



Hochschule Fulda  
Fachbereich Pflege und Gesundheit  
Leipziger Str. 123  
36037 Fulda  
Tel: 0661 9640-600 (Sekretariat)  
Fax: 0661 9640-649

## **Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen**

### **(HEAT II)**

- Schlussbericht -

**Laufzeit:** 01.11.2014 – 31.10.2016 (kostenneutrale Laufzeitverlängerung: bis 10/2017)

**Berichtszeitraum:** 11/2014 – 10/2017

**Projektleitung:**

Prof. Dr. Henny Annette Grewe (Ansprechpartnerin, [Henny.A.Grewe@pg.hs-fulda.de](mailto:Henny.A.Grewe@pg.hs-fulda.de))

Prof. Dr. Beate Blättner

Dr. Helmut Uphoff (Ansprechpartner, [Helmut.Uphoff@hlpug.hessen.de](mailto:Helmut.Uphoff@hlpug.hessen.de))

**Projektbearbeitung:**

Hendrik Siebert, M.Sc. Public Health

[hendrik.siebert@pg.hs-fulda.de](mailto:hendrik.siebert@pg.hs-fulda.de)

**Unter Mitarbeit von:**

Caroline Wöhl, B.Sc. Gesundheitsmanagement

Sven Rohleder, B.Sc. Gesundheitsförderung

Wir danken Herrn Werner Hofmann (Dipl. Soz. Wiss.), Hochschule Fulda, für seine fortgesetzte kompetente Beratung zu statistischen Fragen.

**Auftraggeber:**

Fachzentrum Klimawandel Hessen im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

**Projektbetreuung:**

Fachzentrum Klimawandel Hessen

Fulda, Oktober 2017

## Zusammenfassung

Angestoßen durch die Hitzewelle im Jahre 2003 und die damit einhergehende Übersterblichkeit insbesondere bei älteren Menschen wurden in zahlreichen europäischen Ländern Hitze-Warnsysteme installiert, welche anteilig auch Systeme der epidemiologischen Surveillance hitzebedingter Gesundheitsfolgen umfassen. Deutschland verfügt derzeit nicht über ein vergleichbares System. Das Projekt „Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen“ (HEAT II) hat zum Ziel, auf der Basis empirischer Daten und unter Rückgriff auf die Erfahrungen anderer europäischer Länder und Initiativen ein System der kontinuierlichen Dauerbeobachtung hitzebedingter Mortalität in Hessen zu entwickeln und den Routinebetrieb vorzubereiten. Der vorliegende Bericht stellt die Methodik sowie die Ergebnisse des Projektes HEAT II vor.

Im ersten Arbeitspaket wurden Charakteristika bereits existierender Surveillance-Systeme und die Voraussetzungen zu deren Betrieb im Rahmen einer systematischen Aufbereitung der verfügbaren Literatur identifiziert. Die identifizierten Verfahren unterscheiden sich deutlich hinsichtlich Methodik und Organisation. Wie sich zeigte, sind eine zeitnahe Verfügbarkeit der erforderlichen Daten, eine institutionell geregelte Datenflussstruktur sowie auf die jeweiligen Kontextbedingungen des Landes abgestimmte Auswertungsroutinen Kernelemente für den Betrieb eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität. Zentral ist die Berechnung der Anzahl an Exzesssterbefällen durch einen formalen Vergleich der typischerweise zu erwartenden mit der empirisch tatsächlich beobachteten Fallzahl. Darüber hinaus existiert mit dem EURO-MOMO Projekt eine auch in methodischer Hinsicht maßgebliche Initiative, deren Ziel es ist, das Mortalitätsgeschehen in Europa durch die Zusammenführung von Daten teilnehmender Länder mit besonderem Augenmerk auf Influenza-Aktivität und klimatische Bedingungen auszuwerten.

Das zweite Arbeitspaket umfasste die Aufbereitung von Daten zu Sterbegeschehen und Temperatur in Hessen im Zeitverlauf sowie die Analyse potenzieller Zusammenhänge. In einer Zeitreihendarstellung der Jahre 2000 bis 2012 kann für die hessischen Sterbedaten der typische, wellenförmige Verlauf mit hoher Sterblichkeit in den Wintermonaten, ab- bzw. zunehmender Sterblichkeit im Frühling und Herbst sowie einer relativ geringen Sterblichkeit während der Sommermonate gezeigt werden. Dieses Muster zeichnet sich vor allem bei älteren Personen ab und ist für jüngere Altersgruppen (0-14 Jahre) kaum reproduzierbar. Insgesamt treten die Jahre 2003, 2006, 2010 sowie 2012 hervor, in denen es während des Sommers zu starken, zeitlich begrenzten Anstiegen der Sterblichkeit in Hessen kam. Die grafische Aufbereitung sowie eine formale Prüfung legen einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Anzahl an Sterbefällen nahe. In einer ersten Näherung wurde die Anzahl der zu

erwartenden Sterbefälle auf der Basis von Referenzperioden jeweils fünfjähriger Zeitreihen von Sterbedaten geschätzt. Als formales Exzesskriterium wurde die Summe aus den täglichen Erwartungswerten und dem Zweifachen der Standardabweichung definiert. Dabei wurde deutlich, dass Mortalitätsexzesse von der Größenordnung des Sommers im Jahre 2003 einen erheblich verzerrenden Einfluss auf die Schätzung der zu erwartenden Fälle haben und daher die formale Bereinigung dieser Schätzung erforderlich machten. Ein Bereinigungsverfahren wurde entwickelt, mit dessen Hilfe der verzerrende Einfluss vergangener Hitzeperioden beseitigt werden konnte. Um die Attribuierbarkeit der detektierten Exzessfälle zu Hitzeexpositionen zu verbessern, wurde das Exzesskriterium um eine Temperaturschwelle von 23°C Tagesmitteltemperatur erweitert, so dass nur noch Exzesssterbefälle gezählt werden, die an Tagen detektiert wurden, an denen die Temperaturschwelle überschritten wurde. Auf diese Weise konnten für Hessen während einer Dauer von acht Jahren insgesamt 268 hitzeassoziierte Exzesssterbefälle beobachtet werden, die sich auf 21 Tage verteilen. Darüber hinaus wurde eine Regionalisierung auf der Basis von Test-Referenzjahren vorgenommen, die Hessen in eine Region NORD und eine Region SÜD unterteilt. Beide Regionen zusammen repräsentieren rund 40 Prozent der hessischen Bevölkerung. Für die nördliche Region wurden in den Jahren 2005 bis 2012 zehn Exzesstage mit insgesamt 44 Fällen detektiert. Die Region SÜD zeigte an 15 Exzesstagen insgesamt 67 mit Hitze assoziierte Sterbefälle.

Mit dem in HEAT II entwickelten Ansatz wurden die Grundlagen für ein Surveillance-System geschaffen, dessen pragmatische Ausrichtung ein hohes Maß an Praktikabilität für diejenige Institution mit sich bringt, die dieses Verfahren verantwortlich umsetzen wird. Darüber hinaus sind die Methoden auch der interessierten Laienöffentlichkeit gut vermittelbar, so dass eine hohe Akzeptanz der Ergebnisse in der Bevölkerung unterstellt werden kann. Damit kann das Surveillance-System ein weiteres Teilstück im Prozess der Fortentwicklung des hessischen Hitzewarnsystems zu einem umfassenden Hitze-Aktionsplan sein. Perspektivisch wird auch das Verfahren selbst Anpassungen im Rahmen kontinuierlicher Evaluation unter Berücksichtigung sozio-demografischer und klimatischer Trends erfahren.

---

## Summary

As a consequence of the excess number of deaths especially seen in the elderly population associated with the heat wave in 2003 many European countries established heat-health watch-warning systems some of which run surveillance systems to assess the health burdens related to heat stress. In Germany there is no such surveillance system in operation to date. The goal of the project called “Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen” (HEAT II) is to establish a surveillance system to collect and analyse information on heat related mortality based on both empirical evidence and the experiences other countries have made with their specific approaches. This report presents the methods and results of HEAT II.

A systematic literature search was conducted to identify the main characteristics of existing surveillance systems and to summarize requirements to successfully operate such systems. The systems found were heterogeneous in terms of methods and organizational structures. From a synopsis of the relevant literature three core requirements could be derived: first, mortality and temperature data must be readily available; secondly, the data must be transmitted in a well organized manner embedded in a standardized transmission structure and thirdly, the systems algorithm must be tailored to the given climatic and demographic context of the country. Crucial for calculating the number of excess deaths is to mathematically compare the number of expected with the number of observed deaths on a given day. The well recognized EURO-MOMO project started operating in 2009 as an initiative of several European countries and since then has collected and analysed mortality data from those countries to provide a methodologically sound overview of excess mortality associated with communicable diseases (e.g. influenza) and environmental exposures (e.g. heat waves) at the European level.

In the next step mortality and temperature data from Hesse were used to analyse associations. Based on time series data from the years 2000 to 2012 a typical wave-like mortality distribution could be shown with high rates of mortality during meteorological winter, decreasing and increasing rates during spring and autumn respectively and relatively low rates in summer. This pattern was observed especially in the elderly population but could barely be reproduced in the young and very young (< 15 years of age). Overall, the years 2003, 2006, 2010 and 2012 appear to show substantial peaks in the mortality distribution. The results support the assumption of a non-linear relationship between the number of deaths and ambient temperature.

In a first attempt a five-year reference period was used to estimate the expected number of deaths. The sum of the expected number of deaths on a given day and twice the value of its standard deviation was

---

used as a formal excess criterion. As assumed, mortality crises like that of summer 2003 will artificially increase the number of expected deaths and thus will lead to an underestimation of the number of excess deaths. To eliminate this potential source of bias a mathematically simple but methodologically acceptable approach was developed adjusting for the effect of such mortality crises in former years.

To make sure the algorithm will detect only excess deaths that are closely attributed to the exposition to hot ambient temperatures, a temperature threshold (23 °C) was added to the afore-mentioned excess criterion. Excess deaths will only be counted as such if the temperature on a given day exceeds this threshold. Based on this approach, 268 excess deaths in total were observed in Hesse during the eight years from 2005 to 2012, distributed over 21 excess days. In addition, based on test reference years the state of Hesse was split into two distinct regions (region NORD and region SÜD) which represent approximately 40 percent of the population in Hesse. There were 44 cases of excess deaths detected on 21 excess days (region NORD) and 67 excess deaths during 15 excess days (region SÜD) respectively.

HEAT II has developed the foundations for a surveillance system to observe heat related mortality which is pragmatic and simple and which will ensure high practicability for the institution in charge of operating and maintaining the system. Furthermore, the methods used in HEAT II can relatively easy be understood by lay public so that the results produced are assumed to achieve high acceptance. The surveillance of heat related mortality therefore will serve as a further step in progressing towards developing the existing heat-health warning system in Hesse into a comprehensive heat-health-action-plan. The surveillance system itself will continually need to be evaluated and to be adapted according to demographic trends and climate change.

---



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Problemstellung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Vorhabenbeschreibung</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Arbeitspaket 1: Systematische Literaturlaufbereitung</b> .....	<b>6</b>
3.1	Hintergrund und Zielsetzung .....	6
3.2	Methodisches Vorgehen .....	6
3.3	Ergebnisse .....	7
3.3.1	EURO-MOMO.....	8
3.3.2	Surveillance/Monitoring in europäischen Ländern .....	15
3.3.3	Definition und Operationalisierung von Klima- und Mortalitätskriterien .....	26
3.4	Zusammenfassung .....	31
<b>4</b>	<b>Arbeitspaket 2: Analyse der Sterbe- und Temperaturdaten</b> .....	<b>33</b>
4.1	Hintergrund und Zielsetzung .....	33
4.2	Methodisches Vorgehen .....	33
4.2.1	Datenherkunft .....	33
4.2.2	Datenaufbereitung .....	33
4.2.3	Datenanalyse .....	35
4.3	Ergebnisse .....	37
4.3.1	Sterblichkeit in Hessen .....	37
4.3.2	Temperatur .....	48
4.3.3	Zusammenhang zwischen Sterbefällen und Temperatur .....	49
4.3.4	Zeitbezug zwischen Temperatur und Sterbeereignis .....	55
4.4	Erste Exzessabschätzung .....	58
4.5	Zusammenfassung .....	60
<b>5</b>	<b>Arbeitspaket 3: Verbesserung der Exzessabschätzung</b> .....	<b>62</b>
5.1	Hintergrund und Zielsetzung .....	62
5.2	Methodisches Vorgehen .....	64

5.3 Ergebnisse .....	65
5.3.1 Exzesssterbefälle .....	65
5.3.2 Vulnerable Bevölkerungsgruppen .....	71
5.4 Einbezug der Temperatur als Teil des Exzesskriteriums .....	75
5.5 Zusammenfassung .....	78
6 Arbeitspaket 4: Regionalisierung der Mortalitätssurveillance .....	80
6.1 Hintergrund und Zielsetzung .....	80
6.2 Methodisches Vorgehen .....	80
6.2.1 Auswahl der Auswertungsregionen.....	80
6.2.2 Regionalisierte Exzessabschätzung.....	82
6.3 Ergebnisse .....	83
6.4 Zusammenfassung .....	85
7 Anforderungen an die Datenverfügbarkeit.....	86
7.1 Beschreibung des Minimaldatensatzes .....	86
7.2 Datenverfügbarkeit.....	88
7.2.1 Derzeitiger Stand und antizipierte Probleme der aktuellen Datenflussstruktur.....	88
7.2.2 Abschätzung der Möglichkeiten einer Datenerhebung bei dem derzeitigen Verfahren .	89
8 Bewertung und Diskussion der Ergebnisse .....	91
9 Fazit.....	100
Abbildungsverzeichnis.....	102
Tabellenverzeichnis.....	105
Quellenverzeichnis .....	106
ANHANG .....	110
ANHANG A: Kriterien für Literaturselektion, Monitoring Verfahren .....	110
ANHANG B: Suchverläufe .....	111
ANHANG C: Flussdiagramm zur Literaturselektion.....	112

<b>ANHANG D: Publikationshäufigkeit zu Hitze und Mortalität in Medline (PubMed), 1973 – 2014 ..</b>	<b>113</b>
<b>ANHANG E: MOMO Status europäischer Länder und Kontaktinformationen (Stand 2015) .....</b>	<b>114</b>
<b>ANHANG F: Sterbefälle bei Männern nach Alter und Jahr, 2000 – 2012 .....</b>	<b>116</b>
<b>ANHANG G: Sterbefälle bei Frauen nach Alter und Jahr, 2000 – 2012 .....</b>	<b>117</b>
<b>ANHANG H: Sterbefälle nach Geschlecht und Alter, 2000 – 2012.....</b>	<b>118</b>
<b>ANHANG I: Sterbefälle nach Jahr und Monat, beide Geschlechter .....</b>	<b>119</b>
<b>ANHANG J: TRY-Regionen in Deutschland und Hessen .....</b>	<b>120</b>
<b>ANHANG K: Detektierte Exzesstage und -fälle, Auswertung REGION NORD, basierend auf Bereinigung mit 22 °C.....</b>	<b>121</b>
<b>ANHANG L: Detektierte Exzesstage und -fälle, REGION SÜD, basierend auf Bereinigung mit 23,5 °C .....</b>	<b>122</b>
<b>Anhang M: Screen-Shots der Auswertungsdatei in Microsoft Excel .....</b>	<b>123</b>

# 1 Problemstellung

Im Jahre 2003 wurde Westeuropa von einer Hitzewelle von ungewöhnlich langer Dauer und hoher Intensität getroffen. Die Extremwetterperiode traf fast alle europäischen Länder nahezu unvorbereitet und die Folgen für die Gesundheit der Bevölkerung waren erheblich. Eine Analyse der Ereignisse in 16 betroffenen Ländern beziffert die Anzahl der im Vergleich zu einer Referenzperiode (1998–2002) beobachteten zusätzlichen Sterbefälle während der Sommermonate des Jahres 2003 mit rund 70.000 [13].

Als Reaktion auf diese Erfahrungen entwickelten zahlreiche Länder nationale Strategiepläne zur Anpassung an die sich verändernden klimatischen Bedingungen. Obschon die Erfassung und Aufbereitung von Sterbefällen in allen europäischen Ländern obligate Bestandteile der amtlichen Statistik und Gesundheitsberichterstattung sind, ist eine Surveillance der Mortalität bislang selten [2, 14] und nur unregelmäßig Bestandteil existierender Hitzewarnsysteme [15].

In dem in den Jahren 2009 - 2010 von der Hochschule Fulda im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) durchgeführten Projekt ‚Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung‘ (HEAT) wurden die Voraussetzungen und notwendigen Bestandteile eines Maßnahmenplans geprüft, der über das im Land Hessen existierende Hitzewarnsystem hinausgeht [15]. Eine zentrale Empfehlung der Wissenschaftler\*innen war die Entwicklung eines Surveillance-Systems, mit dessen Hilfe hitzeassoziierte Gesundheitsfolgen analysiert werden können. Diese Schlussfolgerung ist konform mit den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO), nach denen ein System für die Echtzeitüberwachung gesundheitlicher Indikatoren, darunter auch die Gesamtmortalität, obligater Bestandteil nationaler Hitzeaktionspläne sein sollte [16].

Die Entwicklung und Implementierung eines Surveillance-Systems, das statistisch verlässliche Schätzungen der hitzeassoziierten Exzessmortalität zeitnah zur Verfügung stellt, ist Gegenstand im Folgeprojekt ‚Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung Hitze bedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung: Etablierung eines Surveillance-Systems für hitzebedingte Mortalität in Hessen (HEAT II)‘.

## 2 Vorhabenbeschreibung

Das Projekt HEAT II hat zum Ziel, ein Surveillance-System zu entwickeln, das eine Abschätzung der Einflüsse von Hitzeereignissen auf die Sterblichkeit im Land Hessen erlaubt. Folgende Erwartungen werden dabei an das Surveillance-System gerichtet:

1. Die Abschätzung der Exzessmortalität soll möglichst zeitnah erfolgen. Die schnelle Verfügbarkeit eines Signals noch während eines andauernden Hitzeereignisses soll zu einer zusätzlichen Sensibilisierung relevanter Akteure und zum Schutz hitzesensitiver Bevölkerungsgruppen beitragen.
2. Die Schätzung von Sterbeexzessen soll möglichst tagesgenau erfolgen. Die Auswertung mit tagesgenauen Daten soll differenziertere Aussagen über den Verlauf hitzeassoziierter Sterblichkeit erlauben.
3. Die Schätzung von Sterbeexzessen soll routinemäßig erfolgen. Eine systematische Dauerbeobachtung, insbesondere in den Sommermonaten, soll die Bereitstellung verlässlicher Informationen zu hitzebedingten Gesundheitsrisiken sicherstellen.

Das Projekt HEAT II ist in vier Arbeitspakete unterteilt:

1. Das erste Arbeitspaket umfasst die Aufbereitung verfügbarer Informationen zu existierenden Surveillance-Systemen hitzebedingter Mortalität in Europa.
2. Das zweite Arbeitspaket beinhaltet die Analyse der für Hessen verfügbaren Sterbedaten mit einer Abschätzung der Exzesssterbefälle sowie die Analyse klimatischer Daten, insbesondere der Temperatur, und der Korrelation mit (Exzess-)Sterbefällen.
3. Das dritte Arbeitspaket umfasst die Verbesserung der Exzess-Schätzung durch statistische Bereinigung der Basislinienschätzung.
4. Das vierte Arbeitspaket beinhaltet schließlich die kriteriengestützte Definition geeigneter Auswerteregionen sowie die abschließende Vorbereitung der Überführung des Verfahrens in den Routinebetrieb in Hessen.

### 3 Arbeitspaket 1: Systematische Literaturlaufbereitung

#### 3.1 Hintergrund und Zielsetzung

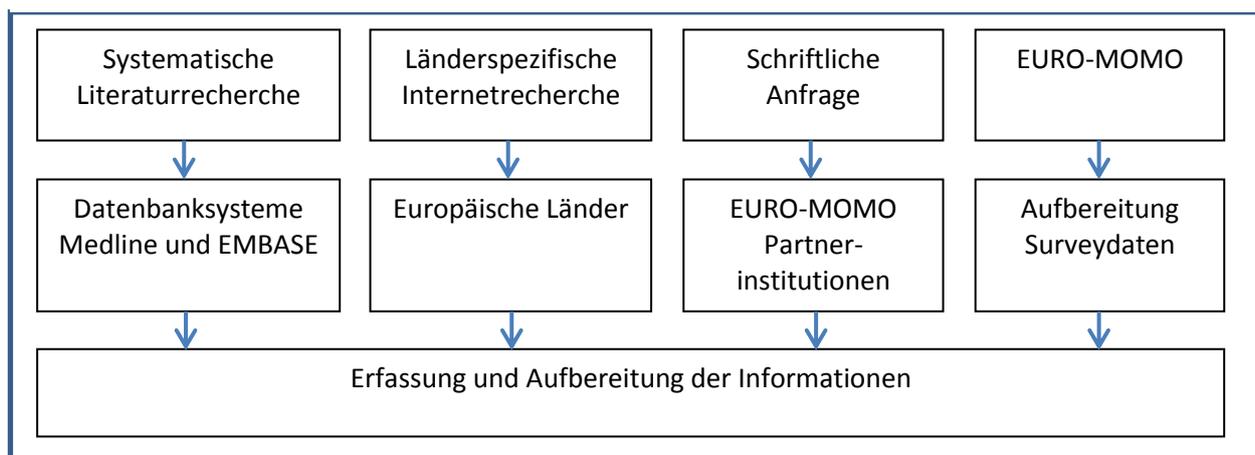
Das Ziel des ersten Arbeitspaketes (11/2014 - 04/2015) war die systematische Aufbereitung verfügbarer Informationen zu existierenden Surveillance- bzw. Monitoring-Verfahren, die das Ziel haben hitzeassoziierte Gesundheitsrisiken mit einem besonderen Fokus auf Mortalität zu analysieren. Erwartet wurden Erkenntnisse zu zentralen Charakteristika sowie Bedingungen, die für die Entwicklung und Durchführung von Systemen zur Dauerbeobachtung hitzeassoziiierter Sterblichkeit notwendig erscheinen.

Die Aufbereitung sollte dabei unter expliziter Berücksichtigung der Ergebnisse des europäischen Projektes ‚European Monitoring of Excess Mortality for Public Health Action‘ (EURO-MOMO) und der Ergebnisse einer retrospektiven Analyse des Robert-Koch Instituts (RKI) über die Zusammenhänge zwischen klimatischen Bedingungen und Sterblichkeit erfolgen. Im Rahmen der Bearbeitung stellte sich heraus, dass die Analyse des RKIs zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes ausgesetzt war und daher nicht berücksichtigt werden konnte.

#### 3.2 Methodisches Vorgehen

Das Vorgehen für die Gewinnung von Informationen zu bereits existierenden Monitoring/Surveillance-Verfahren ist in Abbildung 1 zusammengefasst.

**Abbildung 1: Methodisches Vorgehen zur Informationsgewinnung über existierende Monitoring/Surveillance-Verfahren**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Das Vorgehen umfasste im Einzelnen

- die standardisierte Internetrecherche nach entsprechenden Verfahren in europäischen Ländern, unabhängig von deren Teilnahme am EURO-MOMO Projekt,
- die Aufbereitung eines im Rahmen des EURO-MOMO Projektes durchgeführten Surveys zur Erfassung existierender Verfahren sowie
- die schriftliche Anfrage (per E-Mail) bei den Landesinstitutionen, die die am EURO-MOMO Projekt teilnehmenden Länder repräsentieren. Die Anfrage umfasste Fragen zur Existenz eines einschlägigen Monitoring-/Surveillance-Systems sowie die Bitte um Hinweise auf relevante Literatur zu den methodischen Elementen bzw. die Benennung weiterer Kontaktpersonen.

Darüber hinaus wurde eine systematische Literaturrecherche (Februar 2015) in den elektronischen Datenbanken Medline (PubMed) und EMBASE (Elsevier) durchgeführt.

Der Ableitung der Suchbegriffe für die zentrale Komponente der Suchstrategie wurde eine international etablierte Definition des Begriffs *Mortalitäts-Monitoring* zugrunde gelegt: Demnach kann ein Mortalitäts-Monitoring definiert werden als “[...] *ongoing, systematic and timely collection, collation, analysis and interpretation of mortality data for public health, as well as the dissemination of information in order to take public health action*” [17]<sup>1</sup>.

Die Selektion relevanter Literatur wurde dabei auf Verfahren aus europäischen Ländern begrenzt, um die Heterogenität der klimatischen, ökologischen und demografischen Kontextbedingungen möglichst gering zu halten. Literatur wurde eingeschlossen, die Verfahren der Dauerbeobachtung im Sinne eines populationsbezogenen Monitorings bzw. Surveillance beschreibt.

Literatur wurde dagegen nicht berücksichtigt, wenn sie die Ergebnisse einzelner Analysen zur Schätzung hitzeassoziierter Übersterblichkeit berichtet und diese nicht mittels eines populationsbezogenen Monitoring/Surveillance-Systems zustande gekommen sind. Die Suchstrategie enthält demnach Suchbegriffe, die den drei Komponenten *Klima*, *System* und *Zielkriterium* zugeordnet werden können.

### 3.3 Ergebnisse

Die systematische Recherche identifizierte insgesamt  $n = 2.755$  Literaturstellen. Davon wurden nach Entfernung redundanter Treffer  $n = 1.732$  Publikationen einem ersten Selektionsprozess unterzogen.

---

<sup>1</sup> Zugleich wurde auch der Begriff ‚Surveillance‘ als Suchkriterium zur Umsetzung dieser Komponente verwendet. Dies ist zum einen mit der auch international nicht immer trennscharfen Begriffsverwendung und zum anderen mit der Tatsache zu rechtfertigen, dass die Erfassung der Charakteristika beider Varianten epidemiologischer Dauerbeobachtung informativ für die Entwicklung eines Surveillance-Systems sein könnte. Bei weitgehend vergleichbarer methodischer Anlage unterscheiden sich Surveillance-Verfahren von Monitoring-Verfahren vor allem durch die Kontinuität einer nicht anlassbezogenen Dauerbeobachtung epidemiologischer Geschehen.

Nach Ausschluss von n = 1.715 eindeutig als nicht relevant bewerteten Literaturstellen wurden 17 Volltexte beschafft und einem zweiten Selektionsprozess unterzogen. Daraus wurden schließlich fünf Publikationen zu vier existierenden Verfahren aus Frankreich, Belgien, dem Vereinigten Königreich sowie Portugal eingeschlossen.

### 3.3.1 EURO-MOMO

EURO-MOMO (2008 - 2011) hatte zum Ziel, eine zeitnahe und valide Schätzung der Exzesssterbefälle, unter anderem verursacht durch Influenza-Aktivität und für die Bevölkerungsgesundheit relevante Ereignisse wie Hitze- und Kälteperioden, auf europäischer Ebene zu ermöglichen [18]. Dadurch sollte die bis dahin nicht gegebene Möglichkeit geschaffen werden, den Einfluss gesundheitsrelevanter Ereignisse auf die Gesamtmortalität frühzeitig zu erkennen und, unter Berücksichtigung geografischer Verteilungsmuster im Rahmen länderspezifischer Analysen, ein Signal für die Etablierung von Public-Health Maßnahmen zu ermöglichen. Seit dem Jahre 2009 erlaubt das Projekt eine Schätzung der Exzessmortalität für teilnehmende europäische Länder, die die Minimalanforderungen an die Aufbereitung und den zeitnahen Transfer der erforderlichen Datenmengen erfüllen. An der Entwicklung des EURO-MOMO Verfahrens war Deutschland, vertreten durch das Robert Koch-Institut (RKI) sowie das Hessische Landesprüfungs- und Untersuchungsamt im Gesundheitswesen (HLPUG), beteiligt. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung nahm Deutschland allerdings nicht am Datenaustauschverfahren teil. Von den derzeit 26<sup>2</sup> europäischen Partnerländern liefern bis zu 17<sup>3</sup> Länder/Regionen Daten an EURO-MOMO [7].

Im Rahmen der Entwicklung von EURO-MOMO wurden vier elementare Kategorien definiert, die für die Entwicklung und den Betrieb eines Monitoring/Surveillance-Systems ausschlaggebend sind. Diese Kategorien sind *Funktionen*, *Attribute*, *Potenziale* und *Anforderungen* [19]. Demnach soll ein solches System ein epidemiologisch relevantes Geschehen beobachten und die informationelle Grundlage für Entscheidungsprozesse bereitstellen, den Austausch eines Signals im Sinne einer Alarmierung auch zwischen Institutionen und Akteursgruppen sicherstellen sowie eine adäquate Risikokommunikation gewährleisten können (*Funktionen*). Eines der wesentlichen *Attribute* eines solchen Systems ist die relative Einfachheit (simplicity) der angewendeten Methoden und statistischen Verfahren, insbesondere im Hinblick auf die Umsetzbarkeit auf nationaler Ebene und die Nutzbarkeit der Ergebnisse durch relevante Entscheidungsträger. Das System sollte auf Daten von hoher Qualität zurückgreifen können.

---

<sup>2</sup> inkl. Vereinigtes Königreich

<sup>3</sup> einige Länder liefern unregelmäßig Daten

Zu den *Potenzialen* zählen die frühzeitige Detektion relevanter Ereignisse und die Abbildung alters- und geschlechtsdifferenzierter regionaler Trendverläufe der Gesamtsterblichkeit. Zuletzt sollen durch die Definition von *Anforderungen* grundlegende Elemente in der Entwicklung und im Betrieb eines solchen Systems auf der Input- und der Outputseite beschrieben werden [19].

### **Anforderungen an Surveillance-Systeme**

Angesichts der heterogenen Datenflusswege und EDV-technischen Infrastruktur in den einzelnen europäischen Ländern [10] wurden, gründend in den Erfahrungen zu bereits existierenden Monitoringverfahren [1, 2] sowie basierend auf Expertenkonsens, Anforderungen für die Teilnahme an der Datenauswertung im Rahmen von EURO-MOMO formuliert [19]. Grundlegende Anforderungen umfassen Elemente, die für die Grundfunktionalität eines Surveillance-Systems notwendig sind und deren relativ einfache Umsetzbarkeit auf nationaler Ebene erwartet werden kann. Die erweiterten Anforderungen sind demgegenüber potenzielle Bestandteile eines im Vergleich dazu stärker elaborierten Systems [19]. Tabelle 1 dokumentiert diese Anforderungen. Diese bestehen aus einer Struktur- und einer Datenkomponente und sind zugleich in eine Input- und Outputseite differenziert. Die Strukturkomponente umfasst Mindestanforderungen, die, neben den grundlegenden EDV-technischen Kapazitäten zum Management großer Datenmengen, die Bereitstellung personeller Ressourcen zur Unterhaltung des Systems sowie zur Etablierung von Strukturen zur Risikobewertung beinhalten. In deren Rahmen soll eine interdisziplinäre Bewertung eines für die Bevölkerung bestehenden potenziellen Risikos durch einen organisierten und zeitnahen Austausch erfolgen. Die Datenkomponente fasst die Anforderungen auf der Inputseite für die Entwicklung eines Basismodells sowie eines im Vergleich dazu elaborierteren Modells zusammen [19]. Letzteres ist gegenüber dem Basismodell durch einen höheren Detaillierungsgrad der für die Schätzung der Exzesssterbefälle verwendeten Daten sowie weitere Modelloptionen<sup>4</sup> gekennzeichnet. Die Inputseite weist die Elemente aus, die in die Entwicklung und den Unterhalt des Verfahrens investiert werden müssen. Die Outputseite dokumentiert die Anforderungen an das Ausmaß der Differenzierung der Ergebnisse nach relevanten Variablen (Alter, Geschlecht, Region) sowie deren Weiterverarbeitung im Rahmen einer Beurteilung des potenziellen Risikos für die Bevölkerungsgesundheit („risk assessment“).

---

<sup>4</sup> wie einer Adjustierung für eine verzögerte Datenbereitstellung und die Berücksichtigung weiterer Parameter (Klima, Influenza-Aktivität, weitere)

**Tabelle 1: Anforderungen für die Teilnahme an der EURO-MOMO Datenauswertung**

		Kriterium	Inputseite		Outputseite	
			Minimum	Erweitert	Minimum	Erweitert
Struktur	IT	→ IT-Infrastruktur	X	X		
		→ Personelle Ressourcen	X	X		
	personell	→ Politischer Wille	X	X		
		→ Kapazitäten zur Risikobewertung	X	X		
		→ Elaborierte Kapazitäten zur Risikobewertung	X	X		X
Daten	Modellgrundlage	→ Datenbereitstellung Parameter: Gesamtmortalität (zeitnah), Zeitliche Aggregation: wöchentlich Stratifizierung: Alter	X	X		
		→ Schätzung der Basislinie Parameter: Gesamtmortalität Periode: Zeitreihe über max. 5 Jahre	X	X		
		→ Demografie Verlässliche Informationsgrundlage zur Bevölkerungsstruktur	X	X		
		→ Datenanalyse Parameter: b/e Gesamtmortalität Zeitliche Aggregation: wöchentlich Stratifizierung: Alter			X	
	Modellverbesserung	→ Datenbereitstellung Parameter: Gesamtmortalität Zeitliche Aggregation: täglich Stratifizierung: Alter, Region (NUTS 2)*, Geschlecht		X		
		→ Adjustierung f. verzögerte Datenbereitstellung		X		X
		→ Musteranalyse f. verzögerte Datenbereitstellung		X		
		→ Weitere Parameter Klimadaten (Temperatur, relative Feuchte), Influenza- Aktivität, Schadstoff-Immissionen		X		
		→ Datenanalyse Parameter: b/e Gesamtmortalität Zeitliche Aggregation: täglich Stratifizierung: Alter, Region (NUTS 2)*, Geschlecht				X

(Quelle: Eigene Darstellung nach [19])  
 \* Nomenclature des unités territoriales statistiques (NUTS), Aggregationsniveau der Daten basierend auf administrativen Einheiten, „NUTS 2“ in Deutschland= Regierungsbezirke), b = beobachtet, e = erwartet

## EURO-MOMO Algorithmus

Die an der Datenauswertung teilnehmenden Länder bereiten die erforderlichen Datenmengen auf und übergeben diese an einen standardisierten Analysealgorithmus, durch den Sterblichkeitsexzesse in ihrem zeitlichen Verlauf sichtbar gemacht werden können. Zu den durch den Algorithmus berechneten Indikatoren zählen insbesondere die beobachtete Anzahl an Todesfällen (observed), die durch die statistische Schätzung einer Basislinie erwartete Anzahl an Todesfällen (expected), die Abweichung von der Basislinie als Differenz der beobachteten und erwarteten Todesfälle sowie eine Korrektur der Anzahl an Todesfällen, die aufgrund einer durch verzögerte Datenverfügbarkeit hervorgerufenen, unvollständigen Datengrundlage erforderlich wird [10].

Für die robuste Schätzung der erwarteten Anzahl an Todesfällen werden Zeitreihen historischer Sterbedaten aus den vorvergangenen drei bis fünf Jahren verwendet. Diese Zeitreihen werden um die durch unerwartete Ereignisse in diesem Zeitintervall hervorgerufenen Mortalitätsexzesse bereinigt und als rohe Indikatoren für die Gesamtbevölkerung sowie stratifiziert nach vier Altersgruppen (<5, 5-14, 15-64, ≥65 Jahre) auf wöchentlicher Basis dargestellt. Die Unvollständigkeit der Sterbedaten, die aus einer verzögerten Bereitstellung resultiert, wird mittels Extrapolation für die aktuellste Woche korrigiert. Der Algorithmus wurde den an EURO-MOMO teilnehmenden Ländern zur Verfügung gestellt. Die Definition eines Exzesses und damit die mögliche Festlegung eines Schwellenwertes, ab dem ein Public Health Signal erfolgt, obliegt dabei jedoch den teilnehmenden Ländern [10]. Auf diese Weise können heterogene klimatische Bedingungen berücksichtigt werden.

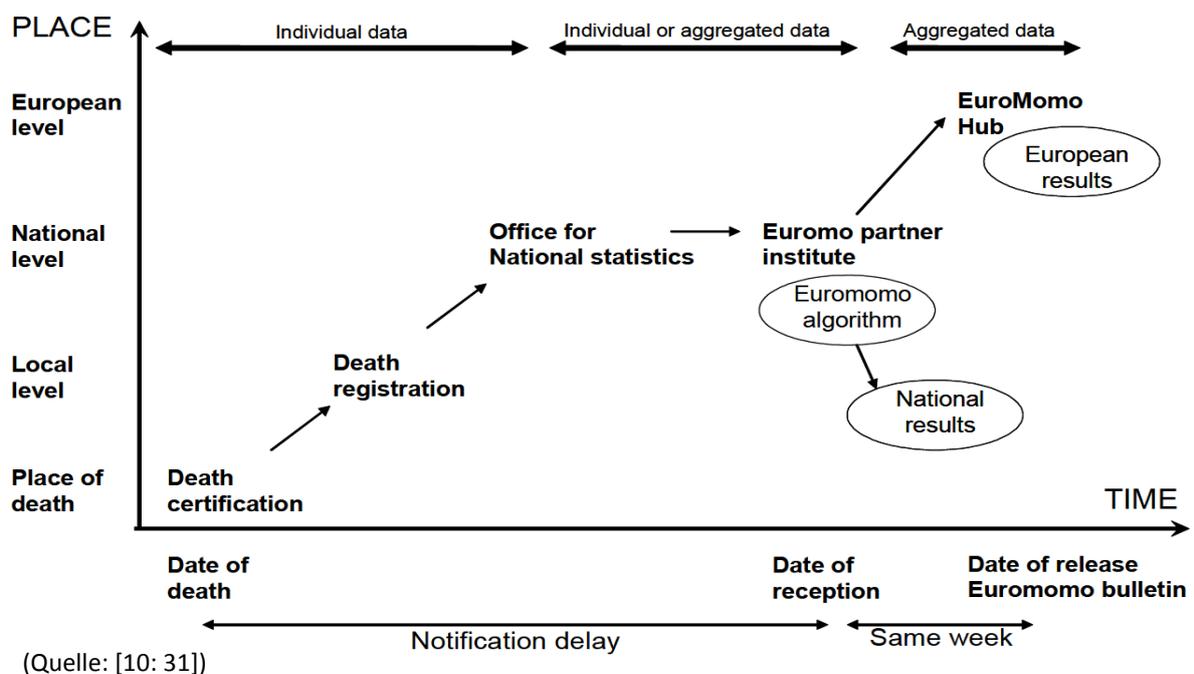
Dem Algorithmus liegt ein generalisiertes lineares Modell aus der Poisson-Familie, korrigiert für Überdispersion, zugrunde. Grundlegend ist dabei die Annahme, dass die Zeitreihe der Sterbedaten die Realisation eines stochastischen Prozesses mit einer Trendkomponente, einer sinusartigen Saisonkomponente sowie einer zufälligen Komponente repräsentiert [10]. Dabei werden die Anteile der Zeitreihe, die die Sommer- und die Wintermonate repräsentieren, mit dem Ziel entfernt, eine um nicht-zyklische Einflüsse (wie Influenza-Aktivität oder Extremwetterperioden) bereinigte Schätzung der Basislinie zu erreichen. Daher verwendet der Algorithmus ausschließlich die Frühlings- (16. - 25. Kalenderwoche) und Herbstmonate (37. - 44. Kalenderwoche) zur Schätzung der erwarteten Anzahl an Todesfällen. Als Maß für die zu erwartende durchschnittliche Variation der Anzahl an Todesfällen wird die Standardabweichung der Residuen unter der Annahme verwendet, dass die nach diesem Vorgehen berechnete Basislinie eine Schätzung der erwarteten Anzahl an Todesfällen unter einer *geringen* Wahrscheinlichkeit für einen Einfluss durch externe Störgrößen (Influenza, Hitze) repräsentiert. Das so parametrisierte Modell schätzt schließlich die erwarteten Todesfälle über die gesamte Zeitreihe und erlaubt die Extrapolation der Werte mit dem Ziel einer quasi-Echtzeitbeobachtung („near real time“) für

die jeweils aktuellste Kalenderwoche. Trotz des hohen Standardisierungsgrades des Algorithmus' ist eine Adaption dessen unter Berücksichtigung länderindividueller Spezifika möglich. Der Algorithmus bietet damit ein elaboriertes und auf europäischer Ebene konsentiertes, zugleich pragmatisches und in Anteilen flexibles Grundmodell für die zeitnahe Analyse von Sterblichkeitsexzessen [10].

### Datenflussstruktur in EURO-MOMO

Abbildung 2 zeigt die Struktur des Datenflusses bei aktiver Teilnahme eines Landes an der Datenauswertung. Nachdem die Erfassung und statistische Aggregation der Sterbedaten auf nationaler Ebene im Rahmen der amtlichen Statistik erfolgt ist, schließt sich der Transfer der Daten zu den EURO-MOMO Partnerinstitutionen an. Diese führen die Daten dem Auswertungsalgorithmus wöchentlich zu und generieren damit länderspezifische Ergebnisse. Durch die wöchentliche Aktualisierung der Zeitreihen von Sterbedaten findet darüber hinaus eine kontinuierliche Aktualisierung der in die Schätzung der Basislinie eingehenden Daten der vergangenen drei bis fünf Jahre statt. Nach der Auswertung übergibt die Partnerinstitution die Analyseergebnisse der Koordinierungsstelle (Statens Serum Institut (SSI), Kopenhagen („Hub“)). Von dort aus werden die länderspezifischen sowie die aggregierten Daten für die Publikation auf der EURO-MOMO Webseite ([www.euromomo.eu](http://www.euromomo.eu)) aufbereitet.

Abbildung 2: Datenflussstruktur in EURO-MOMO



## EURO-MOMO Output

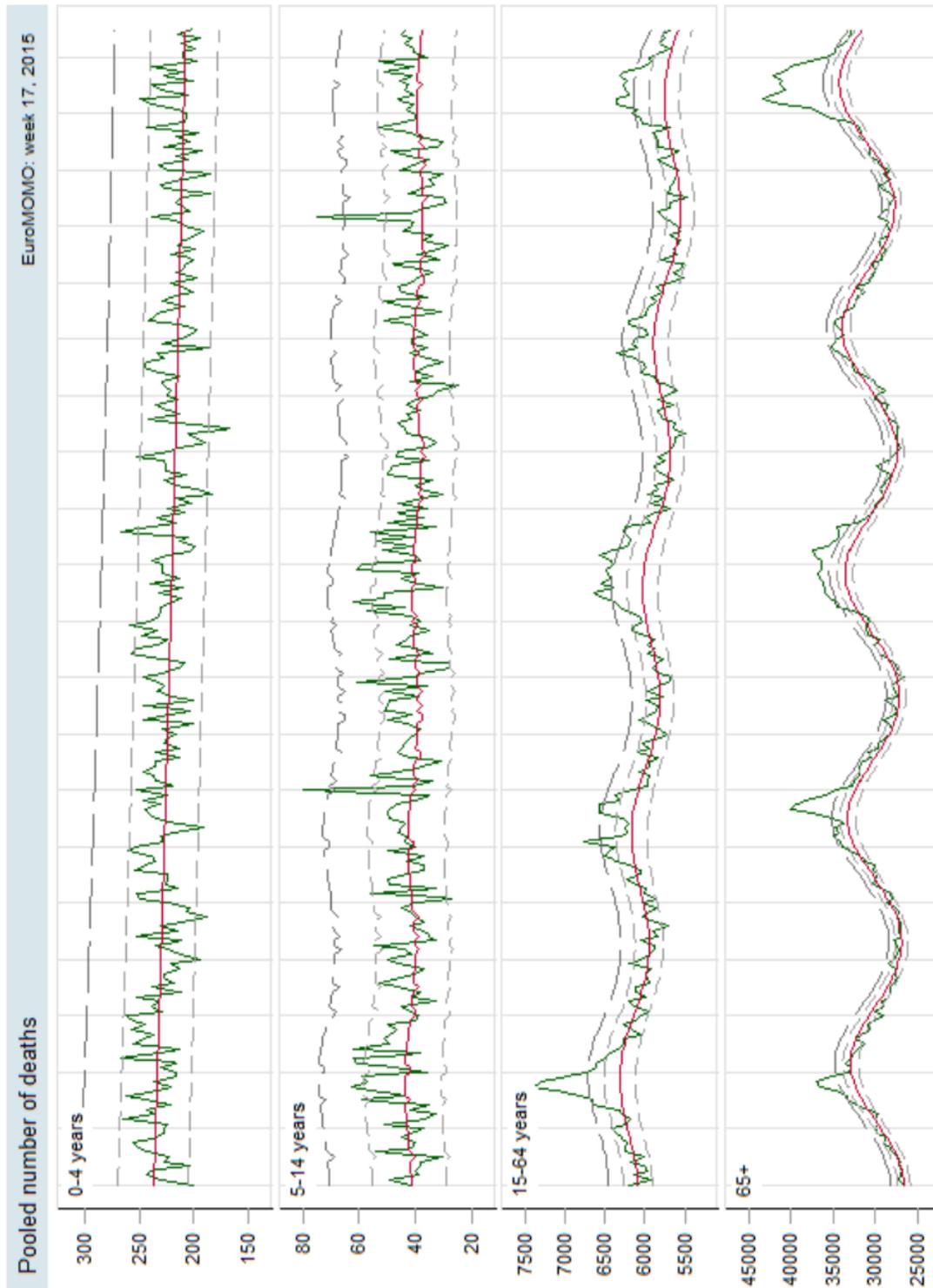
Die zwei folgenden Beispiele zeigen die Visualisierung der kostenfrei im Internet abrufbaren Ergebnisse. Abbildung 3 stellt die nach Altersgruppen stratifizierte Zeitreihen zu den aggregierten Sterbefällen über alle aktiv an der Datenauswertung teilnehmenden Länder seit August 2010 bis einschließlich der 17. Kalenderwoche (20.04.–26.04.) 2015 dar. Dabei zeigt die rote Linie die für jede Altersgruppe geschätzte, erwartete Anzahl an Sterbefällen. Die grüne Linie zeigt die für eine verzögerte Datenbereitstellung adjustierte Anzahl an Sterbefällen. Die grauen Linien dokumentieren die Verläufe der standardisierten Abweichungen (z-Score<sup>5</sup>) von der Basislinie. Die Standardisierung soll die Vergleichbarkeit der verschiedenen Datenreihen und ihrer Verläufe gewährleisten. Dabei wird die Größe und Richtung dieser Abweichungen durch die feiner (+/- 2 z-Scores) bzw. gröber gestrichelte Linie (+ 4 z-Scores<sup>6</sup>) repräsentiert. Die Annahme ist dabei, dass es sich bei einer Abweichung der beobachteten von der erwarteten Anzahl an Sterbefällen von höchstens dem Zweifachen des z-Scores um eine normale, im Rahmen eines erwartbaren Niveaus befindliche, Abweichung handelt. Demgegenüber wird eine über das Vierfache des z-Scores hinausgehende Abweichung bereits als substantielle Erhöhung der Sterbefälle interpretiert. Die Abbildung zeigt vor allem in den höheren Alterskategorien ausgeprägte, saisonale Muster der Sterbefälle mit wiederkehrenden Exzessen in den Wintermonaten, verursacht durch eine oftmals hohe Influenza-Aktivität.

---

<sup>5</sup> der z-Score bringt zum Ausdruck, wie sehr ein Ergebnis vom einem mittleren Wert, ausgedrückt als Vielfaches der Standardabweichung, abweicht

<sup>6</sup> nicht dargestellt sind die theoretisch ebenfalls möglichen, nach unten ausgerichteten Abweichungen der Sterbefälle um das Vierfache des z-Scores

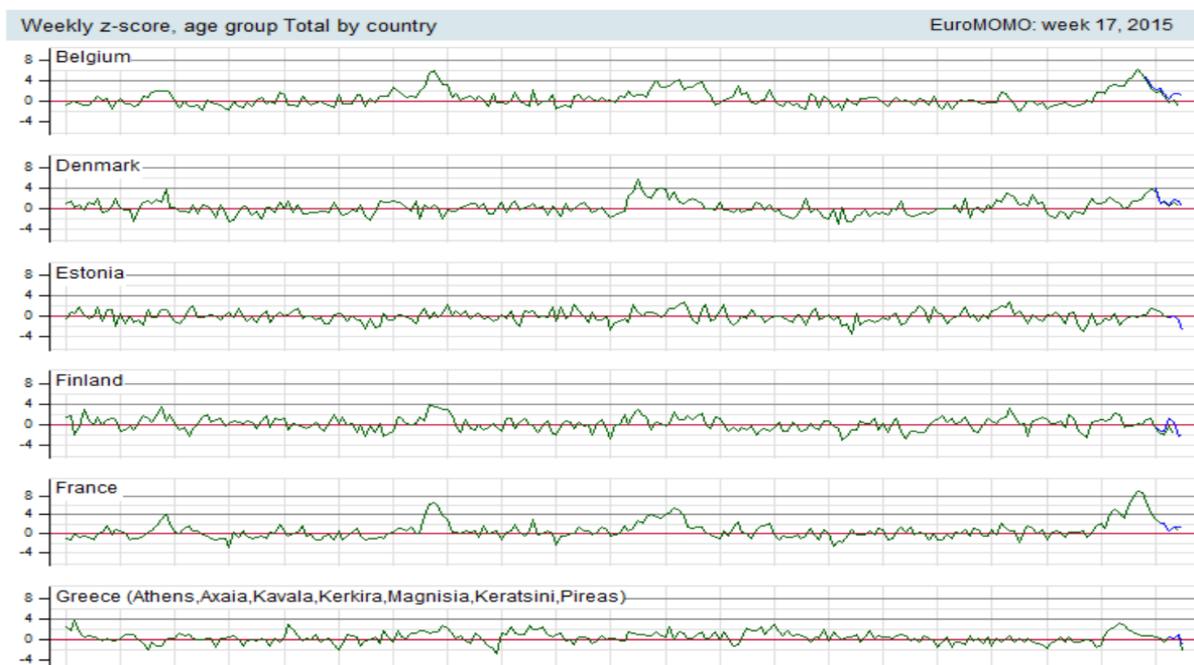
Abbildung 3: Aggregierte Sterbefälle aus n=15 Ländern, nach Alter (Auszug), 08/2010 - 03/2015



(Quelle:[7])

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt der Verläufe der z-Scores der Gesamtmortalität über alle Altersgruppen seit August 2010 bis einschließlich der 17. Kalenderwoche (20.04.–26.04.) 2015. Die grüne Linie veranschaulicht die standardisierten, diesmal bis zu dem Achtfachen des z-Scores betragenden Abweichungen. Die im rechten Teil der Zeitreihen zu sehenden blauen Anteile des Verlaufs machen die adjustierten z-Scores kenntlich. Darüber hinaus ist am Beispiel Griechenlands zu sehen, dass die an EURO-MOMO übermittelten Sterbefälle nicht aller Länder die Gesamtbevölkerung umfassen.

**Abbildung 4: Z-Scores im Zeitverlauf, nach Land (Auszug)**



(Quelle: [9])

### 3.3.2 Surveillance/Monitoring in europäischen Ländern

Das EURO-MOMO Projekt hat die Beobachtung der Mortalität auf europäischer Ebene in methodisch-statistischer Hinsicht wegweisend initiiert und etabliert. Einige Länder hatten bereits vor Entwicklung des europäischen Projektes Verfahren entworfen, mit deren Hilfe hitzebedingte Mortalitätsexzesse möglichst zeitnah entdeckt werden sollten.

Insgesamt erscheinen die verfügbaren Informationen zu existierenden Verfahren hinsichtlich Aktualität

und Umfang stark eingeschränkt. Zu berücksichtigen ist, dass alle Länder, deren Monitoring- bzw. Surveillance-Systeme im Folgenden beschrieben werden, inzwischen Partnerländer von EURO-MOMO sind und sich zu einem großen Anteil mit wöchentlichen Datenlieferungen beteiligen. Seit der erfolgreichen Implementierung des EURO-MOMO Algorithmus<sup>7</sup> nehmen auch zahlreiche Länder an der Datenauswertung teil, die zuvor kein Mortalitätsmonitoring betrieben haben. Länder, deren Mortalitätsmonitoring hitzeassoziiertes Exzesssterbefälle überwiegend oder ausschließlich im Rahmen des Datenaustausches mit EURO-MOMO erfolgt, werden im Folgenden nicht näher berücksichtigt.

Im Jahre 2008 wurde im Rahmen des EURO-MOMO Projektes ein Survey unter 32 europäischen Ländern mit dem Ziel der Identifikation von Verfahren zur systematischen Dauerbeobachtung von Sterbeexzessen sowie der Erfassung von deren zentralen Charakteristika durchgeführt [2]. Bei einer Response von 88 %<sup>7</sup> wurden im Jahre 2008 neun existierende Verfahren in sieben verschiedenen Ländern identifiziert (Tabelle 2). Darüber hinaus wurden in neun weiteren Ländern Verfahren identifiziert, die sich zum Zeitpunkt der Erhebung entweder in einer Pilotphase befanden ( $n = 6^8$ ) oder deren Entwicklung sich in Planung befand ( $n = 3^9$ ). In einigen dieser zuletzt genannten Länder sind in Folge der Entwicklung Verfahren entstanden, die Sterblichkeitsexzesse unter Rückgriff auf die in EURO-MOMO entwickelten methodischen Standards analysieren.

Tabelle 2 dokumentiert die vollumfänglich implementierten ersten europäischen Monitoring-/Surveillance-Systeme. Das älteste Verfahren wurde 2003 in Portugal eingesetzt<sup>10</sup>, das jüngste ist ein Verfahren zur ursachenspezifischen Mortalität in Frankreich von 2008. Bei sechs der neun Verfahren war die Berücksichtigung klimatischer Bedingungen expliziter Bestandteil der Entwicklung. Die zwei in Deutschland identifizierten Verfahren aus Hessen und Berlin wurden inzwischen aufgrund einer nicht gewährleisteten Datenverfügbarkeit ausgesetzt.

---

<sup>7</sup> Ansprechpartner aus  $n = 28$  Ländern

<sup>8</sup> Dänemark, Deutschland (Berlin), Ungarn, Irland, Niederlande, Schottland

<sup>9</sup> Griechenland, Schweden, Vereinigtes Königreich

<sup>10</sup> bereits 1999 wurde das ICARO System entwickelt, dessen primäre Intention die Etablierung eines indikatorgestützten (ICARO-Index) Hitze-Alarmsystems war

**Tabelle 2: Länder mit Monitoring-Systemen in Europa, EURO-MOMO Survey**

Land	Name	Aktiv seit
Belgien	Be-MOMO (Belgian Mortality Monitoring)	2005
Deutschland (Hessen)	---	2007*
Frankreich (2 Verfahren)	Surveillance de la Mortalité (1) Surveillance de la Mortalité par Cause (2)	2004 (1) 2008 (2)
Italien (2 Verfahren)	Sistema Nazionale di Sorveglianza Rapida della Mortalità (1) Sorveglianza Epidemiologica Rapida della Mortalità nelle Città Capoluogo di Regione/Provincia Autonoma (2)	2004 (1) 2005 (2)
Portugal	Sistema de Vigilância Diária da Mortalidade (VDM)	2003
Schweiz	Überwachung der Sterblichkeit/Exzessmortalität	2006
Spanien	MOMO: Monitorizacion de la Mortalidad Diaria	2004

(Quelle: Eigene, ergänzte Darstellung nach [1, 2]), \* seit Ende 2013 ausgesetzt

Tabelle 3 dokumentiert den in den Verfahren abgebildeten Anteil der Bevölkerung des Landes sowie Angaben zum Management der Daten. Die Spannweite der in den Verfahren abgebildeten Bevölkerungsanteile reicht von 1 % bis zu 100 % (Median: 57 %). Sechs der neun Verfahren (66 %) erhalten eine tägliche Datenlieferung. Der Datentransfer wird bei allen Verfahren durch EDV-technische Wege sichergestellt. Ein, auch in der Meinung der verantwortlichen Akteure, relevantes Problem bzw. eine Schwäche der Verfahren ist die zeitverzögerte Verfügbarkeit der Sterbe- und anderer Daten [2]. Bezogen auf alle Systeme liegt die mediane Dauer des Datenverzugs bei drei Tagen, jedoch mit einer erheblichen Spannweite (wenige Stunden bis zu zehn Tage). Eine Qualitätskontrolle der abgerufenen Daten erfolgte in sechs der neun Verfahren, zumeist im Rahmen der Datenverarbeitung auf zentraler Ebene [1].

**Tabelle 3: Bevölkerungsanteil und Datenmanagement, EURO-MOMO Survey**

Verfahren	Erfasster Bevölkerungsanteil	Datenmanagement			
		Periodizität Datentransfer	Medium für Datentransfer	Datenverzug (Median)	Qualitätskontrolle der Daten
Belgien	100 %	wöchentlich	E-Mail	8 Tage	ja
Deutschland* (Hessen)	7 %	wöchentlich	Dateidownload	10 Tage	nein
Frankreich (2 Verfahren)	70 % (1) 1 % (2)	täglich (1) täglich (2)	Internet (1) Web-Portal (2)	unklar (1) 4 Stunden (2)	ja (1) ja (2)
Italien (2 Verfahren)	20 % (1) 16 % (2)	täglich (1) monatlich (2)	E-Mail, Fax (1) E-Mail (2)	3 Tage (1) unklar (2)	ja (1) nein (2)
Portugal	100 %	täglich	E-Mail	1 Tag	ja
Schweiz	100 %	täglich	elektronischer Datentransfer	6 Tage	nein
Spanien	57 %	täglich	E-Mail	2 Tage	ja

(Quelle: Eigene Darstellung nach [1, 2])

\* inzwischen ausgesetzt

In allen Verfahren hat sich die Verwendung der ursachenunspezifischen Sterbedaten bzw. die Gesamtmortalität als zentraler Indikator etabliert. Dies liegt vor allem an der nicht zu gewährleistenden schnellen Verfügbarkeit der Todesursachen aufgrund der zum Teil erheblichen Verzögerung bei deren statistischer Kodierung und Aufbereitung [10]. Daneben nutzen die meisten Verfahren klimatische Parameter, darunter v.a. Minimum und Maximum der Temperatur, gelegentlich unter Hinzuziehung weiterer Klimadaten, wie etwa zur relativen Feuchte und seltener Daten zu Luftschadstoffen (z.B. Ozon).

**Tabelle 4: Verwendete Mortalitäts- und Klimaparameter, EURO-MOMO Survey**

Verfahren	Abgerufene Parameter				
	Erfassung der Todesursachen	Klimadaten			
		Temperatur Minimum	Temperatur Maximum	Luftfeuchte	Ozon/Andere <sup>1</sup>
Belgien	nein	ja	ja	ja	ja
Deutschland* (Hessen)	nein	ja	ja	nein	ja
Frankreich (2 Verfahren)	nein (1) ja (2)	ja (1) ja (2)	ja (1) ja (2)	ja (1) ja (2)	nein
Italien (2 Verfahren)	nein	ja (1) nein (2)	ja (1) nein (2)	ja (1) nein (2)	nein **
Portugal <sup>2</sup>	nein	nein	nein	nein	nein
Schweiz	nein	ja (1)	ja (1)	nein	nein
Spanien	nein	ja (1)	ja (1)	nein	nein

(Quelle: Eigene, ergänzte Darstellung nach [1, 2]); <sup>1</sup> in der verfügbaren Literatur wurden dazu keine näheren Angaben gemacht\* inzwischen ausgesetzt; <sup>2</sup> siehe Ausführungen zum Surveillance-Verfahren in Portugal

\*\* inzwischen: gefühlte Lufttemperatur und Taupunkttemperatur

### Surveillance in Belgien

Das ‚Belgian Mortality Monitoring‘ (BE-MOMO) ist ein Instrument zur schnellen Erfassung sowie Quantifizierung auffälliger Mortalitätsgeschehen, die möglicherweise auf übertragbare Krankheiten oder Umwelteinflüsse, wie z.B. Hitzewellen, zurückzuführen sind. Eine frühzeitige Beurteilung der Mortalität soll dabei die Implementierung von Public Health Maßnahmen, wie z.B. Impfungen oder die Umsetzung von Maßnahmen im Rahmen des Hitzeplans, unterstützen [8]. In BE-MOMO werden anhand wöchentlich aktualisierter Datenbestände Analyseergebnisse u.a. in Grafiken aufbereitet, welche die Gesamtmortalität mit Bezug zu den relevantesten Risiken visualisieren.

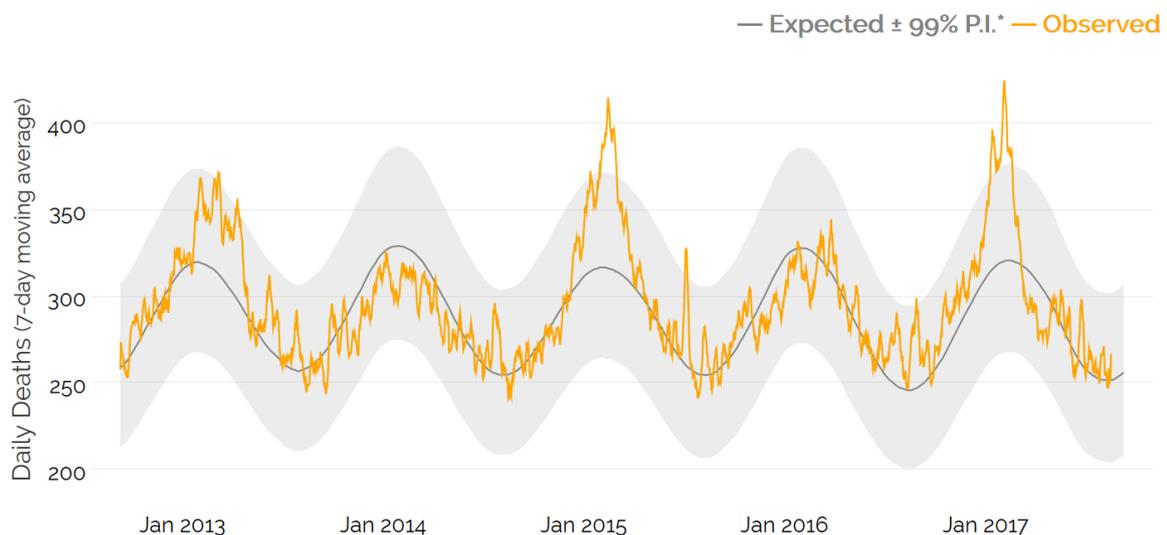
Jeden Montag werden dem nationalen Sterberegister aktuelle Daten zur Mortalität entnommen, die die Sterbefälle der vergangenen Woche (Samstag bis Freitag) umfassen. Es liegen Informationen zu allen Todesfällen der belgischen Stadtgemeinden hinsichtlich Geburtsdatum, Sterbedatum, Geschlecht, Nationalität, Wohnort und Geburtsort vor. Die Todesursachen sind nicht bekannt. Nach einem Monat sind 95 % der Mortalitätsdaten verfügbar [20]. Todesfälle belgischer Staatsangehöriger im Ausland werden nicht mit einberechnet, da diese unabhängig von den Umwelteinflüssen in Belgien verstorben sind [21].

Die meteorologischen Daten werden über das Königliche Meteorologische Institut (*Belgian Royal*

*Meteorological Institute (RMI)*) bezogen und repräsentieren die Messwerte der täglichen minimalen und maximalen Tagestemperatur einer einzelnen Wetterstation in Ukke [21]. Zuzüglich werden Daten zur Luftqualität eingeschlossen, die Messungen zur Konzentration von Ozon und PM<sub>10</sub> beinhalten [21]. Die beobachtete Mortalität wird sowohl täglich als auch wöchentlich aggregiert. Eine tagesgenaue Analyse erlaubt die Detektion potenzieller Effekte, die auf Basis wöchentlich zusammengefasster Daten übersehen werden könnten. Die Sterbefälle werden für die Gesamtbevölkerung und nach ausgewählten Kriterien stratifiziert (Geschlecht, Alter: <65, 65-84, 85+) berichtet [22].

Die Zahl der Sterbefälle wird mittels Extrapolation auf der Grundlage der Daten desselben Tages bzw. derselben Woche des Vorjahres geschätzt. Abbildung 5 zeigt beispielhaft die grafische Darstellung des ursachenunspezifischen Sterbegeschehens als gleitendes Mittel über sieben Tage für die Jahre von 2013 bis 2017 [23]. Dabei repräsentieren die gelbe Linie den Verlauf der beobachteten, die dunkelgraue Linie den Verlauf der erwarteten Mortalität. Die hellgrau hinterlegte Fläche markiert Bereich und Grenzen des geschätzten 99 % Prädiktionsintervalls um die Basislinie. Deren obere Grenze markiert einen Exzess, sobald diese von den Sterbefallzahlen überschritten wird.

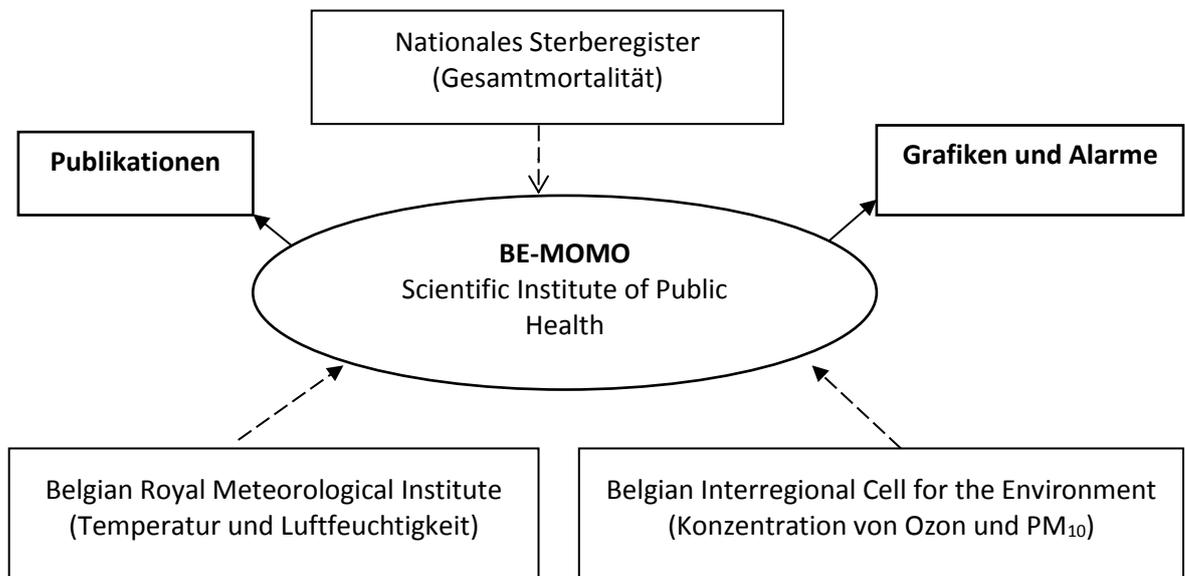
**Abbildung 5: Visualisierung der Ergebnisse in BE-MOMO, 2013 - 2017**



(Quelle: [6])

Abbildung 6 zeigt die Datenflussstruktur im Rahmen von BE-MOMO. Diese ist institutionell verbindlich geregelt und funktioniert im Zusammenspiel von vier datenliefernden bzw. datenannehmenden Institutionen.

Abbildung 6: Datenflussstruktur der Surveillance in Belgien



(Quelle: Eigendarstellung nach [8])

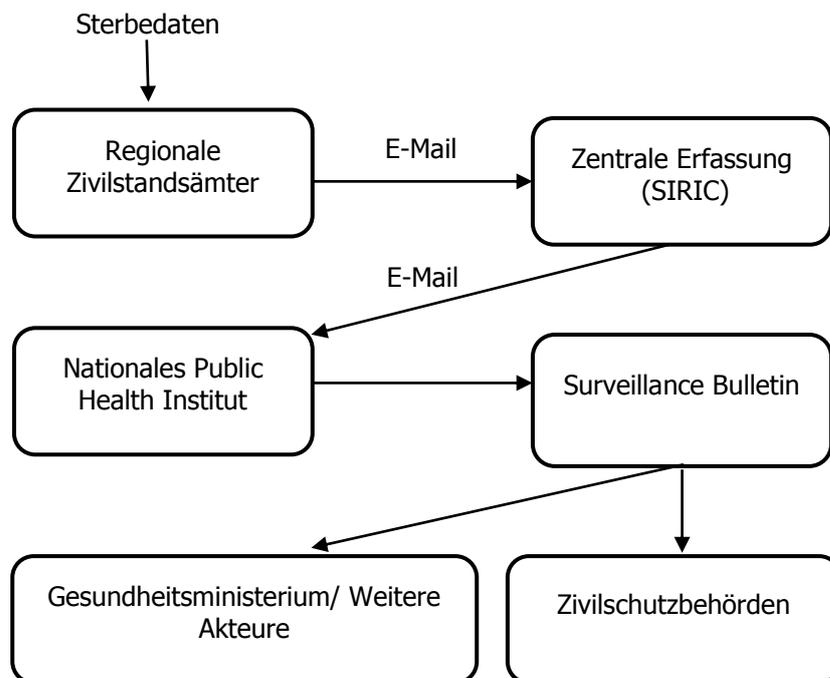
### Surveillance in Portugal

Portugal gehört zu den europäischen Ländern, die sehr rasch auf die Hitzewelle im Jahre 2003 mit der Entwicklung und Umsetzung systematischer Maßnahmen reagiert haben. Seit dem Jahre 2003 wurde das bis dahin existierende System (*Sistema de Vigilância Diária da Mortalidade (VDM)*), das auf die Region um Lissabon und auf die Sommermonate limitiert war, stufenweise in ein ganzjähriges Surveillance-System überführt, das eine zeitnahe (near-real time) Beobachtung und Analyse der beobachteten täglichen Mortalität mit einem Abdeckungsgrad von 100 % der portugiesischen Bevölkerung gewährleistet [11]. Das aktuelle, nach einer erfolgreichen Pilotphase seit 2008 in der hier beschriebenen Funktionalität operierende System, zeichnet sich durch eine zentralisierte Datenerfassung und einen zum Teil vollautomatisierten Transfer der Sterbedaten aus. Ermöglicht wurde dieser hohe Automatisierungsgrad durch die Integration der Daten regionaler Sterberegister innerhalb eines neu geschaffenen Informationssystems (*Sistema Integrado de Registo e Identificação Civil (SIRIC)*).

Abbildung 7 dokumentiert die Datenflüsse innerhalb der Mortalitäts-Surveillance im portugiesischen VDM System. Nachdem die Sterbefälle an die regional organisierten Bevölkerungsämter gemeldet wurden, werden die Daten täglich an die SIRIC Datenannahmestelle elektronisch in einer E-Mail weitergeleitet. Die dort zentral erfassten Daten werden per E-Mail an das nationale Public Health

Institut (*Instituto Nacional de Saude Dr. Ricardo Jorge (INSA)*) versendet und ausgewertet. Die Analyseergebnisse werden in einem wochentäglich erstellten Bulletin aufbereitet und an relevante Entscheidungsträger in Ministerien sowie relevante Zivilschutzbehörden übermittelt.

**Abbildung 7: Datenflussstruktur der Surveillance in Portugal**



(Quelle: Modifizierte Darstellung nach [11])

Von dem hier vorgestellten VDM System zu unterscheiden ist das ursprünglich als Hitzewarnsystem entwickelte System ICARO (*Importancia do Calor e a sua Repercussao nos Obitos*). Mit dessen Hilfe wird auf Basis eines spezifisch zu diesem Zweck entwickelten Indikators (ICARO-Index) eine Prognose einer drohenden Hitzeperiode mit einem erhöhten Risiko für einen Mortalitätsexzess drei Tage im Voraus geschätzt [24] und daraufhin eine Kaskade von Warnstufen mit entsprechenden Public Health Maßnahmen angestoßen. Dieses System operiert, anders als das VDM, in den Sommermonaten (Mai bis September) und erfüllt die Funktion eines Heat-Health Watch-Warning Systems zur Vorhersage gesundheitsgefährdender Hitzeereignisse [15]. Aus dieser ursprünglichen Intention heraus hat sich das ICARO-System im Zeitverlauf zu einem ‚Hybrid-System‘ entwickelt, das neben der Alarmfunktion weitere wertvolle Informationen zur Schätzung des Zusammenhanges zwischen Extremtemperaturen und Mortalitätsexzessen sowie für post-hoc Analysen, im Sinne einer Evaluation des der Berechnung des

ICARO-Index zugrundeliegenden statistischen Modells, bereitstellt [24].

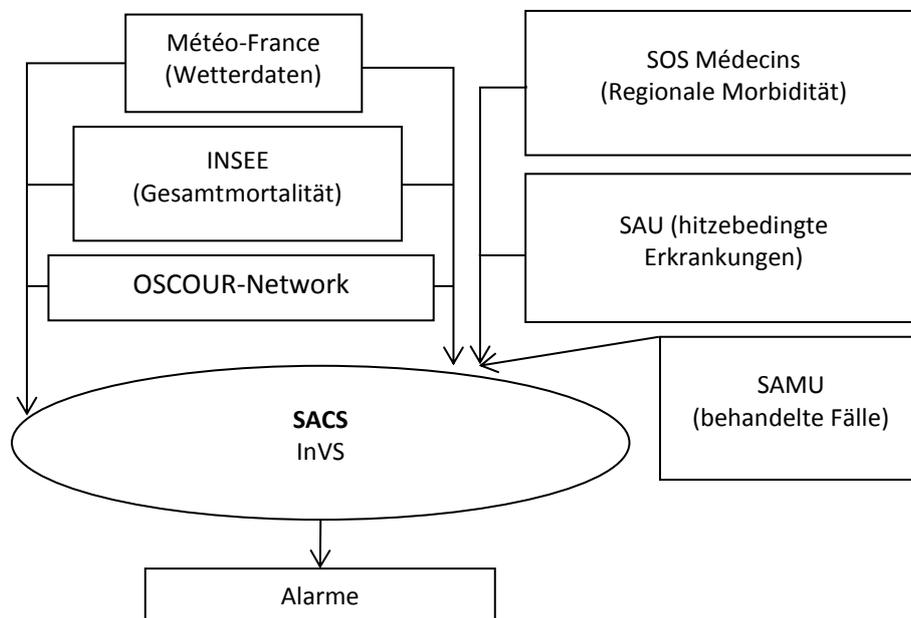
### **Surveillance in Frankreich**

Im Jahr 2003 entwickelte das französische Ministerium für Gesundheit als Reaktion auf die hohe Anzahl hitzebedingter Sterbefälle in diesem Jahr einen nationalen Hitzeplan (*Plan national Canicule* (PNC)) [5]. Dieser stellt die Analyse der Exzessmortalität, die Identifikation von Risikofaktoren insbesondere für Menschen höheren Alters und die Bestimmung der Einflüsse von Ozon und Temperaturen auf die Mortalität in den Vordergrund [4]. Das Hitzewarnsystem (*Système d'alerte canicule et santé* (SACS)) untersucht explizit den Zusammenhang von Exzessmortalität in Abhängigkeit von Hitzewellen [25, 26]. Ebenfalls wird überprüft, ob in Abhängigkeit von Hitzeinflüssen ein Anstieg der Morbidität zu erkennen ist und ob die beobachtete Mortalität bestimmte Schwellenwerte überschreitet, die Hinweise auf Exzesssterblichkeit geben [3, 5, 25].

Als Indikatoren für Hitzewellen wurden minimale, maximale und durchschnittliche Temperatur, Kombination aus minimaler und maximaler Temperatur, durchschnittliche Taupunkttemperatur und der thermohygommetrische Index (THI) verwendet. Die von *Météo-France* stammenden Wetterdaten werden der täglich ermittelten Exzessmortalität gegenübergestellt, die anhand der Daten zur täglichen Gesamtmortalität des Nationalen Instituts für Statistik und Ökonomische Studien (*Institut National de la Statistique et des Études Économique* (INSEE)) geschätzt wird.

In Frankreich existiert seit 2004 ein automatisiertes Netzwerk des Transfers von Morbiditätsdaten. Das OSCOUR-Network aggregiert Echtzeit-Morbidität von Notfallaufnahmen und liefert dadurch zeitnah tägliche Daten an das *Institut de veille sanitaire* (InVS) [27]. Während einer Hitzewelle werden anhand der Daten verschiedene Analyseverfahren angewendet, um den Einfluss von Hitzewellen auf die Gesundheit evaluieren zu können [5].

**Abbildung 8: Datenflussstruktur der Surveillance in Frankreich**



(Quelle: Eigene Darstellung nach [3-5])

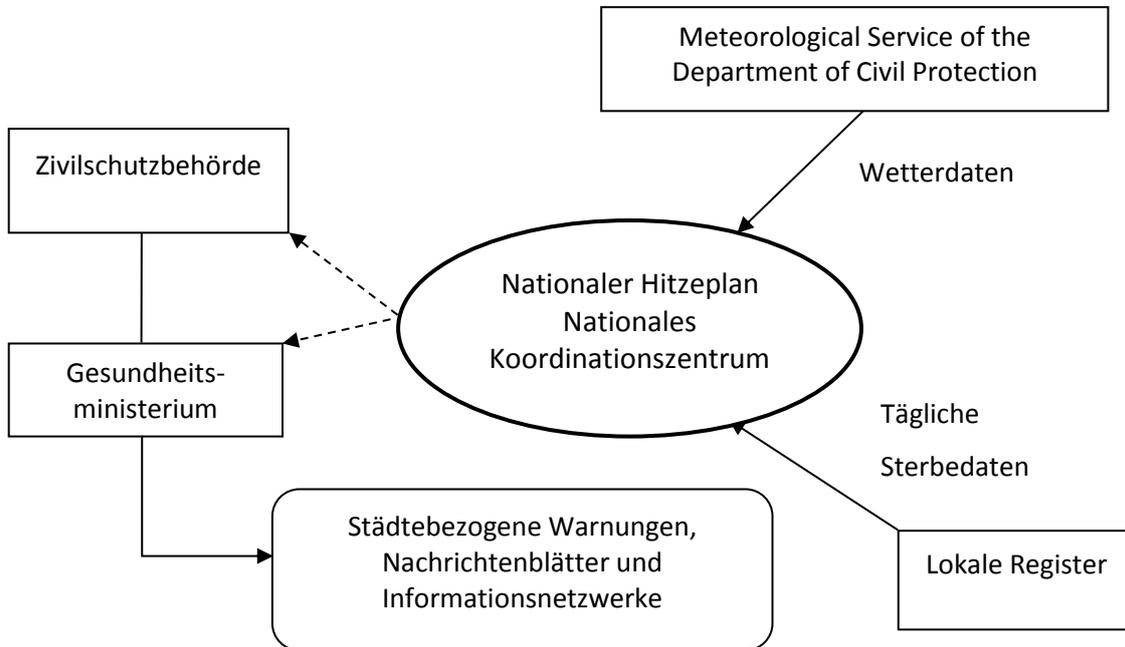
### Surveillance in Italien

Das Amt für Bevölkerungsschutz und das Ministerium für Gesundheit Italiens implementierten 2004 ein nationales Programm zur Prävention hitzebedingter Gefährdungen der Gesundheit, welches u.a. die Funktion eines Hitzewarnsystems hat und auf suszeptible Gruppen ausgerichtet ist [12]. Das Programm umfasst insgesamt 34 Städte mit einem Anteil von ca. 93 % an den über 65-jährigen Personen. Als ein Bestandteil des Hitzewarnsystems wird eine Echtzeit-Überwachung der Mortalität in den Sommermonaten durchgeführt. Dafür werden Sterbedaten auf täglicher und wöchentlicher Basis an ein nationales Koordinierungszentrum weitergeleitet. Die Datensätze enthalten Geburts- und Sterbedatum, Geschlecht, Geburts- und Sterbeort, Wohnort sowie die Information, ob der Todesfall ursächlich durch einen Unfall oder nicht durch einen Unfall bedingt war. Für die Evaluation des Zusammenhangs von Hitzeeinflüssen und Mortalität in der Altersgruppe der  $\geq 65$ -Jährigen werden drei Ansätze verwendet:

- zum einen die Berechnung der Exzessmortalität je Monat und Saison,
- zum anderen wird die Exzessmortalität je Hitzeperiode analysiert sowie
- die Beschreibung der Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der maximalen gefühlten Temperatur

<sup>11</sup> und der Mortalität [12].

**Abbildung 9: Datenflussstruktur der Surveillance in Italien**



(Quelle: Eigene Darstellung nach [12])

### Surveillance in Spanien

In Spanien wurde ein vergleichbares System im Jahre 2004 auf regionaler Ebene etabliert [28]. Die Mortalitätsanalysen werden insbesondere für die insgesamt 52 spanischen Provinzhauptstädte sowie regional auf unterschiedlichen Aggregationsebenen durchgeführt und nach Altersgruppen (<65, 65 bis 74, >74 Jahre) und Geschlecht stratifiziert [29]. Die erfassten Mortalitätsdaten umfassen Geschlecht, Alter, Familienstand, Geburts- und Sterbedatum sowie Sterbe- und Wohnort [2]. Die Analysen basieren auf der Diskrepanz zwischen den Erwartungswerten, die auf der Grundlage von Zeitreihen von Sterbedaten der Jahre 2001 bis 2008 modelliert werden<sup>12</sup>, und der beobachteten täglichen Mortalität. Das System wird, nachdem es ursprünglich nur während der Sommermonate betrieben wurde,

<sup>11</sup> Tappmax: maximale gefühlte Tagestemperatur unter Adjustierung verschiedener Ko-Variablen (Urlaubsperioden, Kalendermonat, Interaktionsterm zwischen Tappmax und Monat, Anzahl aufeinanderfolgender Tage, an denen Tappmax oberhalb eines festgelegten Schwellenwertes liegt)

<sup>12</sup> aufgrund der Hitzewellen in den Jahren 2003 und 2006 wurden diese von der Schätzung der Basislinie ausgeschlossen, um eine Überschätzung der Anzahl der zu erwartenden Todesfälle zu vermeiden [35]

inzwischen ganzjährig betrieben [2]. Dagegen ist das Alarmsystem auf die Sommermonate (Juni bis September) beschränkt. Zu den konkreten Datenflussstrukturen innerhalb dieses Systems liegen nur rudimentäre Informationen vor. Es wird daher auf eine Darstellung verzichtet.

### **Surveillance in den Niederlanden**

Im Jahr 2009 wurde in den Niederlanden aufgrund einer Influenzapandemie (H1N1) ein Mortalitäts-Monitoring-System etabliert, um ungewöhnliche Anstiege der Mortalität festhalten zu können [30]. Das nationale Monitoring-System wird gemeinsam vom Centre for Infectious Disease Control (*Centrum Infectieziektebestrijding* (CIb)) sowie Statistics Netherlands (*Centraal Bureau voor de Statistiek* (CBS)) durchgeführt. Wöchentlich werden Daten zur Gesamtmortalität in Echtzeit entrichtet. Informationen über Todesursachen sind nicht verfügbar. Einmal pro Woche wird die beobachtete Mortalität der letzten drei Wochen auf Exzesse überprüft. Die Vollständigkeit der Daten beträgt in der ersten Woche 43 %, in der zweiten Woche 96 % und in der dritten Woche 98 %. Wenn Exzessmortalität und Hitzeeinflüsse einen plausiblen Zusammenhang vermuten lassen, werden Berichte an das Heat-Plan Team, angesiedelt am Nationalen Institut für Public Health (*Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu* (RIVM)), gesendet. Die Datensätze werden zudem an EURO-MOMO weitergeleitet [30].

Im niederländischen Monitoring-System werden Basislinie und Grenzwerte von Mortalitätsvorhersagen mit Hilfe einer 5-jährigen Zeitreihe berechnet. Unter Verwendung eines Serfling-Modells werden erwartete Mortalität und zyklische saisonale Trends bestimmt. Hierbei werden Wochen mit hohem Underreporting und hoher Exzessmortalität während der Sommer- und Wintermonate ausgeschnitten, damit die Basislinie nicht bereits von saisonal typischen Bedingungen beeinflusst wird [30].

Informationen über die Datenflusssystematik des Systems in den Niederlanden sind gering. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle auf eine Darstellung verzichtet.

### **3.3.3 Definition und Operationalisierung von Klima- und Mortalitätskriterien**

International existiert bislang keine universell anerkannte Definition eines klimatischen Kriteriums im Rahmen von Surveillance-Systemen, die ihren Schwerpunkt auf die Beobachtung hitzeassoziierter Mortalität legen. Gleiches gilt für den Begriff *Mortalitätsexzess*. Als Folge der Heterogenität klimatischer und weiterer Kontextbedingungen innerhalb der europäischen Länder haben sich zum Teil deutlich

voneinander abweichende Definitionen dieser Kriterien (engl. *heat wave, heat period*) etabliert. Als für die Definition eines Klimakriteriums zwei wesentliche Komponenten stehen dabei eine klimatisch-meteorologische sowie eine zeitliche Komponente im Vordergrund. Die Definition und Operationalisierung eines klimatischen und eines Mortalitätskriteriums haben demzufolge entscheidenden Einfluss darauf, ab welchem Expositionsniveau und welcher Expositionsdauer gesundheitsbeeinträchtigende Perioden statistisch detektiert werden. Mit der Wahl der Definition ist insbesondere auch die ‚Empfindlichkeit‘ bestehender Hitzewarnsysteme verbunden. Dabei ist die Entscheidung für eine bestimmte Kombination der Parameterkomponente und der zeitlichen Komponente i.d.R. das Ergebnis eines Kompromisses mit dem Ziel, die optimale Einstellung zwischen Sensitivität<sup>13</sup> und Spezifität<sup>14</sup> des Systems zu finden [20]. Gleichwohl kann es, aufgrund des Fehlens eines Goldstandards, eine statistische Eingrenzung für die Wahl der Parameter-Schwellenwerte geben, deren finale Setzung auch unter Berücksichtigung inhaltlicher Kriterien erfolgen muss [26].

Im Folgenden werden die Begriffe *Hitzewelle* bzw. *Hitzeperiode* verwendet, wenn die Darstellung auf die bestehenden europäischen Surveillance-Systeme abzielt. Für das für Hessen zu entwickelnde Surveillance-System wird dagegen der Begriff *Klimakriterium* verwendet. Dieses zu definierende Kriterium soll ausschließlich innerhalb des Surveillance-Systems verwendet werden und zeitnahe post-hoc Analysen des Zusammenhangs zwischen Hitze und Mortalität erlauben sowie, bei hinreichender Sensitivität und Spezifität, perspektivisch eine prognostische Funktion einnehmen. Der Begriff ist daher inhaltlich und in seinem Anwendungsbereich von den im Rahmen des bestehenden Hitzewarnsystems des Deutschen Wetterdienstes etablierten Temperaturschwellen zu unterscheiden. Eine Neudefinition der eingeführten Hitzewarnschwellen ist damit ausdrücklich nicht intendiert.

### **Definition und Operationalisierung der von Hitzewellen bzw. Hitzeperioden in europäischen Verfahren**

Gemäß dem in Belgien durchgeführten System liegt eine Hitzewelle vor, sobald die

- tägliche Maximaltemperatur mindestens 25 °C an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen erreicht und
- darunter an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen ein Temperaturmaximum von mindestens 30 °C gemessen wurde [20].

---

<sup>13</sup> Klassifikatorische Maßzahl: Ausmaß, mit dem ein Kriterium in der Lage ist, vorhandene Exzesse richtig als Exzess zu erkennen

<sup>14</sup> Klassifikatorische Maßzahl: Ausmaß, mit dem ein Kriterium in der Lage ist, nicht vorhandene Exzesse richtig als nicht vorhandener Exzess zu erkennen

Demgegenüber ist eine Hitzeperiode durch eine abgeschwächte Definition gekennzeichnet: eine Hitzeperiode liegt demnach vor, sobald das Maximum der Tagestemperatur mindestens 25 °C an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen erreicht [20].

Frankreich verwendet eine perzentilbasierte Lösung für die Definition einer Hitzewelle [26]. Die Grundlage ist hierbei die empirische Verteilung der Maxima und Minima der täglichen Temperaturen aus einer langen Zeitreihe von Temperaturdaten von über 30 Jahren aus urbanen Regionen. Nach diesem als ‚Bio meteorological indicator‘ (*Indicateur bio-météorologique*) bezeichneten Indikator gilt eine Hitzewelle als eine Überschreitung des 99,5. Perzentils [26] der regionspezifischen Temperaturminima und -maxima als gleitende Mittelwerte über drei aufeinanderfolgende Tage [4].

Das portugiesische System weist eine komplexe Definition auf, die neben absoluten Temperaturwerten und einem regionalen Kriterium auch einen eigens dafür konstruierten Index (ICARO-Index) berücksichtigt [11]: demnach liegt eine Hitzewelle vor, wenn die

- maximale Tagestemperatur mindestens 35 °C an mindestens 2 aufeinanderfolgenden Tagen in mindestens 2 der 18 durch das System erfassten Regionen beträgt oder
- eine maximale Tagestemperatur von mehr als 36 °C in einer der 18 Regionen oder
- der ICARO-Index eine größere als die Kategorie 0 an zwei aufeinanderfolgenden Tagen anzeigt.

Der ICARO-Index ist ein Indikator, der die Wahrscheinlichkeit quantifiziert, dass eine Hitzewelle mit Potenzial für hitzeassoziierte Exzessmortalität für eine Dauer von mindestens 3 Tagen bevorsteht. [24].

In Italien wird eine Hitzewelle insbesondere unter Berücksichtigung objektiver Kriterien definiert. Dafür werden die vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten für Perioden mit geringer (< 20 %) und hoher (> 20 %) Zahl von Exzesssterbefällen im Rahmen zweier statistischer Modelle ermittelt: während das sog. Tappmax-Modell<sup>15</sup> die maximale apparente Temperatur unter Adjustierung verschiedener Ko-Variablen berechnet, wird das Exzessrisiko der Mortalität mit dem sog. Luftmassenmodell (Air-Mass Model) unter Rückgriff auf Temperaturparameter (u.a. Temperaturminima und -maxima) geschätzt. Eine Hitzeperiode liegt demnach dann vor, wenn an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen

- eine geringe Exzessmortalität im Tapp-Max Modell und ein Exzess im Luftmassen-Modell oder
- eine hohe Exzessmortalität im Tapp-Max Modell und kein Exzess im Luftmassen-Modell oder
- eine hohe Exzessmortalität im Tapp-Max Modell und ein Exzess im Luftmassen-Modell

vorhergesagt werden [12].

---

<sup>15</sup> Tappmax = maximale apparente Temperatur

Im vereinigten Königreich (England, Wales) existieren regionsspezifische Schwellenwerte für die Maxima für Tages- und Nachttemperaturen [31, 32]. Diese unterscheiden sich deutlich zwischen den Regionen. Bei der Maximaltemperatur erstreckt sich die Spannweite von 28 °C bis 32 °C am Tage und von 15 °C bis 18 °C in der Nacht. Diese wurden unter Berücksichtigung des mit der Überschreitung einer bestimmten Temperaturschwelle einhergehenden erhöhten Sterberisikos von 15 % bis 20 % (Odds Ratio<sup>16</sup> 1,15 bis 1,20) festgelegt. Im Rahmen eines 5-stufigen Alarmsystems werden Wahrscheinlichkeiten für eine Überschreitung der Schwellenwerte prognostiziert, durch die ein Bedrohungsniveau berechnet und damit korrespondierende Public Health Maßnahmen ausgelöst werden [31].

Im spanischen System wurde eine Kombination der täglichen Temperaturminima und -maxima mit Hilfe perzentilbasierter Schwellenwerte auf der Basis der empirischen Verteilung von Zeitreihen dieser beiden Parameter determiniert. Im überwiegenden Teil der Regionen wurden die Schwellenwerte, mit Ausnahme einiger weniger Regionen, anhand des 95. Perzentils der Verteilungen der minimalen und maximalen täglichen Temperatur festgelegt. Für Madrid etwa entsprach die Kombination der Schwellenwerte nach dieser Definition 36,5 °C (Tmax) und 21 °C (Tmin), für Barcelona 30,5 °C (Tmax) und 22 °C (Tmin) und für Sevilla 41 °C (Tmax) und 22 °C (Tmin) [33].

### **Definition und Operationalisierung eines Mortalitätsexzess in europäischen Verfahren**

Im EURO-MOMO Algorithmus wurde auf die Festlegung eines universellen Schwellenwertes für die Detektion eines Mortalitätsexzesses begründet verzichtet, um den an der Auswertung teilnehmenden Ländern Entscheidungsspielraum für die Berücksichtigung ihrer spezifischen Bedingungen zu gewähren [10]. Daher ist für EURO-MOMO auch keine explizite, formale Definition des Begriffs Mortalitätsexzess angebar. Gleichwohl wurde für die Situation eines ‚substanziellen Anstiegs‘ (substantial increase) der Mortalität eine offenerere, nicht vollständig trennscharfe Definition festgelegt: demnach ist ein ‚substanzieller Anstieg‘ als die Überschreitung der Basislinie um eine für verzögerte Datenverfügbarkeit adjustierte beobachtete Mortalität um vier z-Scores definiert [7].

Im Rahmen des BE-MOMO Systems in Belgien wird für die Definition eines Exzesses die Differenz aus beobachteten und erwarteten Todesfällen (Schätzung der Basislinie aus Daten der jeweils letzten 5 Jahre) herangezogen. Die Definition des Schwellenwertes, ab dem ein Überschreiten der erwarteten

---

<sup>16</sup> das Odds Ratio beschreibt das Verhältnis der Chance für einen Ereigniseintritt (z.B. zu versterben) in einer Population im Vergleich mit dem der Chance für einen Ereigniseintritt in einer Referenzpopulation

Fälle durch die beobachteten Fälle als Exzess gewertet wird, wurde statistisch anhand eines  $100 \times (1 - \alpha)$  Prädiktionsintervalls<sup>17</sup> festgelegt. Überschreitet die beobachtete Mortalität diese Grenze<sup>18</sup>, wird für die entsprechende Zeitperiode ein Signal ausgelöst und die Dauer der Periode dokumentiert [20, 22]

In Frankreich wurde die Diskussion um die Definition eines Schwellenwertes durch die Problematik relativ geringer Anzahlen an Sterbefällen dominiert<sup>19</sup>. Für sehr große Städte (Paris, Lyon, Lille und Marseille) wurde der Schwellenwert auf eine 50 %ige Überschreitung der erwarteten Mortalität (basierend auf der Berechnung der erwarteten Mortalität der vergangenen 5 Jahre) festgelegt. Für mittlere und kleinere Städte wurde eine Überschreitung um 100 % als Schwellenwert gewählt, um das Risiko für falsch-positive Exzesssignale zu verringern [4].

Das portugiesische VDM System nutzt für die Definition eines Exzesses Abweichungen zwischen den beobachteten und erwarteten Sterbefällen. Es bezieht jedoch zusätzlich ein zeitliches Kriterium mit ein, das Beginn und Ende eines Exzesses markiert: ein Exzess beginnt demnach, sobald die beobachtete Mortalität die obere Grenze des für die erwarteten Werte berechneten 95 % Konfidenzintervalls an mindestens zwei aufeinander folgenden Tagen (Wochen<sup>20</sup>) überschreitet [11]. Das Ende des Exzesses ist erreicht, sobald die beobachtete Mortalität die obere Grenze des 95 % Konfidenzintervalls um die erwarteten Werte an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen unterschreitet. Von dieser Definition unterscheidet das System eine Periode von Exzessmortalität während einer Hitzeperiode: hierbei wird ein Exzess detektiert, sobald die beobachtete Mortalität die obere Grenze des 95 % Konfidenzintervalls um die erwarteten Werte an mindestens einem Tag (einer Woche) während der Hitzeperiode überschreitet [11].

Auch in Italien wird die tägliche Exzessmortalität aus der Differenz der für einen spezifischen Kalendertag beobachteten und aus retrospektiven Daten für diesen Kalendertag berechneten, durchschnittlich zu erwartenden Todesfällen bestimmt. Dabei wird die Zeitperiode bis drei Tage nach Abklingen der gemäß der oben eingeführten Kriterien definierten Hitzewelle berücksichtigt [12].

In den Systemen in England und Wales, die im Wesentlichen auf den EURO-MOMO Algorithmus zurückgreifen, ist ein signifikanter Mortalitätsexzess definiert als die für verzögerte Datenverfügbarkeit adjustierte Überschreitung der beobachteten Todesfälle um die dreifache Standardabweichung der geschätzten Basislinie [34]. Die Schätzung der Basislinie erfolgt dabei auf Zeitreihen historischer

---

<sup>17</sup> Prädiktionsintervall auf der Grundlage der Schätzung einer Basislinie mittels eines  $2/3$  powertransformierten Poisson-Modells, adjustiert für Überdispersion [19,29]

<sup>18</sup> bei wöchentlich aggregierten Daten wurde  $\alpha$  mit 5 %, bei täglich aggregierten Daten mit 1 % festgelegt [29]

<sup>19</sup> für einige Städte mit relativ geringer Anzahl an Sterbefällen hätte u.U. bereits ein weiterer Sterbefall bei einem Schwellenwert von 50 % das Signal für einen Exzess ausgelöst

<sup>20</sup> je nach Aggregationsgrad der Daten

Sterbedaten [34]. Ein Exzess wird definiert als die Überschreitung der geschätzten Basislinie um zwei z-Scores.

Im spanischen System liegen drei unterschiedliche Definition des Begriffs Exzess vor, welche in engem Zusammenhang mit den verschiedenen Eskalationsstufen des nationalen Alarmsystems stehen [33]:

- Die ‚punktuelle‘ Exzessmortalität beschreibt eine Situation, während der die beobachtete Mortalität an mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen die obere Grenze des auf Grundlage der Schätzung der Basislinie berechneten 99 % Konfidenzintervalls überschreitet.
- Eine als ‚andauernder‘ Mortalitätsexzess bezeichnete Situation tritt ab dem Moment ein, ab dem die im Rahmen einer CUSUM<sup>21</sup>-Analyse berechnete Exzessmortalität das 90. Perzentil der erwarteten Mortalität an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen überschreitet und die kumuliert beobachtete Mortalität in dieser Periode die erwartete Mortalität um mehr als die dreifache Standardabweichung übertrifft.
- Eine als ‚schwerwiegender‘ Mortalitätsexzess bezeichnete Situation tritt auf, wenn ein andauernder Mortalitätsexzess, mindestens aber ein punktueller Exzess, vorliegt und die beobachtete Mortalität die obere Grenze des 95 % Konfidenzintervalls der erwarteten Gesamtmortalität während der gleichen Periode überschreitet.

Zusammenfassend haben sich die folgenden Anforderungen an die Operationalisierung eines Exzess- und eines Klimakriteriums als relevant erwiesen: die methodisch und inhaltlich begründete, möglichst einfach umzusetzende und hinsichtlich stratifizierter Analysen robuste Festlegung

- von Schwellenwerten für Mortalität mit dem Ziel einer optimierten Balance zwischen Sensitivität und Spezifität zur Vermeidung falsch positiver und falsch negativer Signale,
- von Schwellenwerten einzelner Klimaparameter oder deren Kombination und ggf. deren Anpassung an regional stark unterschiedliche Bedingungen und
- einer Zeitdauer, während der die Schwellenwerte einen auffälligen Befund zeigen müssen.

### **3.4 Zusammenfassung**

In der Vergangenheit veranlassten Hitzeereignisse mit erheblichen Gesundheitsfolgen einige europäische Länder im Zuge der Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien zur Etablierung von

---

<sup>21</sup> Cumulative Sum (CUSUM) Analysen werden verwendet, um die kumulative Summe der Exzesssterbefälle im Zeitverlauf darstellen zu können. Auf diese Weise lassen sich auch länger anhaltende sowie kleinere Veränderungen (shifts) der Mortalität mit guter Sensitivität detektieren.

Systemen für die zeitnahe Beobachtung der Sterbefälle und deren Assoziation mit verschiedenen Klimaparametern. Diese Systeme weisen relevante strukturelle und methodische Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten auf. Insbesondere die für die Sensitivität und Spezifität der Systeme maßgeblichen Definitionen dessen, was als Sterbeexzess und als Hitzewelle bzw. -periode gelten soll, sind different. Häufig stehen dabei unter Berücksichtigung inhaltlicher und methodisch-statistischer Überlegungen festgelegte Schwellenwerte im Mittelpunkt, deren Überschreiten als Signal für das Vorliegen einer Hitzeperiode oder eines Sterbeexzesses angesehen wird. Auf der organisationalen Seite zeichnen sich die Systeme durch eine feste institutionelle Struktur, transparente und durchlässige Datenflusswege sowie angebbare Methoden für die Aufbereitung und statistische Auswertung der Sterbedaten und deren Assoziation mit Klimaphänomenen aus. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die Verwendung der Gesamtmortalität als international etablierter Indikator mit hoher Aussagekraft. Darüber hinaus ist die Datenbasis zur Abbildung der Gesamtmortalität hinsichtlich der Kriterien Vollständigkeit<sup>22</sup> und Vollzähligkeit<sup>23</sup> i.d.R. von hoher Güte. Vor dem Hintergrund, dass vorgestellte Monitoring-/Surveillance-Systeme möglichst zeitnah Ergebnisse bereitstellen müssen, steht deren Entwicklung vor methodischen und datenschutzrechtlichen Herausforderungen. Die Berücksichtigung von Todesursachen hat derzeit keine Relevanz bei der Abbildung von Mortalitätsexzessen, wird jedoch als zukünftige Option diskutiert.

---

<sup>22</sup> Anteil der verfügbaren Informationen an den zu erwartenden Informationen je Datensatz

<sup>23</sup> Anteil der verfügbaren Datensätze an allen zu erwartenden Datensätzen

## **4 Arbeitspaket 2: Analyse der Sterbe- und Temperaturdaten**

### **4.1 Hintergrund und Zielsetzung**

Die Befundlage über die Zusammenhänge zwischen Hitze und Morbidität sowie Mortalität ist inzwischen umfassend, gleichwohl heterogen hinsichtlich der angewendeten Methoden. Für die Analyse dieser Zusammenhänge werden in der Regel einzelne Temperaturparameter wie mittlere ( $T_m$ ), minimale ( $T_{min}$ ) und maximale Tagestemperatur ( $T_{max}$ ) bzw. deren Kombination herangezogen. Wie oben dargestellt, heben sich die Definitionen des Begriffs ‚Hitzewelle‘ in den existierenden europäischen Surveillance-Systemen deutlich voneinander ab.

Die Zielsetzung des zweiten Arbeitspaketes (05/2015 – 10/2015) war daher die Aufbereitung der für Hessen vorliegenden Sterbedaten sowie insbesondere der Temperaturdaten für Hessen. Darüber hinaus sollte eine erste Schätzung einer Basislinie des Ausmaßes von Übersterblichkeit im Zeitverlauf und der Korrelation zwischen Temperatur und Mortalität darstellen. Des Weiteren sollten für das Surveillance-System je ein spezifisches Klima- und Mortalitätskriterium definiert und operationalisiert werden.

### **4.2 Methodisches Vorgehen**

#### **4.2.1 Datenherkunft**

Sterbedaten für die Jahre 2000 bis 2013 wurden vom Statistischen Landesamt Hessen dem Hessischen Landesprüfungs- und Untersuchungsamt für das Gesundheitswesen (HLPUG) ausgeleitet und von dort zur Auswertung in HEAT II Verfügung gestellt. Diese umfassen neben weiteren Variablen Angaben zu Wohn- und Sterbekreis, zu Geburts<sup>24</sup>- und Sterbedatum und zum Geschlecht.

Daten zu verschiedenen Klimaparametern, darunter das Tagesmaximum, Tagesminimum sowie der Tagesmittelwert der Temperatur, wurden vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Jahre 2000 bis 2013 zur Verfügung gestellt.

#### **4.2.2 Datenaufbereitung**

Beide Datensätze wurden im Rahmen der Aufbereitung den üblichen Plausibilitätsprüfungen unterzogen. Insbesondere für die Sterbedaten war es notwendig, Fälle von den weiteren

---

<sup>24</sup> Für das Geburtsdatum sind lediglich Monat und Jahr bekannt, der Tag ist dagegen pauschal auf die Monatsmitte (15. Tag) datiert

Analyseschritten auszuschließen.

### **Sterbedaten**

Im Zuge der Arbeit mit den Sterbedaten wurden Fälle von den weiteren Analysen ausgeschlossen, wenn ein unplausibles Sterbealter ( $< 0$  oder  $> 110$  Jahre) vorlag<sup>25</sup>. Darüber hinaus wurden Fälle ausgeschlossen, wenn sich die Person zum Zeitpunkt ihres Todes außerhalb Hessens aufhielt<sup>26</sup> und somit unabhängig von den klimatischen regionalen Bedingungen Hessens verstarb. Personen, die ihren Wohnsitz nicht in Hessen hatten, jedoch in Hessen verstorben sind, wurden dagegen im Datensatz belassen. Der Datensatz bildet daher das Sterbegeschehen in Hessen in Abhängigkeit vom Sterbeort und unabhängig vom Wohnort ab. Wie sich zeigte, war die Vollzähligkeit der Sterbedaten im Dezember des Jahres 2013 aufgrund der Verzögerung im Rahmen der statistischen Erfassung stark eingeschränkt. Um einen verzerrenden Einfluss der eingeschränkten Vollzähligkeit auf die Ergebnisse zu vermeiden, wurde das Jahr 2013 von weiteren Analysen ausgeschlossen. Insgesamt lagen damit Sterbedaten zu  $n = 4.745$  Beobachtungstagen vor.

### **Temperaturdaten**

Wie in Arbeitspaket 1 gezeigt werden konnte, nutzt der überwiegende Teil der existierenden Surveillance-Systeme Temperaturparameter für die zeitnahe Analyse des Zusammenhangs zwischen Hitze und Mortalität. Gleichwohl besteht international kein Konsens darüber, welcher Temperaturparameter am besten für eine Surveillance geeignet ist. Der Tagesmittelwert der Temperatur (in °C) wurde in verschiedenen Studien als Temperaturvariable herangezogen (exemplarisch [35]) und daher auch für die hier vorgestellten Analysen verwendet. Die unterschiedliche Beschaffenheit der Datensätze machte zunächst eine nach Messnetzen (DWD: 36 Stationen, HLNUG: 26 Stationen) getrennte Aufbereitung erforderlich. Anschließend wurden die Daten beider Netze zusammengeführt, um die Informationsdichte zur Berechnung der Temperaturvariablen zu erhöhen.

---

<sup>25</sup> Totgeborene waren mit einem negativen Sterbealter ausgewiesen

<sup>26</sup> Sterbekreis lag nicht in Hessen

### 4.2.3 Datenanalyse

#### Sterbedaten

Die Sterbedaten wurden zunächst mithilfe der üblichen Verfahren der deskriptiven Statistik aufbereitet und grafisch dargestellt. Dafür wurden die Sterbefälle über die gesamte Zeitreihe (2000 – 2012) insgesamt und nach Altersgruppen stratifiziert in Zeitreihendiagrammen abgebildet.

Zur Darstellung des ‚typischen‘ jährlichen Sterblichkeitsverlaufs für Hessen seit 2000 wurden die über die 13 Jahre vorliegenden Sterbefälle je Kalendertag aufsummiert und durch die Anzahl der Jahre dividiert ( $n = 13$  Jahre). Das Ergebnis war eine grafische Darstellung der durchschnittlich zu erwartenden Anzahl an Sterbefällen je Kalendertag.

Eine für die gesamte Zeitreihe nach demografischen Kriterien (Alter und Geschlecht) standardisierte<sup>27</sup> Aufbereitung zeigte den erwartungsgemäß abnehmenden Trend der Mortalitätsraten im Zeitverlauf. Um den Einfluss dieses Trends zu reduzieren, wurde die Basislinie auf der Grundlage von fünf Jahren geschätzt. Für die Schätzung der erwarteten (engl.: expected (e)) Anzahl an Sterbefällen wurden die für jeden der 1.825<sup>28</sup> Tage beobachtete (engl.: observed (o)) Anzahl an Sterbefällen je Kalendertag aufsummiert und durch die Anzahl der Jahre dividiert ( $n = 5$ )<sup>29</sup>. Das Ergebnis des beschriebenen Vorgehens war die für einen bestimmten Kalendertag durchschnittlich zu erwartende Anzahl an Sterbefällen in dem unmittelbar auf die fünfjährige Zeitreihe folgenden Testjahr. Mithilfe des vorliegenden Datensatzes konnte auf diese Weise für insgesamt acht Testjahre (2005 bis 2012) eine Schätzung der erwarteten Sterbefälle vorgenommen werden. Tabelle 5 zeigt die Zuordnung der zur Schätzung der Basislinie verwendeten Zeitreihen und Testjahre.

**Tabelle 5: Für die Schätzung der Basislinie verwendete Jahre und Testjahre**

Zeitreihe zur Schätzung der Basislinie	Testjahre
2000 bis 2004	2005
2001 bis 2005	2006
2002 bis 2006	2007
2003 bis 2007	2008

<sup>27</sup> Standard: deutsche Standardbevölkerung 1987

<sup>28</sup> 365 Tage x 5 Jahre; der 29. Februar wurde aus dem Datensatz entfernt unter der Annahme, dass die erwartete Fallzahl für dieses nur in Schaltjahren vorkommende Datum als arithmetisches Mittel der Anzahl der Sterbefälle der zwei benachbarten Tage geschätzt werden kann.

<sup>29</sup> mit Rundung ohne Nachkommastellen

Zeitreihe zur Schätzung der Basislinie	Testjahre
2004 bis 2008	2009
2005 bis 2009	2010
2006 bis 2010	2011
2007 bis 2011	2012

(Quelle: Eigene Darstellung)

Der Verlauf einer Basislinie wird maßgeblich davon beeinflusst, ob innerhalb des Zeitraums Perioden mit starken Schwankungen der Anzahl an Sterbefällen enthalten sind. Dies kann zu einer Über- bzw. Unterschätzung der Differenzen der beobachteten und erwarteten Fallzahlen führen. Nach der Inspektion des Verlaufs der erwarteten Fälle über die gesamte Zeitreihe (2000 bis 2012) zeigte sich ein verzerrender Einfluss des erheblichen Sterbeexzesses in dem extrem heißen Sommer des Jahres 2003 auf die Schätzung der Basislinie für die Testjahre 2005 bis 2008. Daher wurde die ursprüngliche (unbereinigte) Basislinienschätzung in einem zweiten Schritt um diesen extremen Anstieg der Sterbefälle bereinigt. Dies wurde in einer ersten Annäherung erreicht, indem die während der Sommermonate im Jahre 2003 beobachtete Anzahl an Sterbefällen durch einen Durchschnitt der während der Sommermonate (Juni bis August) der Jahre 2000 bis 2002 sowie 2004 bis 2005 aufgetretenen Sterbefälle ersetzt wurde. Durch Anwendung dieses Verfahrens konnte der verzerrende Einfluss durch den Mortalitätsexzess des Jahres 2003 bereinigt werden. Im weiteren Verlauf der Arbeiten am Auswertalgorithmus wurde dieses Bereinigungsverfahren modifiziert und auf die gesamte Zeitreihe erweitert (siehe Ergebnisse zu Arbeitspaket 3).

Für einen formalen Vergleich der Sterbefälle wurde, sowohl für die unbereinigte als auch für die bereinigte Basislinienschätzung, die absolute Differenz ( $o - e$ ) zwischen den erwarteten und den beobachteten Sterbefällen für jedes der Testjahre berechnet. Diese Differenz gibt Auskunft über die absolute Anzahl, um die die beobachteten von den erwarteten Sterbefällen abweicht. Darüber hinaus wurden relative Differenzen  $((o - e)/e * 100)$  berechnet, die zeigen, um wieviel Prozent die beobachteten von den erwarteten Sterbefällen abweichen. Die Abweichungen wurden gemeinsam mit dem Verlauf der beobachteten und erwarteten Fälle sowie mit Überschreitungen der mittleren Tagestemperatur in Zeitreihendiagrammen abgetragen. Die grafische Darstellung dient u.a. der Beurteilung des zeitlichen Zusammenhangs<sup>30</sup> zwischen dem Auftreten erhöhter Sterblichkeit und Hitzeereignissen. Diese

<sup>30</sup> Koinzidenz von Hitze- und Mortalitätsereignissen, Prüfung eines Lag- oder eines Harvesting-Effektes

Beurteilung ist relevant für die Definition geeigneter Klima- und Mortalitätskriterien.

## Temperaturdaten

Für jeden Tag seit dem 01. Januar 2000 wurde ein arithmetisches Mittel des Temperaturmittels über alle an diesem Datum datenliefernden Stationen in Hessen berechnet<sup>31</sup>. Die auf diese Weise geschätzten Mittelwerte des täglichen Temperaturmittels zeigten sich in verschiedenen Tests robust (= minimale Abweichungen) im Vergleich zu Reihen mit einer Bereinigung um Extremwerte<sup>32</sup>, einer Entfernung von Stationen mit redundanter Messung<sup>33</sup> oder von Stationen in Großstädten oder deren unmittelbarer Nähe<sup>34</sup>.

Der Verlauf der Temperaturdaten wurde in Zeitreihendiagrammen dargestellt. Zur Darstellung des ‚typischen‘ jährlichen Temperaturverlaufs für Hessen wurden sämtliche über die 13 Jahre vorliegenden Mittelwerte der täglichen Tagesmittelwerte je Kalendertag berechnet. Das Ergebnis ist eine grafische Darstellung der durchschnittlich zu erwartenden Temperatur je Kalendertag.

Sämtliche Prozeduren wurden mithilfe des Statistikprogramms *R*, Version 3.0.3. [36], ausgeführt.

## 4.3 Ergebnisse

### 4.3.1 Sterblichkeit in Hessen

In den Jahren 2000 bis 2012 verstarben in Hessen 746.063 Personen mit verfügbarer Angabe eines Sterbealters<sup>35</sup>. Abbildung 10 zeigt die Verteilung dieser Sterbefälle nach Alterskategorien und Geschlecht. Erwartungsgemäß steigt die Sterblichkeit bei Männern und Frauen mit zunehmendem Alter an. Männer zeigen in jeder Altersklasse bis unter achtzig Jahre eine höhere Sterblichkeit als Frauen. Erst danach zeigt sich die aufgrund der höheren Lebenserwartung ansteigende Anzahl an Sterbefällen bei Frauen.

---

<sup>31</sup> die Anzahl der datenliefernden Stationen variierte im Zeitverlauf zwischen 40 und 58, durchschnittlich waren tägl. Messwerte von 50 Stationen verfügbar

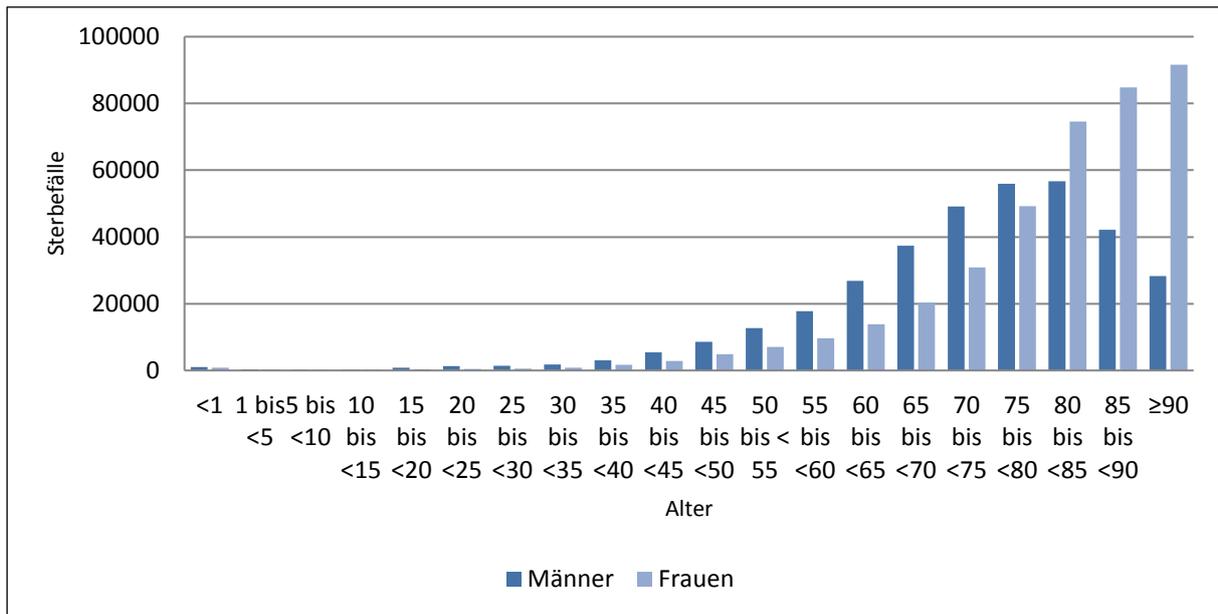
<sup>32</sup> Trimmung um 6 %, 10 % und 20 %

<sup>33</sup> einige Städte zeigten eine Mehrfachbelegung

<sup>34</sup> um den Effekt urbaner Wärmeinseln auf das arithmetische Mittel zu reduzieren

<sup>35</sup> Aufgrund der Trunkierung des Datums des Geburtstages im Datensatz erfolgte die Berechnung des Sterbealters mit Hilfe eines fiktiven Datums (jeweils der 15. Tag des Geburtsmonats)

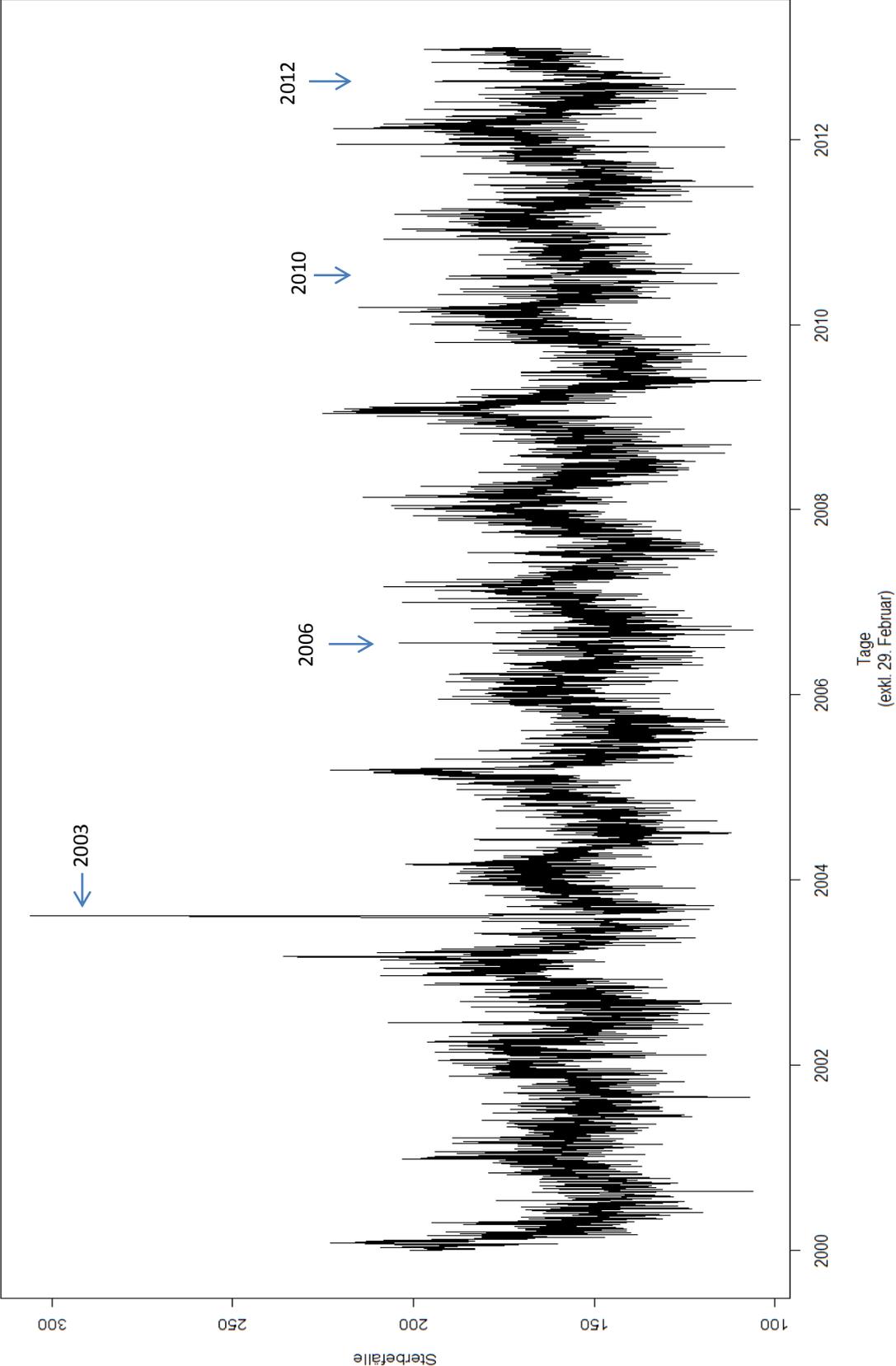
**Abbildung 10: Kumulierte Sterbefälle nach Alterskategorien und Geschlecht, 2000 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 11 zeigt eine Zeitreihe der täglich erfassten Sterbefälle in den Jahren von 2000 bis 2012 ohne Glättung. Deutlich ist das typische, zyklische Wellenmuster der Unterschiede zwischen Sommer- und Wintersterblichkeit im Jahrgang zu erkennen: die Sommermonate (Juni bis August) sind in der Abbildung durch ein Wellental repräsentiert, während die Wintermonate (Dezember bis Februar) durch eine deutlich höhere Anzahl von Sterbefällen (Wellenberg) gekennzeichnet sind. Dieser Anstieg kann i.d.R. zu einem großen Teil durch eine erhöhte Influenzaaktivität in der kälteren Jahreszeit erklärt werden. Durch einen ungewöhnlich starken Anstieg der Sterbefälle während des Sommers tritt das Jahr 2003 in Erscheinung. Dies korrespondiert mit der in zahlreichen Ländern Europas gemachten Beobachtung z.T. erheblicher Mortalitätsexzesse und demonstriert das Ausmaß der überregionalen Betroffenheit auch in Deutschland. Die Anstiege der Sterblichkeit während der Hitzeperioden in den Jahren 2006, 2010 und 2012 sind ebenfalls deutlich sichtbar, fallen im Vergleich mit 2003 jedoch weitaus geringer aus.

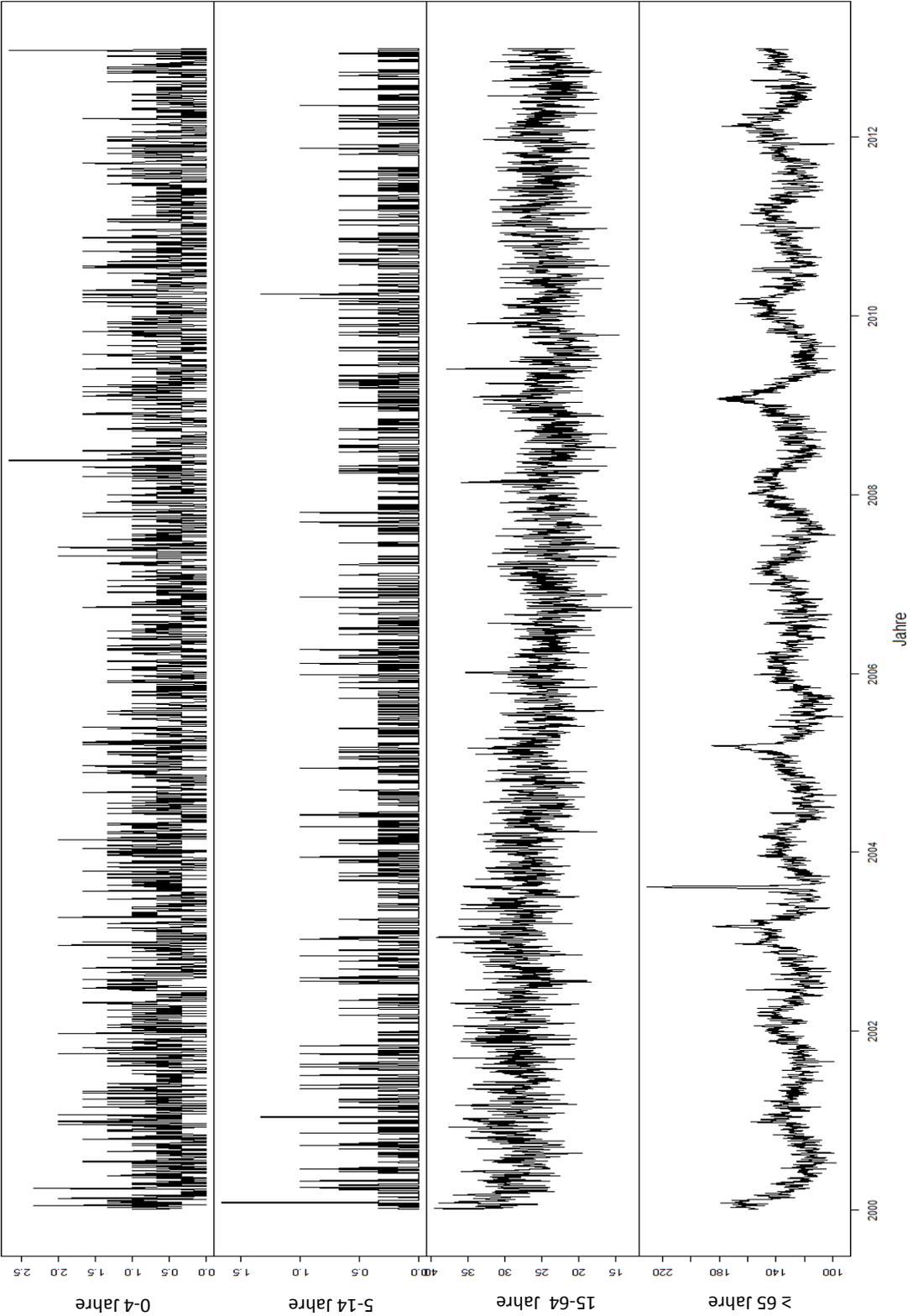
Abbildung 11: Zeitreihe der Sterbefälle in Hessen, 2000 - 2012, ohne Glättung



(Quelle: Eigene Darstellung)

In einer nach Altersklassen stratifizierten, mit gleitendem Durchschnitt über drei Tage (= 3. Ordnung) geglätteten Darstellung der Sterbefälle kann für die unteren Altersgruppen (0 bis unter 5 Jahre, 5 bis unter 15 Jahre) das zyklische Sterbemuster nicht reproduziert werden (Abbildung 12). Dies ist jedoch vor allem durch die geringen Fallzahlen in diesen beiden Klassen zu erklären. Dagegen zeigen sich in den beiden höheren Altersklassen (15 bis unter 65, 65 und älter), insbesondere ab einem Alter von 65 Jahren, deutlich ausgeprägte jahreszeitlich bedingte Unterschiede der Sterbehäufigkeit.

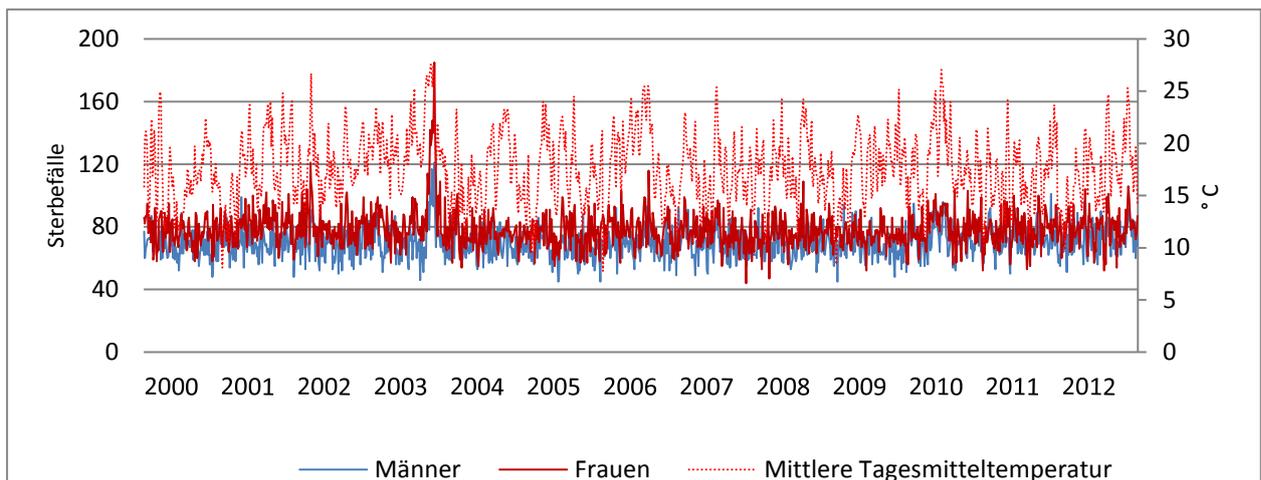
Abbildung 12: Zeitreihen der Sterbefälle in Hessen, nach Alter, 2000 - 2012 , mit Glättung



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 13 zeigt die nach Geschlecht getrennten, täglich beobachteten Sterbefälle für die Sommermonate (Juni bis August) der Jahre 2000 bis 2012. Überraschend ist die Beobachtung, dass die Zahl der Sterbefälle der Frauen in den Perioden mit eher überdurchschnittlichen Temperaturen stärker anzusteigen scheint als die der Männer.

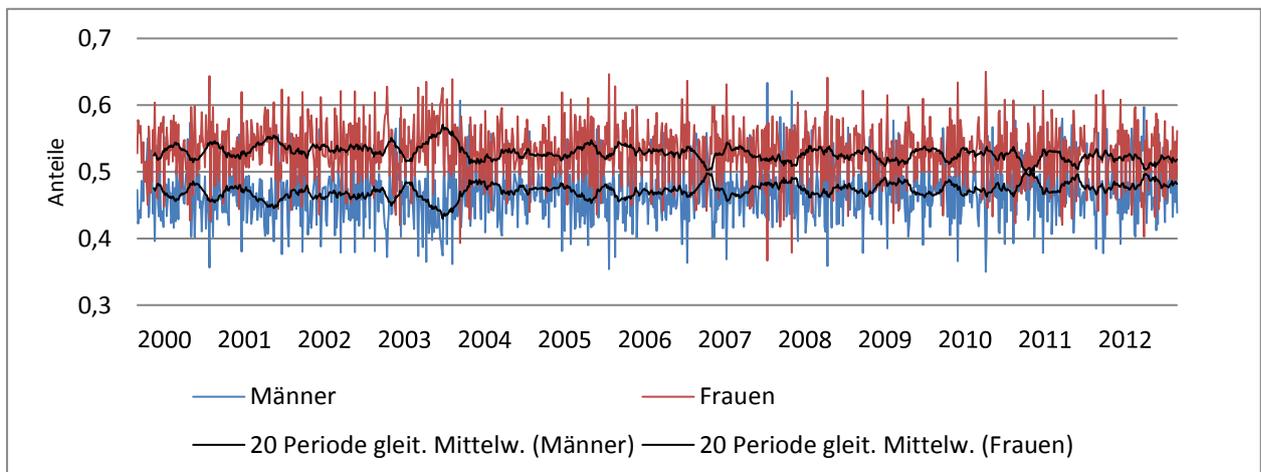
**Abbildung 13: Tägliche Sterbefälle, nach Geschlecht, Sommerdaten, 2000 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Vermutung einer stärkeren Betroffenheit von Frauen unter Hitzeinfluss wird durch Abbildung 14 erhärtet, die die täglichen Anteil an den Sterbefällen vergleicht, die Frauen und Männer während der Sommermonate auf sich vereinen.

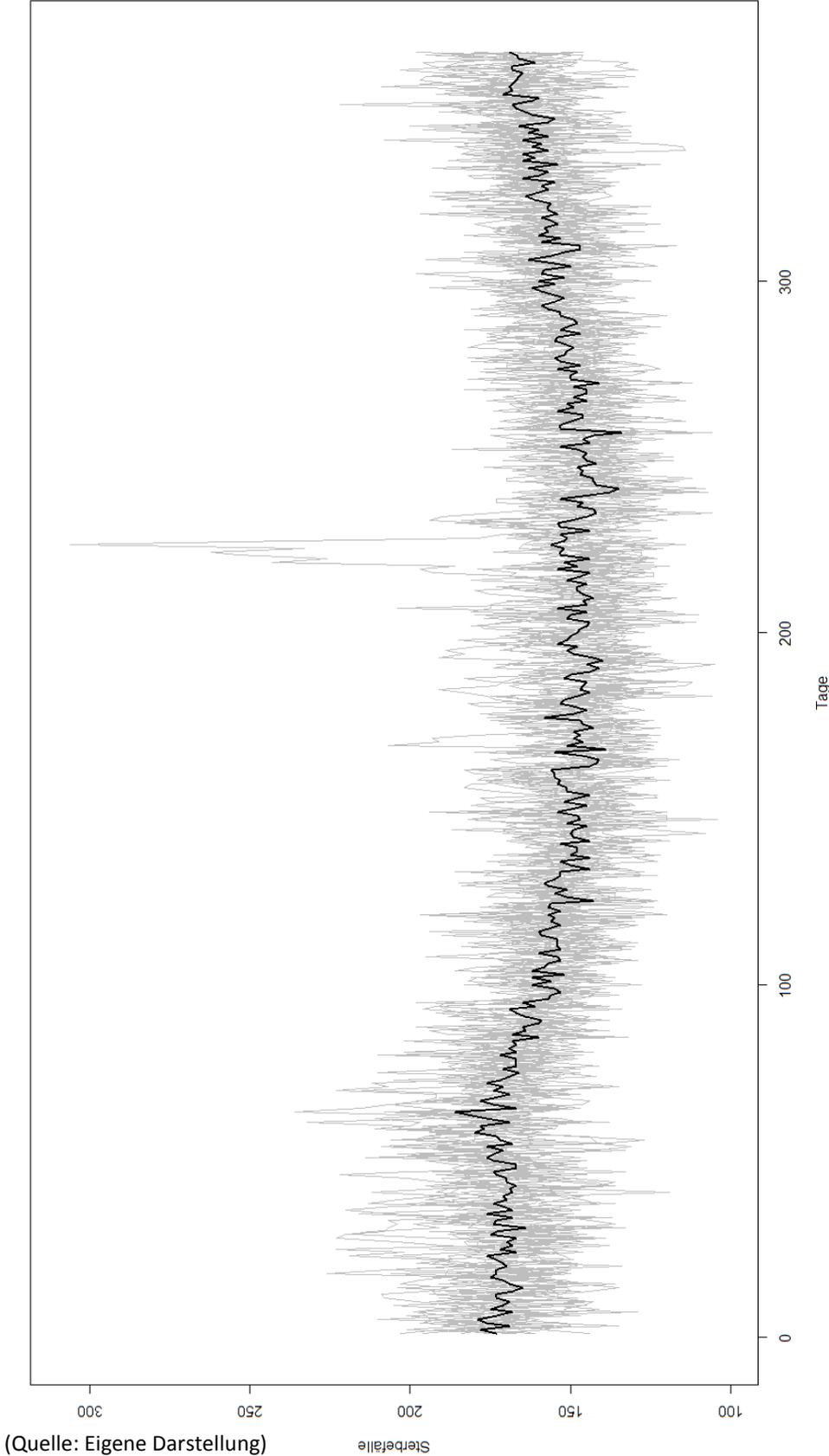
**Abbildung 14: Vergleich der Anteile von Frauen und Männern an den beobachteten Sterbefällen, Sommermonate, 2000 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 15 zeigt die in den Jahren 2000 bis 2012 beobachteten sowie die durchschnittlich je Kalendertag aufgetretenen Sterbefälle (geglättet mit gleitendem Durchschnitt 3. Ordnung) und damit das für Hessen typische Sterbegeschehen im Jahresgang. Wie gezeigt wird, geht die Sterblichkeit, ausgehend von einem hohen Niveau im Januar und Februar, mit Beginn des meteorologischen Frühlings kontinuierlich zurück. Während der Sommermonate bleibt die Zahl der zu erwartenden Sterbefälle abgesehen von Schwankungen vergleichsweise gering, um dann ab September kontinuierlich auf ein erneut hohes Niveau anzusteigen.

Abbildung 15: Tägliche Sterbefälle in Hessen und Durchschnitt, 2000 - 2012, mit Glättung



(Quelle: Eigene Darstellung)

Zur Schätzung der Sterbefälle, die über die Anzahl der erwarteten Sterbefälle hinausgehen, wurden jeweils, basierend auf fünfjährigen Zeitreihen, die Jahre 2000 bis 2011 für die Jahre 2005 bis 2012 verwendet (Tabelle 5). Abbildung 16 zeigt einen Ausschnitt aus der mittels gleitendem Durchschnitt (3. Ordnung) geglätteten Zeitreihe der beobachteten Fälle der Jahre 2005 bis 2012.

**Abbildung 16: Zeitreihe der beobachteten Sterbefälle, 2005 - 2012, mit Glättung**

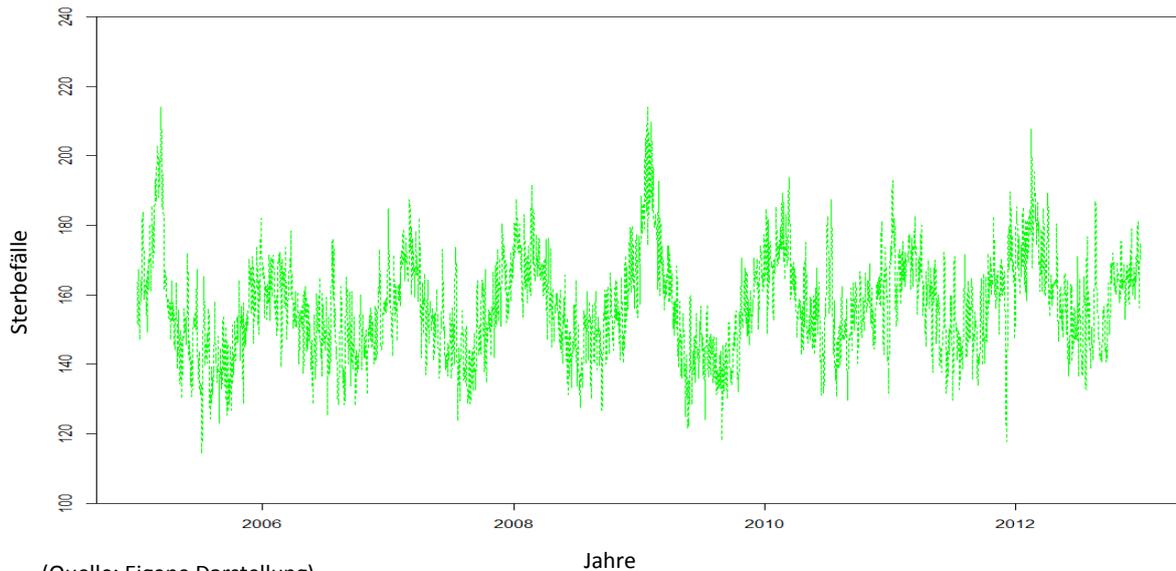
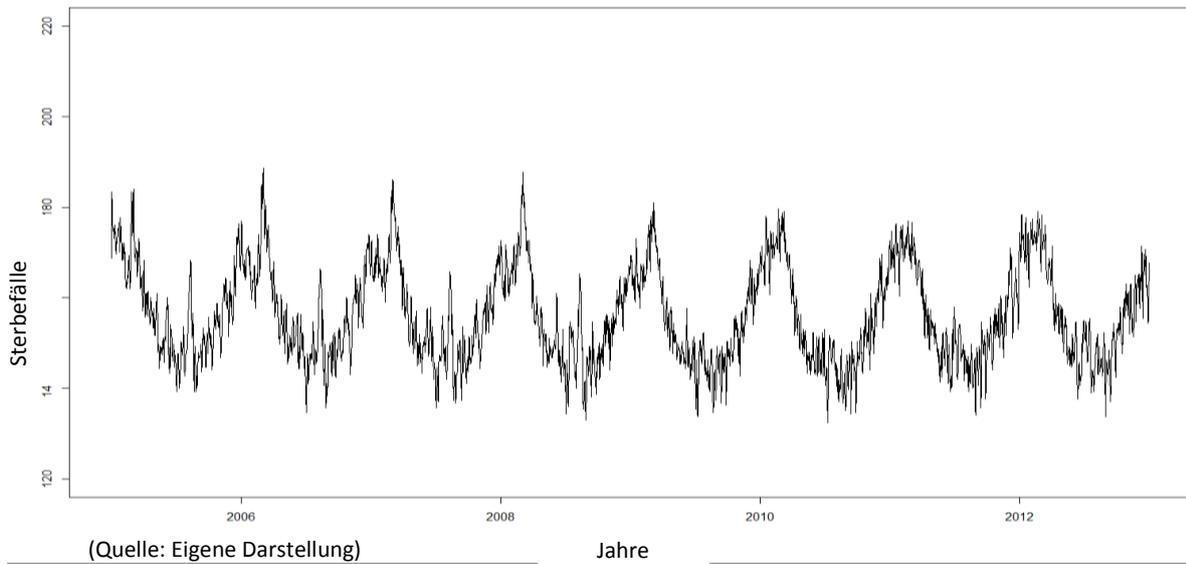


Abbildung 17 zeigt eine auf der Grundlage des Sterbegeschehens der jeweils fünf vorvergangenen Jahre und mittels gleitendem Durchschnitt (3. Ordnung) berechneten Basislinie. Diese Basislinie repräsentiert die durchschnittlich zu erwartenden täglichen Sterbefälle für die acht Jahre von 2005 bis 2012. Zu sehen ist das typische Verteilungsmuster der erwarteten Anzahl an Sterbefällen. Auffallend sind die in den Jahren 2005 bis 2008 zu sehenden Anstiege der erwarteten Fallzahl in den Sommermonaten (aufgrund des Sterbeexzesses im Jahre 2003).

**Abbildung 17: Basislinie der Jahre 2005 - 2012, mit Glättung**



Um eine Unterschätzung möglicher Exzesssterbefälle durch den verzerrenden Einfluss des Hitzejahres 2003 zu vermeiden, wurde die Basislinie für die Jahre 2005 bis 2008 unter Rückgriff auf das unter 4.2.3 beschriebene Verfahren neu berechnet. Nach Bereinigung ist kein verzerrender Effekt mehr nachzuweisen (Abbildung 18).

**Abbildung 18: Basislinie der Jahre 2005 - 2012 (bereinigt), mit Glättung**

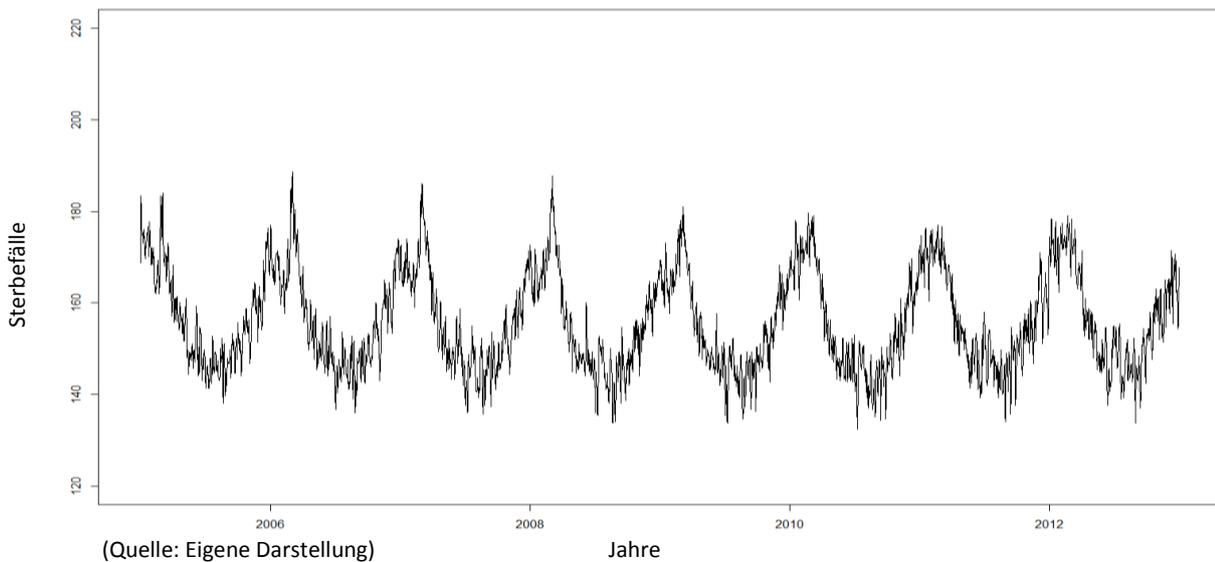
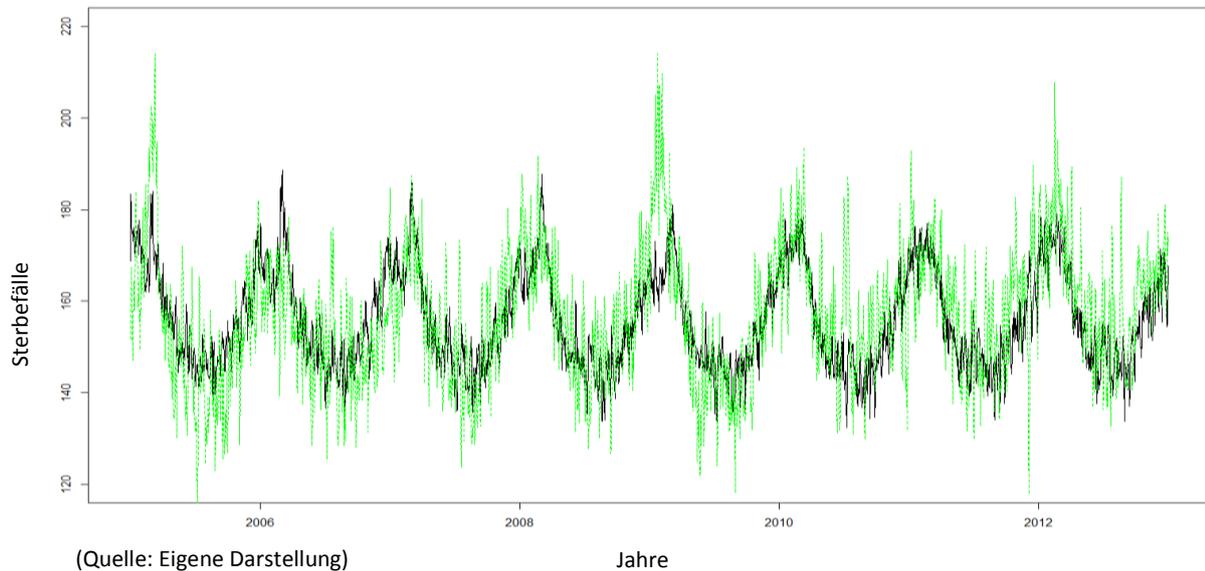


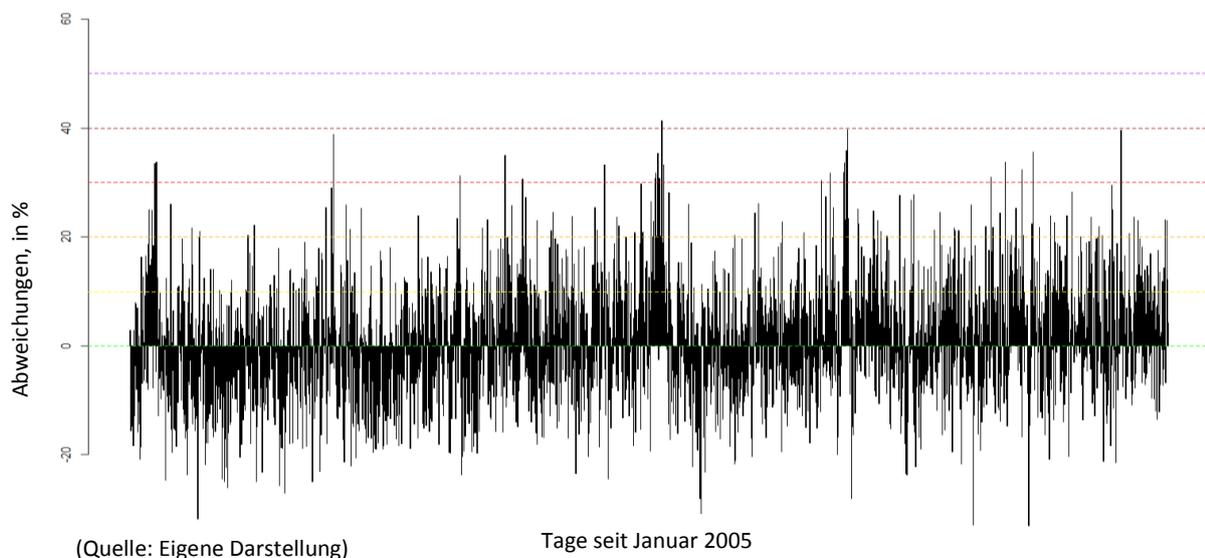
Abbildung 19 zeigt die in den Jahren 2005 bis 2012 beobachteten Fälle sowie die entsprechend der bereinigten Basislinie erwarteten Fälle.

**Abbildung 19: Vergleich der beobachteten (grüne Kurve) und erwarteten (schwarze Kurve) Sterbefälle, 2005 - 2012 (bereinigt), mit Glättung**



Die Abweichungen zwischen den in den Jahren 2005 bis 2012 beobachteten Fällen und der für denselben Zeitraum geschätzten bereinigten Basislinie zeigt Abbildung 20. Die farbigen horizontalen Linien markieren die Überschreitung der beobachteten von den erwarteten Fällen um jeweils mindestens 10 %, 20 %, 30 %, 40 % und 50 % Prozent.

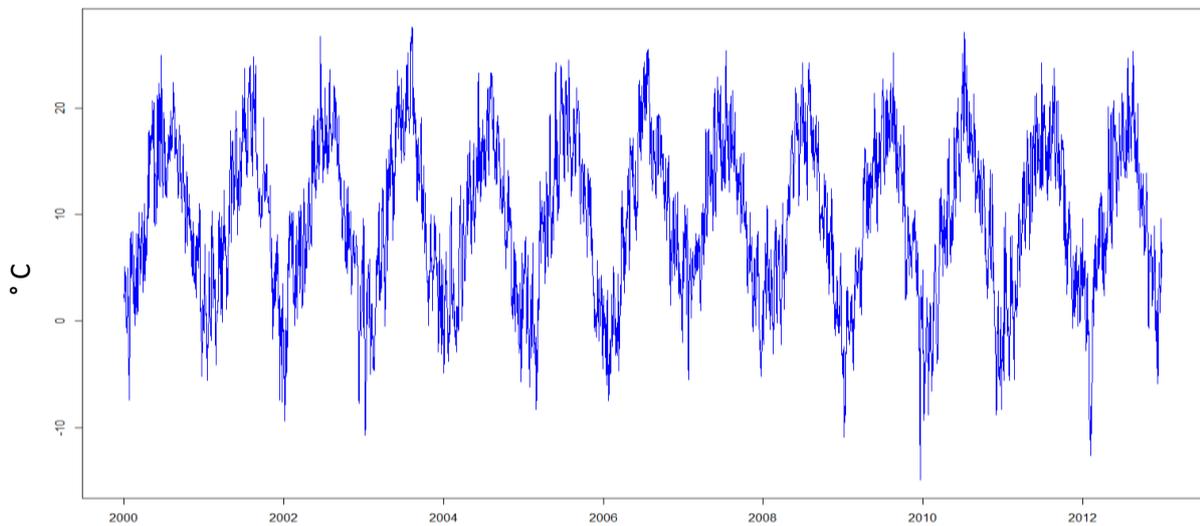
**Abbildung 20: Differenzen zwischen erwarteten und beobachteten Fällen, 2005 - 2012**



### 4.3.2 Temperatur

Abbildung 21 zeigt die Zeitreihe der mittleren Tagesmittelwerte der Temperatur über jeweils alle datenliefernden Stationen in Hessen im Verlauf der n = 13 Beobachtungsjahre. Auch hier ist ein stark zyklisches Muster zu sehen, dass durch hohe Temperaturen während der Sommermonate und niedrige Temperaturen während der Wintermonate gekennzeichnet ist.

**Abbildung 21: Zeitreihe der Tagesmittel der Temperatur, 2000 - 2012**

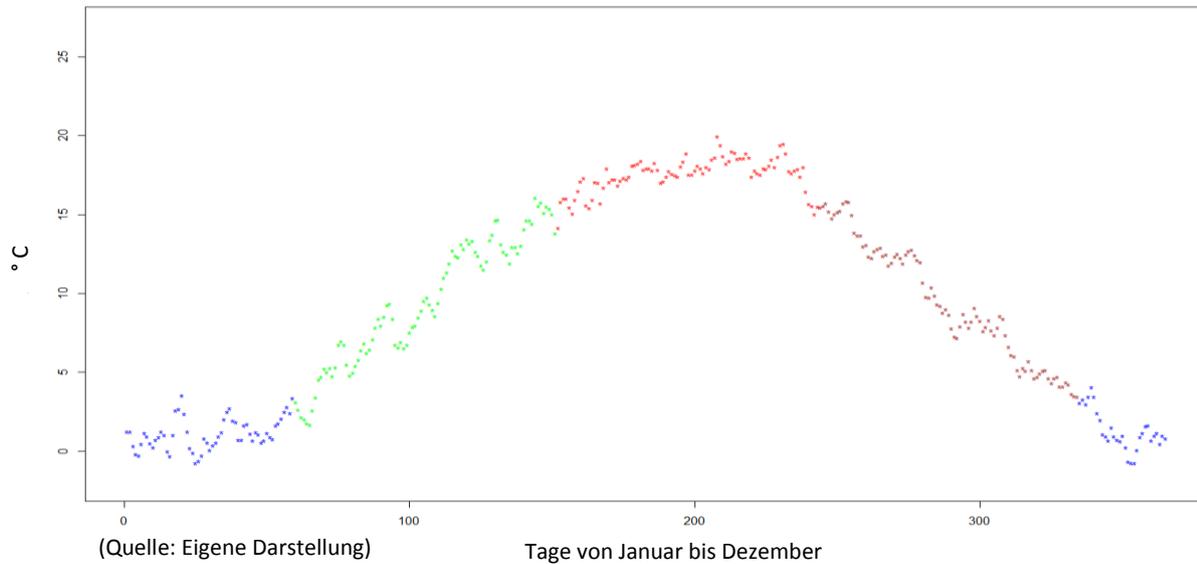


(Quelle: Eigene Darstellung)

Jahre

Abbildung 22 zeigt die durchschnittlichen Tagesmittelwerte der Jahre 2000 – 2012 je Kalendertag für Hessen im Jahresgang. Farblich kenntlich gemacht: meteorologische Jahreszeiten; blau = Winter, grün = Frühling, rot = Sommer, braun = Herbst.

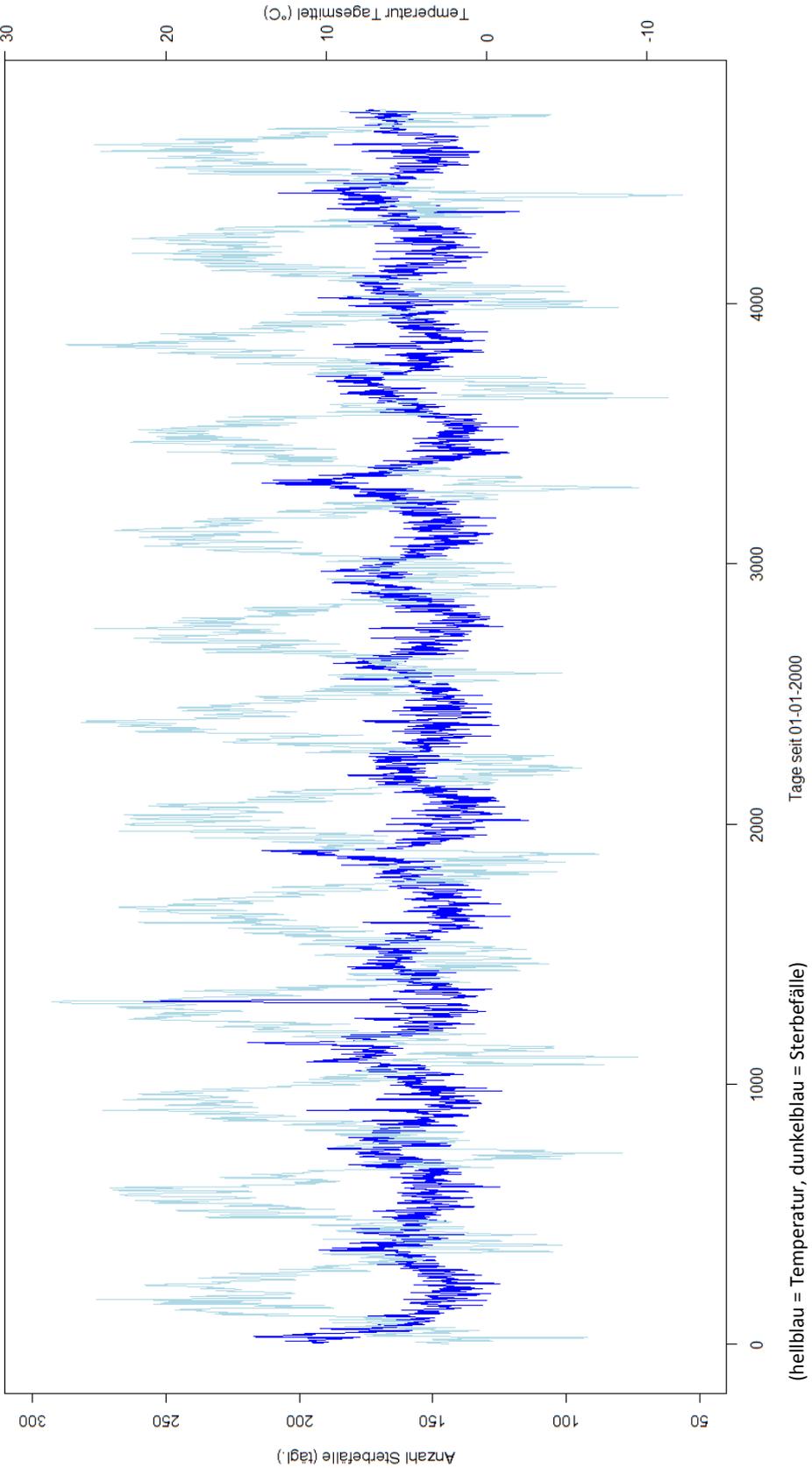
**Abbildung 22: Durchschnittliche, tägliche Tagesmitteltemperatur in Hessen im Jahresgang, 2000 - 2012**



### 4.3.3 Zusammenhang zwischen Sterbefällen und Temperatur

Die beobachteten Sterbefälle sowie die über Hessen gemittelten täglichen Tagesmittelwerte der Temperaturen sind in Abbildung 23 (geglättet mit gleitendem Mittel 3. Ordnung) dargestellt. Die hellblaue Kurve zeigt den Temperaturverlauf, die dunkelblaue Kurve das Sterbgeschehen. Zu sehen ist das typische Muster des Zusammenhangs zwischen Sterblichkeit und Temperatur mit einem starken Anstieg der beobachteten Sterbefälle bei sinkenden Temperaturen und einem im Vergleich dazu deutlichen Rückgang der Sterbefälle während der Sommermonate. Hervor stechen die Jahre 2003, 2006, 2010 sowie 2012, die sich jeweils mit kurzzeitigen, deutlich sichtbaren Anstiegen der Sterbefälle in den Sommermonaten präsentieren.

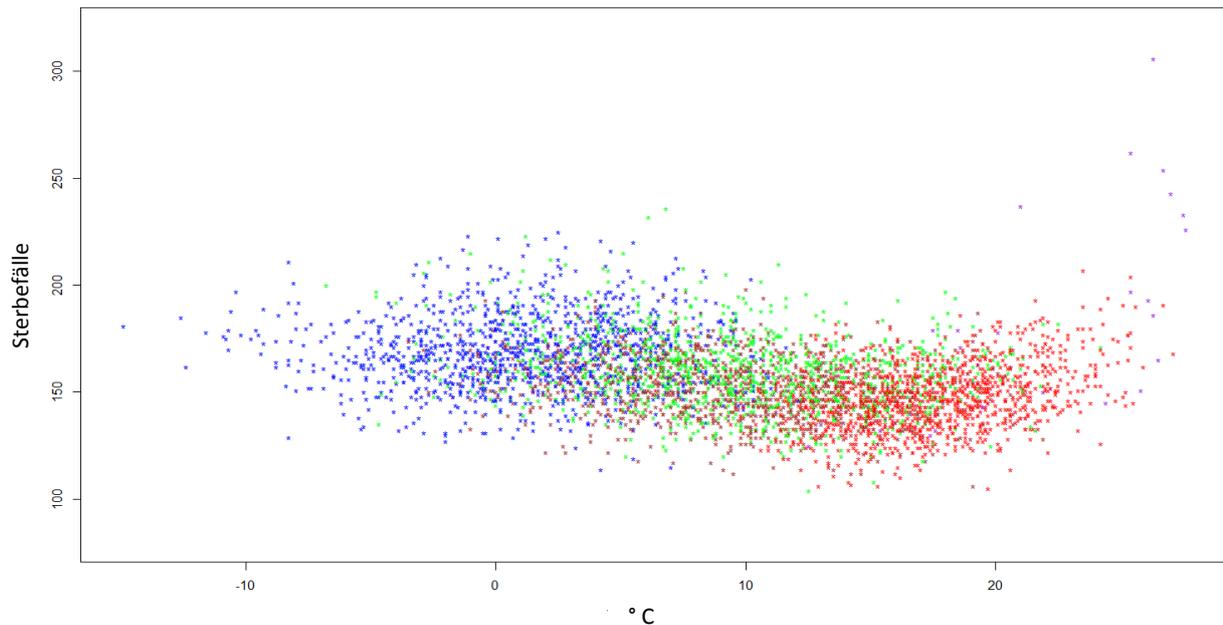
Abbildung 23: Zeitreihenvergleich der Temperatur und Sterbefälle, 2000 - 2012, mit Glättung



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 24 zeigt die Anzahl der täglich während der Jahre 2000 bis 2012 beobachteten Sterbefälle in Abhängigkeit von der Temperatur. Die meteorologischen Jahreszeiten werden farblich unterschieden (blau = Winter, grün = Frühling, rot = Sommer, braun = Herbst). Zusätzlich sind die Extremwerte aus dem August des Jahres 2003 eingefärbt (lila). Die Punktwolke zeigt den typischen J-förmigen Verlauf.

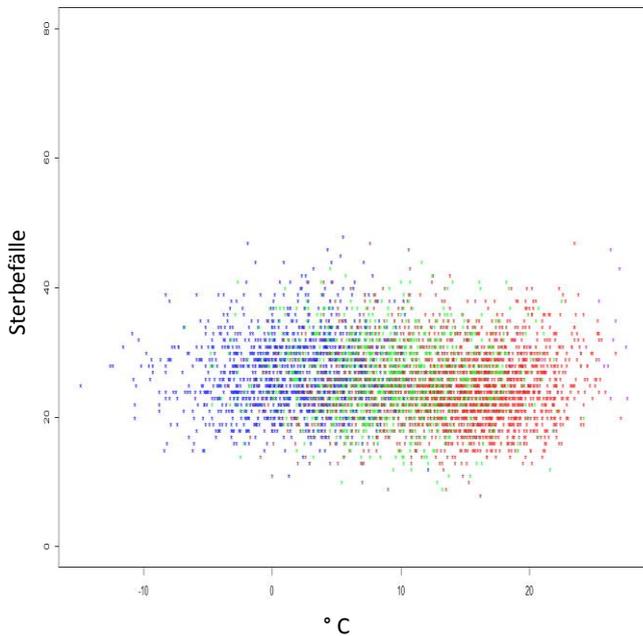
**Abbildung 24: Tägliche Anzahl beobachteter Sterbefälle nach Tagesmitteltemperatur, 2000 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

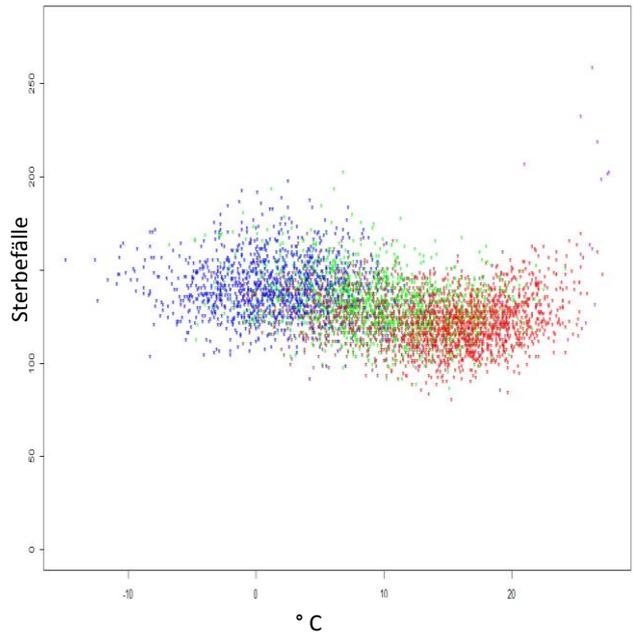
In den Abbildung 25 und 26 sind die täglich während der Jahre 2000 bis 2012 beobachteten Sterbefälle in Abhängigkeit von der Temperatur differenziert nach Alterskategorien abgebildet. Die Jahreszeiten (meteorologisch) sind wiederum farblich abgesetzt (blau = Winter, grün = Frühling, rot = Sommer, braun = Herbst). Zusätzlich sind die Extremwerte aus dem August des Jahres 2003 eingefärbt (lila). In den Altersklassen der 15 bis unter 65 Jährigen und besonders der über 65 Jährigen wird ein Zusammenhang der Sterbefälle mit der Temperatur bzw. die jahreszeitliche Abhängigkeit des Sterbegeschehens durch die Kontur der Punktwolke erkennbar.

**Abbildung 25: Absolute Anzahl an Sterbefällen nach Temperatur, Altersgruppe 15 bis unter 65 Jahre**



(Quelle: Eigene Darstellung)

**Abbildung 26: Absolute Anzahl an Sterbefällen nach Temperatur, Altersgruppe 65 und älter**



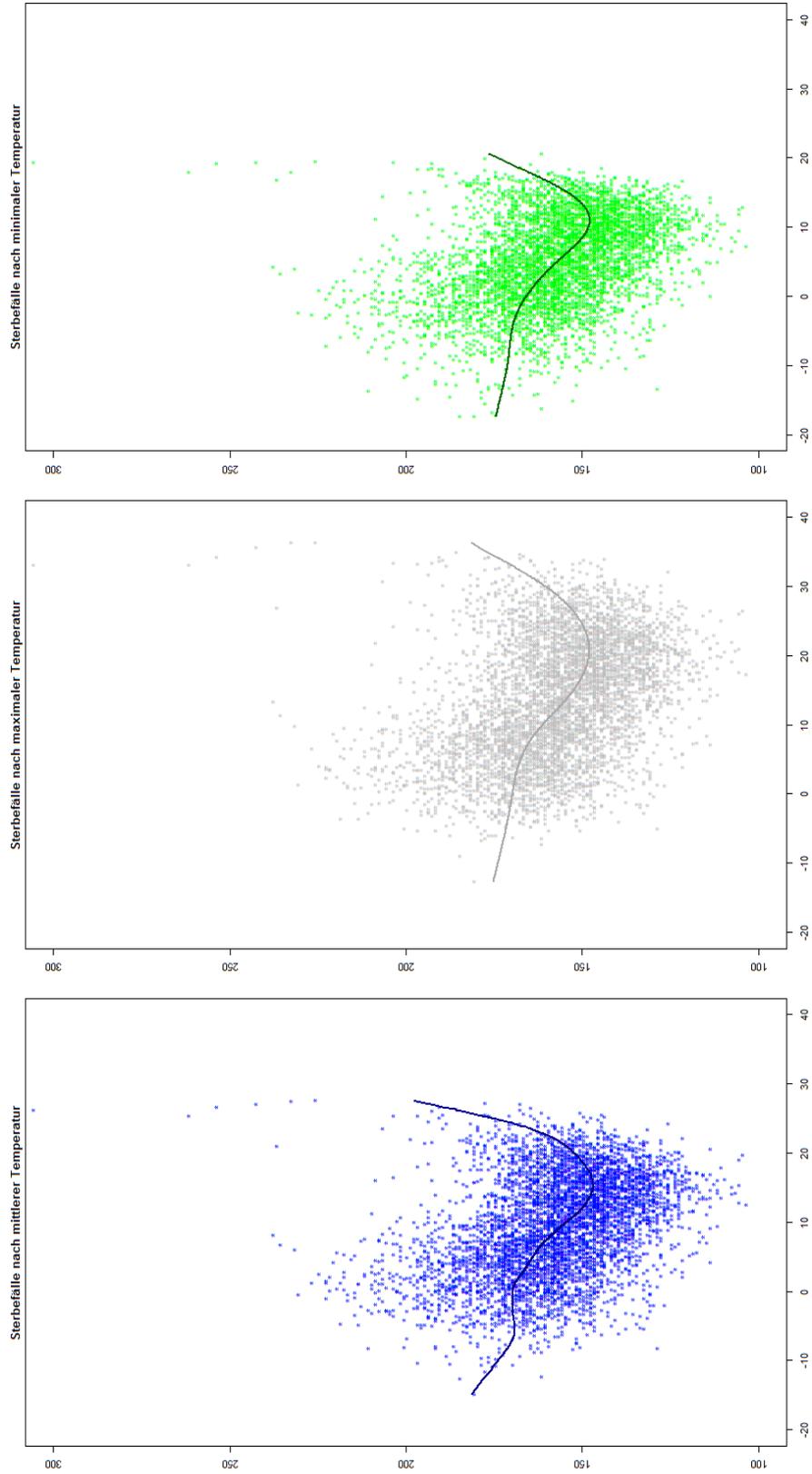
(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 27 vergleicht die nach verschiedenen Temperaturparametern abgetragene durchschnittliche, tägliche Anzahl beobachteter Sterbefälle in Hessen im Jahresgang, basierend auf Sterbe- und Temperaturdaten der Jahre 2000 bis 2013<sup>36</sup>. Für die Tagesmittel- als auch die Tageshöchst- und -tiefsttemperatur sind gleichartige Muster der Verteilung der Sterbefälle zu erkennen. Diese kennzeichnen Temperaturbereiche mit hoher und niedriger Sterblichkeit. Daraus lässt sich ein Temperaturbereich mit geringer Sterblichkeit ablesen, der für die mittlere Tagesmitteltemperatur zwischen 10 °C und 20 °C liegt. Im Sinne einer *Minimum Mortality Temperature* ist die Sterblichkeit im Intervall zwischen 15 °C und 16 °C mittlerer Tagesmitteltemperatur (Minimum 15,3 °C) am geringsten. Abweichungen zwischen den Verteilungsmustern ergeben sich, im Vergleich zur Darstellung unter Berücksichtigung des Temperaturmittels (linker Teil der Abbildung), erwartungsgemäß vor allem durch eine Rechtsverschiebung im Falle des Temperaturmaximums und einer Linksverschiebung der Bereiche mit besonders hoher und niedriger Sterblichkeit im Falle des Temperaturminimums (rechter Teil der Abbildung). Die Kurvenverläufe unterscheiden sich darüber hinaus durch die Steigungswinkel an den jahreszeitlichen Übergängen (Winter/Frühling, Herbst/Winter). Dieser optische Eindruck wird insbesondere durch die Unterschiedlichkeit der Streuungen der für die Darstellung herangezogenen

<sup>36</sup> Aufgrund der eingeschränkten Datenvollständigkeit für den Dezember 2013 wurden Daten bis zum 30. November 2013 für diese Darstellung berücksichtigt

Temperaturparameter erzeugt. Während die Spannweite zwischen dem Minimum und dem Maximum der über Hessen gemittelten maximalen Temperaturen 49 °C beträgt (-12,7 °C bis 36,3 °C), liegen diese für die mittlere Temperatur bei 42,4 °C (-14,9 °C bis 27,6 °C) und für das Minimum der Temperatur bei 38 °C (-17,4 °C bis 20,6 °C). Darüber hinaus kann vermutet werden, dass diese Unterschiede auch durch die in den verschiedenen Temperaturkennzahlen indirekt abgebildete Variabilität des täglichen Temperaturverlaufs entstehen. Während Tage mit einer Minimumtemperatur um 19 °C oder 20 °C bzw. Tropennächte (Temperaturminimum  $\geq$  20 °C zwischen 18 und 6 UTC) bereits als sehr belastend für den menschlichen Körper angenommen werden, können vergleichbare Tagesmitteltemperaturen durch größere Abkühlungsphasen vor allem in der Nacht durchaus für gesundheitliche Risiken von geringerer Bedeutung sein.

**Abbildung 27: Durchschnittliche, tägliche Anzahl beobachteter Sterbefälle nach verschiedenen Temperaturparametern**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Die grafische Darstellung der Sterbefälle in Abhängigkeit von der Temperatur legt die Vermutung eines nicht-linearen Zusammenhangs zwischen Sterblichkeit und Temperatur nahe. Erhärtet wurde diese Vermutung im Rahmen einer formalen Prüfung mittels Korrelationsrechnung (Produkt-Moment Korrelation nach Pearson). Daraus lässt sich, erwartungsgemäß, zunächst kein nachvollziehbarer Aufschluss über die Art und die Stärke des zwischen beiden Variablen bestehenden Zusammenhangs erzielen (Tabelle 6). Auf einen linearen Zusammenhang zwischen Temperaturverlauf und Sterblichkeit kann aufgrund der Befunde nicht geschlossen werden.

**Tabelle 6: Lineare Korrelation zwischen Temperatur und Sterblichkeit, nach Alter**

Altersgruppe	r	p
0 bis unter 5	-0,025	0,085
5 bis unter 15	-0,022	0,129
15 bis unter 65	-0,077	<0,001
65 und älter	-0,356	<0,001

(Quelle: Eigene Darstellung)

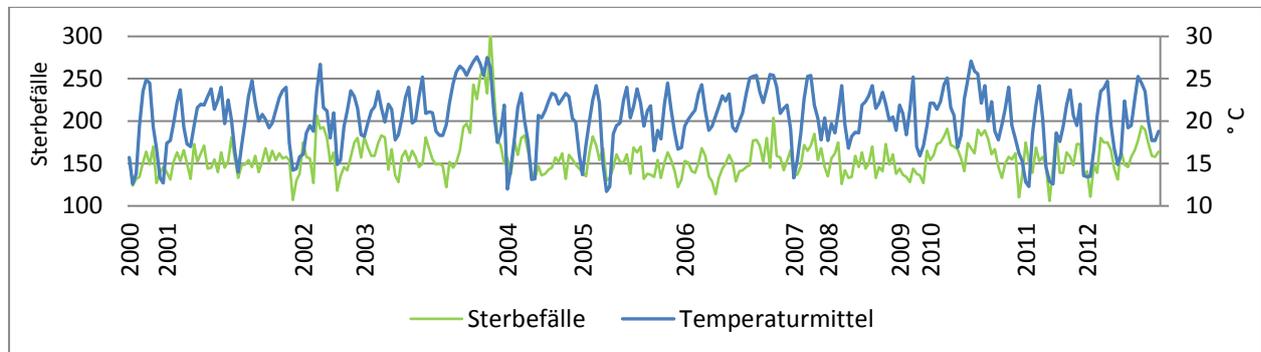
#### 4.3.4 Zeitbezug zwischen Temperatur und Sterbegeschehen

Abbildung 28 zeigt den zeitlichen Bezug zwischen der mittleren Tagesmitteltemperatur und den kalendertäglich beobachteten Sterbefällen im Verlauf der Jahre 2000 bis 2012 in einer komprimierten Darstellung. Für diese Analysen wurden zunächst Sterbefälle unabhängig von Geschlecht und Alter berücksichtigt. Es sind die Tage dargestellt, an denen die Tagesmitteltemperatur von 23 °C überschritten wurde (siehe Abschnitt 4.4). Um den Verlauf der Sterbefälle auch vor und nach diesen sehr heißen Tagen deutlicher abbilden zu können, wurden zusätzlich die vier vor und nach dem Ereignis liegenden Kalendertage in der Abbildung berücksichtigt.

Es kann beobachtet werden, dass der Verlauf der Zahl der Sterbefälle in einem hohen Maße mit dem Temperaturverlauf korrespondiert. Darüber hinaus kann wiederholt eine zeitliche Verzögerung des Anstiegs der Zahl der Sterbefälle (engl. time-lag, kurz: lag) um etwa ein bis zwei Tage gegenüber dem Anstieg der Temperatur beobachtet werden. Erneut hebt sich der August des Jahres 2003 von den übrigen Jahren ab, für den dieser Zusammenhang besonders gut dargestellt werden kann. Für die

Sommermonate der Jahre 2001, 2005 und 2006 sowie 2010 kann eine vergleichbare zeitliche Beziehung augenscheinlich nachgewiesen werden, wenngleich das Ausmaß des Anstiegs sowohl der mittleren Tagesmitteltemperatur als auch der beobachteten Sterbefälle deutlich geringer ausfällt.

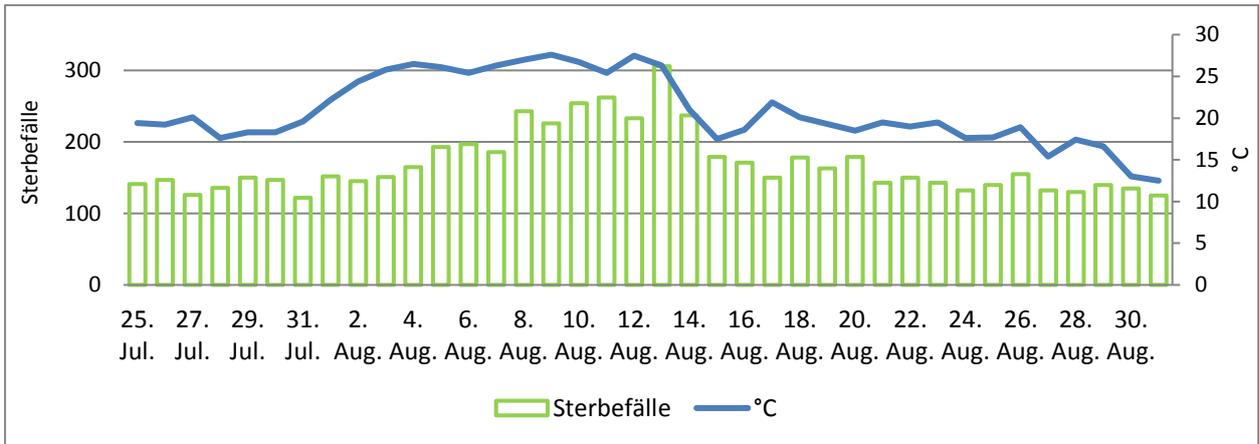
**Abbildung 28: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, 2000 – 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Einen detaillierteren Blick auf die zeitliche Beziehung zwischen Temperatur und Sterbegeschehen erlauben die Abbildungen 29 bis 31, die ausgewählte Perioden mit wiederholten bzw. länger andauernden Überschreitungen der Tagesmitteltemperatur von 23 °C der Jahre 2003, 2006 und 2010 zeigen. Sehr deutlich kommen darin die um etwa ein bis zwei Tage verzögerte Zu- bzw. Abnahme der Sterbefallzahlen bei sich verändernden Temperaturverläufen zum Ausdruck. Dabei erweist sich das Sterbegeschehen als änderungssensitive Variable, die sehr zeitnah, oftmals mit Verzögerungen von lediglich einem Tag, mit Veränderungen in Abhängigkeit vom Temperaturverlauf reagiert. Obschon die Lufttemperatur sowohl in HEAT II als auch in der internationalen Forschungslage als starker Prädiktor für das Sterbegeschehen gezeigt werden konnte, ist davon auszugehen, dass der hier gezeigte Temperaturverlauf als Komplexindikator die Variabilität zahlreicher weiterer klimatischer und Emissionsparameter abbildet, deren komplexes Zusammenspiel zu den Befunden beitragen.

**Abbildung 29: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, August 2003**

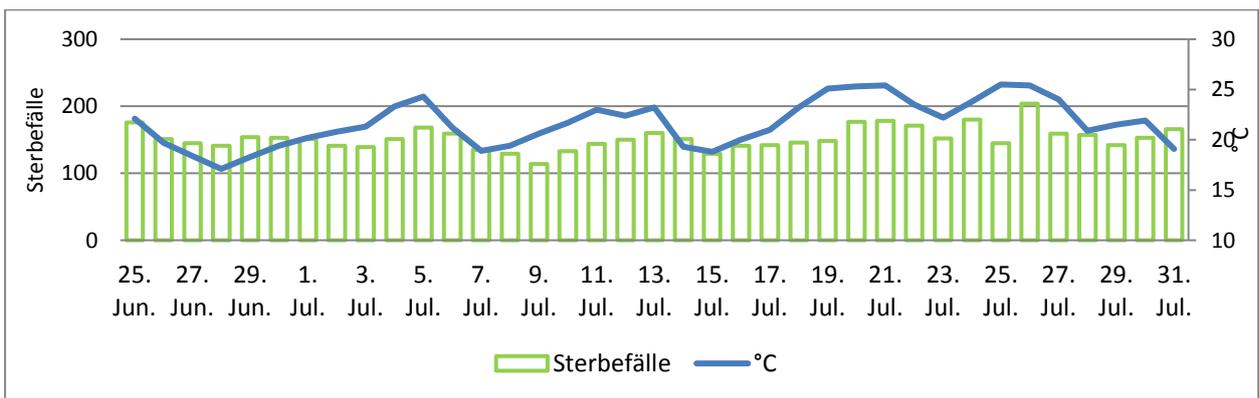


(Quelle: Eigene Darstellung)

Darüber hinaus scheint auch die Dauer einer Periode mit hohen Tagesmitteltemperaturen einen gewissen Einfluss auf die Sterblichkeit zu haben.

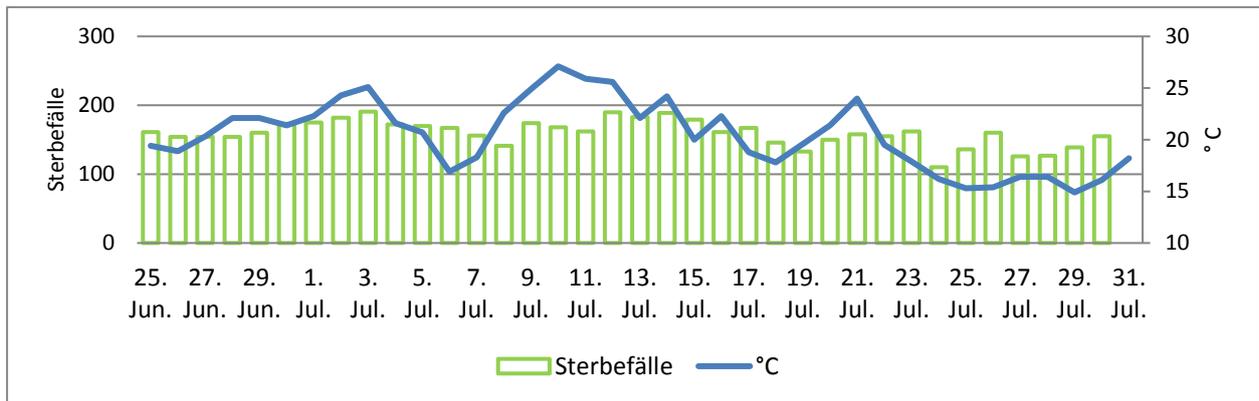
Abbildung 29 zeigt eine ungewöhnlich lange Periode von insgesamt 12 Tagen (02. bis 12. August 2003), an denen die Tagesmitteltemperatur die 23 °C Grenze nicht unterschreitet. Der Verlauf der Sterbedaten legt, auch im Vergleich zu den Abbildungen 30 und 31, die Vermutung nahe, dass Hitzeperioden längerer Dauer einen ‚Supereffekt‘ auf das Sterbe geschehen haben könnten, der über die durchschnittlich zu erwartenden zusätzlichen Sterbefälle bei Hitzeperioden von kürzerer Dauer hinausgeht.

**Abbildung 30: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, Juli 2006**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 31: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, Juli 2010



(Quelle: Eigene Darstellung)

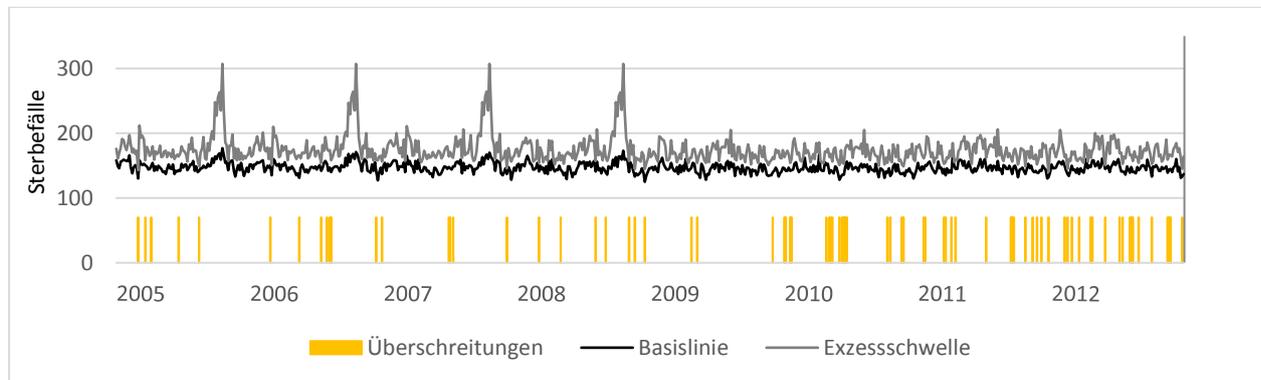
#### 4.4 Erste Exzessabschätzung

Für die Schätzung der zu erwartenden Sterbefälle je Kalendertag wurden verschiedene Verfahren getestet. Von Beginn an wurde dabei auf möglichst einfache, für alle potenziellen Adressatengruppen der Ergebnisse nachvollziehbare und zugleich methodisch sinnvolle, robuste Verfahren Wert gelegt. Zwei Prämissen waren dabei handlungsleitend: zum einen sollte das Verfahren das tatsächliche Sterbe geschehen in den Sommermonaten berücksichtigen und damit gewährleisten, dass die Basislinienschätzung nahe an den empirisch beobachteten Sterbefallzahlen in dieser Jahreszeit orientiert ist. Daher wurden, anders als etwa im EURO-MOMO Algorithmus, der die Frühlings- und Herbstmonate (siehe Abschnitt 3.3.1) zur Basislinienschätzung heranzieht, in HEAT II die Sterbefallzahlen der Monate Juni bis August der entsprechenden Jahre verwendet. Zum anderen sollte die Schätzung weitgehend unbeeinflusst sein durch den Einfluss demografischer Trends, wie ansteigender Sterbefallzahlen aufgrund wachsender Bevölkerungsanteile mit hohem und sehr hohem Alter. Dies berücksichtigend erfolgte die Berechnung der Basislinie aus fünf aufeinanderfolgenden Jahren für das darauffolgende Jahr. Bei diesem Verfahren bleibt der potenziell verzerrende Einfluss demografischer Trends auf ein akzeptables Maß beschränkt, erhält aber zugleich die natürliche demografische Entwicklung des Sterbe geschehens als trendbehaftete Variable.

Die Abbildung 32 zeigt den Verlauf der rohen (unbereinigten, ungeglätteten) Basislinie und der korrespondierenden Exzessschwelle (Basislinie + 2 Standardabweichungen). Deutlich kommt hier der starke Einfluss des Hitzesommers 2003 sowohl im Verlauf der Basislinie als auch im Verlauf der Exzessschwelle zum Ausdruck. Darüber hinaus sind die Tage, an denen die beobachteten die erwarteten Sterbefälle überschreiten, als orangefarbene Balken dargestellt. Insgesamt klassifiziert dieser frühe, rohe Algorithmus 77 von 736 Tagen (10,5 %) in den Sommermonaten der Jahre 2005 bis 2012 als Tage

mit einem Sterbeexzess. Die Summe der Exzesssterbefälle beträgt  $n = 794$ , kumuliert über alle Alterskategorien und beide Geschlechter.

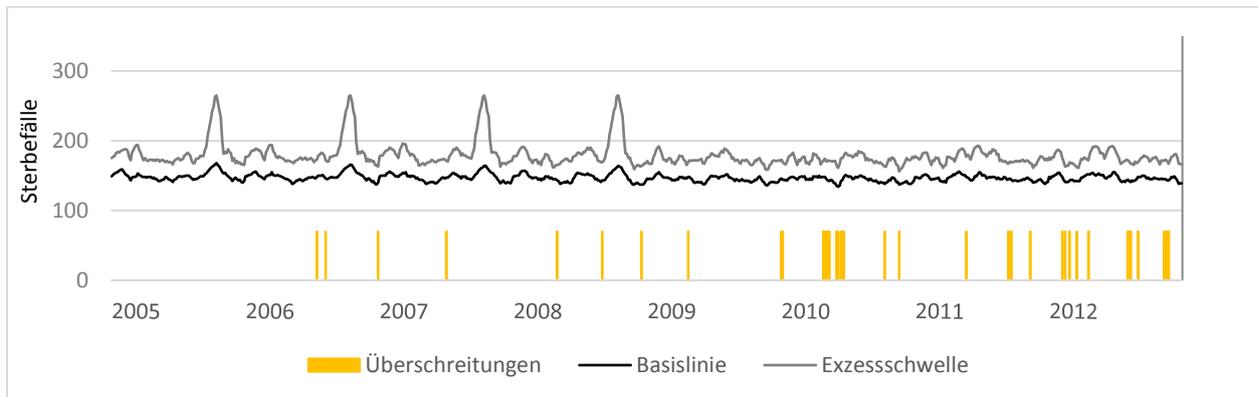
**Abbildung 32: Basislinie, Exzessschwelle und Exzesstage, 2005 - 2012, Sommermonate, rohe Schätzung**



(Quelle: Eigene Darstellung)

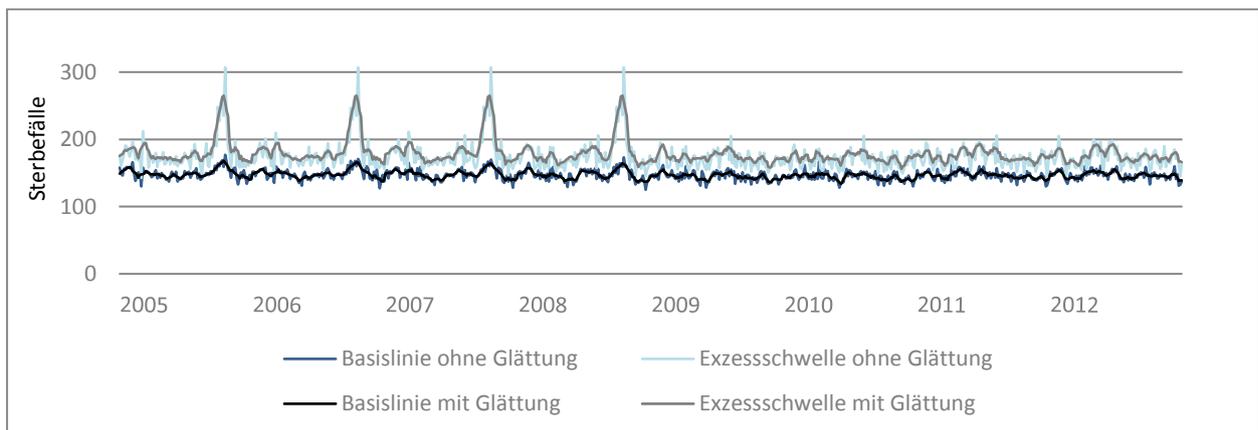
Für die Verringerung des Einflusses der zufälligen Schwankungen der beobachteten Fälle auf die Basislinie wurde für eine zweite Schätzung eine Glättung der erwarteten Fälle auf der Basis gleitender Mittelwerte (5. Ordnung) berechnet. Zur Verbesserung der Stabilität der Schätzer sowohl für die erwarteten Fälle als auch deren Standardabweichungen wurden nun die Erwartungswerte aus den Sterbefällen jeweils 5 aufeinanderfolgender Tage aus insgesamt 5 aufeinanderfolgenden Jahren berechnet. Damit berechnet sich die zu erwartende Fallzahl für einen Tag aus den empirischen Werten von insgesamt 25 Beobachtungstagen. Diese Glättung erzeugt einen deutlich glatteren Kurvenverlauf (Abbildung 33) und reduziert den verzerrenden Einfluss ungewöhnlich hoher Fallzahlen auf die Basislinienschätzung bereits. Ein direkter Vergleich beider Basislinien (Abbildung 34) verdeutlicht aber auch, dass dieser Einfluss auch nach Glättung in einem Ausmaß erhalten bleibt, welches für eine realistischere Schätzung darüber hinausgehende Verfahren erfordert.

**Abbildung 33: Basislinie, Exzessschwelle und Exzesstage, 2005 - 2012, Sommermonate, geglättete, unbereinigte Schätzung**



(Quelle: Eigene Darstellung)

**Abbildung 34: Vergleich der Basislinien und Exzessschwellen, 2005 – 2012, mit und ohne Glättung**



(Quelle: Eigene Darstellung)

## 4.5 Zusammenfassung

Das Arbeitspaket 2 widmete sich der Aufbereitung und Analyse der Sterbe- und Temperaturdaten für Hessen in den Jahren 2000 – 2012. Zeitreihen der Sterbefälle zeigten die typischen Muster hoher Zahlen von Sterbefällen in den Wintermonaten und einer relativ geringen Zahl während der Sommermonate. Deutlich stechen die Jahre 2003, 2006 sowie 2010 heraus. Wie gezeigt werden konnte, haben Mortalitätsexzesse von der Größenordnung des Sommers aus dem Jahre 2003 erheblichen verzerrenden Einfluss auf die Schätzung einer Basislinie der zu erwartenden Fälle. Dies macht grundsätzlich die Bereinigung dieser Schätzung um diese Einflüsse erforderlich. Die grafische Aufbereitung sowie eine

formale Prüfung legen einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Anzahl an Sterbefällen nahe.

## 5 Arbeitspaket 3: Verbesserung der Exzessabschätzung

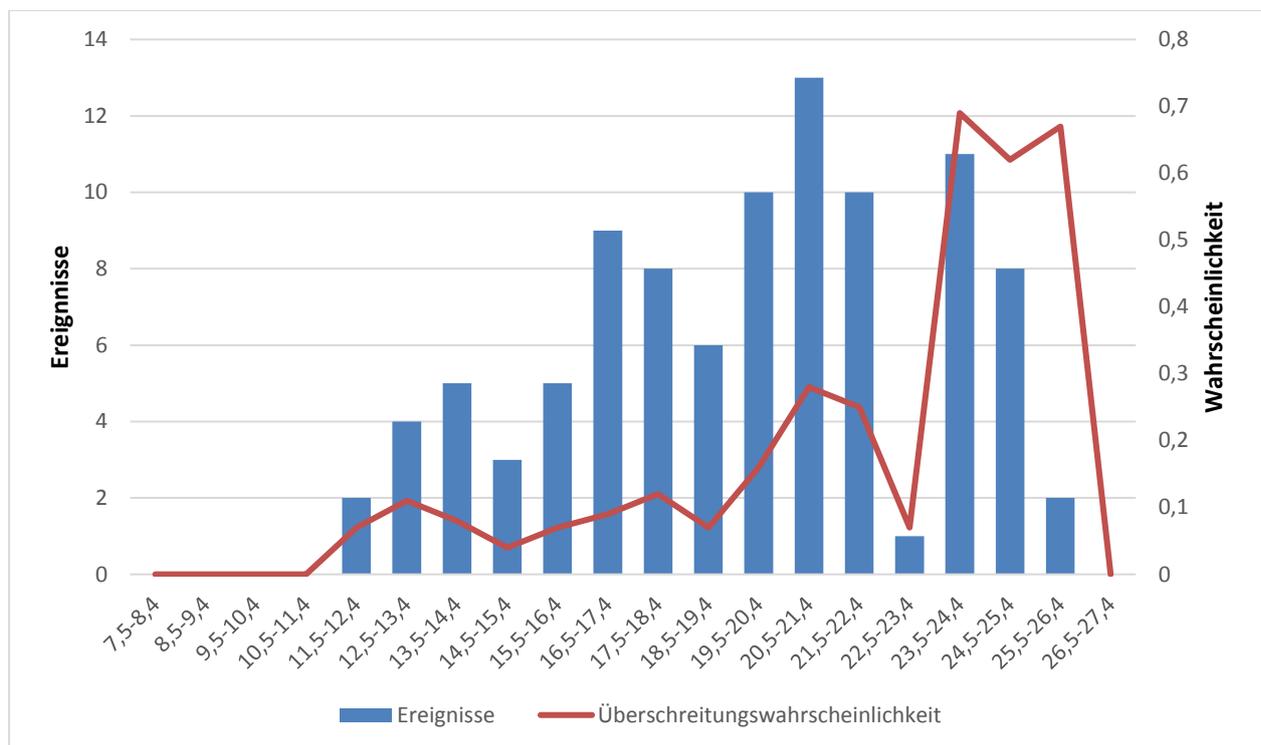
### 5.1 Hintergrund und Zielsetzung

In Abschnitt 4.2.3 wurde gezeigt, dass durch hohe Sterbefallzahlen an Tagen mit sehr hoher Temperatur die Schätzung der Basislinie potenziell verzerrt wird. Das Ziel des dritten Arbeitspaketes war es nun, die Schätzung des Erwartungswertes der Sterbefälle für die acht Testjahre 2005 – 2012 um diesen verzerrenden Einfluss zu bereinigen. Dies soll sicherstellen, dass das Schätzverfahren hinreichend sensitiv ist, um Sterbeexzesse zu detektieren, wenn sie auftreten (richtig-positive Signale), ohne viele falsch positive Signale zu erzeugen. Ein falsch positives Signal entsteht, wenn der Algorithmus einen Sterbeexzess ausweist, obwohl ein solcher nicht aufgetreten ist. Das übliche Verfahren zur Abschätzung der Güte eines Klassifikationsinstrumentes ist dessen Testung gegen einen Goldstandard. Ein solcher Goldstandard, mit dessen Hilfe das Klassifikationsproblem der Unterscheidung zwischen ‚Sterbeexzess aufgetreten‘ und ‚Sterbeexzess nicht aufgetreten‘ gelöst werden könnte, ist derzeit allerdings nicht verfügbar. Der EURO-MOMO Algorithmus eignet sich für diesen Zweck nicht, obschon dieser methodisch elaboriert und auf europäischer Ebene konsentiert ist. Er ist ein Instrument, das im Vergleich zu dem hier vorgestellten Verfahren von unterschiedlichen Annahmen zur Schätzung der Basislinie ausgeht (vgl. Abschnitt 3.3.1). Darüber hinaus stellt EURO-MOMO einen Algorithmus für alle europäischen, datenliefernden Länder bereit, aggregiert die Sterbefälle auf wöchentlicher Basis und schätzt die Exzessmortalität für das gesamte Jahr. In HEAT II werden dagegen begründet die Sommermonate für die Basislinienschätzung herangezogen und in täglicher Auflösung ausgewiesen.

Um den gezeigten Einfluss hoher Sterbefallzahlen an Tagen mit sehr hoher Temperatur zu entfernen, ist ein Verfahren zur Bereinigung um diesen Einfluss erforderlich. Für eine erste Exzessabschätzung wurde, gründend in dem oben beschriebenen frühen Ansatz, eine Bereinigung von Tagen mit Überschreitung einer definierten Grenze von 23 °C der mittleren Tagesmitteltemperatur für eine erste Exzessabschätzung festgelegt. Diese Temperaturgrenze ergab sich aus einer Analyse der Exzesswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit vom täglichen, mittleren Temperaturmittel. Hierfür wurde eine ‚rohe‘, d.h. noch unbereinigte Basislinie auf der Grundlage jeweils 5-jähriger Daten für die Jahre 2005 bis 2012 geschätzt. Für den Algorithmus wurde ein Bereinigungsverfahren entwickelt, das eine Kompromisslösung angesichts der zufälligen Komponente des Verlaufs der Sterbefälle darstellt: das Ziel war es, Tage mit tatsächlicher Exzesssterblichkeit zu entdecken (richtig positive Signale) und die Anzahl der detektierten Tage ohne tatsächlichen Exzess (falsch positive Signale) begrenzt zu halten. Zur Lösung dieses Klassifikationsproblems wurde in Anlehnung an bestehende Surveillance-Systeme eine Abweichung der beobachteten von den erwarteten Sterbefällen um mehr als das Zweifache der

Standardabweichung der erwarteten Fälle als Kriterium für die Detektion eines Sterbeexzesses für den jeweiligen Kalendertag festgelegt. Die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten der Exzessschwelle wurde auf der Basis der empirischen Daten für Temperaturintervalle von jeweils 1 °C berechnet. Hierbei zeigte sich, dass die Überschreitungswahrscheinlichkeit ab einer mittleren Tagesmitteltemperatur von 23,5 °C stark ansteigt. Als Temperaturkriterium wurde daher das Überschreiten von 23 °C als die Mitte des davor liegenden Intervalls (22,5 – 23,4 °C) gewählt.

**Abbildung 35: Überschreitungswahrscheinlichkeit nach Temperaturintervallen**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Das im Folgenden vorgestellte Verfahren ist das Ergebnis der Suche nach einer einfachen und methodisch vertretbaren Lösung des beschriebenen Klassifikationsproblems. Die dem Verfahren zugrundeliegenden Annahmen basieren auf Entscheidungen, die in den oben berichteten Analyseergebnissen gründen, jedoch auch arbiträre Anteile enthalten. Es stellt damit notwendigerweise den Anfang eines lernenden Systems dar, das sich im Rahmen einer begleitenden Evaluation des Routinebetriebes weiterentwickeln muss.

## 5.2 Methodisches Vorgehen

Zur Entfernung des überlagernden Einflusses großer Hitze in den für die Basislinienschätzung herangezogenen Jahren wurden die beobachteten Fallzahlen an Tagen mit Überschreitung der mittleren Tagesmitteltemperatur von 23 °C ersetzt. Um dabei die zeitliche Beziehung zwischen Temperaturverlauf und Sterbeverlauf zu berücksichtigen (Abschnitt 4.3.4), wurden die beobachteten Sterbefallzahlen von drei Tagen (der zu ersetzende sowie der jeweils vor und nach diesem liegenden Tag) in die Ersetzungsstrategie einbezogen. Die Ersetzung erfolgte durch den Median aus den drei entsprechenden Tagen der drei vor dem Testjahr liegenden Jahre. Der zu ersetzende Tageswert wurde folglich durch den Median von insgesamt neun Tageswerten (drei aufeinanderfolgende Tage aus drei aufeinanderfolgenden Jahren) ersetzt. Sollte etwa die beobachtete Sterbefallzahl am 02. Juli 2010 ersetzt werden, wurde hierfür der Median der Sterbefallzahlen vom 01. - 03. Juli jeweils aus den Jahren 2007, 2008 und 2009 verwendet<sup>37</sup>. Die Verwendung des Medians statt eines arithmetischen Mittels sollte die Ersetzungen gegenüber sehr großen oder sehr kleinen Fallzahlen robuster machen. Anschließend wurde die durch die Anwendung dieses Verfahrens bereinigte Datenreihe, wie oben beschrieben, mit einem gleitenden Mittelwert 5. Ordnung geglättet. Um ganzzahlige Sterbefallzahlen zu erhalten, wurden sämtliche tägliche Schätzungen der erwarteten Werte nach der Glättung auf- bzw. abgerundet. Für die Basislinie wurde das Zweifache der Standardabweichung als Exzessschwelle berechnet, was einen großen Schwankungsbereich der erwarteten Werte zulässt. Dieser Schwankungsbereich soll sicherstellen, dass zufällig auftretende oder häufigere kleinere, durch singuläre Schadensereignisse wie etwa Verkehrsunfälle mit mehreren Todesfällen verursachte, Anstiege der Sterbefallzahlen nicht als Sterbeexzess detektiert werden. Damit gelten alle unterhalb oder auf dieser Grenze liegenden Tageswerte noch als erwartbar und werden daher nicht als Exzess gewertet.

Zur Prüfung des Vorliegens eines Sterbeexzesses wurde schließlich die absolute Differenz aus den beobachteten Werten und der Basislinie bestimmt. Tabelle 7 dokumentiert die formalen Kriterien zur Detektion eines Sterbeexzesses. Starke Abweichungen der beobachteten Sterbefallzahlen in Richtung Untersterblichkeit ( $o - (BL - 2\sigma) < 0$ ) spielen für die weiteren Analysen eine untergeordnete Rolle. Eine solche exzessive Unterschreitung der erwarteten Fälle war während der 736 Sommertage an 39 Tagen (5,3 %) zu beobachten.

---

<sup>37</sup> Aufgrund der fehlenden Daten aus drei vorangegangenen Jahren wurde für die Ersetzung von Tagen > 23 °C während der Jahre 2000 bis 2002 abweichend auf die drei jeweils darauf folgenden Jahre zurückgegriffen.

**Tabelle 7: Formale Definition eines Sterbeexzesses in HEAT II**

Exzessschwelle ( $e + 2 \sigma$ )	Sterbeexzess
$o > e + 2 \sigma$ (bzw. $o - (e + 2 \sigma) > 0$ )	Ja
$o = e + 2 \sigma$ (bzw. $o - (e + 2 \sigma) = 0$ )	Nein
$o < e - 2 \sigma$ (bzw. $o - (e - 2 \sigma) < 0$ )	Nein

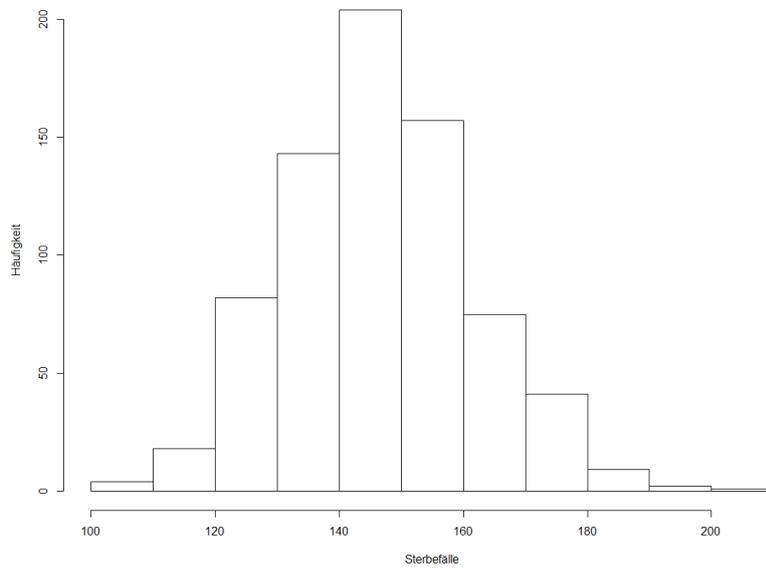
(Quelle: Eigene Darstellung,  $o$  = beobachtet,  $e$  = erwartet,  $\sigma$  = Standardabweichung)

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 Exzesssterbefälle

Während der in die Analyse einbezogenen 736 Sommertage der Jahre von 2005 bis 2012 verstarben in Hessen insgesamt 108.093 Personen. Erwartet wurden im gleichen Zeitraum 106.287 Todesfälle. Die durchschnittliche Sterbefallzahl pro Tag betrug 146,9 (Median: 146,0; Spanne: 105 – 204 Fälle). Werden ausschließlich die Exzesssterbefälle, d.h. die Fälle oberhalb der Exzessschwelle, berücksichtigt, summiert sich deren Zahl auf 600. An Tagen mit Sterbeexzess wurden durchschnittlich 8,2 Exzesstode (Median: 6,0) beobachtet. Unter Anwendung des oben beschriebenen Kriteriums wurde an 73 Tagen (10 %) eine Sterblichkeit beobachtet, die oberhalb der Exzessschwelle lag. An diesen 73 Tagen wurden insgesamt 10.472 Todesfälle erwartet, beobachtet wurden 12.264 Fälle. Die an diesen Tagen aufgetretenen Sterbefälle oberhalb der Basislinie summieren sich auf insgesamt 1.792 Fälle.

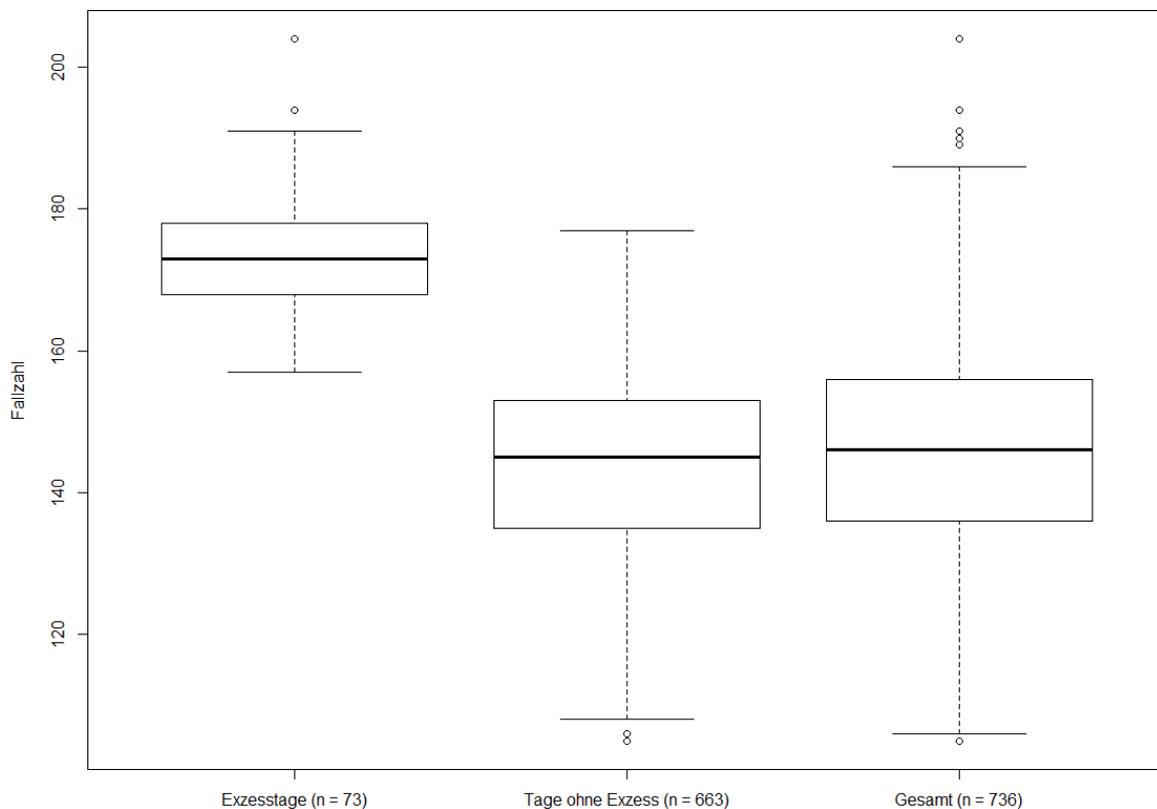
**Abbildung 36: Verteilung der Sterbefälle, Sommermonate, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Im Median ereigneten sich 173,6 Sterbefälle an Exzesstagen und 143,9 Sterbefälle an den Tagen ohne Exzess (Abb. 37). Die Spanne der Exzesssterbefälle lag zwischen 1 und 40 Fällen. Die Spanne der mittleren 50 % der Sterbefallzahlen an den Exzesstagen lag zwischen 3 und 11 Fällen.

Abbildung 37: Verteilung der Sterbefälle an Tagen mit und ohne Exzess und gesamt, Sommermonate, 2005 - 2012



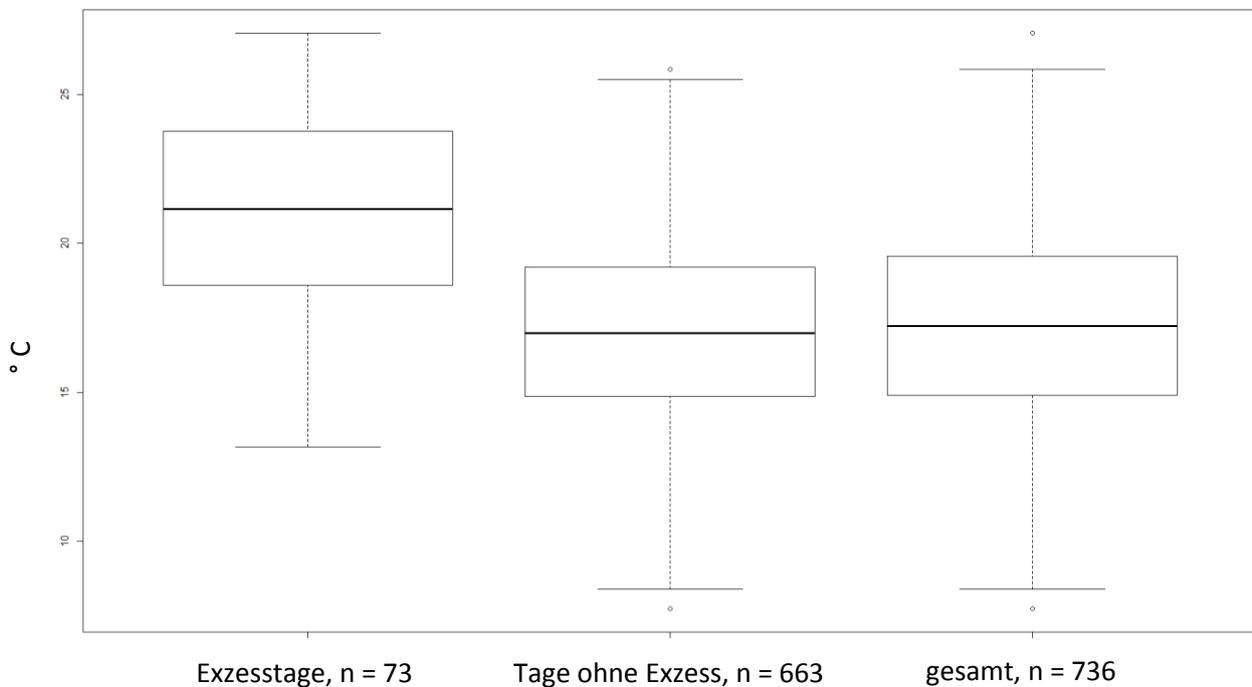
(Quelle: Eigene Darstellung)

An Tagen mit Exzesssterblichkeit lag die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur bei 20,8 °C (Median: 21,2 °C; Spanne: 13,2 – 27,1 °C) (Abbildung 38). Die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur an Tagen ohne Sterbeexzess (n = 663) betrug 17,0 °C (Median: 17,0 °C; Spanne: 7,8 – 25,9 °C) und an Tagen mit Untersterblichkeit 15,4 °C (Median: 15,5; Spanne 9,5 – 22,1 °C). Die Temperaturen überschritten an Tagen ohne Sterbeexzess in nur 2,7 % (n = 18 Tage) der Fälle die Schwelle von 23 °C. Unter den 73 Tagen mit Sterbeexzess traten an n = 21 (28 %) Tagen mit einer Temperatur von mehr als 23 °C rund 45 % (n = 268) der Exzesssterbefälle auf.

Die Wahl der Temperaturschwelle von 23 °C als Kriterium zur Bereinigung der Basislinienschätzung erscheint vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse als konservativ. Die Setzung dieses Kriteriums erfolgte aus dem Wunsch heraus, den Einfluss starker Ausreißer auf die Schätzung der erwarteten Fallzahlen zu begrenzen. Wie Abbildung 38 zeigt, konnte dieses Ziel mit dem gewählten Kriterium erreicht werden. Eine systematische Verzerrung ist hier nicht mehr zu sehen. Deutlich niedrigere

Temperaturuntergrenzen würden sehr viel häufiger Ersetzungen beobachteter Fallzahlen erforderlich machen, was in der Konsequenz zu einem deutlichen Anstieg des Anteils an Tagen führen würde, die mit einer ‚artificialen‘ Fallzahl in die Basislinienschätzung eingingen. Diese zunehmende Entfernung von den tatsächlich beobachteten Fällen würde jedoch der weiter oben formulierten Prämisse zuwiderlaufen, das Verfahren als ein in erster Linie wesentlich empirisch ausgerichtetes Verfahren anzulegen. Gleichwohl muss die Wahl sensitiverer Temperaturuntergrenzen für diesen Zweck zukünftig Gegenstand in der Auseinandersetzung mit den Evaluationsergebnissen des Routinebetriebs des Surveillance-Verfahrens sein.

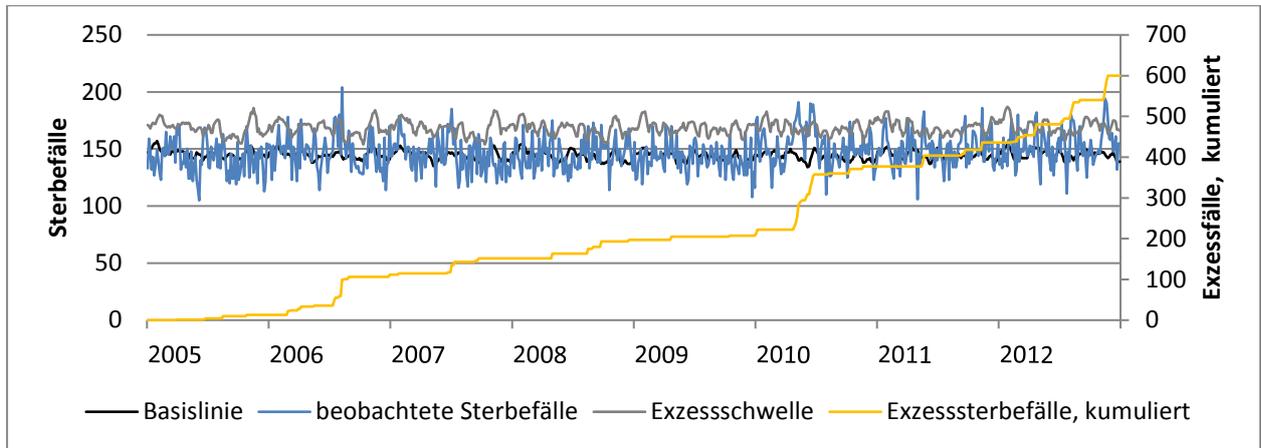
**Abbildung 38: Verteilung der durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen an Tagen mit und ohne Exzess und gesamt, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Mehrheit der Exzesssterbefälle (n = 540, 90 %) ereignete sich in einem Temperaturbereich zwischen 17,3 und 27,1 °C Tagesmitteltemperatur; 50 % der Fälle ereigneten sich ab einer Tagesmitteltemperatur von 22,1 °C. Abbildung 39 dokumentiert die Verläufe der geschätzten Basislinie, der Exzessschwelle sowie der beobachteten Fallzahl. Darüber hinaus wurden die kumulierten Exzesssterbefälle im Zeitverlauf ergänzt.

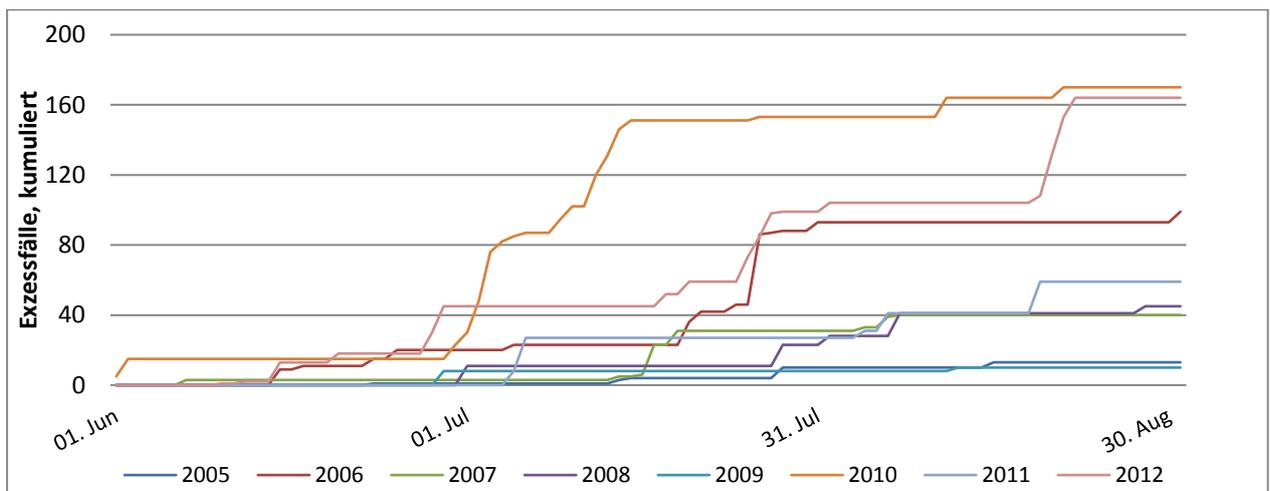
**Abbildung 39: Bereinigte Basislinie, beobachtete und Exzesssterbefälle, pro Tag und kumuliert, Sommermonate, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Eine nach einzelnen Jahren differenzierte Darstellung (Abbildung 40) zeigt die Verläufe der kumulierten Exzesssterbefälle in den Jahren 2005 bis 2012. Ein großer Anteil der 600 beobachteten Exzesssterbefälle entfiel auf die drei Jahre 2006 (n = 13 Tage, n = 99 Exzesstode), 2010 (n = 18 Tage, n = 170 Exzesstode) und 2012 (n = 17 Tage, n = 164 Exzesstode). Diese Jahre umfassten zusammen 48 der 73 Exzesstage (66 %) und vereinen einen Anteil von 433 (72 %) aller Exzessfälle auf sich. Die durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen während der Exzesstage betragen 20,8 °C (Median: 21,4 °C) für alle drei Jahre und 21,3 °C (Median: 22,1 °C) für das Jahr 2006, 21,0 °C (Median = 21,5 °C) für das Jahr 2010 sowie 20,2 °C (Median: 20,6 °C) für das Jahr 2012.

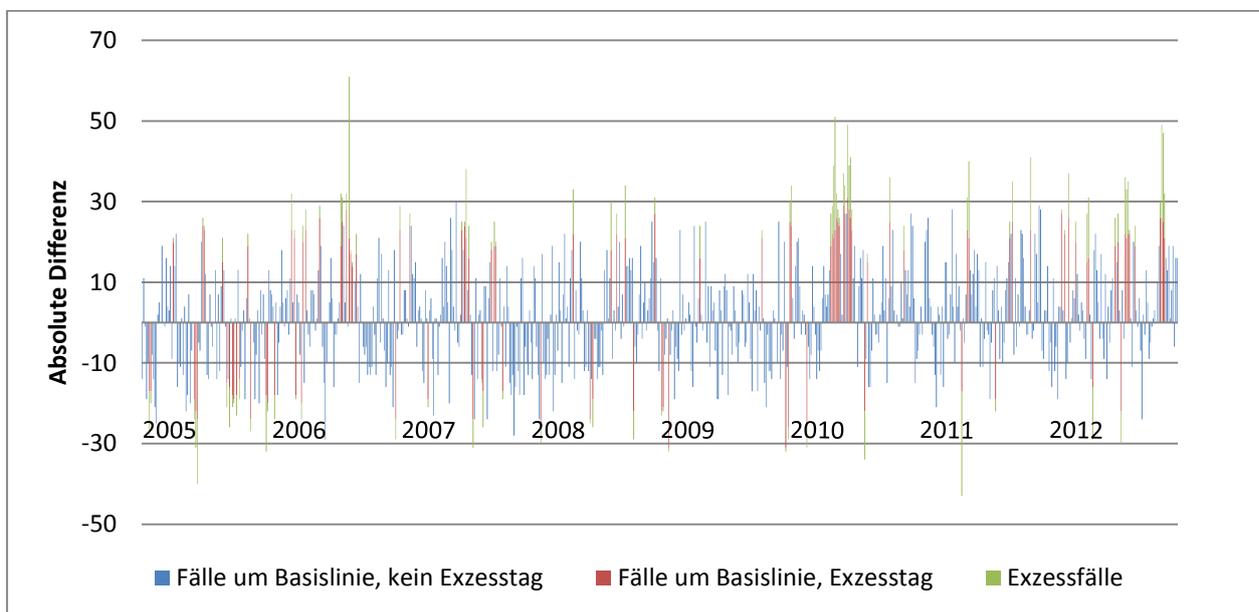
**Abbildung 40: Kumulierte Exzesssterbefälle pro Jahr, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 41 zeigt eine Darstellung der absoluten Differenzen der beobachteten Fälle und der Basislinie. Farblich abgesetzt wurden die Fallzahlen für Tage, an denen eine Über- bzw. eine Untersterblichkeit beobachtet wurden (roter Anteil) und die dazugehörigen Exzessfälle (grüner Anteil) an ebenjenen Tagen. Offensichtlich kann ein sog. Harvesting-Effekt, d.h. eine auf einen exzessiven Anstieg der Sterbefallzahlen zeitnah folgende Unterschreitung der erwarteten Fälle, nicht konsistent gezeigt werden. Die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur für die insgesamt 39 Tage mit einer Untersterblichkeit betrug 15,4 °C (Median: 15,5 °C; Spanne 9,5 – 22,1 °C).

**Abbildung 41: Absolute Differenzen zwischen beobachteten Fällen und Basislinie, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Für das Jahr 2003 konnten aufgrund der verwendeten Sterbedaten (2000 – 2012) keine Erwartungswerte auf der Grundlage einer vollen Referenzperiode aus 5 Jahren geschätzt werden. Um dennoch für Hessen eine Aussage zu den Exzesssterbefällen auch für den Hitzesommer dieses Jahres treffen zu können, wurde auf die erste geschätzte Erwartungswertlinie (aus dem Jahr 2005) zurückgegriffen. Mit diesem Vorgehen wurden für den Zeitraum zwischen Juni und August 784 Exzesssterbefälle detektiert. Dies ist nahe an den Ergebnissen einer Fallstudie von Uphoff und Kollegen, die in einer früheren Analyse die in 2003 stattgehabten Exzessfälle auf 781 schätzen<sup>38</sup> [37].

<sup>38</sup> Schätzung erfolgte für die Kalenderwochen 24 bis 34 (09. Juni bis 24. August) im Rahmen der Entwicklung des Indikators ‚GE-I-2: Hitzetote‘ des Indikatorensets der Deutschen Anpassungsstrategie

### 5.3.2 Vulnerable Bevölkerungsgruppen

Über die Schätzung der Exzesssterbefälle hinaus wurde im Rahmen des dritten Arbeitspaketes auch geprüft, ob den Daten Hinweise für besonders hitzesensible Bevölkerungsgruppen entnommen werden können. Diese Prüfung erfolgte für die Variablen Alter und Geschlecht, da hierfür Daten vorlagen. Informationen zu Morbiditäten oder Todesursachen der verstorbenen Personen waren nicht verfügbar, so dass an dieser Stelle keine Aussagen etwa darüber möglich sind, mit welchen Krankheitsentitäten ein besonders hohes Sterberisiko unter Hitzeeinfluss einhergeht oder welchen Einfluss Hitze auf die Inzidenz oder Exazerbationen verschiedener, vor allem kardiovaskulärer oder respiratorischer, Erkrankungen hat.

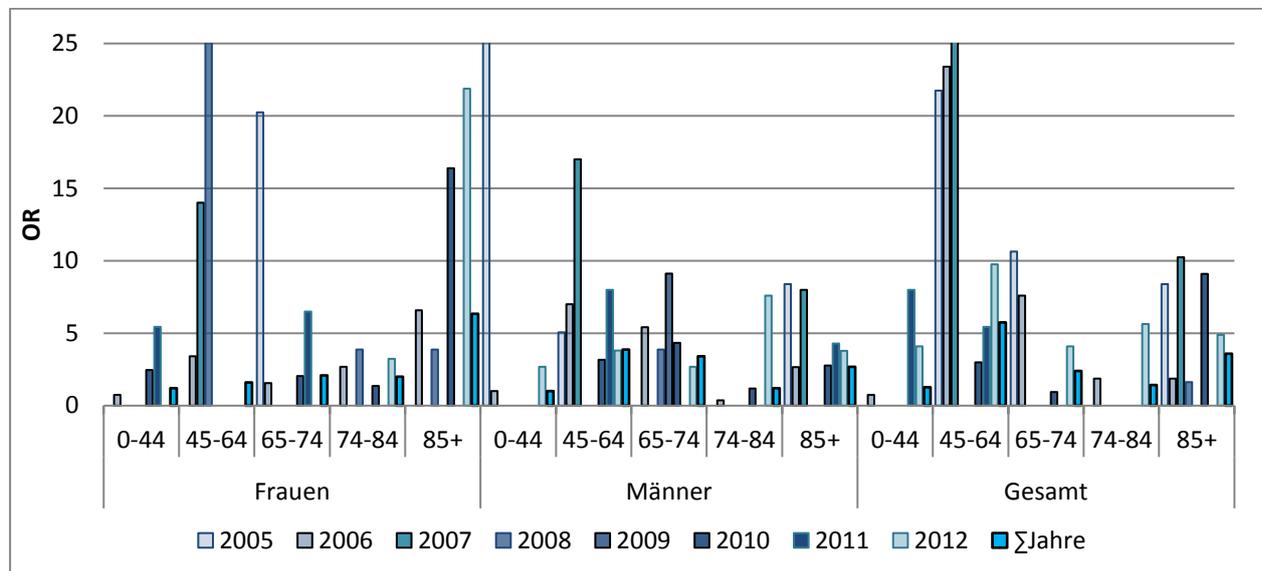
Für geschlechter- und altersdifferenzierte Aussagen zur Vulnerabilität wurden Chancenverhältnisse (Odds Ratios (OR)) für jedes einzelne Jahr (2005 – 2012) und kumulativ über alle Jahre hinweg berechnet<sup>39</sup>. Das Odds Ratio beschreibt das Verhältnis der bedingten Chancen (Odds) zweier Kollektive, in Abhängigkeit vom Expositionsstatus (dichotom: exponiert/nicht exponiert), ein definiertes Zielereignis zu erreichen (dichotom: Outcome eingetreten/nicht eingetreten). Im vorliegenden Fall beschreibt das OR damit das Verhältnis der Chance des Auftretens von Übersterblichkeit (Outcome-Kriterium) an Tagen mit stark erhöhtem Temperaturmittel (Expositionskriterium) und der Chance des Auftretens von Übersterblichkeit an Tagen ohne erhöhte Temperatur. Dabei nimmt das OR Werte nahe um den Wert 1 an, sofern sich die Chancen beider Kollektive nicht maßgeblich unterscheiden. Ein  $OR > 1$  zeigt eine erhöhte Chance des Auftretens eines Sterbeexzesses an Tagen mit einer mittleren Tagesmitteltemperatur von mehr als 23 °C relativ zu Tagen mit geringerer Temperatur an. Ein  $OR < 1$  verweist demgegenüber auf eine geringere Chance des Auftretens eines Sterbeexzesses an Tagen mit stark erhöhtem Temperaturmittel. Das Odds Ratio wurde im vorliegenden Kontext als Indikator interpretiert, durch den Vulnerabilität als formaler Vergleich von Odds und Odds Ratios abgebildet werden kann. Vulnerabilität ist in dieser Logik demnach kein absolutes Phänomen, sondern eines, das sich erst im Vergleich eines Kollektivs relativ zu einer Referenzgruppe zeigt. Die numerische Größe des Wertes des OR kann dabei als das Ausmaß der relativen Unterschiedlichkeit der Vulnerabilität der betrachteten Kollektive angesehen werden. Über die absolute Unterschiedlichkeit der Häufigkeit von Sterbeexzessen an Hitzetagen im Vergleich zu Tagen ohne Hitze gibt der Indikator keine Auskunft. Um Vergleiche zwischen den Altersgruppen und zwischen den Geschlechtern zu ermöglichen, wurden darüber hinaus relative Odds Ratios (rOR) bestimmt. Ein rOR als der Quotient zweier OR erlaubt den Vergleich einer älteren Altersklasse bzw. eines Geschlechts mit dem OR einer jüngeren Altersklasse bzw. dem des jeweils anderen Geschlechts.

---

<sup>39</sup> Analysen wurden von S. Rohleder (B.Sc.) im Rahmen einer Qualifizierungsarbeit angefertigt.

Zunächst wurde die beobachtete Sterblichkeit in fünf Altersklassen unterteilt: 0-44 Jahre, 45-64 Jahre, 65-74 Jahre, 75-84 Jahre sowie 85 Jahre und älter. Die Zusammenlegung der unteren Altersgruppen zu einer recht breiten Klasse gründet in der geringen Anzahl der beobachteten Sterbefälle. Dann wurden für jede Altersklasse jährliche Basislinien, differenziert nach Geschlecht, nach dem oben beschriebenen Verfahren geschätzt. Damit lagen jeweils dichotome Variablen für die Exposition (Durchschnittliche Tagesmitteltemperatur  $> 23\text{ °C}$  oder  $\leq 23\text{ °C}$ ) und das Outcome (Sterbeexzess ‚ja‘ oder ‚nein‘) vor. Insgesamt konnten auf diese Weise 120 OR (8 Jahre x 5 Altersklassen x 3 Geschlecht (m/w/gesamt)) und 15 kumulative OR über alle Jahre hinweg (5 Altersklassen x 3 Geschlecht (m/w/gesamt)) geschätzt werden.

**Abbildung 42: Odds Ratios für Exzesstage bei Überschreitung der Tagesmitteltemperatur von  $23\text{ °C}$ , nach Alter, Geschlecht und gesamt, Sommermonate, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 42 zeigt die Odds Ratios für Männer, Frauen und für beide Geschlechter gemeinsam, nach Altersgruppen differenziert, jeweils für die Jahre 2005 bis 2012 sowie für die Gesamtheit dieser Jahre. Die an manchen Stellen fehlenden Balken resultieren daraus, dass in den entsprechenden Kombinationen von Geschlecht, Alterskategorie sowie Jahr keine Sterbeexzesse beobachtet wurden und eine Berechnung des Odds Ratios bei „Nullwerten“ damit nicht mehr zulässig ist.

In allen Altersklassen können für verschiedene Jahre Ergebnisse gezeigt werden, die für beide Geschlechter auf eine erhöhte relative Sterbechance an Tagen mit hohen durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen hindeuten. Deutlich wird darüber hinaus, dass die relative Chance für Sterbeexzesse insbesondere bei den älteren Altersklassen (v.a. bei den hochaltrigen Personen (85 Jahre

und älter)), deutlicher ausgeprägt für Frauen als für Männer, erhöht ist. Die extrem großen Werte<sup>40</sup> in Abbildung 42 sind wahrscheinlich Artefakte einer limitierten Datenlage in den jüngeren Altersklassen (bis unter 65 Jahre) und sollten daher mit Vorsicht interpretiert werden.

In Abbildung 43 sind die rOR aus dem Vergleich der Altersklassen untereinander dargestellt. Das Odds Ratio jeder Altersklasse wurde hierfür jeweils mit allen jüngeren Altersklassen (Referenz) verglichen. Hier zeigt sich, dass ältere im Vergleich mit jüngeren Altersklassen relativ größere Chancen haben von einem Sterbeexzess betroffen zu sein. Der Generaltrend legt nahe, dass der relative Unterschied umso größer wird, je jünger die als Referenz herangezogene Altersklasse ist. Daneben zeigt Abbildung 44 die rOR aus dem Vergleich von Männern und Frauen, aggregiert über die Gesamtheit der acht in der Analyse berücksichtigten Jahre. Werden die OR der Frauen mit denen der Männer (Referenz) verglichen, so zeigt sich insbesondere für die ältesten Altersgruppen ein deutlicher Trend größerer relativer Betroffenheit unter den Frauen. Dieser Befund findet sich allerdings nicht in den mittleren Alterskategorien wieder, in denen die rOR deutlich den Nulleffekt (den Wert 1) unterschreiten.

Die hier gezeigten Ergebnisse sind damit überwiegend konsistent mit Berichten aus der internationalen Literaturlage. Studien aus der Schweiz und England/Wales sowie eine Multi-Länderstudie<sup>41</sup> zeigen, dass die Anfälligkeit für hitzebedingte Sterblichkeit mit zunehmendem Alter ansteigt [38-40]. Darüber hinaus konnte in einer weiteren großen europäischen Studie<sup>42</sup>, einer Studie aus England/Wales sowie einer weiteren aus Italien gezeigt werden, dass Frauen, insbesondere ab dem Erreichen eines Alters von 75 Jahren, eine stärkere Anfälligkeit gegenüber erhöhten Temperaturen aufweisen als Männer [41-43].

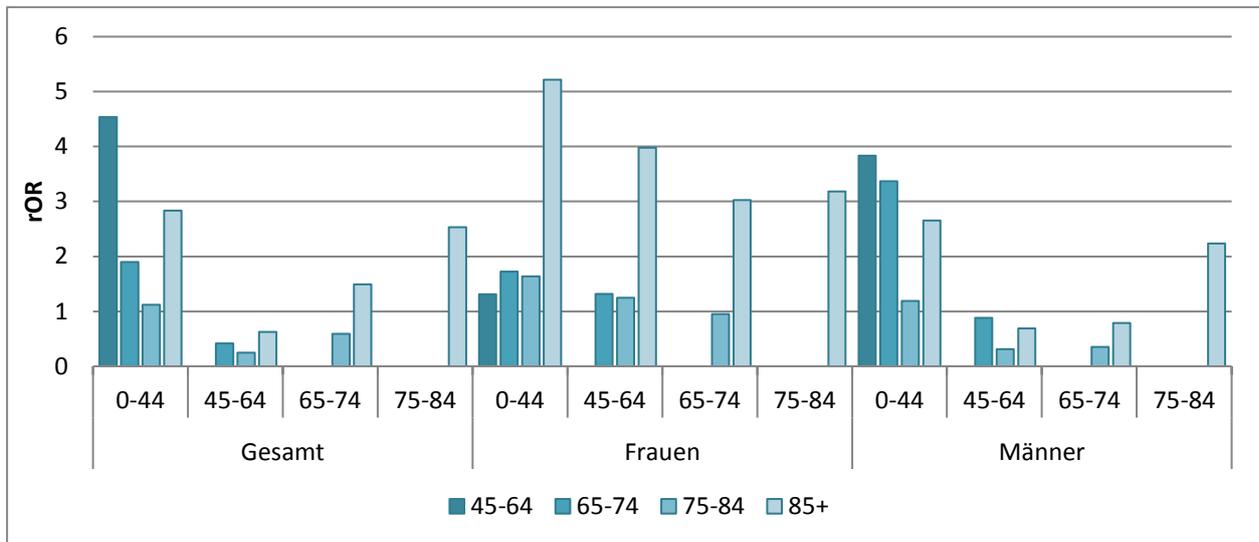
---

<sup>40</sup> aus Layoutgründen wurden die Säulen in der Abbildung bei einem Wert von 25 trunziert. Darüber hinausragende Werte wurden mit dem konkreten Zahlenwert kenntlich gemacht.

<sup>41</sup> Griechenland, Italien, Israel, Portugal, Spanien, Tunesien, Türkei

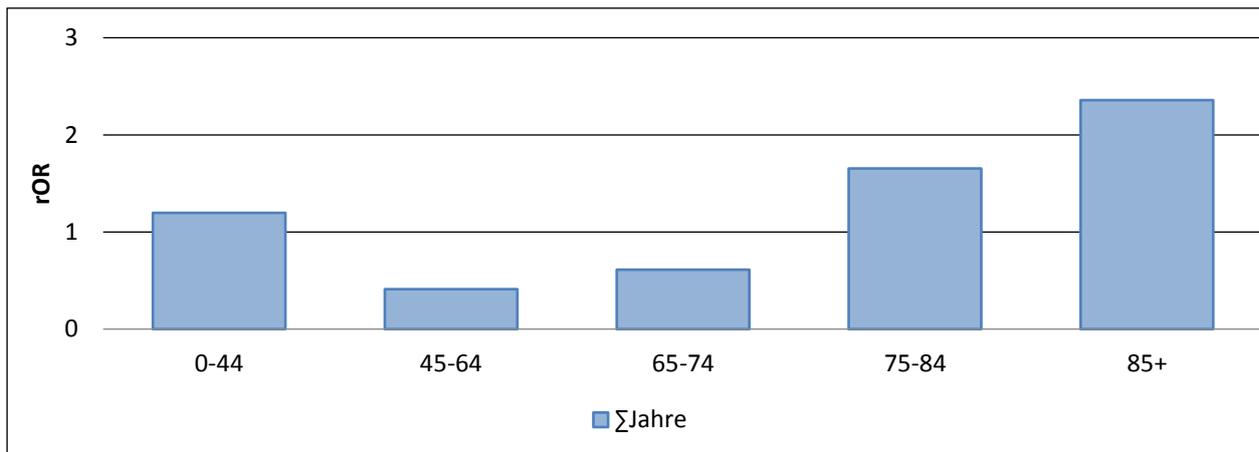
<sup>42</sup> Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Schweden, Spanien, Ungarn

**Abbildung 43: Relative Odds Ratios, Vergleich zwischen den Altersklassen, nach Geschlecht, 2005 - 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung)

**Abbildung 44: Relative Odds Ratios, Vergleich zwischen Männern (Referenz) und Frauen, nach Altersklassen, gesamt**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse einer stratifizierten Analyse des Zusammenhangs zwischen Alter und Geschlecht und dem Auftreten eines Exzessereignisses. Ein Exzessereignis wurde definiert als ein Tag, an dem mindestens ein Exzesssterbefall beobachtet wurde. In der nur nach Alter stratifizierten Auswertung zeigte sich ein heterogenes Gesamtergebnis. In allen Altersgruppen wurden höhere relative Chancen für Tage mit Überschreitung der Temperaturschwelle von 23 °C beobachtet. Statistisch signifikante Ergebnisse zeigten jedoch lediglich die 45 bis unter 65 Jährigen sowie die Gruppe der mindestens 85 Jährigen. Wurde das Geschlecht zusätzlich berücksichtigt, konnten insbesondere in den Altersklassen

der 45 bis unter 65 jährigen und der 65 bis unter 75 jährigen Männer Zusammenhänge mit dem Zielkriterium ‚Exzessereignis‘ gezeigt werden. Unabhängig vom Geschlecht scheint ein hohes Alter (85 und älter) ein Risikofaktor für das Auftreten eines Exzessereignisses an Tagen mit hohen Temperaturen zu sein. Die gezeigten Ergebnisse müssen allerdings aufgrund der häufig geringen Ereigniszahlen mit Vorsicht interpretiert werden. Insbesondere in den jüngeren Altersgruppen sind Exzessereignisse selten, so dass hier auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Daten keine Schlussfolgerungen hinsichtlich des Gefährdungspotenzials dieser Population abgeleitet werden können.

**Tabelle 8: Assoziation zwischen Temperaturen und Sterbeexzessen, nach Alter und Geschlecht**

Alter	Gesamt	Frauen	Männer
	<b>Odds Ratio (95 % KI)</b>		
0 - 44	1,13 (0,34 – 3,79)	1,21 (0,42 - 3,53)	1,01 (0,30 - 3,40)
45-64	<b>5,75 (2,75 – 12,03)</b>	1,59 (0,59 - 4,22)	<b>3,88 (1,75 - 8,63)</b>
65 - 74	2,41 (0,96 – 6,02)	2,09 (0,89 - 4,92)	<b>3,41 (1,49 - 7,82)</b>
75 - 84	1,42 (0,49 – 4,14)	1,99 (0,74 - 5,32)	1,20 (0,47 - 3,17)
85 +	<b>3,59 (1,80 – 7,16)</b>	<b>6,33 (3,19 - 12,56)</b>	<b>2,69 (1,32 - 5,47)</b>

(Quelle: Eigene Darstellung, fettgedruckte Ergebnisse zeigen statistisch signifikante Ergebnisse (5% - Signifikanzniveau))

#### **5.4 Einbezug der Temperatur als Teil des Exzesskriteriums**

Ausgehend von der entwickelten Auswertungsstrategie wurde daran anschließend geprüft, inwieweit für die damit detektierten Hitzeereignisse und Exzesssterbefälle eine stärkere Attribuierbarkeit zu Hitzeexpositionen hergestellt werden kann. Die Diskussion wurde im Rahmen der zweimal jährlich durch das HLNUG ausgerichteten Expertentreffen (INKLIM-A Workshops sowie das Gesundheitsforum des Fachzentrums Klimawandel Hessen) angestoßen und in der Weiterentwicklung der Auswertungsstrategie aufgegriffen. Das Ergebnis dieser Überlegungen war eine weitere Modifikation des Exzesskriteriums durch die Erweiterung um einen Temperaturfaktor. Ausgehend von der plausiblen Erkenntnis (Abschnitt 4.4), dass das Auftreten eines Exzessereignisses an Tagen mit hohen Temperaturen wahrscheinlicher ist als an Tagen mit niedrigeren Temperaturen, wurde die

Überschreitung einer Temperaturschwelle von 23 °C in das Exzesskriterium aufgenommen. Das Exzesskriterium umfasst damit zwei Komponenten: zum einen das Sterbekriterium, das das Sterbe geschehen in einen Bereich der *Normalsterblichkeit* und der *Exzesssterblichkeit* unterscheidet. Zum anderen das Temperaturkriterium, durch das die Forderung nach einer besseren Attribuierbarkeit der Exzesssterbefälle umgesetzt wird. Die Entscheidung über die Höhe der Temperaturschwelle gründet in einer Auswertung der Verteilung der Exzessereignisse und Exzesstage über Temperaturintervalle über einen Bereich von 14 °C bis 23 °C (Intervalllänge je 1 °C) sowie die durchschnittliche Anzahl der Exzesssterbefälle je Exzessereignis. Eine Tagesmitteltemperatur von 23 °C maximiert den Anteil der Exzessfälle unter den Tagen mit Überschreitung dieser Grenze mit 54 % bei durchschnittlich 12,8 Exzesssterbefällen je Exzessereignis. Die Erweiterung des Exzesskriteriums um diese Temperaturschwelle verringert erwartungsgemäß die Anzahl der zu beobachtenden Exzessereignisse und damit auch die Anzahl der Exzesssterbefälle in einem deutlichen Maße. Tabelle 9 zeigt die Gegenüberstellung der Verteilung von Ereignissen und Fällen an allen 736 Sommertagen der Jahre 2005 bis 2012 im Vergleich des alten und des neuen, um den Temperaturfaktor erweiterten Exzesskriteriums. Das neue Exzesskriterium schätzt nun für Hessen insgesamt 21 Exzessereignisse unter den 39 Tagen, an denen die Temperaturschwelle von 23 °C Tagesmittel in den Sommermonaten der Jahre 2005 bis 2012 überschritten wurde. Auf diese Exzessereignisse entfielen 268 Exzessfälle. Diese Verringerung der Anzahl an Exzesssterbefällen um 55% im Vergleich zu dem alten Kriterium zeigt, dass das neue Kriterium die Exzesssterblichkeit eher konservativ schätzt.

**Tabelle 9: Vergleich des alten und des modifizierten Exzesskriteriums, Hessen gesamt**

Temperatur- schwelle (°C T(m))	Tage > Temperatur- schwelle	Exzesstage	Anteil Exzesstage	Exzessfälle	Exzessfälle/ Exzesstag
> 23	39	21	54 %	268	12,8
keine	736	73	10%	600	8,2

(Quelle: Eigene Darstellung, T(m): Temperaturmittel)

Darüber hinaus dokumentiert Tabelle 10 die Verteilung der Tage mit und ohne Exzessereignis nach den möglichen vier Kombinationen (1) Exzess- und Temperaturschwelle wurden überschritten, (2) Exzessschwelle wurde überschritten, Temperaturschwelle wurde nicht überschritten, (3) Exzessschwelle wurde nicht überschritten, Temperaturschwelle wurde überschritten und (4a) weder Exzess- noch Temperaturschwelle wurden überschritten. Unter den 645 Tagen, die dem vierten Kriterium

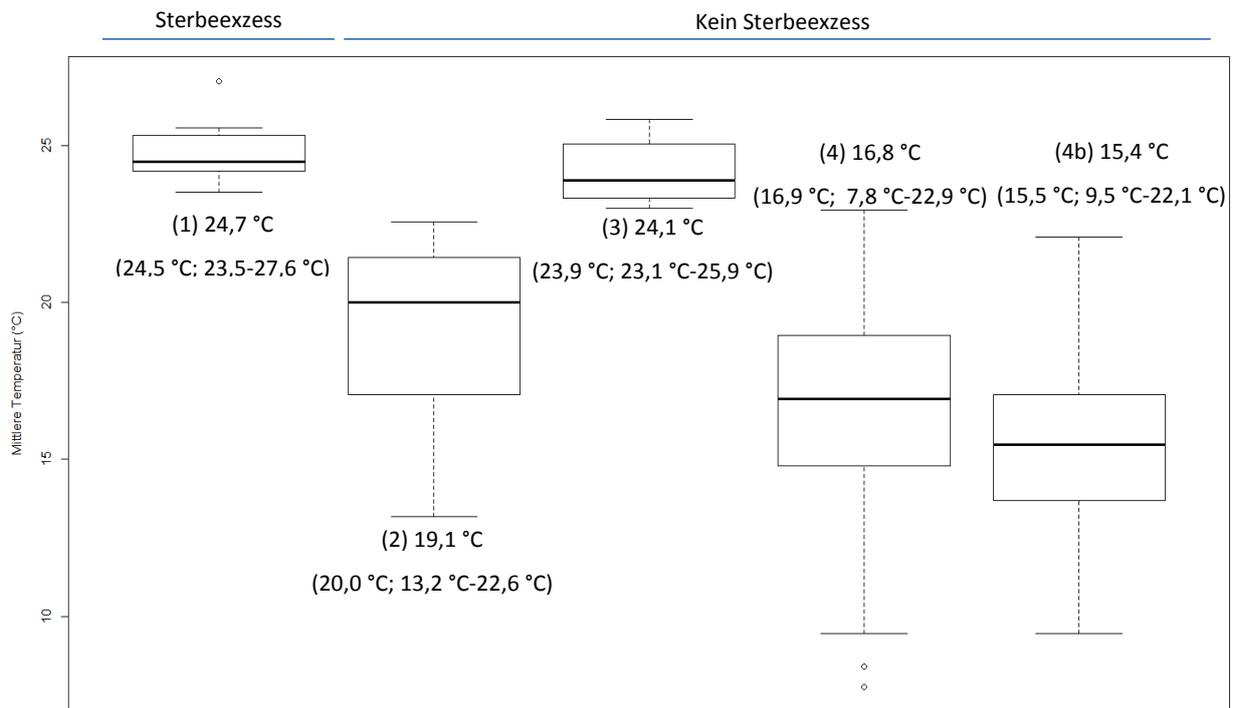
entsprechen, wurden, wie in Abschnitt 5.3.1 ausgeführt, 39 Tage mit einer Untersterblichkeit (4b) entdeckt. An diesen Tagen unterschritt die beobachtete die erwartete Fallzahl um mehr als das Zweifache der Standardabweichung. In Abbildung 45 zeigen Boxplots die 5-Punkte Verteilungen für die in Tabelle 10 vorgestellten Kriterien.

**Tabelle 10: Übersicht über die Verteilung der Sommertage mit und ohne Exzessereignisse nach Kriterium**

Hitzebedingter Sterbeexzess	Kriterium	Tage		
		n		
JA	(1) $o > (e + 2 \text{ sd})$ UND $T(m) > 23 \text{ °C}$	n = 21	} 73	} 736
NEIN	(2) $o > (e + 2 \text{ sd})$ UND NICHT $T(m) > 23 \text{ °C}$	n = 52		
	(3) $o < (e + 2 \text{ sd})$ UND $T(m) > 23 \text{ °C}$	n = 18		
	(4a) $o < (e + 2 \text{ sd})$ UND $T(m) < 23 \text{ °C}$	n = 645		
	(4b) darunter Untersterblichkeit $o < (e - 2 \text{ sd})$	n = 39		

(Quelle: Eigene Darstellung, e: erwartete Fälle (expected), o: beobachtete Fälle (observed), sd: Standardabweichung (standard deviation), T(m): Temperaturmittel)

**Abbildung 45: Temperaturverteilungen der Sommertage mit und ohne Exzessereignisse, nach Kriterium**



(Quelle: Eigene Darstellung, Temperaturangaben beziehen sich auf Mittelwert (Median; Minimum und Maximum) der Temperaturverteilung)

## 5.5 Zusammenfassung

Das dritte Arbeitspaket widmete sich der Finalisierung des Schätzverfahrens für die Bestimmung der Anzahl an Exzesssterbefällen. Dessen Kern ist die Bereinigung der Basislinie um den Einfluss von Tagen mit einer hohen Tagesmitteltemperatur ( $> 23 \text{ °C}$ ). Die kalendertägliche Basislinie wird mittels eines gleitenden arithmetischen Mittels aus den beobachteten bzw. bereinigten Daten aus 5 aufeinander folgenden Jahren geschätzt. Um die Basislinie herum definiert ein Bereich (2 Standardabweichungen) die noch zu erwartende Variabilität der Sterbefälle. Die obere Grenze dieses Normalbereichs markiert die Schwelle für die Auslösung eines Exzesssignals, sobald die beobachtete Sterbefallzahl diese Schwelle überschreitet.

Dieses Verfahren schätzt für Hessen 600 Exzesssterbefälle an 73 Exzessstagen während der Sommermonate der Jahre 2005 bis 2012. Einen großen Beitrag zu diesem Befund leisten die Jahre 2006, 2010 und 2012. Wie sich zeigt, ist die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur an Tagen mit Sterbeexzessen im Vergleich zu Tagen ohne Sterbeexzess deutlich erhöht. Eine Erweiterung des Exzesskriteriums um eine Temperaturschwelle ( $23 \text{ °C}$ ) wurde mit dem Ziel vorgenommen, die

Attribuierbarkeit der Exzessfälle zu hohen Außentemperaturen zu verbessern. Die Erweiterung reduziert die Zahl der Exzesssterbefälle auf 268 an nur noch 21 Exzesstagen. Ein Harvesting-Effekt kann nicht konsistent gezeigt werden.

Eine Vulnerabilitätsanalyse zeigt im relativen Vergleich eine erhöhte Betroffenheit älterer im Vergleich zu jüngeren Personen sowie für ältere Frauen im Vergleich zu älteren Männern. Diese Ergebnisse sind überwiegend konsistent mit internationalen Befunden.

## 6 Arbeitspaket 4: Regionalisierung der Mortalitätssurveillance

### 6.1 Hintergrund und Zielsetzung

Die bislang vorliegenden Ergebnisse umfassen das Sterbe geschehen für das gesamte Bundesland Hessen. Das vierte Arbeitspaket widmete sich daher der Regionalisierung der Mortalitätssurveillance durch die Definition sinnvoller Auswertungsregionen. Dies erfolgte mit dem Ziel, eventuelle regionale Unterschiede in den Verteilungen des Sterbe geschehens und der Temperatur zu berücksichtigen. Die hierdurch im Vergleich zu einer Auswertung auf Landesebene zusätzlich gewonnenen Erkenntnisse können unter anderem für die Planung und Umsetzung kleinräumiger Strategien zur Klimawandelanpassung informativ sein.

### 6.2 Methodisches Vorgehen

#### 6.2.1 Auswahl der Auswertungsregionen

Die Auswahl von Teilen Hessens, die sich als Auswertungsregionen anbieten, unterlag insbesondere der Notwendigkeit, Sterbefälle und damit auch Exzesssterbefälle eindeutig einer geografischen Region zuordnen zu können. Da die Sterbedaten in der regionalen Auflösung auf Ebene des Sterbekreises vorlagen, wurde die Kreisebene als räumliche Einheit für die geografische Zuschreibbarkeit der Sterbefälle herangezogen. Darüber hinaus wurde nach Kriterien für die Definition klimatischer Bezugsräume gesucht. Hierfür wurden die sog. Test-Referenzjahre (*test reference years*, TRY) herangezogen, die Deutschland in insgesamt 15 Regionen mit jeweils charakteristischen klimatischen Bedingungen einteilen [44]. 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. In Hessen treffen insgesamt vier verschiedene TRY-Regionen aufeinander, von denen zwei den größten Anteil der Landesfläche auf sich vereinen: Zum einen die TRY-Region 7, die als Zone gemäßigten, in Höhenlagen kühlen Klimas mit mäßiger Durchlüftung den nördlichen Teil Hessens einfasst, zum anderen die TRY-Region 12, die ein im Winter gemäßigtes und im Sommer ausgeprägt warmes, von geringer Durchlüftung in den Tallagen gekennzeichnetes Klima repräsentiert [44: 57 ff.]. Sehr viel kleinere Flächen vereinen die TRY-Regionen 6 und 10 auf sich, die überwiegend schmale Streifen der grenznahen Regionen West- und Ost Hessens, einen Teil Südost Hessens (TRY 6) sowie kleine Teile Ost Hessens und einzelne kleine, von der TRY 7 umschlossene Flächen in Süd- und Mittelhessen (TRY 10) einfassen. Da die Grenzverläufe der TRY-Regionen zahlreiche hessische Kreise geografisch in Teilstücke zergliedern und das Sterbe geschehen desselben Kreises jeweils anderen TRY-Regionen

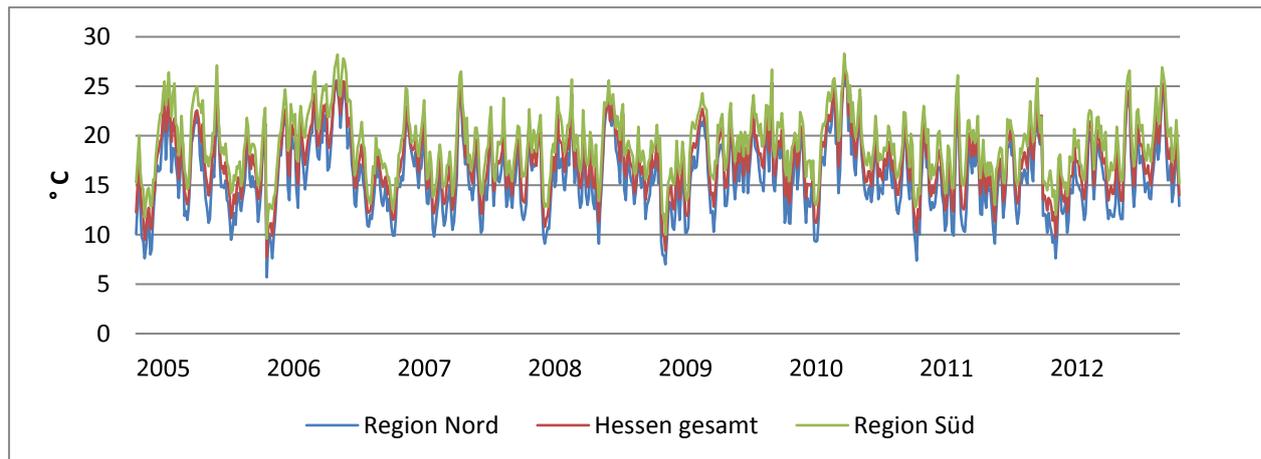
zugeordnet werden müsste, wurden ausschließlich diejenigen Kreise in die Regionalauswertung aufgenommen, die sich vollständig bzw. nahezu vollständig einer der TRY-Region zuordnen lassen. Die beiden dominanten TRY-Regionen 7 und 12 umfassen gemeinsam die mit Abstand größten zusammenhängenden Flächenstücke in Hessen. Daraus ergab sich eine Regionalisierung des Sterbegeschehens in Hessen auf die durch diese beiden Regionen eingefassten Kreise in eine nördliche, flächenmäßig größere sowie eine südliche, flächenmäßig kleinere Auswertungsregion. In Abstimmung mit dem HLNUG wurden beiden Regionen Wetterstationen zugeordnet, für die Messreihen der Tagesmitteltemperatur für die erforderlichen Zeiträume (2000 – 2012) ohne oder nur mit äußerst seltenen Messwertunterbrechungen verfügbar waren. Tabelle 11 dokumentiert die Zuordnung der Kreise und der Wetterstationen, aus deren Messreihen Temperaturdaten entnommen wurden. Der TRY-Region 7 wurden sieben Kreise bzw. Städte mit rund 1,2 Mio. Einwohnern und der TRY-Region 12 wurden 4 Kreise bzw. Städte mit rund 1,47 Mio. Einwohnern zugeordnet. Damit umfassen die fortan als *Region Nord* und *Region Süd* bezeichneten Auswertungsregionen mit insgesamt rund 2,675 Mio. Einwohnern rund 43 % der Gesamtbevölkerung Hessens (6,176 Mio., Stand 12/2015). Die Temperaturdaten wurden den Messreihen der Stationen aus Neukirchen (Region Nord) sowie den Stationen Frankfurt/Main Flughafen und Geisenheim entnommen. Für letztere wurde der mittlere Wert der Reihen beider Stationen verwendet.

**Tabelle 11: Bei der Regionalisierung berücksichtigte Kreise, Einwohnerzahlen und Wetterstationen**

TRY-Region	Städte/Kreise	Einwohner (Stand 12/2015)	Wetterstation(en), Mittelwert, Minimum, Maximum (Sommer 2005-2012)
7 (Region Nord)	Landkreis Kassel	235.813	Station: Neukirchen Mittel: 15,9 °C Max: 5,7 °C Min: 26,4 °C
	Stadt Kassel	197.984	
	Werra-Meißner Kreis	100.715	
	Kreis Hersfeld-Rotenburg	121.166	
	Schwalm-Eder-Kreis	180.310	
	Vogelsbergkreis	107.256	
	Landkreis Gießen	262.505	
	<b>Summe Region 7</b>	<b>1.205.749</b>	
12 (Region Süd)	Stadt Frankfurt (Main)	732.688	Stationen: Frankfurt/Main (Flugh.), Geisenheim Mittel: 19,1 °C Min: 9,6 °C Max: 28,3 °C
	Kreis Groß-Gerau	266.042	
	Landkreis Offenbach	347.357	
	Stadt Offenbach	123.734	
	<b>Summe Region 12</b>	<b>1.469.821</b>	
	<b>Summe beide Regionen</b>	<b>2.675.570</b>	

Abbildung 46 dokumentiert die Verläufe der Tagesmitteltemperatur für die beiden ausgewählten Auswerteregionen sowie für Hessen gesamt. Es zeigt sich, dass sich die beiden Auswerteregionen hinsichtlich der Temperatur um durchschnittlich rund 3 °C deutlich voneinander unterscheiden. Darüber hinaus zeigt sich, dass der für die Auswertung für Hessen gesamt berechnete Mittelwert offenbar ein guter Repräsentant des mittleren Temperaturgeschehens ist.

**Abbildung 46: Tagesmitteltemperatur in Hessen sowie den Auswerteregionen Hessen Nord und Süd, 2005 - 2012**



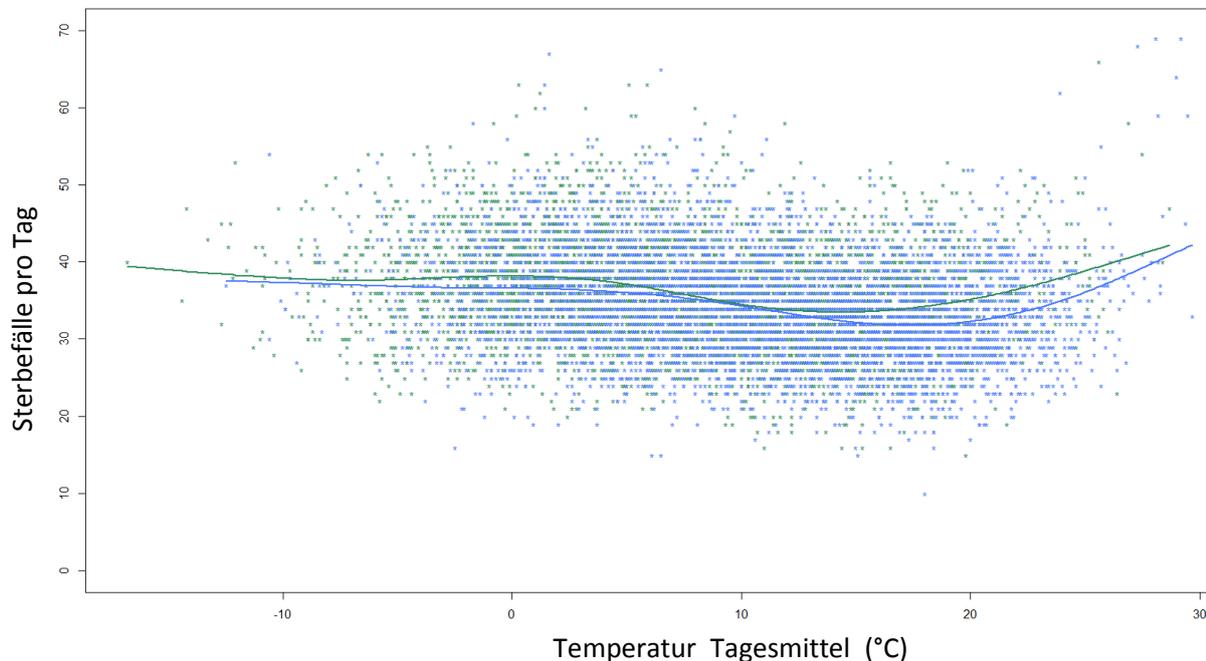
(Quelle: Eigene Darstellung)

## 6.2.2 Regionalisierte Exzessabschätzung

Nach erfolgter Auswahl der Auswerteregionen wurde eine Exzessabschätzung auf der Grundlage des in Kapitel 5 vorgestellten Verfahrens sowohl für die Region Nord als auch die Region Süd vorgenommen. Hierfür wurden Basislinien als regionale Repräsentanten der täglich zu erwartenden Anzahl an Sterbefällen berechnet. Die Abbildung 47 zeigt das Sterbegeschehen beider Auswerteregionen in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur. Es werden ähnliche Verlaufsmuster wie bei der Auswertung für Hessen gesamt sichtbar. Darüber hinaus zeigt sich im Vergleich beider Regionen eine Rechtsverschiebung des Kurventals in der Region Süd. Ausgehend von diesem Befund wurde die plausible Annahme aufgestellt, dass regional individuelle Temperaturschwellen sowohl für die Bereinigung als auch für die Erweiterung des Exzesskriteriums zu verwenden sind. Daher wurde zunächst für beide Regionen auf Basis einer unbereinigten Basislinienschätzung die Anzahl an Exzesstagen und -fällen bestimmt und geprüft, welche Temperaturschwelle den Anteil an Exzesstagen unter den Tagen mit Überschreitung ebenjener Temperaturschwelle maximiert. Anschließend erfolgte eine um die verzerrenden Einflüsse von Sommern mit einer hohen Dichte an heißen Tagen bereinigte Erwartungswertschätzung. Daraus wurde schließlich die Exzessabschätzung unter Anwendung des

Schwellenkriteriums (Erwartungswert plus 2-fache Standardabweichung) sowie der Temperaturschwelle vorgenommen.

**Abbildung 47: Sterbefälle nach Temperatur, Regionen Nord und Süd, 2000 – 2012**



(Quelle: Eigene Darstellung, grün = Region Nord, blau = Region Süd)

### 6.3 Ergebnisse

Tabelle 12 dokumentiert die Ergebnisse der Regionalauswertung. Für die Region Hessen Nord wurde eine Temperaturschwelle von 22 °C in das Exzesskriterium aufgenommen. Demnach konnten unter den 42 Tagen, an denen diese Schwelle während der Sommermonate überschritten wurde, zehn Tage mit einem Sterbeexzess detektiert werden. An diesen zehn Exzesstagen ereigneten sich mit insgesamt 44 Exzesssterbefällen durchschnittlich 4,4 Exzesssterbefälle je Exzesstag (Spanne 1-8 Fälle). Für die Region Süd wurde mit 23,5 °C eine im Vergleich dazu höhere Temperaturschwelle gewählt (siehe Abschnitt 6.2.2). Diese Schwelle wurde an 69 Tagen überschritten, unter denen 15 Tage (21,7 %) einen Sterbeexzess zeigten. Insgesamt wurden 67 Exzesssterbefälle (4,5 je Exzesstag, Spanne 1 – 11 Fälle) beobachtet. Wie auch bei der Auswertung für das gesamte Bundesland zeigt sich die erhebliche Reduktion der Anzahl sowohl der Exzesstage als auch der Exzessfälle durch die Erweiterung des Exzesskriteriums um eine Temperaturschwelle. Die doch deutlich unterschiedlichen Temperaturschwellen könnten als Hinweise auf regional unterschiedliche Adaptionsprozesse der Bevölkerungen an höhere Temperaturniveaus gedeutet werden. Obschon die maximale Nord-Süd-Ausdehnung Hessens lediglich etwa 260 Kilometer beträgt, so ist Hessen, wie oben berichtet wurde,

klimatisch insbesondere entlang der Nord-Süd Achse heterogen. Als Folge des Einflusses verschiedener Klimaregionen könnten u.a. unterschiedliche Anpassungsstrategien an Tagen mit besonders hohen Außentemperaturen durchaus einen Teil dieser regionalen Unterschiede erklären.

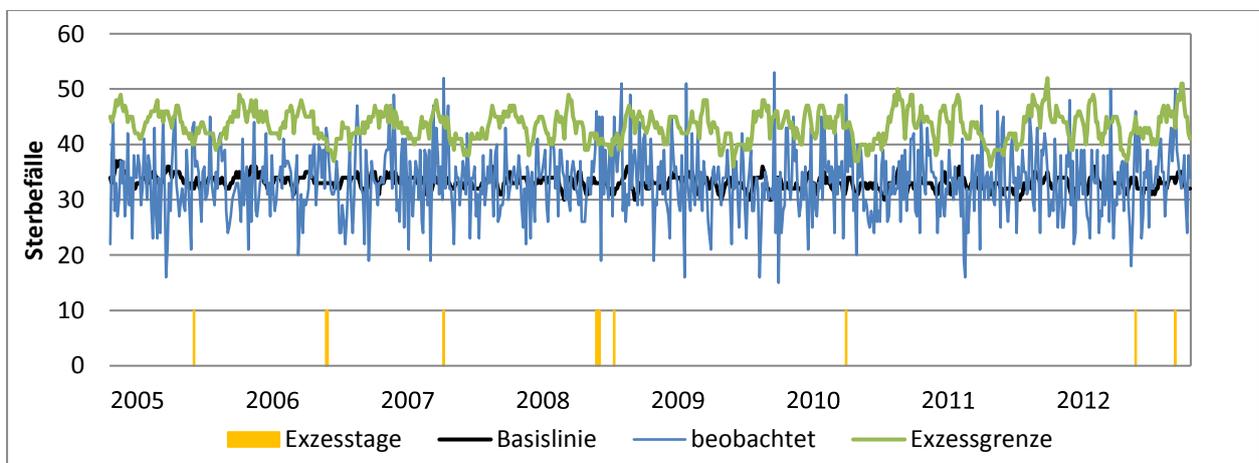
**Tabelle 12: Exzesstage und Exzesssterbefälle, Region Nord und Süd**

Region	Temperaturschwelle	Tage über Temperaturschwelle	Exzesstage (Anteil)	Exzessfälle	Exzessfälle je Exzesstag
Nord	22 °C	42	10 (24 %)	44	4,4
	keine	736	41 (5,6 %)	163	3,9
Süd	23,5 °C	69	15 (21,7 %)	67	4,5
	keine	736	73 (9,9 %)	293	4,0

(Quelle: Eigene Darstellung)

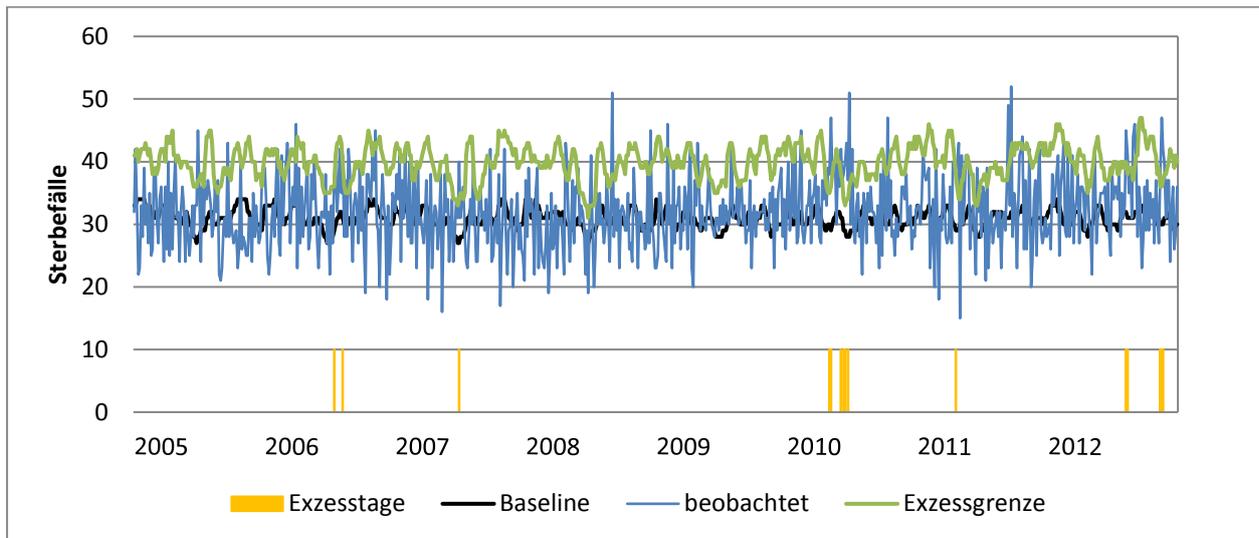
Die Abbildungen 48 und 49 zeigen das Sterbegeschehen in den beiden Auswertungsregionen Nord und Süd, basierend auf einer bereinigten Basislinienschätzung, und die Exzesstage unter Anwendung des um die jeweilige regionalspezifische Temperaturschwelle erweiterten Exzesskriteriums. Kennlich gemacht sind darüber hinaus die zeitliche Lage der Exzesstage sowie der Verlauf der Exzessschwelle. Heraus sticht das Jahr 2012, in dem in beiden Regionen relevante Anteile der Übersterblichkeit beobachtet werden. Das Jahr 2008 ist für die Region Nord und das Jahr 2010 ist für die Region Süd von besonderer Bedeutung bezogen auf die Häufigkeit von Exzesstagen.

**Abbildung 48: Beobachtetes und erwartetes Sterbegeschehen sowie Anzahl der Exzesstage, Region Hessen Nord**



(Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 49: Beobachtetes und erwartetes Sterbegeschehen sowie Anzahl der Exzesstage, Region Hessen Süd



(Quelle: Eigene Darstellung)

## 6.4 Zusammenfassung

Das vierte und letzte Arbeitspaket widmete sich der Regionalisierung der Exzessabschätzung. Basierend auf dem methodischen Vorgehen für Hessen gesamt wurde das Sterbegeschehen aus denjenigen Kreisen zwei Großregionen zugewiesen, die durch ihre Zugehörigkeit zu den beiden flächenmäßig maßgeblichen TRY-Regionen (TRY 7 und 12) gekennzeichnet sind. Diese beiden Regionen repräsentieren etwa 43 % der Gesamtbevölkerung Hessens. Bei der regionalisierten Betrachtung blieben Kreise, deren Sterbefälle keiner der beiden Regionen vollständig zugeordnet werden konnten, unberücksichtigt. Beide Regionen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Temperaturgeschehens sowie des Sterbegeschehens. Aus diesem Grunde sind in beiden Regionen jeweils unterschiedliche Temperaturschellen für das Exzesskriterium vorgesehen. Die regional differenzierte Auswertung zeigt Unterschiede hinsichtlich der Anzahl sowohl bei den Tagen mit Sterbeexzess als auch der Anzahl an Exzesssterbefällen, deren Zahl in der südlichen Region die der Region Nord übersteigt. Damit kann während der Sommermonate in beiden Regionen sowie im gesamten Bundesland Exzesssterblichkeit beobachtet werden, die in der Bewertung in Relation zum Sterbegeschehen insgesamt zwar ein relevantes, aktuell jedoch noch kein erhebliches Gesundheitsproblem darstellt. Die Public Health Relevanz einer hitzeassoziierten Mortalität ist daher vor dem Hintergrund anderer mit extremen Klimabedingungen assoziierter Gesundheitsrisiken sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten zu diskutieren.

## 7 Anforderungen an die Datenverfügbarkeit

Eine grundlegende Voraussetzung für eine funktionierende Mortalitätssurveillance ist die zeitnahe Verfügbarkeit vollzähliger und vollständiger Datenmengen. Während die Vollzähligkeit im vorliegenden Kontext den Anteil der an das Surveillance-System gemeldeten Sterbefälle an allen aufgetretenen Sterbefällen in Hessen adressiert, bezieht sich das Kriterium Vollständigkeit auf den Anteil der für die Surveillance benötigten in Relation zu den verfügbaren Daten je Sterbefall. Im Idealfall kann ein Surveillance-System auf eine vollzählige und vollständige Datenmenge zurückgreifen, die zeitnah über einen möglichst einfachen, jedoch mit den datenschutzrechtlichen Bestimmungen konformen Transferweg geliefert wird. Im Folgenden werden die für die Pilotierungsphase erforderlichen Daten im Sinne eines Minimaldatensatzes beschrieben. Daran schließen sich eine Darstellung der aktuellen Verfügbarkeit von Sterbe- und Temperaturdaten und den damit verbundenen Schwierigkeiten sowie eine Abschätzung der Möglichkeiten einer Datenerfassung unter den Bedingungen des aktuellen Verfahrens an.

### 7.1 Beschreibung des Minimaldatensatzes

Insgesamt erscheint das im vorliegenden Bericht vorgestellte Surveillance-Konzept als datensparsam. Die folgenden Überlegungen beziehen sich auf die Abschätzung von Sterbeexzessen im Zusammenhang mit Hitzeereignissen. Sollten noch weitere Fragestellungen abgedeckt werden, können sich die Ansprüche an die Datengranularität und Parameter erweitern. Um dem Gebot der Datensparsamkeit zu entsprechen, erscheint es für die Startphase des Surveillance-Verfahrens zunächst sinnvoll und zielführend, den für dieses Projekt nötigen Minimaldatensatz, der etwa als Text- oder Excel-Datei aufgenommen werden kann, auf wenige Variablen zu begrenzen.

#### **Daten je Sterbefall**

Zur Abbildung der Exzesssterblichkeit sind fünf fallbezogene Variablen sowie eine administrative Variable im Sterbedatensatz erforderlich, wobei davon ausgegangen wird, dass die Regionalauswertung für die Regionen NORD und SÜD obligatorisch parallel zur Gesamtauswertung erfolgen soll. Darüber hinaus soll die Berücksichtigung der Altersstruktur nach Alterskategorien sowie des Geschlechts der Verstorbenen für die Deskription des Sterbe geschehens gewährleistet sein. Diese Variablen sind der Sterbekreis, das Sterbedatum, das Geburtsdatum, das Geschlecht, der Wohnkreis sowie eine Variable, die das Datum der Datenlieferung dokumentiert. Der Sterbekreis ist für die Zuordnung des Sterbefalls zu einer der beiden Regionen erforderlich, sofern dieser einer der

beiden Regionen zuzuweisen ist. Das Sterbedatum ist zum einen für die Berechnung der Summe der Sterbefälle je Kalendertag durch Generierung einer Zählvariablen erforderlich. Diese Summe wird sowohl für die Bestimmung der Exzessfälle als auch die Schätzung der Erwartungswerte für das darauffolgende Jahr benötigt. Mit Hilfe des Geburtsdatums kann darüber hinaus das Sterbealter als Differenz zwischen Geburtsdatum und Sterbedatum berechnet werden. Die Variable, die das Lieferdatum der Daten dokumentiert, kann zur Abschätzung des durchschnittlichen Verzugs der Meldungen an das Surveillance-System herangezogen werden. Abhängig von den Verzögerungsursachen und Auswirkungen auf die Datenlieferungen kann die Berücksichtigung weiterer Angaben für eine genauere zeitnahe Einschätzung der Vollzähligkeit benötigt werden, da die Sterbefälle, auch nach mehreren Tagen oder Wochen, dem korrekten Sterbedatum (einem entsprechenden Sterbetag aus der Vergangenheit) zuzuordnen sein müssen, um nachträglich die Vollzähligkeit der Fälle pro Kalendertag zu sichern und damit einer Unterschätzung der Exzessfälle vorzubeugen. Tabelle 13 dokumentiert die Anforderungen an den Minimaldatensatz.

**Tabelle 13: Anforderungen an den Minimaldatensatz *Sterbedaten***

Variable	Variablenbeschreibung	Spezifikation
Geschlecht	Geschlecht des Verstorbenen	Geschlecht als Zahl
Geburtsdatum	Monat und Jahr der Geburt <sup>43</sup>	Geburtsdatum in rechenfähigem Format
Sterbedatum	Tag, Monat und Jahr des Sterbefalles	Sterbedatum in rechenfähigem Format
Wohnkreis	Kreis des Wohnortes als Zahl	Amtlicher Regionalschlüssel, 3.-5. Stelle
Sterbekreis	Kreis des Sterbeortes als Zahl	Amtlicher Regionalschlüssel, 3.-5. Stelle
Datum der Datenlieferung	Tag, Monat und Jahr der Datenlieferung	Lieferdatum in rechenfähigem Format

(Quelle: Eigene Darstellung)

Alle weiteren für die Auswertungen erforderlichen Variablen können aus dem Minimaldatensatz erzeugt werden. Sollen die Sterbedaten auch nach dem Alter aufbereitet werden, muss die Tatsache

<sup>43</sup> Das Geburtsdatum wird aus datenschutzrechtlichen Gründen sehr wahrscheinlich lediglich mit dem Geburtsmonat und dem Geburtsjahr verfügbar sein

berücksichtigt werden, dass das Geburtsdatum aus Gründen des Datenschutzes sehr wahrscheinlich nicht das Datum tagesgenau enthalten wird, sondern lediglich den Geburtsmonat und das Geburtsjahr. In diesem Falle wäre die Monatsmitte als fiktiver Geburtstag anzunehmen. Dieses Vorgehen würde die durchschnittliche Fehlklassifikation des Alters der Gestorbenen minimieren.

### ***Temperaturdaten***

Sowohl für die Bereinigung als auch für die Bestimmung von Tagen mit Überschreitung der entsprechenden Temperaturschwellen für Hessen gesamt und die beiden Auswertungsregionen NORD und SÜD ist die Tagesmitteltemperatur erforderlich. Für die Gesamtauswertung wurde die plausible Annahme getroffen, dass die Berücksichtigung einer möglichst großen Anzahl an datenliefernden Stationen aus den Messnetzen des DWD und des HLNUG das mittlere Temperaturgeschehen in guter Weise über die gesamte Landesfläche abbildet. Abweichend davon kann die Tagesmitteltemperatur aus einer Stationsauswahl des Messnetzes des DWD als einfaches arithmetisches Mittel berechnet werden und muss nicht zwingend einer Vollerhebung dieser Variable über alle datenliefernden Stationen aus beiden Messnetzen entsprechen. Für die Abbildung des Temperaturgeschehens in den Regionen NORD und SÜD wurde in Abstimmung mit dem HLNUG bereits eine reduzierte Stationsauswahl getroffen (Kapitel 6).

## **7.2 Datenverfügbarkeit**

### **7.2.1 Derzeitiger Stand und antizipierte Probleme der aktuellen Datenflussstruktur**

Die Übermittlung von Informationen zum Tod eines Menschen ist im Personenstandsgesetz (PStG) geregelt. Gemäß § 28 PStG ist ein eingetretener Todesfall spätestens am dritten auf den Todestag folgenden Werktag an das zuständige Standesamt zu melden. Dieses prüft und beurkundet (§ 31 PStG) unter Rückgriff auf den ärztlich dokumentierten Leichenschauschein den Todesfall und es erfolgt die Aufnahme in das Sterberegister. Die elektronische Erfassung des Personenstands (§ 75 PStG) wurde mit Novellierung des PStG im Jahre 2009 bundesweit verbindlich eingeführt. Die Standesämter übermitteln die beurkundeten Todesfälle i.d.R. sobald als möglich nach einem Transportprotokoll an die zentrale Dateneingangsstelle (OSCI-Dateneingang) in Bayern und an das zuständige Gesundheitsamt bzw. weitere Behörden [45]. Die Daten werden dann an die zentrale Daten-Verarbeitungsstelle in Thüringen übermittelt und unter Verwendung des Programmes Basis+, das die Onlinebearbeitung durch die

zuständigen Fachabteilungen (Bevölkerungsfortschreibung) der Statistischen Landesämter erlaubt und koordiniert, verarbeitet und ausgewertet. Die Zielstellungen sind dabei meist aggregierte Darstellungen der endgültigen und bereinigten Daten zu den amtlichen Statistiken mit z.B. monatlicher zeitlicher Auflösung bzw. als Jahresstatistik.

Unter diesen Voraussetzungen ist eine Zeitnähe mit einer Verzögerung von wenigen Tagen, bis zu der die Gesamtheit der hessischen Sterbefälle dem Surveillance-Verfahren vollzählig und vollständig bereitsteht, wie es in einigen kleinräumigen Beobachtungsnetzen z.B. in Frankreich möglich ist, nicht erreichbar. Dies würde eine Auswertung noch während einer andauernden Hitzewelle erlauben. Nach der aktuell gültigen Datenflussstruktur ist jedoch von einer Verzögerung der vollzähligen Datenübermittlung von mehreren Wochen auszugehen. Je nach Güte und Möglichkeit die Vollzähligkeit abzuschätzen, gestaltet sich die Verzögerung, mit der Aussagen zu Exzessfällen getroffen werden können. Dass eine sinnvolle Nutzung der Daten aber auch bei geringerer Zeitnähe möglich ist, haben Uphoff und Kollegen [45] im Rahmen des Projektes ZETH (Zeitnahe Erfassung von Sterbefällen in Hessen) gezeigt. ZETH hatte zum Ziel, das in Hessen beobachtete Sterbegeschehen zeitnah für eine Analyse v.a. vor dem Hintergrund der Influenza-Aktivität aufzubereiten. Hierfür wurde die Datenverfügbarkeit nicht auf der Grundlage neu zu schaffender Datenflussstrukturen, sondern allein mit Hilfe einer Beschleunigung der Datenübermittlung auf eine wöchentliche Übermittlung im Rahmen der bestehenden Strukturen verbessert. Dies wurde im Jahre 2008 durch das Hessische Innenministerium verbindlich für die Landesämter in Hessen erlassen [45], im Jahre 2013 allerdings im Rahmen der Umstellung des Übermittlungsverfahrens ausgesetzt.

## **7.2.2 Abschätzung der Möglichkeiten einer Datenerhebung bei dem derzeitigen Verfahren**

Das hier diskutierte Verfahren greift das vormals bereits in Hessen umgesetzte Konzept [45] des Datentransfers unter Nutzung der etablierten Wege erneut auf. Kritisch dabei ist die Zeitnähe, die unter den derzeitigen Gegebenheiten abhängig ist von der Eingabe der Daten von den Landesämtern in das System und der Weiterleitung der Daten in das Basis+ Verarbeitungssystem. Technisch ist dies ohne nennenswerte Zeitverluste möglich. Eine wöchentliche Bereitstellung der verfügbaren Daten bei einer tagesgenauen Auflösung der Sterbefälle ist bei den derzeitigen Voraussetzungen darstellbar. Um dabei eine möglichst hohe Vollzähligkeit zu erreichen ist es wünschenswert, dass die hessischen Landesämter möglichst zeitnah die Sterbefalldaten elektronisch an die Datenerfassungsstelle

übermitteln. Die Erstellung des, unter Beachtung der Datenschutzbestimmung, trunkierten Datensatzes könnte in der zentralen Bearbeitungsstelle in Thüringen erfolgen und über das Hessische Statistische Landesamt zu einem wöchentlichen Stichtag an das HLPUG weitergeleitet werden. Diese Option ist derzeit in Prüfung.

## 8 Bewertung und Diskussion der Ergebnisse

Das Projekt HEAT II widmete sich der Etablierung eines Surveillance-Systems hitzebedingter Mortalität in Hessen. Hierfür wurde zunächst eine Übersicht über international existierende Surveillance- und Monitoring-Systeme erstellt, deren Ergebnis die systematische Beschreibung der grundlegenden Verfahrensweisen und Strukturen derartiger Verfahren ermöglichte. Die zeitnahe Verfügbarkeit vollständiger Sterbe- und Temperaturdaten in einer räumlich und zeitlich geeigneten Auflösung erweisen sich dabei als Voraussetzungen für eine hohe Funktionalität. Der grundlegende analytische Ansatz der identifizierten Verfahren liegt auf einem formalen Vergleich des beobachteten Sterbegeschehens mit dem erwarteten Sterbegeschehen. Die identifizierten Verfahren unterscheiden sich hinsichtlich der Strategien zur Schätzung der erwarteten Sterblichkeit sowie der Definition von Kriterien, die das Sterbegeschehen in einen Bereich normaler Sterblichkeit und einen Bereich mit Exzesssterblichkeit klassifizieren.

Angeleitet von diesen Ergebnissen erfolgte die Entwicklung eines ersten Auswertungsalgorithmus und dessen Prüfung für das Sterbegeschehen in Hessen. Hierfür wurde ein Verfahren generiert, das die Erwartungswerte auf der Grundlage einer Referenzperiode aus den Sommermonaten fünf aufeinanderfolgender Jahre schätzt. Diesem Verfahren liegt die Annahme zugrunde, dass sich die erwartete Sterblichkeit aus dieser das typische Sterbegeschehen der Referenzperiode charakterisierenden Sterblichkeit schätzen lässt. Die Voraussetzung dafür ist, dass die maßgeblichen Prozesse des demografischen Strukturwandels (Sterbegeschehen, Alterung) zumindest innerhalb einer wenige Jahre umfassenden Referenzperiode als relativ konstant angesehen werden können. Mit diesem Vorgehen wird das Ziel erreicht, die Erwartungswertschätzung eng an den empirischen Daten auszurichten. Die erwartete Sterblichkeit wurde schließlich mit Hilfe eines gleitenden Durchschnittes über jeweils fünf benachbarte Sommertage für das dieser Referenzperiode folgende Jahr berechnet. Die Differenz zwischen den beobachteten und den auf diese Weise geschätzten erwarteten Werten detektiert dann die Anzahl an Exzesssterbefällen. Hierbei wurde dem Problem der zufälligen Streuung der beobachteten Sterblichkeit durch die Einziehung eines Exzesskriteriums begegnet, sodass das Sterbegeschehen des Bereichs einer gerade noch erwartbaren vom dem Bereich einer ungewöhnlich hohen (und damit nicht mehr erwartbaren) Sterblichkeit abgegrenzt wird. Als Exzessschwelle wurde die Summe aus der erwarteten Sterbefallzahl und dem Zweifachen von deren Standardabweichung herangezogen.

Wie sich darüber hinaus herausstellte, ist die Schätzung der Erwartungswerte aus einer Referenzperiode sensitiv gegenüber Jahren, in denen die Sterbefallzahlen aufgrund hoher mittlerer Außentemperaturen stärker angestiegen waren. Die Folge einer solchen ‚Verunreinigung‘ der Erwartungswerte kann eine

systematische Unterschätzung der Exzesssterblichkeit sein, da die Erwartungswerte an diesen Tagen artifiziell zu hoch geschätzt werden. Um dies zu verhindern, wurde in einem nächsten Schritt eine Bereinigungsstrategie entwickelt, die eine unverzerrte Erwartungswertschätzung gewährleistet. Dies wurde erreicht, indem die Sterbefallzahlen (plus drei Tage davor und danach) an Tagen mit hohen mittleren Außentemperaturen ( $> 23 \text{ }^\circ\text{C}$  mittlere Tagesmitteltemperatur) ersetzt wurden durch den Median dreier Tage aus drei aufeinanderfolgenden Jahren. Die bereinigte Erwartungswertschätzung erfolgte dann unter Rückgriff auf die auf diese Weise bereinigten Sterbefallzahlen. Die Anwendung dieser Bereinigungsstrategie reduzierte den verzerrenden Einfluss hoher Sterbefallzahlen an Tagen mit hohen Außentemperaturen zufriedenstellend. Um die Attribuierbarkeit der Sterbefälle zu den Außentemperaturen zu verbessern, wurde das Exzesskriterium schließlich um eine Temperaturkomponente erweitert. Es werden damit ausschließlich diejenigen Sterbefälle als Exzessfälle gezählt, die die Exzessschwelle an Tagen überschreiten, an denen auch die Temperaturschwelle überschritten wurde. Der finale Algorithmus erzeugt damit eine eng an der Empirie ausgerichtete, aus einer Referenzperiode berechnete und um verzerrende Einflüsse bereinigte Schätzung erwarteter Sterbefälle, die einen formalen Vergleich mit dem tatsächlich beobachteten Sterbegeschehen erlaubt. Im letzten Schritt wurde dieser auf eine regionale Differenzierung des Sterbegeschehens angewendet, die sich an der Zugehörigkeit der Kreise/kreisfreien Städte zu zwei durch typische Klimabedingungen charakterisierte Regionen orientiert. Diese sog. TRY-Regionen erlauben die Unterscheidung in die zwei Großregionen „Hessen Nord“ und „Hessen Süd“, die zusammen rund 40 % der hessischen Bevölkerung repräsentieren. Für beide Regionen wurden jeweils unter Anwendung desselben Algorithmus', jedoch mit jeweils unterschiedlichen Temperaturkriterien für die Bereinigung und die Temperaturkomponenten des Exzesskriteriums, individuelle Auswertungen vorgenommen.

Für Hessen gesamt und für die beiden nach geografischen und meteorologischen Kriterien ausgewählten hessischen Regionen kann für die Sommermonate der Jahre 2005 bis 2012 das Auftreten von Exzesssterbefällen gezeigt werden. Es konnte gezeigt werden, dass vulnerable Bevölkerungsgruppen in besonderem Maße betroffen sein können. Für den Endpunkt der Mortalität kann daraus die Notwendigkeit geschlussfolgert werden, insbesondere hochaltrigen Personen erhöhte Aufmerksamkeit im Rahmen von Klimaanpassungsstrategien zuteilwerden zu lassen.

Die zeitliche Beziehung zwischen den Ereignissen ‚Sterbeexzess‘ und ‚Hohe Außentemperatur‘ stellt sich in den Auswertungen als komplex heraus. Die Analysen hinterlassen den Eindruck eines zeitlich engen Zusammenhangs zwischen dem Auftreten von Exzesssterbefällen und hohen Temperaturen. Aufgrund des unklaren Einflusses hoher Temperaturen auf das Sterbegeschehen an direkt darauffolgenden, kühleren Tagen ( $> \text{lag } 0$ ) wurde vorerst keine Komponente in den Algorithmus integriert, die eine

regelmäßig nachweisliche, zeitliche Verzögerung zwischen Exposition und Sterbeexzess unterstellt. Darüber hinaus konnte kein Hinweis auf einen konsistent vorhandenen Harvesting-Effekt, also eine Vorverlegung des Todeszeitpunktes durch Hitzeeinfluss in vulnerablen Bevölkerungsgruppen [46], gefunden werden. Die Vergleichbarkeit der in HEAT II erzielten Erkenntnisse mit den Erfahrungen internationaler Analysen zum Harvesting ist durch methodische Heterogenität sowie Verschiedenheit der Größe und klimatischen Charakteristika der Auswertungsregionen eingeschränkt. Darüber hinaus greifen viele internationale Auswertungen, da sie sich oftmals auf ein ganzes Land beziehen, auf erheblich größere Sterbefallzahlen zurück als dies in HEAT II möglich war, so dass dort auch kleine Effekte eher sichtbar werden konnten. Hajat und Kollegen [47] sprechen auf der Grundlage von Auswertungen unter anderem für London von einem *kompensatorischen Effekt* zwischen Hitzeereignissen und dem nachfolgenden Zeitraum ohne Hitzeexposition bis zu 11 Tage nach der Sterblichkeitskrise. Hingegen konnten Robine et al. für den Extremsommer des Jahres 2003 für die in die Gesamtanalyse einbezogenen sechzehn europäischen Länder keinen solchen Effekt zeigen. Lediglich für drei (Deutschland, Italien und Schweiz) der sechzehn Länder wurden für einen Zeitraum zwischen Oktober und Dezember geringe Mortalitätsdefizite im Vergleich zur Referenzperiode (1998 – 2002) beobachtet, die als Indikator für das Vorliegen eines Harvesting-Effektes interpretiert werden könnten [13]. Unklar bleibt, ob dieser Befund ein statistisches Artefakt darstellt oder einen tatsächlich nachgewiesenen Harvesting-Effekt repräsentiert, der allerdings nur in sehr wenigen der in der Analyse berücksichtigten Ländern vorhanden war. Baccini et al. [48] deuten in ihrer Auswertung auf das Vorliegen eines möglichen Harvesting-Effekts in klimatisch durch mediterrane und kontinentale Einflüsse geprägten Städten im europäischen Raum hin.

Der finale Auswertungsalgorithmus gründet sowohl in den Erfahrungen, die international mit Surveillance-Verfahren gemacht wurden, als auch in einem Prozess des Suchens und Erprobens verschiedener Ansätze zur Bewertung der gesundheitlichen Risiken durch hohe Außentemperaturen mit Fokus auf den Endpunkt Mortalität. Ein großer Anteil der Entscheidungen zur Gestaltung des Algorithmus kann aus den Auswertungen der empirischen Daten heraus begründet werden. Dennoch resultierten nicht alle Entscheidungen zu dessen Konstruktion aus zwingendem statistischem Schluss. Vielmehr zeigte sich die Notwendigkeit, einen Teil der Entscheidungen auf Plausibilitätsannahmen beruhen zu lassen. Er repräsentiert damit das vorläufige Endergebnis eines Entwicklungsprozesses, in dem statistische, epidemiologische, medizinische sowie meteorologische Expertise zusammengeführt wurden. Die Eignung des Algorithmus muss sich daher im Rahmen seiner konkreten Anwendung zeigen. Es bedarf einer kontinuierlichen Überprüfung der Gültigkeit der Plausibilitätsannahmen einerseits und einer Prüfung der empirischen Verhältnisse andererseits. International existiert eine Vielzahl

methodisch und inhaltlich heterogener Verfahren zur Surveillance hitzebedingter Mortalität. Dabei kann nicht pauschal von der Überlegenheit eines methodischen oder statistischen Ansatzes ausgegangen werden [49]. Konsens besteht jedoch, dass eine den klimatischen Bedingungen, sozio-demografischen Strukturen und auch dem jeweils geltenden Normensystem wohlangepasste Strategie eine erfolgreiche Implementierung und einen verstetigten Routinebetrieb solcher Verfahren begünstigen. Auf der europäischen Ebene ist das EURO-MOMO System derzeit das maßgebliche Verfahren für eine Mortalitätssurveillance. Eine kritiklose Übernahme der Verfahrensweisen des MOMO-Algorithmus und der dahinterliegenden Annahmen erschien allerdings für das für Hessen zu entwickelnde Verfahren weder sinnvoll noch zielführend. So schätzt der MOMO-Algorithmus aus wöchentlich aggregierten Sterbedaten Exzessfälle für die teilnehmenden europäischen Länder. Die für die Erwartungswertschätzung verwendeten Referenzdaten werden aus relativ kurzen Anteilen der Zeitreihen von Sterbedaten aus den meteorologischen Frühlings- und Herbstmonaten extrahiert. Dies wird damit begründet, dass diese Ausschnitte am besten dasjenige Sterbegeschehen repräsentieren, das frei von Einflüssen durch Extremwetterbedingungen oder saisonal wiederkehrende Erkrankungsgeschehen (Influenza-Aktivität) sei und sich daher besonders gut als Grundlage für die Erwartungswertschätzung eigne. Nach ausführlicher Diskussion im Rahmen der Entwicklertreffen sowie der Workshops und Diskussionsforen (Fachzentrum Klimawandel), die durch das HLNUG angeboten werden, wurde dieses Verfahren nicht aufgegriffen. Vielmehr wurde auf die Anteile ganzjähriger Zeitreihen zurückgegriffen, die nach dem Dafürhalten der Autoren des vorliegenden Berichtes die interessierende Periode (Juni bis August) als Referenzperiode fünf vergangener Jahre am besten sowohl hinsichtlich der bekannten als auch der unbekannteren Einflussfaktoren und deren potenziell synergistischer und antagonistischer Interaktionen repräsentiert. Zukünftig wird im Rahmen der Evaluation des Verfahrens zu prüfen sein, ob die interessierende Periode über die drei Sommermonate hinaus ggf. um den Mai und den September erweitert werden soll. Es wird zu zeigen sein, ob sich eine solche Erweiterung des Beobachtungszeitraums als sinnvoll erweist.

Die in HEAT II notwendigerweise getroffenen Plausibilitätsannahmen bergen jedoch auch Potenzial für Limitationen des methodischen Vorgehens bei der Entwicklung des Algorithmus. Obschon die Annahme einer relativ konstanten demografischen Entwicklung innerhalb kurzer Zeiträume (5 Jahre) plausibel ist, ist diese kritisch zu diskutieren. Wird die demografische Entwicklung über einen längeren Zeitraum betrachtet, so lässt sich ein Trend kontinuierlich zunehmender Sterbefallzahlen zeigen. Dies resultiert aus Alterungsprozessen, in deren Folge sich erwartbar mehr Sterbefälle als natürliche Folge ergeben, ohne dass dies Ausdruck eines durch externe Faktoren beeinflussten Phänomens wäre. Damit ist dem Algorithmus, der die erwarteten Fallzahlen aus historischen Referenzperioden schätzt, ein verzerrendes

Potenzial in Richtung einer systematischen Überschätzung der Exzesssterbefälle inhärent. Vor diesem Hintergrund wäre eine nach demografischen Kriterien wie etwa dem Alter adjustierte Auswertung wünschenswert. Dies jedoch setzt bei tagesgenauen Sterbedaten die Kenntnis der Größe der Population unter Risiko in gleicher zeitlicher Auflösung und in einem sehr hohen Genauigkeitsgrad voraus. Die Verwendung eines kruden Mittelwertes der Populationsgröße würde eine zu starke Vergrößerung nach sich ziehen, in deren Folge im Kontext insgesamt recht kleiner Fallzahlen Fehlschätzungen der Anzahl der Exzessfälle wahrscheinlich wären. Das Verzerrungspotenzial alternder Bevölkerung wird nach Auffassung der Autoren jedoch dadurch abgemildert, dass eine lediglich 5 Jahre umfassende Referenzperiode zur Erwartungswertschätzung herangezogen wird. Es wurde keine Herabgewichtung der weiter zurückliegenden Jahre vorgenommen, da der effektive Beitrag der frühen Jahre aus einer fünfjährigen Referenzperiode auf die Erwartungswertschätzung insgesamt gering ist. Eine Ausdehnung der Referenzperiode um weitere Jahre würde den durch Alterung hervorgerufenen verzerrenden Effekt eher vergrößern. Der vorgeschlagene Algorithmus erzeugt aufgrund der in das Exzesskriterium aufgenommenen Schwellen (statistische Exzessschwelle, Temperaturschwelle) konservative Schätzungen der Anzahl an Exzesssterbefällen und Exzestagen. Aufgrund des Fehlens eines sinnvollen und validen externen Kriteriums ist derzeit nicht abzusehen, ob diese eher konservative Schätzung zu einer relevanten Unterschätzung der tatsächlich durch Hitze ursächlich bedingten Todesfälle in Hessen führt. Bei diesen handelt es sich aufgrund der Überkomplexität der Zusammenhänge und der niemals vollständig erreichbaren Datengenauigkeit allerdings ohnehin um eine lediglich theoretisch quantifizierbare Größe.

Die potenziellen Interaktionen zwischen verschiedenen Klima- bzw. Wetterparametern konnten im Rahmen der Entwicklung von HEAT II nicht in der aus einer meteorologischen Perspektive wünschenswerten analytischen Tiefe geprüft werden. Die erhebliche Komplexität der Interdependenzen einer Vielzahl von expositionsseitigen sowie outcomeseitigen Faktoren erschwert (z.B. durch Multikollinearität) bzw. verunmöglicht modellbasierte Auswertungen für die im vorliegenden Kontext interessierende Zusammenhangsstruktur zwischen Gesundheit und Klima, die sowohl statistisch als auch inhaltlich sinnvoll sind. Nach dem Dafürhalten der Autoren des vorliegenden Berichts bergen Analysen, die diese Komplexität durch die Aufnahme einiger Klimavariablen in statistische Modelle zu überführen beabsichtigen, eine erhöhte Gefahr, Artefakte bzw. eine lediglich angenommene Aussagensicherheit zu erzeugen. Auch aus diesem Grund wurde in HEAT II die mittlere Tagesmitteltemperatur als Expositionsvariable herangezogen. Die dahinter stehende Annahme ist, dass die Tagesmitteltemperatur das Temperaturgeschehen sowie die klimatischen Bedingungen als maßgebliche Variable am Tage und in der Nacht in guter Annäherung repräsentiert. Die Verwendung eines über die gesamte Landesfläche

berechneten Mittelwertes unter Rückgriff auf die Stationsnetze des DWD und des HLNUG erscheint zunächst als eine vergrößerte Betrachtung des Temperaturgeschehens. In der Tat erzeugt ein solches Verfahren einen Mittelwert, in dessen Berechnung alle verfügbaren Temperaturinformationen aus den beiden Stationsnetzen eingehen. Wie sich in der regional differenzierten Auswertung zeigte, stellt dieses ‚Hessenmittel‘ hinsichtlich der Tagesmitteltemperatur einen guten Repräsentanten des durch die beiden Regionen Hessen Nord und Hessen Süd in zwei Klimazonen geteilten Temperaturgeschehens dar. Die Entwicklergruppe geht daher nicht von einer relevanten Verzerrung der Beziehung zwischen Temperatur und Sterblichkeit durch dieses Vorgehen aus. Auf eine Flächeninterpolation und ähnliche auch topografische Besonderheiten berücksichtigende Verfahren wurde aufgrund der dafür erforderlichen erheblichen Rechenleistung bei unklarem Erkenntnisgewinn verzichtet. In HEAT II wurde die Gesamtmortalität, konform mit den Verfahrensweisen internationaler Surveillance-Systeme, als Outcomevariable verwendet. Als epidemiologisch relevanter Indikator repräsentiert diese das Sterbegeschehen unabhängig von den Todesursachen. In Deutschland werden die Todesursachen als Vollerhebung nach dem international gültigen Klassifikationssystem (ICD-GM 10) kodiert erfasst. Das Potenzial, durch die Berücksichtigung von Todesursachen die mit hohen Außentemperaturen kausal zusammenhängenden (z.B. Hyperthermie-Syndrom) bzw. nicht kausal zusammenhängenden (z.B. Unfälle) Sterbefälle zu unterscheiden und damit die Detektion hitzebedingter Mortalität zu verbessern, wird jedoch durch mehrere Aspekte unmöglich gemacht: zum einen ist die Verfügbarkeit verlässlicher Informationen zu Todesursachen mit einer zusätzlichen zeitlichen Verzögerung verbunden und damit für ein zeitnahes Monitoring unbrauchbar. Zum anderen unterliegt die Erfassung der Todesursachen selbst Unschärfen dadurch, dass auf den Todesbescheinigungen durch die Ärzte bzw. die Standesämter das wahrscheinlich zum Tode führende Grundleiden der gestorbenen Person als sog. monokausale Statistik erfasst wird. Über die Hitzesensitivität vieler potenziell letal verlaufender Erkrankungen liegen keine gesicherten Erkenntnisse vor, so dass Aussagen, etwa im Falle eines zum Tode führenden kardiovaskulären Ereignisses, dieses sei auf hohe Außentemperaturen zurückzuführen, auf der Ebene von Mutmaßungen verbleiben. Darüber hinaus wäre zu prüfen, ob ein relativ übermäßiger Anstieg der Zahl der Exzesssterbefälle im Rahmen länger andauernder Perioden mit hohen Außentemperaturen, oben beschrieben als Supereffekt, ein empirisch belegbares Phänomen oder lediglich ein zufälliges Ereignis repräsentiert. Zusätzliches Erkenntnisinteresse ergibt sich hier zudem aus der Frage, ob und wie die Beschaffenheit der Hitzeperiode etwa hinsichtlich ihrer Dauer, der Dichte heißer Tage (Maximaltemperatur > 30 °C), dem Ausmaß bzw. Ausbleiben einer relevanten Abkühlung in der Nacht oder dem Ausmaß an Temperaturunterschieden zwischen den Hitzetagen einen solchen potenziell vorhandenen Supereffekt beeinflusst.

Als problematisch erwies sich die Zuschreibbarkeit der detektierten Exzesssterbefälle zu hohen Außentemperaturen. Der Algorithmus ist durch die Einbeziehung einer Temperaturkomponente in das Exzesskriterium so angelegt, dass an einem Sommertag detektierte Exzesssterbefälle mit hoher Wahrscheinlichkeit mit der Hitzeexposition assoziiert sind. Es ist jedoch nicht sicher, dass diese tatsächlich durch die mit hohen Außentemperaturen mittel- oder unmittelbar zusammenhängenden Gesundheitsrisiken verursacht wurden. So könnte ein Teil der Exzesssterbefälle etwa durch den Einfluss einiger sowohl mit hohen Außentemperaturen als auch mit Mortalität assoziierter Risikofaktoren wie Freizeitaktivitäten (Sport- und Badeunfälle usw.) verursacht worden sein, die sich auf der Auswertungsebene als konfundierende Faktoren verzerrend auswirken. Es wäre folglich unangemessen, eine Kausalbeziehung zwischen dem Auftreten von Exzesssterbefällen und einer Hitzeexposition zu unterstellen. Des Weiteren ist der Algorithmus nicht explizit adjustiert für periodisch wiederkehrende (z.B. urlaubsbedingte) Fluktuationen der Populationsgröße unter Risiko während der Sommermonate oder singuläre Schadens- bzw. Krankheitsereignisse größeren Ausmaßes (z.B. Verkehrsunfälle mit einer größeren Zahl tödlich Verunglückter, hohe Dichte an Zuwanderung und Migration). In der Beobachtung, dass diese Fluktuationen im mehrjährigen Mittel ein charakteristisches Muster zeigen, gründet die Annahme, dass bei einer Basislinienschätzung mittels empirischer Sterbefallzahlen ein im Durchschnitt lediglich geringes Verzerrungspotenzial vorliegt. Der mit diesen Ereignissen potenziell einhergehenden Überschätzung der Exzessfälle wurde dadurch begegnet, dass die beobachteten Sterbefälle mit Hilfe eines statistischen Klassifikators (zweifache Standardabweichung oberhalb der Erwartungswertschätzung) in einen Bereich mit ‚erwartetem‘ und einen Bereich mit ‚unerwartetem‘ Sterbegeschehen dichotomisiert wurde. Dies erfolgte unter der Annahme, dass der Bereich des erwarteten Sterbegeschehens ausreichend groß angelegt ist, um den Einfluss der Streuung der täglichen Sterbefallzahlen auf die Exzessschätzung zu begrenzen.

Die Individualisierung eines Todesfalles ist aus methodischen sowie datenschutzrechtlichen Gründen weder umsetzbar noch zu legitimieren. Aus einer Public Health Perspektive kann die Unmöglichkeit, Exzesssterbefälle einem der Geschlechter oder einer spezifischen Altersgruppen zuzuordnen, jedoch als Limitation angesehen werden. Obschon die Möglichkeit durchaus gegeben ist, eine nach Geschlecht und Alterskategorien stratifizierte Auswertung durchzuführen, ist die Zuschreibung der Fälle zu diesen Kriterien für die Gesamtauswertung auf der Ebene des Bundeslandes oder der Regionalebene nicht möglich. So bleibt es unklar, ob ein detektiertes Exzesssterbefall an einem konkreten Exzesstag ein männlicher oder ein weiblicher Fall oder ein Fall etwa aus der Altersgruppe der unter 65 jährigen Personen war. Somit bleibt die aus Public Health Sicht wünschenswerte, stärker inhaltlich orientierte Auswertung auf eine Gesamtschau auf das Sterbegeschehen beschränkt. Darüber hinaus erscheinen

Auswertungen, die noch kleinere territoriale Einheiten adressieren, aufgrund der dann zu erwartenden sehr kleinen Fallzahlen aus einer statistischen Perspektive als wenig sinnvoll und mit Blick auf datenschutzrechtliche Aspekte klärungsbedürftig. Der erwartete Erkenntnisgewinn einer solchen Auswertung gegenüber einer weniger kleinräumigen Analyse erscheint vor dem Hintergrund der Public Health Orientierung der Zielsetzungen von HEAT II marginal. Durchaus von wissenschaftlicher Relevanz wäre allerdings die Evaluation von Anpassungsstrategien der Bevölkerungen in den beiden Regionen NORD und SÜD. Aufgrund der für die Regionalauswertung unterschiedlichen Temperaturschwellen liegt die Vermutung nahe, dass Bevölkerungen auf hohe Außentemperaturen mit unterschiedlichen Anpassungsstrategien reagieren. Diese Vermutung könnte unter Rückgriff auf einen qualitativen Forschungsansatz ggf. erhärtet werden, um dann im Rahmen einer bevölkerungsrepräsentativen Querschnitterhebung verlässliche Aussagen über Anpassungsstrategien treffen zu können. Dies würde darüber hinaus wertvolle Erkenntnisse zu den tatsächlich durchgeführten Schutzmaßnahmen wie etwa Verschattungspraktiken der Wohnung, Erhöhung der Trinkmenge oder Meidung körperlich belastender Aktivitäten im Freien generieren.

Wie oben skizziert, ist die zeitnahe Verfügbarkeit vollständiger und vollzähliger Sterbedaten von besonderer Relevanz für die Funktionalität eines Systems zur Surveillance hitzeassoziiertes Mortalität. Es wurde ausgeführt, dass diese Voraussetzung zum Zeitpunkt der Berichterstellung für das Land Hessen nicht gegeben ist. Die AuswerteprozEDUREN in HEAT II sind grundsätzlich so angelegt, dass tagesgenaue Daten verarbeitet und zeitnah Analysen des Sterbegeschehens erfolgen können. Unter der aktuell in Hessen gegebenen Datenverfügbarkeit sind mit den in HEAT II geschaffenen Grundlagen jedoch ausschließlich retrospektive Analysen historischer Daten möglich, die bei Datenlieferung im besten Falle bereits etwa sechs Monate alt sind, d.h. das Sterbegeschehen der Sommermonate des vergangenen Jahres abbilden. Neben aktueller Daten bedarf es einer institutionellen Anbindung des Surveillance-Systems an einen relevanten Akteur, bei dem sowohl die infrastrukturellen und EDV-technischen Bedingungen als auch die Verfügbarkeit epidemiologischer Expertise gegeben sind. Dies könnte in Hessen etwas das Hessische Landesprüfungs- und Untersuchungsamt im Gesundheitswesen (HLPUG) am Regierungspräsidium in Gießen in Dillenburg sein. Dort könnte an die bereits existierenden Ressourcen und Erfahrungen der Surveillance vor allem infektionsepidemiologisch relevanter Krankheitsgeschehen angeknüpft werden. Die EDV-technische Implementierung des Auswertungsalgorithmus ist weder mit hohen Anschaffungskosten verbunden (die open-source Umgebung von R kann verwendet werden, alternativ kann die Auswertung auch via Microsoft Excel erfolgen), noch wird der personelle Aufwand zur Systempflege als besonders hoch eingeschätzt. Zu Letzterem zählt insbesondere die Pflege der Datei, die die bereinigten Tagesdaten für die Erwartungswertschätzung enthält. Ein gewisser Aufwand wird vor

allem bei der Interpretation der Ergebnisse erwartet, die epidemiologischer und ggf. medizinischer Expertise bedarf. Eine solche Bewertung auf der Outputseite muss in Anlehnung an das international etablierte Vorgehen als unverzichtbar angesehen werden und sollte daher fester Bestandteil eines Surveillance-Systems sein. Nach Implementierung sollte das Surveillance-System regelmäßig einer Evaluation unterzogen werden mit dem Ziel, die Gültigkeit der diesem zugrunde liegenden Annahmen über demografische Trends und Zusammenhänge zwischen Temperatur und Mortalität zu prüfen und ggf. anzupassen.

Das Surveillance-System kann als Teil eines Hitzeaktionsplans vor allem eine Informationsfunktion haben, zu deren Ergebnissen im Rahmen geeigneter Strategien der Risikokommunikation eine Gesundheitsberichterstattung gegenüber den relevanten Gruppen erfolgen sollte. Zu diesen Adressaten zählt neben anderen die interessierte Öffentlichkeit, die über akute gesundheitliche Risiken in laienverständlicher Sprache zu informieren ist. Diese Informationen können mit Handlungsempfehlungen zur individuellen Risikoreduktion bei sehr hohen Außentemperaturen verknüpft sein. Darüber hinaus sind auch die an der Umsetzung von Strategien zum Gesundheitsschutz beteiligten Stakeholder zu adressieren. Hierzu zählen insbesondere der öffentliche Gesundheitsschutz, das Rettungswesen, die Einrichtungen der stationären Krankenversorgung und Pflege sowie sonstige öffentliche Einrichtungen, in denen Personen zeitgebunden versammelt sind (Schulen, Kindergärten, öffentliche Großveranstaltungen usw.).

## 9 Fazit

Die Surveillance hitzebedingter Mortalität ist international ein zunehmend etabliertes Instrument zur Gesundheitsfolgenabschätzung mit Bezug zu klimatischen Veränderungsprozessen. Als Teil umfassender Hitzeaktionspläne sind ihr i.d.R. übergeordnete Strategien und Maßnahmenbündel beigelegt, mit deren Hilfe die Bevölkerung nicht nur vor möglichen Gesundheitsgefährdungen durch hohe Außentemperaturen gewarnt, sondern zugleich auch aktiv geschützt werden soll. Diese einer Surveillance originär zugeschriebenen Funktionen stellen Anforderungen an die Datenverfügbarkeit, die institutionelle Anbindung und die organisatorisch-strukturelle Verfasstheit eines solchen Verfahrens. Bei einer insgesamt relativ aufwandsarmen Umsetzung für Unterhaltung und Pflege eines solchen Verfahrens wird erwartet, dass sein Nutzen deutlich überwiegt. Für Hessen wurde mit HEAT II ein Verfahrensvorschlag vorgelegt, der den Ausgleich sucht zwischen der Angemessenheit der eingesetzten statistischen Verfahren und der Verständlichkeit auch für die interessierte Laienöffentlichkeit. Dabei mussten notwendigerweise methodische Kompromisse gemacht und Setzungen vorgenommen werden. Letztere gründen in den Auswertungsergebnissen, in Plausibilitätsannahmen und in epidemiologischer, klimatologischer sowie medizinischer Expertise. Im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses muss das Verfahren seine Eignung durch Evaluation, der anschließenden Anpassung einzelner Parameter und erneuter Evaluation unter Beweis stellen. Hier gilt es zu prüfen, an welchen Stellen das Verfahren modifiziert werden sollte und ob sich die nach der Einführung etablierten Strukturen bewähren konnten. Hierfür müssen Indikatoren entwickelt werden, die wiederum aus einer hessischen Gesamtstrategie zur gesundheitsbezogenen Klimaanpassung abgeleitet werden können.

Eine kontinuierliche Dauerbeobachtung des hitzebedingten Sterbegeschehens in Hessen ohne einen mehrmonatigen Zeitverzug ist unter den gegebenen Bedingungen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts nicht umsetzbar. Im Sinne der Handlungsorientierung epidemiologischer Verlaufsbeobachtungen wäre es wünschenswert den Datenfluss dergestalt zu beschleunigen, dass Sterbeexzesse zeitnah erkannt werden können. Daher wird allen relevanten Akteuren empfohlen einen Nachdenkensprozess anzustoßen, an dessen Ende die Schaffung von Rahmenbedingungen erfolgt ist, die die operative Umsetzung eines solchen Verfahrens erlauben.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen zur Informationsgewinnung über existierende Monitoring/Surveillance-Verfahren .....	6
Abbildung 2: Datenflussstruktur in EURO-MOMO .....	12
Abbildung 3: Aggregierte Sterbefälle aus n=15 Ländern, nach Alter (Auszug), 08/2010 - 03/2015 .....	14
Abbildung 4: Z-Scores im Zeitverlauf, nach Land (Auszug) .....	15
Abbildung 5: Visualisierung der Ergebnisse in BE-MOMO, 2013 - 2017 .....	20
Abbildung 6: Datenflussstruktur der Surveillance in Belgien .....	21
Abbildung 7: Datenflussstruktur der Surveillance in Portugal .....	22
Abbildung 8: Datenflussstruktur der Surveillance in Frankreich .....	24
Abbildung 9: Datenflussstruktur der Surveillance in Italien .....	25
Abbildung 10: Kumulierte Sterbefälle nach Alterskategorien und Geschlecht, 2000 - 2012 .....	38
Abbildung 11: Zeitreihe der Sterbefälle in Hessen, 2000 - 2012, ohne Glättung .....	39
Abbildung 12: Zeitreihen der Sterbefälle in Hessen, nach Alter, 2000 - 2012 , mit Glättung .....	41
Abbildung 13: Tägliche Sterbefälle, nach Geschlecht, Sommerdaten, 2000 - 2012 .....	42
Abbildung 14: Vergleich der Anteile von Frauen und Männern an den beobachteten Sterbefällen, Sommermonate, 2000 - 2012 .....	42
Abbildung 15: Tägliche Sterbefälle in Hessen und Durchschnitt, 2000 - 2012, mit Glättung .....	44
Abbildung 16: Zeitreihe der beobachteten Sterbefälle, 2005 - 2012, mit Glättung .....	45
Abbildung 17: Basislinie der Jahre 2005 - 2012, mit Glättung .....	46
Abbildung 18: Basislinie der Jahre 2005 - 2012 (bereinigt), mit Glättung .....	46
Abbildung 19: Vergleich der beobachteten (grüne Kurve) und erwarteten (schwarze Kurve) Sterbefälle, 2005 - 2012 (bereinigt), mit Glättung .....	47
Abbildung 20: Differenzen zwischen erwarteten und beobachteten Fällen, 2005 - 2012 .....	47
Abbildung 21: Zeitreihe der Tagesmittel der Temperatur, 2000 - 2012 .....	48
Abbildung 22: Durchschnittliche, tägliche Tagesmitteltemperatur in Hessen im Jahresgang, 2000 - 2012	

.....	49
Abbildung 23: Zeitreihenvergleich der Temperatur und Sterbefälle, 2000 - 2012, mit Glättung.....	50
Abbildung 24: Tägliche Anzahl beobachteter Sterbefälle nach Tagesmitteltemperatur, 2000 - 2012.....	51
Abbildung 25: Absolute Anzahl an Sterbefällen nach Temperatur, Altersgruppe 15 bis unter 65 Jahre ..	52
Abbildung 26: Absolute Anzahl an Sterbefällen nach Temperatur, Altersgruppe 65 und älter .....	52
Abbildung 27: Durchschnittliche, tägliche Anzahl beobachteter Sterbefälle nach verschiedenen Temperaturparametern .....	54
Abbildung 28: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, 2000 – 2012 .....	56
Abbildung 29: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, August 2003.....	57
Abbildung 30: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, Juli 2006.....	57
Abbildung 31: Zeitbezug zwischen beobachteten täglichen Sterbefällen und Tagesmitteltemperatur, Juli 2010.....	58
Abbildung 32: Basislinie, Exzessschwelle und Exzesstage, 2005 - 2012, Sommermonate, rohe Schätzung .....	59
Abbildung 33: Basislinie, Exzessschwelle und Exzesstage, 2005 - 2012, Sommermonate, geglättete, unbereinigte Schätzung.....	60
Abbildung 34: Vergleich der Basislinien und Exzessschwellen, 2005 – 2012, mit und ohne Glättung .....	60
Abbildung 35: Überschreitungswahrscheinlichkeit nach Temperaturintervallen .....	63
Abbildung 36: Verteilung der Sterbefälle, Sommermonate, 2005 - 2012.....	66
Abbildung 37: Verteilung der Sterbefälle an Tagen mit und ohne Exzess und gesamt, Sommermonate, 2005 - 2012.....	67
Abbildung 38: Verteilung der durchschnittlichen Tagesmitteltemperaturen an Tagen mit und ohne Exzess und gesamt, 2005 - 2012 .....	68
Abbildung 39: Bereinigte Basislinie, beobachtete und Exzesssterbefälle, pro Tag und kumuliert, Sommermonate, 2005 - 2012 .....	69

Abbildung 40: Kumulierte Exzesssterbefälle pro Jahr, 2005 - 2012.....	69
Abbildung 41: Absolute Differenzen zwischen beobachteten Fällen und Basislinie, 2005 - 2012 .....	70
Abbildung 42: Odds Ratios für Exzesstage bei Überschreitung der Tagesmitteltemperatur von 23 °C, nach Alter, Geschlecht und gesamt, Sommermonate, 2005 - 2012 .....	72
Abbildung 43: Relative Odds Ratios, Vergleich zwischen den Altersklassen, nach Geschlecht, 2005 - 2012 .....	74
Abbildung 44: Relative Odds Ratios, Vergleich zwischen Männern (Referenz) und Frauen, nach Altersklassen, gesamt.....	74
Abbildung 45: Temperaturverteilungen der Sommertage mit und ohne Exzessereignissen, nach Kriterium .....	78
Abbildung 46: Tagesmitteltemperatur in Hessen sowie den Auswertungsregionen Hessen Nord und Süd, 2005 - 2012.....	82
Abbildung 47: Sterbefälle nach Temperatur, Regionen Nord und Süd, 2000 – 2012.....	83
Abbildung 48: Beobachtetes und erwartetes Sterbe geschehen sowie Anzahl der Exzesstage, Region Hessen Nord .....	84
Abbildung 49: Beobachtetes und erwartetes Sterbe geschehen sowie Anzahl der Exzesstage, Region Hessen Süd .....	85

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen für die Teilnahme an der EURO-MOMO Datenauswertung .....	10
Tabelle 2: Länder mit Monitoring-Systemen in Europa, EURO-MOMO Survey .....	17
Tabelle 3: Bevölkerungsanteil und Datenmanagement, EURO-MOMO Survey.....	18
Tabelle 4: Verwendete Mortalitäts- und Klimaparameter, EURO-MOMO Survey .....	19
Tabelle 5: Für die Schätzung der Basislinie verwendete Jahre und Testjahre .....	35
Tabelle 6: Lineare Korrelation zwischen Temperatur und Sterblichkeit, nach Alter .....	55
Tabelle 7: Formale Definition eines Sterbeexzesses in HEAT II.....	65
Tabelle 8: Assoziation zwischen Temperaturen und Sterbeexzessen, nach Alter und Geschlecht .....	75
Tabelle 9: Vergleich des alten und des modifizierten Exzesskriteriums, Hessen gesamt.....	76
Tabelle 10: Übersicht über die Verteilung der Sommertage mit und ohne Exzessereignisse nach Kriterium.....	77
Tabelle 11: Bei der Regionalisierung berücksichtigte Kreise, Einwohnerzahlen und Wetterstationen.....	81
Tabelle 12: Exzesstage und Exzesssterbefälle, Region Nord und Süd.....	84
Tabelle 13: Anforderungen an den Minimaldatensatz <i>Sterbedaten</i> .....	87

## Quellenverzeichnis

1. Conti, S., et al., *European monitoring of excess mortality for public health action, euroMOMO. Work Package 4 Report. Inventory of the Existing Mortality Monitoring Systems in Europe*. 2009, Istituto Superiore di Sanità: Rom.
2. Kanieff, M., et al., *The potential for a concerted system for the rapid monitoring of excess mortality throughout Europe*. *Euro Surveill*, 2010. **15**(43).
3. Institut de veille sanitaire. *Climate and Health*. 2011; unter: [http://www.invs.sante.fr/en/Invs\\_en/About-InVS/Programmes/Environment-and-health/Climate-and-Health](http://www.invs.sante.fr/en/Invs_en/About-InVS/Programmes/Environment-and-health/Climate-and-Health) (abgerufen am 18.05.2015).
4. Laaidi, K., et al., *The French Heat and Health Watch Warning System: principles, fundamentals and assessment*. 2013, Institut de veille sanitaire: Saint-Maurice.
5. Pascal, M., et al., *Methods to analyse the health impact of heat waves: real-time monitoring, ex-post facto assessment. Summary report*. 2011, French Institute for Public Health Surveillance: Saint-Maurice.
6. BE-MOMO. *Ohne Titel*. 2015; unter: [https://www.wiv-isp.be/epidemiology/be-momo/2\\_Tmax-Tmin.htm](https://www.wiv-isp.be/epidemiology/be-momo/2_Tmax-Tmin.htm) (abgerufen am 07.05.2015).
7. EURO-MOMO. *Pooled number of deaths*. 2015; unter: <http://www.euromomo.eu/outputs/number.html> (abgerufen am 07.05.2015).
8. BE-MOMO. *BE-MOMO. Belgian Mortality Monitoring*. 2015; unter: <https://www.wiv-isp.be/epidemiology/be-momo/index.htm> (abgerufen am 06.02.2015).
9. EURO-MOMO. *Individual z-scores. Weekly mortality as deviations from the baseline (Z-score) for the past 4½ years in the data-providing EuroMOMO partners, in four age groups*. 2015; unter: [http://www.euromomo.eu/outputs/zscore\\_country\\_total.html](http://www.euromomo.eu/outputs/zscore_country_total.html) (abgerufen am 07.05.2015).
10. Gergonne, B., et al., *European monitoring of excess mortality for public health action, euroMOMO. Work Package 7 Report. A European algorithm for a common monitoring of mortality across Europe*. o.J.: Kopenhagen.
11. Nogueira, P.J., et al., *The new automated daily mortality surveillance system in Portugal*. *Euro Surveill*, 2010. **15**(13).
12. Michelozzi, P., et al., *Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy*. *Int J Environ Res Public Health*, 2010. **7**(5): p. 2256-73.
13. Robine, J.M., et al., *Report on excess mortality in Europe during summer 2003. EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114*. 2007.
14. Espenhain L., M., K., Nielsen, J., Krause, G.R., Bang, H., *European monitoring of excess mortality for public health action. Final Report*. 2014, European Commission. p. 1-28.
15. Grewe, A., B. Blättner, and S. Heckenhahn, *Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung hitzebedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung (HEAT). Abschlussbericht*. 2012, Hochschule Fulda: Fulda.
16. World Health Organisation, *Heat Health Action Plans. Guidance*. 2008.
17. Mazick A and Participants of a workshop on mortality monitoring in Europe, *Monitoring excess mortality for public health action: potential for a future European network* *Euro Surveill.*, 2007. **12**(1).
18. EURO-MOMO. *History*. 2015; unter: [http://www.euromomo.eu/about\\_us/history.html](http://www.euromomo.eu/about_us/history.html) (abgerufen am 06.05.2015).
19. Nogueira, P.J., et al., *European monitoring of excess mortality for public health action, euroMOMO. Work Package 5 Report. Concept: Core attributes and requirements*. 2010: Lissabon.
20. Cox, B., et al., *Monitoring of all-cause mortality in Belgium (Be-MOMO): a new and automated system for the early detection and quantification of the mortality impact of public health events*.

- Int J Public Health, 2010. **55**(4): p. 251-9.
21. BE-MOMO. *Data*. 2015; unter: <https://www.wiv-isp.be/epidemio/be-momo/Data.htm> (abgerufen am 06.02.2015).
  22. BE-MOMO. *Statistical Methods*. 2015; unter: <https://www.wiv-isp.be/epidemio/be-momo/Data.htm> (abgerufen am 06.02.2015).
  23. BE-MOMO. *Belgian Mortality Monitoring*. 2017; unter: <https://epistat.wiv-isp.be/momo/> (abgerufen am 25.10.2017).
  24. Nogueira, P., *Examples of Heat Health Warning Systems: Lisbon's ÍCARO's Surveillance System, Summer of 2003*, in *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, W. Kirch, B. Menne, and R. Bertollinie, Editors. 2005, Springer: Heidelberg. p. 141-159.
  25. Laaidi, K., et al., *Système d'alerte canicule et santé 2006. Rapport opérationnel*. 2006, Institut de Veille Sanitaire. p. 1-46.
  26. Pascal, M., et al., *France's heat health watch warning system*. Int J Biometeorol, 2006. **50**(3): p. 144-53.
  27. Fouillet, A., et al., *The French Emergency Department OSCOUR Network: Evaluation After a 10-year Existence*. Online Journal of Public Health Informatics,, 2015. **7**(1).
  28. Grewe, H.A., B. Blättner, and S. Heckenhahn, *Hessischer Aktionsplan zur Vermeidung Hitze bedingter Gesundheitsbeeinträchtigungen der Bevölkerung (HEAT). Zwischenbericht*. 2011.
  29. Ministerio de Sanidad, S.S.e.I. *Monitorización de la mortalidad. Señales de alerta*. 2014; unter: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2013/mortalidad.htm> (abgerufen am 18.05.2015).
  30. van Asten, L., et al., *Mortality Monitoring in the Netherlands*. Online Journal of Public Health Informatics, 2014. **6**.
  31. Public Health England, *Heatwave Plan for England 2014. Protecting health and reducing harm from severe heat and heatwaves*. 2014, Public Health England: London.
  32. Llywodraeth Cymru Welsh Government, *Heathwave Plan for Wales: A Framework for Preparedness and Response*. 2012: Cardiff.
  33. Ministerio de Sanidad, S.S.e.I., *Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos des Exceso de Temperaturas sobre la Salud*. 2014.
  34. Green, H.K., et al., *Rapid estimation of excess mortality: nowcasting during the heatwave alert in England and Wales in June 2011*. J Epidemiol Community Health, 2012. **66**(10): p. 866-8.
  35. Zacharias, S., C. Koppe, and H. Mücke, *Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany*. Climate 2014. **2014**(2): p. 133-152.
  36. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. URL. 2014; unter: <http://www.R-project.org/>.
  37. Umweltbundesamt and K.K.u. Anpassung, *Monitoringbericht der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*. 2015.
  38. Gasparrini, A., et al., *The effect of high temperatures on cause-specific mortality in England and Wales*. Occup Environ Med, 2012. **69**(1): p. 56-61.
  39. Grize, L., et al., *Heat wave 2003 and mortality in Switzerland*. Swiss Med Wkly, 2005. **135**(13-14): p. 200-5.
  40. Leone, M., et al., *A time series study on the effects of heat on mortality and evaluation of heterogeneity into European and Eastern-Southern Mediterranean cities: results of EU CIRCE project*. Environ Health, 2013. **12**: p. 55.
  41. de' Donato, F.K., et al., *Changes in the Effect of Heat on Mortality in the Last 20 Years in Nine European Cities. Results from the PHASE Project*. Int J Environ Res Public Health, 2015. **12**(12): p. 15567-83.
  42. Hajat, S., R.S. Kovats, and K. Lachowycz, *Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: who is at risk?* Occup Environ Med, 2007. **64**(2): p. 93-100.

43. Stafoggia, M., et al., *Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis*. *Epidemiology*, 2006. **17**(3): p. 315-23.
44. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), *Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse*. 2014.
45. Uphoff, H., et al., *Zeitnahe Erfassung und Übermittlung von Todesfällen in Hessen. Eine erste Einschätzung zur Influenza-A/H1N1v-Pandemie*. *Bundesgesundheitsblatt*, 2011. **2011**(54): p. 867-874.
46. Umweltbundesamt, *Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie. Indikator-Factsheets zum Handlungsfeld Menschliche Gesundheit*. 2014.
47. Hajat, S., et al., *Mortality displacement of heat-related deaths. A comparison of Delhi, São Paulo and London*. *Epidemiology* 2005. **16** (5): p. 613-620.
48. Baccini, M., et al., *Heat effects on mortality in 15 European cities*. *Epidemiology* 2008(19): p. 711-719.
49. Strat, Y., *Overview of temporal Surveillance*, in *Spatial and Syndromic Surveillance for Public Health*, A. Lawsen and K. Kleinman, Editors. 2005, Wiley.



# ANHANG

## ANHANG A: Kriterien für Literaturselektion, Monitoring Verfahren

Einschluss
<p>Der Einschluss erfolgt für Literatur, die Verfahren der kontinuierlichen und zeitnahen Dauerbeobachtung im Sinne eines populationsbezogenen Monitorings oder einer populationsbezogenen Surveillance beschreibt, die das Ziel haben, mittels einer angebbaren Systematik</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• in einem Mitgliedsland der europäischen Union</li><li>• hitzeassoziierte Sterbefälle</li><li>• in der Gesamtbevölkerung oder in definierten Bevölkerungsgruppen</li><li>• regional oder überregional zu schätzen und dazu Angaben</li><li>• hinsichtlich des Datenflusses,</li><li>• der statistischen Auswertungsstrategien und/oder der Dissemination der erzielten Ergebnisse machen.</li></ul>
Ausschluss
<p>Ausgeschlossen wird Literatur, die</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• die Ergebnisse individueller Einzelstudien zur Schätzung hitzeassoziiierter Übersterblichkeit berichten, sofern diese nicht mittels eines Verfahrens der kontinuierlichen Dauerbeobachtung im Sinne eines populationsbezogenen Monitorings oder einer populationsbezogenen Surveillance zustande gekommen sind sowie Literatur, die</li><li>• keine inhaltliche Relevanz für das Projekt besitzt. Dazu zählt insbesondere Literatur zu tier-epidemiologischen Monitoring – oder Surveillance-Systemen</li></ul>

## ANHANG B: Suchverläufe

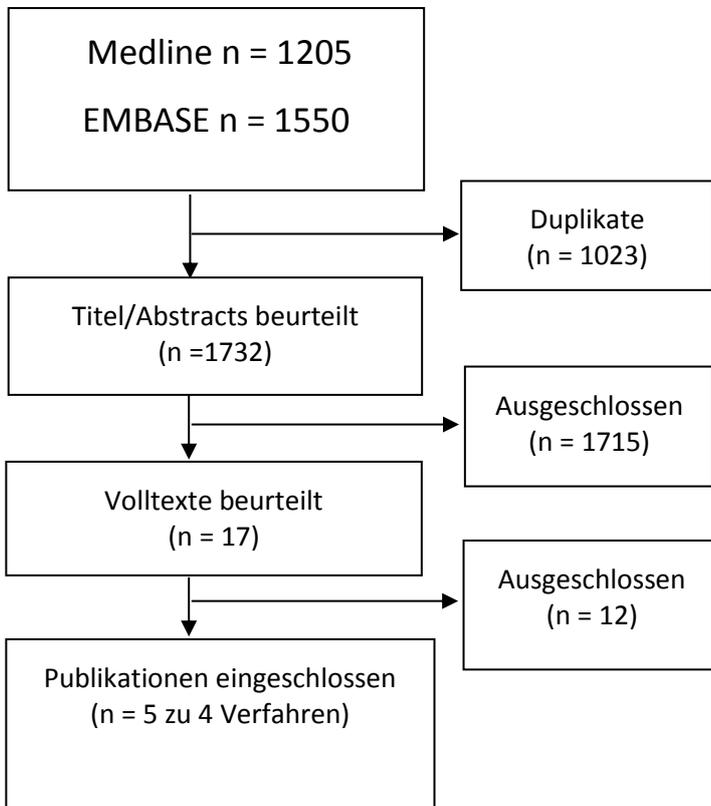
### MEDLINE (PubMed)

#17	#16, Filters: Humans	1205
#16	# 7 AND #10 AND #15	2174
#15	#13 OR #14	1107141
#14	mortality[tiab] OR death*[tiab]	949960
#13	"Mortality"[Mesh]	285948
#12	#10 OR #11	2464846
#11	monitor*[tiab] OR surveill*[tiab] OR assess*[tiab] OR alert*[tiab]	2438659
#10	#8 OR #9	55182
#9	"Population Surveillance"[Mesh]	51421
#8	"Epidemiological Monitoring"[Mesh]	4110
#7	#5 OR #6	340572
#6	heat[tiab] OR ((high[tiab] OR hot[tiab] OR elevat*[tiab] OR excessive*[tiab]) AND temperat*[tiab]))	276134
#5	#1 OR #2 OR #3 OR #4	110756
#4	"Climate change"[Mesh]	11162
#3	"Hot temperature"[Mesh]	96598
#2	"Heat Stress Disorders"[Mesh]	4030
#1	"Climate/adverse effects"[Mesh]	365

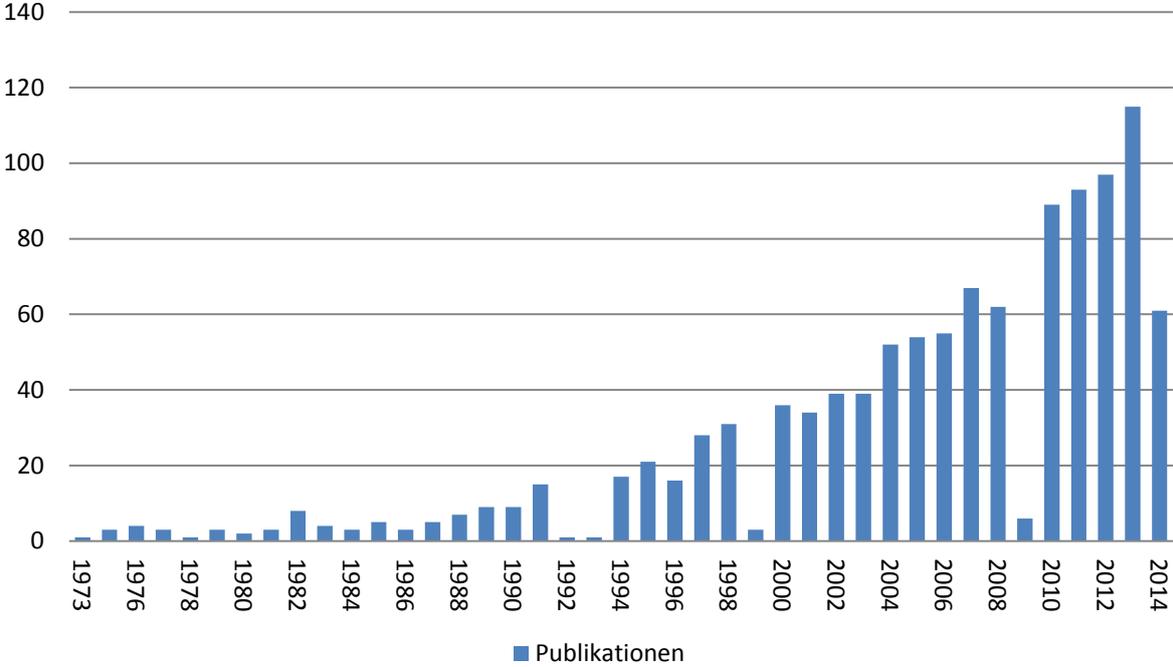
### EMBASE

#16	#15 AND [humans]/lim	1550
#15	#6 AND #11 AND #14	2595
#14	#12 OR #13	1191888
#13	mortality:ab,ti OR death*:ab,ti	1049653
#12	'mortality'/exp AND [embase]/lim	563839
#11	#9 OR #10	2722973
#10	monitor*:ab,ti OR surveill*:ab,ti OR assess*:ab,ti OR alert*:ab,ti AND [embase]/lim	2654536
#9	#7 OR #8	107481
#8	'health survey'/exp AND [embase]/lim	107229
#7	'epidemiological monitoring'/exp AND [embase]/lim	266
#6	#4 OR #5	256287
#5	heat:ab,ti OR (high:ab,ti OR hot:ab,ti OR elevat*:ab,ti OR excessive*:ab,ti AND temperat*:ab,ti) AND [embase]/lim	225460
#4	#1 OR #2 OR #3	50393
#3	'heat'/exp AND [embase]/lim	15965
#2	'heat injury'/exp AND [embase]/lim	4115
#1	'climate'/exp AND [embase]/lim	31099

## ANHANG C: Flussdiagramm zur Literaturselektion



**ANHANG D: Publikationshäufigkeit zu Hitze und Mortalität in Medline (PubMed), 1973 – 2014**



## ANHANG E: MOMO Status europäischer Länder und Kontaktinformationen (Stand 2015)

Land	MOMO Mitglied	Teilnahme an MOMO Monitoring	Kontaktperson(en)	Kontaktinformation
Belgien	ja	ja	Katrin Tersago	Katrien.tersago@wiv-isp.be
Bulgarien	ja	nein	Anna Kurchatova	akurchatova@ncipd.org
Dänemark	ja	ja	Kåre Mølbaek	krm@ssi.dk
Deutschland	ja	nein	Helmut Uphoff; Susanne Rexroth	Helmut.Uphoff@hlpug.hessen.de; RexrothU@rki.de
Estland	ja	nein	Gleb Denissov; Eha Nurk	gleb.denissov@tai.ee; eha.nurk@tai.ee
Finnland	ja	ja	Mikko Virtanen; Outi Lyytikäinen	mikko.virtanen@ktl.fi; Outi.lyytikainen@thl.fi
Frankreich	ja	ja	keine Ansprechperson bekannt	keine Kontaktinformation verfügbar
Griechenland	ja	ja	Theologia Sideroglou	sideroglou@keelpno.gr
Irland	ja	ja	Joan O'Donnell	joan.odonnell@hse.ie
Island	ja	nein	Guðrún Sigmundsdóttir	gudrun@landlaeknir.is
Italien	ja	nein	Susanna Conti	susanna.conti@iss.it
Kroatien	nein	nein	Marijan Erceg	epidemiologija@hzjz.hr
Lettland	ja	nein	Nicole Wernerkeiss	nicole.wernerkeiss@spkc.gov.lv
Litauen	nein	nein	Loreta Ašoklienė	loreta.asokliene@sam.lt
Luxemburg	nein	nein	Anna Chioti	anna.chioti@crp-sante.lu
Malta	nein	nein	Kathleen England	kathleen.england@gov.mt
Niederlande	ja	ja	Liselotte van Asten	liselotte.van.asten@rivm.nl
Norwegen	ja	nein	Ragnhild Tonnessen	Ragnhild.Tonnessen@fhi.no
Österreich	ja	nein	Daniela Schmid	daniela.schmid@ages.at
Polen	ja	nein	Małgorzata Sadkowska –Todys	mtodys@pzh.gov.pl
Portugal	ja	ja	Baltazar Nunes; Susana Pereira da Silva	balta.nunes@gmail.com; susana.pereira@insa.min-saude.pt

Rumänien	ja	nein	Odette Popovici	keine Kontaktinformation verfügbar
Schweden	ja	ja	Nasser Nuru-Mahmud	info@folkhalsomyndigheten.se
Schweiz	ja	ja	Christoph Junker	christoph.junker@bfs.admin.ch
Slowenien	ja	nein	Jožica Šelb	jozica.selb@ivz-rs.si
Slowakei	ja	nein	Frantiska Hrubá	frantiska.hrubá@vzbb.sk
Spanien	ja	ja	Inmaculada León Gómez	ileon@isciii.es
Tschechische Rep.	ja	nein	Jan Kyncl	jkyncl@szu.cz
Ungarn	ja	ja	Anna Paldy	paldy.anna@oki.antsz.hu
England	ja	ja	Helen Green	Helen.Green@phe.gov.uk
Schottland	ja	ja	Helen Green	Helen.Green@phe.gov.uk
Wales	ja	ja	Helen Green	Helen.Green@phe.gov.uk
Nord-Irland	ja	ja	Helen Green	Helen.Green@phe.gov.uk
Zypern	nein	nein	Pavlos Pavlou	ppavlou@moh.gov.cy
Summe	29	16		

## ANHANG F: Sterbefälle bei Männern nach Alter und Jahr, 2000 – 2012

Jahr		Alterskategorien, von ... bis unter ...																		Σ														
		<1	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85		85-90	≥90												
<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>Σ</b>	<b>986</b>	<b>257</b>	<b>178</b>	<b>208</b>	<b>816</b>	<b>1288</b>	<b>1388</b>	<b>1827</b>	<b>3053</b>	<b>5458</b>	<b>8600</b>	<b>12690</b>	<b>17785</b>	<b>26816</b>	<b>37375</b>	<b>49111</b>	<b>55949</b>	<b>56689</b>	<b>42163</b>	<b>28277</b>	<b>350914</b>

## ANHANG G: Sterbefälle bei Frauen nach Alter und Jahr, 2000 – 2012

Jahr		Alterskategorien, von ... bis unter ...																		Σ	
		<1	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85		85-90
2000	75	15	15	14	36	47	47	106	167	242	385	509	839	1186	1518	2665	4815	4469	7370	6460	30980
2001	61	18	13	14	36	43	48	76	174	243	374	580	709	1279	1514	2513	4399	4924	6744	6828	30590
2002	66	31	5	9	35	39	52	77	146	277	394	524	712	1225	1581	2442	4430	5594	6069	7405	31113
2003	67	16	12	12	27	38	40	79	151	237	359	567	702	1160	1554	2370	4206	6486	5526	7694	31303
2004	70	26	11	12	33	39	43	80	154	246	382	538	694	1061	1688	2192	3896	6580	4624	7419	29788
2005	62	17	9	13	28	31	35	71	115	230	370	524	679	1036	1673	2206	3820	6554	4928	7484	29885
2006	55	13	11	16	27	32	40	52	123	221	349	529	762	940	1551	2137	3599	6190	5678	7216	29541
2007	69	13	10	8	20	27	31	57	114	215	375	508	789	896	1696	2179	3480	5991	6444	6851	29773
2008	63	17	8	6	26	19	39	30	102	191	345	533	724	957	1687	2340	3351	5933	7354	6603	30328
2009	58	28	14	11	23	38	38	55	129	230	380	520	770	935	1496	2402	3208	5719	7757	6147	29958
2010	60	15	18	10	23	35	34	67	99	186	344	560	740	1003	1542	2449	3331	5496	7715	6663	30390
2011	68	11	11	9	17	38	43	55	103	181	422	599	765	1114	1420	2484	3266	5239	7312	7193	30350
2012	46	14	9	12	27	32	35	60	88	183	385	559	782	1085	1394	2518	3465	5443	7328	7685	31150
Σ	820	234	146	146	358	458	525	865	1665	2882	4864	7050	9667	13877	20314	30897	49266	74618	84849	91648	395149

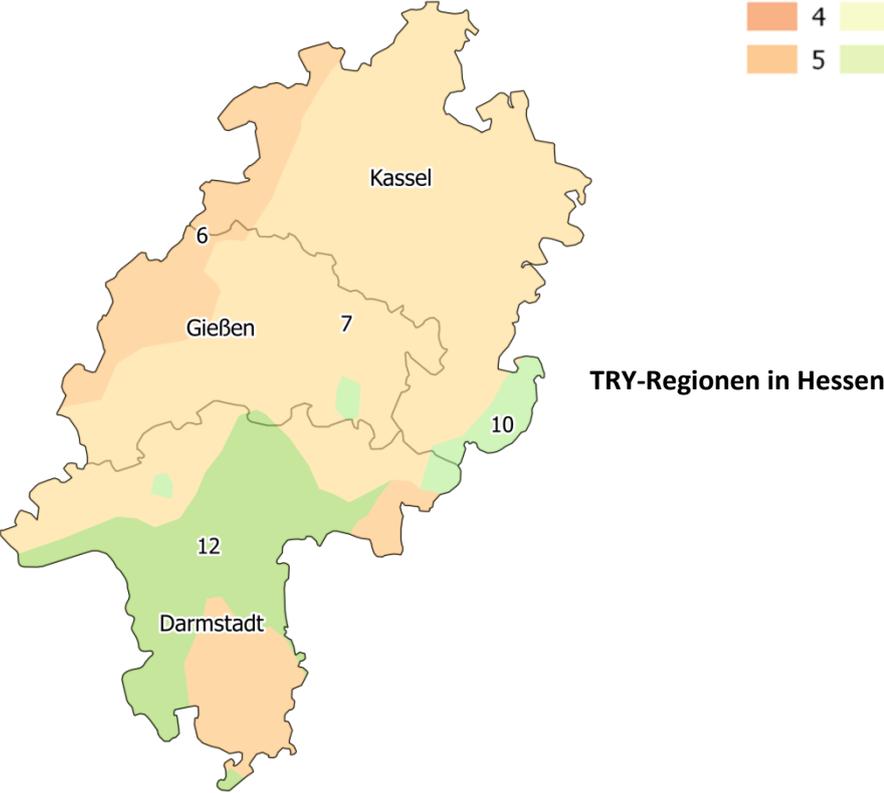
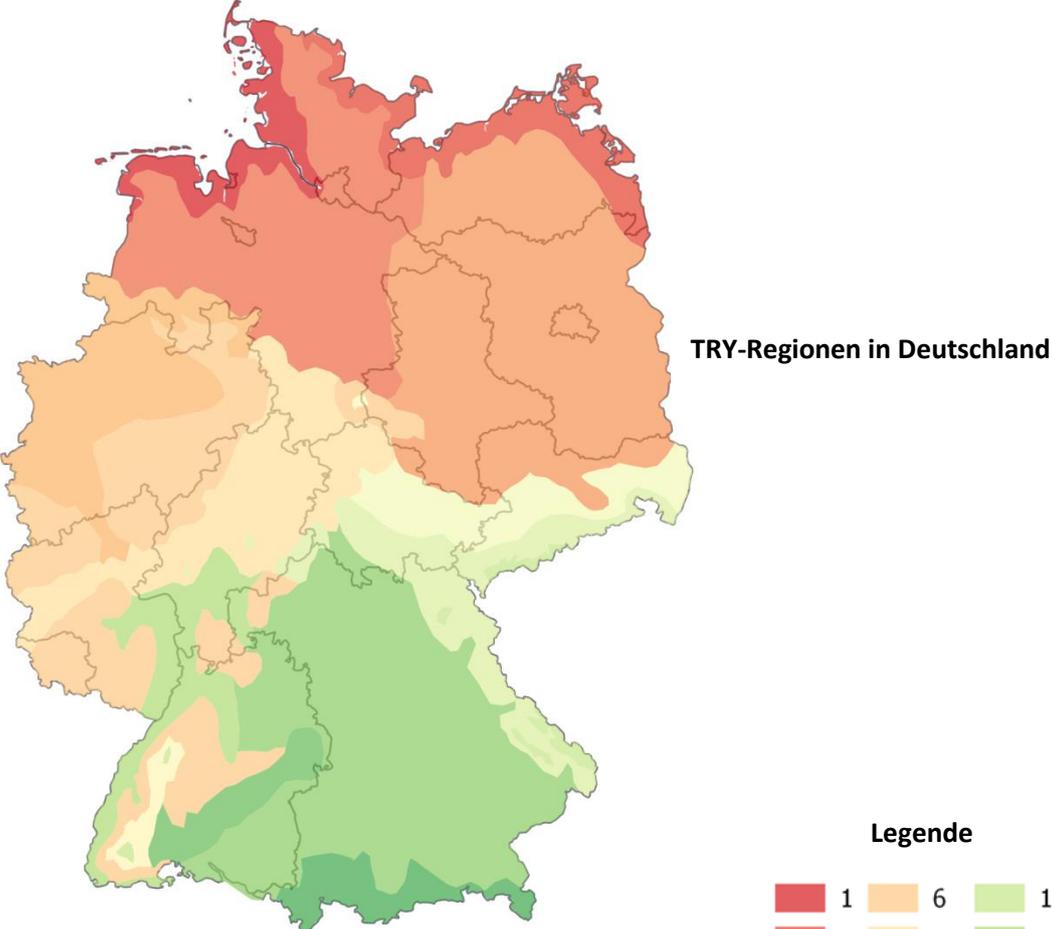
## ANHANG H: Sterbefälle nach Geschlecht und Alter, 2000 – 2012

Geschlecht	Alterskategorien, von ... bis unter ...				
	0-5	5 - 15	15-65	≥65	Summe
<b>Männer</b>	1243	386	79721	269564	<b>350914</b>
<b>Frauen</b>	1054	292	42211	351592	<b>395149</b>
<b>Σ</b>	<b>2297</b>	<b>678</b>	<b>121932</b>	<b>621156</b>	<b>746063</b>

## ANHANG I: Sterbefälle nach Jahr und Monat, beide Geschlechter

Jahr	Monat												Σ
	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	
<b>2000</b>	5859	5313	5012	4773	4564	4462	4469	4439	4373	4661	4759	5098	<b>57782</b>
<b>2001</b>	5165	4349	5053	4665	4877	4465	4691	4637	4515	4704	4818	5061	<b>57000</b>
<b>2002</b>	5327	4503	5278	4865	4739	4662	4498	4593	4507	4860	4750	5381	<b>57963</b>
<b>2003</b>	5421	4948	5704	4750	4747	4588	4523	5495	4420	4734	4674	5049	<b>59053</b>
<b>2004</b>	5148	4708	5172	4728	4471	4419	4454	4418	4430	4691	4608	5011	<b>56258</b>
<b>2005</b>	5015	4976	5657	4582	4593	4372	4378	4278	4163	4546	4624	5016	<b>56200</b>
<b>2006</b>	5036	4505	5031	4574	4588	4493	4715	4376	4392	4511	4433	4840	<b>55494</b>
<b>2007</b>	4941	4735	5282	4677	4660	4457	4569	4316	4378	4699	4844	5108	<b>56666</b>
<b>2008</b>	5367	4963	5206	4794	4769	4347	4397	4617	4396	4808	4649	5221	<b>57534</b>
<b>2009</b>	5795	5163	5162	4654	4324	4308	4419	4272	4211	4636	4711	5138	<b>56793</b>
<b>2010</b>	5183	4925	5306	4681	4719	4498	4930	4573	4550	4880	4692	4855	<b>57792</b>
<b>2011</b>	5277	4769	5253	4840	4713	4498	4518	4762	4452	5021	4862	5024	<b>57989</b>
<b>2012</b>	5333	5307	5346	4990	4858	4527	4678	4795	4465	5069	4918	5253	<b>59539</b>
<b>Σ</b>	<b>68867</b>	<b>63164</b>	<b>68462</b>	<b>61573</b>	<b>60622</b>	<b>58096</b>	<b>59239</b>	<b>59571</b>	<b>57252</b>	<b>61820</b>	<b>61342</b>	<b>66055</b>	<b>746063</b>

**ANHANG J: TRY-Regionen in Deutschland und Hessen**



**ANHANG K: Detektierte Exzesstage und -fälle, Auswertung REGION NORD,  
basierend auf Bereinigung mit 22 °C**

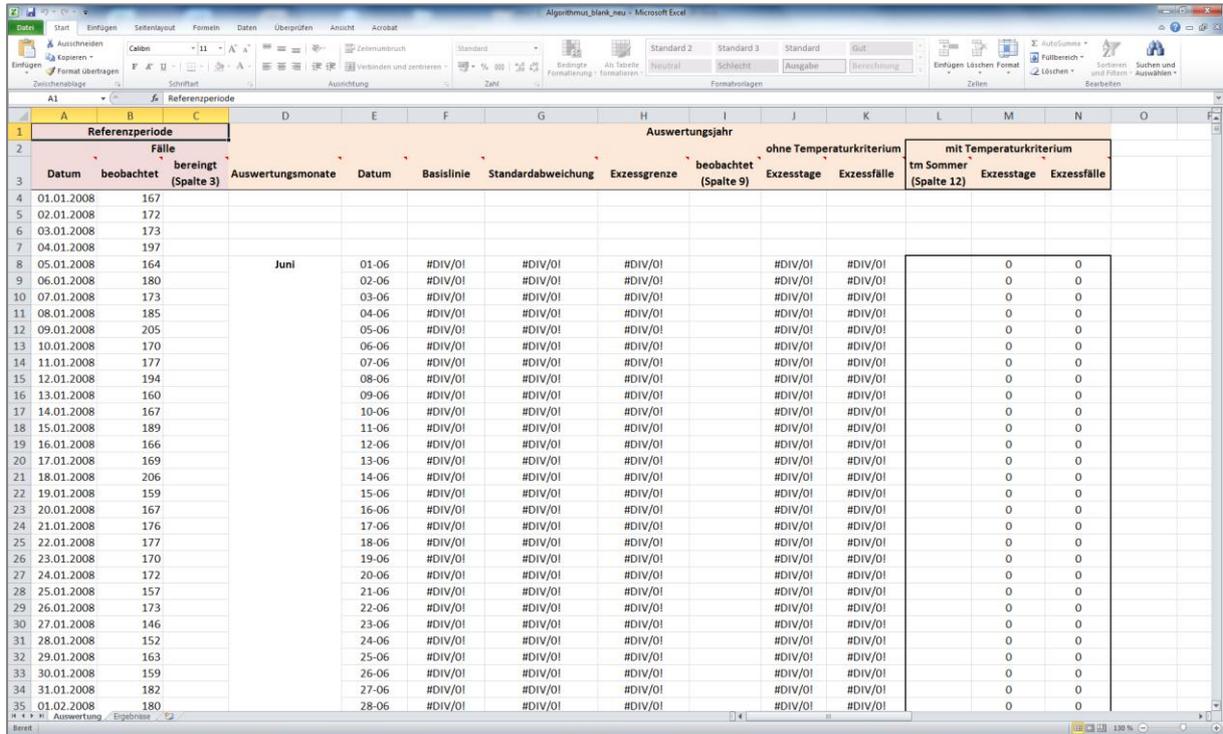
<b>Temperatur- schwelle</b>	<b>Tage über Temperatur- schwelle</b>	<b>Anzahl Tage mit Exzess</b>	<b>Anteil Exzesstage an Tagen über der Temperaturschwelle</b>	<b>Exzessfälle</b>	<b>Fallzahl pro Exzesstag</b>
<b>23</b>	28	3	0,11	13	4,33
<b>22</b>	42	10	0,24	44	4,4
<b>21</b>	69	12	0,17	48	4
<b>20</b>	105	15	0,14	58	3,87
<b>19</b>	152	19	0,13	76	4
<b>18</b>	152	21	0,14	86	4,1
<b>17</b>	265	23	0,09	93	4,04
<b>16</b>	340	28	0,08	127	4,54
<b>15</b>	426	30	0,07	129	4,3
<b>14</b>	501	33	0,07	138	4,18
<b>13</b>	565	35	0,06	140	4

**ANHANG L: Detektierte Exzesstage und -fälle, REGION SÜD, basierend auf  
Bereinigung mit 23,5 °C**

<b>Temperatur- schwelle</b>	<b>Tage über Temperatur- schwelle</b>	<b>Anzahl Tage mit Exzess</b>	<b>Anteil Exzesstage an Tagen über der Temperaturschwelle</b>	<b>Exzessfälle</b>	<b>Fallzahl pro Exzesstag</b>
<b>23,5</b>	69	15	0,22	67	4,47
<b>23</b>	97	22	0,23	102	4,64
<b>22</b>	142	28	0,2	133	4,75
<b>21</b>	201	38	0,19	175	4,61
<b>20</b>	276	49	0,18	212	4,33
<b>19</b>	361	52	0,14	217	4,17
<b>18</b>	361	57	0,16	233	4,09
<b>17</b>	536	63	0,12	264	4,19
<b>16</b>	590	67	0,11	276	4,12
<b>15</b>	659	72	0,11	289	4,01
<b>14</b>	696	73	0,1	293	4,01
<b>13</b>	718	73	0,1	293	4,01

# Anhang M: Screen-Shots der Auswertungsdatei in Microsoft Excel

Eingabemaske, ohne die erforderlichen Datenreihen (Spalten 3, 9 und 12)



Auswertungsmaske, nach Eingabe der erforderlichen Daten in die Eingabemaske (simulierte Daten)

