



Hessisches Landesprüfungs- und  
Untersuchungsamt im Gesundheitswesen  
Abteilung I "Gesundheitsschutz"  
Geschäftsstelle Klimaanpassung

Wolframstraße 33  
D - 35683 Dillenburg

Telefon +49 2771 3206-0  
Fax +49 2771 36 671

## HEAT II Folgestudie 2021 -Abschlussbericht-

**Laufzeit:** 01/2019 – 11/2020

**Berichtszeitraum:** 06/2000 – 09/2019

**Projektleitung:**  
Dr. Helmut Uphoff

**Projektbearbeitung:**  
Dr. Andreas Larem

**Auftraggeber:**  
Fachzentrum Klimawandel und Anpassung  
im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

**Projektbetreuung:**  
Fachzentrum Klimawandel und Anpassung

Dillenburg, Dezember 2021

## Zusammenfassung

Mit dem Hitzesommer 2003 wurde auch in Deutschland Hitze als relevante Gesundheitsbelastung und Ursache für Übersterblichkeit wahrgenommen. In Hessen wurden daraufhin ein Hitzewarnsystem und ein zeitnahes Monitoring der Sterbefälle sowie Vorbeugemaßnahmen über verschiedene Behörden aufgebaut und der Öffentliche Gesundheitsdienst (ÖGD) verstärkt. In der HEAT II Studie wurden Verfahren entwickelt, um die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Mortalität zu erfassen, mit dem Ziel diese im zeitlichen Verlauf seit 2000 zu beschreiben und zeitnah zu detektieren. Es wurden auch erste Ansätze diskutiert regionale Unterschiede, Geschlechtsunterschiede sowie weitere Belastungsindikatoren neben der Tagesdurchschnittstemperatur in die Betrachtungen einzubeziehen. Im Fokus des ÖGD steht immer die Prävention. Im Sinne einer sinnvollen Fokussierung präventiver Maßnahmen sind Daten zu den Risiken und Risikogruppen unerlässlich. Die Folgestudie von HEAT II ist fokussiert auf Unterschiede der Hitze assoziierten Übersterblichkeit zwischen Besiedlungsdichte z.B. urbane Räume gegenüber eher ländlichen Räumen und untersucht deren Ausprägung in den verschiedenen Hitzewellen im Vergleich. Es wurde mit der Unterteilung in Großstädte, Mittelstädte, Kleinstädte und Ortschaften, eine Einteilung in vier Kategorien der Besiedlungsdichte vorgenommen. Um jeweils eine ausreichend große Stichprobenzahl zu erreichen und damit verbunden eine höhere Sensitivität für Sterbeexzesse, wurden die Kategorien Groß- und Mittelstädte sowie Kleinstädte und Ortschaften zu zwei großen Gruppen zusammengefasst und anschließend als urbaner sowie ländlicher Raum miteinander verglichen. Die Vergleiche konzentrieren sich auf die Hitzewellen 2003, 2006, 2010, 2015, 2018 und 2019. Während in der Hitzewelle 2003 die Groß- und Mittelstädte besonders betroffen waren, war dies in den folgenden Hitzewellen weniger erkennbar. Ab 2015 war die Übersterblichkeit (ausgedrückt als z-Score) trotz größerer Hitzebelastung in den Groß- und Mittelstädten, mit dem Exzess in den Kleinstädten und Ortschaften vergleichbar. In der Betrachtung werden neben der Tagesmitteltemperatur verschiedene weitere Belastungsindikatoren wie American Heat-Index und Kysely-Tage diskutiert. Darüber hinaus werden demographische Einflüsse und regionale klimatische Einflüsse in Zusammenhang mit Trend-Anpassungen des Erwartungswertes und den genutzten Schwellenwerten in die Betrachtungen einbezogen. Es kann festgestellt werden, dass nach 2003 kein auffällig größeres Versterbe-Risiko (Veränderung des z-Score) für dicht besiedelte Räume bestand, obwohl hier die Belastungsindikatoren durchgehend höher waren. Ursachen für diese Veränderung gegenüber 2003 sind nicht klar identifizierbar. Als Einflüsse, die zu einer reduzierten hitzebedingten Mortalität führen, werden verbesserte Lebensbedingungen und Luftqualität oder eine vermehrte Nutzung von Klimaanlage herangeführt (Martinez-Solanas, Basagaña 2019; Green et al. 2016; Heudorf, Schade 2014). Die Annahme, dass sich die Entwicklung der Maßnahmen nach 2003 mit Fokussierung auf die Ballungsräume ausgewirkt haben, scheint plausibel, zumal es Hinweise gibt, dass die Maßnahmen hier stärkere Beachtung fanden. Das Versterbe-Risiko in Zusammenhang mit Hitzebelastung für eher dünn besiedelte Räume ist vermutlich auch wegen der oft geringeren gemessenen Hitzebelastung weniger offensichtlich und wird vermutlich unterschätzt. Aufgrund der Größe der verschiedenen zu vergleichenden Kategorien (Straten) ist eine eindeutige Zuordnung zu verschiedenen Faktoren nicht möglich. Darüber hinaus beeinflussen etwa die Dauer von Hitzewellen, extrem hohe Temperaturen, Wärmeinseleffekte im urbanen Raum, Tropennächte, die Standorte der Wetterstationen etc. die Ergebnisse in einem nicht exakt zu bestimmenden Ausmaß (Niebuhr, Siebert, Grewe 2021). Es erscheint prüfenswert, ob man mit Verbesserungen der Belastungs-Indikatoren oder Erwartungswerte Risikofaktoren klarer identifizieren kann. Hierfür wäre eine verbesserte Evaluation der Trendschätzungen und Algorithmen zur Schätzung der Erwartungswerte sinnvoll.

## Summary

Heat as relevant health threat and cause of excess mortality in Germany, was broadly recognized after the experience of the heatwave in the year 2003. Consequently, Hesse established a warning system regarding heat and a timely monitoring of excess mortality in conjunction with precaution measures implemented by public institutions and the public health care. In the HEAT II study conducted in 2017 procedures to measure the impact of heat on mortality for a timely monitoring were developed and described since 2000 onwards. Furthermore, the authors of the HEAT II study discussed regional differences regarding the heat parameters sex and further indicators for heat stress. The aim of such studies is to improve prevention measures by a sharpened focus on the recognizable risk factors and risk groups. The present study is appended to the HEAT II study and highlights the difference of heat related excess mortality between population density in particular more urban regions to rather rural areas by assessing several heatwaves between 2000 and 2019. Four categories regarding structural population density could be built. To achieve sufficiently large numbers and hence elevate the sensitivity for the detection of an excess, categories have been joined for many evaluations by building two categories villages and small cities in opposite to large cities and median cities. For the comparative evaluation the heat waves in the years 2003, 2006, 2010, 2015, 2018 und 2019 were included. As during the heat wave in 2003 the highest excess was recognized in the big and median cities, this could not be stated for the following seasons. From the heat wave 2015 onwards the excess given as z-score was comparable to the excess in the more rural areas despite a lower heat load in these regions. As indicators for the heat load daily mean temperatures have been mainly used but the American Heat Index and Kysely-days have also been included for discussion. Furthermore, demographic influences as well as regional climatic influences have been assessed in conjunction with threshold settings and discussion of trend estimation for the expected mortality without heat influence. It became apparent that for the seasons following 2003 there had been no increased mortality related to heat for densely populated areas anymore even though the heat load was higher. The reasons for this shift of mortality to areas with lower population density are not clear. Impacts on reduced heat related mortality as improved living conditions and air quality or increased usage of air conditioning are discussed (Martinez-Solanas, Basagaña 2019; Green et al. 2016; Heudorf, Schade 2014). It appears plausible though that the intensified precaution measures focused on densely populated areas contributed to this shift. The relevant heat mortality in less populated areas seems less obvious in particular with the slightly lower heat load in these areas in Hesse and may be underestimated. Due to the relatively low numbers in the compared strata and the large variation between the few heatwaves included, a differentiated evaluation of the various influential factors is not possible. Further the duration of heat waves, extremely high temperatures, heat island effects in urban areas, tropical nights, locations of meteorological stations etc. affected the results in a not precisely determinable extent (Niebuhr, Siebert, Grewe 2021). It should be further assessed if improvements of the heat parameters and thresholds can lead to a better identification of mortality risk factors. A detailed evaluation of trend-estimation and the algorithm for the estimation of the expected mortality would be necessary.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
Summary .....	3
<b>1. Problemstellung</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Vorhabenbeschreibung</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Analyse der Sterbe- und Temperaturdaten</b> .....	<b>7</b>
3.1 Hintergrund und Zielsetzung .....	7
3.2 Methodisches Vorgehen .....	7
3.2.1 Datenherkunft .....	7
3.2.2 Datenaufbereitung .....	8
Sterbedaten .....	8
Siedlungsdichten .....	8
Temperaturdaten .....	8
Daten zur relativen Luftfeuchtigkeit .....	8
3.2.3 Datenanalyse .....	9
Sterbedaten .....	9
z-Score Analyse .....	9
Siedlungsdichten .....	9
Temperaturdaten .....	10
Berechnung des Hitzeindex (HI) .....	10
3.3 Ergebnisse .....	11
3.3.1 Deskriptive Datenanalyse .....	11
Sterbedaten .....	11
Siedlungsdichten .....	12
3.3.2 Sterblichkeit in den Sommermonaten .....	16
3.3.3 z-Score Sterblichkeit in den Sommermonaten .....	17
3.3.4 Einfluss von Hitze auf den z-Score der allgemeinen Sterblichkeit .....	17
3.3.5 Stratifizierung des z-Score nach Siedlungsform .....	19
3.3.6 Übersicht der Hitzeperioden ausgewählter Jahre in Hessen .....	24
3.3.7 Test-Referenzjahre ( <i>test reference years</i> , TRY) .....	25
3.3.8 z-Score Analysen für die Sommermonate einzelner ausgewählter Jahre mit ausgeprägten Hitzeperioden .....	26
2003 .....	27
2006 .....	31
2010 .....	35
2015 .....	39
2018 .....	43
2019 .....	48

2009 .....	53
3.3.9 Demographische Einordnung .....	55
3.3.10 Vergleich von Alter und Geschlecht in den Sommermonaten bei Jahren mit z-Score > 4	56
3.3.11 Vergleich von Alter und Geschlecht in den Sommermonaten bei Jahren mit z-Score < 2	57
3.4 Diskussion .....	59
3.4.1 Stärken und Schwächen der Analysemethode.....	59
3.4.2 Hitze und Übersterblichkeit.....	60
3.4.3 Demographische Einordnung .....	62
<b>4. Fazit</b> .....	<b>63</b>
Quellenverzeichnis .....	64

## 1. Problemstellung

Innerhalb des Zeitraumes 2000 bis 2019 sind in Westeuropa mehrere Hitzeereignisse aufgetreten, die zu einer Vielzahl hitzebedingter Todesfälle geführt haben. Nach der heftigen Hitzewelle im Jahr 2003, die Hessen mit hoher Intensität und langer Dauer traf, kam es in den Jahren 2006, 2010 und 2015 zu weiteren Hitzeereignissen, wobei 2015 mit vergleichbarer Intensität und Ausprägung wie 2003 ausgefallen ist. Da es anschließend in zwei aufeinanderfolgenden Jahren 2018 und 2019 zu ausgeprägten Hitzeereignissen gekommen ist, ist nicht auszuschließen, dass auch künftig Hitzeereignisse in kürzeren Abständen auftreten werden. Die Hitzeperiode 2020 wird nicht in die Betrachtungen einbezogen, da es hier möglicherweise auch zu Überlagerungen (Maskierungen) durch die Corona bedingte Mortalität kam. Nachdem 2003 ein starker Effekt bei der hitzebedingten Übersterblichkeit in Verbindung mit Hitzeinseln in Großstädten beobachtet wurde, kam ein Prozess in Gang, der darauf abzielte, die hitzebedingte Übersterblichkeit mit Fokus auf Städte und besonders Pflege- und Betreuungseinrichtungen zu verringern. Durch eingehende Analyse der Hitzewelle 2003 wurde eine Vielzahl von Maßnahmen wie beispielsweise Hitzewarnsysteme abgeleitet und implementiert, die hitzebedingte Todesfälle verhindern sollen.

Des Weiteren wurde von der Hochschule Fulda, im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (HLNUG) das Projekt „Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung“ (HEAT) gestartet. Ziel war die Prüfung von Bestandteilen eines Maßnahmenplanes, der über das des Landes Hessens bestehende Hitzewarnsystems hinausgehen sollte (Grewe et al., 2012). Eine Erkenntnis von HEAT war die Notwendigkeit eines Surveillance-Systems, welches hitzeassoziierte Gesundheitsschäden untersuchen soll. Diese Forderung wird durch Maßgaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gestützt, wonach Echtzeitüberwachung gesundheitlicher Indikatoren, darunter auch die Gesamt mortalität, obligater Bestandteil nationaler Hitzeaktionspläne sein sollte (WHO, 2008).

Im Anschluss an das HEAT Projekt ist durch das HLNUG die Hochschule Fulda, unter Beteiligung des Hessischen Landesprüfungs- und Untersuchungsamtes im Gesundheitswesen (HLPUG), zu einem Projekt beauftragt worden, welches die Entwicklung und Implementierung eines Surveillance-Systems beinhaltet, welches statistisch verlässliche Schätzungen der hitzeassoziierten Exzessmortalität zeitnah zur Verfügung stellt. Dieses Projekt wurde als „Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung: Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen“ (HEAT II) bezeichnet und im Jahr 2017 fertiggestellt (Grewe et al., 2017).

Der Vorliegende Bericht befasst sich mit einem Vergleich der hitzebedingten Mortalität für Stadt und ländlichen Raum, in einem Zeitraum von 20 Jahren (2000 bis 2019).

## 2. Vorhabenbeschreibung

Der Vergleich hitzebedingter Mortalität in Stadt und ländlichen Raum über den Zeitraum 2000 bis 2019 hat zum Ziel, die sechs auf diesen Zeitraum entfallenden Hitzesommer der Jahre 2003, 2006, 2010, 2015, 2018 und 2019 zu vergleichen und Rückschlüsse auf die regionale Komponente von auftretender hitzebedingter Exzessmortalität ziehen zu können. Folgende Fragestellungen sollen adressiert werden:

1. Ergibt die Betrachtung nachfolgender Hitzesommer Veränderungen im Vergleich zu 2003 insbesondere bezüglich Hitzebelastungs-Parameter und resultierender Übersterblichkeit?
2. Wie ist der Einfluss der Wohnsituation (Stadt vs. ländlicher Raum) bei hitzebedingter Übersterblichkeit zu bewerten?
3. Gibt es Hinweise darauf, ob die nach dem Hitzesommer 2003 umgesetzten Maßnahmen Einfluss auf die hitzebedingte Mortalität in Hessen haben?

## **3. Analyse der Sterbe- und Temperaturdaten**

### **3.1 Hintergrund und Zielsetzung**

Der Zusammenhang von Hitze und Mortalität ist durch eine Vielzahl von Publikationen belegt (Robine et al., 2008; Muthers et al., 2017; Steul et al., 2018) und zeigt sich ebenfalls deutlich bei der Analyse von EUROMOMO Daten über die Sommermonate. Ein zuverlässiger und praktikabler Indikator ist die mittlere Temperatur (an der Heiden et al., 2020). Bei der vorliegenden Auswertung konnten Tagesmittelwerte der Temperatur für die Analysen herangezogen werden. In Hessen wird häufig eine gesteigerte Anzahl an Todesfällen beobachtet an Tagen, bei denen ein Temperaturmittel von 23 °C erreicht oder überschritten wird. Dieser Temperaturschwellenwert kann allerdings je nach geographischer Lage unterschiedlich ausfallen (an der Heiden et al., 2020). Unter Berücksichtigung von Temperaturmaximum (Tmax) und relativer Luftfeuchte lässt sich zusätzlich der sogenannte Hitzeindex (HI) berechnen (Steadman, 1979, Heudorf, Schade 2014). Über mehrere Tage andauernde Hitzewellen, bei denen dauerhaft hohe Temperaturen erreicht werden, werden als besonders belastend für die menschliche Gesundheit angesehen. So zum Beispiel Hitzewellen nach Kysely (Kysely, 2004).

Zielsetzung ist die Aufarbeitung der für den Zeitraum 2000 bis 2019 vorliegenden hessischen Sterbedaten sowie der korrespondierenden Temperaturdaten. Eine Untersuchung der Korrelation von Temperatur und Mortalität soll die Schätzung eines Exzesses bereinigten Erwartungswertes ermöglichen. Die Bildung von Vergleichs-Straten soll so gewählt werden, dass bei ausreichenden Fallzahlen Vergleiche zwischen Stadt und ländlichem Raum möglich sind.

Darüber hinaus soll eine z-Score Analyse, vergleichbar mit der Methode von EUROMOMO, zur Identifikation und Vergleichbarkeit von Exzessmortalität innerhalb des Datensatzes in den Sommermonaten führen.

### **3.2 Methodisches Vorgehen**

#### **3.2.1 Datenherkunft**

Einwohnerzahlen der Städte und Kommunen (Stand: 31.03.2019) sowie die zum Zeitpunkt der Auswertung aktuellsten Daten zur Siedlungs- und Verkehrsfläche (Stand: 31.12.2015) wurden frei zugänglich über die Homepage des Hessischen Statistischen Landesamtes (HSL) (<https://statistik.hessen.de/hesis>) bezogen.

Die Sterbedaten für den Zeitraum 2000-2019 wurden dem Hessischen Landesprüfungs- und Untersuchungsamt im Gesundheitswesen (HLPUG) direkt durch das Hessische Statistische Landesamt zur Verfügung gestellt. Dieser Datensatz umfasst Angaben zu Geschlecht, Geburts- und Sterbedatum, die Nummer des meldenden Standesamtes sowie die ersten drei Ziffern des Wohn- und Sterbekreises. Wohn- und Sterbekreis entspricht der Ebene NUTS 3 – kreisfreie Städte und Landkreise.

Daten zu verschiedenen Klimaparametern, darunter das Tagesmaximum, Tagesminimum sowie der Tagesmittelwert der Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit für den Zeitraum 2000-2019, wurden vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) zur Verfügung gestellt. Messdaten der Referenzwetterstationen für die betrachteten TRY-Regionen wurden durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt.

### **3.2.2 Datenaufbereitung**

#### **Sterbedaten**

Für die Datenauswertung wurden nur Personen mit Wohn- und Sterbekreis in Hessen berücksichtigt. Personen, die außerhalb Hessens wohnhaft waren und in Hessen verstorben sind sowie Personen, die in Hessen wohnhaft waren und außerhalb Hessens verstorben waren, wurden nicht berücksichtigt, da diese nicht in den Datensätzen der zeitnahen vorläufigen Sterbefallerfassung enthalten sind. Die Daten wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen und für die weitere Auswertung nur Sterbealter von 0 bis 110 berücksichtigt. Aus Gründen des Datenschutzes wurden Sterbefälle von Frühgeborenen und Abort nicht miteinbezogen, da diese Fälle aufgrund der geringen Gruppengrößen zuordenbar gewesen wären.

#### **Siedlungsdichten**

Siedlungs- und Verkehrsfläche ist definiert als die Summe aus Gebäude- und Freifläche, Betriebsfläche (ohne Abbauland), Erholungsfläche, Verkehrsfläche sowie Friedhofsfläche (Quelle: HSL). Zur Bestimmung der Siedlungsdichte wurde die Zahl der Einwohner der jeweiligen Stadt bzw. Kommune mit der jeweils zugehörigen Siedlungs- und Verkehrsfläche (km<sup>2</sup>) ins Verhältnis gesetzt. Die Siedlungsdichte wurde der Bevölkerungsdichte vorgezogen, um eine bessere Beschreibung der jeweiligen Wohnsituation zu erreichen. Der Wert Bevölkerungsdichte wird verzerrt, da Städte und Kommunen unterschiedlich viel umliegende Fläche wie landwirtschaftlich genutzte Fläche, Wald und Wasserflächen in ihrer Gemarkung aufweisen. Dadurch können Städte mit ähnlich dichter Bebauung und vergleichbarer Siedlungsdichte teils erhebliche Unterschiede bei der Bevölkerungsdichte aufweisen.

Über die jeweilige Standesamtsnummer konnten die verstorbenen Personen einer jeweiligen Kommune oder Stadt zugeordnet werden. Diese Zuordnung wurde als Referenz für die Einteilung in eine Siedlungsdichte-Kategorie benötigt. Die Übermittlung dieser Daten ist für die vorliegende Studie vom Hessischen Datenschutz freigegeben worden.

#### **Temperaturdaten**

Als zentraler Parameter wurde analog zur HEAT II Studie die Temperaturvariable Tagesmittelwert herangezogen. Tage, an denen ein Tagesmittelwert von  $\geq 23$  °C erreicht oder überschritten wird, wurden als Indikator für eine hohe Belastung für die Gesundheit gewählt. Im Besonderen, wenn im Zuge von auftretenden Hitzewellen solche Bedingungen über einen längeren Zeitraum, mehrere Tage hintereinander, auftreten. Ein Mittelwert aller Messdaten der Messstationen des HLNUG wurde durch das HLNUG bereitgestellt und übermittelt wie bereits für die HEAT II Studie beschrieben.

Die durch den DWD bereitgestellten Daten der maximalen Tagestemperatur der Referenzwetterstationen für die TRY-Regionen 7 (Neukirchen) und 12 (Geisenheim, Frankfurt am Main - Flughafen) wurden als Grundlage zur Berechnung eines täglichen Hitzeindex (heat index, HI) verwendet.

#### **Daten zur relativen Luftfeuchtigkeit**

Daten über die relative Luftfeuchtigkeit von 26 Messstationen in Hessen wurden durch das HLNUG bereitgestellt und übermittelt.

Messdaten zur relativen Luftfeuchtigkeit für die TRY-Referenzstandorte Neukirchen, Geisenheim und Frankfurt am Main (Flughafen) wurden durch den DWD bereitgestellt und für die Berechnung des täglichen Hitzeindex verwendet.

### 3.2.3 Datenanalyse

#### Sterbedaten

Für die Analyse der Sterbedaten wurde jeweils der Zeitraum 1. Juni bis 31. August der Jahre 2000 bis 2019 betrachtet, da in diesen Sommermonaten mit der jährlich größten Hitzebelastung zu rechnen ist. Als Referenz wurde der jeweilige tägliche Erwartungswert für Sterbefälle mittels der Daten der fünf vorangegangenen Basisjahre berechnet. Dieses Vorgehen wurde für die Jahre 2005 bis 2019 angewendet. Für die Zeitspanne 2000 bis 2004 lagen keine fünf vorangegangenen Jahre vor. Für diese Zeitspanne wurden die fünf Basisjahre 2000 bis 2004 zugrunde gelegt.

Da der Erwartungswert einzelner Jahre stark durch Exzessereignisse einzelner vorangegangener Jahre, wie beispielsweise durch die hohe Übersterblichkeit im Hitzesommer von 2003, überlagert wird, wurde der Datensatz von hitzeinduzierten Exzessen bereinigt. Ziel dieser Bereinigung ist ein Erwartungswert als Referenz für zu erwartende Sterbefälle ohne den Einfluss von Hitze.

Zur Bestimmung eines vom Einfluss von Hitze unabhängigen Erwartungswertes wurde der Datensatz dazu um Hitze induzierte Peaks für Tage mit Tagesmittel von  $\geq 23$  °C bereinigt, indem für diese Exzesstage der Median der beobachteten Sterbezahlen der drei Vorjahre gebildet wurde. Für die Jahre 2000 bis 2003 wurde anstelle der drei Vorjahre der Median für die beobachteten Sterbefälle an Tagen mit einer mittleren Temperatur  $\geq 23$  °C über die drei Jahre 2000 bis 2003 gebildet (siehe HEAT II).

Wenn zwei von drei Werten für die Bestimmung des Medians auf Tage mit einem Tagesmittel  $\geq 23$  °C fielen, wurde der höhere Beobachtungswert durch den Beobachtungswert der sieben Tage vor/nach dem betreffenden Tag ersetzt um möglichst einen Tag mit einer Tagesmitteltemperatur  $< 23$  °C auszuwählen. War einer der drei Tage ein Exzesstag, wurde dies toleriert. Die Beobachtungswerte für alle übrigen Tage mit einem Tagesmittel  $< 23$  °C wurden unverändert übernommen (vergleiche HEAT II).

#### z-Score Analyse

Die Beobachtungswerte der Sterbefälle in den Sommermonaten Juni bis August wurden anschließend zusammen mit dem Erwartungswert graphisch aufgetragen. Zur einfacheren Identifikation von Tagen, an denen eine Exzessgrenze erreicht oder überschritten wurde, wurden z-Scores berechnet und deren Abweichung von der Basislinie bestimmt. Z-Scores werden in vorliegender Studie dazu genutzt, um Messwerte von Zeitreihen zu standardisieren, mit dem Ziel, die Sterblichkeit zwischen verschiedenen Populationen oder zwischen verschiedenen Zeiträumen miteinander vergleichen zu können. Die Standardabweichung ist dabei die Einheit der Messung der z-Scores. Dies erlaubt den Vergleich von Beobachtungen von verschiedenen normal verteilten Distributionen. Eine Abweichung von der Basislinie  $z \leq 2$  gilt als normale Schwankung. Von einem Exzess spricht man, wenn z den Wert von 2 überschreitet. Das europaweite Beobachtungssystem EUROMOMO verwendet dabei die Einteilung:  $2 < z \leq 4$  wird als niedriger Exzess bezeichnet,  $4 < z \leq 7$  als moderater Exzess,  $7 < z \leq 10$  als hoher Exzess,  $10 < z \leq 15$  als sehr hoher Exzess und  $z > 15$  wird als extrem hoher Exzess bezeichnet (Quelle: <https://www.euromomo.eu/graphs-and-maps/>). Die Bewertungskategorien sind aber von dem zu bewertenden Ereignis, der Stichprobengröße und vielen weiteren Faktoren abhängig und daher nicht unbedingt übertragbar.

Die Berechnung der z-Scores wurde folgendermaßen durchgeführt:

$$z\text{-Score} = (\text{Beobachtungswert} - \text{Erwartungswert}) / \text{Standardabweichung der Residuen}$$

#### Siedlungsdichten

Unter Berücksichtigung der Siedlungsdichte der in Hessen liegenden Städte und Kommunen wurde diese in die Strukturform Großstadt, Mittelstadt, Kleinstadt und Gemeinde stratifiziert. Die zwischen 2000 und 2019 in Hessen gemeldeten Todesfälle wurden anschließend der genannten Stratifizierung zugeordnet.

## Temperaturdaten

Für die in der Analyse verwendeten Tage wurde ein arithmetisches Mittel der halbstündlichen Messwerte je Tag (Tagesmitteltemperatur) über alle an diesem Datum datenliefernden Stationen in Hessen (27) durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) zur Verfügung gestellt. Dieses arithmetische Mittel über alle Stationen wurde dazu verwendet, Tage in den Monaten Juni bis August, mit einem Temperaturmittel  $\geq 23$  °C zu identifizieren.

## Berechnung des Hitzeindex (HI)

Der Hitzeindex gibt auf Grundlage von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte eine gefühlte Temperatur unter Angabe einer Temperatureinheit (°C oder °F) wieder. Die Berechnung des HI beruht auf der Forschung von R. G. Steadman aus dem Jahre 1979. Untenstehende Formel gibt den HI in °C an und ist eine Anpassung der Formel für °F von Rothfus 1990.

$$\text{HI} = -8,784695 + 1,61139411 * T + 2,338549 * R - 0,14611605 * T * R - 1,2308094 * 10^{-2} * T^2 - 1,6424828 * 10^{-2} * R^2 + 2,211732 * 10^{-3} * T^2 * R + 7,2546 * 10^{-4} * T * R^2 - 3,582 * 10^{-6} * T^2 * R^2$$

T = Lufttemperatur (Tmax) in °C

R = relative Feuchte in %

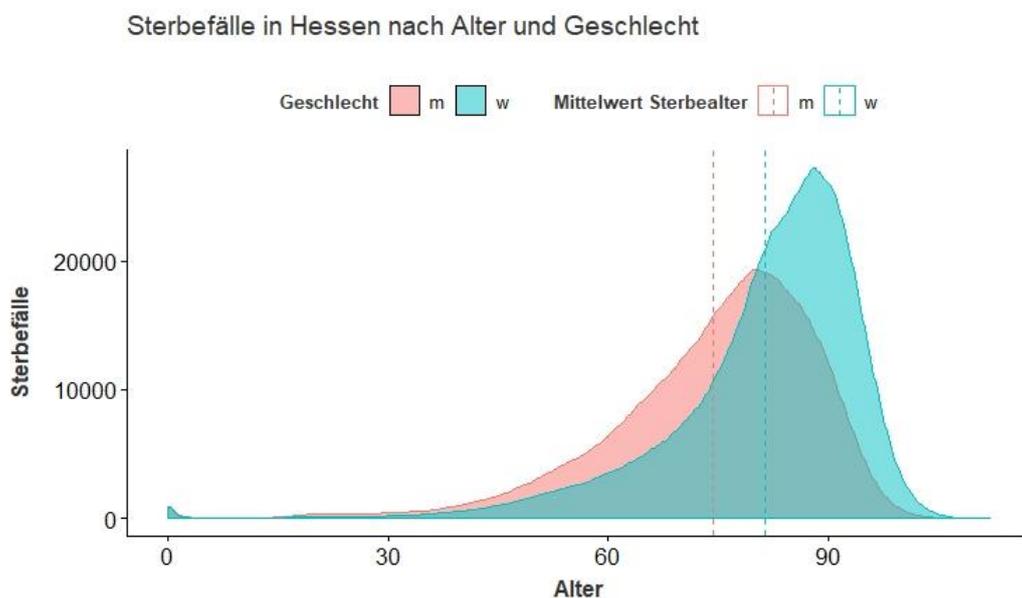
Sämtliche Prozeduren wurden mithilfe des Statistikprogramms RStudio, Version 1.2.1335 [RStudio Team, 2020], ausgeführt.

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Deskriptive Datenanalyse

##### Sterbedaten

Im Zeitraum 01.01.2000 bis 08.11.2019 verstarben in Hessen 1.162.747 Personen mit verfügbaren Angaben eines Sterbealters. Im Mittel lag das Sterbealter in Hessen bei 78 Jahren (Median = 81 Jahre). Männer starben im Schnitt mit 74,4 Jahren (Median = 77 Jahre) früher als Frauen mit 81,3 Jahren (Median = 84 Jahre). In der nachfolgenden **Abbildung 1** ist die Altersverteilung der Sterbefälle nach Geschlecht dargestellt.



**Abbildung 1:** Altersverteilung der Sterbefälle in Hessen für den Zeitraum 01.01.2000 bis 08.11.2019, nach Geschlecht kategorisiert. Frauen sind in blau, Männer in rot dargestellt. Der jeweilige Mittelwert ist für Frauen als blaue und für Männer als rote gestrichelte Linie eingezeichnet.

Auf die betrachteten Sommermonate (01.06. bis 31.08.) entfielen für den Zeitraum 01.01.2000 bis 08.11.2019 insgesamt 276.919 Sterbefälle. Im Mittel lag das Sterbealter im Sommer in Hessen bei 77,7 Jahren (Median = 81 Jahre).

**Tabelle 1:** Verteilung der Sterbefälle nach Geschlecht. Sterbefälle über den Zeitraum 2000 bis 2019 über das gesamte Jahr (gesamt) im Vergleich zu den Sterbefällen für den gleichen Zeitraum in den Sommermonaten (Sommer):

Geschlecht	Sterbefälle gesamt	Sterbefälle Sommer	% Anteil gesamt	% Anteil Sommer
Männlich	552.396	132.047	47,5	47,7
Weiblich	610.351	144.872	52,5	52,3
<b>Gesamt</b>	<b>1.162.747</b>	<b>276.919</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

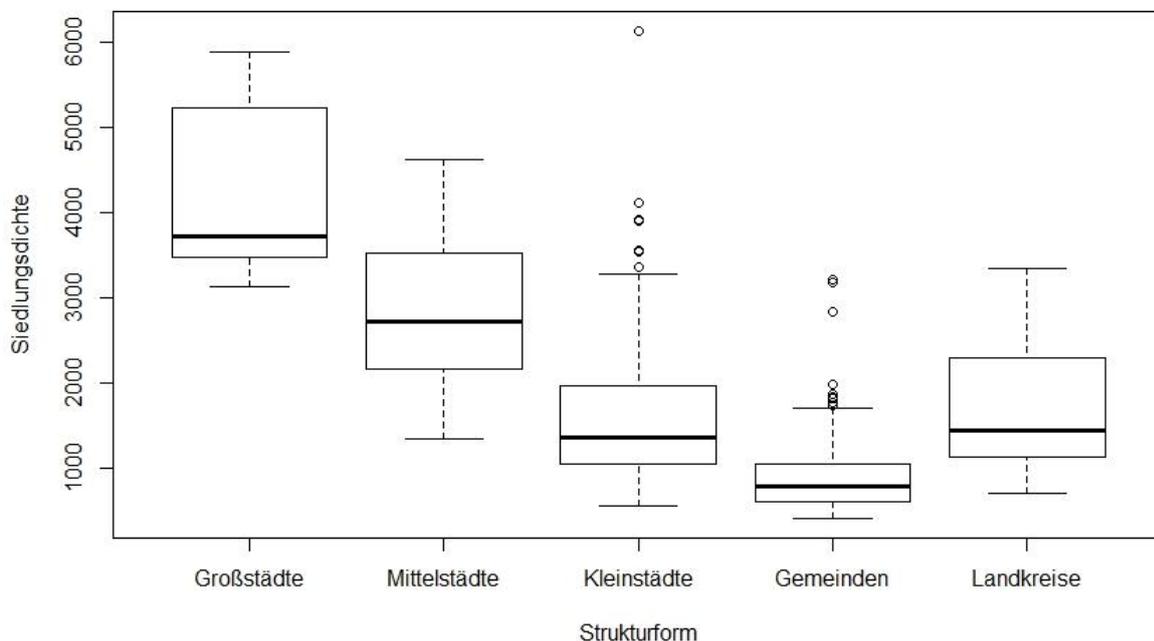
## Siedlungsdichten

Die Siedlungsdichte nimmt im Mittel von den Gemeinden zu den Großstädten zu (Gemeinden < Kleinstädte < Mittelstädte < Großstädte) (*Tabelle 2*). Für die Landkreise in Hessen liegt der Mittelwert für die Siedlungsdichte bei 1.714 Einwohner / km<sup>2</sup> Siedlungs- und Verkehrsfläche, der Median liegt bei 1.448 Einwohner / km<sup>2</sup> Siedlungs- und Verkehrsfläche.

**Tabelle 2:** Definition der Strukturform nach Einwohnerzahlen und deren Siedlungsdichte.

Strukturform	Einwohner	Siedlungsdichte	
		Mittelwert	Median
Großstädte	>100.000	4.288	3.725
Mittelstädte	20.000 bis 99.999	2.807	2.726
Kleinstädte	5.000 bis 19.999	1.609	1.370
Gemeinden	bis 5000	931	793

Für die Darstellung der Streuung der unterschiedlichen Strukturformen wurde die Form eines Boxplot-Diagramms gewählt (*Abbildung 2*). Hier zeigt sich, dass bei den 245 Kleinstädten und 119 Gemeinden einzelne Ausreißer hin zu einer höheren Siedlungsdichte auftreten. Die Siedlungsdichte von Klein- und Mittelstädten ist zu den 5 Großstädten und 54 Mittelstädten vergleichsweise homogen, letztere streuen stärker um ihren Mittelwert.



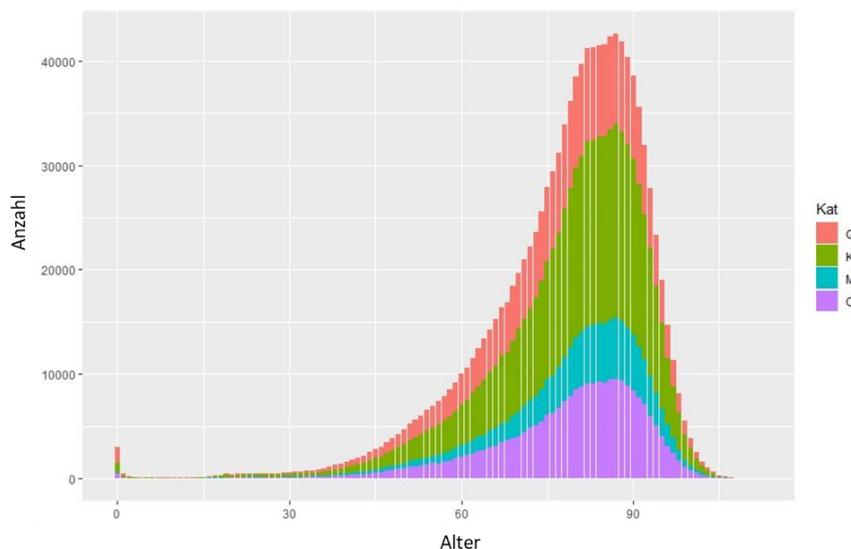
**Abbildung 2:** Vergleich der Siedlungsdichte verschiedener Strukturformen. Siedlungsdichte ist die Einwohnerzahl / km<sup>2</sup> Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung definiert als Summe aus Gebäude- und Freifläche, Betriebsfläche (ohne Abbauland), Erholungsfläche, Verkehrsfläche sowie Friedhofsfläche ohne landwirtschaftlich genutzte Fläche, Wald und Wasserflächen.

Über den Betrachtungszeitraum (2000 bis 2019) ließen sich die meisten Sterbefälle (41,7 %) der Strukturform Kleinstadt zuordnen. Die wenigsten Sterbefälle sind in der Strukturform Mittelstadt (12,6 %) aufgetreten. Ein Unterschied der Verteilung über die Siedlungsdichte Kategorien ist bei der Betrachtung der Sterbefälle ganzjährig sowie nur für die Sommermonate Juni bis August im Gesamtdatensatz nicht zu erkennen (*Tabelle 3*).

**Tabelle 3:** Aufschlüsselung der Sterbefälle nach Strukturform. Vergleich der Anteile an Sterbefällen für die Gesamtjahre 2000 bis 2019 mit den Sterbefällen in den Sommermonaten (Juni bis August) für den gleichen Zeitraum.

Strukturform	Sterbefälle gesamt	Sterbefälle Sommer	% Anteil gesamt	% Anteil Sommer
Großstadt	279.065	67.241	24,0	24,3
Mittelstadt	147.070	34.795	12,6	12,6
Kleinstadt	485.432	115.485	41,7	41,7
Gemeinde	251.180	59.398	21,6	21,4
<b>Gesamt</b>	<b>1.162.747</b>	<b>276.919</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

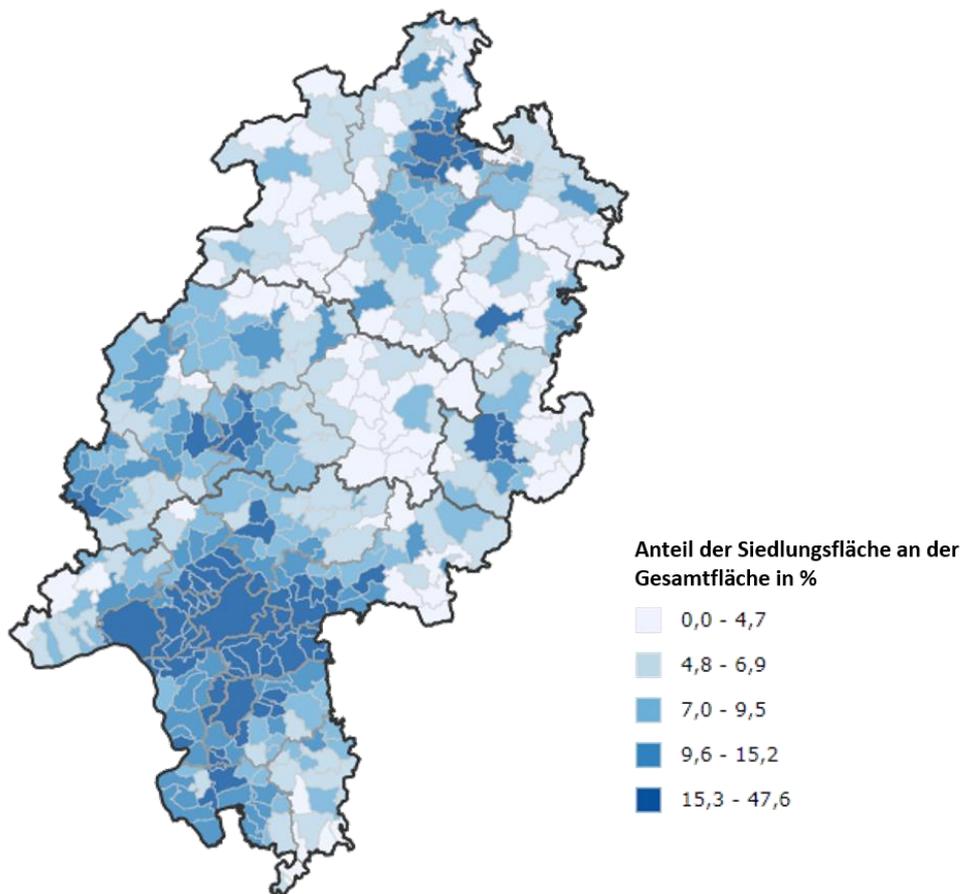
Der Gesamtdatensatz der Sterbefälle nach Sterbealter und jeweiliger Kategorie Großstadt, Mittelstadt, Kleinstadt sowie Gemeinde/Ort ist in *Abbildung 3* dargestellt.



**Abbildung 3:** Verteilung der gesamten Sterbefälle im Zeitraum 2000-2019 nach Alter sowie farblich hervorgehoben der Anteil dieser Sterbefälle, die auf die jeweilige Kategorie Großstadt (G), Mittelstadt (M), Kleinstadt (K), Gemeinde/Ort (O) entfallen.

In der nachfolgenden Karte (

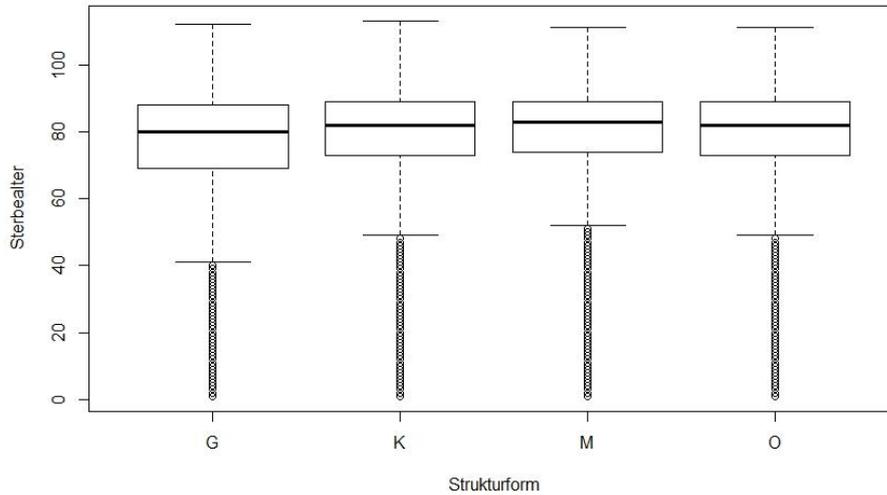
**Abbildung 4**) ist der Anteil der Siedlungsfläche in Hessen dargestellt. Es zeigt sich ein hoher Anteil an Siedlungsfläche im Rein-Main-Gebiet in Südhessen. Der nördliche Teil Hessens ist hingegen mit Ausnahme der Region Kassel, nur dünn besiedelt.



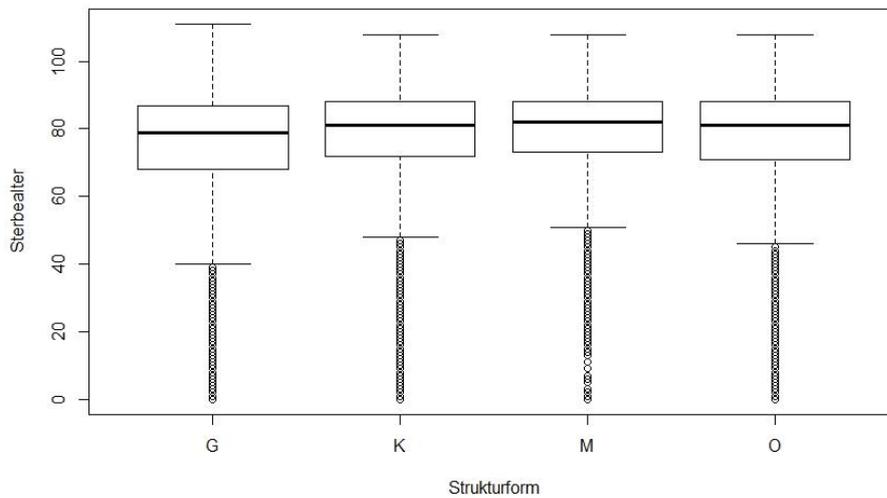
© Hessisches Statistisches Landesamt, Wiesbaden (Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet); GeoBasis-DE/BKG 2012.

**Abbildung 4:** Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche in % mit Datenstand 31.12.2017. Auflösung bis zur Regionalebene der Gemeinden. (Quelle: <https://statistik-hessen.de/regionalkarten/atlas/bericht/atlas.html>)

Bei der Betrachtung des Medians des Sterbealters für komplette Jahre über den Zeitraum 2000 bis 2019 ist für die verschiedenen Strukturformen im Vergleich zueinander kein Unterschied zu erkennen (**Abbildung 5**). Wird für den gleichen Zeitraum nur der Sommer (Juni bis August) betrachtet, ist ebenfalls kein Unterschied des mittleren Sterbealters zum Datensatz über die gesamten Jahre zu erkennen (**Abbildung 6**).



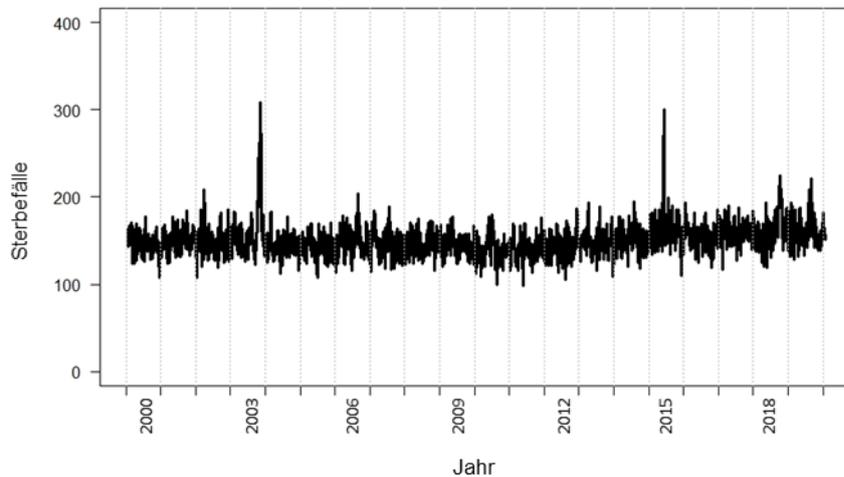
**Abbildung 5:** Vergleich des Sterbealters der Strukturformen Großstadt (G), Kleinstadt (K), Mittelstadt (M) und Gemeinde/Ortschaft (O). Betrachtet wird der Zeitraum über die jeweiligen Gesamtjahre.



**Abbildung 6:** Vergleich des Sterbealters der Strukturformen Großstadt (G), Kleinstadt (K), Mittelstadt (M) und Gemeinde/Ortschaft (O). Betrachtet wird der Zeitraum über die jeweiligen Sommermonate.

### 3.3.2 Sterblichkeit in den Sommermonaten

Die täglichen Beobachtungswerte für Sterbefälle in den Sommermonaten Juni bis August wurden kumuliert über den Zeitraum 2000 bis 2019 betrachtet. Dabei ist ein Anstieg der Sterbefälle je Tag in den Jahren 2003, 2015 deutlich erkennbar sowie in den Jahren 2002, 2006, 2018 und 2019 augenscheinlich. In den Jahren 2003 und 2015 wird annähernd der doppelte Wert des üblichen Bereichs der Sterbefallzahlen erreicht (*Abbildung 7*).

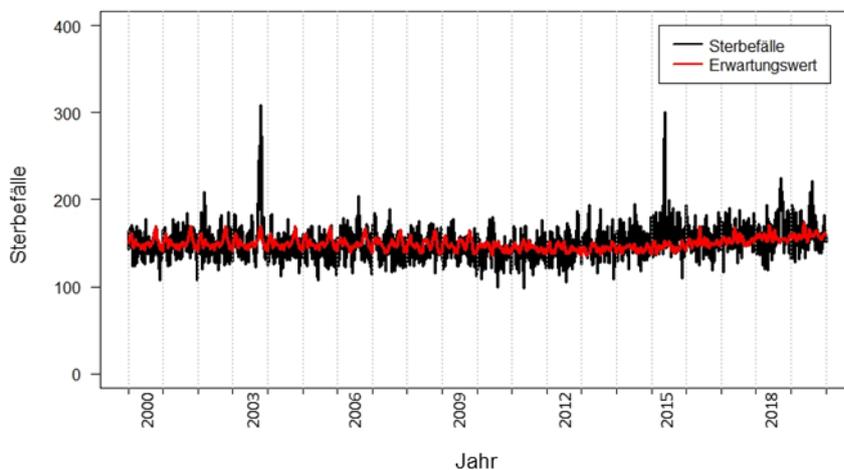


**Abbildung 7:** Sterbefälle in den Sommermonaten Juni bis August für die Jahre 2000 bis 2019.

Neben dem Beobachtungswert, welcher den tatsächlichen Sterbefällen entspricht, wurde zusätzlich ein Erwartungswert generiert (*Abbildung 8*). Dieser Erwartungswert bildet sich aus den Hitze-korrigierten Beobachtungswerten der vorangegangenen fünf Jahre. Die Hitzekorrektur wurde an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C vorgenommen. An solchen Hitzetagen wurde der Beobachtungswert durch den Median der Beobachtungswerte der vorangegangenen drei Jahre ersetzt.

Wenn mindestens zwei der drei Werte für die Bestimmung des Medians auf Hitzetage der korrespondierenden Vorjahre fallen, wurde der Wert des jeweiligen Tages ersetzt durch den nächsten Tag vor oder nach dem betroffenen Datum. Dabei wurde das Kriterium vorausgesetzt, dass der betreffende Wert von einem Tag mit einer Tagesmitteltemperatur  $< 23$  °C genommen wurde, um so erneute Einbeziehung von Exzess-Tagen auszuschließen.

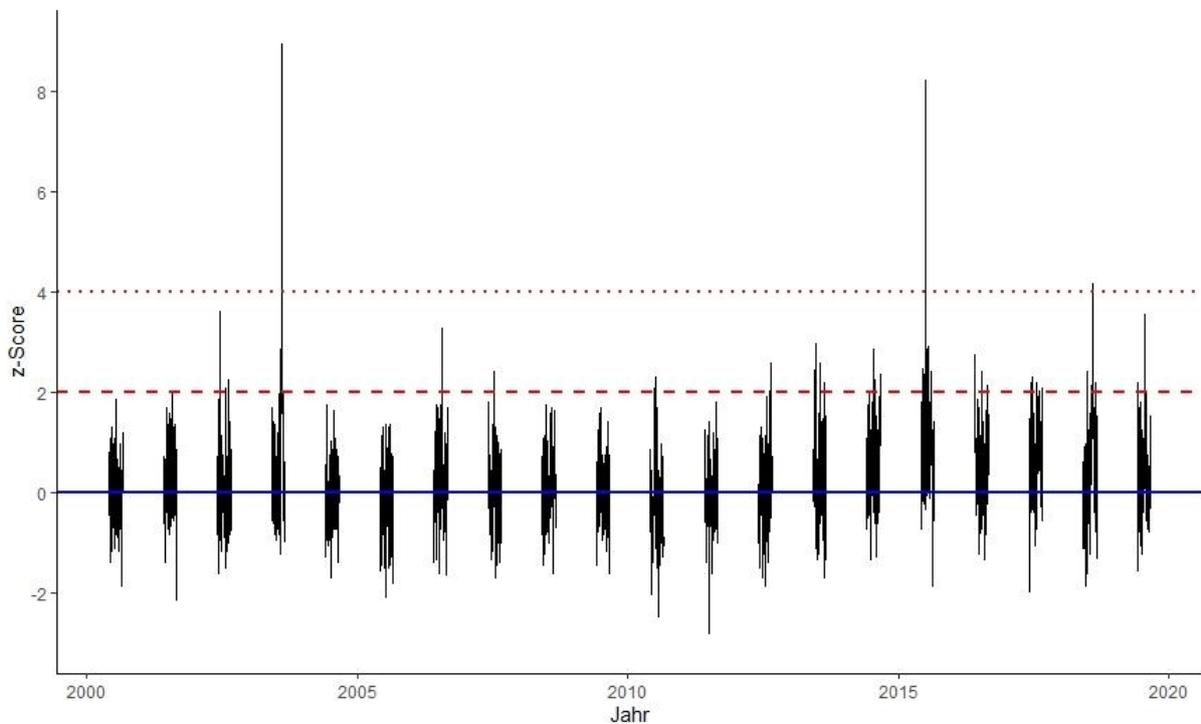
Befand sich unter den drei vorangegangenen Jahren lediglich ein Exzesstag durch Hitzeeinwirkung, wurde dieser toleriert.



**Abbildung 8:** Sterbefälle in den Sommermonaten Juni bis August für die Jahre 2000 bis 2019. Der jeweilige Erwartungswert ist in rot dargestellt.

### 3.3.3 z-Score Sterblichkeit in den Sommermonaten

Im Zeitraum 2000 bis 2019 ist die Grenze für einen niedrigen Exzess der Sterbefälle ( $z > 2$ ) in 13 Jahren überschritten worden. Im Jahr 2018 ist ein moderater Exzess ( $4 < z \leq 7$ ) zu beobachten. In den Jahren 2003 und 2015 ist jeweils ein hoher Exzess ( $7 < z \leq 10$ ) zu verzeichnen (*Abbildung 9*).

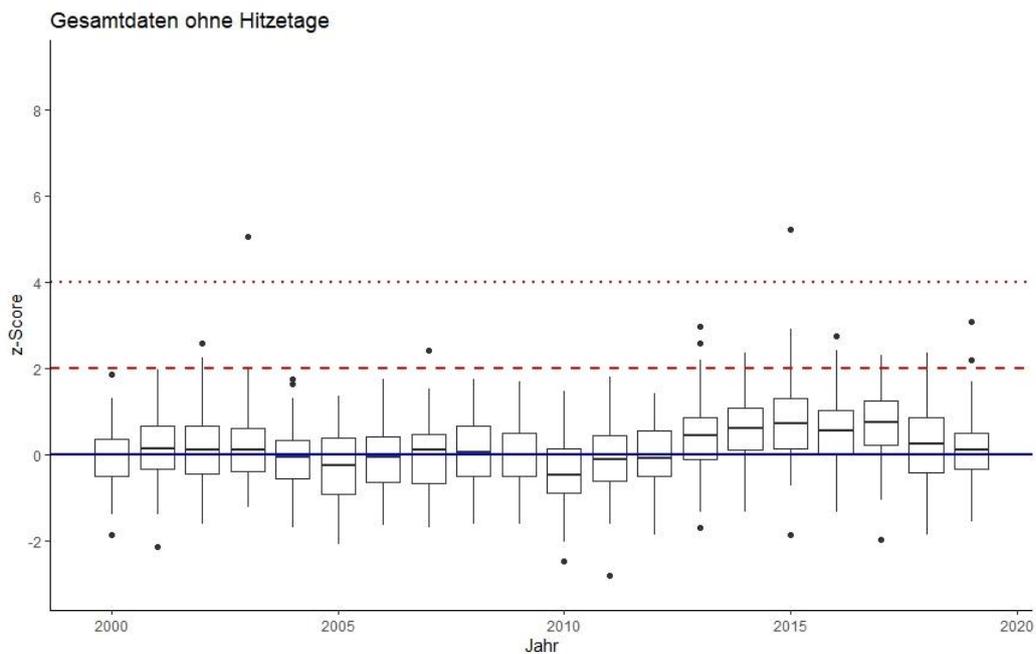
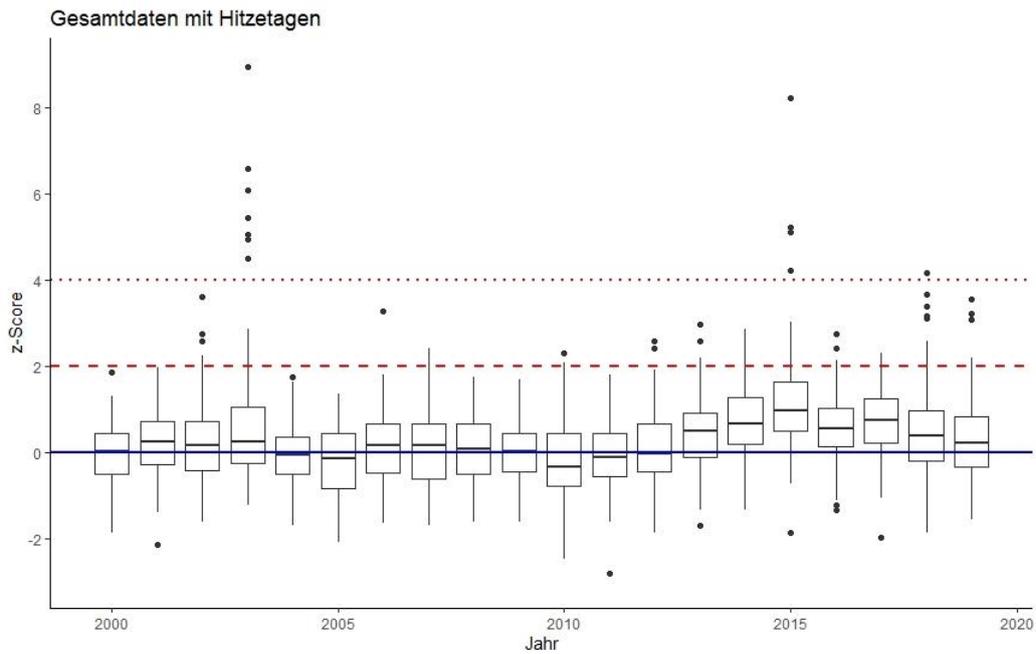


**Abbildung 9:** Sterblichkeit im Zeitraum 2000 bis 2019 in Hessen als z-Score der Tageswerte. Die blaue Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte rote Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete rote Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen.

### 3.3.4 Einfluss von Hitze auf den z-Score der allgemeinen Sterblichkeit

Hitzetage wirken sich auf die allgemeine Sterblichkeit aus und führen zu einem erhöhten Exzess der Sterbefälle. Um einen Vergleich herzustellen, wurde wie bereits beschrieben eine Hitzekorrektur an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C vorgenommen. An solchen Hitzetagen wurde der Beobachtungswert durch den Median der Beobachtungswerte der vorangegangenen drei Jahre ersetzt.

Für die Jahre 2003 und 2015 sind unter Miteinbeziehung von tatsächlichen Beobachtungswerten der Sterblichkeit an Hitzetagen deutlich mehr Ausreißer nach oben zu beobachten als für den gleichen Datensatz mit korrigierter Sterblichkeit an Hitzetagen. Für die Jahre 2018 und 2019 ist dieser Effekt in schwächerer Form ebenfalls sichtbar (*Abbildung 10*).

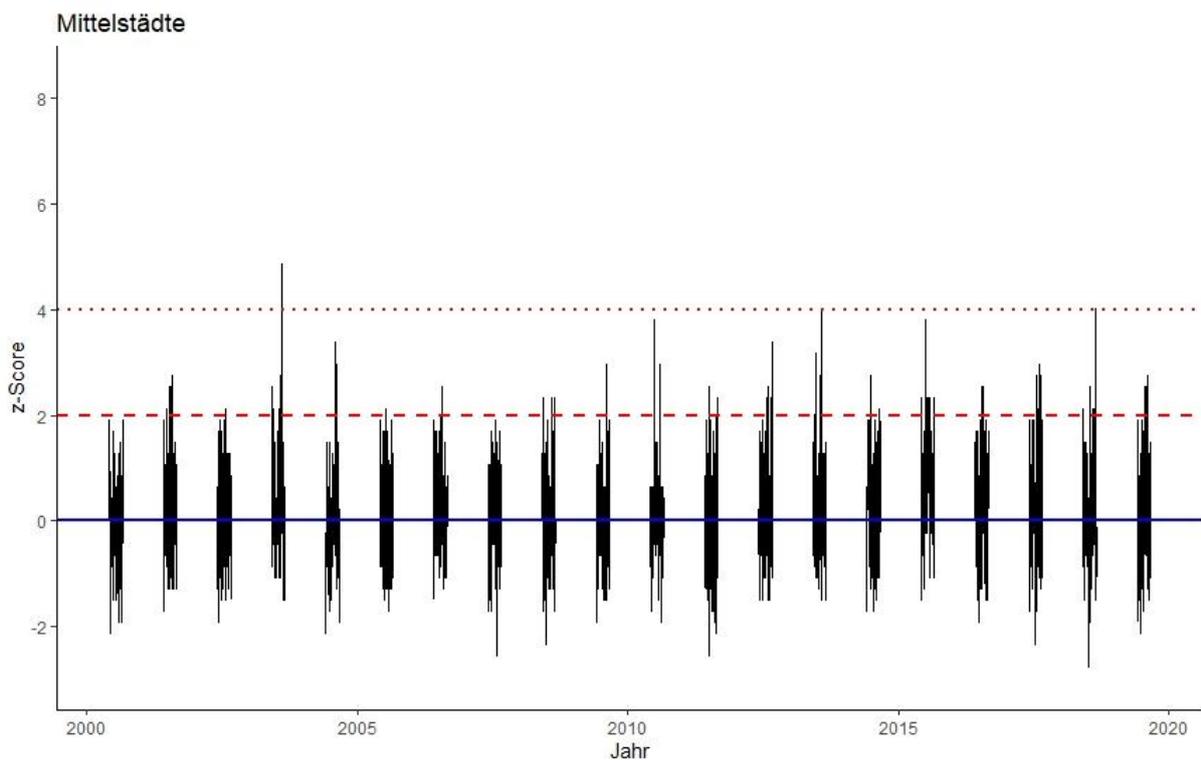
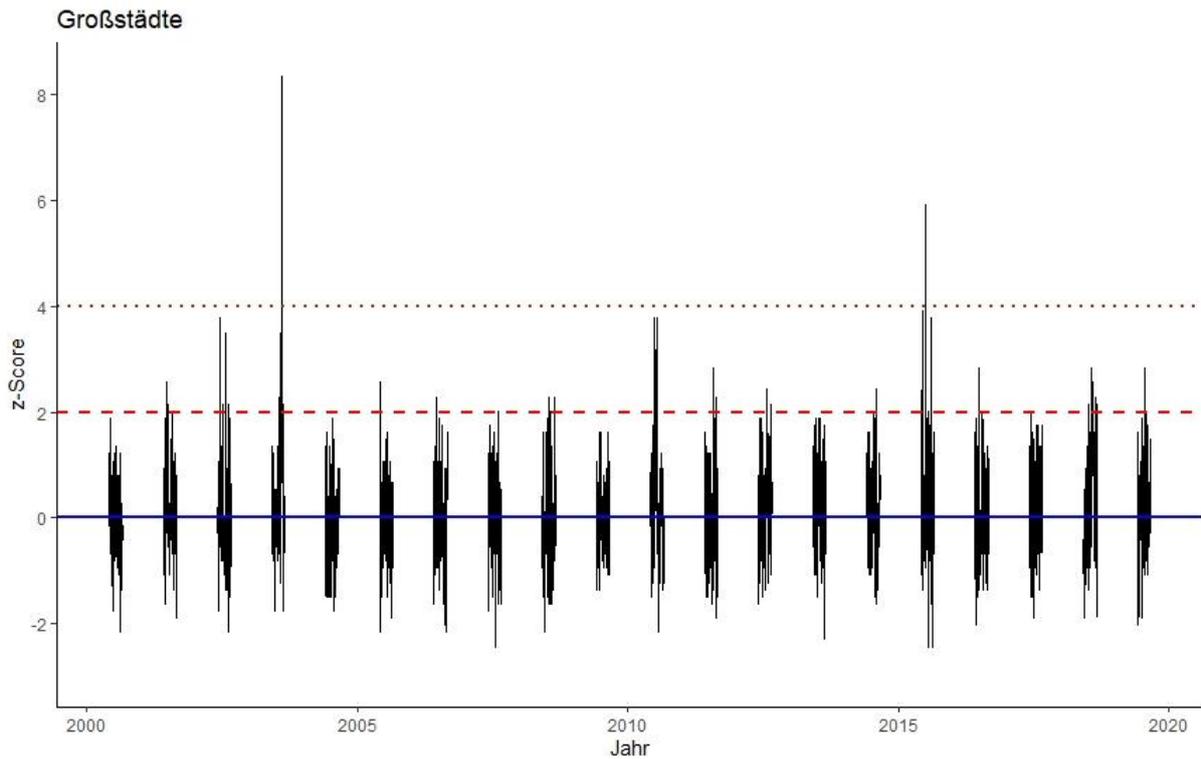


**Abbildung 10:** Sterblichkeit im Zeitraum 2000 bis 2019 in Hessen als Boxplot des z-Scores mit Hitzetagen (oben) und ohne Hitzetage (unten). Die blaue Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte rote Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete rote Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen.

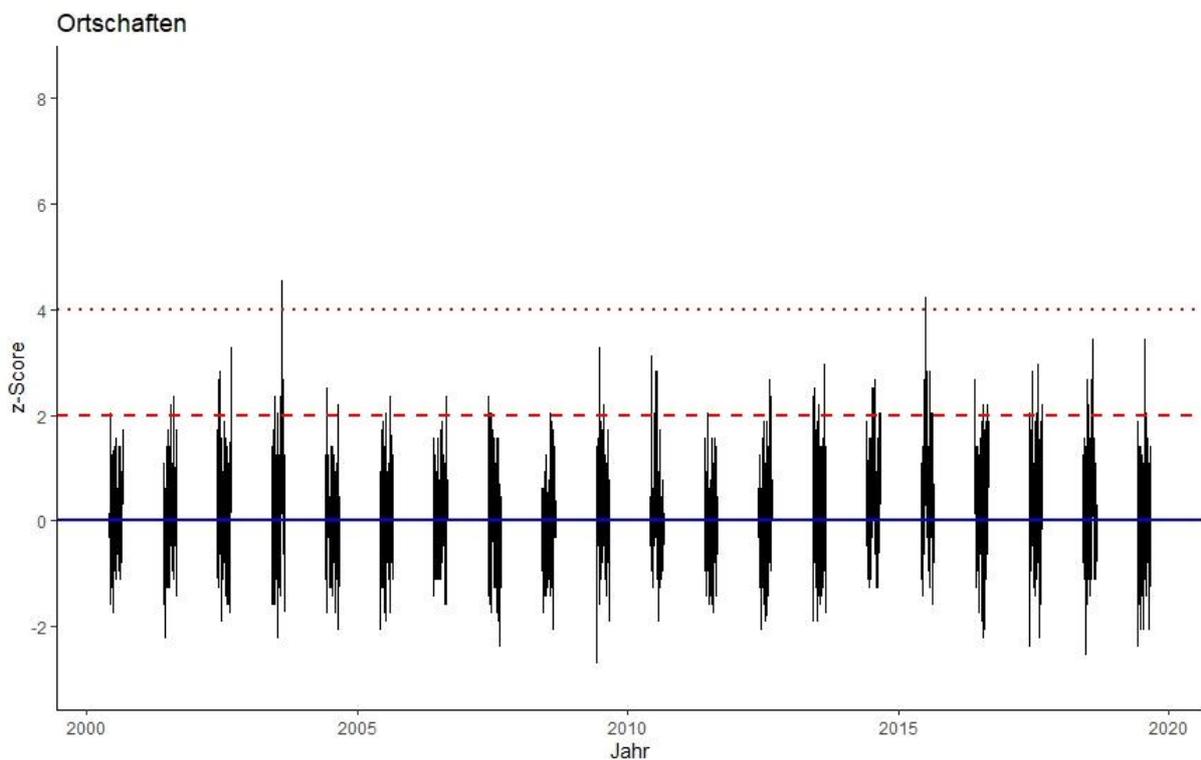
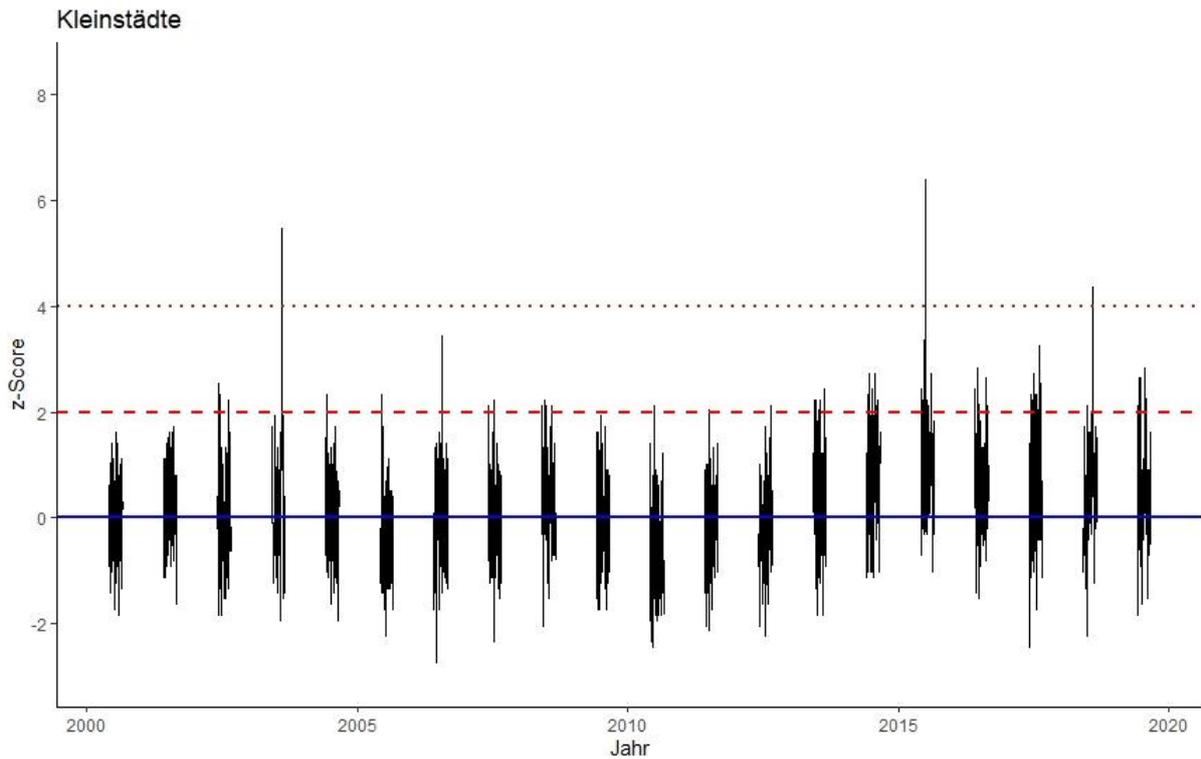
### 3.3.5 Stratifizierung des z-Score nach Siedlungsform

Wird der Datensatz der Sterbefälle in den Sommermonaten nach Siedlungsdichte bzw. Siedlungsform stratifiziert, ergeben sich Unterschiede in der Höhe des z-Score für die verschiedenen Hitzeereignisse. Der Hitzesommer im Jahr 2003 hat sich in Großstädten (*Abbildung 11*) besonders deutlich mit einem z-Score  $> 8$  bemerkbar gemacht. In den Ortschaften (*Abbildung 12*) wurde im gleichen Zeitraum ein z-Score  $< 5$  verzeichnet. Im Jahr 2010 wurde in den Kleinstädten ein z-Score von 2 knapp erreicht, wohingegen in Großstädten, Mittelstädten und Ortschaften der Wert von 2 deutlich überschritten worden ist.

Für das Jahr 2015 wurde in Groß- und Kleinstädten ein z-Score von 4 deutlich überschritten. In Ortschaften wurde 2015 ein z-Score von 4 knapp erreicht, wohingegen in Mittelstädten der Wert für den z-Score unter 4 geblieben ist. Im Jahr 2018 wird beispielsweise die Schwelle von 4 bei den Kleinstädten überschritten, nicht aber bei Großstädten, Mittelstädten und Ortschaften (*Abbildung 11* und *Abbildung 12*).

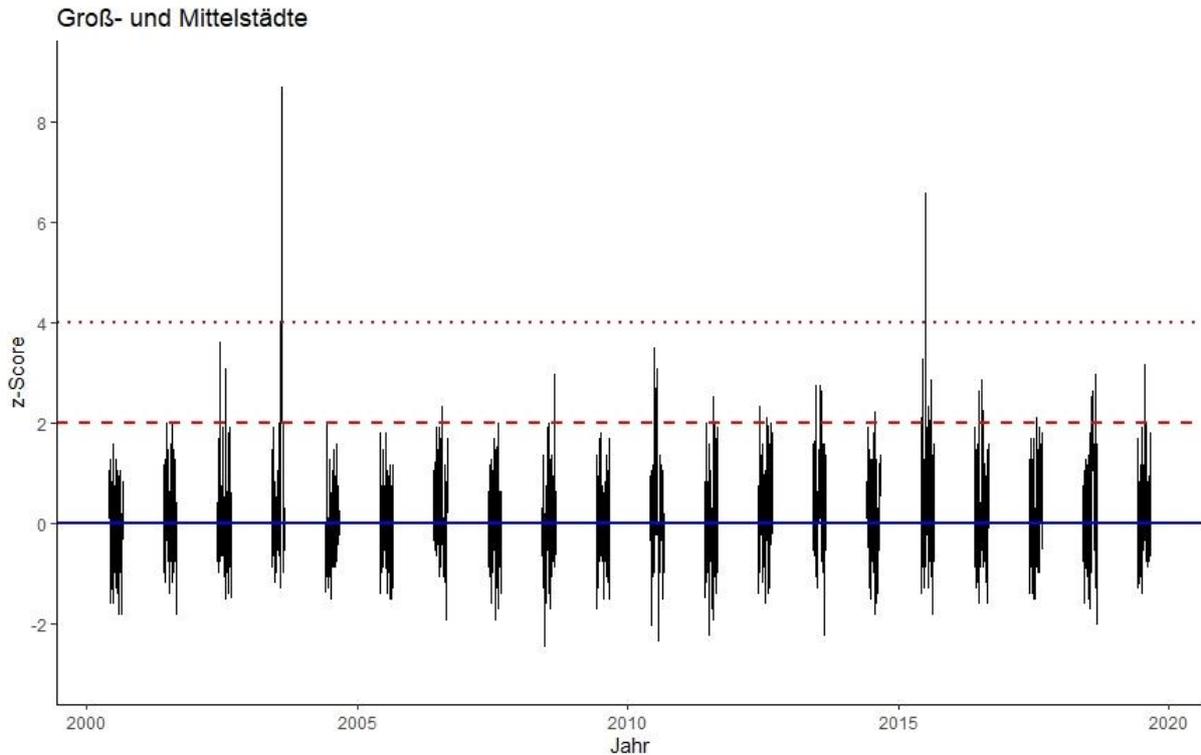


**Abbildung 11:** Sterblichkeit im Zeitraum 2000 bis 2019 in Hessen als z-Score für Großstädte (oben) und Mittelstädte (unten). Die blaue Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte rote Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete rote Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen.

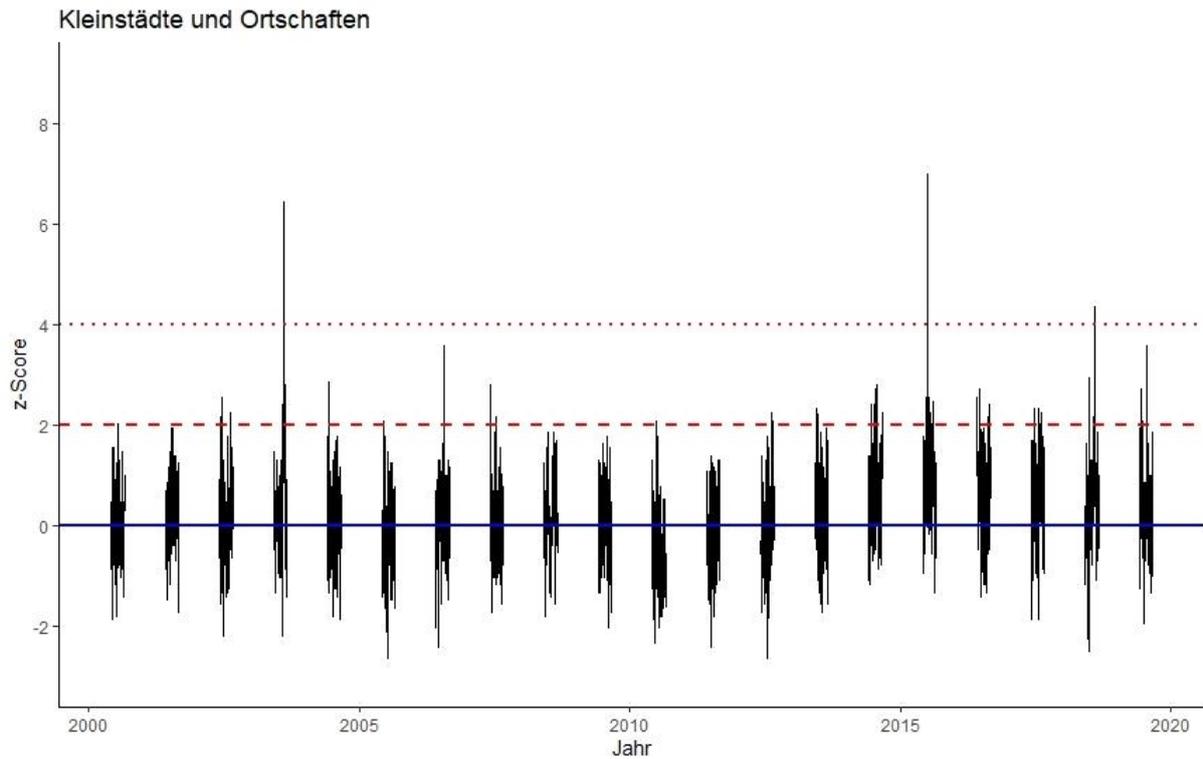


**Abbildung 12:** Sterblichkeit im Zeitraum 2000 bis 2019 in Hessen als z-Score für Kleinstädte (oben) und Ortschaften (unten). Die blaue Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte rote Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete rote Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen.

Für die Folgebetrachtung wurden aus den vier Gruppen Groß-, Mittel-, Kleinstädte und Ortschaften die zwei Gruppen Groß- und Mittelstädte (*Abbildung 13*) sowie Kleinstädte und Ortschaften (*Abbildung 14*) gebildet. Die Fokussierung auf zwei größere Gruppen soll zu einer höheren Belastbarkeit des Analyseergebnisses führen.



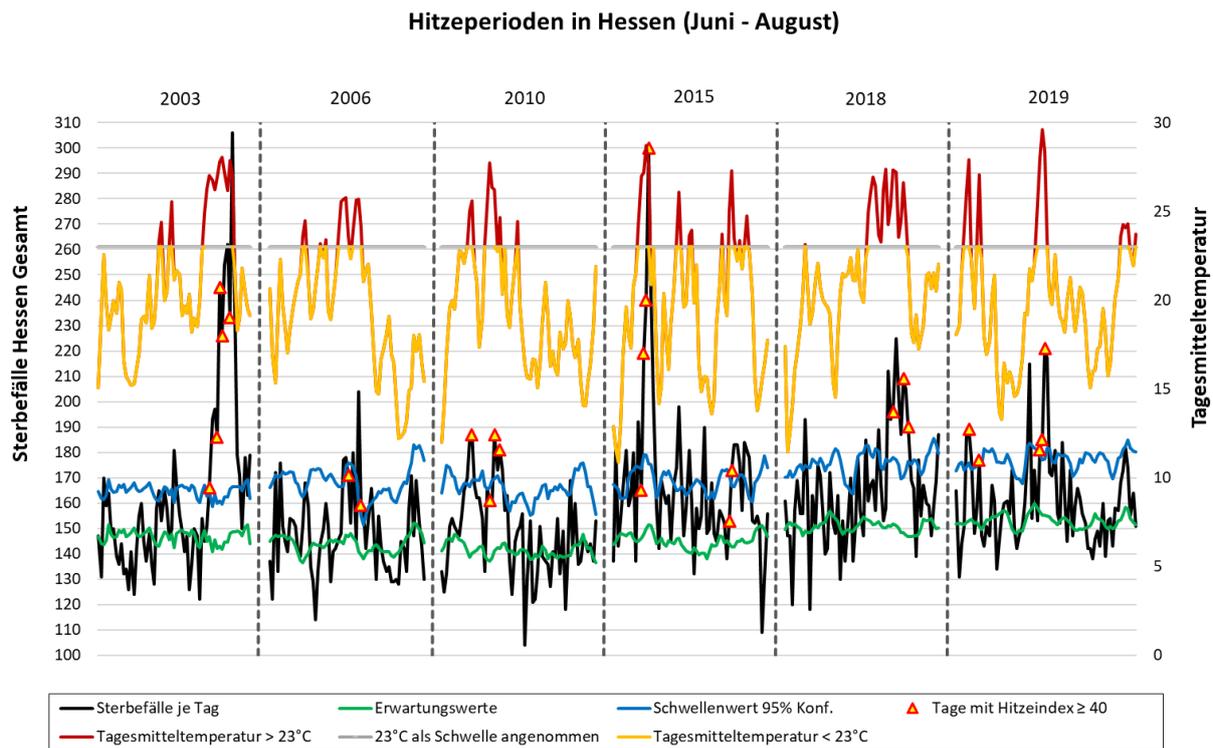
**Abbildung 13:** Sterblichkeit im Zeitraum 2000 bis 2019 in Hessen als z-Score für Großstädte und Mittelstädte. Die blaue Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte rote Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete rote Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen.



**Abbildung 14:** Sterblichkeit im Zeitraum 2000 bis 2019 in Hessen als z-Score für Kleinstädte und Ortschaften. Die blaue Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte rote Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete rote Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen.

### 3.3.6 Übersicht der Hitzeperioden ausgewählter Jahre in Hessen

Für Hessen wurden 2000 bis 2019 sechs Sommer (2003; 2006; 2010; 2015; 2018; 2019) mit insgesamt zwischen 1.500 bis 4.000 zusätzlichen Todesfällen geschätzt (*Abbildung 15*). Neben der außergewöhnlichen Hitzeperiode im Sommer des Jahres 2003 mit Sterbefallzahlen deutlich über dem Erwartungswert, kam es 2015 zu einem Hitzeereignis mit ähnlich starker Auswirkung auf die Sterblichkeit in den Sommermonaten Juni bis August. Ein moderater Exzess der Sterbezahlen ist im Jahr 2018 und schwächer ausgeprägt im Jahr 2019 zu beobachten gewesen. In den Jahren 2006 und 2010 kam es jeweils während der Sommermonate zu einem geringen Exzess bei den Sterbezahlen.



**Abbildung 15:** Sterbefälle in Hessen (Daten HSL) sowie Tagesmitteltemperatur in °C (Daten HLNUG) für ausgewählte Hitzeperioden in Hessen mit jeweiligem Zeitfenster Juni bis August. Zusätzlich aufgetragen sind Erwartungswert und Schwellenwert für das 95 % Konfidenzintervall der Sterbefälle sowie der Hitzeindex für Tage mit HI > 40 °C.

Bei der Bezeichnung Hitzewelle ist nicht eindeutig festgelegt, auf was sich bezogen wird. Es gibt verschiedene Ansätze eine Hitzewelle zu definieren. Eine Methode eine Hitzewelle zu beschreiben, ist nach dem tschechischen Meteorologen Jan Kysely benannt. Kysely definiert eine Hitzewelle als eine Serie von mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen über 30 °C, die höchstens kurz von einem Tag zwischen 25 und 30 °C unterbrochen wird und gleichzeitig eine mittlere Maximaltemperatur von mehr als 30 °C erreicht (Kysely, 2004). Ein einzelner Tag der Hitzewelle wird als Kysely-Tag bezeichnet. Bei der Methode nach Kysely wird die maximale Tagestemperatur (Tmax) zugrunde gelegt.

Um die Temperaturen in der Nacht miteinfließen zu lassen, wurde für die vorliegende Untersuchung eine weitere Definition für eine Hitzewelle herangezogen, welche eine Hitzewelle als mindestens drei Tage mit einer Tagesmitteltemperatur (24h)  $\geq 23$  °C definiert. Mit dieser Methode fließt zu einem gewissen Maße ein, ob eine Nachtabsenkung der Temperatur stattgefunden hat oder ggf. Tropennächte, bei welchen die niedrigste Lufttemperatur nicht unter 20 °C fällt, aufgetreten sind.

Mit der Betrachtung des Hitzeindex (*heat index*, HI) wird mit der relativen Luftfeuchte ein weiterer Parameter herangezogen, welcher in Verbindung mit hohen Lufttemperaturen eine Belastung für den Organismus darstellen kann.

### 3.3.7 Test-Referenzjahre (*test reference years, TRY*)

Insgesamt gibt es in Deutschland 15 TRY-Regionen, von denen vier in Hessen vorkommen. Auf TRY-7 und TRY-12 entfällt die größte Fläche Hessens. Die Regionen 6 und 10 repräsentieren kleine begrenzte Flächen (

**Abbildung 16).**

Die TRY-Region 12 (Süd) zeichnet sich durch ein im Winter gemäßigtes und im Sommer ausgeprägt warmes, von geringer Durchlüftung in den Tallagen gekennzeichnetes Klima aus. Im Gegensatz dazu wird die TRY-Region 7 (Nord) als Zone gemäßigten, in Höhenlagen kühlen Klimas mit mäßiger Durchlüftung beschrieben (BBR, 2014).

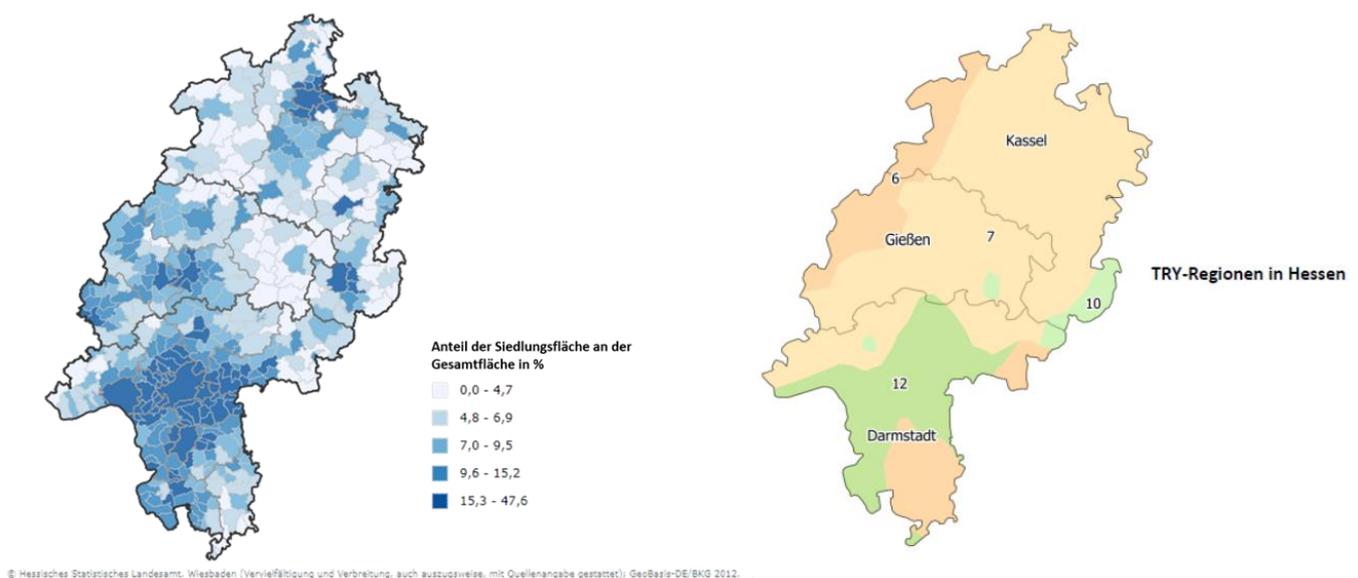
Die TRY-Regionen wurden auf der Grundlage faktor- und clusteranalytischer Verfahren unter Rückgriff auf eine Vielzahl klimatischer Parameter aus einer Referenzperiode von 1981-2007 berechnet.

Die Temperaturdaten wurden den Messreihen der Stationen aus Neukirchen (Region Nord) sowie den Stationen Frankfurt/Main Flughafen und Geisenheim (Region Süd) entnommen. Für letztere wurde der mittlere Wert der Reihen beider Stationen verwendet.

Nach HEAT II zeigt Region Nord (Neukirchen) im Sommer ein Temperaturmittel von 15,9 °C (5,7/26,4 °C Min/Max) wohingegen für Region Süd (Frankfurt/Main Flughafen und Geisenheim) ein Temperaturmittel von 19,1 °C (9,6/28,3 °C Min/Max) angegeben wird.

Neben einer Differenz bei der Temperatur der TRY-Regionen 7 und 12 zeigt sich zusätzlich ein Unterschied bei der Siedlungsfläche. Region Süd (TRY 12) zeigt einen sehr hohen Anteil von Siedlungsfläche an der Gesamtfläche in %, wohingegen auf Region Nord (TRY 7) ein deutlich geringerer Anteil der Gesamtfläche auf Siedlungsfläche entfällt (

**Abbildung 16).**



**Abbildung 16:** Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche in Hessen in Prozent (links) [HSL] und TRY-Regionen in Hessen (rechts) [HEAT II].



### **3.3.8 z-Score Analysen für die Sommermonate einzelner ausgewählter Jahre mit ausgeprägten Hitzeperioden**

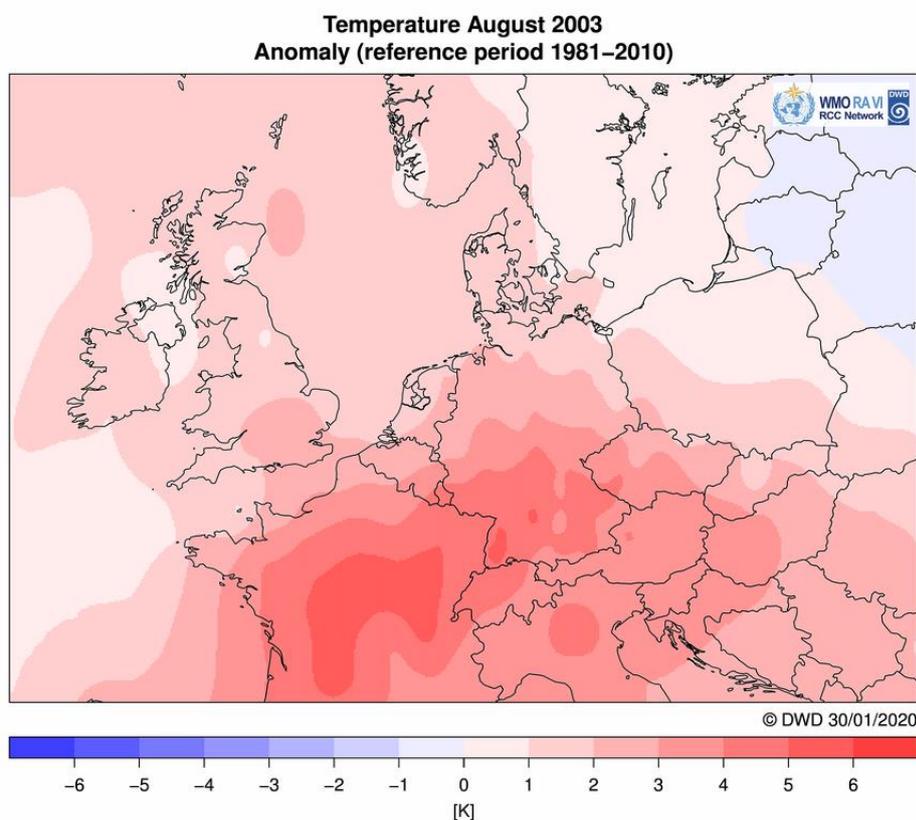
Für die folgenden z-Score Analysen der Sterbefälle, in den Sommermonaten der sechs ausgewählten Jahre (2003; 2006; 2010; 2015; 2018; 2019) mit ausgeprägten Hitzeperioden in Hessen, ist sowohl eine Analyse der Gesamtdaten als auch eine Gruppierung der Sterbedaten vorgenommen worden. Hitzeperioden nach 2019 werden hier nicht einbezogen, da Überlagerungen mit einer Corona-bedingten Verschiebung der Mortalität möglich sind. Zum einen wurden die Sterbefälle für Gesamthessen betrachtet und mit der Lufttemperatur- und relativen Luftfeuchte für Gesamthessen (Tage mit Tagesmitteltemperatur (24h)  $\geq 23$  °C als rote Dreiecke und für Hitzeindex gelbe Dreiecke mit rotem Rand) in Verbindung gebracht. Des Weiteren wurden die beiden Gruppen Groß- und Mittelstädte sowie Kleinstädte und Ortschaften gebildet. Für die beiden Gruppen wurden jeweils die Tage in Gesamthessen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C als rote Dreiecke hervorgehoben. Die Tage, an denen ein Hitzeindex von 40 überschritten worden ist, wurden mit gelben Dreiecken und rotem Rand hervorgehoben. Hier wurden allerdings für die Berechnung des HI Nord (TRY 7) die Daten der Referenzwetterstation Neukirchen und für HI Süd (TRY 12) die Daten der Stationen Frankfurt/Main Flughafen und Geisenheim herangezogen. Hitzewellen mit der Definition mindesten drei Tage in Serie mit einer Tagesmitteltemperatur (24h)  $\geq 23$  °C wurden mit einem roten Pfeil gekennzeichnet, wohingegen Hitzewellen nach Kysely mit einem blauen Pfeil gekennzeichnet wurden.

Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen regionalen Verteilung der Hitzeereignisse ist jeweils für den Monat eines Jahres mit ausgeprägten Hitzeperioden eine Karte von Mitteleuropa mit der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 bis 2010 in Zentral-Europa beigelegt worden.

## 2003

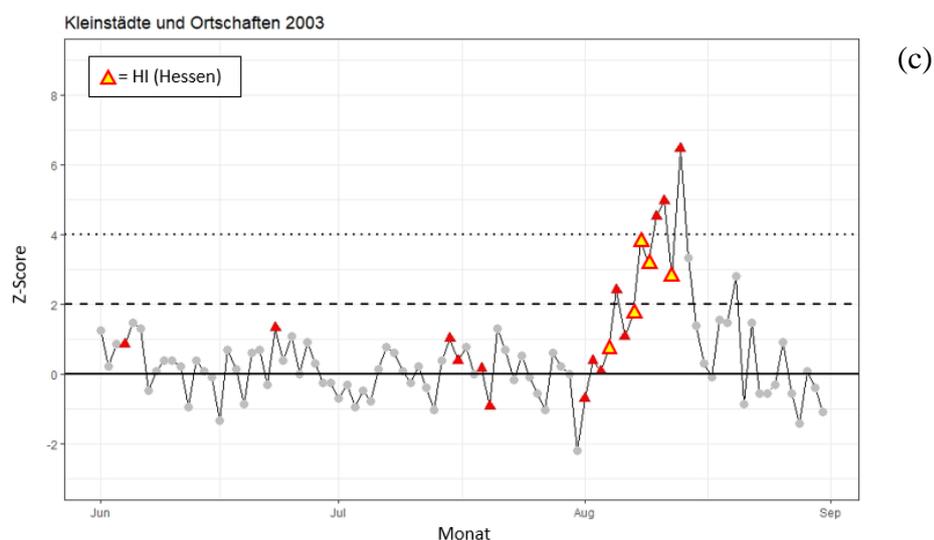
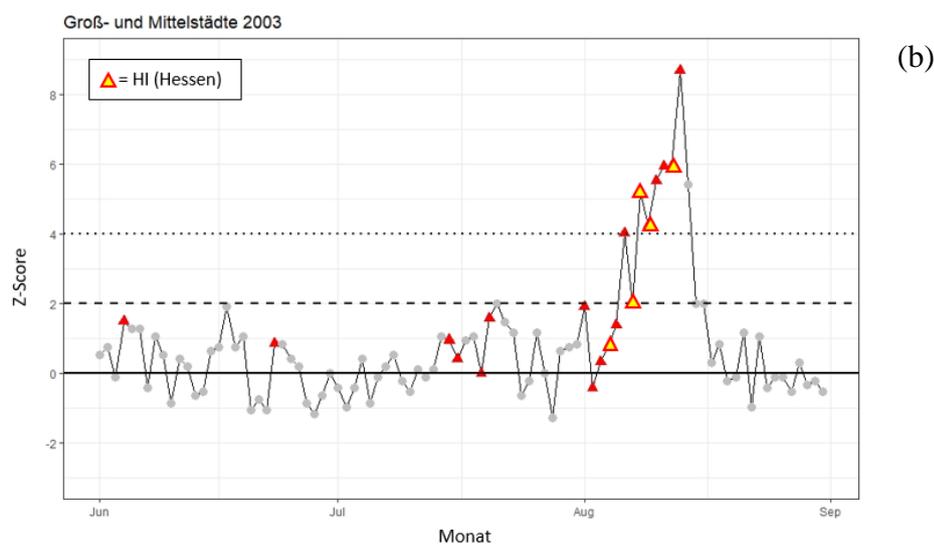
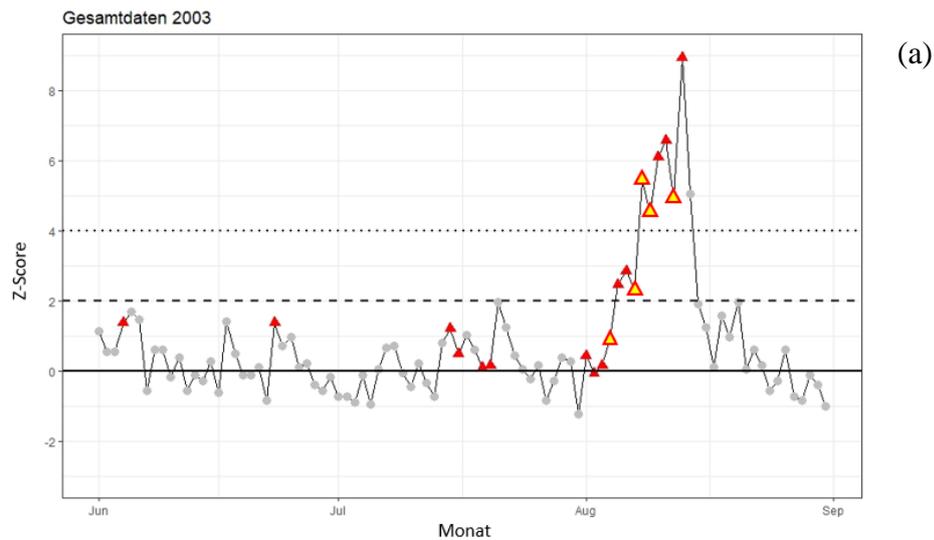
Im Sommer 2003 war eine hohe Exzess Sterblichkeit zu beobachten. Im Monat August kam es zu einer langanhaltenden Hitzeperiode mit einer durchgehenden Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C. Der Schwerpunkt dieser Hitzeperiode lag im Süden Europas und im Süd-Westen (Frankreich) (*Abbildung 17*). Zeitgleich stieg die Sterblichkeit von einem normalen erwarteten Niveau in der ersten August Woche zu einer hohen Exzess-Sterblichkeit in der zweiten Woche des gleichen Monats. Mit sinkender Tagesmitteltemperaturen zu Beginn der zweiten Monatshälfte fiel die Exzess-Sterblichkeit binnen zwei Tage wieder auf das Niveau einer natürlichen Schwankung um den Erwartungswert der vorhergehenden fünf Jahre. An fünf der 12 Hitzetage der kompakten Welle vom 02. bis 13. August wurde in Hessen der Hitzeindex von 40 überschritten (*Abbildung 18*).

An Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C wurde in Hessen eine Übersterblichkeit im Bereich von 550 bis 920 Todesfällen beobachtet. Der überwiegende Anteil mit 550 bis 850 Exzess-Todesfällen ereignete sich während der 12 Tage anhaltenden Hitzewelle im August.

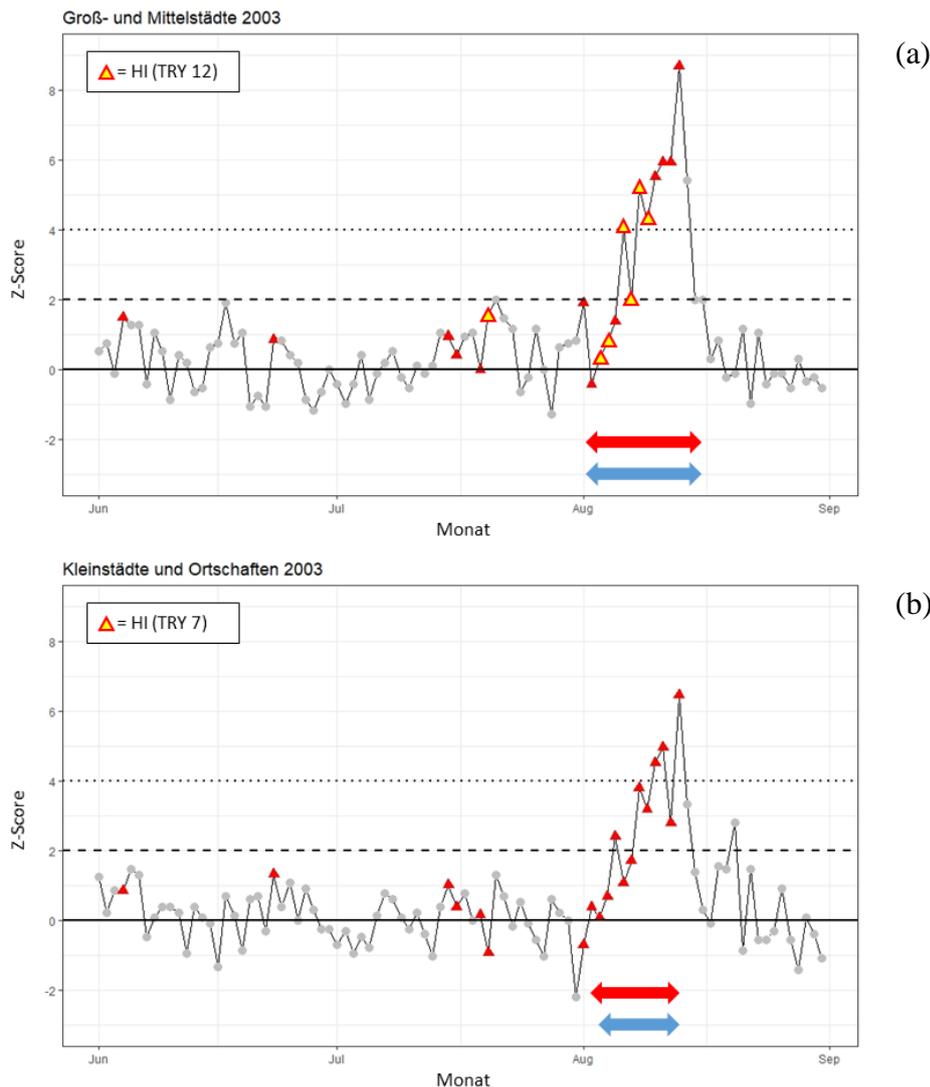


**Abbildung 17:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2003 für den Monat August im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.

Der Schwerpunkt der Hitzewelle lag im August des Jahres 2003 im Süden und Südwesten (vergl. *Abbildung 17*). Die Auswirkungen waren daher insbesondere im Süden Hessens, einschließlich dem dicht besiedelten Rhein-Main-Gebiet spürbar. Die Region 12 der Test-Referenzjahre (TRY, *test reference years*) wurde von der Hitzewelle getroffen (vergl. *Abbildung 19 a*).



**Abbildung 18:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2003 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



**Abbildung 19:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2003 in Groß- und Mittelstädten (a) sowie Kleinstädten und Ortschaften (b) in Hessen, mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind (a) auf Grundlage der max. Temperatur der Referenzmessstationen Süd (TRY 12) und bei (b) auf Grundlage der Referenzmessstation Nord (TRY 7) als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Hitzewellen mit einer Serie von mindestens drei Tagen Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Pfeile eingezeichnet, Hitzewellen nach Kysely ( $\bar{\varnothing}$  Tmax  $\geq 30$  °C) als blaue Pfeile.

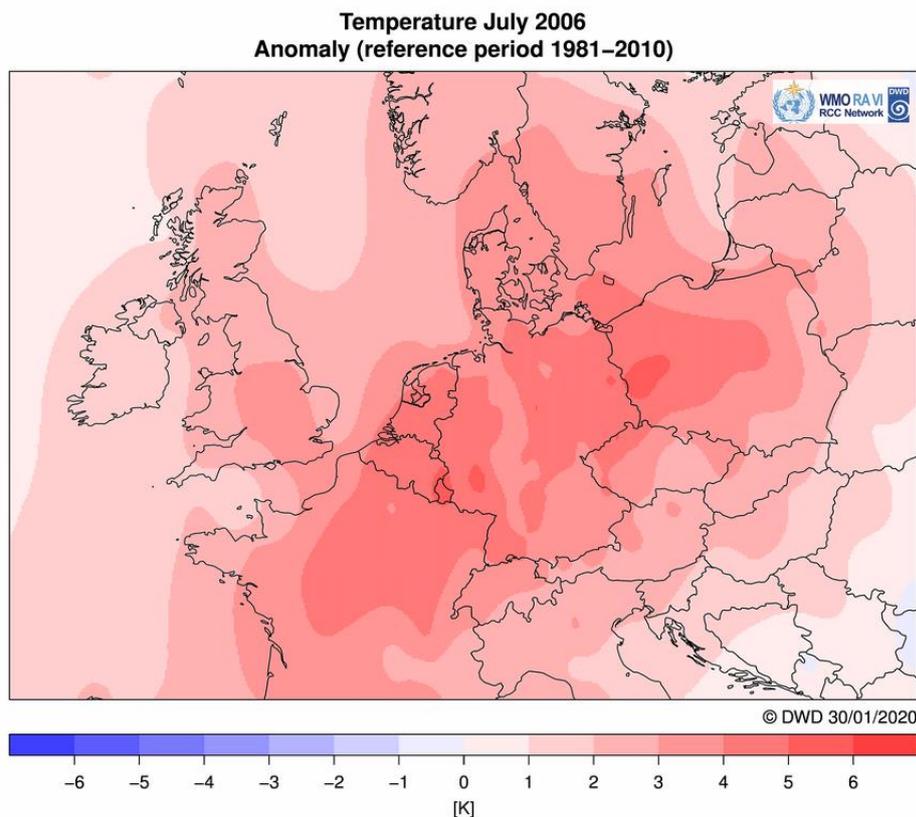
Im August des Jahres 2003 ist der Süden Hessens von einer 14 Tage anhaltenden Hitzewelle getroffen worden (vergl. **Abbildung 19 a**). Diese Hitzewelle erstreckte sich vom 01. bis zum 14. August, dabei betrug die Lufttemperatur jedes einzelnen Tages für sich betrachtet (über 24h) im Mittel mindestens 23 °C. Die Hitzewelle in ihrer Gesamtheit zeichnete sich mit einer Lufttemperatur im Mittel von 27,8 °C aus. Die ersten 14 Tage des Monats August erfüllten ebenfalls das Kriterium einer Hitzewelle nach Kysely. Die Maximaltemperatur betrug an jedem einzelnen Tag der Hitzewelle über 30 °C und über den gesamten Zeitraum der Hitzewelle betrug Tmax im Mittel 35,6 °C. Es wurde an sieben Tagen ein Hitzeindex von 40 überschritten, von denen sechs Tage auf die zuvor beschriebene Hitzewelle entfielen.

Die Situation im Norden von Hessen stellte sich etwas abweichend zum stärker von der Hitze betroffenen Süden dar. Im Norden wurde lediglich für zwölf Tage (02. bis 13. August) eine

Tagesmitteltemperatur von 23 °C erreicht bzw. überschritten (vergl. **Abbildung 19 b**). Im Mittel betrug die Lufttemperatur dieser Hitzewelle über die genannten zwölf Tage 26 °C. Es wurde dabei an elf Tagen das Kriterium von Kysely erfüllt (03. bis 13. August), mit Tmax im Mittel von 32,3 °C. In der Region Nord wurde im August 2003 an keinem Tag ein Hitzeindex von 40 überschritten.

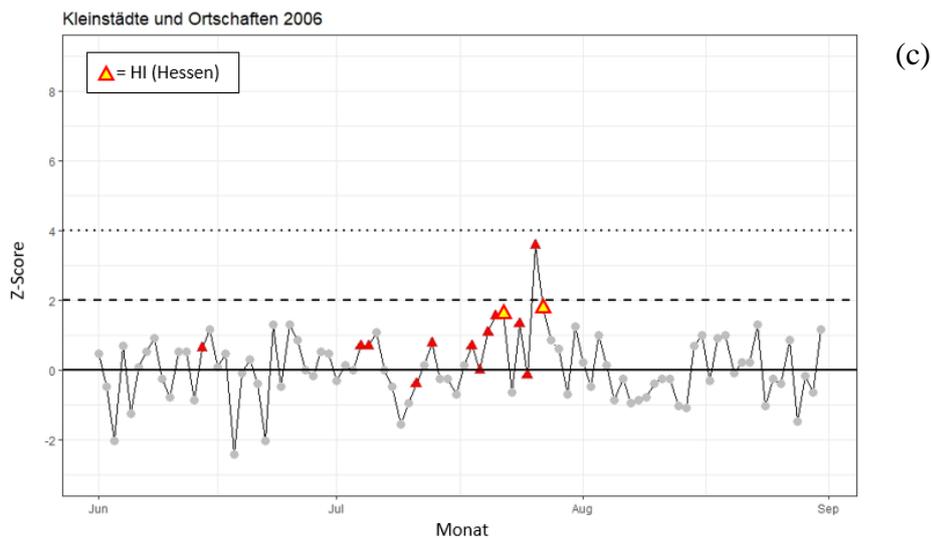
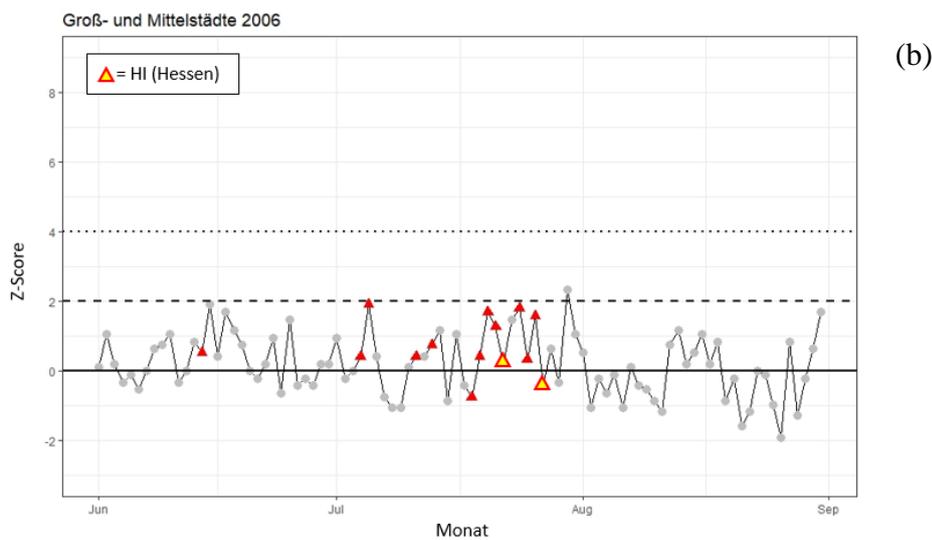
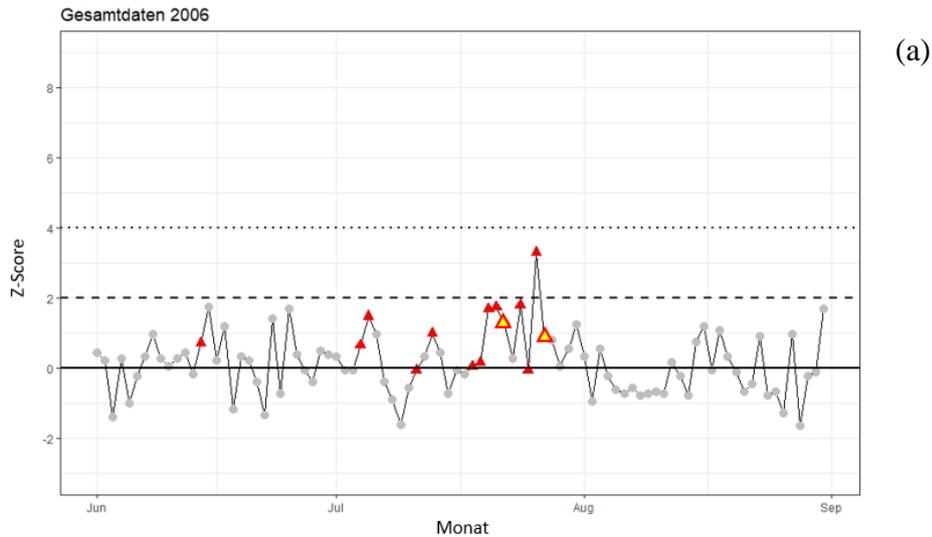
## 2006

Im Jahr 2006 war in Hessen eine niedrige Exzess Sterblichkeit im Monat Juli zu beobachten. Im Zeitraum Juni bis August waren ähnlich viele Tage mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C aufgetreten wie im Jahr 2003, diese wurden allerdings immer wieder durch Tage mit niedrigeren Temperaturen unterbrochen (**Abbildung 21**). Bezogen auf die gemittelte Lufttemperatur für Gesamthessen war die längste Periode fünf Tage in Folge mit einer Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C. Im Monat Juli war hessenweit an zwei nicht aufeinander folgenden Tagen ein Hitzeindex von 40 überschritten worden. An Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C wurde eine Übersterblichkeit von 50 bis 270 verzeichnet. Auf zwei kompakte Hitzewellen, welche fünf und vier Tage andauerten, entfielen jeweils 10 bis 90 sowie 40 bis 110 Exzess-Todesfälle.

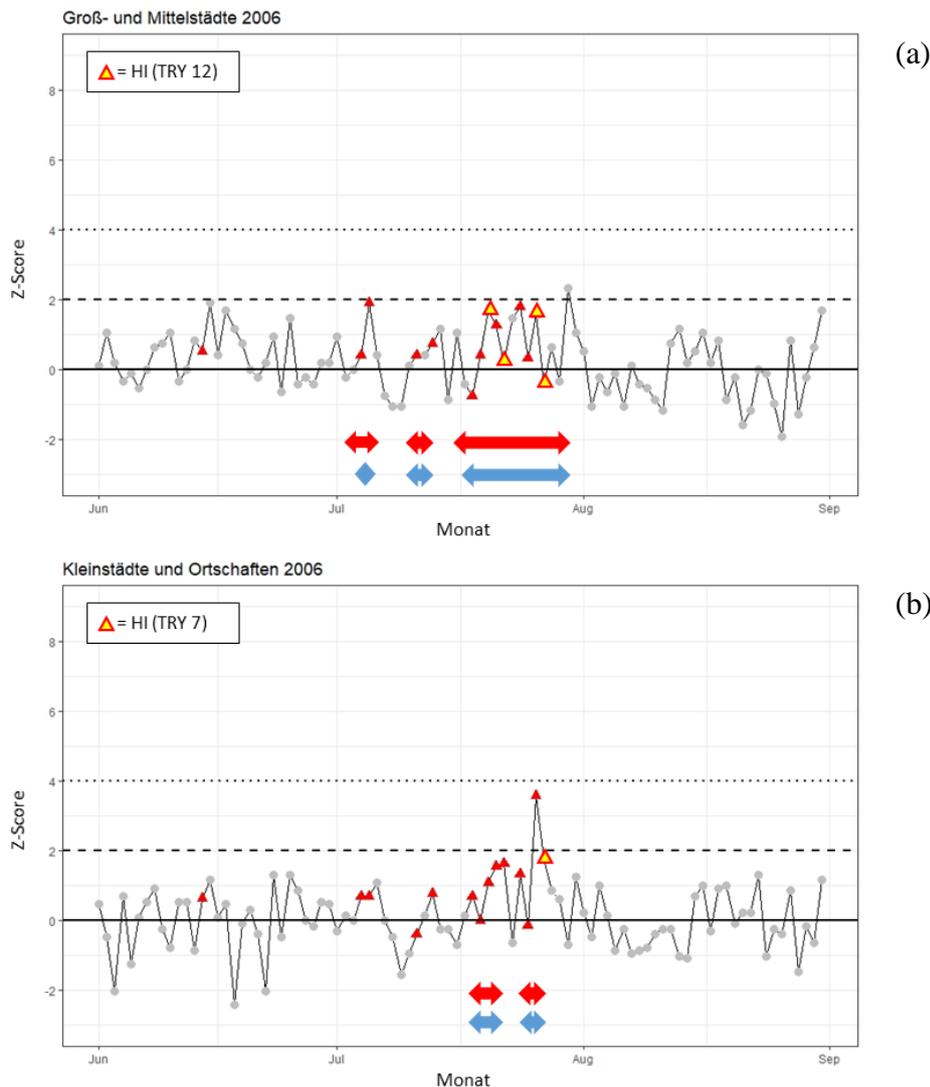


**Abbildung 20:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2006 für den Monat Juli im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.

Im Jahr 2006 lag der Schwerpunkt der Hitzewelle im Juli eher im Nordosten sowie im Westen Deutschlands (**Abbildung 20**). Das Rhein-Main-Gebiet war kaum beteiligt, eher Gebiete im Westen und Osten nahe der Landesgrenze von Hessen. In der TRY-Region 7 (Nord) war ein geringer Exzess bei den Sterbefällen an lediglich einem Tag im Juli deutlich zu erkennen. Die TRY-Region 12 (Süd) (**Abbildung 22 a**) verzeichnete zwar mehr Hitzeindex Tage, aber einen deutlich geringeren Exzess der Sterbefälle im Vergleich zur Region Nord (**Abbildung 22 b**).



**Abbildung 21:** Sterblichkeit von Juni bis August für das Jahr 2006 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



**Abbildung 22:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2006 in Groß- und Mittelstädten sowie Kleinstädten und Ortschaften in Hessen, mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind (a) auf Grundlage der max. Temperatur der Referenzmessstationen Süd (TRY 12) und bei (b) auf Grundlage der Referenzmessstation Nord (TRY 7) als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Hitzewellen mit einer Serie von mindestens drei Tagen Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Pfeile eingezeichnet, Hitzewellen nach Kysely ( $\varnothing$  Tmax  $\geq 30$  °C) als blaue Pfeile.

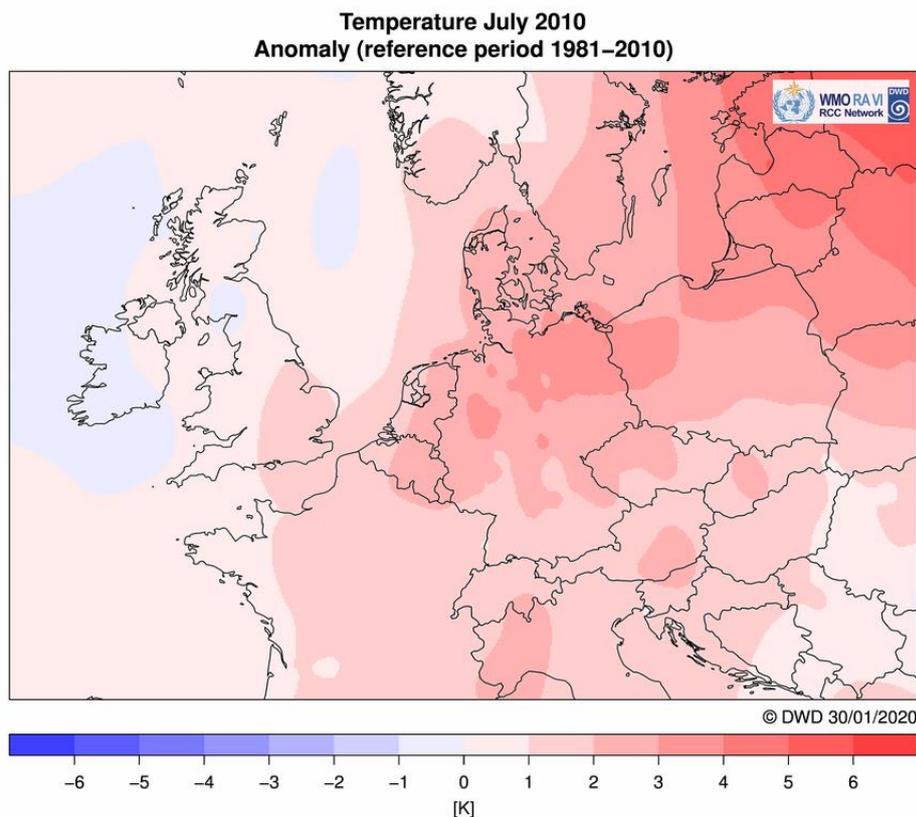
Im Juli des Jahres 2006 ist der Süden Hessens mit dem Rhein-Main-Gebiet von einer länger anhaltenden Hitzewelle getroffen worden (*Abbildung 22 a*). Die längste Periode mit Tagesmitteltemperaturen (24h) von mindestens 23 °C erstreckte sich vom 16. bis 30. Juli über 15 Tage mit 25,4 °C im Mittel. In diesem Zeitraum wurden an 14 Tagen (17. bis 30. Juli) Temperaturhöchstwerte von 30 °C überschritten mit einem Mittelwert von 33 °C für Tmax, welches 14 Kysely-Tagen entspricht. Am 28. Juli gab es eine Abkühlung bei einem Kysely-Tag von Tmax auf 28,9 °C, die Tagesmitteltemperatur (24h) betrug für diesen Tag 23,4 °C. Kysely Hitzewellen dürften per Definition durch einzelne kühlere Tage mit Maximaltemperatur von mindestens 25 °C unterbrochen sein. Zuvor gab es mit Unterbrechung durch kühlere Tage zwei weitere kürzere Hitzewellen vom 02. bis 06. Juli mit Tagesmitteltemperatur (24h) im Mittel von 24,5 °C und im Zeitraum vom 03. bis 05. Juli drei Kysely Tage mit 31,9 °C im Mittel der erreichten Höchsttemperaturen sowie eine zweite Hitzewelle vom 10. bis 13. Juli mit

Tagesmitteltemperatur (24h) im Mittel von 24,7 °C und vier Kysely-Tagen mit Tmax von 31,1 °C im Mittel. An vier Tagen wurde ein Hitzeindex von 40 überschritten, wovon alle vier Tage auf die länger anhaltende Hitzewelle zwischen 16. und 30. Juli entfielen.

Region Nord wurde von zwei kurzen Hitzewellen getroffen (*Abbildung 22 b*). Die längste Hitzewelle erstreckte sich über fünf Tage vom 18. bis 22. Juli mit Tagesmitteltemperatur (24h) im Mittel von 24,2 °C. Diese fünf Tage waren zugleich ebenfalls Kysely-Tage mit Tmax im Mittel von 31,4 °C. Die zweite Hitzewelle erstreckte sich lediglich über drei Tage vom 25. bis 27. Juli mit Tagesmitteltemperatur (24h) im Mittel von 24,1 °C und drei Kysely-Tagen mit Tmax im Mittel von 31,7 °C. Im Zuge der zweiten kürzeren Hitzewelle von drei Tagen ist ein geringer Exzess in der Sterblichkeit von Kleinstädten und Ortschaften zu verzeichnen gewesen. Auf besagte kurze Hitzewelle entfiel der einzige Tag mit Hitzeindex größer 40 für die Region Nord.

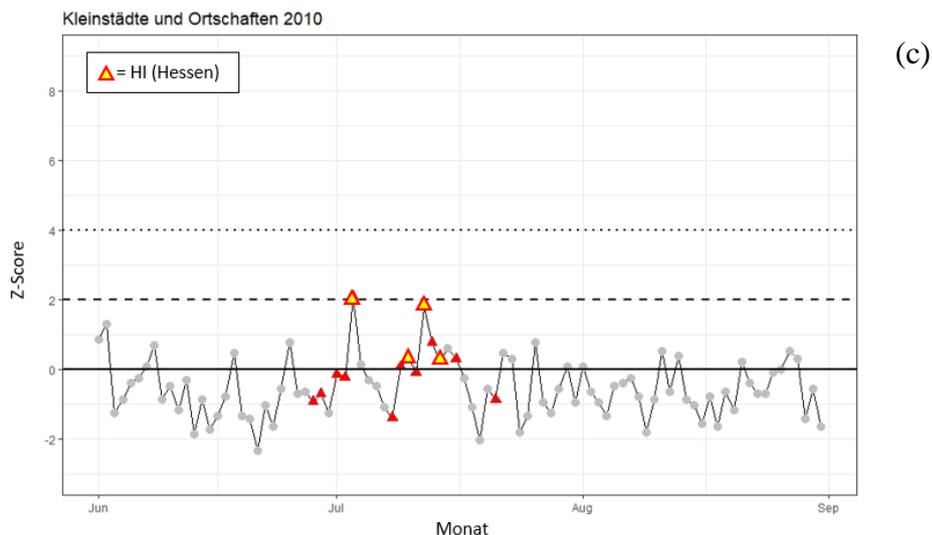
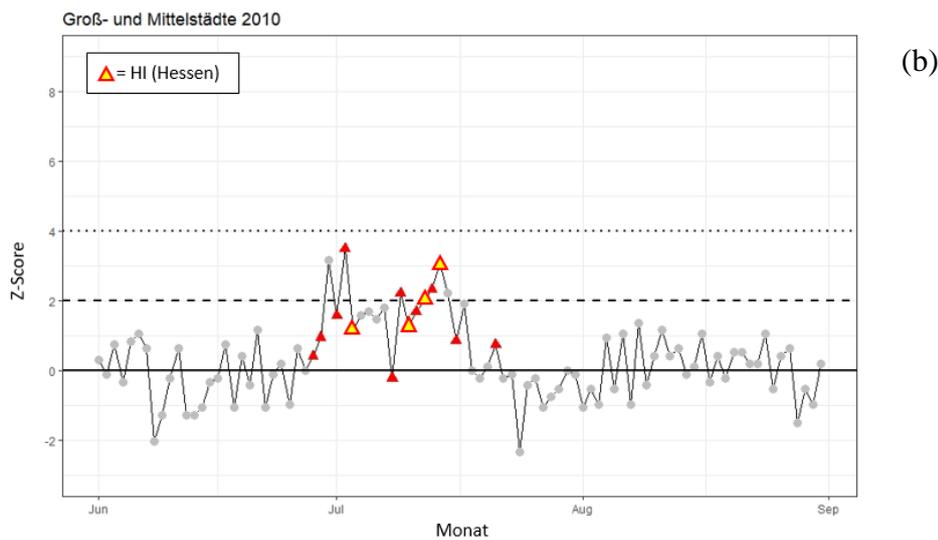
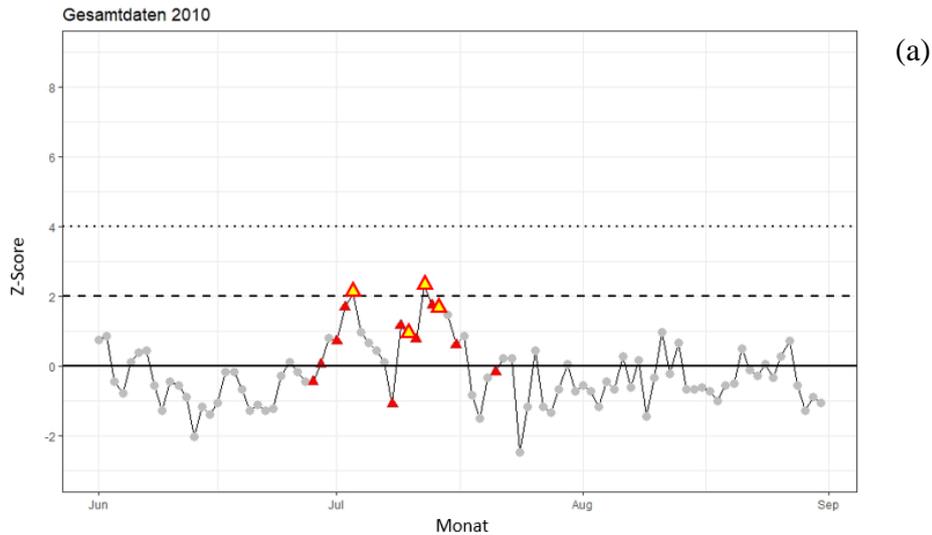
## 2010

Im Jahr 2010 kam es zu 14 Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C. Diese Tage wurden wiederholt von kühleren Tagen unterbrochen. Bei der Betrachtung der Gesamtdaten stieg an zwei getrennten Tagen im Juli die Mortalität auf ein niedriges Exzess-Niveau, bei welchem ein z-Score von 2 leicht überschritten wurde (*Abbildung 24*). Bei der Gruppe Kleinstädte und Ortschaften wurde ein niedriges Exzess-Niveau lediglich an einem Tag erreicht. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei der Gruppe der Groß- und Mittelstädte, dass ein niedriges Exzess-Niveau an fünf Tagen erreicht wurde. An zwei von fünf Tagen ist ein niedriges Exzess-Niveau deutlich sichtbar mit einem z-Score größer 3. An Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C wurde eine Übersterblichkeit von 50 bis 250 beobachtet. Während einer drei und einer fünf Tage anhaltenden Hitzewelle sind 25 bis 100 und 15 bis 100 Exzess-Todesfälle zu verzeichnen gewesen.

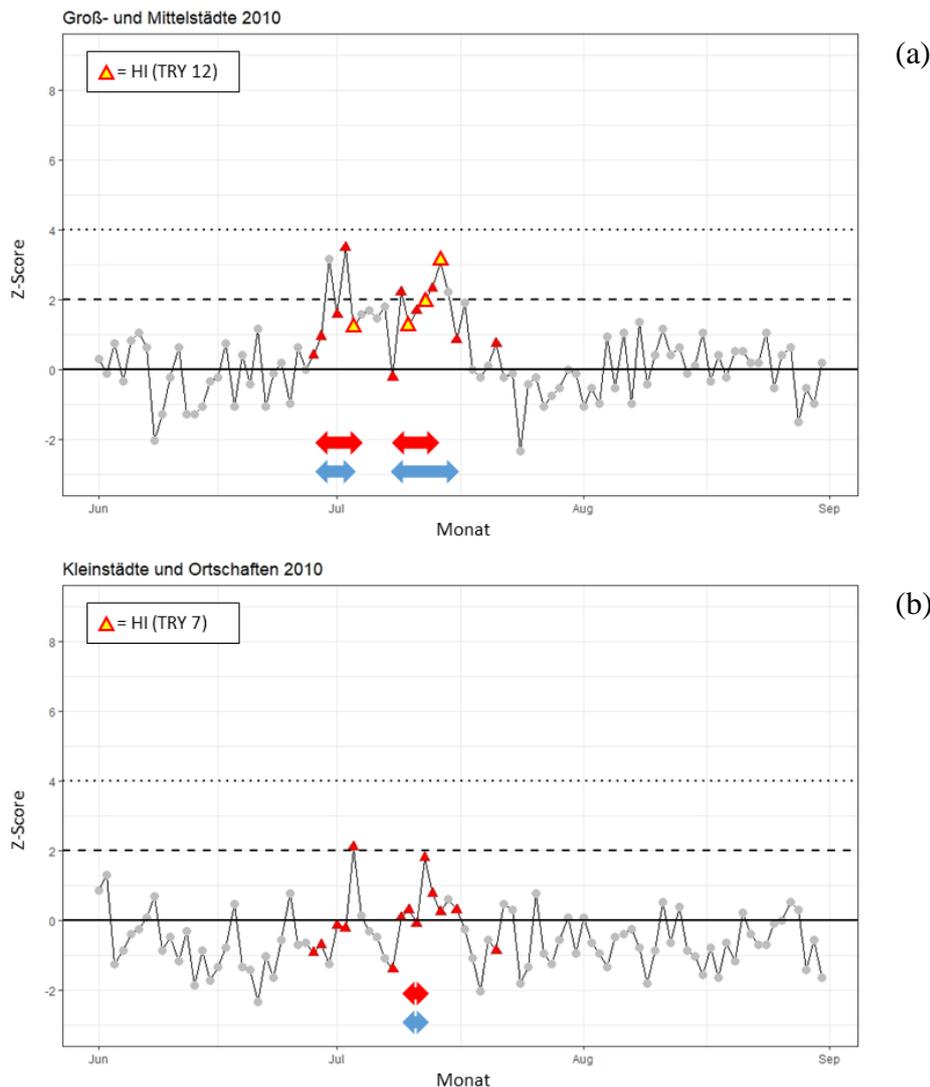


**Abbildung 23:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2010 für den Monat Juli im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.

Im Monat Juli hatte eine Hitzeperiode ihren Schwerpunkt in Brandenburg, im Nordosten von Deutschland (*Abbildung 23*). Region Süd (TRY 12) mit dem Rhein-Main-Gebiet ist im Juli 2010 nicht direkt getroffen worden (*Abbildung 25 a*). Region Nord (TRY 7) war ebenso nicht stark durch Hitze betroffen (*Abbildung 25 b*).



**Abbildung 24:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2010 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



**Abbildung 25:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2010 in Groß- und Mittelstädten sowie Kleinstädten und Ortschaften in Hessen, mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind (a) auf Grundlage der max. Temperatur der Referenzmessstationen Süd (TRY 12) und bei (b) auf Grundlage der Referenzmessstation Nord (TRY 7) als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Hitzewellen mit einer Serie von mindestens drei Tagen Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Pfeile eingezeichnet, Hitzewellen nach Kysely ( $\bar{\varnothing}$  Tmax  $\geq 30$  °C) als blaue Pfeile.

Im Jahr 2010 war der Juli der am stärksten durch Hitze betroffene Monat. Zum Ende des Monats Juni stellte sich die erste Hitzewelle in der Region Süd ein, welche sieben Tage vom 28. Juni bis 04. Juli, eine Tagesmitteltemperatur (24h) von mindestens 23 °C aufwies und in den Monat Juli andauerte (**Abbildung 25 a**). Diese Hitzewelle hatte im Mittel eine Lufttemperatur von 24,4 °C mit sechs beinhaltenden Kysely-Tagen vom 28. Juni bis 03. Juli, welche im Mittel eine Tageshöchsttemperatur (Tmax) von 32 °C aufwiesen. Nach drei kühleren Tagen stellte sich die zweite Hitzewelle der Region Süd am 08. Juli ein, welche sieben Tage eine Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C hatte und im Mittel 25,6 °C aufwies. Zeitgleich wurden Kysely-Tage vom 08. bis 16. Juli mit Tmax im Mittel von 32,4 °C verzeichnet, wobei es am 15. Juli zu einer Abkühlung auf 21,4 °C Tagesmitteltemperatur (24h) und 26,1 °C Tmax gekommen ist. Am 16. Juli ist dann wiederum die Tagesmitteltemperatur (24h) auf 23,4 °C und Tmax auf 31,7 °C gestiegen. Kysely Hitzewellen dürften per Definition durch einzelne kühlere Tage mit Maximaltemperatur von mindestens 25 °C unterbrochen sein. Während der beiden

Hitzewellen im Monat Juli des Jahres 2010 wurde in der Region Süd jeweils ein geringer Exzess der Sterbefälle beobachtet. Von den vier Tagen, an denen in der Region Süd der Hitzeindex von 40 überschritten wurde, entfiel ein Tag auf die Hitzewelle zu Beginn des Monats Juli und drei Tage auf die zweite Hitzewelle in der Monatsmitte.

Region Nord wurde von einer kurzen Hitzewelle getroffen (*Abbildung 25 b*). Die Hitzewelle erstreckte sich über vier Tage vom 09. bis 12. Juli mit einer Tagesmitteltemperatur (24h) im Mittel von 25,3 °C. Diese vier Tage waren zugleich ebenfalls Kysely-Tage mit Tmax im Mittel von 31,2 °C. In der Region Nord wurde mit dem 03. Juli nur an einem einzigen Tag die Grenze zu einem geringen Exzess der Sterbefälle überschritten. Dieser Tag fiel in keine Hitzewelle, hatte allerdings eine Tagesmitteltemperatur (24h) im Mittel von 25,3 °C und eine Tageshöchsttemperatur von 31,7 °C. In der Region Nord war im Monat Juli des Jahres 2010 kein Tag zu verzeichnen, an dem der Hitzeindex 40 überschritten hat.

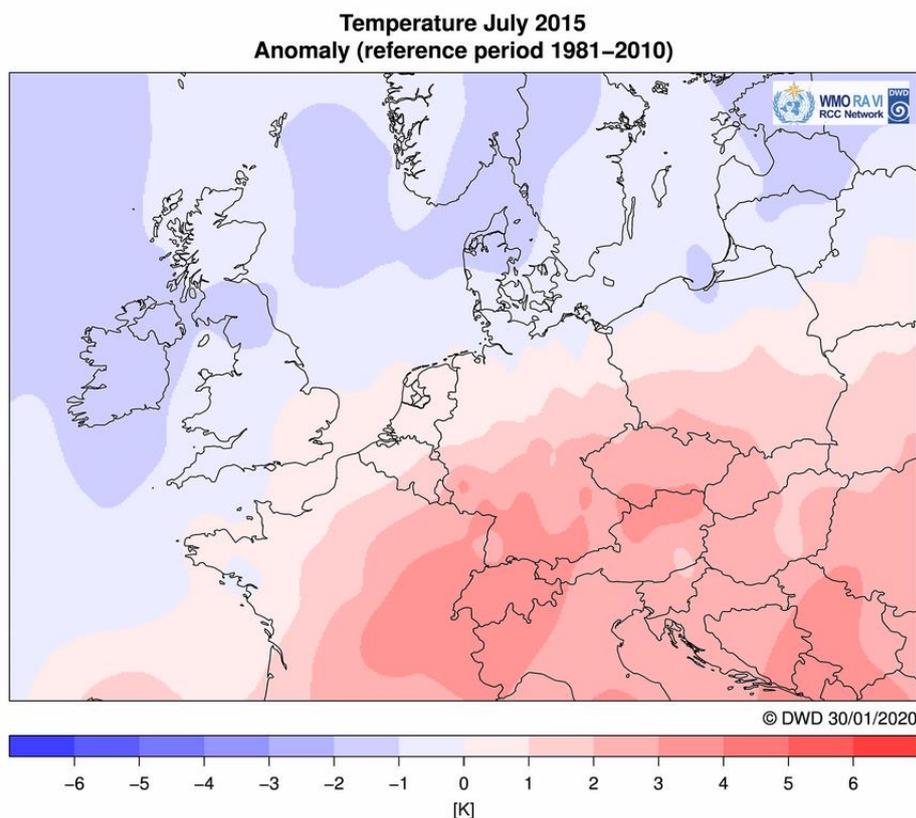
## 2015

Im Jahr 2015 (*Abbildung 27*) sind 22 Tage mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C aufgetreten, von denen allerdings maximal fünf Tage zusammenhängend aufgetreten waren. Trotzdem wurde im Zuge dieser fünf zusammenhängenden Tage mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C ein hohes Exzess-Niveau im Monat Juli erreicht. Im gleichen Monat wurde mehrfach die Grenze zu einem geringen Exzess der Sterbefälle überschritten. Dies geschah ebenso wie im Monat Juni an einzelnen, nicht aufeinanderfolgenden Tagen. Im Monat August gab es vereinzelt zusammenhängende Tage (maximal zwei bis drei Tage in Folge), an denen ein geringer Exzess der Sterbefälle verzeichnet wurde.

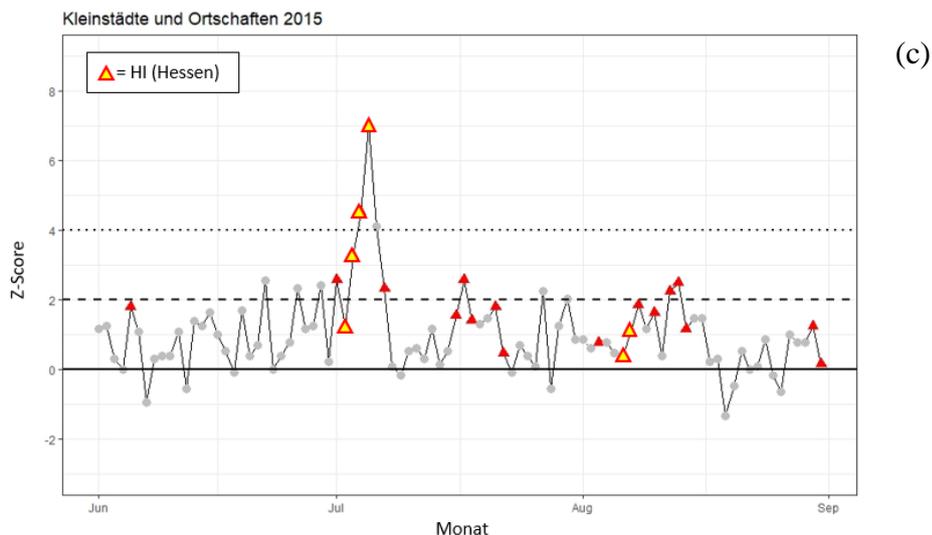
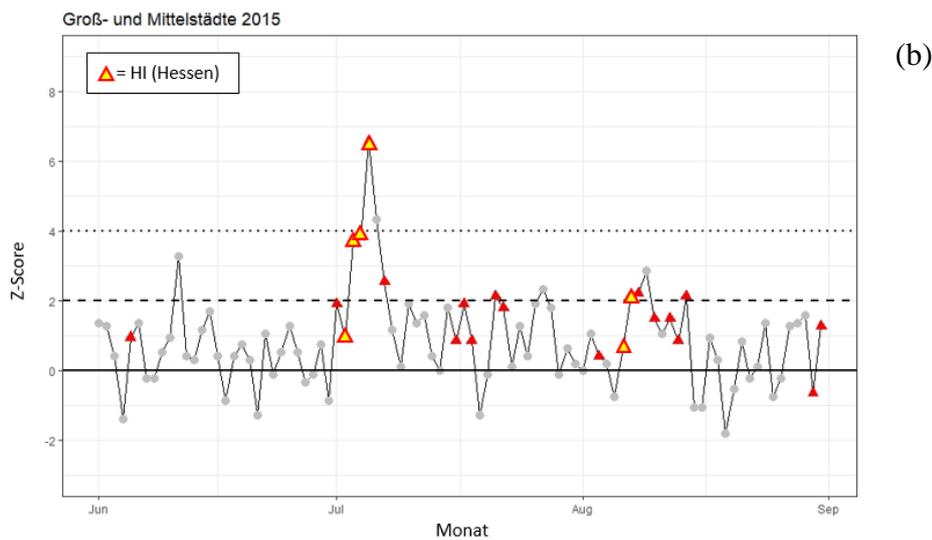
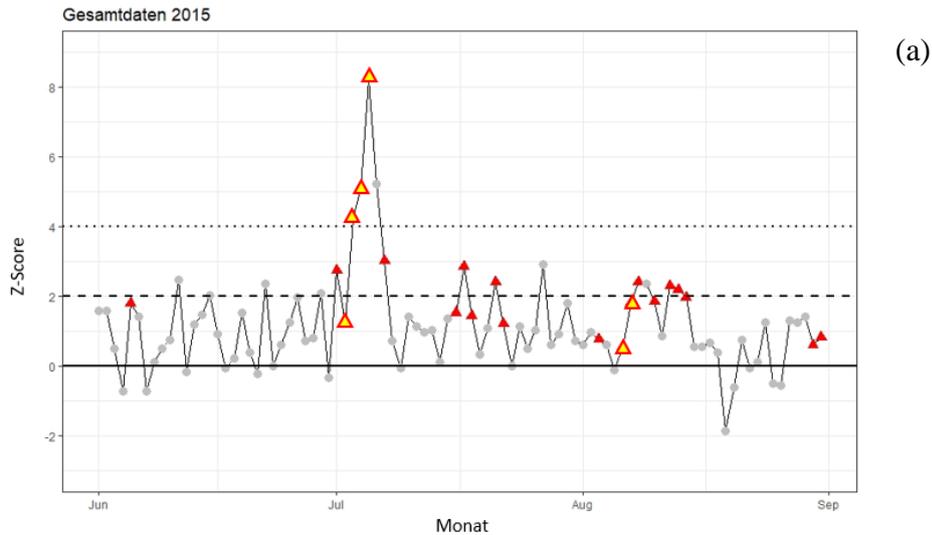
Bei Groß- und Mittelstädten wurde im Juni an einem einzelnen Tag ein geringer Exzess der Sterbefälle verzeichnet, der bei den Kleinstädten und Ortschaften nicht zu sehen war. An diesem Tag wurde weder eine Tagesmitteltemperatur von  $\geq 23$  °C noch eine Tageshöchsttemperatur von über 30 °C erreicht.

Im Monat Juli wurde bei beiden Besiedlungsdichte-Kategorien eine deutliche Übersterblichkeit beobachtet. Es trat eine stärkere Hitzebelastung des Rhein-Main-Gebietes sowie mehr und länger anhaltender Hitzewellen der TRY-Region 12 im Süden Hessens (*Abbildung 26*) auf.

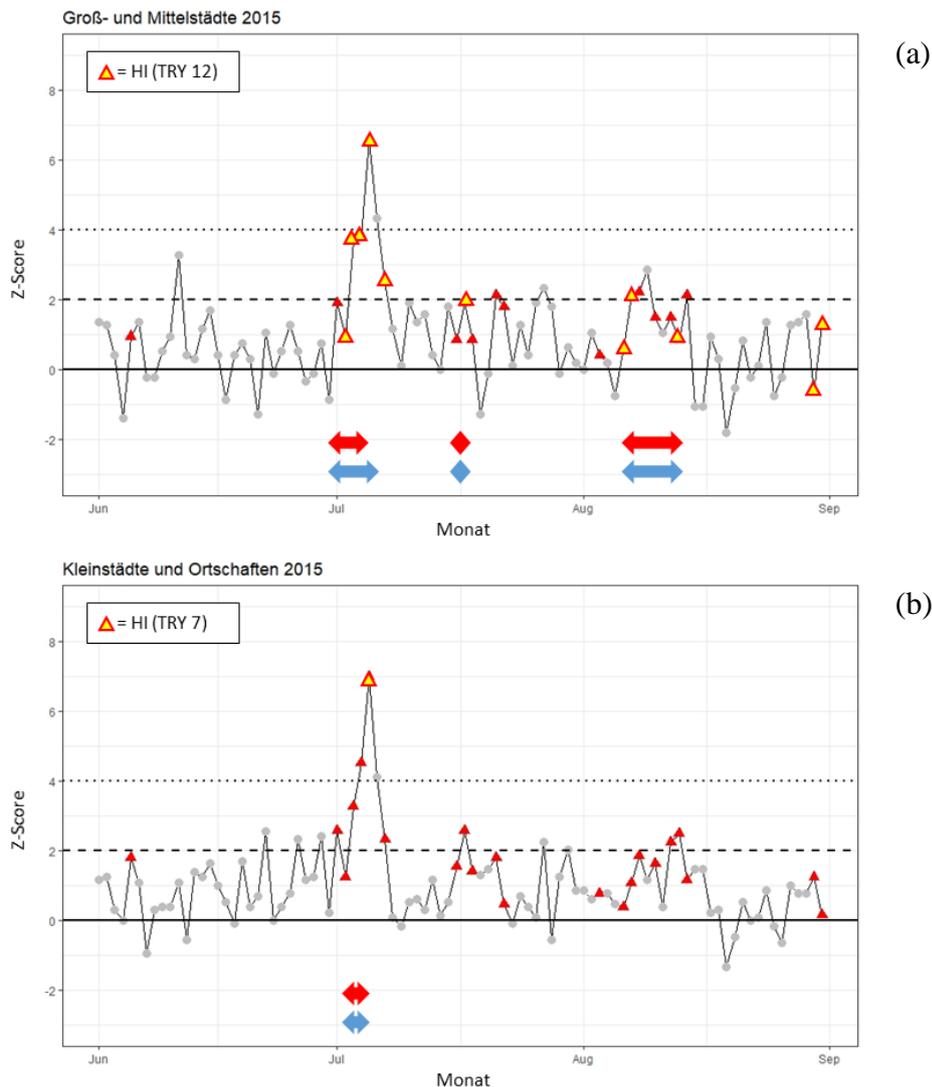
An Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C wurde eine Übersterblichkeit von 260 bis 690 beobachtet. Auf zwei kurze Hitzewellen von fünf und drei Tagen verteilten sich jeweils 240 bis 370 sowie 10 bis 70 Exzess-Todesfälle.



**Abbildung 26:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2015 für den Monat Juli im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.



**Abbildung 27:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2010 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



**Abbildung 28:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2015 in Groß- und Mittelstädten sowie Kleinstädten und Ortschaften in Hessen, mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind (a) auf Grundlage der max. Temperatur der Referenzmessstationen Süd (TRY 12) und bei (b) auf Grundlage der Referenzmessstation Nord (TRY 7) als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Hitzewellen mit einer Serie von mindestens drei Tagen Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Pfeile eingezeichnet, Hitzewellen nach Kysely ( $\varnothing$  Tmax  $\geq 30$  °C) als blaue Pfeile.

Im Jahr 2015 traten im Zeitraum Juni bis August in der Region Süd drei Hitzewellen auf, wobei die erste Hitzewelle mit Beginn am 30. Juni den deutlichsten Effekt bei den Sterbefallzahlen hervorgerufen hat (**Abbildung 28 a**). Es wurde am 05. Juli deutlich ein moderater Exzess der Sterbefälle an der Grenze zum hohen Exzess ( $z \geq 7$ ) verzeichnet. Die dazugehörige Hitzewelle erstreckte sich nach der Definition Tagesmitteltemperatur (24h) von mindestens 23 °C über fünf Tage, wobei diese Tage im Mittel 27,4 °C aufwiesen. Nach Kysely wurde bei der Hitzewelle an acht Tagen im Zeitraum 30. Juni bis 07. Juli bei den Höchsttemperaturen im Mittel 34,4 °C erreicht. Diese acht Tage wurden am 06. Juli von einem Tag mit Höchsttemperatur von 29,3 °C unterbrochen. Am vorhergehenden Tag (05. Juli) wurde eine Höchsttemperatur von 38,2 °C und am darauffolgenden Tag (07. Juli) von 35,2 °C erreicht. Die zweite Hitzewelle Mitte des Monats Juli erstreckte sich über drei Tage, an denen die Tagesmitteltemperaturen im Mittel 25,8 °C und die Höchsttemperaturen im Mittel 32,9 °C betragen.

Die dritte Hitzewelle erstreckte sich im Monat August über acht Tage vom 06. bis 13. August mit einer Mittleren Tagesmitteltemperatur (24h) von 25,7 °C und einer mittleren Tageshöchsttemperatur von 32,7 °C.

Während der zweiten und dritten Hitzewelle wurde jeweils die Grenze zu einem niedrigen Exzess der Sterbefälle überschritten.

In der Region Süd traten im Jahr 2015 im Zeitraum Juni bis August zehn Tage auf, an denen der Hitzeindex 40 überschritten wurde. Acht dieser zehn Tage entfielen auf die zuvor beschriebenen Hitzewellen.

Region Nord wurde von einer kurzen Hitzewelle getroffen (**Abbildung 28 b**). Die Hitzewelle erstreckte sich über vier Tage vom 02. bis 05. Juli mit Tagesmitteltemperaturen (24h) im Mittel von 26,9 °C. Diese vier Tage waren zugleich ebenfalls Kysely-Tage mit T<sub>max</sub> im Mittel von 33,2 °C. Während dieser Hitzewelle ist ein Exzess der Sterbefälle, an der Grenze zu einem hohen Exzess ( $z \geq 7$ ) zu beobachten gewesen. An mehreren Tagen zwischen Juni und August war ein niedriger Exzess der Sterbefälle zu verzeichnen. Der Hitzeindex von 40 wurde in der Region Nord nur an einem Tag (05.07.), auf dem Höhepunkt des Sterbefall-Exzesses, beobachtet.

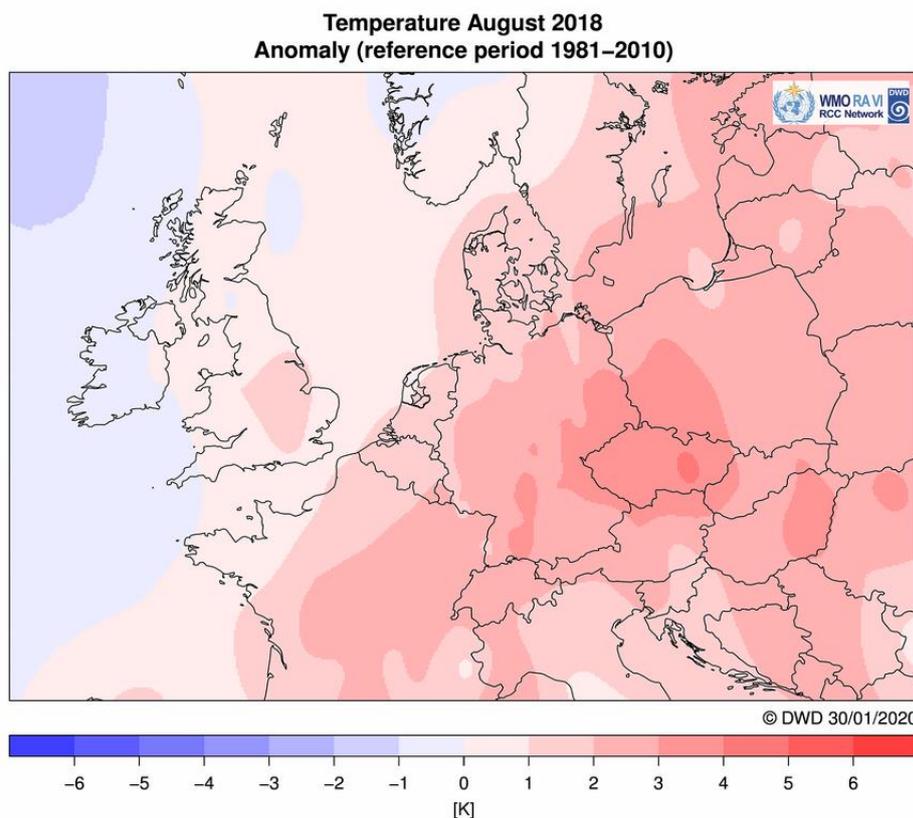
2018

Im Jahr 2018 kam es in den Monaten Juni bis August zu 20 Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , von denen 17 zusammenhängend aufgetreten sind, aber kein hohes Exzess-Niveau aufgetreten war (*Abbildung 30*). Stattdessen ist für die Gesamtdaten im Jahr 2018 an einem Tag im August die Grenze zu einem moderaten Exzess überschritten worden.

In den Monaten Juni und Juli wurde lediglich an wenigen, einzelnen und nicht zusammenhängenden Tagen ein geringer Exzess der Sterbefälle beobachtet. In der ersten Hälfte des Monats August war über acht zusammenhängende Tage deutlich ein geringer Exzess der Sterbefälle zu verzeichnen. In diese Hitzeperiode fiel ebenfalls der oben erwähnte einzelne Tag mit moderatem Exzess der Sterbefälle.

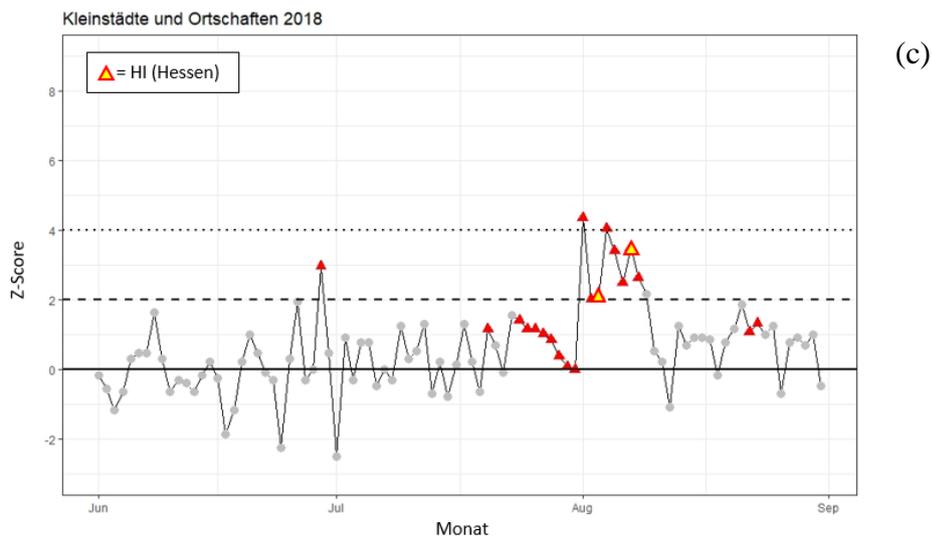
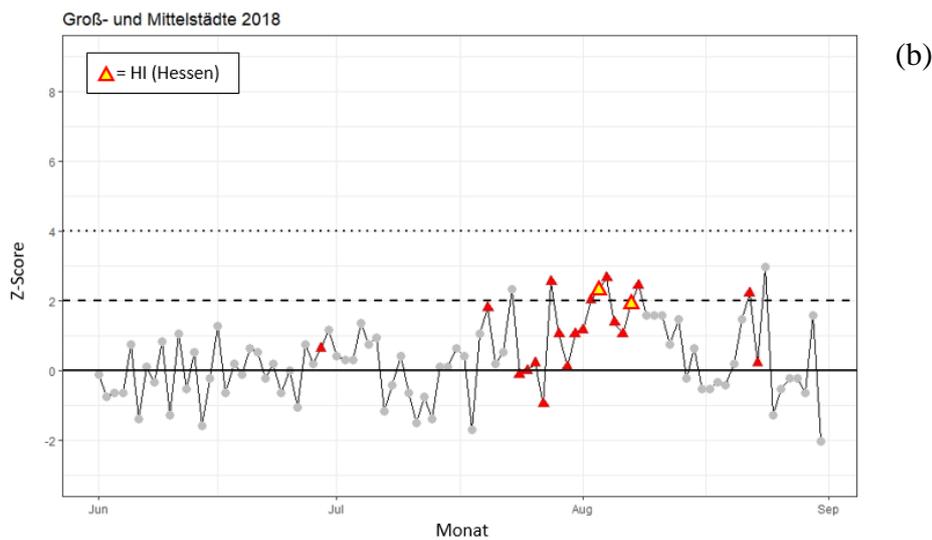
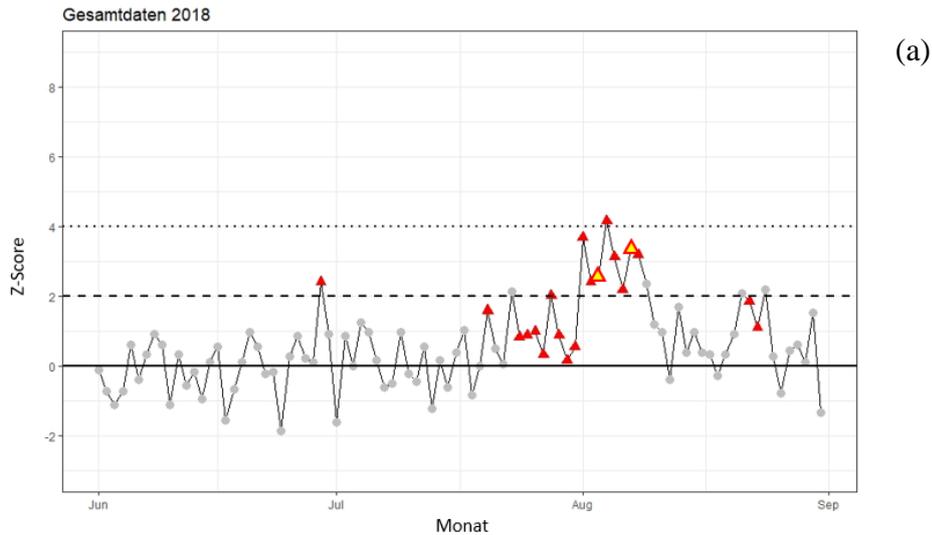
Beim Vergleich der zwei Besiedlungsdichte-Kategorien Groß- und Mittelstädte mit Kleinstädten und Ortschaften fällt auf, dass bei den Kleinstädten und Ortschaften höhere Exzess-Werte erreicht worden sind als in den größeren Städten. Dies ist bemerkenswert, da die Region Süd (TRY 12) stärker, häufiger und länger anhaltend von Hitze betroffen war. Trotz einer 18 Tage anhaltenden Hitzewelle im Süden Hessens mit Tagesmitteltemperaturen  $\geq 23\text{ }^{\circ}\text{C}$  und Tageshöchstwerten über  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde bei der Kategorie Groß- und Mittelstädte nur ein geringer Exzess der Sterblichkeit beobachtet. Hingegen wurde bei einer deutlich kürzeren Hitzewelle in der Region Nord vom 30. Juli bis 4. August, im Zuge dieser sechs Tage, an zwei Tagen ein moderater Exzess der Sterbefälle beobachtet.

An Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde eine Übersterblichkeit von 230 bis 650 beobachtet. Auf eine 16 Tage andauernde Hitzewelle entfielen allein 220 bis 540 Exzess-Todesfälle.

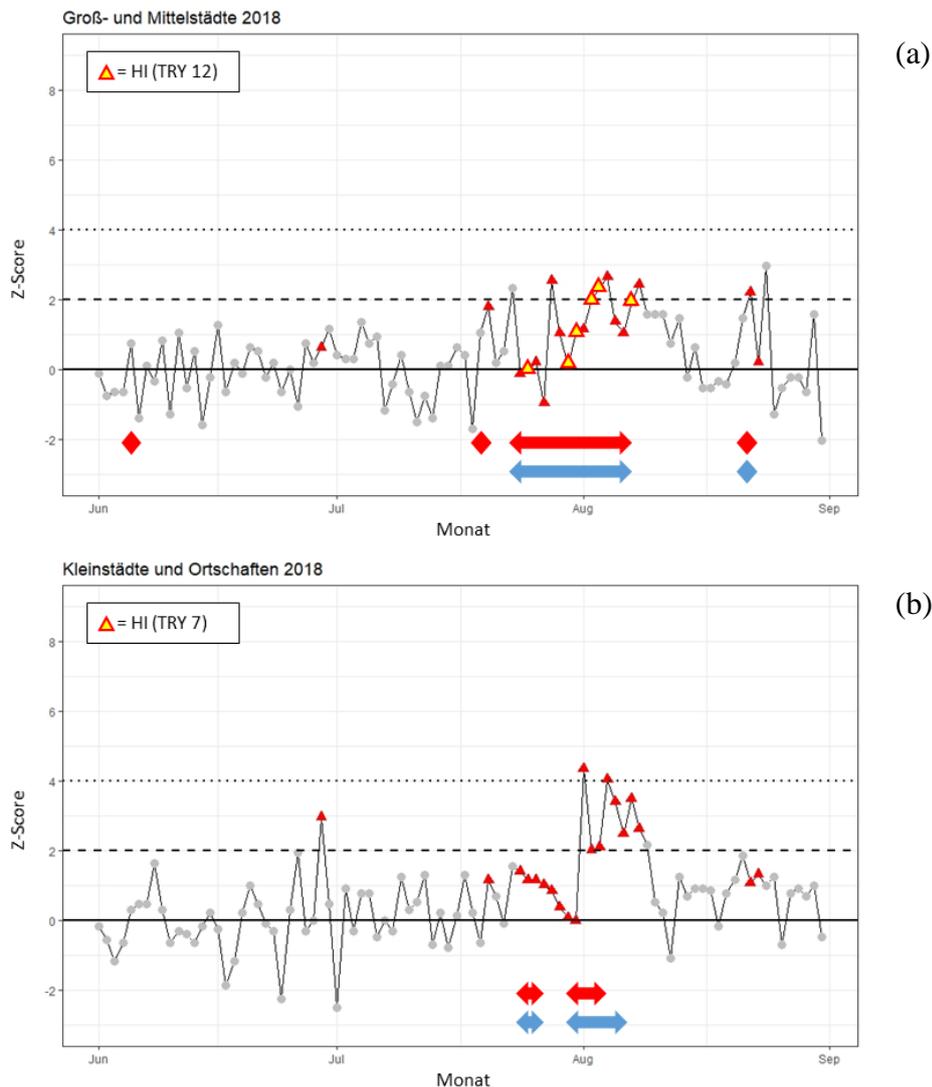


**Abbildung 29:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2018 für den Monat Juli im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.

Im August 2018 lag die Hitzeanomalie eher im Osten Deutschlands (*Abbildung 29*). Die Regionen Nord (TRY 7) und Süd (TRY 12) sind nicht stark von Hitze betroffen gewesen. Die Hitzebelastung verteilte sich auf mehrere zumeist kürzere Hitzewellen.



**Abbildung 30:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2018 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



**Abbildung 31:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2018 in Groß- und Mittelstädten sowie Kleinstädten und Ortschaften in Hessen, mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind (a) auf Grundlage der max. Temperatur der Referenzmessstationen Süd (TRY 12) und bei (b) auf Grundlage der Referenzmessstation Nord (TRY 7) als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Hitzewellen mit einer Serie von mindestens drei Tagen Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Pfeile eingezeichnet, Hitzewellen nach Kysely ( $\bar{\varnothing}$  Tmax  $\geq 30$  °C) als blaue Pfeile.

Im Jahr 2018 traten im Zeitraum Juni bis August in der Region Süd vier Hitzewellen auf, wobei sich drei kurze Hitzewellen, die jeweils lediglich drei Tage andauerten, auf die Monate Juni, Juli und August verteilten (**Abbildung 31 a**). Die erste kurze Hitzewelle ist bereits Anfang Juni aufgetreten und erstreckte sich vom 04. bis 06. Juni mit einer Tagesmitteltemperatur (24h) von im Mittel 23,3 °C. In diesem Zeitraum ist die Höchsttemperatur von 30 °C nicht erreicht und somit das Kriterium nach Kysely für eine Hitzewelle nicht erfüllt worden. Die Höchsttemperaturen erreichten im Mittel 29,9 °C. Die zweite kurze Hitzewelle ereignete sich vom 18. bis 20. Juli mit einer Tagesmitteltemperatur (24h) von im Mittel 23,6 °C. Es wurde das Kriterium von Kysely für eine Hitzewelle ebenfalls nicht erfüllt, die Tageshöchsttemperaturen über die drei Tage gemittelt erreichten allerdings 30,1 °C. Die dritte kurze Hitzewelle erstreckte sich vom 21. bis 23. August und erfüllte sowohl das Kriterium von mindestens drei Tagen in Folge eine Tagesmitteltemperatur (24h)  $\geq 23$  °C mit 24,8 °C im Mittel zu

verzeichnen, als auch nach Kysely mit mindestens drei Tagen in Folge Höchsttemperaturen über 30 °C, mit Tmax im Mittel von 31,9 °C zu haben.

Zwischen der zweiten und dritten, jeweils drei Tage anhaltenden, kurzen Hitzewelle erstreckte sich eine längere Hitzewelle von 18 Tagen vom 23. Juli bis 09. August mit Tagesmitteltemperaturen (24h) im Mittel von 26,3 °C und Tmax im Mittel über die genannten 18 Tage von 33,8 °C.

Wohingegen in der Region Süd bei der ersten und zweiten kurzen Hitzewelle ohne Kysely-Tage kein Exzess bei der Sterblichkeit zu beobachten war, ist in der dritten kurzen und während der längeren Hitzewelle mit Kysely-Tagen mehrfach die Grenze ( $z > 2$ ) von einem geringen Exzess bei den Sterbefällen zu beobachten gewesen. Während der 18-tägigen Hitzewelle im Juli und August kam es an sechs Tagen zu einem Hitzeindex größer 40.

Region Nord wurde von zwei kurz anhaltenden Hitzewellen getroffen (*Abbildung 31 b*). Die erste Hitzewelle erstreckte sich vier Tage vom 24. Bis zum 27. Juli und zeigte im Mittel eine Tagesmitteltemperatur (24h) von 25,5 °C. Die vier Kysely-Tage zeigten im Mittel eine Höchsttemperatur von 31,7 °C.

Die zweite Hitzewelle erstreckte sich sechs Tage vom 30. Juli bis zum 04. August. Die Tagesmitteltemperaturen (24h) beliefen sich im Mittel auf 25,4 °C. Mit einem Tag Unterbrechung am 05. August mit Tagesmitteltemperatur (24h) von 20,7 °C und einem Tageshöchstwert von 25,5 °C ereigneten sich im Zeitraum 30. Juli bis 07. August neun Kysely-Tage mit Tmax im Mittel von 31,2 °C. Im Monat Juni ist an einem Tag ein geringer Exzess der Sterbefälle zu beobachten gewesen, dieser Tag stand allerdings nicht in Verbindung mit einer Hitzewelle. Während der Hitzewelle vom 30. Juli bis 07. August, kam es an zwei Tagen zu einem moderaten Exzess der Sterbefälle und an den übrigen Tagen zu einem geringen Exzess der Sterbefälle.

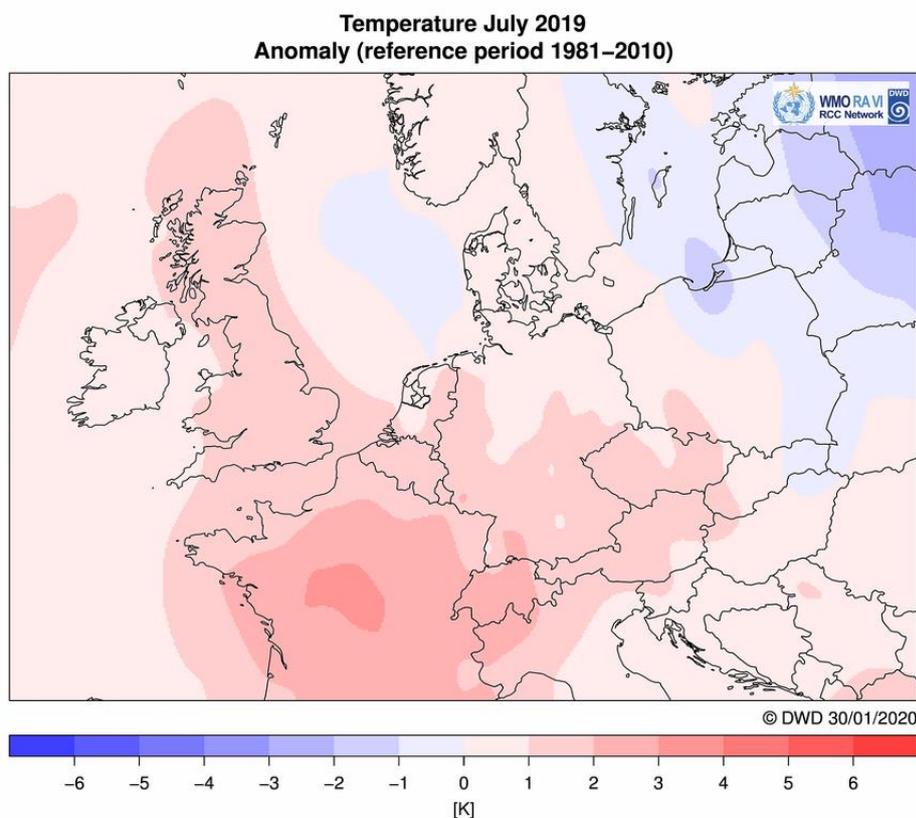
In der Region Nord kam es im Zeitraum Juni bis August zu keinem Tag, an dem ein Hitzeindex über 40 erreicht worden ist.

## 2019

Im Jahr 2019 kam es in den Monaten Juni bis August zu 19 Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C. Diese Tage wurden allerdings häufig von kühleren Tagen unterbrochen, sodass die längste Phase zusammenhängender Hitzetage sich auf eine Dauer von lediglich fünf Tagen belief (**Abbildung 33**). Die Sterblichkeit bewegte sich innerhalb des geringen Exzess-Niveaus, mit den höchsten Werten in der zweiten Hälfte des Monats Juli. Im Monat Juni wurde für Gesamthessen nur an einem Tag die Grenze zum geringen Exzess der Sterbefälle überschritten. Für die Gruppe Kleinstädte und Ortschaften wurde an zwei Tagen im Juni diese Grenze überschritten, wohingegen bei der Gruppe Groß- und Mittelstädte an keinem Tag eine Exzessmortalität zu verzeichnen war. Im Monat August wurde sowohl in Hessen als auch für die beiden unterschiedlichen Gruppierungen nach Siedlungsdichte an keinem Tag ein Exzess der Sterbefälle beobachtet.

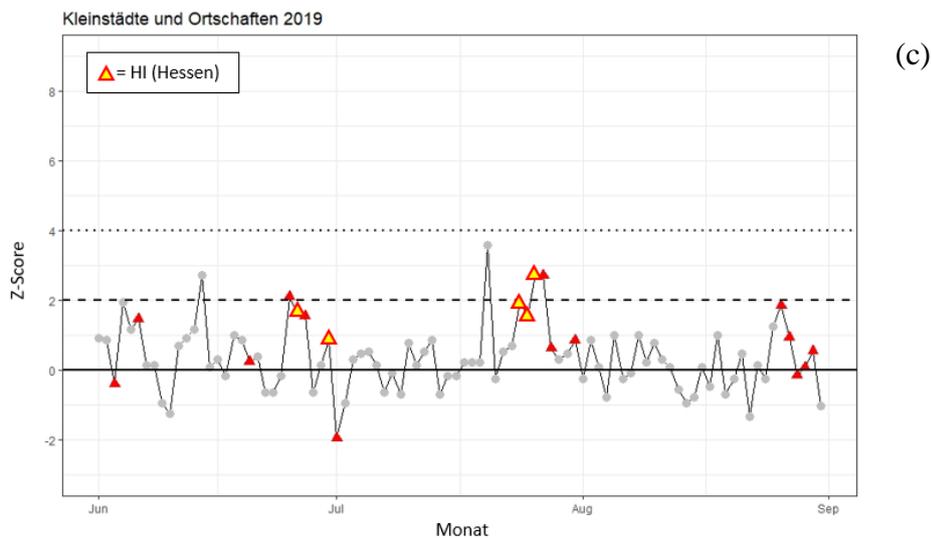
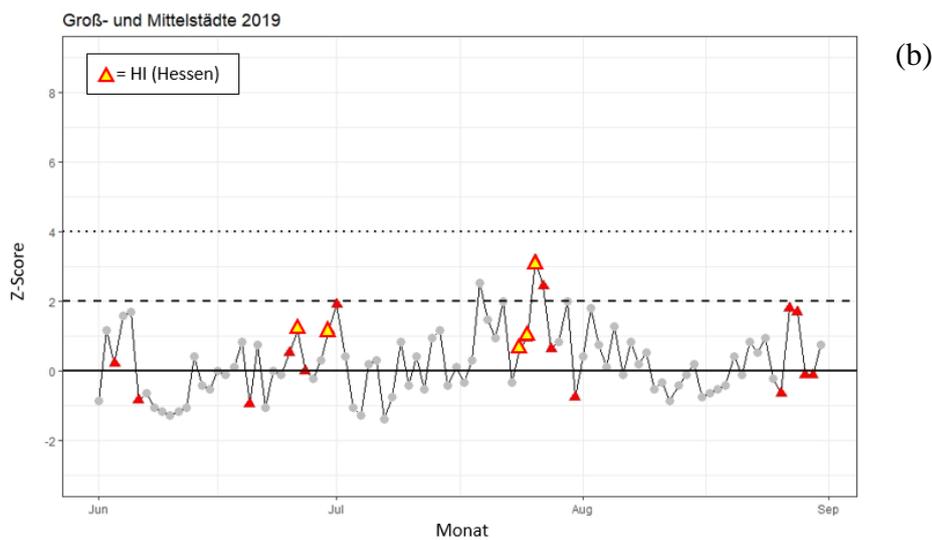
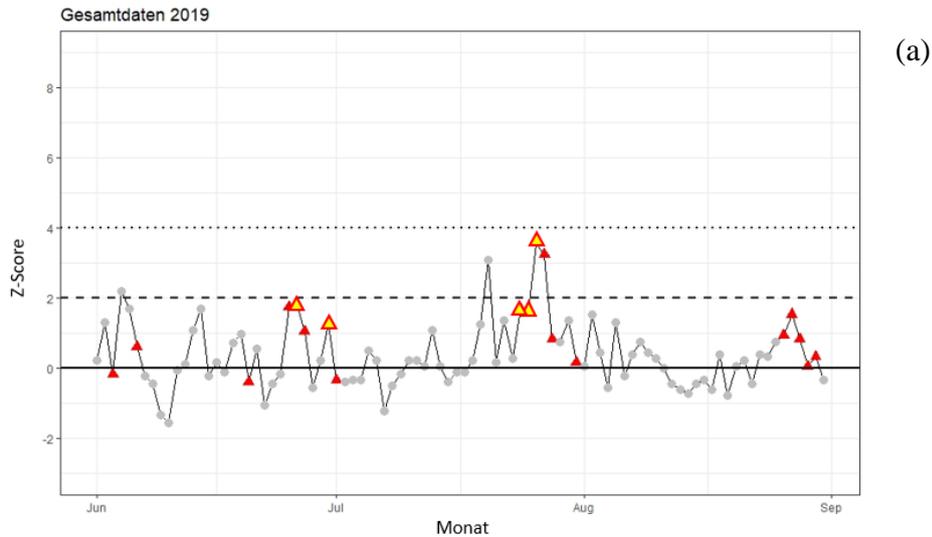
Beim Vergleich der zwei Besiedlungsdichte-Kategorien Groß- und Mittelstädte mit Kleinstädten und Ortschaften fällt auf, dass ähnlich wie im vorausgegangenen Jahr 2018 bei den Kleinstädten und Ortschaften höhere Exzess Werte erreicht worden sind als in den größeren Städten. Dies ist bemerkenswert, denn auch im Jahr 2019 wurde wie schon im vorausgegangenen Jahr 2018 die Region Süd (TRY 12) stärker, häufiger und länger anhaltend von Hitze getroffen. Während die Region Nord (TRY 7) lediglich von einer kurzen Hitzewelle im Juli getroffen wurde, ist die Region Süd von vier Hitzewellen im Zeitraum Juni bis August getroffen worden. Beide Besiedlungsdichte-Kategorien sind in der zweiten Hälfte des Monats Juli am stärksten von Hitze und einer damit verbundenen Exzess-Sterblichkeit betroffen gewesen.

An Tagen mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C wurde eine Übersterblichkeit von 100 bis 370 beobachtet. Auf Hitzewellen von drei, fünf und vier zusammenhängenden Tagen entfielen hessenweit jeweils 20 bis 90, 80 bis 230 sowie 0 bis 90 Exzess-Todesfälle.

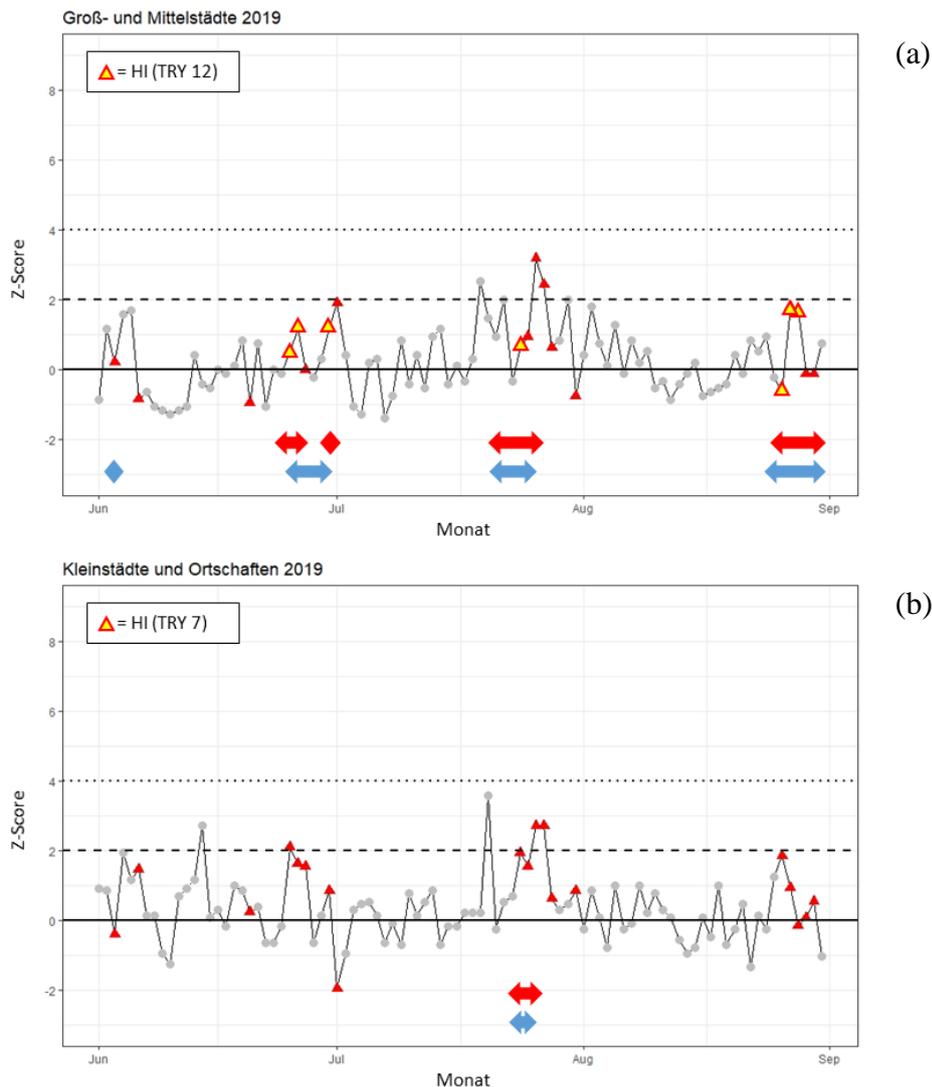


**Abbildung 32:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2019 für den Monat Juli im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.

Im Juli 2019 lag die Hitzeanomalie vorrangig im Südwesten von Deutschland, mit der größten Hitzeeinwirkung in Frankreich (*Abbildung 32*). Die Region Süd (TRY 12) ist von Hitze betroffen gewesen, Groß- und Mittelstädte sind allerdings bei der Exzessmortalität nicht prominent hervorgetreten.



**Abbildung 33:** Sterblichkeit von Juni bis August für das Jahr 2019 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



**Abbildung 34:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2019 in Groß- und Mittelstädten sowie Kleinstädten und Ortschaften in Hessen, mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Tage mit Hitzeindex  $\geq 40$  und Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind (a) auf Grundlage der max. Temperatur der Referenzmessstationen Süd (TRY 12) und bei (b) auf Grundlage der Referenzmessstation Nord (TRY 7) als gelbe Dreiecke mit roter Umrandung dargestellt. Hitzewellen mit einer Serie von mindestens drei Tagen Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Pfeile eingezeichnet, Hitzewellen nach Kysely ( $\varnothing$  Tmax  $\geq 30$  °C) als blaue Pfeile.

Im Jahr 2019 kam es in der Region Süd zu acht Hitzewellen mit jeweils viermal Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C und viermal erfüllter Definition nach Kysely (**Abbildung 34 a**). Die erste Hitzewelle Anfang Juni zeigte an drei Tagen vom 02. bis 04. Juni vier Kysely-Tage mit im Mittel 31,1 °C. Für diese Tage wurde das Kriterium von mindestens 23 °C Tagesmitteltemperatur mit im Mittel 22,3 °C nicht erfüllt.

Die zweite Hitzewelle nach Kysely überschneidet sich mit zwei kürzeren Hitzewellen, an denen die Tagesmitteltemperaturen über 23 °C waren. Vom 23. bis 27. Juni hatten fünf Tage eine Tagesmitteltemperatur (24h) von im Mittel 26,3 °C und vom 29. Juni bis 01. Juli wurde an drei Tagen im Mittel eine Temperatur von 25,8 °C erreicht. Diese beiden Hitzewellen überschneiden sich mit einer sieben Tage dauernden Hitzewelle vom 24. bis 30. Juni nach Kysely mit Tageshöchsttemperaturen im Mittel von 34,1 °C.

Im Zeitraum 20. bis 27. Juli ereignete sich eine Hitzewelle mit Tagesmitteltemperaturen (24h) über acht Tage im Mittel von 26,5 °C. Dieser Zeitraum überschneidet sich mit sieben Kysely Tagen vom 20. bis 26. Juli und Tmax im Mittel von 34,8 °C.

Ende August ereignete sich eine weitere Überschneidung von zwei Hitzewellen zwischen dem 25. bis 31. August mit Tagesmitteltemperatur (24h) über sieben Tage von 24,4 °C und acht Kysely-Tagen vom 24. bis 31. August mit Tageshöchstwerten im Mittel von 32 °C.

Ein geringer Exzess der Sterbefälle wurde an drei Tagen im Juli erreicht, wobei zwei Tage auf eine Hitzewelle entfielen.

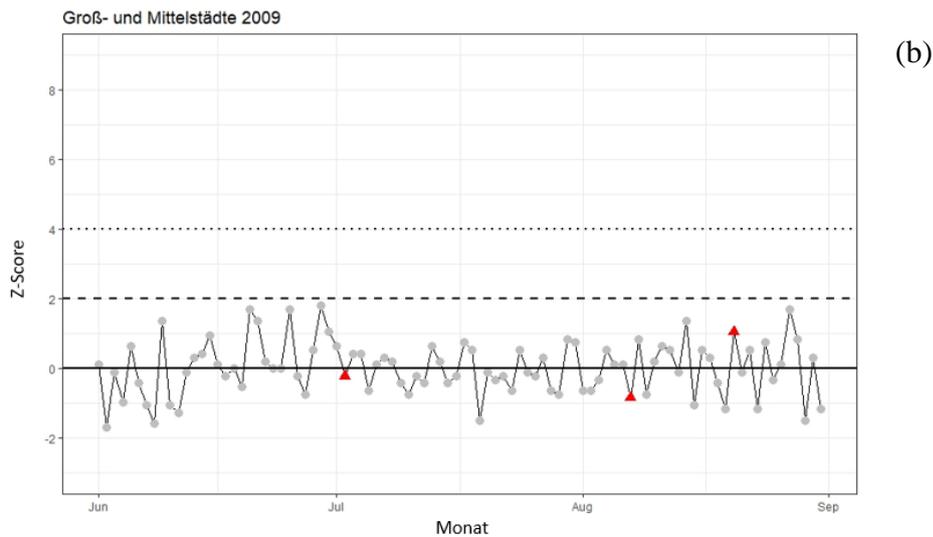
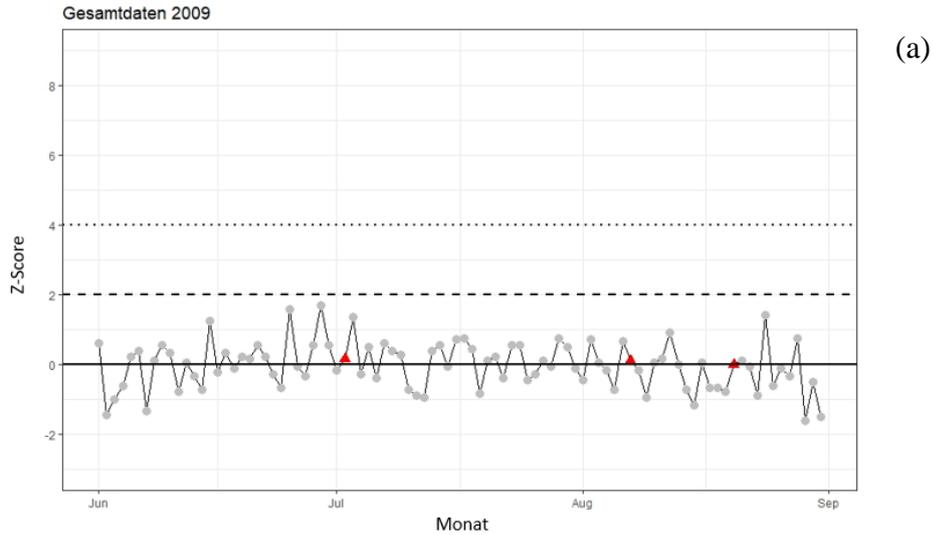
In der Region Süd wurde an sieben Tagen ein Hitzeindex von 40 überschritten. Diese sieben Tage verteilten sich über vier Hitzewellen im Zeitraum Juni bis August.

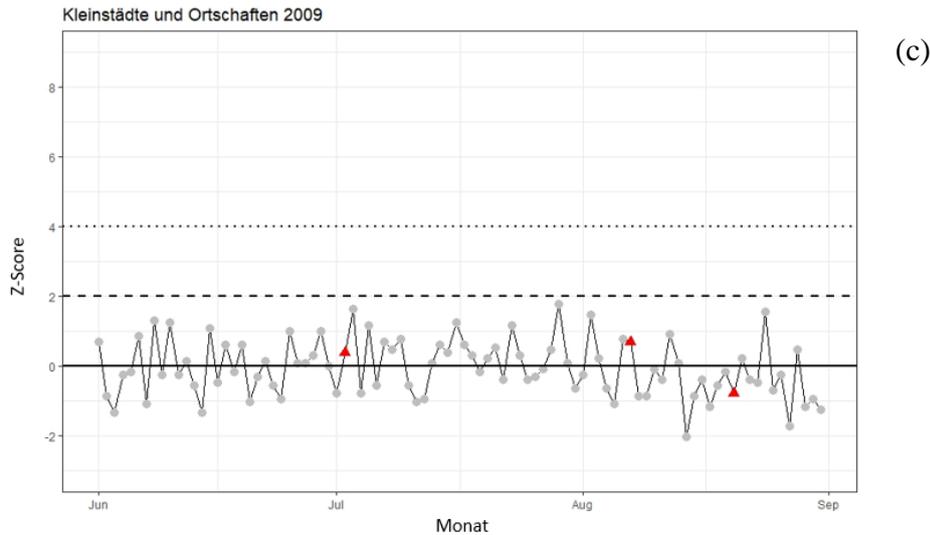
Region Nord verzeichnete eine Hitzewelle im Juli bei der an fünf Tagen im Zeitraum 23. bis 27. Juli eine Tagesmitteltemperatur (24h) von im Mittel 25,7 °C erreicht wurde und an vier Tagen von 23. bis 26. Juli Tmax im Mittel 32,6 °C betrug (*Abbildung 34 b*). An mehreren Tagen im Juni und Juli ist ein geringer Exzess der Sterbefälle zu verzeichnen gewesen. Wohingegen nur ein kleiner Teil auf die kurz anhaltende Hitzewelle zwischen 23. und 27. Juli entfallen ist.

An keinem Tag ist im Zeitraum Juni bis August in der Region Nord im Jahr 2019 ein Hitzeindex größer 40 zu verzeichnen gewesen.

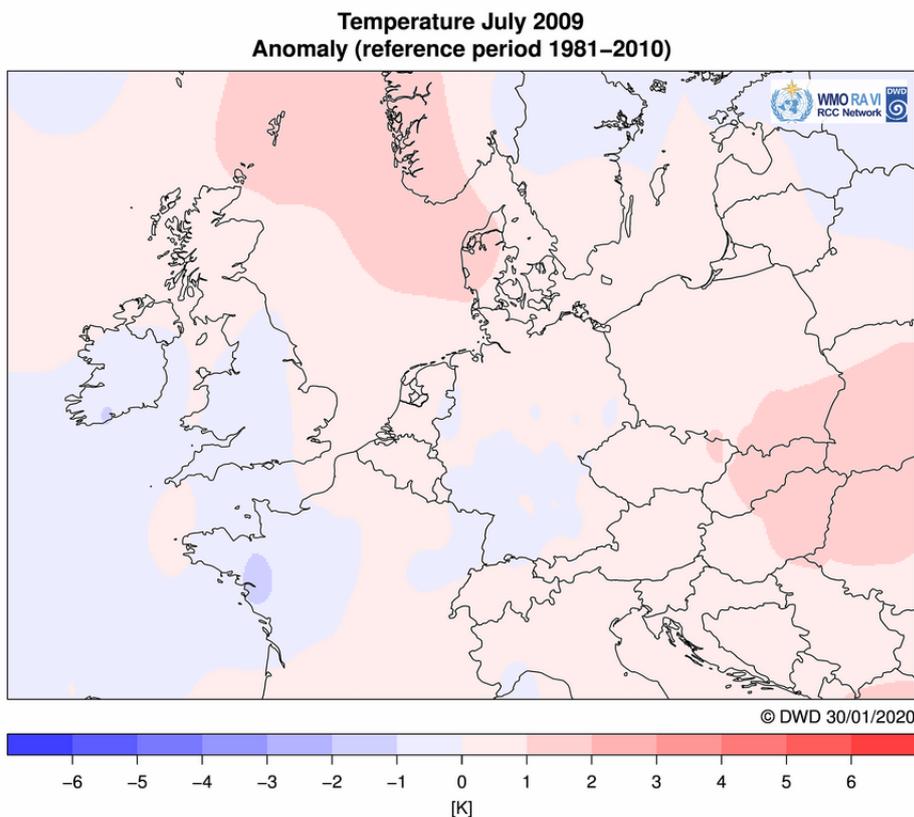
## 2009

Ein Jahr in dem kein Exzess zu verzeichnen war, wie beispielsweise das Jahr 2009 (*Abbildung 35*) hatte lediglich drei Tage mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C zu verzeichnen, die getrennt über den Zeitraum Juni bis August verteilt vorkamen.





**Abbildung 35:** Sterblichkeit von Juni bis August im Jahr 2009 in Hessen mit der Darstellung als z-Score. Die schwarze Linie repräsentiert das Niveau an erwarteten Sterbefällen. Kein Exzess ist bei  $z \leq 2$  anzunehmen. Die gestrichelte Linie markiert die Grenze für deren Überschreitung ein niedriges Exzess-Niveau an Sterbefällen anzunehmen ist. Die gepunktete Linie bildet die Grenze zu einem moderaten Exzess an Sterbefällen. Werte mit Tagesmitteltemperatur  $\geq 23$  °C sind als rote Dreiecke aufgetragen. Es sind die Gesamtdaten für Hessen (a), die Daten für Groß- und Mittelstädte (b) sowie Daten der Kleinstädte und Ortschaften (c) jeweils mit Temperaturschwelle und Hitzeindex auf Grundlage der für Hessen gemittelten Temperatur dargestellt.



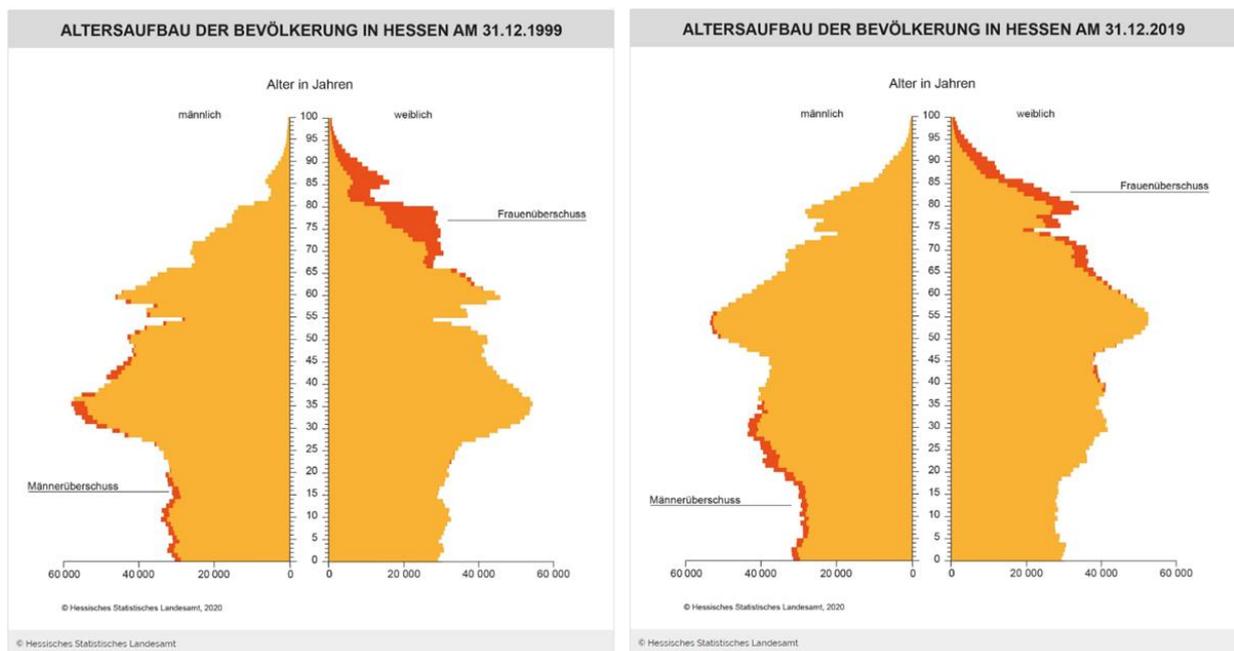
**Abbildung 36:** Karte der Anomalie der bodennahen mittleren Lufttemperatur im Jahr 2009 für den Monat Juli im Vergleich zum gleichen Monat im Referenzzeitraum 1981 – 2010 in Zentral-Europa, WMO (World Meteorological Organization) geographische Region RA VI.

### 3.3.9 Demographische Einordnung

Zu Beginn des für die vorliegende Untersuchung betrachteten Zeitraumes um das Jahr 2000 ist ein deutlicher Frauenüberschuss in der Altersgruppe der über 65-jährigen zu erkennen (

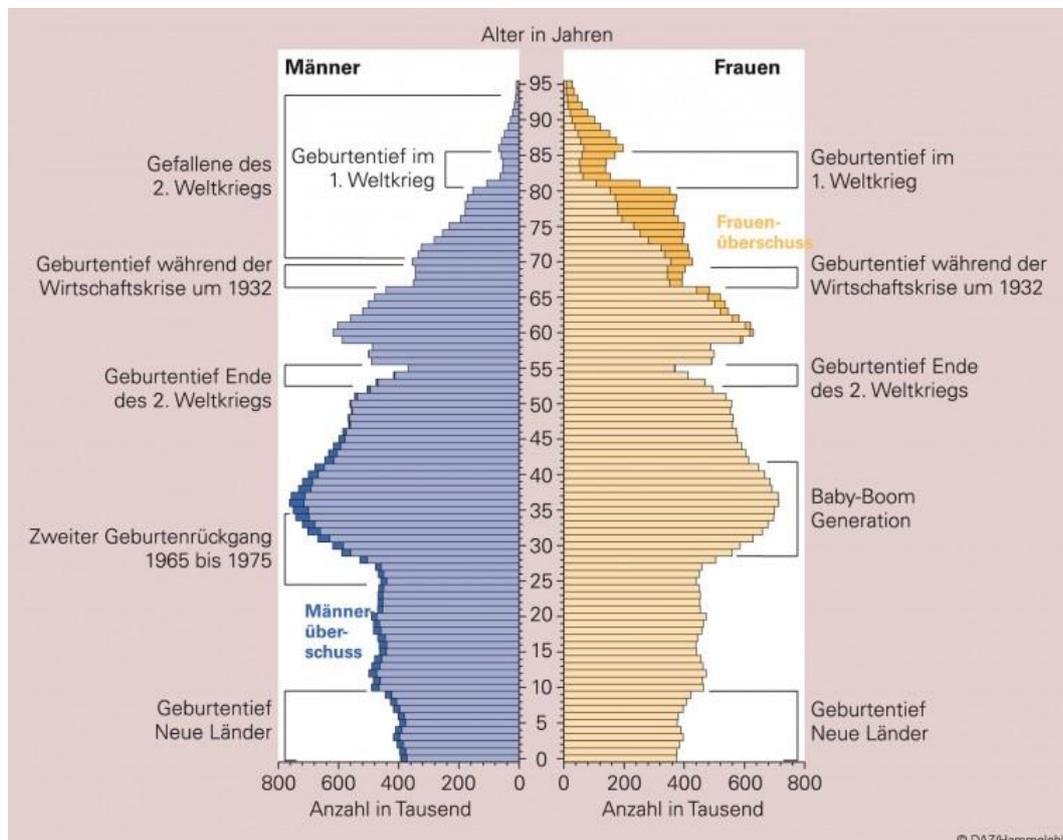
**Abbildung 37**). Des Weiteren ist das Geburtentief im 1. Weltkrieg in der Altersgruppe 80 bis 85 Jahre sowie das Geburtentief während der Wirtschaftskrise um 1932 in der Altersgruppe 65 bis 70 Jahre deutlich zu erkennen.

Gegen Ende des Betrachtungszeitraumes 2019 ist der Frauenüberschuss nicht mehr so deutlich ausgeprägt und die Auswirkungen des Geburtentiefs im 1. Weltkrieg nicht mehr zu erkennen. In der Altersgruppe der über 65-jährigen manifestiert sich nun das Geburtentief Ende des 2. Weltkrieges im Bereich der 75-jährigen.



**Abbildung 37:** Demographische Zusammensetzung zu Beginn (links) und Ende (rechts) des für die vorliegende Untersuchung betrachteten Zeitraumes. Der Altersaufbau ist in gelber Farbe und ein Bevölkerungsüberschuss nach Geschlecht ist in roter Farbe dargestellt.

Bei der Auswertung von Sterbedaten sind immer solche Faktoren zu berücksichtigen, die Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Altersstruktur haben. Die nachfolgende Abbildung (**Abbildung 38**) zeigt historische Ereignisse, welche bis heute einen direkten Einfluss auf die demographische Zusammensetzung haben. In dieser Arbeit schlagen sich solche zeitlich kurz- bis mittelfristigen starken Veränderungen auch in dem Erwartungswert nieder. Insbesondere die Trendkorrekturen werden in diesen Situationen schlechter (z.B. **Abbildung 11** und **Abbildung 12**)



**Abbildung 38:** Altersaufbau der Bevölkerung in Deutschland 2001. Zwar eine Momentaufnahme, aber ein Abbild unserer demographischen Vergangenheit, an der man Ereignisse ablesen kann. (Datenquelle: Statistisches Bundesamt)

### 3.3.10 Vergleich von Alter und Geschlecht in den Sommermonaten bei Jahren mit z-Score > 4

In den Sommermonaten der Jahre 2003, 2015 und 2018 ist bei den Sterbefällen der z-Score Wert von 4 überschritten worden.

Im Jahr 2003 macht sich bei den Sterbefällen in den Sommermonaten das Geburtentief resultierend durch den 1. Weltkrieg bemerkbar (siehe **Abbildung 38** zum Bevölkerungsaufbau in Deutschland und

**Abbildung 37** Hessen). Bei den Frauen ist eine markante Delle in der Altersgruppe zwischen 80 und 90 Jahren zu erkennen. Bei den Männern ist dieser Einschnitt ebenfalls zu erkennen, stellt sich hier allerdings als Schulter der Alterskurve dar (**Abbildung 39**). Der Frauenüberschuss bedingt durch gefallene Männer im 2. Weltkrieg sowie die allgemein höhere Lebenserwartung von Frauen schlägt sich in der Altersgruppe der über 75-jährigen auch in den Sterbefallzahlen nieder.

Im Jahr 2015 ist das Geburtentief während der Wirtschaftskrise um 1932 bei den Männern als Delle bei den 80- bis 83-jährigen zu erkennen. Bei den Frauen ist dieser Effekt als Schulter in der Verteilungskurve des Sterbealters zu erkennen.

Im Jahr 2018 ist das Geburtentief am Ende des 2. Weltkrieges als Schulter der Verteilungskurve der Sterbefälle bei der Altersgruppe der 70- bis 75-jährigen zu erkennen. Zusätzlich ist bei den 83- bis 86-jährigen eine Delle aufgrund des Geburtentiefs während der Wirtschaftskrise um 1932 zu erkennen. Der Effekt der gefallenen Männer im 2. Weltkrieg ist demographisch nicht mehr so deutlich ausgeprägt, so ist der Abstand bei der Altersgruppe der über 75-jährigen verstorbenen Männer zu der Zahl an verstorbenen Frauen nicht mehr so groß wie beispielsweise noch im Jahr 2003.

Betrachtet man Mittelwert und Median des Sterbealters (**Tabelle 4**), so zeigt sich jeweils ein Anstieg über die Jahre von 2003 zu 2018 von zwei Jahren. Dieser Effekt ist mutmaßlich durch die stetig verbesserte medizinische Versorgung zu erklären.

**Tabelle 4:** Mittelwert und Median des Sterbealters in den Monaten Juni bis August für Jahre mit z-Score größer 4 (Grenze moderater Exzess überschritten).

Jahr	Sterbealter	
	Mittelwert	Median
2003	77	80
2015	78,8	82
2018	79,3	82

### 3.3.11 Vergleich von Alter und Geschlecht in den Sommermonaten bei Jahren mit z-Score < 2

In den Sommermonaten der Jahre 2004, 2005, 2008, 2009 und 2011 ist bei den Sterbefällen der z-Score Wert von 2 nicht überschritten worden. Die drei Beispieljahre 2004, 2009 und 2011 wurden für eine vergleichende Analyse ausgewählt.

Im Jahr 2004 sind in den kühleren Sommermonaten vergleichbar viele Männer verstorben wie im Sommer 2003. Bei den Frauen sind im Jahr 2004 vergleichsweise weniger verstorben als im vorangegangenen Jahr 2003. Die demographischen Effekte durch das Geburtentief vom 1. Weltkrieg und den Gefallenen des 2. Weltkrieges sind auch im Jahr 2004 zu erkennen (vergl. Jahr 2003).

Im Jahr 2009 ist das Geburtentief vom 1. Weltkrieg als Schulter in der Altersgruppe 90 bis 95 Jahre bei den Frauen deutlich zu erkennen (**Abbildung 39**). Bei den Männern ist dieser demographische Effekt schwächer sichtbar. Im Bereich der 75-jährigen manifestiert sich das Geburtentief während der Wirtschaftskrise um 1932. Bei den Sterbefallzahlen wird der deutliche Frauenüberschuss bedingt durch Gefallene im 2. Weltkrieg und der allgemein höheren Lebenserwartung von Frauen sichtbar bei den Geburtsjahrgängen der 1920er Jahre.

Im Jahr 2011 ist das Geburtentief vom 1. Weltkrieg bei den Männern nicht mehr zu erkennen. Bei den Frauen ist genannter Effekt als Schulter in der Altersgruppe 92 bis 97 Jahre gerade noch zu erkennen. Ein Frauenüberschuss und das Geburtentief während der Wirtschaftskrise um 1932 ist vergleichbar mit dem Jahr 2009 deutlich zu erkennen.

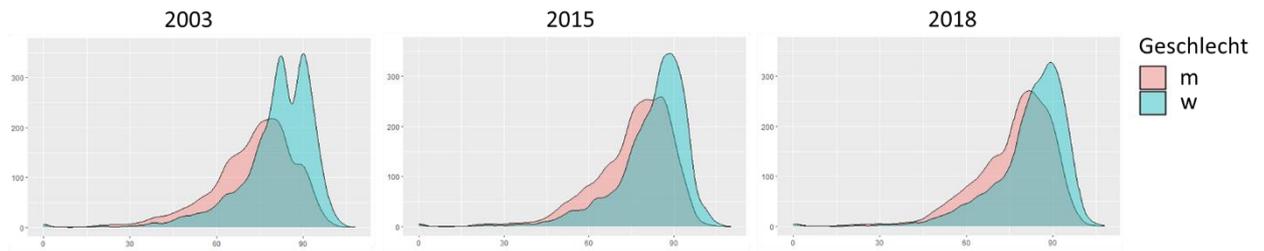
Vergleichbar zum Mittelwert und Median der Jahre mit z-Score > 4 (**Tabelle 4**) ist in den Jahren mit z-Score < 2 (**Tabelle 5**) ebenfalls ein Anstieg des Sterbealters zu beobachten. Das mittlere Sterbealter liegt allerdings in Jahren ohne Exzess der Sterbefälle in den Sommermonaten unter dem mittleren Sterbealter in Jahren mit mindestens einem moderaten Exzess der Sterbefälle. Als Grund für ein höheres Sterbealter, in Jahren mit einem in den Sommermonaten erreichten moderaten Exzess der Sterbefälle, ist mutmaßlich der Einfluss von Hitze zu sehen, welche verstärkt Sterbefälle bei Menschen im hohen Alter verursacht.

**Tabelle 5:** Mittelwert und Median des Sterbealters in den Monaten Juni bis August für Jahre mit z-Score kleiner 2 (kein Exzess).

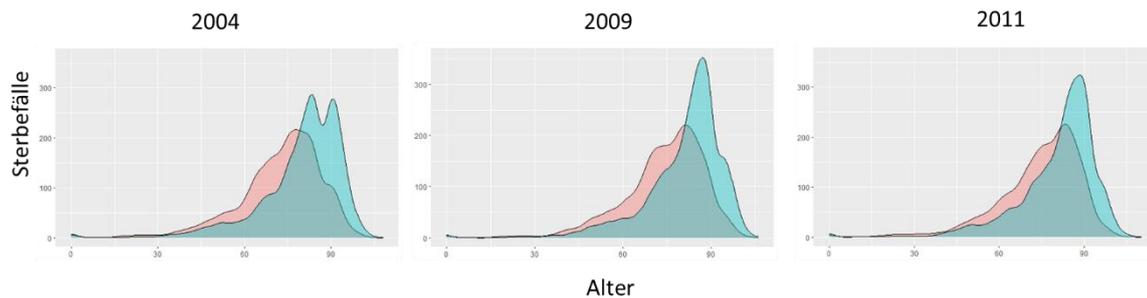
Jahr	Sterbealter	
	Mittelwert	Median
2004	76,3	79

2009	77,6	81
2011	77,7	81

**Vergleich von Alter und Geschlecht bei Sterbefällen in Sommermonaten mit z-Score > 4**



**Vergleich von Alter und Geschlecht bei Sterbefällen in Sommermonaten mit z-Score < 2**



**Abbildung 39:** Vergleich des Sterbealters für Frauen (w) und Männer (m) für die Sommermonate Juni bis August von jeweils drei Jahren, in denen der z-Score 4 (Grenze zu einem moderaten Exzess) überschritten wurde sowie z unter 2 (Normalbereich, kein Exzess) geblieben ist.

**Fazit demographische Einordnung:**

Kurz- und mittelfristige deutliche Veränderungen der Bevölkerungszusammensetzung führen bei den angewandten Berechnungen des Erwartungswertes zu gewissen Beeinträchtigungen der Trendkorrekturen.

Mit den durchgeführten vergleichenden Betrachtungen ist kein Unterschied der hitzebedingten Mortalität zwischen Männern und Frauen feststellbar. Dies ist insbesondere in Zusammenhang mit der geringen Stichprobengröße und den sich über die Zeit verändernden Geschlechterverhältnissen und den Altersstrukturen zu sehen. Eine geschlechts- und altersstandardisierte vergleichende Betrachtung ist mit den vorläufigen Sterbedaten (bei denen außerhalb Hessens verstorbene Bürger und Bürgerinnen nicht enthalten sind) nicht direkt darstellbar und sehr aufwendig.

## 3.4 Diskussion

### 3.4.1 Stärken und Schwächen der Analysemethode

Es hat sich gezeigt, dass sich hessenweit gemittelt Temperaturwerte nicht hinreichend dazu eignen, die Mortalität durch Hitzeereignisse für Stadt und ländlichen Raum abzubilden. Trotzdem wurde als Referenz die Tagesmitteltemperatur für Hessen einbezogen, da Groß-, Mittel- und Kleinstädte sowie Ortschaften über Hessen verteilt, unterschiedlicher Hitzeeinwirkung unterworfen sind. Es ist nicht möglich für jede Stadt oder Ortschaft die jeweilige spezifische Temperatur anzunehmen, da es einerseits nicht so viele Messstationen in Hessen gibt, die kontinuierlich über die letzten 20 Jahre täglich Temperaturdaten aufgezeichnet haben und andererseits die Probengröße zu gering ist, um einen gesicherten Effekt bei der Übersterblichkeit nachweisen zu können. Unter Berücksichtigung der genannten Probleme wurden für eine vergleichbare Auswertung zwei Gruppen gebildet. Die erste Gruppe wurde per Siedlungsdichte Definition zusammengefasst: Groß- und Mittelstädte, welche das Wohnumfeld Stadt repräsentieren sollen. Die zweite Gruppe besteht aus Kleinstädten und Ortschaften zusammengefasst, welche wiederum gemeinsam den ländlichen Raum repräsentieren sollen. Diese Gruppierung schafft zwei Kategorien, welche jeweils für sich eine Datenmenge enthalten, die als Basis einer vergleichenden Analyse zu Grunde gelegt werden kann. Die zweite Schwäche der Analysemethode, das Problem der unterschiedlichen Hitzeeinwirkungen in Hessen, wurde dadurch verringert, indem für jede der beiden Kategorien Daten einer jeweiligen Referenzmessstation verwendet wurden, die als repräsentativ für eine jeweilige TRY-Region angesehen werden. Genannte Referenzmessstationen wurden bereits in der Vergangenheit für den HEAT II Bericht herangezogen. Zwei TRY-Regionen bilden Hessen jeweils mit Nord (TRY-7) und Süd (TRY-12) ab. Da Region Süd das Rhein-Main-Ballungsgebiet beinhaltet mit hohen Siedlungsdichten und Region Nord weite Teile schwach besiedelten ländlichen Raum, wurden die Temperaturmesswerte für die Region Süd für die Analyse der Mortalität in den Städten (Groß- und Mittelstädte) und die jeweiligen Temperaturmesswerte der Region Nord für den ländlichen Raum (Kleinstädte und Ortschaften) verwendet. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Mehrzahl der Groß- und Mittelstädte in der Region Süd lokalisiert sind, jedoch auch einzelne Städte wie Kassel oder Fulda eine Ausnahme darstellen. Analog dazu sind nicht alle Kleinstädte und Ortschaften in der Region Nord lokalisiert. Zusammenfassend gesagt wurde die vorherrschende Siedlungsdichte in der Fläche für die Auswertung zur Mortalität bei Hitze zugrunde gelegt. Dieses Modell erhebt nicht den Anspruch einer hundertprozentigen Genauigkeit, doch hat es sich gezeigt, dass es mit einer gewissen Robustheit, durch die gewonnene Größe an miteingeschlossenen Daten, Unterschiede in der Mortalität bei Hitzeeinwirkung für Stadt und ländlichen Raum abbilden kann.

Zur vergleichenden Analyse der Exzess-Sterblichkeit wurde die Methode mittels z-Scores verwendet, wie sie auch zum europaweiten Monitoring der Mortalität (EUROMOMO) zum Einsatz kommt. Die Bezugsgröße ist hierbei nicht die Bevölkerung, sondern ein Erwartungswert für die Mortalität, der sich aus den Sterbefällen der jeweils fünf vorangegangenen Jahre berechnet. Um eine Verfälschung des Erwartungswertes durch vorangegangene Hitzeereignisse zu umgehen, wurde der Effekt von Hitzetagen auf den Erwartungswert bereinigt, sodass eine Sterblichkeit vergleichbar mit Sommertagen ohne Hitze angenommen wurde. Der Beobachtungswert der Mortalität kann dann im Verhältnis zum Erwartungswert betrachtet werden, um Übersterblichkeit, im vorliegenden Fall während Hitzewellen, zu detektieren. Bei der Betrachtung des z-Scores zeigen Hitzeereignisse sowie Grippewellen einen deutlichen Effekt, der je nach Ausprägung als geringe bis außergewöhnlich hohe Übersterblichkeit angesehen werden kann. Es ist zu beachten, dass die Bereinigung durch Ersetzen der Mortalität bei Hitzetagen eher konservativ erfolgt ist – also eine gewisse Erhöhung der Sterblichkeit nicht ausgeglichen wurde. Die Exzess-Schätzungen sind daher ebenfalls eher konservativ und haben insbesondere für kleine Stichprobengrößen eine geringe Sensitivität. Hinzu kommen die Auswirkungen der Trendkorrektur, die insbesondere bei starken Veränderungen der gesamten Sterblichkeit nicht optimal funktioniert.

### 3.4.2 Hitze und Übersterblichkeit

Bei der Auswertung der Daten bezüglich Übersterblichkeit bei Hitzeereignissen hat sich gezeigt, dass in den Jahren 2003 und 2015 die höchste Exzess Mortalität ( $z \geq 7$ ) im betrachteten Zeitraum 2000 bis 2019 erreicht wurde. In den beiden Jahren mit hoher Exzess Mortalität wurde jeweils ein Mittelwert der Tagesmitteltemperatur von  $\geq 26$  °C über die Tage der Hitzewelle verzeichnet. Solche hohen Tagesmitteltemperaturen wurden jeweils für die Region Nord (TRY 7) und Süd (TRY 12) erreicht. In anderen Jahren mit Hitzewellen, wurde der angenommene Schwellenwert für die Tagesmitteltemperatur von 23 °C nicht so deutlich überschritten.

Auch bei den Tagesmaximalwerten ( $T_{max}$ ) wurden während der Hitzewellen der Jahre 2003 und 2015 hohe Werte erreicht. Für die Region Nord wurde in den beiden Jahren mit hoher Exzess Mortalität für  $T_{max}$  jeweils im Mittel  $\geq 33$  °C für die Kysely-Tage der jeweils betroffenen Hitzewellen erreicht. Die Region Süd erreichte zeitgleich höhere  $T_{max}$  Werte an den Kysely-Tagen der markanten Hitzewellen 2003 und 2015, was sich in einem Mittelwert der Kysely-Tage von  $\geq 35$  °C niederschlug. Auch das Kriterium nach Kysely von mindestens drei Tagen in Folge mit  $T_{max}$  von mindestens 30 °C, welches auch Unterbrechungen einzelner Tage mit  $T_{max}$  von mindestens 25 °C zulässt, wurde 2003 und 2015 deutlich überschritten.

Bei der Betrachtung des Hitzeindex (HI) bei Groß- und Mittelstädten zeigte sich, dass in den Jahren 2003 und 2015 jeweils an vier Tage hintereinander der Hitzeindex  $> 40$  in der Region Süd vorlag. Diese Tage mit Hitzeindex traten im Zuge der Hitzewellen auf, für welche zeitgleich eine hohe Exzess Mortalität aufgetreten war. Aufgrund der niedrigeren Tageshöchstwerte ( $T_{max}$ ) der Region Nord wurde generell nur selten das Kriterium für den Hitzeindex erfüllt und auch an den Tagen der Hitzewellen mit hoher Exzess Mortalität kam es 2003 zu keinem HI von 40 und 2015 zu lediglich einem Tag mit diesem Wert.

Die in dieser vergleichenden Betrachtung einbezogenen Belastungsindikatoren für Hitze sind nach Praktikabilität ausgewählt und deutlich weniger komplex als die vom DWD genutzten Indikatoren für die Hitzewarnung (Matzarakis et al., 2020).

#### **Fazit Indikatoren für Hitzebelastung - Kysely-Tage, Hitzeindex und Tagesmitteltemperatur:**

In die Betrachtungen wurden die Belastungsindikatoren Tagesmitteltemperatur, Kysely-Tage und Hitzeindex einbezogen. Die Tagesmitteltemperatur bezieht sich sowohl auf die Tages- als auch Nacht-Temperaturen und wurde in vielen Arbeiten als einfach zu erhebender und sehr gut mit Gesundheitsindikatoren insbesondere Mortalität übereinstimmender Parameter gesehen (an der Heiden et al., 2020). Die Setzung des jeweiligen Schwellenwertes für gesundheitsrelevante Belastungen kann dabei von der regionalen Adaption abhängig sein und angepasst werden. Kysely-Tage beziehen sich auf die Tagesmaxima und haben einen definierten Schwellenwert, der auch für Hessen als plausibel angesehen werden kann. Der Hitzeindex bezieht die Luftfeuchte mit ein, lässt sich aber nur für recht wenige Tage mit besonders hohen Temperaturen bestimmen und ist in Hessen in der kühleren TRY Region 7 nur selten erreicht worden. Insgesamt ist für die geringe Bevölkerung Hessens die Durchführung regionaler Vergleiche und Betrachtungen begrenzt, wodurch insbesondere der Einfluss des Hitzeindex auf die Mortalität für die begrenzte Zahl an bisher bewertbaren Hitzeperioden nicht befriedigend ist. Die Zuordnung von Tagesmitteltemperaturen über 23 Grad (welche in der HEAT Studie für Gesamthessen als Schwellenwert gewählt wurde) deckt sich insbesondere in Hitzeperioden mit warmen Nächten recht gut mit den Kysely Tagen. In Jahren mit eher kühlen Nächten wie in den Hitzeperioden 2018 und 19 gibt es deutlichere Abweichungen, die insbesondere in den Kleinstädten und Ortschaften deutlich werden, die ja auch überwiegend in der kühleren TRY Region 7 liegen. Hier scheinen in wenigen Situationen die Kysely Tage etwas besser mit Tagen mit Übersterblichkeit übereinzustimmen. Dies dürfte aber durch eine differenziertere Schwellenwert Setzung bei den Tagesmitteltemperaturen mehr als ausgeglichen werden können. Insgesamt zeigt sich die Tagesmitteltemperatur als stabilerer und über die sehr verschiedenen Belastungssituationen in den unterschiedlichen Hitzeperioden besser vergleichbarer Indikator.

Im Jahr 2003 wurde bei der Gruppe Groß- und Mittelstädte während der Hitzewelle im Monat August eine deutlich höhere Exzess Mortalität verzeichnet als bei der Gruppe Kleinstädte und Ortschaften. Diese Beobachtung lässt sich dadurch erklären, dass in diesem Zeitraum der Süden Hessens stärker von Hitze betroffen war als der dünner besiedelte Norden von Hessen. Zusätzlich zur geographisch unterschiedlichen Verteilung der Hitzeeinwirkung, kommt hier der Faktor der versiegelten Fläche zum Tragen, der zu einer stärkeren Aufheizung in Groß- und Mittelstädten führt und zusätzlich die Hitze beispielsweise über den Asphalt längere Zeit speichert und kontinuierlich Wärme abstrahlt. Des Weiteren sorgt eine spärliche Vegetation durch weniger oder ganz fehlende Gärten für einen geringeren Temperatúrausgleich durch Verdunstung.

Im Jahr 2006 wurde das dicht besiedelte Rhein-Main-Gebiet kaum von Hitze betroffen und die Hitze verteilte sich auf vergleichsweise dünner besiedelte Regionen in Ost- und West-Hessen. Dies erklärt, dass trotz mehrerer Hitzewellen im Monat Juli nur an einem einzigen Tag ein geringer Exzess der Mortalität zu beobachten war und dieser Exzess bei Kleinstädten und Ortschaften stärker ausgefallen ist. Die verzeichneten Hitzewellen 2006 hatten für die Region Süd im Vergleich zu der Hitzewelle im Jahr 2003 geringere Tagesmitteltemperaturen sowie niedrigere Tageshöchstwerte der Temperatur vorzuweisen. Um eine deutliche Exzess Mortalität hervorzurufen waren die Temperaturen in der Region Nord im Jahr 2006 während der Hitzewellen im Monat Juli offenbar nicht ausreichend.

Im Jahr 2010 verzeichnete die Region Süd mehr und länger anhaltende Hitzewellen in den Monaten Juni und Juli als in der Region Nord, die nur eine kurze Hitzewelle im Monat Juli aufwies. Folglich wurde bei Groß- und Mittelstädten an mehreren Tagen auch deutlich ein geringer Exzess der Mortalität verzeichnet, wohingegen in Kleinstädten und Ortschaften nur lediglich an zwei Tagen im Monat Juli die Grenze zu einem geringen Exzess knapp überschritten worden ist.

Im Jahr 2015 kam es in den Monaten Juli und August zu mehreren Hitzewellen in der Region Süd. Dies deckt sich mit der Temperaturanomalie, die im Monat Juli besonders den Süden von Deutschland und damit auch Südhessen mit dem Rhein-Main-Gebiet mit heißen Temperaturen getroffen hat. Entgegen der Erwartung, dass ein Effekt bei der Mortalität einen deutlich auf die Region Süd lokalisierten Exzess zeigen müsste, ist es ebenso in der Region Nord zu einem hohen Exzess der Mortalität gekommen. Bemerkenswert ist hierbei, dass es in der Region Nord lediglich zu einer einzigen 4-tägigen kurzen Hitzewelle im Monat Juli gekommen ist, die allerdings eine vergleichbare, sogar tendenziell höhere Exzess Mortalität im Vergleich zur Region Süd zur Folge hatte. Des Weiteren kam es in der Region Nord nur zu einem einzigen Tag mit Hitzeindex größer 40 und keinen weiteren Hitzewellen, im Gegensatz zur Region Süd, bei der eine Vielzahl von Tagen mit Hitzeindex größer 40 und weitere, länger anhaltenden Hitzewellen aufgetreten sind.

Im Jahr 2018 ist es in der Region Süd zu einer langanhaltenden über 18 Tage zusammenhängenden Hitzewelle in den Monaten Juli und August gekommen. Trotz im Durchschnitt hoher Tagesmittelwerttemperaturen und hoher Tageshöchstwerte, ist es während dieser bemerkenswerten Hitzewelle nur an einzelnen Tagen zu einem geringen Exzess der Mortalität gekommen. Hingegen ist in der Region Nord bei kürzerer Hitzewelle und niedrigeren Tagesmittelwert- sowie Tageshöchsttemperaturen die Grenze zu einem geringen Exzess über einen längeren Zeitraum deutlich überschritten worden, mit zusätzlich zwei Tagen, an denen ein moderater Exzess der Mortalität zu verzeichnen war. Dies ist bemerkenswert, da die Region Süd einen geringeren Exzess der Mortalität bei gleichzeitig doppelt so vielen Hitzewellen und um ein Vielfaches länger anhaltenden Hitzewellen zu verzeichnen hatte als die Region Nord. Dieser Trend setzt sich auch im Jahr 2019 fort, da hier ebenfalls auf die Region Süd mehr Hitzewellen entfallen, die gleichzeitig auch länger anhaltend waren und in der Regel höhere Temperaturen mit sich brachten. Im gleichen Jahr entfiel auf die Region Nord lediglich eine kurze Hitzewelle im Juli. Obwohl wiederholt Hitzewellen in der Region Süd von Juni bis August auftraten, sind bei den Groß- und Mittelstädten nicht mehr Tage zu verzeichnen, an denen die Grenze zum Exzess der Mortalität überschritten wurde als bei den Kleinstädten und Ortschaften. Im Gegenteil sind bei der letzteren Gruppe sogar mehr Tage mit geringem Exzess der Mortalität zu verzeichnen gewesen. Seit 2003 scheint sich tendenziell die Ausprägung von Sterbeexzessen bei Hitzeereignissen zu verringern. Dies ist in der Hitzeperiode 2015 und Folgenden augenscheinlich. Bei den eher von geringerer Hitzebelastung betroffenen Kleinstädten und Ortschaften (überwiegend in der TRY-Region 7 gelegen) ist dies nicht erkennbar. Dadurch nehmen die Sterbeexzesse relativ zu den Groß- und Mittelstädten im Verlauf der Beobachtungsjahre zu. Aufgrund der in der TRY-Region 7 insgesamt geringeren Hitzebelastung ist hier auch ein geringerer Schwellenwert anzunehmen, der bei erneuter Berechnung auch zu geringeren Erwartungswerten und damit etwas höheren Exzessen führen würde.

Eine mögliche Erklärung für das Phänomen der Exzess Mortalität von den Groß- und Mittelstädten hin zu der Gruppe der Kleinstädte und Ortschaften kann die Etablierung von Maßnahmen gegen die Auswirkung von Hitze auf die Gesundheit von Bewohnern von Städten sein. Im Fokus waren in den zurückliegenden Jahren die sog. Hitzeinseln in den Städten. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung legen nahe, dass nach den Erkenntnissen über die extremen Auswirkungen der Hitze auf die Mortalität der Menschen 2003, vornehmlich in Städten Lehren gezogen wurden und in der Folge Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung etabliert worden sind. Übereinstimmend war bei einer Evaluation von Maßnahmen zum Schutz der menschlichen Gesundheit bei Hitze, welche sich aus Handlungsempfehlungen zur Erstellung von Hitzeaktionsplänen in Deutschland aus den Jahren 2003 bis 2019 abgeleitet hat, eine starke Betonung von Maßnahmen des Bauwesens und der Städteplanung (70 %) erkennbar. Mit deutlichem Abstand folgten Maßnahmen der Information und Kommunikation (37,4 %) sowie die Beachtung besonders vulnerabler Gruppen (24,2 %) (Blättner et al., 2020). Zusätzlich wurde von Seiten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) begonnen systematisch und konsequent präventiv Hitzewarnungen herauszugeben (Matzarakis et al., 2020) die u.a. direkt an Alten und Pflegeheime gerichtet sind. Wo 2003 noch versiegelte Fläche in Städten ein Faktor war, der erhöhte Mortalität bei Hitzeereignissen in den Städten hervorgerufen hat, ist dies seit dem Jahr 2015 nicht mehr in dem Ausmaß zu beobachten. Im Jahr 2015 ist die Exzess Sterblichkeit im ländlichen Raum vergleichbar mit der Exzess Sterblichkeit in den Städten während Hitzewellen. In den Folgejahren 2018 und 2019 waren Exzesse der Mortalität im ländlichen Raum stärker ausgeprägt als in den Städten. Es ist daher ratsam zu prüfen, wie der Hitzeschutz auf Menschen im ländlichen Raum erweitert werden kann, um die dort lebenden Menschen besser erreichen und vor den negativen Auswirkungen von Hitze schützen zu können.

Ein genereller Trend von sinkender hitzebedingter Mortalität wird nicht nur für Europa, sondern weltweit beobachtet (Sheridan und Allen, 2018). Diese Entwicklung wird zum Teil durch verbesserte bauliche Maßnahmen zum Hitzeschutz und voranschreitende Klimatisierung von Innenräumen erklärt. Aber auch als Folge von Implementierung von Hitzewarnsystemen, Informationen für die Bevölkerung und verbesserten Lebensbedingungen. Doch auch hier wird von einer Fokussierung auf Städte berichtet und eine Untererfassung von ländlichen Räumen sowie der im Freien arbeitenden Bevölkerung beschrieben.

In Anbetracht einer immer älter werdenden Bevölkerung und einer steigenden Belastung durch Hitze im Zuge des Klimawandels besteht aber weiterhin die Gefahr, dass in Zukunft die Vulnerabilität der Bevölkerung bedingt durch Hitze zunimmt (Hajat et al., 2014) und dies auch die urbanen Räume betreffen könnte. Ohne Anpassungsmaßnahmen könnte die hitzebedingte Mortalität künftig aufgrund der weiteren Erwärmung um 129 % ansteigen (Muthers et al., 2010).

### **3.4.3 Demographische Einordnung**

Sterblichkeit durch den Einfluss von Hitzeeinwirkung bei Männern und Frauen hängt stark von der demographischen Zusammensetzung in der Bevölkerung ab. Dellen in der Alterspyramide in der höheren Altersklasse, wie das Geburtentief nach dem ersten Weltkrieg und das Geburtentief während der Wirtschaftskrise um 1932 machen sich auch bei den Hitzetoten bemerkbar.

Demographische Ereignisse wie Weltkriege führten ab dem Jahr 2000 betrachtet zu weniger Männern im hohen Alter, dadurch starben bedingt durch den Frauenüberschuss in der oberen Altersklasse auch gesamt anteilig mehr Frauen durch Hitze. Es sterben überwiegend ältere Menschen durch Hitze und das sind auch bedingt durch die höhere Lebenserwartung anteilig mehr Frauen. Während der Hitzeereignisse im Sommer des Jahres 2018 ist der Abstand der beiden Kurven von Todesfällen bei Männern und Frauen nicht mehr so deutlich wie noch vergleichsweise 2003, da sich im Jahr 2018 der Frauenüberschuss nicht mehr so stark in der höheren Altersgruppe widerspiegelt.

Für eine nähere Betrachtung eines möglichen geschlechtsspezifischen Einflusses von Hitze auf die Sterblichkeit ist eine Standardisierung der Daten nach Alter und Geschlecht ratsam.

Das Sterbealter steigt nicht nur allgemein, sondern auch im Sommer durch bessere Fitness im Alter und verbesserte medizinische Versorgung über die Jahre an. Hitze wird aktuell besser von der höheren Altersgruppe vertragen als noch vor 20 Jahren. An dieser positiven Entwicklung haben wohl mutmaßlich auch die nach 2003 implementierten Hitzeschutzmaßnahmen ihren Anteil.

## 4. Fazit

Im Jahr 2003 waren Großstädte unvorbereitet auf große Hitzeperioden und es kam zu vielen Hitzetoten. In den Jahren danach wurden Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung gegen Hitze umgesetzt. Diese Entwicklung hat mutmaßlich dazu beigetragen im Umfeld Stadt die relative Vulnerabilität zu reduzieren. Im ländlichen Raum ist dieser positive Trend nicht derartig vergleichbar zu den Städten zu beobachten. Zudem liegt ein Großteil des ländlichen Raumes in Hessen in der weniger durch Hitze belasteten TRY-Region 7 und hat dadurch vermutlich weniger Adaption an Hitzebedingungen erfahren. Dies kann bei einem landesweit einheitlich genutzten Schwellenwert und einem eher konservativen Erwartungswert zu einer Unterschätzung der hitzebedingten Gesundheitsschäden in dieser Situation beitragen. In den Hitzeperioden ab 2015 sind die Mortalitäts erhöhungen in den Kleinstädten und Ortschaften mit denen in Groß- und Mittelstädten vergleichbar. Da sich Unsicherheiten z.B. durch regionale Unterschiede, kleine Klassengrößen bei stratifizierten Auswertungen und Unsicherheiten bei der Trendanpassung bei beiden Gruppen auswirken, ist diese Beobachtung valide. Eine weitere Beobachtung dieses Trends ist insbesondere im Zuge der erwarteten weiteren Temperaturerhöhungen und demographischen Veränderungen dringlich. Weitere Verbesserungen der hier angewendeten Verfahren zur Evaluation werden angestrebt.

### Anmerkung

Die vorliegende HEAT II Folgestudie wurde finanziert durch Mittel des Fachzentrums Klimawandel und Anpassung im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie.

Die Autoren bedanken sich beim Hessischen Statistischen Landesamt, dem Deutschen Wetterdienst und dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie für die Bereitstellung von Daten. Des Weiteren gilt ein Dank der Hochschule Fulda in Person von Herrn Hendrik Siebert für die geleistete Vorarbeit im Projekt HEAT II und für die Unterstützung bei der Erarbeitung des RStudio basierten Algorithmus für die Auswertung der Daten.

## Quellenverzeichnis

- an der Heiden, M., Muthers, S., Niemann, H., Buchholz, U., Grabenhenrich, L., Matzarakis, A. (2020): *Heat-related mortality—an analysis of the impact of heatwaves in Germany between 1992 and 2017*. Dtsch Arztebl Int; 117: 603–9. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0603
- Blättner, B., Janson, D., Roth, A., Grewe, H.A., Mücke, H.-G. (2020): *Gesundheitsschutz bei Hitzeextremen in Deutschland: Was wird in Ländern und Kommunen bisher unternommen?* Bundesgesundheitsbl 63:1013-1019. <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03189-6>
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse*. 2014.
- Green, H.K., Andrews, N., Armstrong, B., Bickler, G. et al. (2016): *Mortality During the 2013 Heatwave in England – How Did It Compare to Previous Heatwaves? A Retrospective Observational Study*. Environ Res 147: 343–349.
- Grewe, H.A., Blättner, B., Heckenhahn, S. (2012): *Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung (HEAT)*. Abschlussbericht, Hochschule Fulda: Fulda.
- Grewe, H.A., Blättner, B., Uphoff, H., Siebert, H. (2017): *Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen (HEAT II)*. Abschlussbericht, Hochschule Fulda: Fulda.
- Hajat, S., Vardoulakis, S., Heaviside, C., Eggen, B. (2014): *Climate change effects on human health: projections of temperature-related mortality for the UK during the 2020s, 2050s and 2080s*. J. Epidemiol. Community Health 68 641-8
- Heudorf, U., Schade, M. (2014): *Heat waves and mortality in Frankfurt am Main, Germany, 2003-2013: what effect do heat-health action plans and the heat warning system have?* Z Gerontol Geriatr 47(6): 475–482.
- Kysely, J. (2004): *Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic*. Int J Biometeorol (49): 91-97.
- Martínez-Solanas, È, Basagaña, X. (2019): *Temporal changes in temperature-related mortality in Spain and effect of the implementation of a Heat Health Prevention Plan*. Environ Res 169: 102–113.
- Matzarakis, A., Laschewski, G., Muthers, S., (2020): *The Heat Health Warning System in Germany—Application and Warnings for 2005 to 2019*. Atmosphere 11: 170, 1-13.
- Muthers, S., Matzarakis, A., Koch, E. (2010): *Climate change and mortality in Vienna - a human biometeorological analysis based on regional climate modelling*. Int. J. Environ. Res. Public Health 7 2965-77
- Muthers, S., Laschewski, G., Matzarakis, A. (2017): *The summers 2003 and 2015 in South-West Germany: heat waves and heat-related mortality in the context of climate change*. Atmosphere (Basel) 8:224
- Niebuhr, D., Siebert, H., Grewe, H.A. (2021): *Die Wirksamkeit von Hitzeaktionsplänen in Europa*. UMID Nr.1/2021
- Robine, J-M., Cheung, S.L.K., LeRoy Setal (2008): *Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003*. C R Biol331:171–178

Rothfus, L.P. (1990): *The heat index equation*. NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23, Fort Worth/Texas.

RStudio Team (2020): *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.

Steadman, R.G., (1979): *The Assessment of Sultriness*. Part I: *A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science*. In: *J. Appl. Meteor.* 18, S. 861–873

Sheridan, S.C. and Allen, M.J. (2018): *Temporal trends in human vulnerability to excessive heat*. *Environ. Res. Lett.* **13** 043001

Steul, K., Schade, M., Heudorf, U. (2018): *Mortality during heatwaves 2003–2015 in Frankfurt-Main—the 2003 heatwave and its implications*. *Int J Hyg Environ Health*; 221: 81–6

World Health Organisation, *Heat Health Action Plans. Guidance*. 2008.

Temperatur Anomalie Karten des Deutschen Wetterdienstes (DWD):  
[https://www.dwd.de/DE/leistungen/rcccm/int/rcccm\\_int\\_ttt.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/rcccm/int/rcccm_int_ttt.html)