan R, Hawkins M, Hess J, Elixhauser A. Assessment of extreme heat and hospitalizations to inform early warning systems. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2019 Mar 19;116(12):5420-5427. doi: 10.1073/pnas.1806393116. Epub 2019 Mar 4. PMID: 30833395; PMCID: PMC6431221.

44: Heaviside C, Tsangari H, Paschalidou A, Vardoulakis S, Kassomenos P, Georgiou KE, Yamasaki EN. Heat-related mortality in Cyprus for current and future climate scenarios. *Sci Total Environ.* 2016 Nov 1;569-570:627-633. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.138. Epub 2016 Jul 1. PMID: 27376918.