



Entwicklung eines Indikators für das Monitoring hitzebedingter Todesfälle: Beschreibung der Methode und hitzebedingte Todesfälle 2005-2021

Synthesebericht
Dezember 2022

Impressum

Autorenschaft

Martina S. Ragetti (Swiss TPH), Florian Schulte (Swiss TPH), Martin Rösli (Swiss TPH)

Auftraggeber

Roland Hohmann (BAFU), Esther Walter (BAG), in Zusammenarbeit mit BABS, BFS und MeteoSchweiz

Kontakte

Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut Swiss TPH
Kreuzstrasse 2
CH-4123 Allschwil
www.swisstph.ch

Martina S. Ragetti

E-Mail: martina.ragetti@swisstph.ch

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Klima
Sektion Klimaberichterstattung und -anpassung
CH-3003 Bern
www.bafu.admin.ch

Roland Hohmann

E-Mail: roland.hohmann@bafu.admin.ch

Bundesamt für Gesundheit BAG
Sektion Nationale Gesundheitspolitik
Schwarzenburgstrasse 157
CH-3003 Bern
www.bag.admin.ch

Esther Walter

E-Mail: esther.walter@bag.admin.ch

Titelbild

Sonja Birkelbach - stock.adobe.com

Zitiervorschlag

Ragetti MS, Florian S, Rösli M: Entwicklung eines Indikators für das Monitoring hitzebedingter Todesfälle: Beschreibung der Methode und hitzebedingte Todesfälle 2005-2021. Synthesebericht Dezember 2022. Im Auftrag des BAFU und BAG.



28. Dezember 2022

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	4
1. ÜBERWACHUNG DER HITZEBEDINGTEN TODESFÄLLE IN DER SCHWEIZ	5
1.1 Ausgangslage.....	5
1.2 Bisherige Abschätzungen der hitzebedingten Sterblichkeit.....	5
2. BESCHREIBUNG DER METHODE	6
2.1 Definition Hitzeereignis.....	6
2.2 Schätzung der hitzebedingten Todesfälle (Vorgehen)	7
2.2.1 Datengrundlage: Sterbe- und Temperaturdaten	7
2.2.2 Modellierung der Expositions-Wirkungskurve	7
2.2.3 Analysen nach Grossregion, Alter und Geschlecht.....	7
3. HITZEBEDINGTE TODESFÄLLE 2005-2021	8
4. VERGLEICH ZU BISHERIGEN ANALYSEN	14
LITERATUR	15
APPENDIX	17
A1. Temperaturdaten	17
A2. Modellierung Expositions-Wirkungsbeziehung.....	17
A3. Schätzung der hitzebedingten Todesfälle	17
A4. Hitzebedingte Todesfälle 2005-2021.....	19

ZUSAMMENFASSUNG

Hohe Temperaturen und Hitzewellen stellen ein Risiko für die menschliche Gesundheit dar. Der Bund möchte daher die Auswirkungen der zunehmenden Hitzebelastung auf die Sterblichkeit in der Schweiz langfristig überwachen. Bisher wurden im Rahmen von Ereignisanalysen die Übersterblichkeit während besonders warmen Sommern (2015, 2018, 2019) untersucht. Ausserdem überwacht das laufende Mortalitätsmonitoring des Bundesamts für Statistik (BFS) das Sterbe geschehen in der Schweiz in quasi Echtzeit. Jede Woche werden die aufgetretenen Todesfälle mit der Anzahl erwarteten Todesfälle verglichen. Solche Abschätzungen der Übersterblichkeit sind bestens geeignet für Auswertungen von Extremereignissen wie besonders markante Hitzewellen oder COVID-19-Wellen. Schwierig wird eine Ursachenzuweisung mit dieser Methode, wenn mehrere ausserordentliche Ereignisse gleichzeitig einen Einfluss auf die Sterblichkeit während des Sommers ausüben. In diesem Fall können die zusätzlichen Todesfälle nur bedingt der Hitze zugeschrieben werden. Ausserdem werden die Auswirkungen von wenig ausgeprägten Hitzewellen oder normalem Sommerwetter in Untersuchungen zur Übersterblichkeit nicht abgebildet, wenn die Sterblichkeit nur geringfügig erhöht ist und damit im statisch erwarteten Streuungsbereich liegt. Ab dem Jahr 2023 werden daher die hitzebedingten Todesfälle jedes Jahr mittels attributabler Fallberechnung geschätzt. Attributable oder zuschreibbare Todesfälle sind Todesfälle, die statistisch auf die Hitzebelastung zurückgeführt werden können. Zur Berechnung der hitzebedingten Sterblichkeit mit dieser Methode werden Angaben zur gemessenen Temperatur sowie eine Expositions-Wirkungsbeziehung zum Zusammenhang zwischen Temperatur und Sterblichkeit mit der beobachteten Sterblichkeit verknüpft. Die mit diesem Verfahren geschätzte Anzahl hitzebedingte Todesfälle sowie deren Anteil an der Gesamtsterblichkeit in der warmen Jahreszeit (Mai bis September) werden in **Tabelle 1** für die Jahre 2005 bis 2021 präsentiert. Zur Beurteilung der Auswirkungen von unterschiedlich hohen Temperaturen sind die hitzebedingten Todesfälle zusätzlich für drei Temperaturbereiche (moderat, heiss und sehr heiss) ausgewiesen.

Tabelle 1: Hitzebedingte Todesfälle in der Schweiz während der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021. Die Anzahl hitzebedingten Todesfälle werden für drei Temperaturbereiche ausgewiesen (moderat: Tagesmitteltemperaturen ab optimaler Temperatur und kleiner 25°C; heiss: ab 25°C und kleiner 27°C; sehr heiss: ab 27°C).

Jahr	Anzahl hitzebedingte Todesfälle (Mai bis September)	Anteil an Gesamtsterblichkeit in % (Mai bis September)	Anzahl hitzebedingte Todesfälle nach Temperaturbereich (Tagesmitteltemperatur)		
			Moderat (<25°C)*	Heiss (25 bis <27°C)	Sehr heiss (≥27°C)
2005	421	1.8	302	110	9
2006	565	2.4	374	164	27
2007	213	0.9	182	31	0
2008	242	1.0	213	29	0
2009	337	1.4	310	21	7
2010	391	1.6	307	83	2
2011	290	1.2	229	54	6
2012	321	1.3	255	61	6
2013	332	1.3	234	81	18
2014	165	0.7	144	21	0
2015	747	2.9	326	186	235
2016	291	1.2	247	44	0
2017	399	1.6	215	140	43
2018	391	1.5	231	139	20
2019	336	1.3	118	123	94
2020	214	0.8	123	65	26
2021	87	0.3	71	16	0

*oberhalb jahresspezifischer Optimaltemperatur

Im untersuchten Zeitraum waren die geschätzten hitzebedingten Todesfälle im Jahre 2015 am höchsten (747 Fälle) und im Jahr 2021 am tiefsten (87 Fälle). Das neue Monitoring der hitzebedingten Todesfälle mittels attributabler Fallberechnung wird als wertvolle Ergänzung zum bereits bestehenden Mortalitätsmonitoring des BFS gewertet. Im sehr heissen Sommer 2015 ergibt diese Methode ähnliche Zahlen wie bisherige Abschätzungen zur Übersterblichkeit. Auch für weniger heisse Sommer liefert die Methode der attributablen Fallberechnung Zahlen, welche konsistent mit dem beobachteten Temperaturverlauf sind. Im Gegensatz zur Methode der Übersterblichkeit berücksichtigt die Schätzung der attributablen Fälle auch den Einfluss von moderat warmen Tagen und wenig ausgeprägten Hitzeperioden.

1. ÜBERWACHUNG DER HITZEBEDINGTEN TODESFÄLLE IN DER SCHWEIZ

1.1 Ausgangslage

Die zunehmende Hitzebelastung stellt ein Risiko für die menschliche Gesundheit dar. Der Bund möchte die Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in der Schweiz langfristig überwachen. Unter anderem hat er sich durch die Ratifizierung des Sendai Rahmenwerks zur Minderung von Katastrophenrisiken der Vereinten Nationen dazu verpflichtet. Zudem soll im Rahmen der Agenda 2030, der Strategie nachhaltigen Entwicklung Schweiz SNE 2030 und MONET für das Target 13.1 der bestehende Indikator «Tote durch Naturereignisse» um einen neuen Indikator «Hitzetote» ergänzt werden. Das Schweizerische Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH) hat für den Bund im Rahmen eines Forschungsprojekts 2021/2 die Entscheidungsgrundlage für eine geeignete Methode zur Schätzung von hitzebedingten Todesfällen als Grundlage für ein jährliches Monitoring erarbeitet [1]. Die Forschungsarbeit wurde gemeinsam vom Bundesamt für Gesundheit (BAG), dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), dem Bundesamt für Statistik (BFS) sowie vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) beauftragt und begleitet. In diesem Bericht wird die ausgewählte Methode vorgestellt sowie die Resultate für die retrospektiven Berechnungen für die Jahre 2005 bis 2021 beschrieben und diskutiert. Die Methode soll ab 2023 für ein langjähriges und systematisches Monitoring der hitzebedingten Todesfälle in der Schweiz eingesetzt werden.

1.2 Bisherige Abschätzungen der hitzebedingten Sterblichkeit

Hitzebedingte Todesfälle werden – wie viele andere unspezifisch wirkende Todesursachen (z. B. Umweltschadstoffe) – meist nicht als solche in der Todesursachenstatistik erfasst. Die meisten Todesfälle aufgrund hoher Temperaturen sind auf eine Verschlimmerung von bestehenden Erkrankungen wie Herz-Kreislauf-, Atemwegs-, Nieren- oder psychische Erkrankungen zurück zu führen [2]. Es braucht daher statistische Modelle, um den Einfluss von Hitze auf die Sterblichkeit abzuschätzen. Zurzeit gibt es keinen „Goldstandard“ zur Ermittlung der hitzebedingten Todesfälle. Es gibt jedoch grundsätzlich zwei Arten von Abschätzungsmethoden:

Übersterblichkeit: Berechnet wird die Abweichung der beobachteten Todesfälle während einer bestimmten Zeitperiode (z.B. Sommermonate) von einem Wert, der die erwartete Sterblichkeit ohne Hitzeeinfluss darstellt. Die erwartete Sterblichkeit wird anhand Sterbedaten der vorhergehenden Jahre geschätzt. Die zusätzlichen Todesfälle entsprechen der Differenz zwischen erwarteten und beobachteten Todesfällen.

Das laufende [Mortalitätsmonitoring](#) des BFS verwendet diese Methode zur Überwachung der Übersterblichkeit [3]. Jede Woche werden die aufgetretenen Todesfälle mit der Anzahl für die

Jahreszeit erwarteten Todesfälle verglichen. Ein Vorteil dieses Mortalitätsmonitorings ist, dass es quasi in Echtzeit erfolgt. Die Daten zur Übersterblichkeit werden vom BFS jeweils etwa zwei Wochen nach dem Ereignis publiziert und fanden so während der Covid-19 Pandemie grosse Beachtung. In der Vergangenheit konnte dieses Monitoring auch Perioden mit aussergewöhnlich vielen Todesfällen in Folge von markanten Hitzewellen aufzeigen. Zusätzlich zum Monitoring des BFS wurde jeweils für besonders warme Sommer (2003, 2015, 2018 und 2019) die hitzebedingte Übersterblichkeit in separaten Analysen nach Region, Alter und Geschlecht quantifiziert. In der Publikation von Ragetti and Rössli [4], im Auftrag des BAG, sind die Ergebnisse der vier analysierten Sommer zusammengefasst dargestellt.

Attributable Fallberechnung: Attributable oder zuschreibbare Todesfälle sind Todesfälle, die statistisch auf einen bestimmten Risikofaktor, zum Beispiel die Aussentemperatur, zurückgeführt werden können. Grundlage für die Berechnung der hitzebedingten Sterblichkeit mit dieser Methode sind Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Zusammenhang zwischen Temperatur und Sterblichkeit. Eine Expositions-Wirkungsfunktion beschreibt den typischerweise nicht-linearen Zusammenhang zwischen Temperatur und der Sterblichkeit und wird im Rahmen von epidemiologischen Studien ermittelt. Mithilfe dieser Kurve zum temperaturbedingten Sterberisiko sowie Angaben zur beobachteten Sterblichkeit und Temperatur lässt sich für jeden Tag berechnen, wie viele der beobachteten Todesfälle auf die Hitze zurückzuführen sind [5, 6]. Die Gesamtzahl der attributablen Todesfälle, die durch nicht-optimale Temperaturen verursacht wurden, ergibt sich aus der Summe der Beiträge aller Tage während eines Sommers. Ihr Verhältnis zur Gesamtzahl der Todesfälle ergibt den gesamten zurechenbaren Anteil (attributablen Anteil).

Attributable Fallberechnungen werden national und international eingesetzt, um die Krankheitslast von umweltbedingten Risikofaktoren (z. B. Lärm, Luft) zu quantifizieren. Eine bekannte Anwendung ist das «Global Burden of Disease» Projekt (<https://www.healthdata.org/gbd>) oder der «Lancet Countdown» [7]. Letzterer ist ein internationales Kollaborationsprojekt, das die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels untersucht. Seit 2020 analysiert der Lancet Countdown jedes Jahr die der Hitze zuschreibbaren Todesfälle bei Menschen über 65 Jahre. Für das Jahr 2021 wurde geschätzt, dass in Europa in dieser Altersgruppe rund 103'500 hitzebedingte Todesfälle aufgetreten sind.

2. BESCHREIBUNG DER METHODE

Für das Schweizweite Monitoring der hitzebedingten Todesfälle wurde nach Prüfung von verschiedenen Ansätzen [1] in Absprache mit den beteiligten Bundesämtern die Methode der attributablen Fallberechnung gewählt. Mit diesem Verfahren wird ab 2023 nach jedem Sommer die Anzahl hitzebedingter Todesfälle in der Gesamtbevölkerung, nach Grossregion, Altersklasse (<75 Jahre und ≥75 Jahre) und Geschlecht geschätzt.

2.1 Definition Hitzeereignis

Die hitzebedingten Todesfälle werden für alle Tage während der warmen Jahreszeit (1. Mai bis 30. September) mit einer Tagesmitteltemperatur oberhalb der optimalen Temperatur ermittelt. Die optimale Temperatur entspricht idealen Temperaturbedingungen, bei der der temperaturbedingte Einfluss auf die Sterblichkeit minimal ist. Dieser Temperaturwert wird jedes Jahr im Rahmen der Analyse der hitzebedingten Sterblichkeit für den vergangen 10-Jahres-Zeitraum ermittelt. Die Tagesmitteltemperaturen wurden als Temperaturindikator ausgewählt, da dieser Indikator sowohl die heissen Tageswerte als auch die Nachttemperaturen berücksichtigt. Das aktuelle Hitzewarnsystem von MeteoSchweiz basiert ebenfalls auf Tagesmitteltemperaturen [8].

Zur Beurteilung der Auswirkungen von unterschiedlich hohen Temperaturen werden die hitzebedingten Todesfälle zusätzlich für drei Temperaturbereiche ausgewiesen. Als **moderate Temperaturen gelten** Tagesmitteltemperaturen oberhalb der optimalen Temperatur bis <25°C. Als **heisse Temperaturen** werden gemäss der Temperaturschwelle für Hitzewarnungen der Gefahrenstufe 3 von MeteoSchweiz Tagesmitteltemperaturen ab 25°C und kleiner 27°C bezeichnet. Als **sehr heisse** Temperaturen gelten Tagesmitteltemperaturen ab 27°C; diese gehören zur Gefahrenstufe 4 von MeteoSchweiz.

2.2 Schätzung der hitzebedingten Todesfälle (Vorgehen)

2.2.1 Datengrundlage: Sterbe- und Temperaturdaten

Für das Monitoring der hitzebedingten Sterblichkeit werden Sterbedaten der ständigen Wohnbevölkerung aus der Todesursachenstatistik des BFS ausgewertet. Es handelt sich um die tägliche Anzahl Todesfälle aller Ursachen der ständigen Wohnbevölkerung pro Grossregion [9] (zwischen Mai und September), aufgeschlüsselt nach Altersklasse und Geschlecht.. Todesfälle, die sich ausserhalb der Schweiz ereignet haben, werden ausgeschlossen.

Um mögliche regionale Unterschiede des Zusammenhangs zwischen Temperatur und Sterblichkeit zu berücksichtigen, wird den täglichen Todesfällen innerhalb jeder der sieben Grossregionen eine regionsspezifische Temperaturexposition zugewiesen. Die meteorologischen Daten werden jeweils von einer Messstation pro Grossregion (siehe **Tabelle A1** im Appendix) von MeteoSchweiz bezogen [10]. Die Messstationen wurden so ausgewählt, dass sie für die Mehrheit der Bevölkerung innerhalb einer Grossregion die Temperaturbelastung repräsentativ abbildet.

2.2.2 Modellierung der Expositions-Wirkungskurve

Für die Abschätzung der hitzebedingten Sterblichkeit eines bestimmten Jahres wird als erstes eine **Expositions-Wirkungsfunktion** zwischen Tagesmitteltemperaturen und dem Auftreten von Todesfällen für alle Ursachen während der warmen Jahreszeit (1. Mai bis 30. September) empirisch hergeleitet. Diese Kurve wird für die Schweiz unter Berücksichtigung von regionsspezifischen Temperatur- und Sterblichkeitsdaten des aktuellen Jahres sowie den neun vorherigen Jahren modelliert. Das Zeitfenster für die Schätzung der Expositions-Wirkungskurve wird somit jedes Jahr angepasst. Damit wird die langfristige Anpassung der Bevölkerung an das Klima implizit mitberücksichtigt. Zeitreihen von zehn Jahren werden benötigt, um eine robuste Expositions-Wirkungsbeziehung zu erstellen.

Die Modellierung der Expositions-Wirkungskurve erfolgt anhand eines Quasi-Poisson Modells. Dabei wird ein Ansatz gewählt, der gleichzeitig die Nicht-Linearität zwischen Temperatur und Gesundheitseffekt sowie bis zu sieben Tage verzögerte Temperatur-Effekte nach einem Hitzetag berücksichtigt. Die Modellierung der Kurven mittels sogenannten *Distributed Lag Non-Linear Models (DLNM)* [11] ist im Detail in Ragettli et al. [12] beschrieben. Eine Übersicht zu den Modell-Parametern wird in der **Tabelle A2** im Appendix gegeben. Die optimale Temperatur für jede Zeitperiode wird gemäss Standardverfahren [13] aus dem Minimum der Expositions-Wirkungsbeziehung ermittelt.

2.2.3 Analysen nach Grossregion, Alter und Geschlecht

Für jeden Tag wird separat nach Grossregion mittels der Expositions-Wirkungsbeziehung unter Berücksichtigung der regionsspezifischen Anzahl Todesfälle sowie der dazugehörigen gemessenen Temperatur berechnet, wie viele der beobachteten Todesfälle auf die Hitze zurückzuführen sind. Die Details zum statistischen Verfahren zur Berechnung der hitzebedingten Todesfälle sowie die statistische Unsicherheit werden im **Appendix A3** beschrieben.

Zusätzlich zur Anzahl hitzebedingter Todesfälle in der Gesamtbevölkerung und nach Grossregion werden die Anzahl Fälle nach Alter (unter 75 Jahre und ab 75 Jahre) und Geschlecht ausgewiesen. Alters- und geschlechtsspezifische hitzebedingte Todesfälle werden zuerst mit geschlechts-, resp. altersspezifischen Expositions-Wirkungskurven geschätzt und dann anhand der Gesamtzahl der hitzebedingten Todesfälle (berechnet aus einer Expositions-Wirkungskurve für die Gesamtbevölkerung) proportional skaliert. Damit werden unterschiedliche Gesamttotals von Schätzungen mit geschlechts- oder altersspezifischen Expositions-Wirkungsbeziehungen verhindert.

3. HITZEBEDINGTE TODESFÄLLE 2005-2021

Die **Abbildung 1** zeigt exemplarisch die Expositions-Wirkungskurven zwischen Tagesmitteltemperaturen und Sterblichkeit für fünf 10-Jahres-Perioden während der warmen Jahreszeit (Mai bis September). Die Kurven sind die Grundlage für die Schätzung der hitzebedingten Todesfälle in der Gesamtbevölkerung, nach Alter und Geschlecht in den Jahren 2015 und 2018-21. Mit der Höhe der Temperatur steigt das hitzebedingte Sterberisiko an und ist besonders hoch ab Tagesmitteltemperaturen von $\geq 25^{\circ}\text{C}$.

Über die Zeit lässt sich eine leichte Erhöhung der optimalen Temperatur beobachten (**Abbildung 1, Tabelle A3**). Die Optimaltemperatur liegt in der jüngsten Zeitperiode (2012-2021) für die Gesamtbevölkerung bei 18.2°C . Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass sich die Bevölkerung an die Hitzebelastung angepasst hat. Dabei kann es sich um eine physiologische Anpassung handeln oder um die präventive Wirkung von Hitzeschutzmassnahmen. In den letzten Jahren haben Bund und Kantone verschiedene Massnahmen zur Sensibilisierung der Bevölkerung für hitzebedingte Gesundheitsrisiken umgesetzt [4, 14]. Zudem hat der Einsatz von Klimaanlage im öffentlichen Verkehr und in Gebäuden in den letzten 20 Jahren zugenommen.

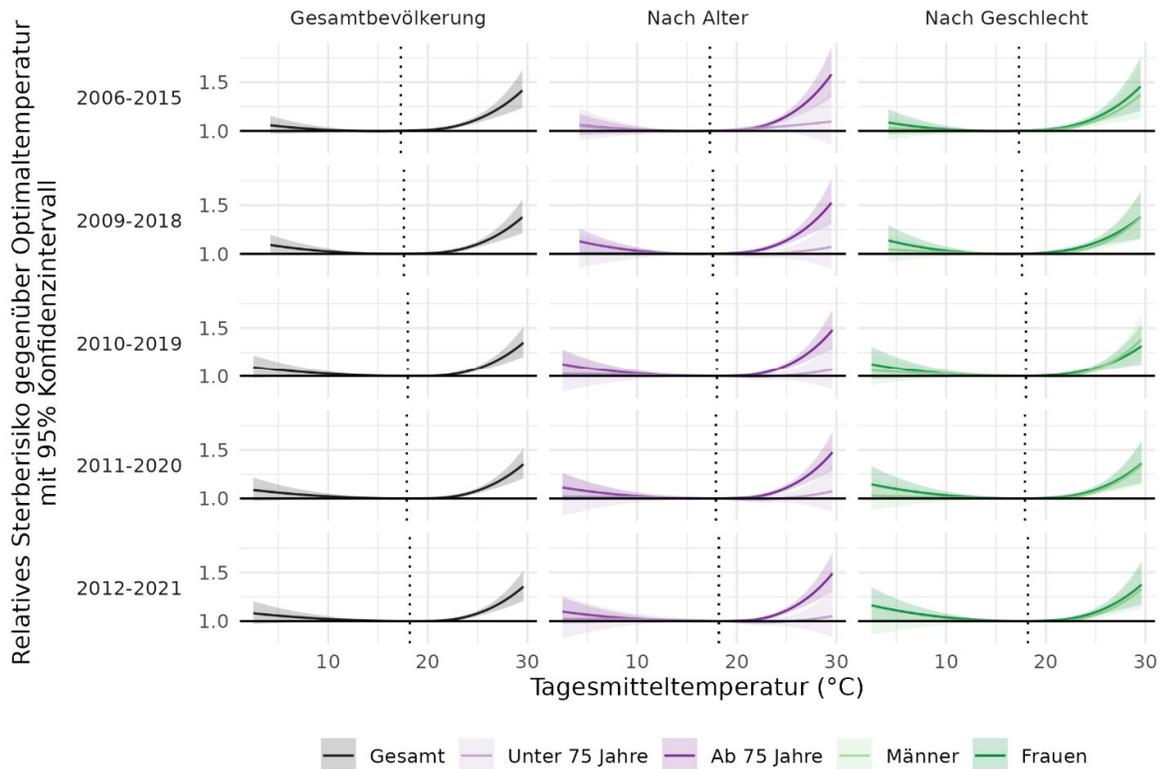


Abbildung 1: Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Tagesmitteltemperaturen und Sterblichkeit mit 95%-Konfidenzintervall für verschiedene 10-Jahres Zeitperioden in der warmen Jahreszeit (Mai bis September) für die gesamte Bevölkerung, nach Alter und Geschlecht. Die Kurven berücksichtigen verzögerte Effekte bis zu sieben Tage. Die Kurven sind die Grundlage für die Schätzung der hitzebedingten Todesfälle der Jahre 2015, 2018-21. Die vertikalen gestrichelten Linien zeigen die perioden-spezifische optimale Temperatur. Sie entspricht der Temperatur, bei der der temperaturbedingte Einfluss auf die Sterblichkeit minimal ist (relatives Sterberisiko $RR=1.0$). Lesebeispiel: Ein RR von 1.25 bedeutet ein 25% erhöhtes Sterberisiko gegenüber der optimalen Temperatur.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der geschätzten Anzahl hitzebedingter Todesfälle während der warmen Jahreszeit in der Schweiz für die Jahre 2015 und 2018-21. Während diesen Jahren haben – besonders im Sommer 2015 – Hitzewellen zu einem deutlichen Anstieg der täglichen Sterblichkeit geführt.

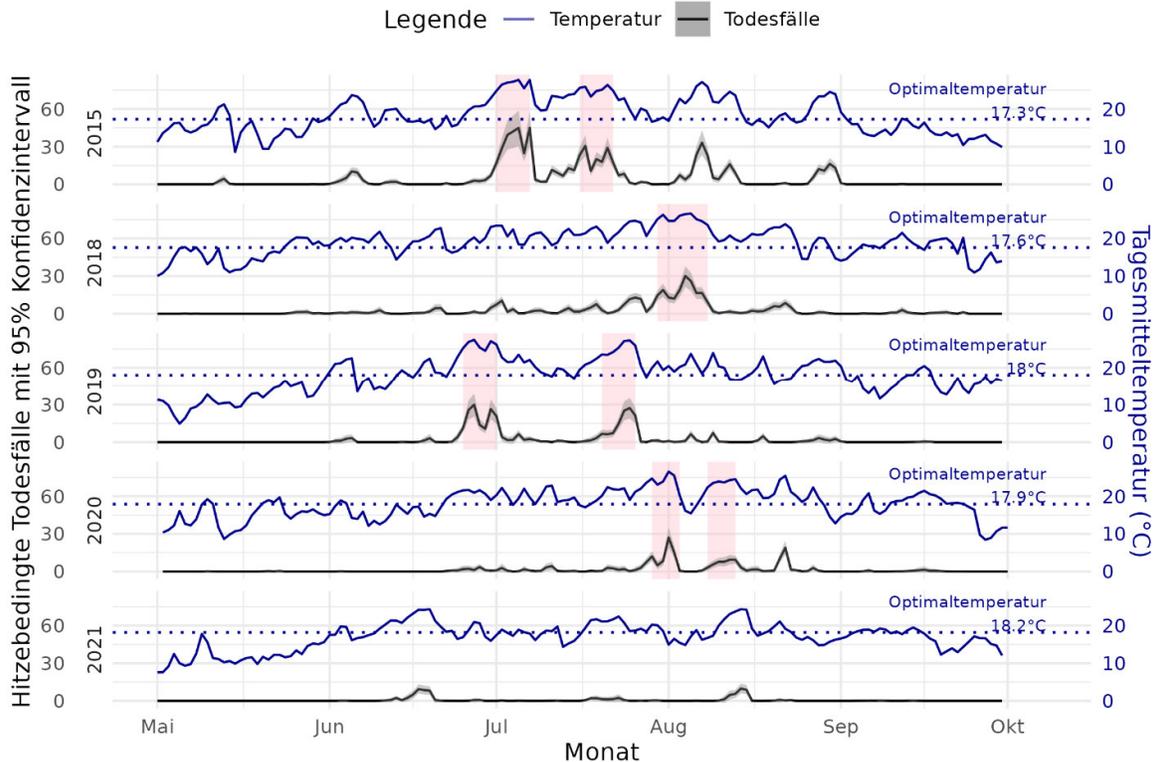


Abbildung 2: Verlauf der geschätzten hitzebedingten Todesfälle (in schwarz) in der warmen Jahreszeit in der Schweiz (2015, 2018-2021). Die Tagesmitteltemperaturen (blaue durchgezogene Linien) werden in dieser Graphik zur Vereinfachung als Mittelwert der gemessenen Tageswerte in den sieben Grossregionen gezeigt. Rot hervorgehobene Tage markieren Hitzewellen gemäss MeteoSchweiz. Die hitzebedingten Todesfälle wurden basierend auf Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Temperatur und Sterblichkeit (vgl. Abb. 1) und Tagesmitteltemperaturen aus dem betrachteten Zeitraum geschätzt. Die graue Schattierung zeigt den Unsicherheitsbereich (95%-Konfidenzintervalle). Die blauen gestrichelten Linien zeigen die optimale Temperatur, bei der die temperaturbedingte Sterblichkeit minimal ist.

Abbildung 3 gibt einen Überblick über die hitzebedingte Sterblichkeit in den Jahren 2005 bis 2021 in der Gesamtbevölkerung. In **Abbildung 4** wird die Anzahl hitzebedingter Todesfälle separat nach Grossregion gezeigt. Die dazugehörigen Zahlen mit Unsicherheitsbereich sind im Appendix einsehbar (**Tabellen A3, A4 und A5**). Die hitzebedingten Todesfälle zwischen Mai und September werden jeweils für drei Temperaturbereiche (moderat, heiss, sehr heiss) ausgewiesen. Die grösste Anzahl hitzebedingter Todesfälle in der untersuchten Zeitperiode wurde in allen Regionen für den Sommer 2015 geschätzt (747 Fälle in der Gesamtschweiz, 95%-Konfidenzintervall: 555-952). Es handelt sich um den wärmsten Sommer dieser Untersuchungsperiode. Die Schätzungen der hitzebedingten Sterblichkeit für die Jahre 2017 (viert-wärmster Sommer), 2018 (dritt-wärmster Sommer) und 2019 (zweit-wärmster Sommer) fallen trotz hoher Temperaturen deutlich geringer aus. Am zweit- und drittmeisten hitzebedingte Todesfälle sind im Sommer 2006 (565) und 2005 (421) aufgetreten. In diesen Jahren waren moderate und heisse Tagesmitteltemperaturen relativ häufig (Tabelle A6), traten jedoch deutlich

weniger oft auf im Vergleich zu 2017 und 2018. Die höhere hitzebedingte Sterblichkeit bei geringer Bevölkerungsgrösse und geringerer Temperatur im Vergleich zu 2017 bis 2019 ist ein Indiz für die Anpassung der Bevölkerung an Hitzeereignisse.

Auch in weniger warmen Sommer können Todesfälle auf die Hitze zurückgeführt werden. Diese sind hauptsächlich auf moderate Tagesmitteltemperaturen (<25°C) zurückzuführen. So sind beispielsweise im Sommer 2016 geschätzte 247 Todesfälle auf moderat warme Temperaturen zurückzuführen und 44 auf heisse Temperaturen.

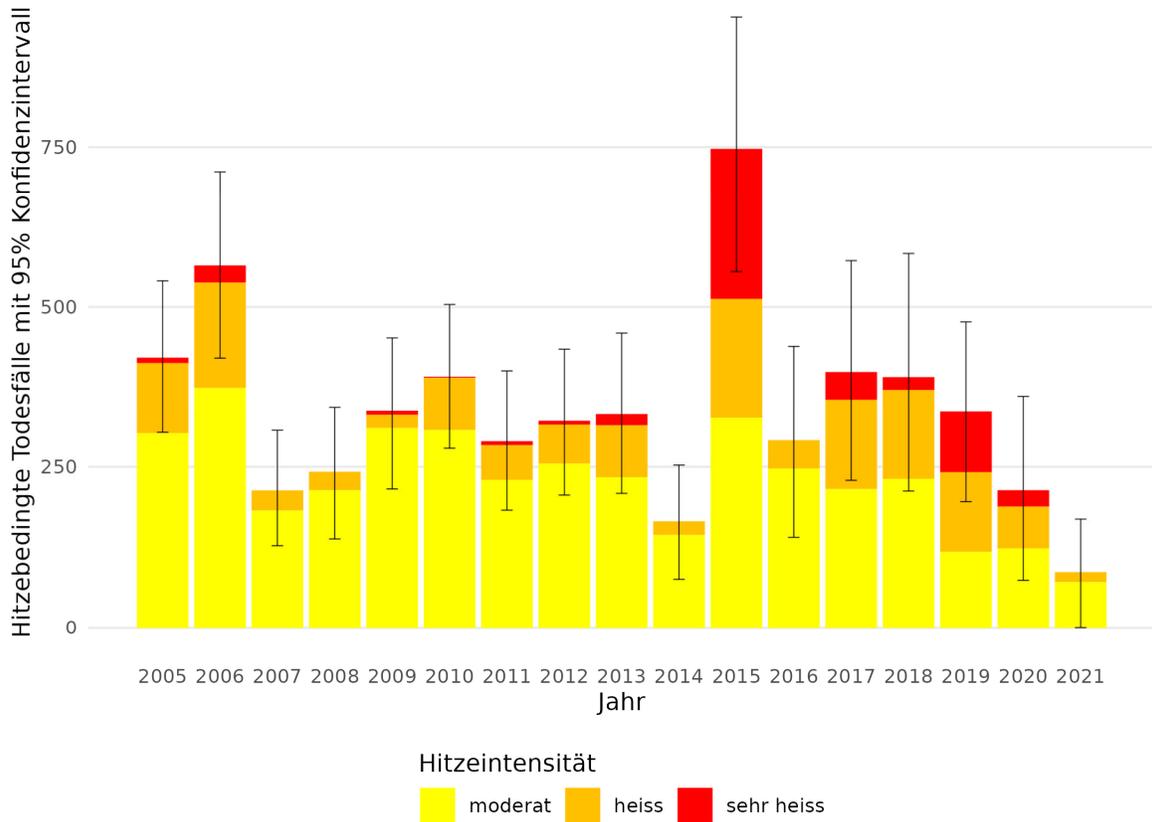


Abbildung 3: Hitzebedingte Todesfälle in der Schweiz während der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95% Konfidenzintervalle). Die Anzahl hitzebedingten Todesfälle werden für drei Temperaturbereiche (Tagesmitteltemperatur Tmean) ausgewiesen (moderat: Tmean ab optimaler Temperatur und kleiner 25°C; heiss: ab 25°C und kleiner 27°C; sehr heiss: ab 27°C).

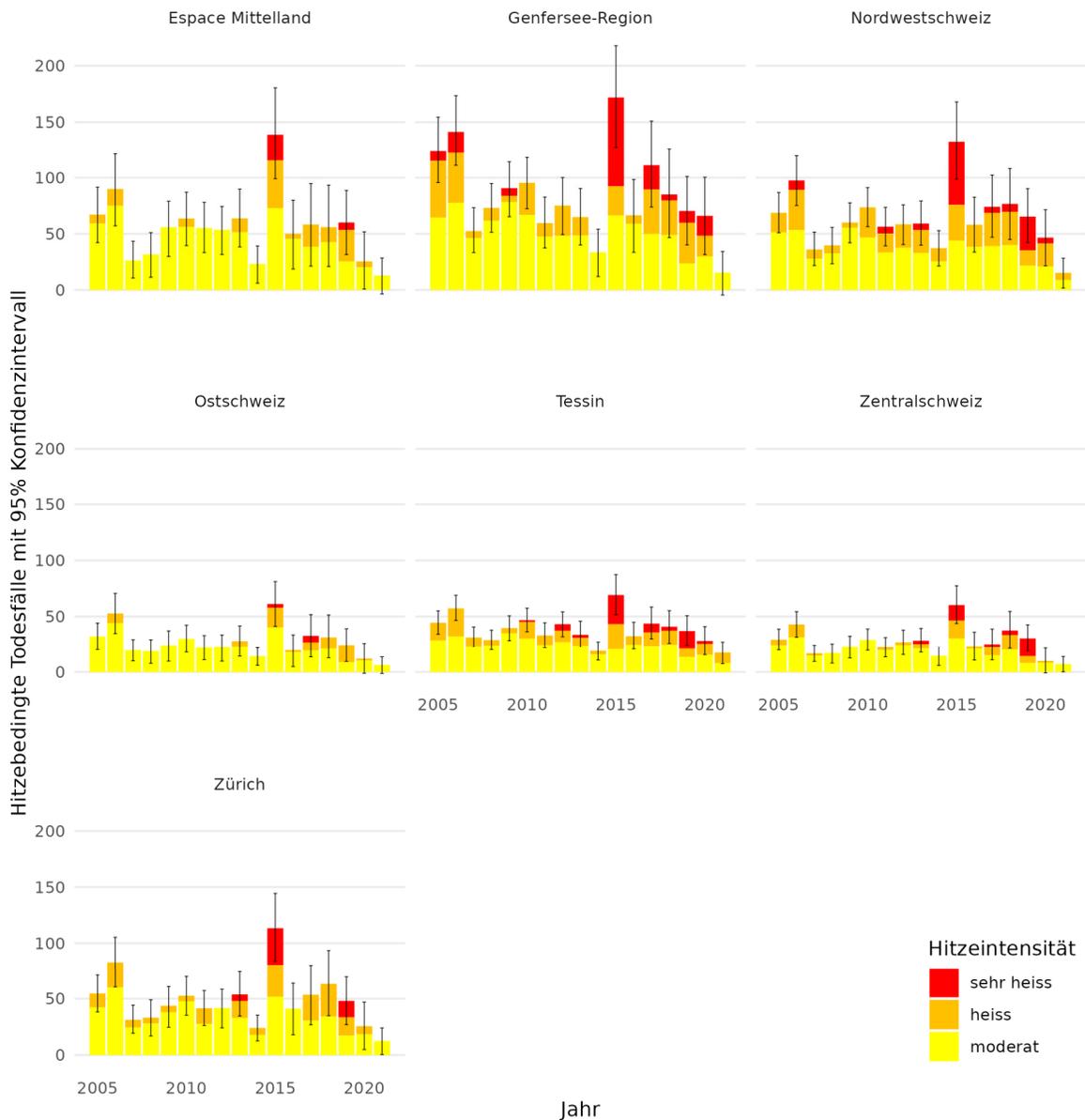


Abbildung 4: Hitzbedingte Todesfälle nach Grossregion in der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95% Konfidenzintervalle). Die Anzahl hitzebedingten Todesfälle werden für drei Temperaturbereiche (Tagesmitteltemperatur Tmean) ausgewiesen (moderat: Tmean ab optimaler Temperatur und kleiner 25°C; heiss: ab 25°C und kleiner 27°C; sehr heiss: ab 27°C). Die Fälle pro Grossregion wurden anhand gemessenen Tagesmitteltemperaturen in den Grossregionen und einer (schweizweiten) Expositions-Wirkungskurve geschätzt.

In **Abbildung 5 und 6** wird die Anzahl hitzebedingter Todesfälle nach Altersklasse und Geschlecht gezeigt. Die Zahlen sind auch in **Tabelle A7** im Appendix einsehbar. Der grösste Anteil der hitzebedingten Todesfälle betreffen Personen ab einem Alter von 75 Jahren. Für die letzten Jahre (2018-2021) wurden im Rahmen dieser statistischen Analysen keine hitzebedingten Todesfälle für Personen unter 75 Jahre festgestellt. Dies ist auf das sehr geringe temperaturbedingte Sterberisiko (siehe Expositions-Wirkungsbeziehung **Abbildung 1**) sowie auf die geringe Anzahl Todesfälle in dieser Altersgruppe zurückzuführen. Es sind generell mehr Frauen als Männer betroffen. Dies mag auch damit zusammenhängen, dass es mehr Frauen als Männer bei den über 75-Jährigen gibt. Auch physiologische Gründe können für die höhere

Empfindlichkeit der Frauen in dieser Altersklasse verantwortlich sein. Frauen schwitzen beispielsweise weniger als Männer [15].

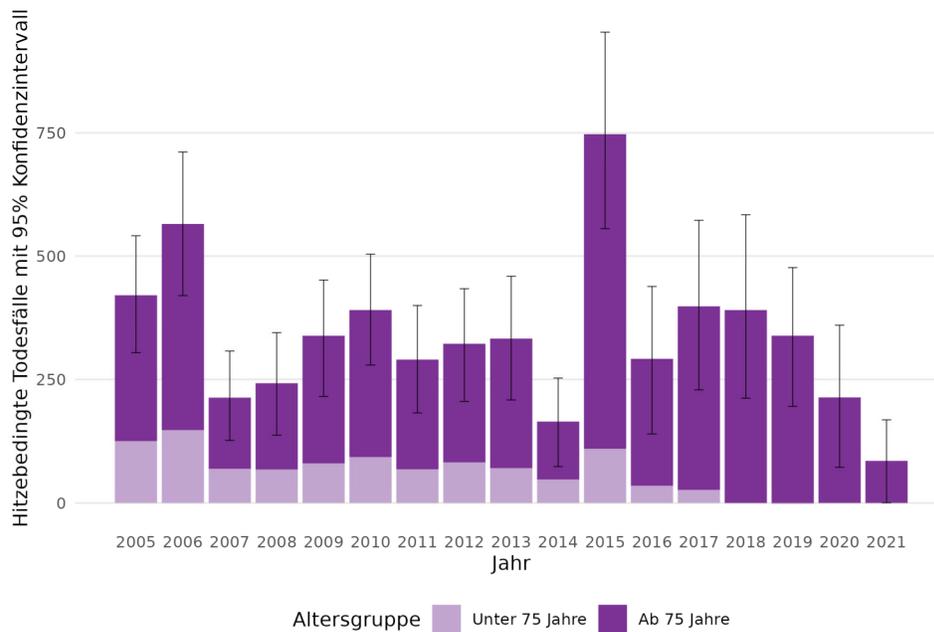


Abbildung 5: Hitzebedingte Todesfälle für zwei Altersklassen in der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95% Konfidenzintervalle). Dargestellt ist die Anzahl Todesfälle, die statistisch auf Tagesmitteltemperaturen oberhalb der jahresspezifischen optimalen Temperatur zugewiesen werden.

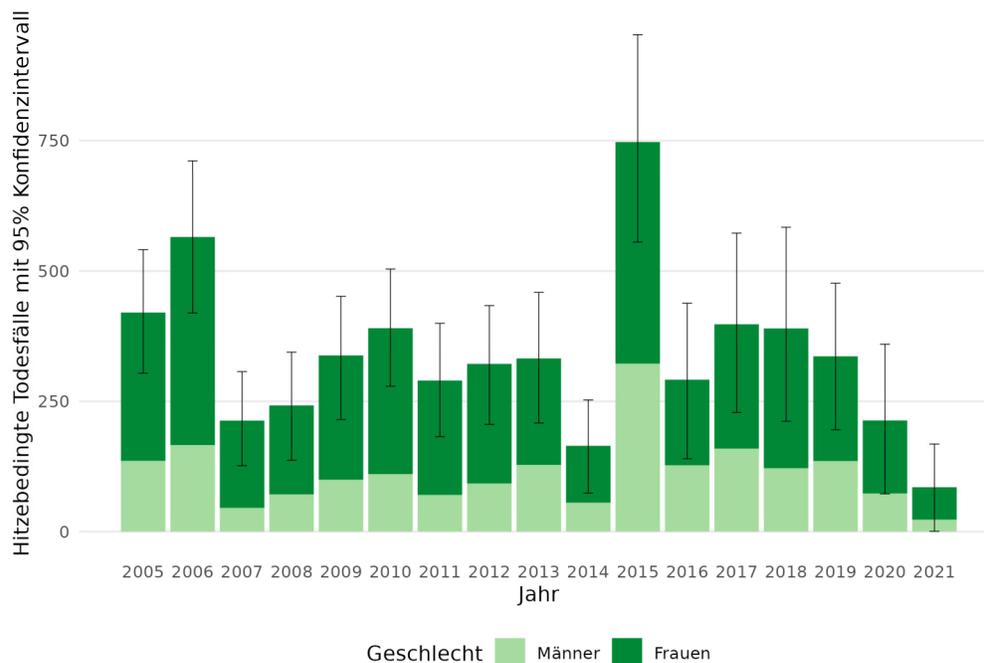


Abbildung 6: Hitzebedingte Todesfälle nach Geschlecht in der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95% Konfidenzintervalle). Dargestellt werden die Anzahl Todesfälle, die statistisch auf Tagesmitteltemperaturen oberhalb der jahresspezifischen optimalen Temperatur zugewiesen werden.

4. VERGLEICH ZU BISHERIGEN ANALYSEN

In **Tabelle 2** werden die Resultate der attributablen Fallberechnung der Jahre 2015, 2018 und 2019 (Mai bis September) mit Ergebnissen aus früheren Analysen zur hitzebedingten Übersterblichkeit verglichen. Für diese drei wärmsten Sommer zwischen 2005 und 2021 wurde die hitzebedingte Übersterblichkeit zwischen Juni und August quantifiziert [4]. Dabei wurde die Abweichung der beobachteten Todesfälle von einem Wert berechnet, der die erwartete Sterblichkeit ohne Hitzeeinfluss darstellt (vergl. Kapitel 1.2).

Für das Jahr 2015 mit einer sehr starken Hitzewelle sind die Zahlen der beiden Abschätzungsverfahren relativ ähnlich. Mit der Methode der attributablen Fällen wurden 747 hitzebedingte Todesfälle und mit der Methode der Übersterblichkeit 804 Fälle geschätzt. Dies entspricht der Erwartung, da sich die Methode der Übersterblichkeit besonders gut für Untersuchungen des Einflusses von aussergewöhnlichen Ereignissen auf die Sterblichkeit eignet. Hierzu gehören Grippeepidemien, die COVID-19-Pandemie oder sehr heisse Sommermonate. Bei solchen Ereignissen wird das Konfidenzintervall der erwarteten Sterblichkeit (deutlich) überschritten und die Ursachenzuschreibung ist praktisch unbestritten.

Tabelle 2: Vergleich der Resultate der attributablen Fallberechnung zu früheren Ereignisanalysen zur Übersterblichkeit im Hitzesommer 2015, 2018 und 2019 [4].

Jahr	Übersterblichkeit (Differenz zwischen beobachteter und erwarteter Sterblichkeit Juni bis August)	Attributable Fallberechnung (Mai bis September)				
		Anzahl zusätzliche Todesfälle	Anzahl hitzebedingte Todesfälle (total)	Anzahl hitzebedingte Todesfälle nach Temperaturbereich		
				moderat	heiss	sehr heiss
2015	804	747	326	186	235	
2018	185	391	231	139	20	
2019	521	336	118	123	94	

Schwieriger wird ein Vergleich der beiden Methoden bei wenig ausgeprägten Hitzewellen oder bei normalem Sommerwetter. Bei den attributablen Fällen werden auch die kleinen Peaks in der Zunahme der Sterblichkeit an heissen Tagen erfasst (**Abbildung 3**), die in Analysen zur Übersterblichkeit in den Bereich der statistischen Unsicherheit fallen. Das gilt auch für Auswirkungen von nicht optimalen, moderat heissen Temperaturen. Bei der attributablen Fallberechnung werden diese berücksichtigt. Solche Tage können bei häufigem Auftreten in der warmen Jahreszeit einen deutlichen Einfluss auf die hitzebedingte Sterblichkeit haben, obwohl das hitzebedingte Sterberisiko an solchen Tagen gering ist. Exemplarisch zeigt sich das im Sommer 2018. Damals gab es eine ausgeprägte Hitzewelle im August, die gemäss der Methode der Übersterblichkeit zu 185 zusätzlichen Todesfällen führte. Die Auswirkungen der moderaten Temperaturen auf die Sterblichkeit in den übrigen Monaten wurden jedoch nur mit der Methode der attributablen Fallberechnung erfasst. Es erstaunt daher nicht, dass die Methode der attributablen Fälle für 2018 mehr hitzebedingte Todesfälle (391 Fälle) ausweist als die Schätzung der Übersterblichkeit.

Auswirkungen von kühlen Sommertemperaturen werden hingegen, sofern sie unter die optimale Temperatur fallen, mit dem hier beschriebenen Vorgehen zur Schätzung der hitzebedingten Todesfälle nicht erfasst. Diese können, besonders wenn sie nach sehr heissen Tagen auftreten, ebenfalls eine Auswirkung auf das Sterbgeschehen ausüben. Im Sommer 2019 beispielsweise

wurde in Folge eines markanten Temperaturabfalls nach der Hitzewelle im Juni ein Anstieg der zusätzlichen Todesfälle beobachtet [4, 16]. Auf die Schätzung der attributablen (hitzebedingten) Todesfälle hatte diese Schwankung keinen deutlichen Einfluss.

Zudem ist zu beachten, dass die Methode der Übersterblichkeit durch das vergangene Sterbegeschehen beeinflusst wird. Im Winter 2018/19 war die Grippeepidemie wenig ausgeprägt. Es wurden im Januar bei Menschen ab 65 Jahre eher weniger Todesfälle beobachtet als erwartet (Mortalitätsmonitoring BFS). Dies hatte möglicherweise zur Folge, dass im Sommer 2019 die Sterblichkeit, unabhängig von der Temperatur, häufig oberhalb der erwarteten Sterblichkeit lag. Es erstaunt daher nicht, dass damit die Methode der Übersterblichkeit im Sommer 2019 höhere Werte (521 zusätzliche Todesfälle) liefert als die Methode der attributablen Fallberechnung (336 hitzebedingte Todesfälle), obwohl sich die Unsicherheitsbereiche der beiden Schätzungen überlappen.

Eine weitere Schwierigkeit der Übersterblichkeitsmethode ist die Ursachenzuschreibung, wenn mehrere ausserordentliche Ereignisse einen Einfluss auf die Sterblichkeit während des Sommers ausüben. In diesem Fall können die zusätzlichen Todesfälle nur bedingt der Hitze zugeschrieben werden. Ausserdem ergeben sich für die Sommermonate zunehmend Schwierigkeiten bei der Schätzung der erwarteten Todesfälle. Durch die Klimaerwärmung, Häufung von Hitzewellen sowie durch die COVID-19-Pandemie wird es zunehmend schwieriger, die erwartete Anzahl Todesfälle ohne Hitzeeinfluss zu schätzen.

Aus diesen Gründen ist langfristig die attributablen Fallberechnung für ein Monitoring der hitzebedingten Todesfälle besser geeignet. Attributable Fallberechnungen sind Abschätzungen, bei denen Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen Temperatur und Sterblichkeit angewendet werden. Die Abschätzungen sind damit weniger anfällig für Zufallseffekte und Einflüsse von Epidemien und Pandemien. Für moderat warme Sommer liefert die Methode der attributablen Fallberechnung konsistente Zahlen und berücksichtigt auch moderat warme Tage sowie wenig ausgeprägte Hitzeperioden. Ein Monitoring der hitzebedingten Sterblichkeit mit dieser Methode wird daher als wertvolle Ergänzung zum bereits bestehenden Übersterblichkeitsmonitoring des BFS gewertet. Dieses erfolgt quasi in Echtzeit und erlaubt eine unmittelbare Reaktion bei Extremereignissen mit deutlicher Überschreitung der erwarteten Sterblichkeit. Zudem erlaubt der Vergleich der Übersterblichkeit mit den attributablen Todesfällen einen Plausibilitätscheck. Insbesondere für sehr heisse Sommer ist zu erwarten, dass die Schätzungen der beiden Methoden ähnlich sind.

LITERATUR

1. Ragettli MS, Schulte F, Rösli M. Projekt «Ausarbeitung einer Methode für die jährliche Berichterstattung von Hitzetoten in der Schweiz». Schlussbericht 9. Mai 2022. Im Auftrag des BAG, BAFU, MeteoSchweiz, BFS, BABS. 2022.
2. Song X, Wang S, Hu Y, Yue M, Zhang T, Liu Y, et al. Impact of ambient temperature on morbidity and mortality: An overview of reviews. *Science of The Total Environment*. 2017;586:241-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.212>.
3. Weitkunat R, Junker C, Caviezel S, Fehst K. Mortality monitoring in Switzerland. *Swiss Med Wkly*. 2021;151(w30030). doi: <https://doi.org/10.4414/smw.2021.w30030>.
4. Ragettli MS, Rösli M. Die Bedeutung von Präventionsmassnahmen. Hitzebedingte Sterblichkeit im Sommer 2019. *Prim Hosp Care Allg Inn Med*. 2021;21(03):90-5. doi: <https://doi.org/10.4414/phc-d.2021.10296>.
5. Perez L, Künzli N. From measures of effects to measures of potential impact. *International Journal of Public Health*. 2009;54(1):45.

6. Gasparrini A, Leone M. Attributable risk from distributed lag models. *BMC Medical Research Methodology*. 2014;14(1):55. doi: <https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-55>.
7. Romanello M, Di Napoli C, Drummond P, Green C, Kennard H, Lampard P, et al. The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *Lancet*. 2022;400(10363):1619-54. Epub 2022/10/29. doi: 10.1016/s0140-6736(22)01540-9. PubMed PMID: 36306815.
8. MeteoSchweiz. Hitzewarnungen 2021 [abgerufen am 23. März 2022]. Verfügbar unter: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/wetter/wetterbegriffe/hitze/hitzewarnungen.html>.
9. Bundesamt für Statistik. Analyseregionen. Grossregionen Neuchâtel: Bundesamt für Statistik (BFS); 2020 [abgerufen am 16. Mai 2022]. Verfügbar unter: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/analyseregionen.html>.
10. IDAWEB Datenportal [Internet]. MeteoSwiss. 2020 [cited 01. April 2022]. Available from: <https://gate.meteoswiss.ch/idaweb/>.
11. Gasparrini A. Distributed lag linear and non-linear models in R: the package dlnm. *Journal of Statistical Software*. 2011;43(8):1.
12. Ragettli MS, Vicedo-Cabrera AM, Schindler C, Rössli M. Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environmental Research*. 2017;158C:703-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.07.021>.
13. Lo YTE, Mitchell DM, Thompson R, O'Connell E, Gasparrini A. Estimating heat-related mortality in near real time for national heatwave plans. *Environmental Research Letters*. 2022;17(2):024017. doi: 10.1088/1748-9326/ac4cf4.
14. Ragettli MS, Rössli M. Hitzeaktionspläne zur Prävention von hitzebedingten Todesfällen–Erfahrungen aus der Schweiz. *Bundesgesundheitsblatt*. 2019;62:605–11.
15. Ragettli MS, Flückiger B, Rössli M. Hitze und Gesundheit: Die Wirkung von Hitzeinseln, Grünräumen und anderen Faktoren. Schlussbericht Pilotprojekt A.06: National Centre for Climate Services (NCCS); 2022 [abgerufen am 29. November 2022]. Verfügbar unter: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/massnahmen/pak/projektphase2/pilotprojekt-e-zur-anpassung-an-den-klimawandel--cluster--umgang-/a-06-hitze-und-gesundheit.html>.
16. Ragettli MS, Rössli M. Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze in der Schweiz und die Bedeutung von Präventionsmassnahmen. Hitzebedingte Todesfälle im Hitzesommer 2019 – und ein Vergleich mit den Hitzesommer 2003, 2015 und 2018. Basel: Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH), im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit (BAG), 2020.
17. Gasparrini A, Guo Y, Hashizume M, Lavigne E, Tobias A, Zanobetti A, et al. Changes in susceptibility to heat during the summer: a multicountry analysis. *American Journal of Epidemiology*. 2016;183(11):1027-36. doi: <https://doi.org/10.1093/aje/kwv260>.
18. Urban A, Fonseca-Rodríguez O, Di Napoli C, Plavcová E. Temporal changes of heat-attributable mortality in Prague, Czech Republic, over 1982–2019. *Urban Climate*. 2022;44:101197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101197>.

APPENDIX

A1. Temperaturdaten

Tabelle A1: Verwendete Messstationen von MeteoSchweiz pro Grossregion.

Grossregion	Station	Stationskürzel
Espace Mittelland	Bern-Zollikofen	BER
Nordwestschweiz	Basel-Binningen	BAS
Genfersee-Region	Genève-Cointrin	GVE
Zentralschweiz	Luzern	LUZ
Ostschweiz	Aadorf / Tänikon	TAE
Tessin	Locarno Monti	OTL
Zürich	Zürich-Fluntern	SMA

A2. Modellierung Expositions-Wirkungsbeziehung

Tabelle A2: Modell-Parameter für die Modellierung der Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Tagesmitteltemperatur (Tmean) und Sterblichkeit. Die Temperatur wurde im statistischen Modell als sogenannte Crossbasis-Funktion eingefügt. Diese beschreibt den nicht-linearen und verzögerten Effekt der Temperatur auf die Sterblichkeit. Dieser Ansatz folgt der Methode der sogenannten Distributed lag non-linear models (DLNM) [11]. Die Auswahl der Modell-parameter basiert auf früheren Studien (z.B. [17, 18]).

Zeitreihe	Referenztemperatur	Crossbasis Funktion	
		Temperatur	Lags
Tmean und Anzahl täglicher Todesfälle von Mai bis September für sieben Grossregionen/ Stationen	Optimale Temperatur oberhalb Median der Temperaturverteilung zwischen Mai und September.	Tmean; Quadratischer B-Spline mit einem internen Knoten platziert am 75. Perzentil	Lag Periode: 7 Tage; natürlicher kubischer Spline mit zwei internen Knoten platziert mit gleichem Abstand in der Log-Scala.

A3. Schätzung der hitzebedingten Todesfälle

Die Schätzung der hitzebedingten Todesfälle mittels attributabler Fallberechnung erfolgt folgendermassen: Als erstes wird der attributable Anteil (AF_d) für jeden Tag d zwischen Mai und September mit einer Temperatur T oberhalb der optimalen Temperatur (To) anhand des temperatur-bedingten relativen Sterberisiko (RR_T) abgeschätzt. AF_d entspricht dem Anteil der Todesfälle, die auf die Temperatur zurückzuführen ist. Das RR_T wird dabei mithilfe der Expositions-Wirkungsbeziehung β bestimmt und beschreibt die Erhöhung des Sterberisikos relativ zur To .

$$AF_d = \frac{RR_T - 1}{RR_T} = 1 - \exp^{-\beta(T-To)}$$

Die Anzahl attributable Todesfälle am Tag d (AD_d) ergibt sich aus der Multiplikation der attributablen Fraktion am Tag d (AF_d) mit der Anzahl an diesem Tag beobachteten Todesfälle (D). Die Berechnung erfolgte separat nach Grossregion.

$$AD_d = D_d \cdot AF_d$$

Die Gesamtzahl der attributablen (hitzebedingten) Todesfälle ergibt sich dann aus der Summe der Beiträge aller Tage innerhalb eines Sommers (hier definiert als warme Jahreszeit Mai bis September). Ihr Verhältnis zur Gesamtzahl der Todesfälle im Sommer ergibt die attributable Fraktion für den gesamten Sommer (AF_S).

$$AF_S = \frac{\sum AD_d}{\sum D_d}$$

Ausserdem wurden die attributablen Todesfälle separat für moderate (Optimaltemperatur bis $<25^\circ\text{C}$), heisse (25°C bis $<27^\circ\text{C}$) und sehr heisse (ab 27°C) Tagesmitteltemperaturen ausgewiesen. Die Temperaturbereiche ab 25°C entsprechen den Temperaturschwellen für Hitzewarnungen von MeteoSchweiz [8].

Die **statistische Unsicherheit** der Anzahl hitzebedingten Todesfälle werden mittels Monte Carlo Simulationen ausgewiesen. Dafür werden 1000 zusätzliche Kurven innerhalb des Unsicherheitsbereichs der Expositions-Wirkungsbeziehungen modelliert, welche einer Normalverteilung folgen [6, 13]. Aus der Gesamtheit der mit jeder Kurve berechneten hitzebedingten Todesfälle, wird das 95%-Konfidenzintervall berechnet (entspricht dem Bereich zwischen den 2.5% tiefsten und höchsten berechneten Fällen).

A4. Hitzebedingte Todesfälle 2005-2021

Tabelle A3: Anzahl hitzebedingte Todesfälle in der Schweiz und Anteil der hitzebedingten Todesfälle an der Gesamtsterblichkeit während der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95%-Konfidenzintervall). Die Anzahl hitzebedingte Todesfälle werden für drei Temperaturbereiche ausgewiesen (moderat: Tagesmitteltemperaturen ab optimaler Temperatur und kleiner 25°C; heiss: ab 25°C und kleiner 27°C; sehr heiss: ab 27°C).

Jahr	Gesamtsterblichkeit (Anzahl Todesfälle aller Ursachen zwischen Mai und September)	Optimale Tagesmittel- temperatur (°C)	Anzahl hitzebedingte Todesfälle (mit 95% KI)*	Anteil an Gesamtsterblichkeit	Anzahl hitzebedingte Todesfälle nach Temperaturbereich (Tagesmitteltemperatur)		
					moderat	heiss	sehr heiss
2005	22960	17.2	421 (303 - 541)	1.8% (1.3% - 2.4%)	302	110	9
2006	24007	17.4	565 (420 - 712)	2.4% (1.8% - 3.0%)	374	164	27
2007	23371	17.4	213 (127 - 307)	0.9% (0.5% - 1.3%)	182	31	0
2008	23550	17.4	242 (138 - 344)	1.0% (0.6% - 1.5%)	213	29	0
2009	23443	17.4	337 (215 - 452)	1.4% (0.9% - 1.9%)	310	21	7
2010	24452	17.3	391 (279 - 504)	1.6% (1.1% - 2.1%)	307	83	2
2011	24385	17.4	290 (183 - 400)	1.2% (0.7% - 1.6%)	229	54	6
2012	24471	17.5	321 (206 - 434)	1.3% (0.8% - 1.8%)	255	61	6
2013	24916	17.3	332 (209 - 459)	1.3% (0.8% - 1.8%)	234	81	18
2014	24826	17.2	165 (75 - 253)	0.7% (0.3% - 1.0%)	144	21	0
2015	25610	17.3	747 (555 - 952)	2.9% (2.2% - 3.7%)	326	186	235
2016	25091	17.3	291 (141 - 439)	1.2% (0.6% - 1.7%)	247	44	0
2017	25204	17.4	399 (229 - 572)	1.6% (0.9% - 2.3%)	215	140	43
2018	25499	17.6	391 (212 - 583)	1.5% (0.8% - 2.3%)	231	139	20
2019	26353	18.0	336 (196 - 477)	1.3% (0.7% - 1.8%)	118	123	94
2020	25794	17.9	214 (74 - 361)	0.8% (0.3% - 1.4%)	123	65	26
2021	26669	18.2	87 (1 - 169)	0.3% (0.0% - 0.6%)	71	16	0

*KI: Konfidenzintervall

Tabelle A4: Anzahl hitzebedingte Todesfälle in den sieben Grossregionen in der Schweiz während der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95%-Konfidenzintervall).

Jahr	Nordwestschweiz	Espace Mittelland	Genfersee-Region	Zürich	Tessin	Zentralschweiz	Ostschweiz
	Anzahl Fälle	Anzahl Fälle	Anzahl Fälle	Anzahl Fälle	Anzahl Fälle	Anzahl Fälle	Anzahl Fälle
2005	69 (51 - 87)	67 (42 - 91)	124 (96 - 154)	55 (38 - 71)	44 (34 - 55)	29 (20 - 39)	32 (20 - 44)
2006	98 (75 - 120)	90 (57 - 122)	141 (111 - 174)	83 (60 - 105)	57 (47 - 69)	43 (32 - 54)	53 (35 - 71)
2007	36 (22 - 52)	26 (11 - 43)	52 (33 - 73)	31 (19 - 44)	31 (22 - 41)	17 (10 - 24)	19 (10 - 29)
2008	40 (23 - 56)	32 (11 - 51)	73 (51 - 95)	33 (17 - 49)	29 (20 - 38)	17 (8 - 25)	19 (8 - 29)
2009	60 (42 - 78)	56 (30 - 79)	91 (65 - 115)	44 (25 - 61)	40 (28 - 51)	23 (13 - 32)	24 (10 - 37)
2010	74 (56 - 91)	64 (40 - 87)	95 (72 - 119)	53 (35 - 70)	47 (36 - 57)	29 (19 - 39)	30 (18 - 42)
2011	56 (39 - 74)	55 (33 - 78)	60 (37 - 83)	41 (26 - 57)	33 (22 - 44)	22 (13 - 31)	22 (11 - 33)
2012	58 (40 - 76)	53 (32 - 74)	75 (49 - 100)	42 (24 - 58)	43 (32 - 54)	27 (16 - 38)	22 (10 - 34)
2013	59 (40 - 79)	64 (38 - 90)	65 (40 - 90)	54 (35 - 74)	34 (22 - 46)	28 (18 - 39)	28 (14 - 42)
2014	37 (21 - 53)	23 (6 - 39)	34 (12 - 54)	24 (13 - 35)	19 (11 - 27)	14 (6 - 23)	14 (6 - 22)
2015	133 (99 - 168)	139 (99 - 180)	172 (128 - 218)	113 (84 - 144)	69 (52 - 87)	60 (44 - 77)	61 (41 - 81)
2016	58 (34 - 83)	50 (19 - 80)	66 (34 - 98)	41 (18 - 64)	32 (21 - 45)	23 (11 - 36)	20 (5 - 34)
2017	74 (47 - 102)	58 (21 - 95)	111 (74 - 151)	54 (27 - 80)	44 (30 - 58)	25 (11 - 39)	33 (13 - 52)
2018	77 (45 - 108)	56 (21 - 93)	85 (47 - 126)	63 (35 - 93)	41 (26 - 55)	38 (21 - 55)	31 (13 - 51)
2019	65 (42 - 90)	60 (31 - 89)	70 (40 - 101)	48 (27 - 69)	37 (24 - 51)	30 (19 - 43)	24 (9 - 39)
2020	47 (22 - 71)	25 (1 - 52)	66 (31 - 100)	26 (5 - 47)	28 (15 - 41)	10 (-1 - 21)	12 (-1 - 26)
2021	15 (2 - 28)	13 (-4 - 28)	15 (-5 - 34)	13 (0 - 24)	17 (7 - 27)	7 (0 - 14)	6 (-1 - 13)

Tabelle A5: Anteil der hitzebedingten Todesfälle an Gesamtsterblichkeit (attributabler Anteil) in den sieben Grossregionen in der Schweiz während der warmen Jahreszeit (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95%-Konfidenzintervall). Der attributable Anteil bezieht sich auf die Gesamtsterblichkeit innerhalb der Grossregion.

Jahr	Nordwest-schweiz	Espace Mittelland	Genfersee-Region	Zürich	Tessin	Zentralschweiz	Ostschweiz
	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %
2005	2.2% (1.6% - 2.7%)	1.2% (0.8% - 1.6%)	3.1% (2.4% - 3.9%)	1.4% (1.0% - 1.8%)	4.5% (3.4% - 5.5%)	1.5% (1.0% - 2.0%)	1.0% (0.6% - 1.3%)
2006	3.0% (2.3% - 3.7%)	1.5% (0.9% - 2.0%)	3.3% (2.6% - 4.1%)	2.1% (1.5% - 2.7%)	5.2% (4.3% - 6.3%)	2.2% (1.6% - 2.8%)	1.5% (1.0% - 2.1%)
2007	1.2% (0.7% - 1.7%)	0.5% (0.2% - 0.7%)	1.3% (0.8% - 1.8%)	0.8% (0.5% - 1.1%)	3.0% (2.1% - 3.8%)	0.8% (0.5% - 1.2%)	0.6% (0.3% - 0.9%)
2008	1.2% (0.7% - 1.7%)	0.5% (0.2% - 0.9%)	1.8% (1.3% - 2.3%)	0.8% (0.4% - 1.2%)	2.7% (1.8% - 3.5%)	0.8% (0.4% - 1.3%)	0.6% (0.2% - 0.9%)
2009	1.9% (1.3% - 2.4%)	1.0% (0.5% - 1.4%)	2.2% (1.6% - 2.8%)	1.1% (0.6% - 1.6%)	3.7% (2.7% - 4.7%)	1.1% (0.6% - 1.6%)	0.7% (0.3% - 1.1%)
2010	2.2% (1.7% - 2.7%)	1.1% (0.7% - 1.5%)	2.2% (1.7% - 2.7%)	1.3% (0.9% - 1.8%)	4.0% (3.2% - 5.0%)	1.4% (0.9% - 1.8%)	0.9% (0.5% - 1.2%)
2011	1.7% (1.2% - 2.2%)	0.9% (0.6% - 1.3%)	1.4% (0.9% - 1.9%)	1.0% (0.7% - 1.4%)	2.9% (1.9% - 3.9%)	1.0% (0.6% - 1.4%)	0.6% (0.3% - 1.0%)
2012	1.7% (1.2% - 2.2%)	0.9% (0.5% - 1.2%)	1.8% (1.2% - 2.4%)	1.0% (0.6% - 1.4%)	4.1% (3.0% - 5.1%)	1.2% (0.7% - 1.8%)	0.6% (0.3% - 0.9%)
2013	1.7% (1.1% - 2.3%)	1.0% (0.6% - 1.5%)	1.5% (0.9% - 2.1%)	1.3% (0.8% - 1.8%)	2.9% (1.9% - 3.9%)	1.3% (0.8% - 1.8%)	0.8% (0.4% - 1.2%)
2014	1.1% (0.6% - 1.5%)	0.4% (0.1% - 0.6%)	0.8% (0.3% - 1.3%)	0.6% (0.3% - 0.9%)	1.7% (0.9% - 2.4%)	0.7% (0.3% - 1.0%)	0.4% (0.2% - 0.6%)
2015	3.5% (2.6% - 4.5%)	2.2% (1.6% - 2.9%)	3.9% (2.9% - 4.9%)	2.7% (2.0% - 3.4%)	5.6% (4.2% - 7.1%)	2.7% (2.0% - 3.5%)	1.8% (1.2% - 2.4%)
2016	1.6% (0.9% - 2.3%)	0.8% (0.3% - 1.3%)	1.5% (0.8% - 2.3%)	1.0% (0.4% - 1.6%)	2.9% (1.8% - 4.0%)	1.0% (0.5% - 1.6%)	0.5% (0.1% - 0.9%)
2017	2.1% (1.3% - 2.9%)	0.9% (0.3% - 1.5%)	2.5% (1.7% - 3.4%)	1.3% (0.6% - 1.9%)	3.6% (2.4% - 4.8%)	1.1% (0.5% - 1.8%)	0.9% (0.4% - 1.5%)
2018	2.1% (1.3% - 3.0%)	0.9% (0.3% - 1.5%)	1.9% (1.0% - 2.8%)	1.5% (0.8% - 2.2%)	3.5% (2.3% - 4.8%)	1.7% (0.9% - 2.4%)	0.9% (0.4% - 1.5%)
2019	1.7% (1.1% - 2.4%)	0.9% (0.5% - 1.4%)	1.6% (0.9% - 2.2%)	1.1% (0.6% - 1.6%)	3.0% (2.0% - 4.1%)	1.3% (0.8% - 1.9%)	0.7% (0.3% - 1.0%)
2020	1.3% (0.6% - 1.9%)	0.4% (0.0% - 0.8%)	1.5% (0.7% - 2.2%)	0.6% (0.1% - 1.1%)	2.3% (1.3% - 3.4%)	0.4% (0.0% - 1.0%)	0.3% (0.0% - 0.7%)
2021	0.4% (0.0% - 0.8%)	0.2% (-0.1% - 0.4%)	0.3% (-0.1% - 0.8%)	0.3% (0.0% - 0.5%)	1.5% (0.6% - 2.3%)	0.3% (0.0% - 0.6%)	0.2% (0.0% - 0.3%)

Tabelle A6: Tagesmitteltemperatur an sieben Messstationen und Häufigkeit der Tage nach Temperaturbereich während der warmen Jahreszeit von Mai bis September 2005 bis 2021. Als moderate Temperaturen gelten Tagesmitteltemperaturen oberhalb der optimalen Temperatur bis <25°C, heisse Temperaturen sind Tagesmitteltemperaturen ab 25°C bis <27°C und sehr heisse Temperaturen entsprechen Tagesmitteltemperaturen ab 27°C. Für übrige Tage (Tagesmitteltemperatur ≤ optimale Temperatur) wurden keine temperaturbedingten Todesfälle geschätzt. Die optimale Temperatur bezieht sich auf 10-Jahres-Periode der Expositions-Wirkungskurve.

Jahr	Tagesmitteltemperatur (°C)				Häufigkeit Tage gemäss Temperaturbereich (in %)			
	Min	Max	Mittelwert	Median	moderat	heiss	sehr heiss	übrige
2005	7.4	27.9	17.3	17.4	49.6	2.5	0.1	47.8
2006	5.8	27.4	17.9	17.8	48.3	4.3	0.3	47.2
2007	7.0	26.1	16.7	16.9	44.4	1.0	0.0	54.6
2008	6.3	26.3	16.9	17.1	46.4	0.7	0.0	52.8
2009	8.3	27.5	18.0	17.6	53.0	0.6	0.1	46.3
2010	6.9	27.0	16.7	16.5	41.1	2.1	0.1	56.7
2011	6.9	27.4	17.6	17.6	51.2	1.6	0.1	47.2
2012	5.9	27.2	17.5	17.8	50.4	1.9	0.4	47.3
2013	4.2	28.8	16.9	16.9	44.0	2.9	0.6	52.6
2014	6.5	26.8	16.7	16.8	45.7	0.8	0.0	53.5
2015	6.5	29.5	18.2	17.7	44.4	5.3	3.9	46.4
2016	4.7	26.1	17.6	17.7	52.6	1.6	0.0	45.8
2017	5.8	28.9	18.0	18.5	51.4	4.6	0.9	43.0
2018	8.5	28.1	19.0	19.2	62.7	4.9	0.7	31.7
2019	2.5	29.6	17.8	18.0	43.5	4.4	2.4	49.7
2020	6	27.8	18.0	18.3	50.8	2.8	0.6	45.8
2021	5.5	26.9	17.0	17.4	39.1	1.1	0.0	59.8

Tabelle A7: Anzahl hitzebedingte Todesfälle nach Alter (unter 75 Jahre und ab 75 Jahre) und Geschlecht zwischen (Mai bis September) 2005 bis 2021 mit Unsicherheitsbereich (95%-Konfidenzintervall).

Jahr	Anzahl hitzebedingte Todesfälle zwischen Mai und September (mit 95% Konfidenzintervall)				
	Total	Altersklasse		Geschlecht	
		Unter 75 Jahre	Ab 75 Jahre	Frauen	Männer
2005	421 (303 - 541)	126 (71 - 173)	295 (211 - 383)	284 (240 - 337)	137 (62 - 203)
2006	565 (420 - 712)	148 (79 - 212)	417 (341 - 499)	398 (300 - 487)	167 (65 - 268)
2007	213 (127 - 307)	71 (32 - 104)	143 (86 - 209)	166 (104 - 276)	47 (-49 - 86)
2008	242 (138 - 344)	69 (15 - 113)	173 (124 - 230)	169 (84 - 268)	73 (7 - 119)
2009	337 (215 - 452)	81 (15 - 131)	256 (191 - 324)	237 (182 - 294)	101 (16 - 162)
2010	391 (279 - 504)	94 (41 - 138)	297 (230 - 367)	280 (240 - 329)	111 (38 - 175)
2011	290 (183 - 400)	70 (20 - 114)	220 (150 - 294)	218 (187 - 255)	72 (-6 - 153)
2012	321 (206 - 434)	83 (19 - 160)	238 (183 - 292)	228 (192 - 277)	94 (14 - 157)
2013	332 (209 - 459)	72 (7 - 134)	260 (203 - 329)	203 (117 - 306)	129 (58 - 184)
2014	165 (75 - 253)	49 (7 - 78)	116 (34 - 200)	108 (85 - 150)	57 (-12 - 104)
2015	747 (555 - 952)	111 (-10 - 208)	637 (543 - 747)	426 (256 - 625)	322 (216 - 394)
2016	291 (141 - 439)	37 (-66 - 102)	254 (207 - 337)	163 (105 - 228)	128 (34 - 215)
2017	399 (229 - 572)	28 (-62 - 135)	370 (285 - 446)	239 (172 - 311)	160 (47 - 279)
2018	391 (212 - 583)	0 (-270 - 77)	391 (226 - 672)	268 (174 - 367)	123 (-24 - 222)
2019	336 (196 - 477)	-2 (-99 - 64)	337 (225 - 467)	199 (107 - 291)	136 (52 - 208)
2020	214 (74 - 361)	0 (-2 - 0)	214 (74 - 360)	139 (72 - 194)	75 (-23 - 191)
2021	87 (1 - 169)	0 (0 - 0)	87 (1 - 169)	64 (-98 - 177)	23 (-90 - 173)