

Einfluß der thermischen Bedingungen auf die tägliche Mortalität in Baden-Württemberg

Diplomarbeit
im Fach Meteorologie

vorgelegt von

Heinrich-Michael Walther

August 1999

Institut für Meteorologie und Klimaforschung
Universität Karlsruhe (TH) / Forschungszentrum Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Grundlagen	3
1.1 Der Einfluß der Atmosphäre auf den Menschen	3
1.1.1 Der atmosphärische Wirkungskomplex	4
1.1.2 Die biometeorologischen Wirkungsfaktoren	5
1.1.3 Die charakteristischen Größen der thermischen Umgebung	6
1.2 Der menschliche Wärmehaushalt	7
1.2.1 Der Einfluß der thermischen Bedingungen	7
1.2.2 Die Akklimatisation	8
1.2.3 Die Wärmebilanz	10
1.3 Die Behaglichkeitsgleichung nach FANGER	11
1.4 Die Strahlungsflüsse	14
1.4.1 Die direkte Sonnenstrahlung	14
1.4.2 Die diffuse Sonnenstrahlung	15
1.4.3 Die Reflexstrahlung	16
1.4.4 Die atmosphärische Gegenstrahlung	16
1.4.5 Die Infrarotstrahlung der Umgebungsflächen	17
1.4.6 Die Trübung	17
1.4.7 Die Bewölkung	18
1.5 Die mittlere Strahlungstemperatur	18
1.6 Das Klima-Michel-Modell	21
1.7 Die gefühlte Temperatur	22

2	Datengrundlage und Analyse	25
2.1	Die Bevölkerung	25
2.2	Die täglichen Todesfälle	26
2.3	Die thermischen Bedingungen	31
2.4	Die Häufigkeitsverteilungen	33
2.5	Der Jahresgang	34
3	Mortalität und thermische Belastung	39
3.1	Einleitung	39
3.2	Ergebnisse	45
3.2.1	Monatsmittelwerte	45
3.2.2	Mittelwertvergleich	47
3.2.3	Diskussion	63
3.3	Das Regressionsmodell	70
3.3.1	Methodik	70
3.3.2	Diskussion	74
3.4	Extremereignisse	77
3.4.1	Das lineare Verfahren	78
3.4.2	Das Filterverfahren	81
3.4.3	Der mittlere Jahresgang	90
3.4.4	Diskussion	91
4	Zusammenfassung und Schlußbemerkung	95
	Literaturverzeichnis	99
	Abbildungsverzeichnis	105
	Tabellenverzeichnis	108
A	Tabellen und Abbildungen	109

Einleitung

Der menschliche Organismus muß sich kontinuierlich mit wechselnden Umgebungsbedingungen auseinandersetzen. Vor allem der thermische Wirkungskomplex spielt in der Biometeorologie eine wichtige Rolle. Um eine konstante Körperkerntemperatur aufrecht zu erhalten, müssen Wärmeproduktion und Wärmeabgabe im Gleichgewicht gehalten werden. Dabei weisen unter thermisch indifferenten Bedingungen die Thermoregulationsmechanismen die geringste Aktivität auf.

Statistische Untersuchungen über die Beziehungen zwischen den thermischen Bedingungen und Mortalitätsdaten von Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen zeigen generell einen Jahresgang mit einem Maximum im Februar und einem Minimum im August. Dieser Jahresgang ist in gemäßigten Klimaten besonders ausgeprägt (*Sakamoto-Momiyama*, 1977). Unter Behaglichkeitsbedingungen weisen Mortalitätsraten geringste Werte auf. Mit zunehmender Kältebelastung steigt auch die Mortalitätsrate an. Dabei wird die erhöhte Zahl der Todesfälle im Winter hauptsächlich auf Infektionen zurückgeführt. Bei extremen Kälteereignissen in den USA, Kanada und Australien kommt es allerdings wieder zu einem Absinken der Mortalitätsrate (*Frost und Auliciems*, 1993). Vermutlich vermeiden Personen besonders aus risikobehafteten Gruppen eine Exposition (Verhaltensanpassung). Mit zunehmender Wärmebelastung wird ebenfalls ein Anstieg der Mortalitätsrate verzeichnet. Die höchsten Abweichungen vom Erwartungswert werden bei ausgeprägten Hitzewellen erreicht, wie die extremen Ereignisse in Griechenland (1987), England (1995) und in den USA (1980/1995/1999) zeigten. Betroffen waren vor allem Personen mit Atemwegs- und Herzkreislauferkrankungen sowie ältere Menschen mit geringerer Anpassungsfähigkeit.

Die Zusammenhänge zwischen den thermischen Belastungen und den Zahlen der Todesfälle sind im Sommer enger als im Winter (*Kalkstein und Greene*, 1997). Die Phasenverschiebung zwischen der Zunahme der Belastung und dem Anstieg der Mortalitätsrate beträgt ein bis zwei Tage (*Jendritzky et al.*, 1997). Dabei ist der Anstieg um so deutlicher, je ausgeprägter die Änderungen der atmosphärischen Bedingungen auftreten. Bei Wärmebelastung zeigen sich diese Effekte häufig erst nach dem Überschreiten bestimmter Schwellenwerte. Allerdings scheinen diese Schwellen von den verschiedenen Klimaten abhängig zu sein (*Kalkstein und Smoyer*, 1993).

Bei Hitzewellen haben die ersten extremen Ereignisse im Jahr deutlich größere Wirkung als vergleichsweise intensivere Ereignisse in Folge. Dies liegt zum einen daran, daß gefährdete Personen bereits gestorben sind, es handelt sich um eine sogenannte Vorsterblichkeit. Auf der anderen Seite haben sich die Überlebenden physiologisch oder durch ihr Verhalten angepaßt. Ferner zeigen Untersuchungen im Zeitbereich, daß die hohen Mortalitätsraten während einer Hitzeperiode anschließend nicht vollständig durch eine Mindersterblichkeit ausgeglichen werden. Hier scheint es sich nicht nur um eine Vorverlegung des Todeseintrittsdatum um wenige Tage oder Wochen zu handeln (*harvesting*), sondern es sterben auch Personen, die ohne dieses Extremereignis noch lange hätten leben können (*Kalkstein*, 1993).

Zielsetzung dieser statistischen epidemiologischen Längsschnittuntersuchung ist vor allem die Beantwortung folgender Fragen:

- Wie groß ist der Einfluß des thermischen Milieus auf die tägliche Mortalitätsrate in Baden-Württemberg?
- Welche Auswirkungen besitzen zeitliche Änderungen des thermischen Milieus?
- Lassen sich die Ergebnisse aus anderen meist extremeren Klimaten wiederfinden?
- Handelt es sich bei extremen Ereignissen um Vor- oder Übersterblichkeit?

Für die Untersuchung stand der Datensatz der Todesursachenstatistik entsprechend der internationalen Klassifikation der Todesursachen (ICD) des Landes Baden-Württemberg von 1968 bis 1997 des Statistischen Landesamtes zur Verfügung. Die täglichen Todesfälle wurden ausreißerkorrigiert und auf die Bevölkerungszahlen des Landes Baden-Württemberg normiert. Eine räumliche Differenzierung und eine Klassifizierung nach bestimmten Altersgruppen und Geschlecht wurde nicht vorgenommen.

Die thermischen Bedingungen wurden physiologisch relevant auf der Basis des Klima-Michel-Modells über die sogenannte gefühlte Temperatur beschrieben. Aus den Terminwerten 00.00, 06.00, 12.00 und 18.00 UTC der SYNOP-Stationen des Deutschen Wetterdienstes Freiburg, Karlsruhe, Stuttgart und Konstanz ist eine mittlere tägliche gefühlte Temperatur berechnet worden. Mit Hilfe dieser Größe wurde versucht, das thermische Milieu in Baden-Württemberg repräsentativ wiederzugeben.

Kapitel 1

Grundlagen

1.1 Der Einfluß der Atmosphäre auf den Menschen

Das Wissen um den Einfluß von Wetter und Klima auf den menschlichen Organismus ist sehr alt. Schon 400 v. Chr. beobachtete Hippokrates, daß Allergien und Entzündungen bei Zufuhr von Polarluft auftraten. Leibärzte der römischen Kaiser um 150 n. Chr. kannten die heilsamen Wirkungen des Klimawechsels bei bestimmten Krankheiten. Im neunten Jahrhundert tauchte in Gesetzestexten zum ersten Mal der Begriff der *Wetterempfindlichkeit* auf. Anfang des 19. Jahrhunderts wies Humboldt darauf hin, daß das *Klima*, ein durch ihn geprägter Begriff, nicht nur Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt hatte, sondern auch auf den Menschen. Durch wissenschaftliche Methoden in der Meteorologie Ende des 19. Jahrhunderts konnten mit Hilfe präziser Meßinstrumente genaue Beobachtungen und Aufzeichnungen gemacht werden. Durch diese langjährigen Beobachtungsreihen konnten statistische Auswertungen vorgenommen werden. Ungefähr zur gleichen Zeit fielen Ärzten durch intensivere Betreuung von Kranken eine Anhäufung von gleichen Krankheitssymptomen an bestimmten Tagen auf. Aber erst im Jahre 1906 gelang die Verbindung von Medizin und Meteorologie durch den Bioklimatologen Dorno von Königsberg, der in Davos systematisch den Einfluß von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Sauerstoffpartialdruck, Luftelektrizität und Radioaktivität auf den menschlichen Körper untersuchte. Aufgrund seiner Arbeiten wurden nach dem 1. Weltkrieg auch in anderen Regionen die Klimabedingungen erforscht. Ein großer Schritt in Richtung zur Medizinmeteorologie bildete die Gründung des Ausschusses "Klima und Wetter" durch die Deutsche Balneologische Gesellschaft 1921. Zur selben Zeit entstanden die ersten Kurort-Kreis Klimastellen.

Die wissenschaftlichen Grundlagen und Zusammenhänge von Medizin und Meteorologie wurden in der Arbeit "Physikalische Bioklimatologie" von *K. Büttner* (1938) zusammengefaßt und richtete sich an Forscher und Studenten beider Fachrichtungen. Mit Beiträgen von *H. Ungeheuer* und *L. Weickmann* über Klima- und Wetterkunde wurden die meteo-

rologischen Grundlagen in “Klima-Wetter-Mensch“ von *Seybold und Wolterdeck* (1952) vermittelt. In dieser Zeit wurde auch der Oberbegriff *Bioklimatologie* durch die spezifischeren Begriffe *Medizinmeteorologie* und *Humanbiometeorologie* ersetzt. Die Begriffe *Bioklimafaktoren* und *Wetterakkord*, die die Anforderungen an den menschlichen Organismus durch Anpassung an bestimmte atmosphärische Bedingungen beschreiben, blieben trotzdem erhalten. Bereits hier wurde zwischen Schon-, Reiz- und Belastungsklima, den sogenannten *Bioklimazonen*, unterschieden. In der heutigen Zeit werden in der Medizinmeteorologie die Einflüsse der physikalischen und der chemischen Vorgänge in der Atmosphäre auf den menschlichen Organismus über den atmosphärischen Wirkungskomplex beschrieben.

1.1.1 Der atmosphärische Wirkungskomplex

Um ein Gleichgewicht seiner Lebensfunktionen zu erhalten, muß sich der menschliche Organismus kontinuierlich mit seiner Umwelt auseinandersetzen. Dabei spielt die Atmosphäre als Teil dieser Umwelt eine große Rolle. Diese Reaktionen auf wechselnde atmosphärische Bedingungen nennt man Adaption. Die chemischen und physikalischen Zustände der Atmosphäre und ihre Änderungen werden durch meteorologische Parameter beschrieben. Wirkungskomplexe (siehe Abb. 1.1) fassen diese Größen wie z.B. Lufttemperatur, Wind und Feuchte zusammen, da nur bestimmte Kombinationen aus ihnen einen Einfluß auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit haben. Erst durch diese Art der Betrachtung bekommen meteorologische Größen biometeorologische Relevanz.

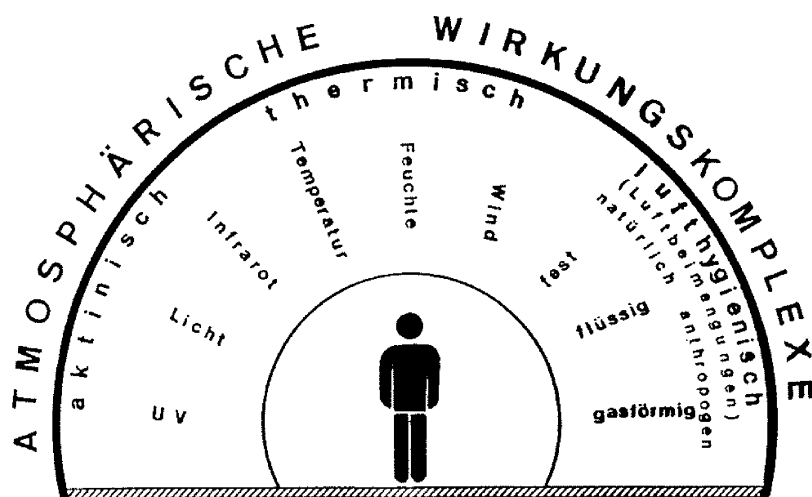


Abb. 1.1: Der atmosphärische Wirkungskomplex nach *Jendritzky* (1992).

1.1.2 Die biometeorologischen Wirkungsfaktoren

Biometeorologische Wirkungsfaktoren beschreiben die atmosphärischen Eigenschaften in Hinblick auf ihre umweltmedizinischen Einflüsse. Solche relevanten Eigenschaften sind z.B. Hitze, Kälte und Luftbelastung, die charakteristisch für sogenannte Bioklimate wie Schon- und Reizklima sind. Aber auch Wetterwechsel (*Biotropie*) und Klimaänderungen haben Auswirkungen auf den menschlichen Organismus. Die Wirkungsfaktoren lassen sich in drei Klassen einteilen, sie sind abhängig von den aktuellen Wetterbedingungen, der Witterung, den Jahreszeiten und der jeweiligen körperlichen Verfassung.

- Schonfaktoren
 - reine Luft
 - Allergenarmut
 - günstige Strahlungsverhältnisse (Wald)
 - ausgeglichene thermische Bedingungen

- Reizfaktoren
 - geringer Sauerstoffpartialdruck
 - niedriger Wasserdampfdruck
 - hohe Intensität der Sonneneinstrahlung
 - niedrige Temperaturen
 - hohe Windgeschwindigkeiten

- Belastungsfaktoren
 - ungünstige lufthygienische Bedingungen
 - geringe UV-Strahlung
 - Behinderung der Wärmeabgabe
 - extremer Wärmeentzug

Als *Biotropie* wird der biologische Einfluß der Wetteränderung bezeichnet. Der größte Einfluß liegt im Bereich der stärksten Wetteränderung. Mittleres und gesteigertes Schönwetter, Wetterberuhigung und Hochdruck wirken sich biologisch günstig aus. Ausnahmen bilden hier jedoch im Sommer Wärme- und Schadstoffbelastung, sowie im Winter Inversionswetterlagen. Ungünstige Auswirkungen haben Warmluftadvektion in der Höhe, sämtliche Phasen an der Vorderseite eines herannahenden Tiefdruckgebietes, Advektion ortsfremder Luftmassen, Wetterumschlag und direkte Rückseiten von Fronten.

1.1.3 Die charakteristischen Größen der thermischen Umgebung

Wichtigster Aspekt im Bioklima des Menschen ist das thermische Milieu, da es die Wärmeabgabe des Menschen stark beeinflusst. Deswegen versuchte man schon früh, die thermischen Bedingungen mit Hilfe einfacher Komplexgrößen (Abkühlungsgrößen) quantitativ zu erfassen, indem man neben der Lufttemperatur auch die Windgeschwindigkeit und verschiedene Feuchtemaße berücksichtigte. Da diese Verfahren selten alle Einflussgrößen erfassen, haben sie den Nachteil, nicht universell einsetzbar zu sein. D.h.: Gleiche Werte einer komplexen Größe haben in unterschiedlichen Klimaten nicht dieselbe thermophysiologische Bedeutung. Neuere Bewertungsverfahren, wie das Klima-Michel-Modell KMM (*Jendritzky et al.*, 1990), oder das Münchner-Energie-Bilanz-Modell MEMI (*Höppe*, 1993), basieren auf physiologisch relevanten Wärmehaushaltsmodellen. Bei diesen objektiven Bewertungsverfahren ist also ein zeitlicher und räumlicher thermophysiologischer Vergleich möglich.

Charakteristische Größen in °C	Parameter
Lufttemperatur t_l	t_l
Äquivalent Temperatur $t_{\ddot{a}}$	t_l, s
Potentielle Äquivalent Temperatur pt	t_l, s, p, p_0
Wetbulb Globale Temperature t_{wbG}	t_l, t_f, t_k
Windchill Equivalent Temperature t_{wet}	t_l, v, e
Indoor Apparent Temperature at_p	t_l, e
Stade Apparent Temperature at_{pv}	t_l, v, e
Outdoor Apparent Temperature at_{pvg}	Wärmebilanz – Modelle
Physiologisch Äquivalent Temperatur pet	
Gefühlte Temperatur gt	

Tab. 1.1: Beschreibende Größen der thermischen Bedingungen, mit den Temperaturen t_l, t_f, t_k am Trocken-, Feucht-, und Schwarzkugelthermometer in °C, dem Luftdruck p in hpa mit $p_0 = 1000$ hpa, der Windgeschwindigkeit v in $m s^{-1}$, dem Wasserdampfdruck e in hpa, und der spez. Feuchte s in $g kg^{-1}$.

1.2 Der menschliche Wärmehaushalt

Als hömöothermes Lebewesen besitzt der Mensch die Fähigkeit, unabhängig von äußeren Bedingungen und eigener Stoffwechselleistung (Wärmeproduktion), die Körperkerntemperatur von ca. 37 °C konstant zu halten. Durch physikalische und chemische Regulationsmechanismen werden Wärmeproduktion und Wärmeabgabe an die entsprechenden Umweltbedingungen angepaßt. Diese Mechanismen können nicht bewußt gesteuert werden, sie sind autonom. Außerdem kann der Mensch über Diskomfort-Empfindungen mit bestimmten Verhaltensweisen die Thermoregulation unterstützen, da die unbewußten Regulationsmechanismen in Extremsituationen an ihre Leistungsgrenzen kommen. Diese beiden Mechanismen haben als Hauptziel, den Wärmeaustausch zwischen dem menschlichen Organismus und der Atmosphäre optimal zu gewährleisten, um dadurch thermischen Komfort zu erreichen. Sie sind in Abb. 1.2 dargestellt.

1.2.1 Der Einfluß der thermischen Bedingungen

Unter thermisch indifferenten Bedingungen zeigen die Thermoregulationsmechanismen minimale Aktivität, d.h. die Wärmebildung spielt für die Thermoregulation keine Rolle. Die mittlere Hauttemperatur liegt im Behaglichkeitsbereich. Die Abgabe der umgesetzten Wärme erfolgt hauptsächlich durch die langwellige Strahlung und den turbulenten Transport von fühlbarer und latenter Wärme.

Bei geringen Abweichungen von thermisch indifferenten Bedingungen wird der Wärmetransport vom Körperkern zur Schale hauptsächlich vasomotorisch gesteuert. Es ändert sich also die periphere Durchblutung durch Zusammenziehen der äußeren Blutgefäße (kutane Vasokonstriktion) bzw. durch deren Erweiterung (kutane Vasodilatation). Bei Kälte wird die Wärmebildung durch Steigerung des Muskeltonus (Spannungszustand) und Kältezittern erreicht. Noch effektiver ist die zitterfreie chemische Thermogenese. Unter Raumklimabedingungen erfolgt der Wärmeverlust bei geringer Aktivität hauptsächlich über Strahlung.

Unter warmen Bedingungen nimmt die Durchblutung der Körperschale zu. Dadurch erfolgt eine Erwärmung der Hauttemperatur, die eine günstigere Wärmeabgabe an die Umgebung durch Konvektion und Abstrahlung ermöglicht. Damit der Wärmefluß vom Körperkern zur Schale möglichst wirksam ist, wird die Hauttemperatur durch zusätzliche Bildung von Schweiß niedrig gehalten. Durch Entzug von Verdampfungswärme kühlt sich die Hautoberfläche ab. Bei hohen Temperaturen und körperlicher Arbeit ist das der dominierende Vorgang. Unter entsprechenden Bedingungen kann sogar eine Zufuhr von Wärme durch Strahlung und Konvektion erfolgen.

Bei ungenügender Wärmeabgabe durch starke Sonneneinstrahlung oder hohen Wasserdampfgehalt mit geringen Luftbewegungen kommt es trotz maximal arbeitender Thermoregulationsmechanismen zu einem Anstieg der Körperkerntemperatur. Da die beiden

Regulationsmechanismen für Blutdruck und Körperkerntemperatur Einfluß auf die Blutgefäße haben, kann es im Extremfall zu einem starken Blutdruckabfall aufgrund eines Mißverhältnisses zwischen zirkulierender Blutmenge und Gefäßkapazität kommen. In Konkurrenzsituationen unterliegt der Einfluß der gefäßverengenden Blutdruckregulation der gefäßerweiternden Thermoregulation. Lufttemperaturen über 40 °C können zu einem Hitzekollaps führen.

Bei starker Auskühlung sinkt die Körperkerntemperatur ab. Sämtliche physiologische Funktionen werden langsamer, im Extremfall sind Kammerflimmern und Herzstillstand die Folge.

1.2.2 Die Akklimatisation

Die Anpassung des menschlichen Organismus an sich ändernde thermische Bedingungen mit den Jahreszeiten nennt man Akklimatisation. Es erfolgt also eine chronische Umstellung der autonomen Thermoregulationsmechanismen. Entsprechend bedeutet Hitzeakklimatisation eine Anpassung an Hitze, Kälteakklimatisation eine Anpassung an Kälte. Bei einer Akklimatisation sind folgende Reaktionen beim menschlichen Organismus zu beobachten:

- Hitzeakklimatisation
 - Zunahme der aktiven Schweißdrüsen
 - gesteigerte und gleichmäßigere Schweißproduktion
 - geringere Elektrolytkonzentration
- Kälteakklimatisation
 - Abnahme des Kältezittern
 - Zunahme der zitterfreien Thermogenese
 - Abnahme des subjektiven Empfindens
 - Änderung der Verhaltensweisen

Die Akklimatisationszustände sind abhängig von Alter, Geschlecht, Gesundheit, Streß und Trainingszustand. Außerdem sind sie nicht stabil, können aber trotzdem Tage bis Monate anhalten. Bei fehlenden Reizen (Hitze, Kälte), geht dieser Trainingszustand des Organismus wieder verloren. Adaption ist die Anpassung des menschlichen Organismus an täglich wechselnde thermische Umgebungsbedingungen.

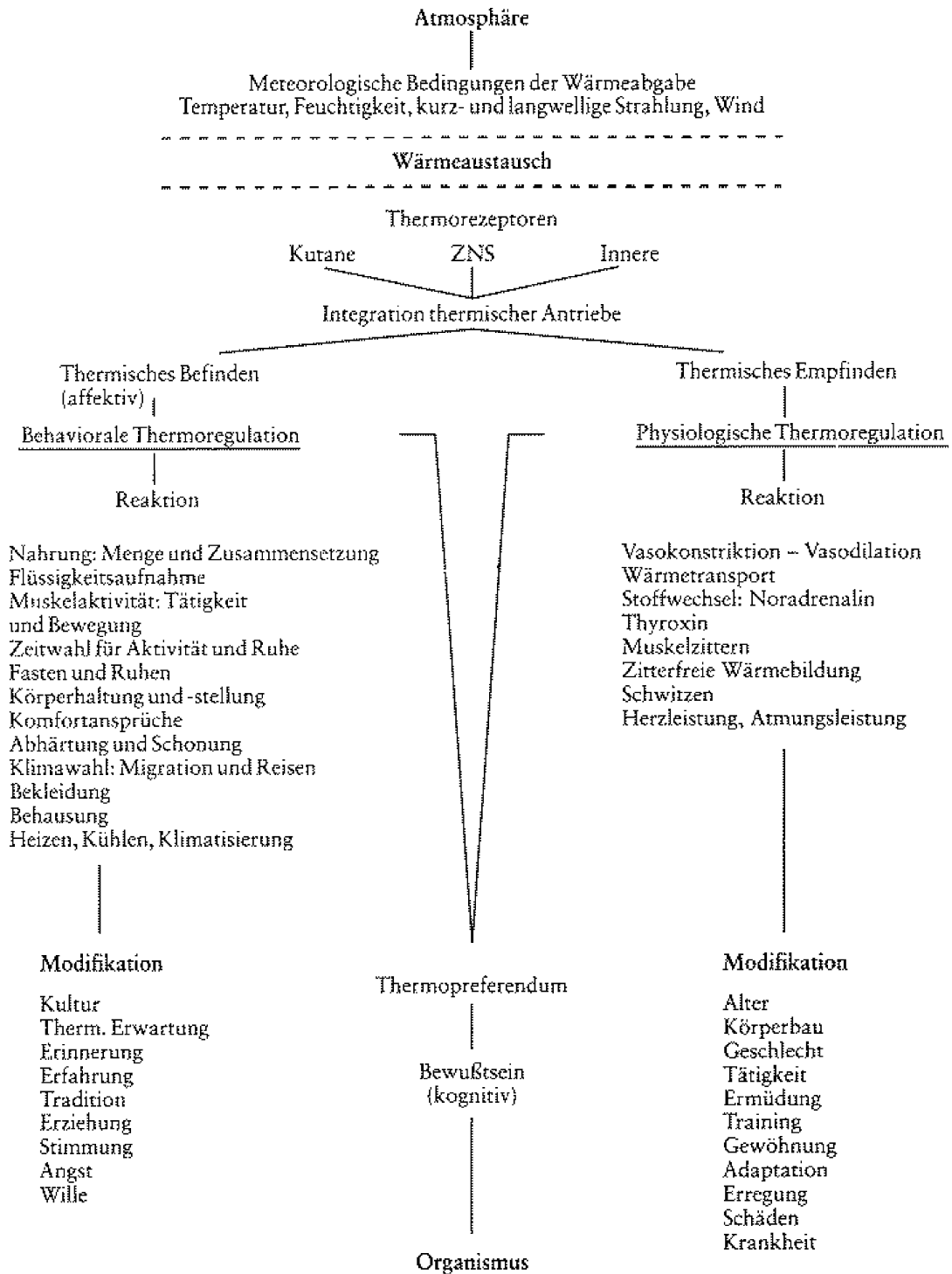


Abb. 1.2: Wärmeaustausch und Thermopreferendum nach *Weihe* (1985).

Zusätzlich werden die jeweiligen Wärmeübergänge im Fall der turbulenten Flüsse von sensibler und latenter Wärme durch die Windgeschwindigkeit gesteuert. Bei geringen Luftbewegungen haben Änderungen der Windgeschwindigkeiten die größten Auswirkungen auf den Wärmehaushalt. Der Einfluß des turbulenten Transports ist um ein vielfaches größer als der diffuse Transport. Meistens wird durch die Energieflüsse Wärme abgeführt, allerdings kann bei direkter Sonneneinstrahlung auch Wärme zugeführt werden.

Um thermisches Gleichgewicht zu erhalten, muß der menschliche Organismus die durch Stoffumsatz und mechanische Leistung gebildete Wärme vollständig an seine Umgebung abgeben. Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik sind unter stationären Bedingungen die aufgenommenen Energiemengen gleich den abgegebenen Energiemengen. Daraus ergibt sich die Bilanzgleichung der Energieflüsse:

$$M + W + Q_{shiv} + Q^* + Q_h + Q_l + Q_{sw} + Q_{re} + N + S = 0 \quad (1.1)$$

mit folgenden Größen in der Einheit *Watt*:

M = Metabolische Rate der Wärmeproduktion

W = Mechanische Leistung

Q_{shiv} = Reaktive Wärmebildung durch Kälte

Q^* = Strahlungsbilanz

Q_l = Fluß fühlbarer Wärme

Q_{sw} = Fluß latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion

Q_{re} = Fluß latenter Wärme durch Verdunstung von Schweiß

N = Wärmeübertragung durch Nahrungsaufnahme

S = Nettowärmespeicher

1.3 Die Behaglichkeitsgleichung nach FANGER

Trotz großer Schwankungsbreiten der meteorologischen Einflußgrößen ermöglichen die Thermoregulationsmechanismen des menschlichen Organismus einen Ausgleich der Wärmebilanz. Ein Diskomforterlebnis kann sich dabei durchaus einstellen. Als objektives Maß für die Belastung der Thermoregulation und dem subjektiven Empfinden werden der Benetzungsgrad der Haut durch Schweiß und die Hauttemperatur verwendet. Bei thermischem Komfort dürfen sich diese beiden Größen nur in einem bestimmten Bereich bewegen. Dabei besteht eine lineare Beziehung zwischen der inneren Wärmeproduktion H und der mittleren Hauttemperatur t_{sk} bzw. der Schweißproduktion SW .

$$H \sim t_{sk}, SW \quad (1.2)$$

KALT	WARM
$t_{sk} < 29 \text{ }^\circ\text{C}$ $Q_{shiv} > 0$	$t_{sk} > 35 \text{ }^\circ\text{C}$ $SW > SWB$ $B_{sk} > 25 \text{ \%}$
T_{sk} = mittlere Hauttemperatur SW = Schweißrate SWB = mittlere Schweißrate bei Komfort B_{sk} = Hautbenetzungsgrad Q_{shiv} = reaktive Wärmebildung	

Tab. 1.2: Kriterien für thermischen Diskomfort.

Mit der Energiebilanzgleichung und dieser linearen Beziehung entwickelte *Fanger* (1972) die Behaglichkeitsgleichung (Komfortgleichung) für den menschlichen Organismus, um im Bereich der Heizungs- und Lüftungstechnik die Innenraumverhältnisse zu beschreiben. Bei Diskomfort ist die Summe über alle Terme in der Bilanzgleichung ungleich Null. Folgende Größen gehen in die Behaglichkeitsgleichung ein:

H/A_{DU} = Innere Wärmeproduktion pro Oberfläche eines Einheitskörpers in Wm^{-2}

E_{SW}/A_{DU} = Wärmeverlust über die Oberfläche eines Einheitskörpers in Wm^{-2}

I_{cl} = Wärmeisolation der Bekleidung in $K m^2 W^{-1}$

t_l = Lufttemperatur in $^\circ\text{C}$

t_{mrt} = mittlere Strahlungstemperatur in $^\circ\text{C}$

t_{sk} = mittlere Hauttemperatur in $^\circ\text{C}$

e = Wasserdampfdruck der Luft in hPa

v_r = Relative Windgeschwindigkeit in $m s^{-1}$

Durch die lineare Beziehung zwischen der inneren Wärmeproduktion und der Hauttemperatur bzw. der Schweißrate können die Größen t_{sk} und E_{SW} ersetzt werden. Die Behaglichkeitsgleichung in allgemeiner Form erhält man dann durch Einsetzen der meteorologischen Größen (t_l, t_{mrt}, e, v_r) und den nichtmeteorologischen Größen ($I_{cl}, H/A_{DU}$).

$$PMV = fct(I_{cl}, H/A_{DU}, t_l, t_{mrt}, e, v_r)$$

Den berechneten Wert aus der Behaglichkeitsgleichung nennt man *PredictedMeanVote* (*PMV*) und ist dimensionslos. Mit Hilfe von Untersuchungen an 1300 Personen konnte eine Beziehung zwischen dem *PMV* und dem (subjektiven) Empfinden hergestellt werden. Das *PMV* ist also eine Einschätzung der thermischen Umgebung von einer größeren Anzahl von Personen. Negative Werte bedeuten Kältereize, positive Werte bedeuten

Wärmebelastung. In SI-Einheiten lautet dann die vollständige *PMV*-Gleichung folgendermaßen:

$$PMV = (0.028 + 0.303 \cdot e^{-M/A_{DU}}) \cdot (H/A_{DU} - E_D - E_{SW} - E_{re} - L - R - C) \quad (1.3)$$

Der erste Klammerausdruck ist ein empirischer Wichtungsfaktor, mit der die Wärmebilanzgleichung an die psycho-physische ASHRAE-Skala angepaßt wird. Alle folgenden Terme besitzen die Einheit Wm^{-2} und beziehen sich auf eine Einheitsfläche (A_{DU} in m^2).

- Innere Wärmeproduktion
 $H/A_{DU} = M/A (1 - \eta)$
- Wasserdampfdiffusion durch die Haut
 $E_d = 0.305 \cdot (57.3 - 0.07 \cdot H/A_{DU})$
- Verdunstung von Schweiß auf der Hautoberfläche
 $E_{SW} = 0.42 \cdot (H/A_{DU} - 58)$
- latenter Wärmeverlust durch Atmung
 $E_{re} = 0.0017 \cdot M/A_{DU} \cdot (58.7 - e)$
- trockener Wärmeverlust durch Atmung
 $L = 0.0014 \cdot M/A_{DU} \cdot (34 - t_l)$
- Strahlungswärmeverlust
 $R = 3.95 \cdot 10^{-8} f_{cl} (t_{cl}^4 - t_{mrt}^4)$
- Wärmeverlust durch Konvektion
 $C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_l)$

Die Größe h_c beschreibt den Einfluß der Konvektion:

$$h_c = \begin{pmatrix} 2.05 \sqrt[4]{t_{cl} - t_l} & \text{freie Konvektion} \\ 12.1 \sqrt{v_r} & \text{erzwungene Konvektion} \end{pmatrix}$$

M ist die gesamte durch Oxidationsprozesse im Körper freigesetzte Energie. Sie unterscheidet sich von der inneren Wärme H nur noch durch den Faktor W der mechanischen Energie. ($M = H + W$, mechanischer Wirkungsgrad $\eta = W/M$)

Die Oberflächentemperatur t_{cl} ist von der mittleren Hauttemperatur t_{sk} , der Wärmeisolation der Bekleidung I_{cl} und von den Wärmeflüssen durch Strahlung R und Konvektion C abhängig:

$$t_{cl} = t_{sk} - 0.155 \cdot I_{cl}(R - C) \quad (1.4)$$

Diese Gleichung wird durch das Newtonsche Näherungsverfahren mit der Lufttemperatur t_l als nullter Näherung für t_{cl} gelöst mit $I_{cl} = 0.75 clo$ ($1 clo = 0.155 m^2 K W^{-1}$). Die mittlere Hauttemperatur erhält man durch die empirisch gewonnene Zahlenwertgleichung:

$$t_{sk} = 35.7 - 0.0273 \cdot H/D_{DU} \quad (1.5)$$

Die mittlere Strahlungstemperatur t_{mrt} wird über die Eigenschaften und Abmessungen der strahlenden Oberflächen unter Berücksichtigung der Orientierung und der Körperhaltung der betrachteten Person berechnet.

1.4 Die Strahlungsflüsse

Die Strahlung spielt in der Wärmebilanz der Körperoberfläche eine wichtige Rolle. Bei Raumtemperaturen um $20^\circ C$ erfolgt die Wärmeabgabe zur Hälfte über die Abstrahlung. Bei bestimmten meteorologischen Bedingungen kann es auch zu einem Wärmegewinn kommen. In die Bilanz der Strahlungsflüsse gehen die direkte, diffuse und reflektierte kurzwellige Sonnenstrahlung, die langwellige Infrarotstrahlung der Oberflächen und Umgebung, und die Gegenstrahlung der Atmosphäre ein. Da nur an wenigen synoptisch-klimatologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes Messungen der Globalstrahlung und der direkten Sonnenstrahlung durchgeführt werden, wurde ein für bioklimatologische Zwecke ausreichendes Strahlungsmodell entwickelt (Jendritzky et al., 1979). Dieses Modell benötigt als Input nur vorhandene meteorologische Daten. Die folgenden Strahlungsflüsse besitzen alle die Einheit Wm^{-2} .

1.4.1 Die direkte Sonnenstrahlung

Über die Bouguer-Lambertsche Formel kann die Intensität der direkten Sonnenstrahlung berechnet werden. Auf eine horizontale Fläche bezogen lautet diese Formel:

$$I = I_o \cdot e^{-\delta_R T m} \quad (1.6)$$

mit der Solarkonstanten $I_o = 1368 Wm^{-2}$, dem Trübungsfaktor T nach *Linke* und der integralen optischen Dicke δ_R für die staub- und wasserdampffreie Atmosphäre (*Kasten*, 1980):

$$\delta_R = 1/(0.9m + 9.4)$$

Die optische Weglänge m wird folgendermaßen berechnet (*Kasten*, 1966):

$$m(\gamma) = \frac{c}{\sin\gamma + 0.15 \cdot (\gamma + 3.9)^{-1.253}}$$

mit dem Korrekturfaktor $c = p_i/p_o$ bei Abweichungen vom Normaldruck $p_o = 1013.25 \text{ hpa}$.

Der Höhenwinkel γ ergibt sich aus der Gleichung:

$$\gamma = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos t$$

mit der geographischen Breite φ , der Deklination δ und dem Stundenwinkel t mit

$$t = 15 \cdot (TZ - 12) + \lambda + Z/4.$$

Dabei ist TZ die Tageszeit UTC, λ die geographische Länge und Z die Zeitgleichung, mit der die Differenz zwischen der wahren Ortszeit WOZ und der mittleren Ortszeit MOZ bestimmt wird.

1.4.2 Die diffuse Sonnenstrahlung

Die diffuse Sonnenstrahlung D wird über ein empirisches Verfahren nach *Valko*, (1966) berechnet:

$$D = D(\gamma, B, J, N, N_h)$$

mit dem Höhenwinkel der Sonne γ , dem Trübungskoeffizienten B nach *Schuepp*, J der Jahreszeit, N der Menge der Wolken im unteren und mittleren Niveau, und N_h der Menge der Cirren. N und N_h werden in Zehnteln angegeben. Die vollständige Formel lautet:

$$D = J (D_R + D_B)(K_N + K_{N_h} - 1) \quad (1.7)$$

mit $K_N = 0.89 + 0.11 \cdot 10^{0.17N}$ und $K_{N_h} = 1 + 0.035 \cdot N_h$.

Die diffuse Himmelsstrahlung wird über die Rayleigh-Streuung D_R und über die Dunststreuung D_B bestimmt:

$$D_R = 39.78 \cdot (\sin\gamma)^{0.35}$$

$$D_B = 2.6 \cdot (\sin\gamma)^{0.66} \cdot (10^3 \cdot B - 12)^{0.81}$$

Der Koeffizient J für die vier Jahreszeiten wird mit dem folgenden Ansatz über die julianischen Tage M kontinuierlich dargestellt.

$$J = 1 + 0.11 \cdot \cos((M - 15) \cdot 2\pi/365)$$

1.4.3 Die Reflexstrahlung

Unter der Annahme, daß die diffuse Sonnenstrahlung D isotrop ist, also keine bevorzugte Streurichtung vorliegt, muß die Einfallrichtung nur bei der direkten Sonnenstrahlung I berücksichtigt werden. Die Reflexstrahlung R ergibt sich dann mit der Albedo α :

$$R = \alpha \cdot (D_R + D_B) \quad (1.8)$$

1.4.4 Die atmosphärische Gegenstrahlung

Über die Angströmsche Formel mit der Stefan-Boltzmann-Konstante σ wird die langwellige Gegenstrahlung A der Atmosphäre erfaßt.

$$A = \sigma T_l^4 \cdot (a - b \cdot 10^{ce}) \quad (1.9)$$

mit den Konstanten $a = 0.82$, $b = 0.25$ und $c = 0.00945$ von *Falkenberg und Bolz* (1949), $\sigma = 5.6696 \cdot 10^8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. Dabei ist T_l die Lufttemperatur und e der Wasserdampfdruck. Die Bewölkung wird über einen Korrekturfaktor c von *Bolz und Fritz* (1950) berücksichtigt:

$$C = 1 + kw^{2.5}$$

mit der Wolkenart

$$k = \begin{pmatrix} 0.06 \text{ für hohe} \\ 0.18 \text{ für mittelhohe} \\ 0.24 \text{ für niedrige Wolken} \end{pmatrix}$$

und dem Bedeckungsgrad w in Zehntel.

1.4.5 Die Infrarotstrahlung der Umgebungsflächen

Nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz hängt die langwellige Strahlung E von der Oberflächentemperatur T_s , die sich aufgrund der Bilanz der Energieflüsse einstellt, ab.

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (1.10)$$

Da T_s nicht routinemäßig gemessen wird, muß sie unter bestimmten Annahmen über die Bilanzgleichung der Energieflüsse bestimmt werden.

$$(I + D) \cdot (1 - \alpha) + (A - E) + B + H \cdot (1 + 1/Bo) = 0$$

I , D , A und E ergeben sich aus den vorangegangenen Gleichungen 1.6 bis 1.9. Das Bowenverhältnis Bo ist landnutzungsabhängig und wird mit 0.8 für Land- und Forstwirtschaft, 1.3 für Siedlungen und 0.1 für Wasser festgelegt. Der Bodenwärmestrom wird über die Strahlungsbilanz Q bestimmt mit $B = -0.19$ ($Q > 0$) und $B = -0.32$ ($Q \leq 0$).

Der Strom fühlbarer Wärme H ergibt sich aus der Differenz zwischen Luft- und Oberflächentemperatur und dem Wärmeübergangskoeffizienten α_l , der nur von der Windgeschwindigkeit v abhängig ist.

$$\alpha_l = 6.2 + 4.26 \cdot v$$

1.4.6 Die Trübung

Aerosole verursachen durch Streuung und Absorption eine Trübung der direkten Sonnenstrahlung. Sie bewirkt also neben der Rayleigh-Streuung und der Adsorption an Wasserdampf, Ozon und Sauerstoff eine Schwächung der direkten Strahlung. Die Trübung wird mit dem Linkeschen Trübungsfaktor B beschrieben. Der Strahlungsverlust durch die Trübung führt zu 80 % zu einem Anstieg der diffusen Himmelsstrahlung. Der Jahresgang und die Höhenabhängigkeit können als Funktion der julianischen Tage M und des Luftdrucks p_i dargestellt werden:

$$T = a \cdot (1 + 0.2 \cdot \sin(2\pi \cdot (M/365 - 0.25))) \quad (1.11)$$

mit $a = e^{(bc)-1}$, $b = \ln(T_i + 1)$, $c = p_i/p_o$.

Die Umrechnung in den Linkeschen Trübungsfaktor erfolgt für $T \geq 1.7$ folgendermaßen (Valko, 1966):

$$B = (52 \cdot T - 86) \cdot 10^{-3} \quad (1.12)$$

1.4.7 Die Bewölkung

Einen großen Einfluß auf die Abschattung der direkten Sonnenstrahlung hat die Bewölkung. Die Abschattung ist abhängig von Transparenz, Struktur und Menge der Bewölkung und der Sonnenhöhe. Durch die große Fülle der Wolkenarten kann nur eine grobe Abschätzung vorgenommen werden. Die Bewölkung wird in zwei Gruppen eingeteilt. Die eine Gruppe enthält nur die hohen Wolken (Cirren), in der anderen Gruppe befinden sich die niederen und mittelhohen Wolken. Cirrusbewölkung bewirkt meist nur eine Abschwächung der direkten Sonnenstrahlung, während in der zweiten Gruppe Sonnenhöhe und Wolkenform die bestimmenden Parameter sind. Die Korrekturfaktoren C und C_h für die Abschwächung im Flächenmittel berücksichtigen diese strukturellen Unterschiede. Aufgrund der Datengrundlage stellen diese Korrekturfaktoren nur eine hinreichende Lösung für die Beantwortung der primären Fragestellung Sonne/Schatten - ja/nein dar. Anhand der Daten wird durch einen geeigneten Ansatz auf einen neuen Gesamtbedeckungsgrad und eine charakteristische Bewölkungsart in bezug auf niedrige und mittelhohe Bewölkung geschlossen und dabei der vermutliche Anteil an hoher Bewölkung bestimmt.

Die Abschattung durch die niedrige und mittelhohe Bewölkung wird als Funktion der Sonnenhöhe γ , des Bedeckungsgrades N in Zehntel und der Wolkenform h durch folgenden Korrekturfaktor beschrieben (*Jendritzky et al.*, 1979):

$$C = 1 - (N + 0.6366 \cdot \sqrt{N} \cdot h / \tan \gamma) \quad (1.13)$$

Dabei ist h das Verhältnis von Höhe zu Breite der Wolken. Für niedrige cumuliforme Bewölkung ist $h = 1.0$, für mittelhohe Bewölkung ist $h = 0.3$.

Nach *Schultze* (1970) wird bei vollständiger Bedeckung des Himmels mit Cirren von einer Abschwächung der direkten Sonnenstrahlung um 70 % ausgegangen. Daraus ergibt sich dann die Abhängigkeit der Abschwächung in Folge des Bedeckungsgrades N_h zu

$$C_h = 1 - 0.5 \cdot N_h - 0.2 \cdot N_h^4. \quad (1.14)$$

1.5 Die mittlere Strahlungstemperatur

Die mittlere Strahlungstemperatur ist gleich der einheitlichen Temperatur einer schwarzstrahlenden Umgebung bzgl. festgelegter Körperhaltung und Bekleidung, bei der der gleiche Strahlungsgewinn oder Verlust auftritt wie unter aktuellen Bedingungen.

Die mittlere Strahlungstemperatur t_{mrt} beschreibt die Wirkung der einzelnen Strahlungsflüsse auf den Menschen. Die Strahlungsflüsse sind von den Abmessungen und Eigenschaften der Oberflächen bzw. des Himmels abhängig. Zusätzlich spielen die räumliche Orientierung und die Körperhaltung des Menschen eine große Rolle.

Wachsende Sonnenhöhe und abnehmender Bedeckungsgrad führen zu einem Anstieg der mittleren Strahlungstemperatur gegenüber der Lufttemperatur. Bei zunehmender Bewölkung bis $N = 7$ wird dieser Anstieg mit wachsender Sonnenhöhe gedämpft. Erst bei stärkerer Bewölkung steigt die mittlere Strahlungstemperatur aufgrund der atmosphärischen Gegenstrahlung wieder schneller an. Direkte Sonnenstrahlung bewirkt eine starke Zunahme von t_{mrt} . Dabei ist zu beachten, daß sich die direkt bestrahlte Fläche des Menschen verringert (siehe Abb. 1.4).









Azimut α	Sonnenhöhe γ			
	0°	30°	63°	90°
0°				
90°				

Abb. 1.4: Darstellung der von direkter Sonnenstrahlung bestrahlten Oberfläche eines stehenden Menschen in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe γ und dem Azimutwinkel α nach *Underwood und Ward* (1966).

Bei der Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur t_{mrt} wird die gesamte Umgebung des Menschen in n isotherme Oberflächen mit den entsprechenden Oberflächentempera-

turen t_i und den Emissionskoeffizienten ε_i eingeteilt. Dabei geht man bei jeder Fläche von einer kurz- und einer langwelligen diffusen Strahlung aus:

$$B_i = \varepsilon_i \sigma t_i^4 + D_i$$

Zusätzlich wird jeder Fläche ein Gewichtungsfaktor F_{p-i} zugeordnet, der den Raumwinkelanteil angibt. Die Bestimmung der Raumwinkelanteile (Winkelfaktoren) sowie die daraus abgeleitete Definitionsgleichung für die mittlere Strahlungstemperatur wird bei *Fanger* (1972) ausführlich beschrieben. Die daraus abgeleitete Definitionsgleichung lautet folgendermaßen:

$$\varepsilon_p \sigma (t_{mrt}^4 - t_{cl}^4) = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_p \varepsilon_i t_i^4 + \alpha_{ir} D_i) F_{p-i} - \varepsilon_p \sigma t_{cl}^4$$

mit der Stefan-Boltzmann-Konstante σ , der langwelligen Emissionszahl ε_p der Bezugsperson und der Oberflächentemperatur t_{cl} der Haut bzw. der Bekleidung. D_i wird aus der diffusen Sonnenstrahlung und der reflektierten diffusen Globalstrahlung gebildet. Dabei ist α_{ir} der kurzwellige Absorptionskoeffizient der bestrahlten Körperoberfläche mit

$$\alpha_{ir} = 1 - \textit{Albedo}.$$

Die Strahlungsbilanz der Körperoberfläche ist also gleich der Differenz aus der Summe der von den einzelnen Umgebungsflächen empfangenen Strahlungsflüsse B_i und der Emission an der Körperoberfläche. Daraus folgt dann die mittlere Strahlungstemperatur:

$$t_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i t_i^4 + \alpha_{ir} D_i / (\varepsilon_p \sigma)) F_{p-i}} \quad (1.15)$$

Die langwelligen Emissionszahlen ε_p für nichtmetallische Oberflächen liegen zwischen 0.85 und 1.00.

Bei direkter Sonnenstrahlung erhöht sich die mittlere Strahlungstemperatur:

$$t_{mrt}^* = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n (t_{mrt}^4 + f_p \alpha_{ir} I / (\varepsilon_p \sigma))} \quad (1.16)$$

mit der Bestrahlstärke I der Sonne und dem *projected area factor* f_p , der eine Funktion der Einstrahlrichtung und der Körperhaltung ist. Aus Tabellenwerten erhält man folgenden empirischen Ansatz für f_p :

$$f_p = 0.308 \cdot \cos((0.998 - \gamma^2/50000) \cdot \gamma)$$

1.6 Das Klima-Michel-Modell

Das Klima-Michel-Modell (KMM) ist ein biometeorologisches Analyse- und Bewertungsverfahren. Aus Kombination der Komfortgleichung (*Fanger*, 1972), dem Strahlungsmodell mit der mittleren Strahlungstemperatur (t_{mrt}) für Freilandverhältnisse (*Jendritzky et al.*, 1979) und standardisierenden Eigenschaften erfüllt es die wichtigen Forderungen des physiologischen Bezugs und der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Die nichtmeteorologischen Größen werden standardisiert, um einen räumlichen und zeitlichen Vergleich zu ermöglichen.

Der physiologische Bezug erfolgt über die Anbindung des *PMV* an die ASHRAE-Skala. Dabei spielt es keine Rolle, aus welchen Kombinationen der Eingangsgrößen das *PMV* gewonnen wird. D.h.: gleiche *PMV*-Werte bedeuten also physiologisch gesehen auch das Gleiche. Allerdings müssen bestimmte Annahmen über die nichtmeteorologischen Größen gemacht werden, da Bekleidung und Aktivität des Menschen einen Einfluß auf die Bedingungen der Wärmeabgabe haben. Durch Komforterlebnisse motiviert, wird von einem vernünftigen Verhalten des Menschen ausgegangen. Thermische Behaglichkeit kann bei bestimmten Verhältnissen (Schonklima) allein durch angepaßte Kleidung (0.5 - 2.0 *clo*) und Aktivität (100 - 300 *W*) erreicht werden. Über die Definition des Norm-Menschen (Klima-Michel) werden folgende Größen vereinbart: Der Klima-Michel ist männlich, 35 Jahre alt, 1.75 *m* groß, wiegt 75 *kg*, und seine Oberfläche beträgt 1.91 *m*². Der Emissionskoeffizient ε_p der Bekleidung bzw. der Haut beträgt 0.97. Die Farbe und Struktur der Bekleidung wird mit dem kurzwelligen Absorptionskoeffizienten $\alpha_{ir} = 0.7$ abgeschätzt. Folgende meteorologische und geophysikalische Variablen gehen in das Klima-Michel-Modell ein:

- Lufttemperatur
- Wasserdampfdruck
- Windgeschwindigkeit in 1 *m* Höhe
- Art und Bedeckungsgrad der Bewölkung
- atmosphärische Trübung
- Solarkonstante
- Ortskoordinaten, Datum und Uhrzeit
- Raumwinkelanteile der Umschließungsflächen
- Albedo und Emissionskoeffizienten der Umschließungsflächen

Der Klima-Michel repräsentiert nur das mittlere Empfinden einer größeren Gruppe von Personen. Die Variabilität des einzelnen Menschen wird durch die Standardisierung nicht eliminiert. Abb. 1.5 stellt den Zusammenhang zwischen dem PMV und der Prozentzahl der Personen eines größeren Kollektivs, die sich im Diskomfort befinden, dar. Mit zunehmendem Betrag des PMV nimmt der Prozentsatz der Diskomfort-Empfindenden zu. Bemerkenswert ist, daß sich bei Behaglichkeit ($PMV = 0$) trotzdem 5 % der Personen im Diskomfort befinden. Dagegen empfinden noch 25 % der Personen bei extremen Bedingungen ($PMV = \pm 2$) Komfort. PMV -Werte, die größer ± 2 betragen, müssen vorsichtig interpretiert werden. Gerade bei starker Wärmebelastung hat abtropfender Schweiß keine Wirkung mehr auf den Abtransport latenter Wärme von der Hautoberfläche.

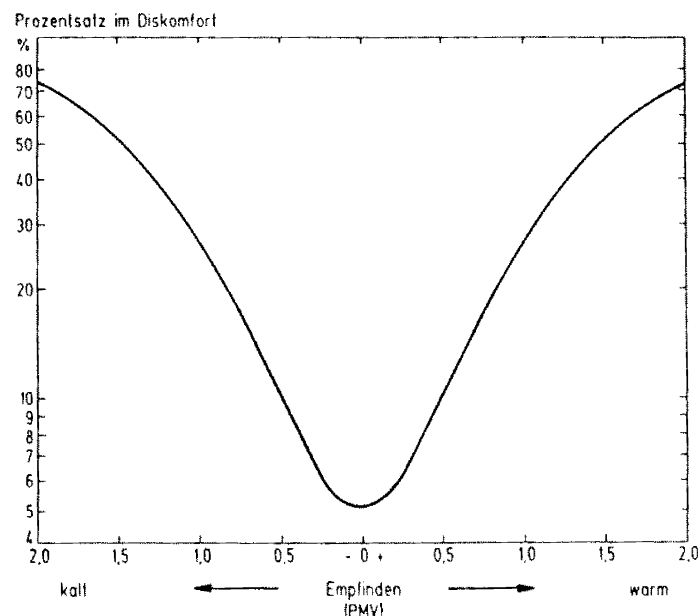


Abb. 1.5: Prozentsatz von Personen im Diskomfort als Funktion des errechneten Empfindens (PMV) auf einer psycho-physischen Skala nach *Fanger* (1972).

1.7 Die gefühlte Temperatur

Die gefühlte Temperatur (*perceived temperature*) ist eine thermo-physiologische Bewertungsgröße für Wärmebelastung und Kältestreß unter Freilandbedingungen mit der Einheit $^{\circ}C$. Sie wurde Mitte der 90er Jahre vom Deutschen Wetterdienst eingeführt und basiert auf dem im Kapitel 1.6 beschriebenen Klima-Michel-Modell.

Definition: *“Die gefühlte Temperatur gt ist die Temperatur einer Standardumgebung mit mittlerer Strahlungstemperatur t_{mrt} gleich der Umgebungstemperatur und einer auf leichten Zug reduzierten Windgeschwindigkeit, bei der der gleiche PMV-Wert auftritt, wie unter aktuellen Außenbedingungen. Dabei entspricht die Standardumgebung einem ausgedehnten Wald mit dichtem Bestand und völliger Abschattung der Sonneneinstrahlung durch Bäume. In der Standardumgebung herrscht der gleiche Wasserdampfdruck wie unter den aktuellen Außenbedingungen. Falls die Temperatur in der Standardumgebung unter die Taupunkttemperatur fällt, wird von Wasserdampfsättigung ohne Nebelbildung ausgegangen. Die Standardperson leistet eine Arbeit von 172.5 W. Dies entspricht einem Gehen von ca. 4 km h⁻¹. Um thermischen Komfort herzustellen, kann der Isolationswert durch entsprechende Wahl der Bekleidung durch die Person zwischen 0.5 clo und 1.75 clo schwanken. Der Isolationswert $I_{cl} = 0.5$ clo entspricht leichter sommerlicher Kleidung, ein Geschäftsanzug mit schweren Schuhen und einen Wintermantel entspricht einem Wert von $I_{cl} = 1.75$ clo.“ (Staiger et al., 1997).*

Die gefühlte Temperatur wird iterativ über das Klima-Michel-Modell berechnet und ist auf ein PMV von ± 0.05 genau. Die Standardabweichung beträgt ± 0.52 K. Über das PMV ist eine direkte Zuordnung der gefühlten Temperatur an die Skala der Beanspruchung des Thermoregulationssystems (ASHRAE-Skala) durch die thermische Umgebung möglich. In Tab 1.3 ist die Zuordnung der gefühlten Temperatur gt an die ASHRAE-Skala dargestellt. Bei gefühlten Temperaturen zwischen 0 °C und 20 °C ($PMV = 0$) ist durch die Wahl der Bekleidung und angepaßtes Verhalten thermischer Komfort möglich. Oberhalb 20 °C nimmt mit einer Zunahme der gefühlten Temperatur auch die Wärmebelastung zu. Eine Abnahme der gefühlten Temperatur unterhalb 0 °C bedeutet eine Zunahme der Belastung der Thermoregulationsmechanismen durch Kälte.

Unter warmen sommerlichen Bedingungen steigt die gefühlte Temperatur schneller als die Lufttemperatur an, sie liegt somit meistens darüber. In Extremfällen kann die Differenz bis zu 15 K betragen. An Strahlungstagen und bei geringer Luftbewegung werden die höchsten Werte erreicht. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit verringert sich die gefühlte Temperatur. Windgeschwindigkeitsänderungen haben bei geringen Luftbewegungen den größten Einfluß auf den Wärmeübergang zwischen der Oberfläche der Haut oder Bekleidung und der Umgebung. Der Einfluß der Änderung nimmt mit zunehmenden Windgeschwindigkeiten ab. Liegt die Lufttemperatur über der Hauttemperatur, so kann durch konvektiven Transport fühlbare Wärme zugeführt werden. Eine Abkühlung kann dann nur noch durch den turbulenten Abtransport latenter Wärme erfolgen. Der Unterschied der gefühlten Temperaturen zwischen wolkenlosem und bedecktem Himmel beträgt bei niedrigen Windgeschwindigkeiten 8 bis 9 K.

Im Winter liegt die gefühlte Temperatur meist unter der Lufttemperatur. Besonders bei hohen Windgeschwindigkeiten und bedecktem Himmel kann die Differenz bis zu -16 K betragen. Direkte Sonneneinstrahlung kann diese Differenz verringern.

Gefühlte Temperatur in °C	Thermisches Empfinden	Physiologische Beanspruchung	Predicted Mean Vote
-39	sehr kalt	extremer Kältestreß	-3.5
-26	kalt	starker Kältestreß	-2.5
-13	kühl	mäßiger Kältestreß	-1.5
0	leicht kühl	schwacher Kältestreß	0
20	behaglich	Komfort möglich	↓ 0
26	leicht warm	schwache Wärmebelastung	1.5
32	warm	mäßige Wärmebelastung	2.5
38	heiß	starke Wärmebelastung	3.5
	sehr heiß	extreme Wärmebelastung	

Tab. 1.3: Zuordnung der gefühlten Temperatur gt an die Skala der Beanspruchung des Thermoregulationssystems durch das thermische Milieu (ASHRAE-Skala). Die Schwellenwerte entsprechen der VDI-Richtlinie 3787 (VDI 1998). Behaglichkeit ($PMV = 0$) ist zwischen 0 und 20 °C durch Variation der Bekleidung möglich.

Ein Vergleich der gefühlten Temperatur mit anderen Bewertungsgrößen erfolgte mit der Auswertung von über 400.00 Datensätzen der SYNOP-Meldungen von Freiburg, Rostock-Warnemünde und Feldberg im Schwarzwald (*Staiger et al.*, 1997). Die mittlere Strahlungstemperatur wurde bei allen Bewertungsgrößen mit dem Wärmebilanzmodell aus dem Klima-Michel-Modell bestimmt. Bei gleichen aktuellen meteorologischen Bedingungen liefern die physiologisch äquivalente Temperatur pet und die Outdoor Apparent Temperature t_{pvq} fast identische Werte wie die gefühlte Temperatur, da sie sich auf eine gleiche Standardumgebung beziehen.

Die physiologische Bewertung der Ergebnisse fällt allerdings unterschiedlich aus. Bei der physiologisch äquivalenten Temperatur wird von leichter Büroarbeit mit entsprechender nicht variierender Bekleidung ausgegangen. Das Klima-Michel-Modell erlaubt eine Anpassung an die thermischen Bedingungen mit Hilfe der Bekleidung. Deswegen werden 4 °C bei der physiologisch äquivalenten Temperatur schon mit Kältestreß bewertet, während bei 4 °C gefühlter Temperatur Komfort noch möglich ist. *Steadman* (1984) verzichtet auf eine physiologische Bewertung der Outdoor Apparent Temperature.

Kapitel 2

Datengrundlage und Analyse

Für die epidemiologische Längsschnittuntersuchung wurde der Datensatz der täglichen Todesfälle in Baden-Württemberg im Zeitraum von 1968 bis 1997 verwendet. Die Todesfalldaten und die Bevölkerungszahlen stellte das Statistische Landesamt Baden-Württemberg zur Verfügung. Die gefühlten Temperaturen von den einzelnen Stationen zu den entsprechenden Terminen lieferte der Deutsche Wetterdienst in Freiburg.

2.1 Die Bevölkerung

Zur Bevölkerung zählen alle Personen, die in Baden-Württemberg ihren ständigen Wohnsitz haben. Personen, die mehrere Wohnungen besitzen, werden der Bevölkerung der Gemeinde zugerechnet, in der sich ihr Hauptwohnsitz befindet. Nicht zur Bevölkerung zählen die Angehörigen der Stationierungstreitkräfte sowie der ausländischen diplomatischen und konsularischen Vertretungen mit ihren Familienangehörigen.

Die Bevölkerungszahlen werden auf der Grundlage der jeweils letzten allgemeinen Zählung der Bevölkerung nach den Ergebnissen der Statistik der natürlichen Bevölkerungsbewegung (Geburten und Sterbefälle) und der Wanderungsstatistik (Zu- und Fortzüge, Wechsel des Erstwohnsitzes und Änderung der Staatsangehörigkeit) fortgeschrieben. Die letzte Volkszählung fand am 25. Mai 1987 statt.

Da die Bevölkerungsfortschreibung an sehr enge Termine gebunden ist, muß die Aufbereitung der natürlichen Bevölkerungsbewegung jeweils an einem bestimmten Stichtag abgebrochen werden. Stark verspätet eingehende Zählkarten werden dann dem folgenden Monat zugeordnet. Für wissenschaftliche Zwecke bereitet daher das Statistische Landesamt seit 1987 die Daten der natürlichen Bevölkerungsbewegung jeweils am Jahresende genau nach dem Ereignistermin nochmals auf.

Für die Normierung der Todesfälle wurden jeweils die Bevölkerungszahlen vom 31. Dezember eines jeden Jahres herangezogen. Die Ermittlung der Bevölkerungszahlen zwischen

den einzelnen Stichtagen erfolgte durch lineare Interpolation. In Abb. 2.1 ist die Bevölkerungsentwicklung von Anfang 1968 bis Ende 1997 dargestellt. Von 1968 bis 1974 ist ein kontinuierlicher Zuwachs der Bevölkerung zu erkennen. Von 1974 bis Anfang 1989 bleiben die Bevölkerungszahlen fast konstant, wobei in manchen Jahren sogar ein leichter Rückgang zu verzeichnen ist. Auffallend ist der starke Anstieg der Bevölkerung seit 1989.

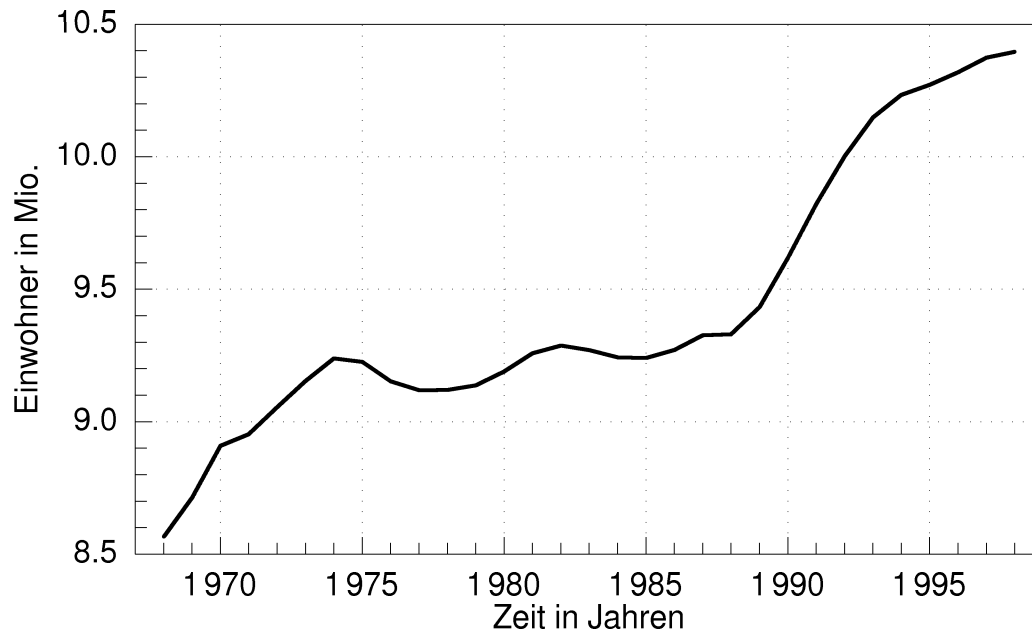


Abb. 2.1: Bevölkerungsentwicklung in Baden-Württemberg von 1968 bis 1997 (*Statistisches Landesamt Baden-Württemberg*).

2.2 Die täglichen Todesfälle

Die Datensätze der täglichen Todesfälle lagen in verschlüsselter Form (ICD: *International Classification of Diseases*) vor. In dieser Studie wurden die gesamten Todesfälle und die Todesfälle im Herz-Kreislaufbereich (ICD 390-459) und im Bereich der Atmungsorgane (ICD 460-519) berücksichtigt. Eine Klassifikation nach Alter und Geschlecht, wie sie in einigen früheren Studien (*Keatinge et al.*, 1989) und in der EUROWINTER-Studie (*The Eurowinter Group*, 1997) vorgenommen wurden, erfolgte nicht. Die 9. Revision (Aufnahme neuer Krankheiten) im Jahre 1979 wirkte sich auf die ausgewählten Todesursachen nicht aus. Die Aufschlüsselung der beiden Obergruppen VII und VIII und einige spezielle Todesursachen sind nachfolgend noch einmal näher dargestellt (*AOK-Gesundheitsatlas*, 1992):

VII. Krankheiten des Kreislaufsystems (390-459)

- **401-405** Hypertonie
- **410-414** Ischämische Herzkrankheiten
- **415-417** Krankheiten des Lungenkreislaufes
- **427** Herzrhythmusstörungen
- **428** Herzinsuffizienz
- **430-438** Störungen des zerebrovaskulären System
- **444** Arterielle Embolien und Thrombosen
- **451-457** Krankheiten der Venen und Lymphgefäße

VIII. Krankheiten des Atmungssystems (460-519)

- **460-466** Akute Infektionen der Atmungsorgane
- **470-478** Sonstige Krankheiten der oberen Luftwege
- **480-478** Pneumonie und Grippe
- **490-496** Chronische obstruktive Lungenkrankheiten
- **500-508** Lungenkrankheiten durch äußere Wirkstoffe
- **510-519** Sonstige Krankheiten der Atmungsorgane

Untersuchung der einzelnen Zeitreihen

Aufgrund der variablen Bevölkerung in Baden-Württemberg wurden die täglichen Todesfälle auf 100.00 Einwohner standardisiert. Dabei fielen bei einer ersten Untersuchung der Zeitreihen die teilweise sehr hohen Werte im Winter und die starken Schwankungen in den Jahren 1980 bis 1986 auf. Diese besonders auffälligen Abweichungen ließen sich auch bei den Zeitreihen der Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atmungsorganen wiederfinden (siehe Abb. 2.2).

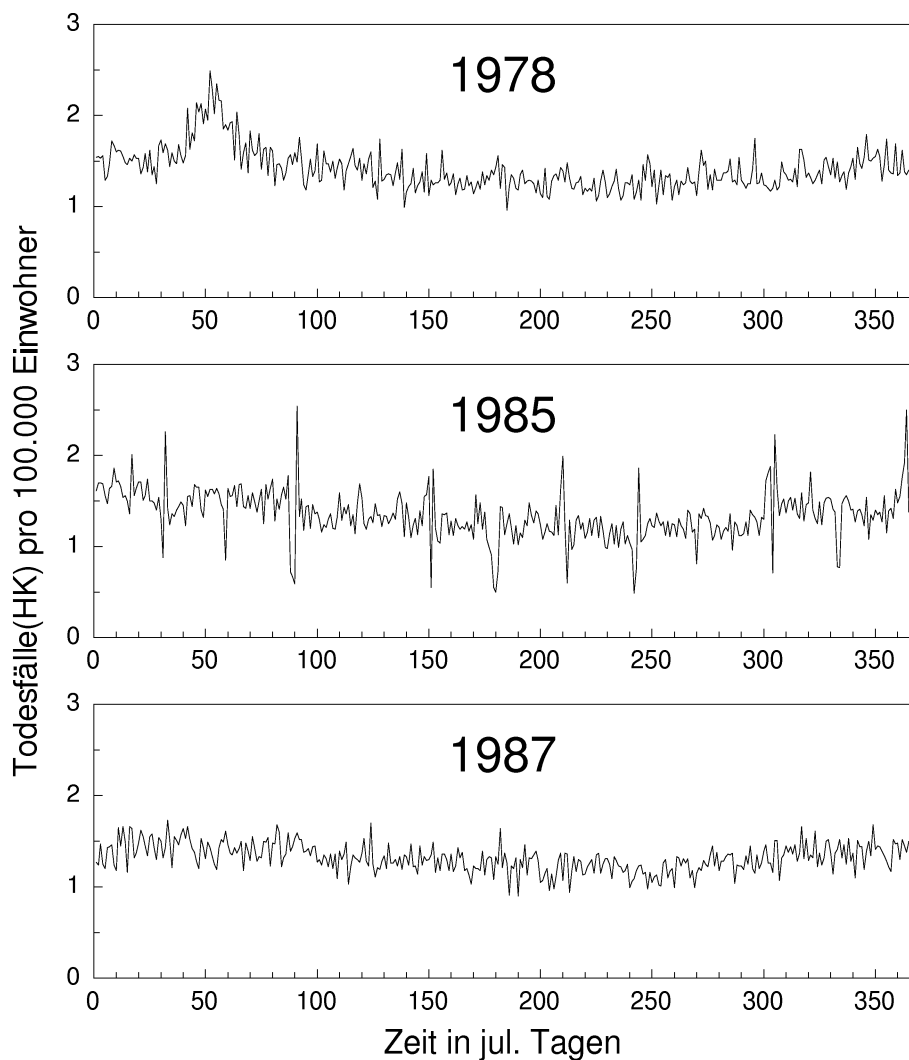


Abb. 2.2: Zeitreihen der Mortalitätsraten (Todesfälle pro 100.000 Einwohner) in Baden-Württemberg im Zeitraum von 1968 bis 1997. Darstellung der Gesamtmortalität MR_{Ges} , im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} und bei den Atmungsorganen MR_{At} .

Die hohen Werte im Winter (z.B.: Januar 1970) lassen sich auf Grippe-Epidemien zurückführen. In diesen Zeiträumen (ca. 3-6 Wochen) werden die Zahlen der Todesfälle überwiegend durch den vorherrschenden Grippevirus gesteuert. In Abb. 2.3 ist eine Grippewelle des Jahres 1978 dargestellt. Da sie bei den folgenden statistischen Untersuchungen die Ergebnisse stark beeinflussen, mußten sie mit einem speziellen Verfahren ersetzt werden. Zuerst erfolgte eine Tiefpaßfilterung der Zeitreihen, wobei über die Bereiche der Grippewellen linear interpoliert wurde. Danach wurde der hochfrequente Anteil aus den Originalzeitreihen in diesen Zeiträumen herausgefiltert und zu den interpolierten Werten addiert. Ein früherer Ansatz, die Grippewellen durch eine entsprechende Referenzserie zu ersetzen, ist nach einigen nicht erfolgversprechenden Versuchen abgebrochen worden.

Ein weiteres Phänomen waren die großen Fluktuationen in den Jahren 1980 bis 1986. Da fast alle auffälligen Werte außerhalb des 3σ -Bereiches lagen, wurden sie als Ausreißer bewertet. Die Berechnung der Standardabweichung erfolgte mit den auffälligen Werten. Eine genauere Betrachtung (siehe Abb. 2.3, 1985) zeigte niedrige Werte am Monatsende und ein Maximum am Monatsanfang. Eine Rückfrage beim Statistischen Landesamt ergab, daß verspätet eingegangene Totenscheine dem Folgemonat zugeordnet waren, um keine Widersprüche zwischen Datenbasis und veröffentlichten Summen zu erzeugen. Nach Angaben des Landesamtes ist diese Praxis seit 1987 eingestellt worden. Dieses Phänomen tauchte auch bei einer statistischen Untersuchung der Mortalitätsraten in Nordrhein-Westfalen auf (*Spix und Wichmann*, 1990).

Ein Korrekturverfahren, bei dem die fehlerhaften Daten an einen Trend um den Monatswechsel angepaßt werden, wobei sich die Summe der Mortalitätsraten nicht ändern sollte, scheiterte, da es bei der Erfassung der Totenscheine anscheinend auch zu Datumsverwechslungen (4.3. → 3.4.) gekommen ist. Eine falsche Erfassung der Daten in diesem Zeitraum während bestimmter Feiertage und Schulferien ist ebenfalls nicht auszuschließen.

Daraufhin wurden die fehlerhaften Daten durch Werte ersetzt, die durch lineare Interpolation der tiefpaßgefilterten Zeitreihen in den entsprechenden Zeiträumen gewonnen wurden.

Die Zeitreihe der Mortalitätsraten von 1987 in Abb. 2.3 dient zum Vergleich. Sie weist einen typischen gleichmäßigen Verlauf mit höheren Werten im Winter und niedrigeren Werten im Sommer auf. Die täglichen Schwankungen zeigen keine besonderen Abweichungen.

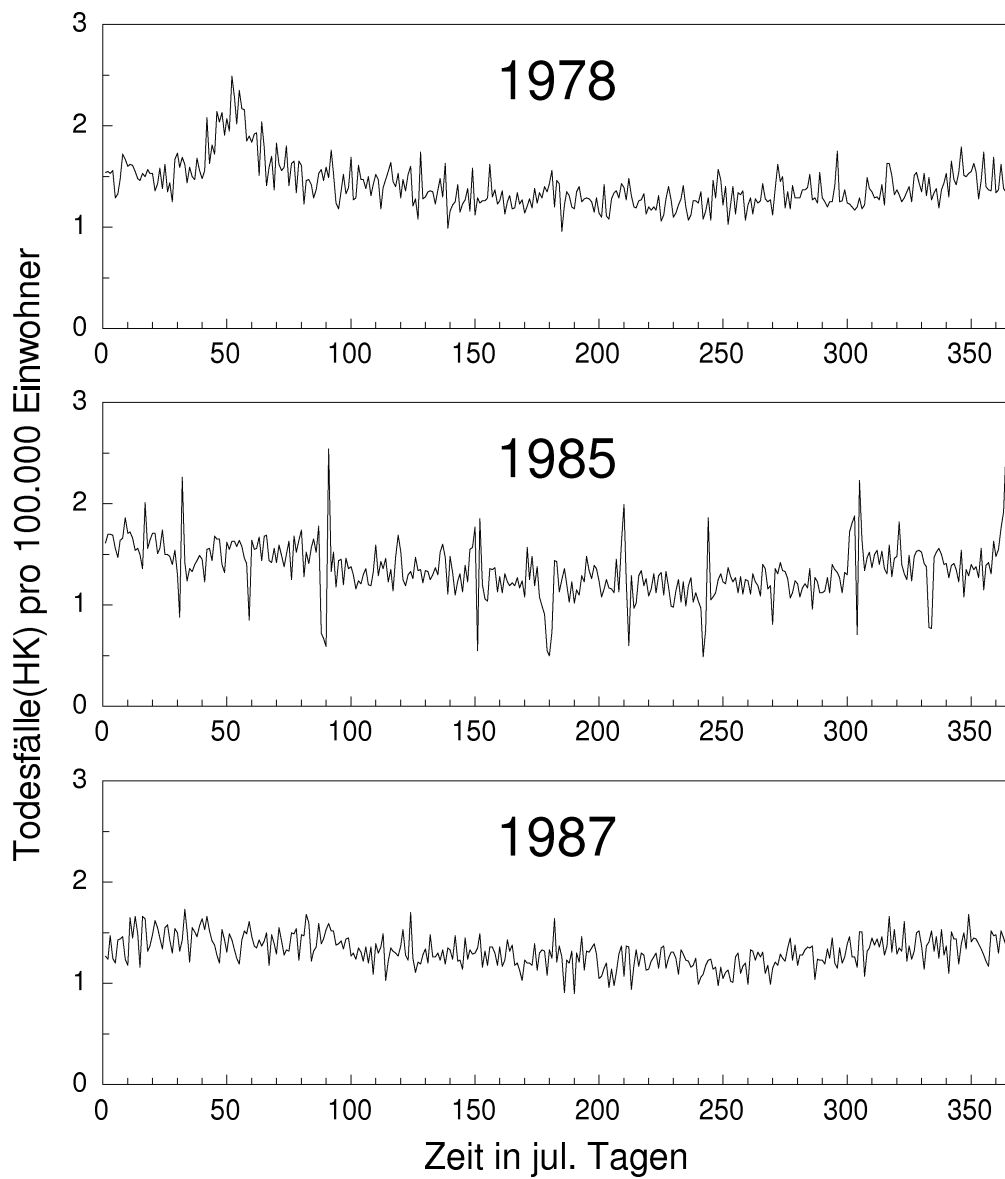


Abb. 2.3: Darstellung der täglichen Todesfälle pro 100.000 Einwohner im Herz-Kreislaufbereich für die Jahre 1978, 1985 und 1987. Die erste Abbildung zeigt den Verlauf einer Grippe-Epidemie am Anfang des Jahres. In der mittleren Abbildung sind die Buchungsfehler zum Monatswechsel gut zu erkennen. Zum Vergleich zeigt die unterste Abbildung ein Zeitreihe mit einem normalen Verlauf des Jahres 1987.

2.3 Die thermischen Bedingungen

Die thermischen Bedingungen wurden physiologisch relevant auf der Basis des Klima-Michel-Modells über die gefühlte Temperatur gt beschrieben (*Staiger et al.*, 1997). Dieses Verfahren wurde auf die Meß- und Beobachtungsdaten der SYNOP-Stationen des Deutschen Wetterdienstes Stuttgart, Karlsruhe, Freiburg und Konstanz angewendet. Um eine möglichst repräsentative Größe für ganz Baden-Württemberg zu erhalten, wurde eine Tagesmitteltemperatur aus den vier Stationen und den vier Hauptterminen 00.00, 06.00, 12.00 und 18.00 Uhr UTC gebildet. Diese Tagesmitteltemperatur wird im folgenden mittlere tägliche gefühlte Temperatur GT genannt.

Da die Datensätze der Stationen Freiburg, Karlsruhe und Konstanz nicht komplett waren, wurden fehlende Werte durch die geschätzten Werte einer berechneten Regressionsgeraden ersetzt. Als Referenzwerte sind die gefühlten Temperaturen von Stuttgart verwendet worden. Der dabei entstandene Fehler geht mit einem Gewicht von $1/16$ bei der Bildung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur ein. Abb. 2.4 (oben) zeigt die Streudiagramme der Station Karlsruhe in Abhängigkeit von Stuttgart zu den einzelnen Terminen. Die Berechnung der Ausgleichsgeraden erfolgte über die Methode der kleinsten Quadrate. In Tabelle 2.1 sind die entsprechenden linearen Korrelationskoeffizienten dargestellt.

Korrelationskoeffizienten				
Station	00.00 UTC	06.00 UTC	12.00 UTC	18.00 UTC
Freiburg	0.944	0.932	0.931	0.969
Karlsruhe	0.959	0.936	0.936	0.970
Konstanz	0.942	0.925	0.913	0.962

Tab. 2.1: Lineare Korrelationskoeffizienten r nach *Pearson* für die einzelnen Stationen zu den entsprechenden Terminen der gefühlten Temperaturen gt .

Bei einer früheren statistischen Untersuchung in Baden-Württemberg im Zeitraum 1968 bis 1993 ist die mittlere tägliche gefühlte Temperatur von Freiburg verwendet worden (*Jendritzky et al.*, 1997). Ein Vergleich dieser Temperatur (siehe Abb. 2.4 unten) mit der in dieser Arbeit verwendeten mittleren täglichen gefühlten Temperatur zeigt eine gute Übereinstimmung ($r = 0.992$). Für die folgenden statistischen Berechnungen können also ähnliche Ergebnisse erwartet werden.

2. Datengrundlage und Analyse

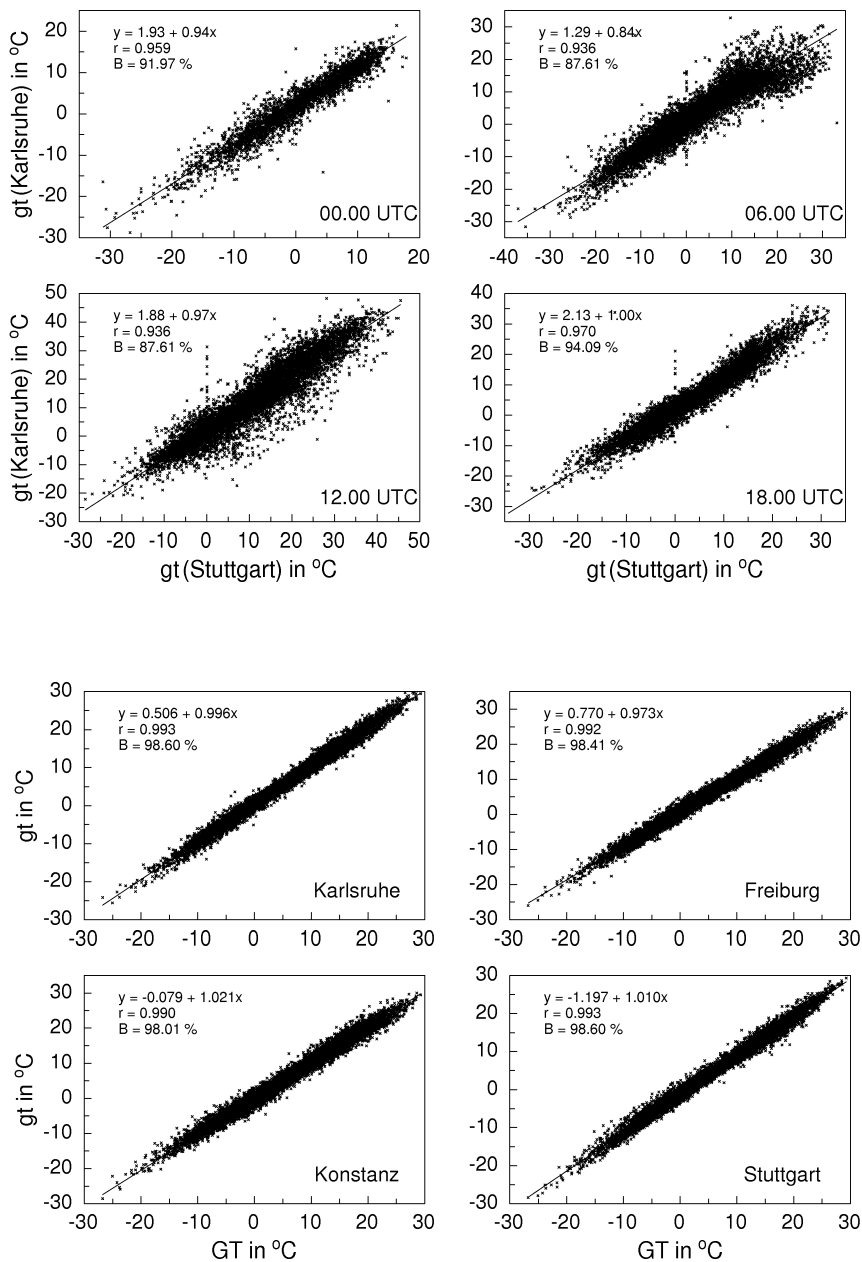


Abb. 2.4: Obere Abbildung: Streudiagramme der gefühlten Temperaturen gt in Karlsruhe in Abhängigkeit von den gefühlten Temperaturen gt in Stuttgart zu den vier Hauptterminen. Untere Abbildung: Streudiagramme der mittleren täglichen gefühlten Temperaturen gt der einzelnen Stationen in Abhängigkeit von der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT . Die Berechnung der Regressionsgeraden erfolgte nach der Methode der kleinsten Quadrate. Das Bestimmtheitsmaß B ist der prozentuale Anteil der erklärten Varianz.

2.4 Die Häufigkeitsverteilungen

Die Häufigkeitsverteilung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT zeigt zwei Maxima und entspricht damit nicht einer Normalverteilung. Die zweigipfelige Verteilung besitzt bei $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und bei $10.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ jeweils ein Maximum, obwohl der 30-jährige Mittelwert bei $5.52\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. Der Grund liegt in der kontinentalen Prägung des Klimas an den Stationen, wo sich die Übergangsphasen zwischen den extremen Jahreszeiten Sommer und Winter relativ rasch vollziehen.

Dagegen sind die Häufigkeitsverteilungen der Mortalitätsraten annähernd normal verteilt, wobei die Verteilungen der Mortalitätsraten eine Schiefe besitzen, die am deutlichsten bei den Atemwegserkrankungen ausgeprägt ist. Die 30-jährigen Mittelwerte der Gesamtmortalität (2.72), im Herz-Kreislaufbereich (1.3) und bei den Atemwegserkrankungen (0.17) liegen im Bereich der am häufigsten besetzten Klassen.

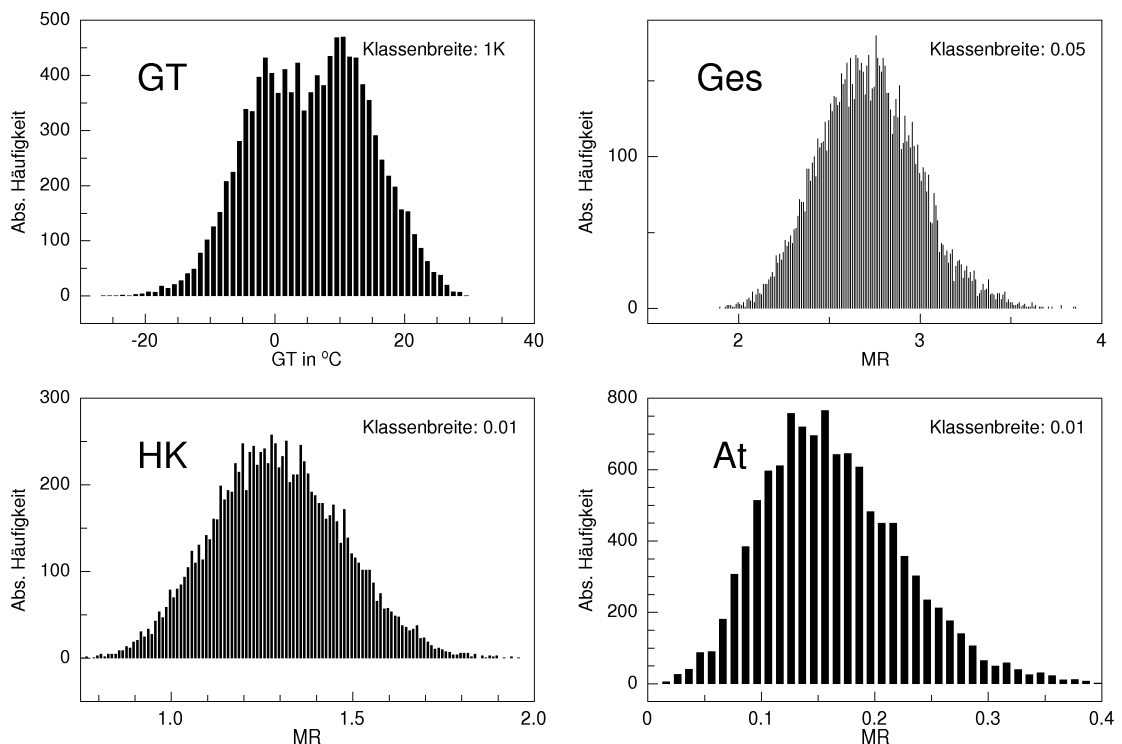


Abb. 2.5: Häufigkeitsverteilungen der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT , der Gesamtmortalität MR_{Ges} und den Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} und bei den Atemwegserkrankungen MR_{At} im Zeitraum von 1968 bis 1997 in Baden-Württemberg.

2.5 Der Jahresgang

Beim menschlichen Organismus zeigen eine Reihe von physiologischen und psychologischen Größen ein bestimmtes saisonales Verhalten, wie z.B. der Fibrinogen-Gehalt im Blut, jahreszeitlich bedingte Krankheiten oder die Anzahl der roten Blutkörperchen. Jahreszeitliche Schwankungen des Immunsystems, des Blutdrucks und die Zusammensetzung des Blutes scheinen neben der Ernährung (Vitaminmangel im Winter) einen Einfluß auf die Mortalitätsraten zu haben. Es wird angenommen, daß diese jahreszeitlichen Schwankungen durch den Jahresgang der Temperatur, des Niederschlages und der Sonnenscheindauer bestimmt werden (*Lerchl, 1998*). Der Einfluß der Luftverschmutzung wird ebenfalls nicht ausgeschlossen (*Schwartz, 1994*). In den gemäßigten Breiten liegen die höchsten Mortalitätsraten im Winter. *Keatinge et al. (1989)* und *Lerchl (1998)* konnten allerdings einen Rückgang der hohen Todesfallzahlen in den Wintermonaten während der letzten 50 Jahre nachweisen. Es wird vermutet, daß die Verbesserung der medizinischen Versorgung und die Beheizung der Wohnräume (Umstellung von Kohle- auf Ölheizung) zu diesem sekundären Trend geführt haben. Im Gegensatz zu dem Jahresgang der Mortalitätsraten in den gemäßigten Breiten steht der Jahresgang der Mortalitätsraten in Sri Lanka mit tropischem Klima (*Motohashi et al., 1996*). Die höchsten Todesfallzahlen werden dort in den Monaten Juni und November verzeichnet, in denen auch die Regenzeiten ihren Höhepunkt haben. Durch die hohe Luftfeuchtigkeit und mangelnde Hygiene erhöht sich das Risiko, an Infektionskrankheiten zu erkranken.

Die 30-jährigen Monatsmittelwerte der gefühlten Temperatur zeigen erwartungsgemäß ein Minimum im Januar mit $-5.03\text{ }^{\circ}\text{C}$, und ein Maximum mit $16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Juli. Dabei entspricht der Monat Oktober mit $5.82\text{ }^{\circ}\text{C}$ ungefähr dem 30-jährigen Gesamtmittelwert ($5.52\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die Werte der Monate Dezember, Januar und Februar liegen deutlich im negativen Bereich.

Bei den Abweichungen der Monatsmittel vom 30-jährigen Gesamtmittelwert weisen die Gesamtmortalität und die Todesfallzahlen im Herz-Kreislaufbereich die höchsten Werte im Januar mit $7.19\text{ }%$ bzw. $10.16\text{ }%$ auf. Bei den Atemwegserkrankungen liegt das Maximum mit $30.22\text{ }%$ Abweichung im Februar. Die niedrigsten Werte liegen bei der Gesamtmortalität und im Herz-Kreislaufbereich mit $-7.72\text{ }%$ und $-11.04\text{ }%$ Abweichung im August. Dagegen wird das Minimum bei den Atemwegserkrankungen mit einer Abweichung von $-23.03\text{ }%$ erst im September erreicht. In Abb. 2.6 und Tab. 2.2 sind die 30-jährigen Monatsmittelwerte der gefühlten Temperatur und die prozentualen Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Gesamtmittelwert dargestellt.

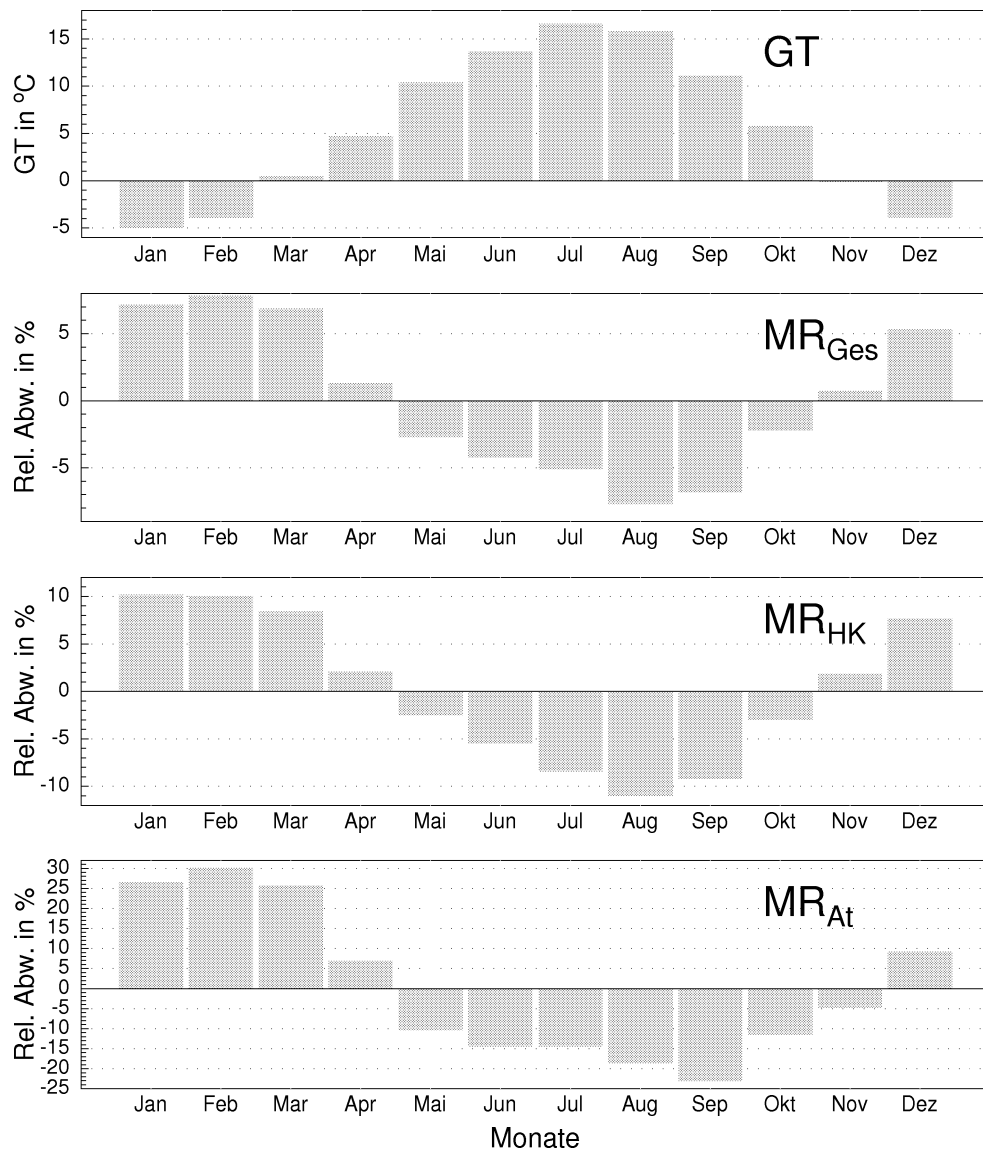


Abb. 2.6: Darstellung der 30-jährigen Monatsmittelwerte der gefühlten Temperatur GT (oben) und der prozentualen Abweichungen der Mortalitätsraten MR vom 30-jährigen Mittelwert.

Die Monatsmittelwerte entsprechen dem saisonalen Verhalten der Mortalitätsdaten in gemäßigten Klimaten, die frühere Studien in Europa, USA und Japan belegen (*Sakamoto-Momiyama, 1977; Keatinge et al., 1989; The Eurowinter Group, 1997* und *Jendritzky et al., 1997*). Für die höheren Todesfallzahlen in den Wintermonaten gibt es mehrere Ursachen. Nach *Kunst (1993)* werden 34 % der erhöhten Wintermortalität durch Grippewellen verursacht. Kutane Vasokonstriktion bei koronarer Thrombose durch Kälteeinwirkung kann ebenfalls zu erhöhten Todesfallzahlen führen (*The Eurowinter Group, 1997*). Dage-

2. Datengrundlage und Analyse

gen scheint Hypothermie nur einen geringen Einfluß zu haben (*Jendritzky et al., 1997*). Aber auch der vermehrte Aufenthalt in geschlossenen Räumen mit schlechter Belüftung und trockener Heizungsluft führt zu einer raschen Ausbreitung von Erregern. Besonders ältere Menschen mit geringerem Anpassungsvermögen und geschwächtem Immunsystem, durch das sich das Infektionsrisiko erhöht, sind gefährdet. Unangepaßtes Verhalten (Bekleidung) und kurze Aufenthalte im Freien scheinen neben niedrigeren Innenraumtemperaturen ebenfalls eine Rolle zu spielen (*The Eurowinter Group, 1997*).

Monat	GT in $^{\circ}C$	\overline{MR}_{GES}	rel. Abw.	\overline{MR}_{HK}	rel. Abw.	\overline{MR}_{At}	rel. Abw.
1	-5.03	2.916	(7.19 %)	1.428	(10.16 %)	0.213	(26.54 %)
2	-3.93	2.933	(7.83 %)	1.427	(10.03 %)	0.219	(30.22 %)
3	0.47	2.907	(6.87 %)	1.405	(8.40 %)	0.211	(25.79 %)
4	4.74	2.756	(1.32 %)	1.324	(2.08 %)	0.179	(6.89 %)
5	10.42	2.646	(-2.72 %)	1.264	(-2.54 %)	0.150	(-10.39 %)
6	13.71	2.604	(-4.26 %)	1.225	(-5.50 %)	0.144	(-14.52 %)
7	16.60	2.581	(-5.12 %)	1.187	(-8.44 %)	0.143	(-14.46 %)
8	15.79	2.510	(-7.72 %)	1.153	(-11.04 %)	0.137	(-18.67 %)
9	11.13	2.534	(-6.84 %)	1.177	(-9.21 %)	0.129	(-23.03 %)
10	5.82	2.659	(-2.23 %)	1.258	(-2.97 %)	0.149	(-11.46 %)
11	-0.15	2.741	(0.77 %)	1.321	(1.86 %)	0.160	(-4.67 %)
12	-3.88	2.865	(5.32 %)	1.396	(7.70 %)	0.184	(9.28 %)

Tab. 2.2: 30-jährige Monatsmittelwerte und ihre prozentualen Abweichungen vom entsprechenden 30-jährigen Mittel der mittleren gefühlten Temperatur GT und der Mortalitätsraten MR .

Die in Abb. 2.8 tiefpaßgefilterten Zeitreihen zeigen den mittleren Verlauf der gefühlten Temperatur und der Mortalitätsraten der Jahre 1968 bis 1997. Deutlich läßt sich bei allen Zeitreihen ein Jahresgang erkennen. Bei den Mortalitätsraten ist die Größe der Amplituden in den einzelnen Jahren unterschiedlich. Besonders im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen ist ein Trend erkennbar. Eine mögliche Erklärung könnte die Änderung der Einschätzung der Todesursachen im betrachteten Zeitraum sein. Eine Umfrage bei Ärzten ergab, daß sich nur 60 % der Befragten sehr sicher bei der Diagnose der Todesursache durch Grundleiden im Herz-Kreislaufbereich waren (*Schriftenreihe des Bundesministers für Gesundheit 1992*). Aus diesem Grund werden die Gesamtmortalitätsraten als die sichersten Daten angesehen, da durch die Unsicherheiten bei der eindeutigen Feststellung der Todesursache eine gewisse Unschärfe entsteht. Einen weiteren Unsicherheitsfaktor stellen auch Reisezeiten, Unfälle und Suizide dar.

Der leicht abnehmende Trend bei der Gesamtmortalität könnte in der höheren Lebenserwartung (besonders bei Frauen) und in der Änderung der Altersstruktur der Bevölkerung aufgrund der starken Bevölkerungszuwanderung Anfang 1990 (siehe Abb. 2.1) seine Ursache haben. Bemerkenswert ist ein sekundäres Maximum im Sommer 1994 bei den Mortalitätsraten. Die Amplitude bei der gefühlten Temperatur ist in diesem Jahr besonders ausgeprägt.

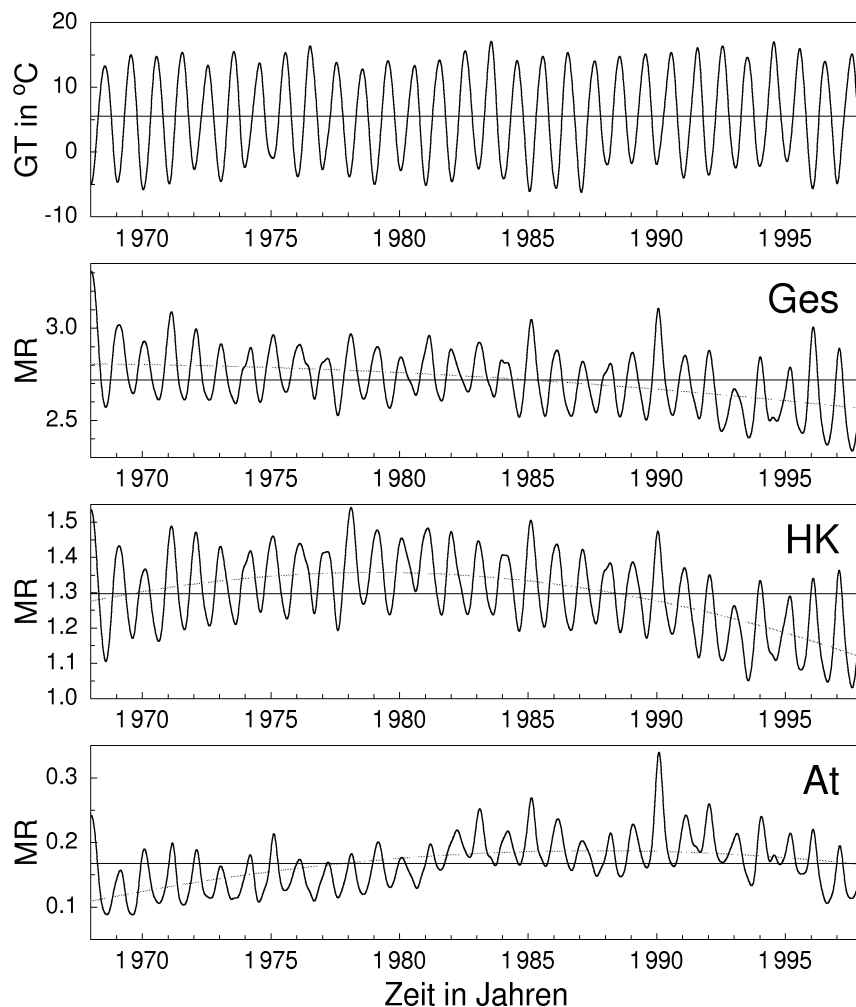


Abb. 2.7: Darstellung der tiefpaßgefilterten Zeitreihen von 1968 bis 1997 der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT , der Gesamtmortalität MR_{Ges} und der Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} und der Atemwegserkrankungen MR_{At} . Die Tiefpaßfilterung erfolgte durch eine gewichtete Mittelung der Daten über einen Zeitraum von 180 Tagen. Die gestrichelten Linien entsprechen dem jeweiligen 30-jährigen Mittel.

2. Datengrundlage und Analyse

Das Histogramm der Abweichungen der einzelnen Jahresmittelwerte der mittleren täglichen gefühlten Temperatur vom 30-jährigen Mittelwert zeigt keinen besonders auffälligen Verlauf. Die Abweichungen schwanken zwischen -1.13 K (1996) und 1.74 K (1994). Auffallend dagegen sind die Abweichungen der Jahresmittelwerte bei den Mortalitätsraten, die den Trendverlauf in Abb. 2.8 widerspiegeln. Ab 1991 liegen die mittleren Abweichungen der Gesamtmortalität bei ca. -5% und im Herz-Kreislaufbereich bei fast -10% deutlich unter dem 30-jährigen Mittel. Eine Überprüfung der absoluten Zahlen der gesamten Todesfälle bestätigte nicht die Vermutung, daß es sich in diesem Zeitraum um einen Normierungsfehler handeln könnte.

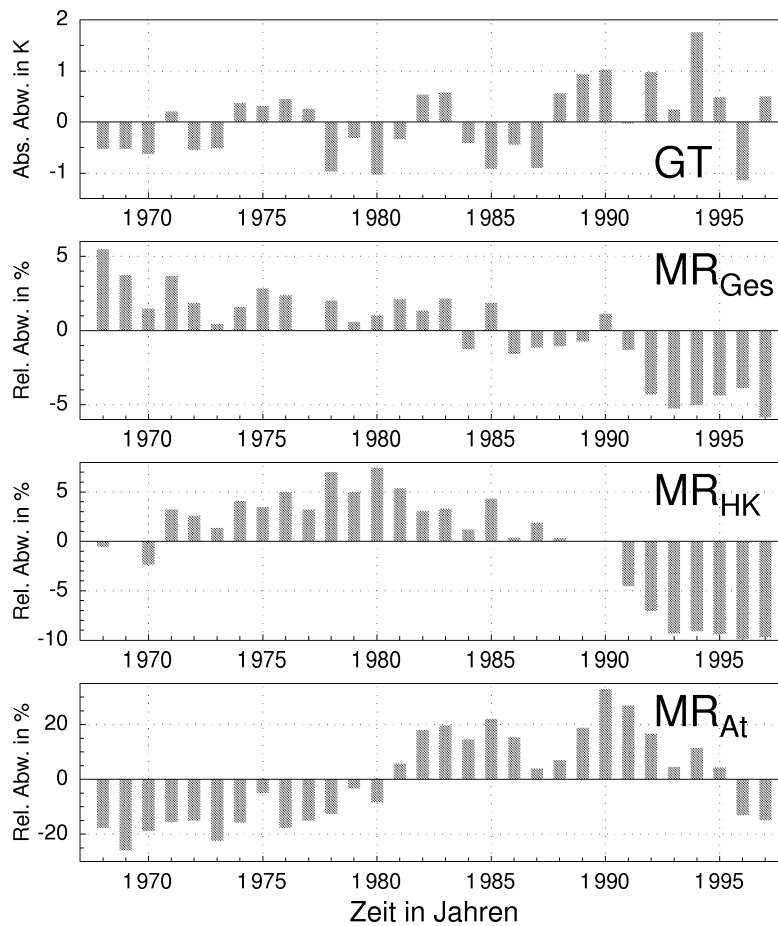


Abb. 2.8: Darstellung der Abweichungen der Jahresmittelwerte von 1968 bis 1997 vom entsprechenden 30-jährigen Mittelwert der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT , der Gesamtmortalität MR_{Ges} und der Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} und der Atemwegserkrankungen MR_{At} .

Kapitel 3

Mortalität und thermische Belastung

3.1 Einleitung

Statistische Untersuchungen über den Einfluß der thermischen Bedingungen auf die täglichen Mortalitätsdaten im Herz-Kreislaufbereich und von Atemwegserkrankungen in verschiedenen Ländern zeigen unter Behaglichkeitsbedingungen ein Minimum (siehe Abb.3.1). Die thermischen Bedingungen wurden dabei meistens mit der Lufttemperatur beschrieben. Es ist aber zu beachten, daß hohe Korrelationskoeffizienten häufig die Folge ähnlicher Jahresgänge der jeweiligen Zeitreihen sind (*Bucher, 1992*).

Mit zunehmender Kältebelastung steigt die Mortalitätsrate an (*Keatinge et al., 1989* und *Jendritzky, 1997*). Untersuchungen in den USA, Kanada und Australien haben einen Rückgang der Mortalität bei extrem kalten Bedingungen ergeben (*Frost und Auliciems, 1993*). Es wird vermutet, daß gerade Personen aus Risikogruppen sich besonders schützen (Verhaltensanpassung).

Ebenfalls ist ein Anstieg der Mortalitätsraten bei zunehmender Wärmebelastung bzw. ab bestimmten Schwellenwerten zu verzeichnen. Allerdings scheinen diese Schwellenwerte von den vorherrschenden Klimaten abhängig zu sein (*Kalkstein und Smoyer, 1993* und *Katsouyanni et al., 1993*). Auch die thermischen Bedingungen der vorangegangenen Tage und deren zeitliche Änderung wirken sich auf die Todesfallzahlen aus (*Jendritzky et al., 1997*). Zusätzlich werden die täglichen Todesfälle von den vorangegangenen Mortalitätsraten beeinflusst. *Frost und Auliciems (1993)* gehen bei Herzinfarkt-Todesfällen (ICD 410) von einer bestimmten Gruppe empfindlicher Personen aus, deren Größe einen Einfluß auf die Beziehung zwischen thermischen Bedingungen und den Mortalitätsraten hat. Eine große Gruppe von gefährdeten Personen würde zu einer Überbewertung dieser Beziehung führen. Auf der anderen Seite bewirkt eine Dezimierung dieser Gruppe eine Dämpfung der Beziehung. Die Abb. 3.1 zeigt eine generelle Form des Zusammenhanges zwischen den thermischen Bedingungen und den täglichen Mortalitätsraten, wobei die Punkte A bis D

3. Mortalität und thermische Belastung

abhängig von der Bevölkerung, der Größe der Gruppe der gefährdeten Personen und dem vorherrschenden Klima sind.

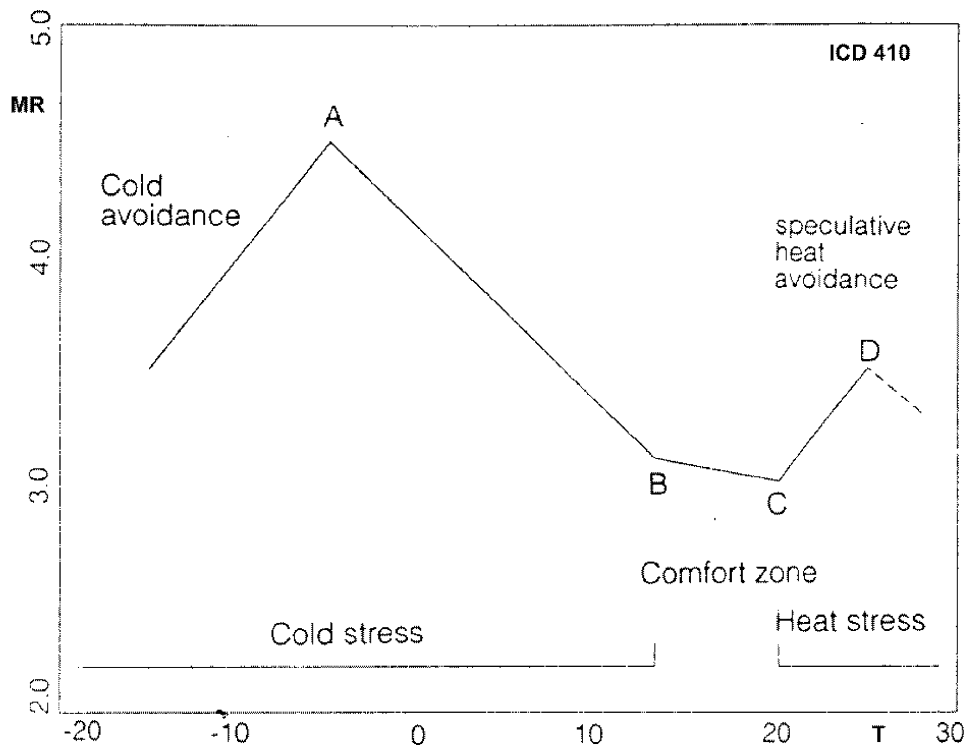


Abb. 3.1: Generalisierte Form der Beziehung zwischen der Temperatur T und den Mortalitätsraten MR (ICD 410) pro 100.000 Einwohner in den USA, Kanada und Australien (*Frost und Auliciems, 1993*).

Die Korrelation der Mortalitätsraten bei ischämischer Herz-Krankheit mit den mittleren Monatstemperaturen in verschiedenen Ländern (siehe Abb. 3.2) zeigt für verschiedene Klimate eine deutliche Zunahme der Mortalität mit abnehmenden Temperaturen unterhalb einer mittleren Monatstemperatur von 25 °C. Dagegen steigt die Mortalität in subtropischen Ländern (z.B. Ägypten) mit Monatsmitteltemperaturen bis zu 30 °C im Sommer an.

Die Untersuchung der Änderungen der Monatsmittel in der Gesamtmortalität im Zeitraum von 1946 bis 1995 in Deutschland zeigte eine Abnahme der saisonalen Unterschiede von 1946 bis 1970 (*Lerchl, 1998*). Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen vom jeweiligen 50-jährigen Mittelwert von mehr als ± 4 °C ergaben Abweichungen bei den Monatsmittelwerten der Mortalitätsraten bis zu +20 % vom entsprechenden Langzeitmittelwert.

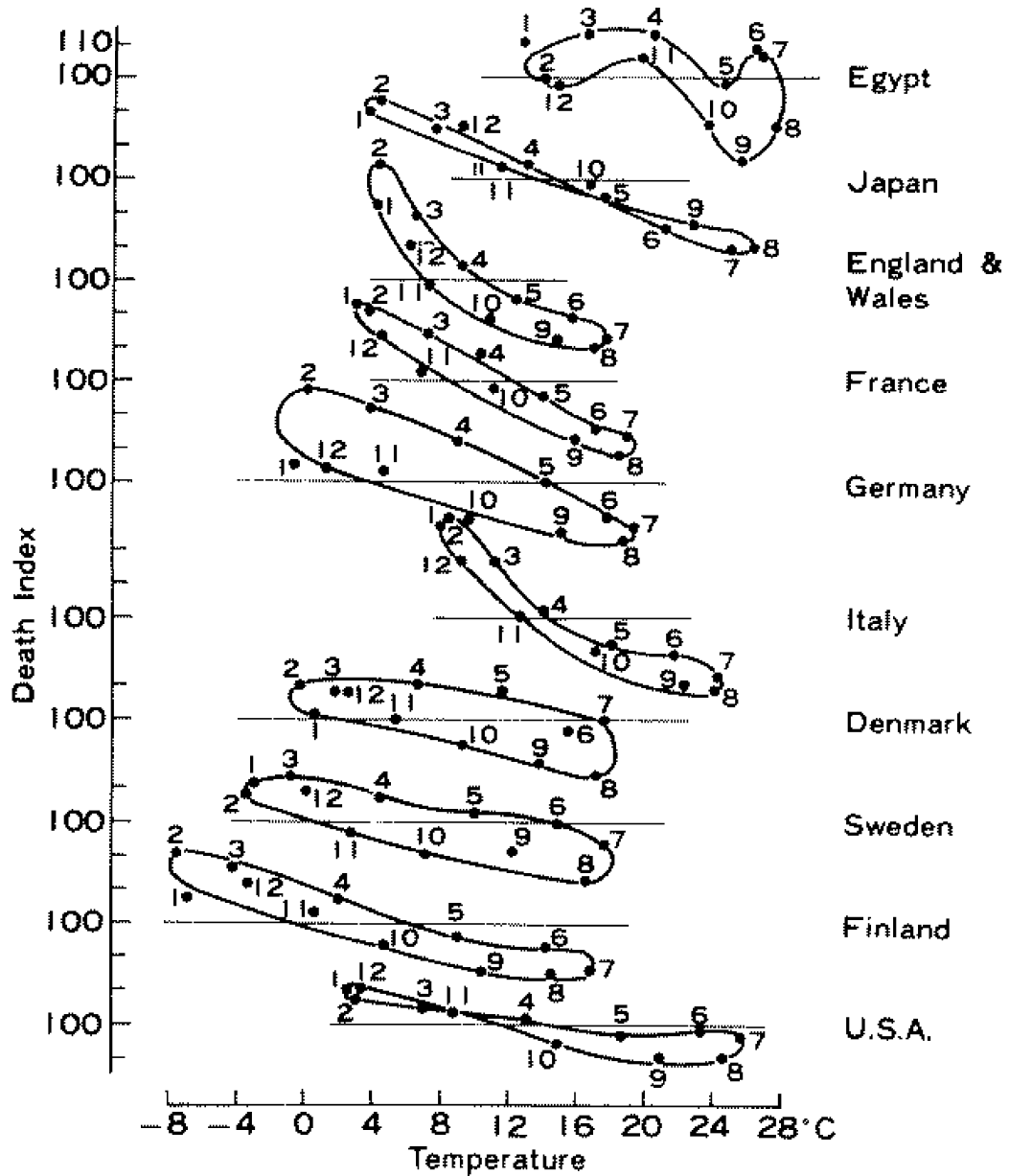


Abb. 3.2: Saisonale Variation der Mortalität an cerebrovaskulären Krankheiten (ICD 410-424) in den 1950er Jahren in 10 Ländern (*Sakamoto-Momiyama, 1977*).

3. Mortalität und thermische Belastung

Bei der Mortalitätsstudie des Deutschen Wetterdienstes (*Jendritzky et al.*, 1997) wurde der Einfluß der thermischen Bedingungen auf die Mortalität (gesamt und ausgesuchte Todesfälle) in Baden-Württemberg (1968 bis 1993) untersucht. Die thermischen Bedingungen wurden mit der gefühlten Temperatur *GT* (Freiburg) auf der Basis des Klima-Michel-Modells beschrieben. Auch hier konnte ein saisonales Verhalten der Mortalität festgestellt werden. Interessanterweise liegen bei gleichen thermischen Bedingungen die Mortalitätsraten im Frühling um ungefähr 4 % höher als im Herbst (siehe Hysterese in Abb. 3.3). Eine Abnahme der Mortalitätsraten bei extrem niedrigen Temperaturen wie in anderen Ländern (*Frost und Auliciems*, 1993) konnte nicht gefunden werden. Bei Temperaturen $< 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ weisen die tägliche und monatliche Darstellung der mittleren Mortalitätsraten einen ähnlichen Verlauf auf. Dagegen zeigen die täglichen Mortalitätsraten beim saisonalen Minimum bei zunehmender Wärmebelastung einen starken Anstieg.

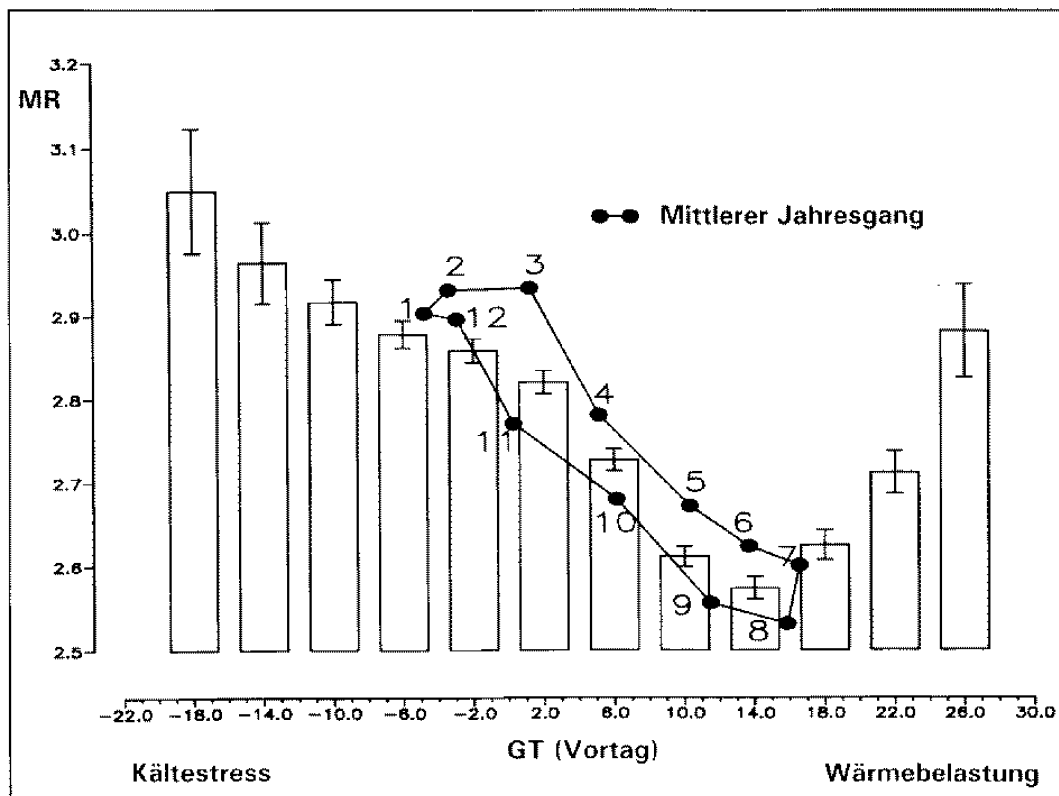


Abb. 3.3: Mortalität und thermische Belastung (*Jendritzky et al.*, 1997). Tagesmittel (bzw. Monatsmittel) der gefühlten Temperatur *GT* (Freiburg) und der Mortalitätsrate *MR* pro 100.000 Einwohner in Baden-Württemberg (1968 bis 1993). Klassenbreite 4 K, Signifikanzniveau 5 %.

Eine Klassifizierung der Daten nach den entsprechenden Jahreszeiten ergab im Winter, Frühling und Herbst die höchsten Abweichungen vom Jahreszeitenmittel in den jeweils kältesten Klassen mit 5-6 %. Die Minima liegen in den zweitwärmsten Klassen. In den Übergangszeiten sind die Schwankungen größer als im Winter. Dagegen liegt das Sommermaximum mit 11.5 % in der wärmsten Klasse. Hier sind auch die größten Schwankungen gegenüber den anderen Jahreszeiten zu beobachten.

Ebenfalls beim Deutschen Wetterdienst in Freiburg wurden tägliche Todesfälle im Herz-Kreislaufbereich (Baden-Württemberg, 1968 bis 1984) mit objektiven Wetterklassen und dem Temperatur-Feuchte-Milieu, die die thermischen Bedingungen bestimmter Wetter-situationen beschreiben, verglichen (*Bucher, 1992*). Hier zeigen alle Klassen mit Warmluftadvektion eine positive Abweichung vom Erwartungswert an den Tagen, an denen die täglichen Todesfallzahlen erhöht sind. Die Abweichung bei der als Warmsektor definierten Klasse ist signifikant. Bei dieser Wetterlage ist die Temperatur gegenüber den Vortagen höher, starke Sonneneinstrahlungen sind sehr wahrscheinlich, die Windreize nehmen von Norden nach Süden hin ab.

Auch in Barcelona (Spanien) ergab eine Zeitreihenanalyse von 1985 bis 1989 einen Anstieg der Mortalitätsraten bei Warmluftadvektion gekoppelt mit hoher Luftfeuchtigkeit (*Saez et al., 1995*). Dabei sind die Abweichungen der täglichen Todesfälle vom Erwartungswert im Winter höher als im Sommer. Dagegen fanden *Ambach et al. (1997)* keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Föhnwetterlagen und tödlichen Myocardinfarkten im Raum Tirol (Österreich).

In Brisbane (Queensland/Australien) mit subtropischem Klima wurde eine Zunahme der Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen bei kalten Bedingungen, zunehmenden Windgeschwindigkeiten und abnehmender Bewölkung gefunden (*Auliciems et al., 1997*). Ebenfalls siegen oberhalb gemessener Temperaturen von 26 °C bis 28 °C die Mortalitätsraten im Sommer deutlich an. Die größten Korrelationskoeffizienten ergaben sich bei einer Verschiebung um 2-3 Tage. Dabei sind die Beziehungen von Jahr zu Jahr verschieden. Signifikante Unterschiede bei der Differenzierung nach Männern und Frauen ergaben sich keine.

Bei der Untersuchung der thermischen Belastungen in 44 US-Städten mit mehr als 1 Mio. Einwohnern wurden zwei Luftmassenarten (trocken/heiß und schwül/warm) gefunden, die zu erhöhten Todesfällen führen. Dabei besitzen gleichmäßig trockenheiße Sommer weniger Einfluß als solche mit starken Temperaturschwankungen. Zusätzlich spielen neben der geographischen Lage der Städte auch ihre bauliche und sozioökonomische Struktur eine Rolle. Mortalitätsraten und thermische Belastung scheinen im Sommer enger miteinander verknüpft zu sein als im Winter (*Kalkstein und Greene, 1997*).

Im Rahmen der Diskussion über die globale Klimaerwärmung und deren Auswirkungen auf das regionale Wettergeschehen ist das Interesse an Einflüssen von extremen Wetterereignissen auf die täglichen Todesfälle in den letzten Jahren stark gestiegen, da gerade bei Extremsituationen der Einfluß der thermischen Bedingungen auf die Mortalitätsraten größer ist (*Kalkstein, 1993*). Hitzewellen sind für erhöhte Mortalitätsraten in den Som-

mermonaten verantwortlich. Dabei zeigen die ersten Ereignisse eines Jahres die größten Effekte, obwohl die thermischen Belastungen nachfolgender Hitzewellen deutlich höher sein können (Smoyer, 1996). Der Grund liegt zum einen darin, daß die meisten der gefährdeten Personen schon bei der ersten Hitzewelle sterben. Es kommt also zu einer Vorverlegung des Sterbedatums (*harvesting*). Zum anderen haben sich die Überlebenden akklimatisiert, und die thermische Belastung der nachfolgende Hitzewellen ist vergleichsweise niedriger. Zeitreihenuntersuchungen in den USA haben aber auch gezeigt, daß eine Zunahme der Mortalitätsraten während einer Hitzewelle nicht ganz durch eine anschließende Mindersterblichkeit ausgeglichen wird (Kalkstein, 1993). Es handelt sich hier also um eine Übersterblichkeit, bei der auch Personen gestorben sind, die noch lange hätten leben können.

Durch den Anstieg der globalen Mitteltemperatur werden vermutlich Hitzewellen häufiger und intensiver auftreten und damit einen Anstieg der Mortalitätsraten in den Sommermonaten bewirken. Besonders die Bevölkerung in den Ballungsgebieten ist davon betroffen. Neben der direkten Exposition spielen aber auch andere Faktoren für die Anfälligkeit der Bevölkerung eine Rolle, wie z.B. Altersstruktur, Einkommen und der Einsatz von Klimaanlageanlagen (Smoyer, 1996). In den USA stehen Hitzewellen in der Rangliste von Todesopfern durch Naturkatastrophen noch vor Tornados und Wirbelstürmen auf Platz Eins (Changnon, 1996). Eine Untersuchung von Martens und Piu (1998) ergab, daß durch mildere Winter mit einem Rückgang der Mortalitätsraten im Winterhalbjahr zu rechnen ist. Prognosen für die Länder USA, Kanada, China und Ägypten sagen einen starken Anstieg der Mortalitätsraten im Sommer bei einer Klimaerwärmung voraus. Besonders betroffen seien China, Ägypten und Regionen, bei denen extreme Ereignisse nur unregelmäßig wiederkehren (Kalkstein, 1993). Gerade der Wärmeinseleffekt (höhere Temperaturen als im Umland, keine Abkühlung während der Nachtstunden) durch Verbauungen, weniger Grünflächen, und hohe Luftbelastungen in den großen Städten könnten zu einer Verschärfung der thermischen Belastung in den Sommermonaten führen. Dabei soll die Luftbelastung durch Schadstoffe im Verhältnis zu den thermischen Belastungen nur einen geringen Einfluß auf die Erhöhung der Mortalitätsraten besitzen (Kalkstein, 1993).

Bei einer Hitzewelle 1987 in Griechenland starben innerhalb einer Woche rund 4000 Personen mehr als erwartet, allein davon 2000 in Athen. Es wurde herausgefunden, daß bei einem 24h-Mittel von 30 °C in Athen Abweichungen von 97 % zu erwarten sind. Bei anderen Städten und in ländlichen Gebieten lagen die Abweichungen nur bei 33 % bzw. 27 %. Für die hohen Abweichungen in Athen werden vor allem der Wärmeinseleffekt und die anhaltende Luftverschmutzung durch die schlechte Belüftung in der Stadt verantwortlich gemacht. Auch sozioökonomische Effekte, wie z.B. fehlende Klimaanlageanlagen und schlechte Versorgung bei armen Leuten spielen eine Rolle (Katsouyanni et al., 1993).

Die Untersuchung der Hitzewelle von 1995 in England und Wales ergab ebenfalls einen Anstieg der täglichen Todesfälle bei Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen mit zunehmenden Temperaturen. Dabei wurden hauptsächlich die vorherrschenden Luftbelastungen für den Anstieg der Mortalitätsraten (60-62 %) verantwortlich gemacht. Dagegen

waren in London zu 60 % die hohen Temperaturen für die erhöhten Todesfälle verantwortlich (*Rooney et al.*, 1998).

Ein Vergleich der beiden Hitzewellen in den Jahren 1980 und 1995 in den USA zeigte, daß die Auswirkungen während der Hitzewelle 1995 deutlich geringer ausfielen, obwohl die thermischen Belastungen viel höher waren. Die Ursache hierfür ist vermutlich ein vermehrter Einsatz von Klimaanlage in den letzten Jahren (*Smoyer*, 1998).

3.2 Ergebnisse

Für die korrelationsstatistischen Untersuchungen der Einflüsse der thermischen Bedingungen auf die täglichen Todesfälle in Baden-Württemberg wurden die Zeitreihen der täglichen Mortalitätsraten von 1968 bis 1997 verwendet. Sie sind ausreißerkorrigiert und auf 100.000 Einwohner normiert (siehe Kap.3.2). Neben der Gesamtmortalität (MR_{Ges}) wurden auch die Zeitreihen im Herz-Kreislaufbereich (MR_{HK}) und bei den Atemwegserkrankungen (MR_{Ges}) untersucht. Eine Differenzierung nach Alter und Geschlecht ist nicht vorgenommen worden. Die thermischen Bedingungen werden mit der mittleren gefühlten Temperatur GT beschrieben (siehe Kap.2).

Die Jahresgänge und ein möglicher Trend der einzelnen Zeitreihen wurden beibehalten.

3.2.1 Monatsmittelwerte

Der Vergleich der Langzeitmittelwerte der einzelnen Monate (siehe Abb. 3.4) zeigt den erwarteten Verlauf der Mortalitätsraten mit hohen Werten im Winter und niedrigen Werten im Sommer, bei denen die Monatsmittelwerte der gefühlten Temperatur im Behaglichkeitsbereich liegen. Bei der Gesamtmortalität und im Herz-Kreislaufbereich befindet sich das saisonale Minimum (2.51 bzw. 1.15) jeweils im August. Im Gegensatz dazu liegt das Minimum bei den Atemwegserkrankungen mit durchschnittlich 0.13 Todesfällen pro 100.000 Einwohner im September. Die höchsten Werte der Mortalitätsraten werden im Februar ($-3.93\text{ }^{\circ}C$) bei der Gesamtmortalität (2.93) und bei den Atemwegserkrankungen (0.22) erreicht. Dagegen liegt das Maximum im Herz-Kreislaufbereich mit 1.428 Todesfällen pro 100.000 Einwohner im Januar mit dem kältesten Monatsmittel ($-5.03\text{ }^{\circ}C$). Auffallend ist, daß bei fast gleichen Monatsmitteltemperaturen in den Übergangsjahreszeiten die Mortalitätsraten im Frühling bei der Gesamtmortalität ca. 4-6 % höher liegen als im Herbst. Im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen betragen diese Unterschiede bis zu 6.6 % bzw. bis zu 30 %.

Hier zeigt sich deutlich der Einfluß der höheren variablen thermischen Bedingungen im Frühjahr, die höhere Anpassungserfordernisse für den Organismus bedeuten. Diese höhere Belastung verursacht dadurch auch höhere Mortalitätsraten.

3. Mortalität und thermische Belastung

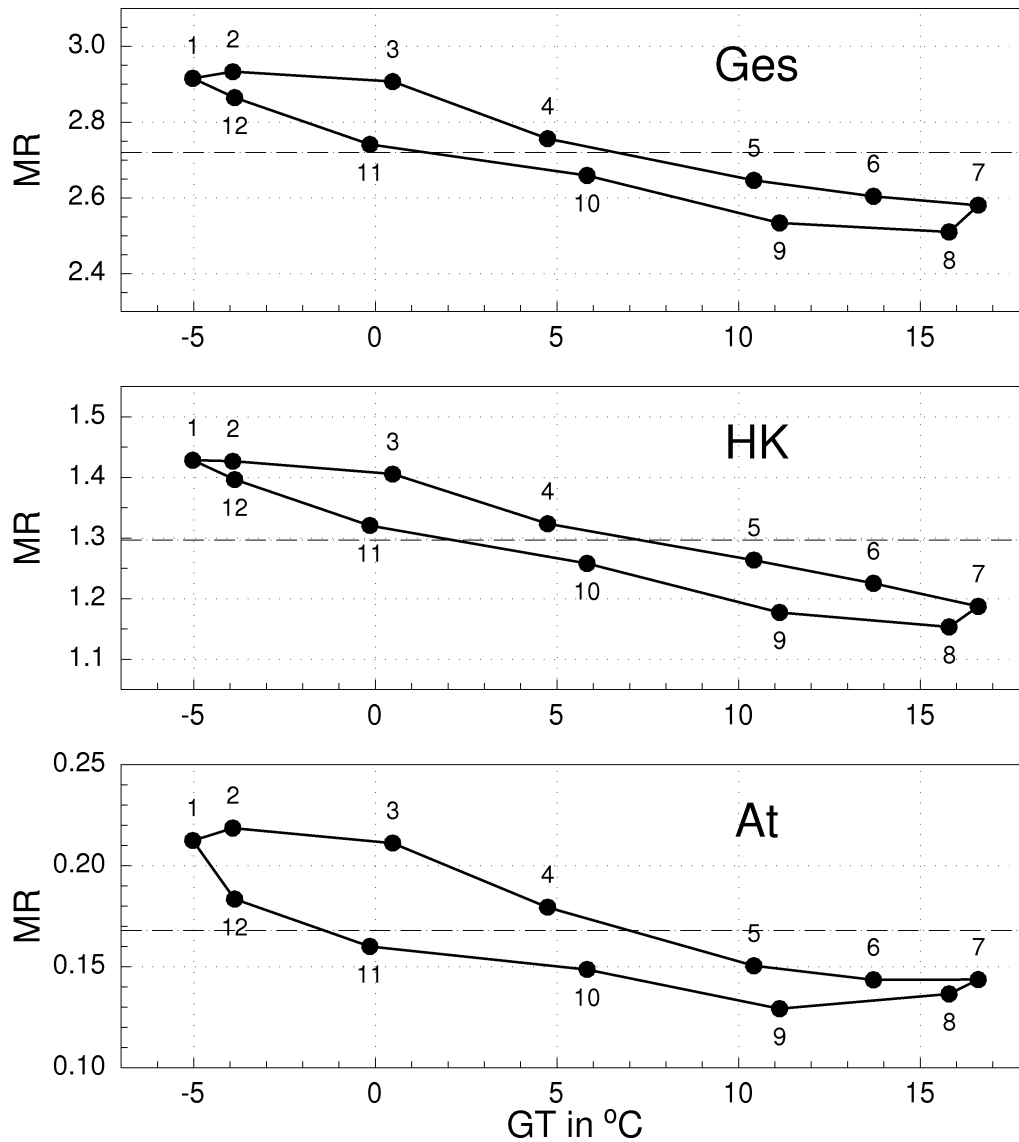


Abb. 3.4: Darstellung der Monatsmittelwerte (1968 bis 1997) der gefühlten Temperatur GT und der Mortalitätsraten MR . Obere Abbildung: Gesamtmortalität MR_{GES} ; mittlere Abbildung: Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} ; untere Abbildung: Atemwegserkrankungen MR_{At} . Die gestrichelte Linie entspricht dem 30-jährigen Gesamtmittelwert.

3.2.2 Mittelwertvergleich

Für die Untersuchung des Einflusses der thermischen Bedingungen auf die täglichen Todesfälle wurden die Zeitreihen der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag mit den täglichen Mortalitätsraten verglichen. Da auch die zeitliche Änderung der thermischen Bedingungen der vorangegangenen Tage einen Einfluß auf die täglichen Mortalitätsraten besitzen, wurden zusätzlich noch die Abweichungen der mittleren täglichen gefühlten Temperaturen vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittelwert $DW7$ gebildet. Die Wichtung der Werte von GT der vorangegangenen sieben Tage erfolgte linear (1/7 bis 7/7). Die Variablen GT und $DW7$ sind um einen Tag phasenverschoben, da die gefühlten Temperaturen von 18.00 Uhr keinen Einfluß mehr auf die Todesfälle mit Eintrittszeiten vor 18.00 Uhr an diesem Tag haben.

Die Mortalitätsraten wurden nach steigenden Werten der Variablen GT und $DW7$ geordnet und in Klassen mit einer Klassenbreite von 4 K zusammengefaßt, wobei die offenen Randklassen mindestens 100 Werte beinhalten sollten. Für jede Klasse wurden die charakteristischen Größen arithmetischer Mittelwert \bar{x} , Standardabweichung s und die empirische Varianz s^2 ermittelt.

Für die Beantwortung der Frage, ob die thermischen Bedingungen einen Einfluß auf die täglichen Todesfälle haben, müssen die Unterschiede zwischen den Mittelwerten signifikant sein. Mit Hilfe der Angabe eines Mutungsbereiches MU (Konfidenzintervall) für den jeweiligen Mittelwert ist es möglich, eine Aussage über zufällige oder überzufällige Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten zu machen. Dafür werden die einzelnen Vertrauensbereiche MB miteinander verglichen:

Eine Überlappung der einzelnen Vertrauensbereiche bedeutet keine signifikanten Unterschiede zwischen den entsprechenden Mittelwerten, sie entstammen vermutlich aus derselben Grundgesamtheit. Besteht keine Überlappung, so sind die Unterschiede signifikant und damit nicht mehr zufällig.

Da statistische Aussagen immer Wahrscheinlichkeitsaussagen mit einer bestimmten Sicherheit sind, muß für die Aussage *signifikant* oder *nicht signifikant* ein Signifikanzniveau α (Irrtumswahrscheinlichkeit) bzw. die Sicherheitswahrscheinlichkeit SI in % angegeben werden.

$$SI = 1 - \alpha$$

Die Konfidenzintervalle in den folgenden Abbildungen beziehen sich auf ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$. D.h.: Der vermutete Mittelwert μ der Grundgesamtheit befindet sich mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % in dem angegebenen Intervall.

Die Berechnung der Vertrauensbereiche VB der Mittelwerte geschieht folgendermaßen:

$$VB\mu = \bar{x} \pm MU_{\mu} \tag{3.1}$$

mit dem Mutungsbereich MU_μ

$$MU_\mu = \pm z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \pm z_\alpha \frac{s}{\sqrt{n}}.$$

Die Größe z_α ist das Argument der standardisierten Normalverteilung und erlaubt durch die Wahl des Signifikanzniveaus α eine Abschätzung, inwiefern die betreffende Vermutung richtig bzw. falsch ist.

Eine Überprüfung der einzelnen Klassen auf Normalverteilung (χ^2 -Test) ergab, daß besonders bei den Randklassen eine Normalverteilung abzulehnen war. Allerdings läßt sich die Formel 3.1 für den Vertrauensbereich auch ohne Voraussetzung einer Normalverteilung anwenden. Die Abschätzung der Vertrauensbereiche zum Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$ erfolgte mit der Bedingung $n \geq 100$ (verteilungsfrei) über:

$$VB_\mu \approx \pm 1.96 \frac{s}{\sqrt{n}}.$$

Die Grenzen der oberen und unteren offenen Randklassen waren somit über die Bedingung für die Annahme der Verteilungsfreiheit festgelegt, die eine Mindestbesetzung der Klassen mit $n \geq 100$ fordert.

Der ursprüngliche Plan, den Einfluß der thermischen Bedingungen auf die täglichen Sterbefälle mit Hilfe der Varianzanalyse zu untersuchen, konnte nicht durchgeführt werden, da die Voraussetzungen der Normalverteilung innerhalb der einzelnen Klassen (χ^2 -Test) und der homogenen Varianzen zwischen den Klassen (*Cochran*-Test) nicht erfüllt waren. Besonders bei den interessanten Randklassen waren diese Kriterien nicht erfüllt.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 3.5 bis 3.18) sind die mittleren prozentualen Abweichungen (Balken) der täglichen Mortalitätsraten MR vom jeweiligen Langzeitmittelwert (Gesamtzeitraum, Jahreszeiten und einzelne Monate) in Abhängigkeit von der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT (Vortag) bzw. ihrer siebentägigen Änderung $DW7$ (Vortag) dargestellt. Die senkrechten Striche stellen die Vertrauensbereiche dar.

Gefühlte Temperatur und tägliche Mortalität

In den folgenden Abbildungen (Abb. 3.5 bis Abb 3.11) sind jeweils die mittleren prozentualen Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten vom entsprechenden Mittelwert für den Gesamtzeitraum, für die Jahreszeiten und für die einzelnen Monate abgebildet.

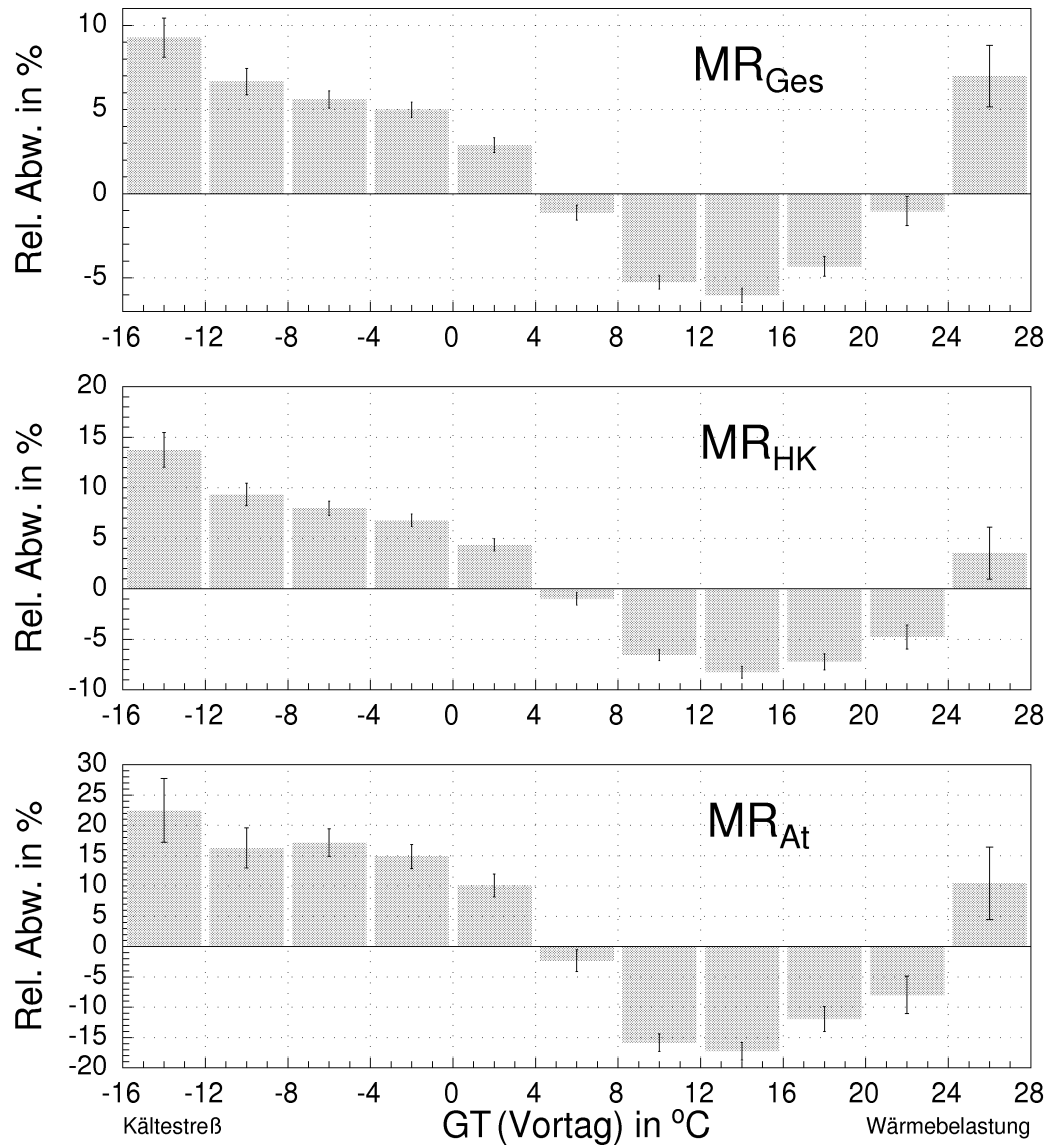


Abb. 3.5: Mittlere relative Abweichungen der Mortalitätsraten (Todesfälle pro 100.000 Einwohner) in Baden-Württemberg im Zeitraum von 1968 bis 1997 in Abhängigkeit von der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Die Klassenbreite beträgt 4 K , das Signifikanzniveau α der Konfidenzintervalle 0.05. Darstellung der Gesamtmortalität MR_{GES} , im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} und bei den Atmungsorganen MR_{At} .

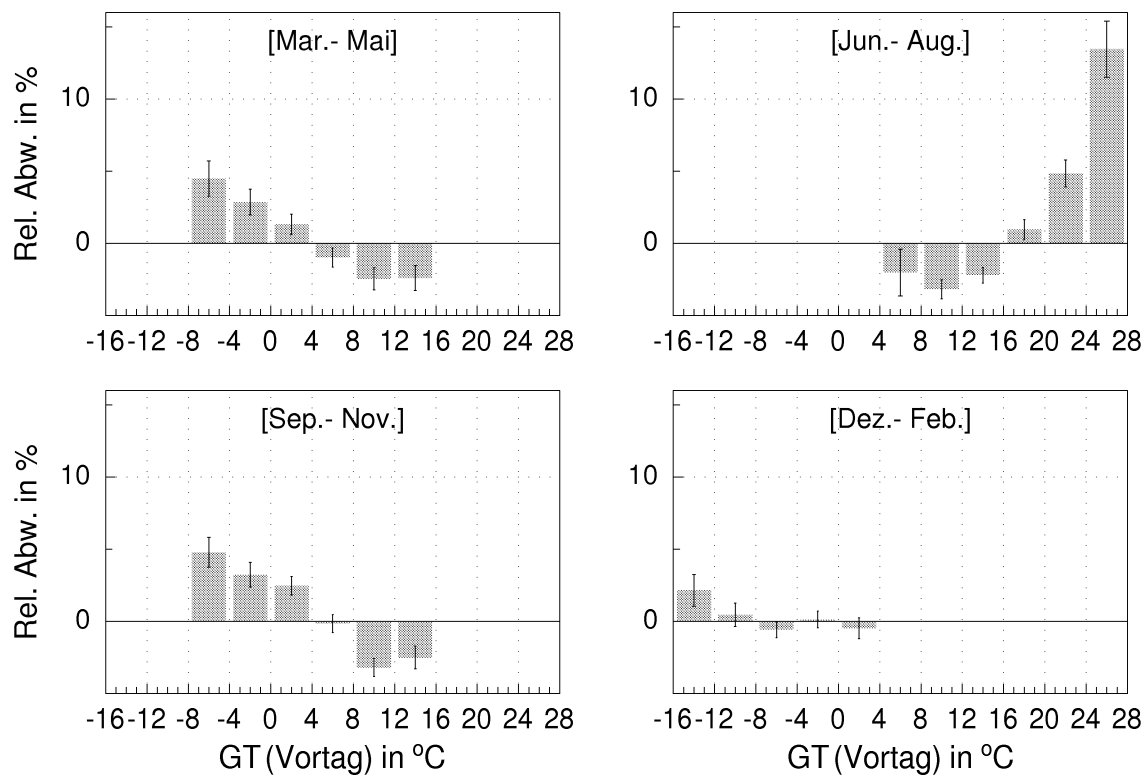


Abb. 3.6: Mittlere prozentuale Abweichungen der Gesamtmortalität MR_{Ges} vom entsprechenden jahreszeitlichen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

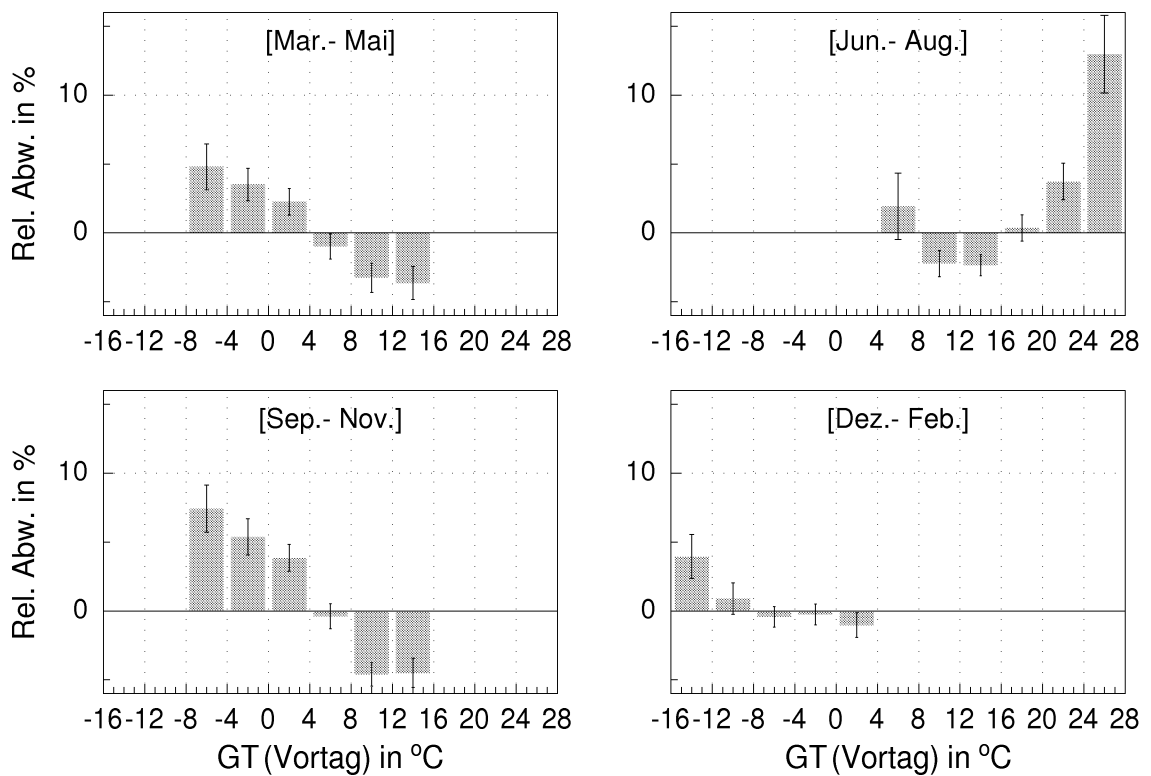


Abb. 3.7: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} vom entsprechenden jahreszeitlichen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

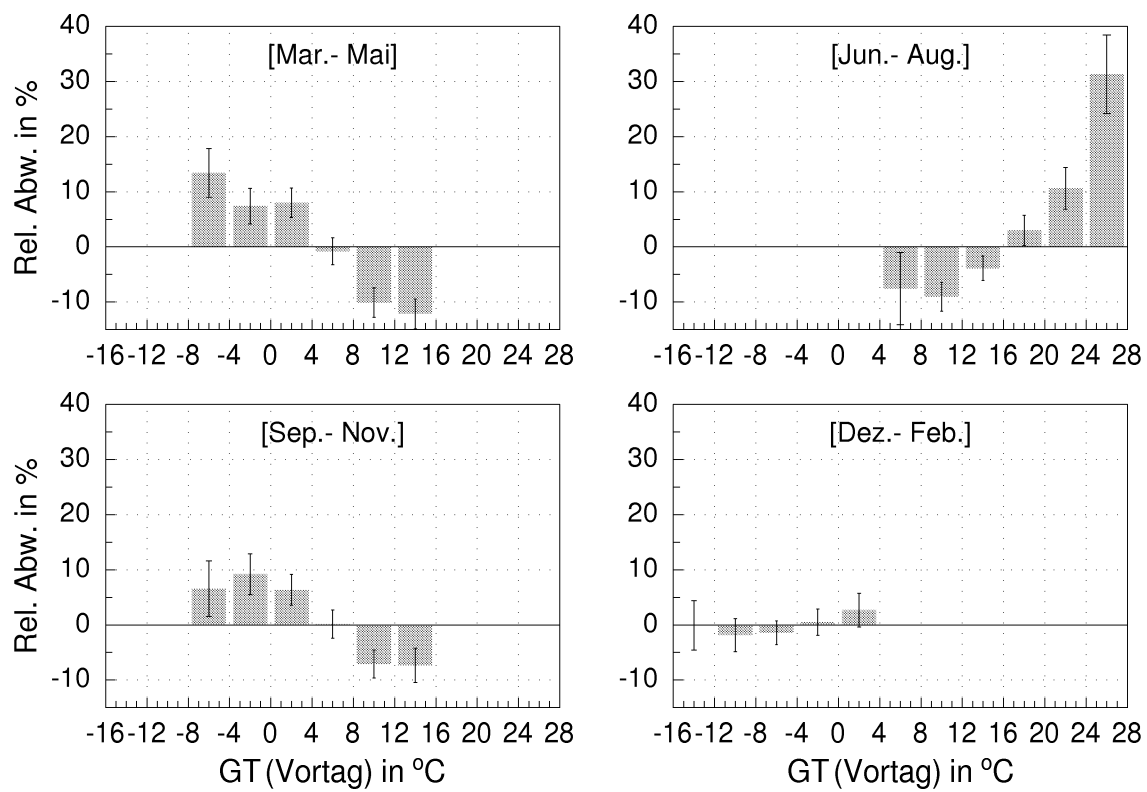


Abb. 3.8: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität bei den Atemwegserkrankungen MR_{At} vom entsprechenden jahreszeitlichen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

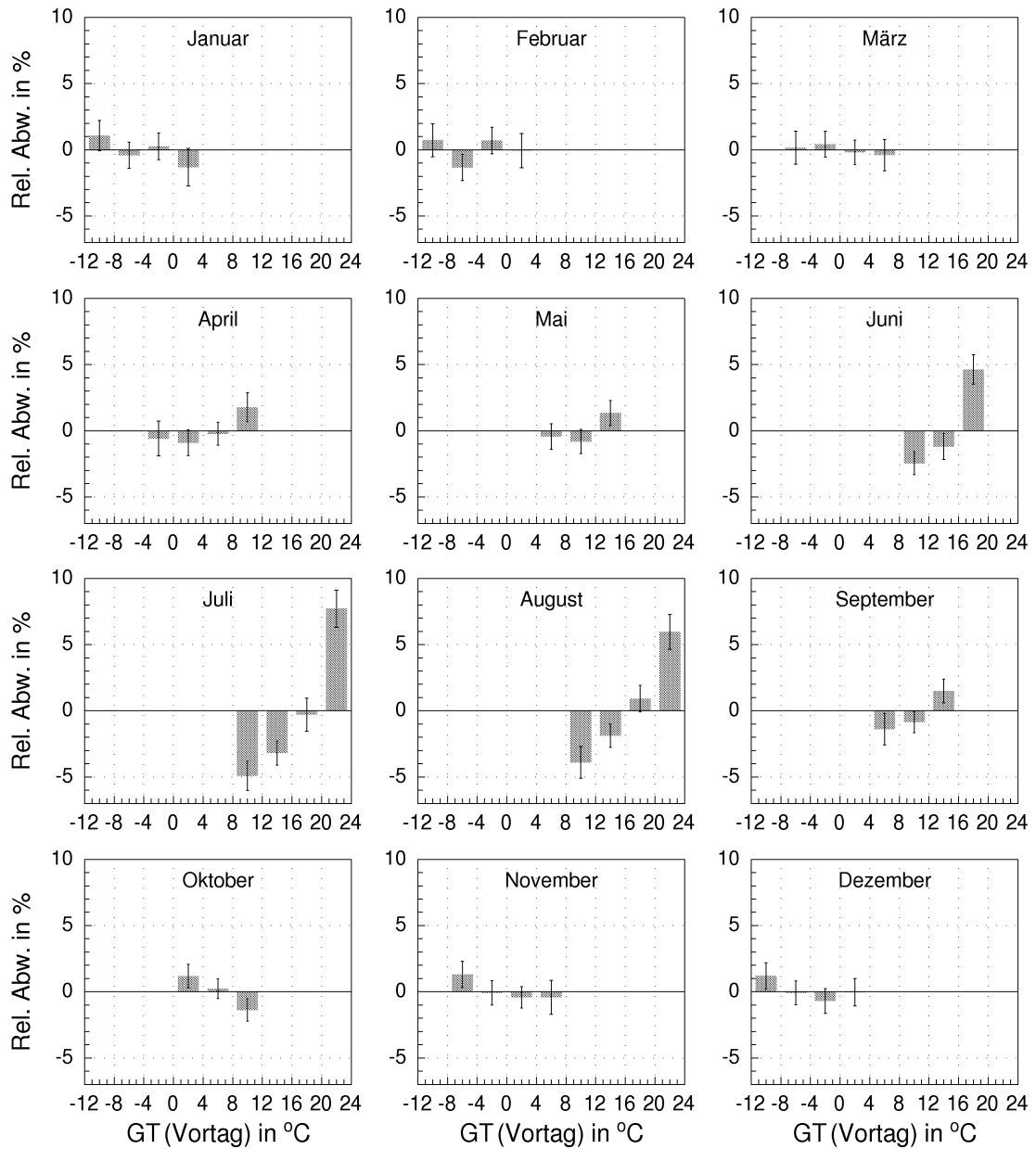


Abb. 3.9: Mittlere prozentuale Abweichungen der Gesamtmortalität MR_{Ges} vom entsprechenden monatlichen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

3. Mortalität und thermische Belastung

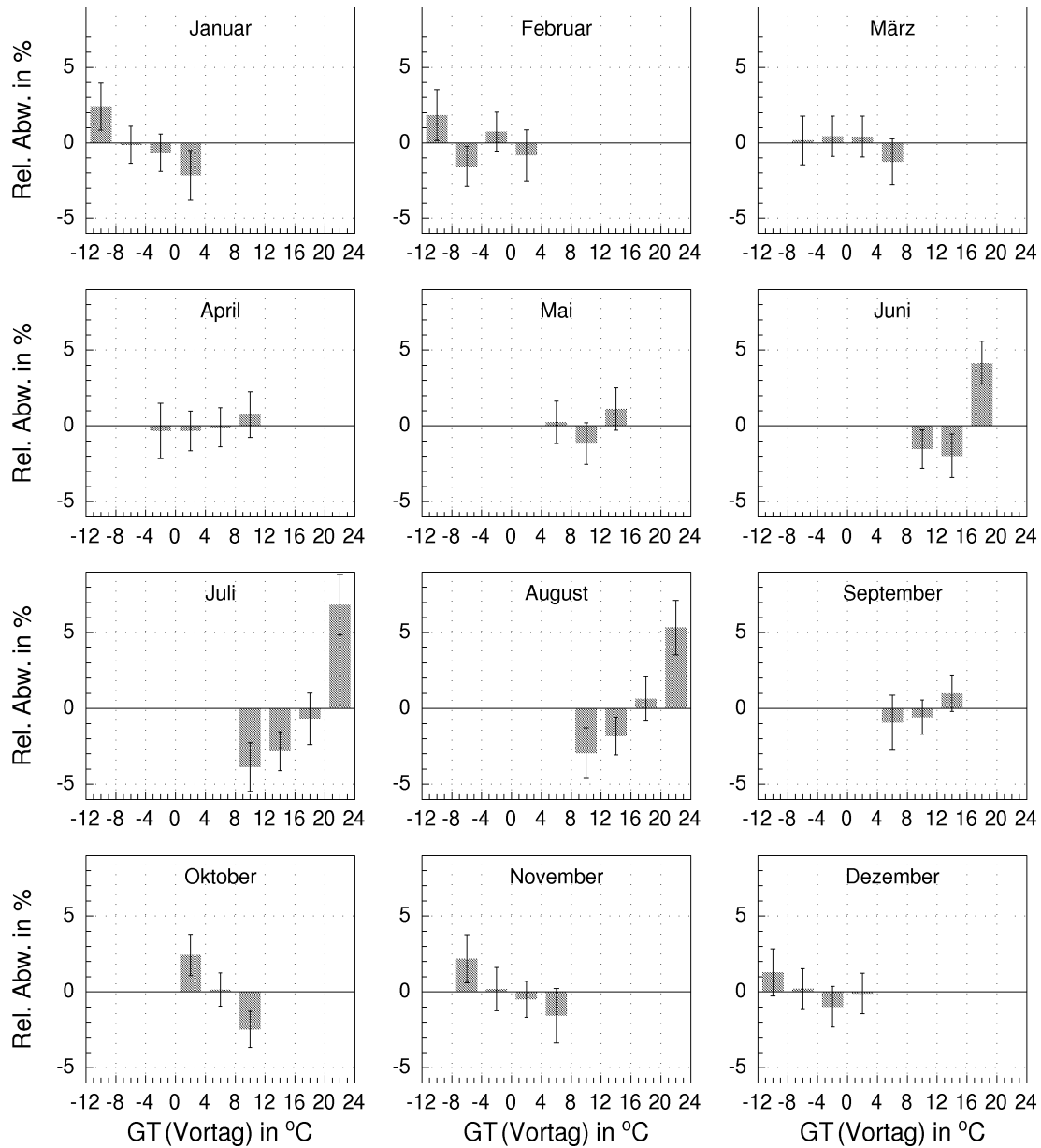


Abb. 3.10: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} vom entsprechenden monatlichen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

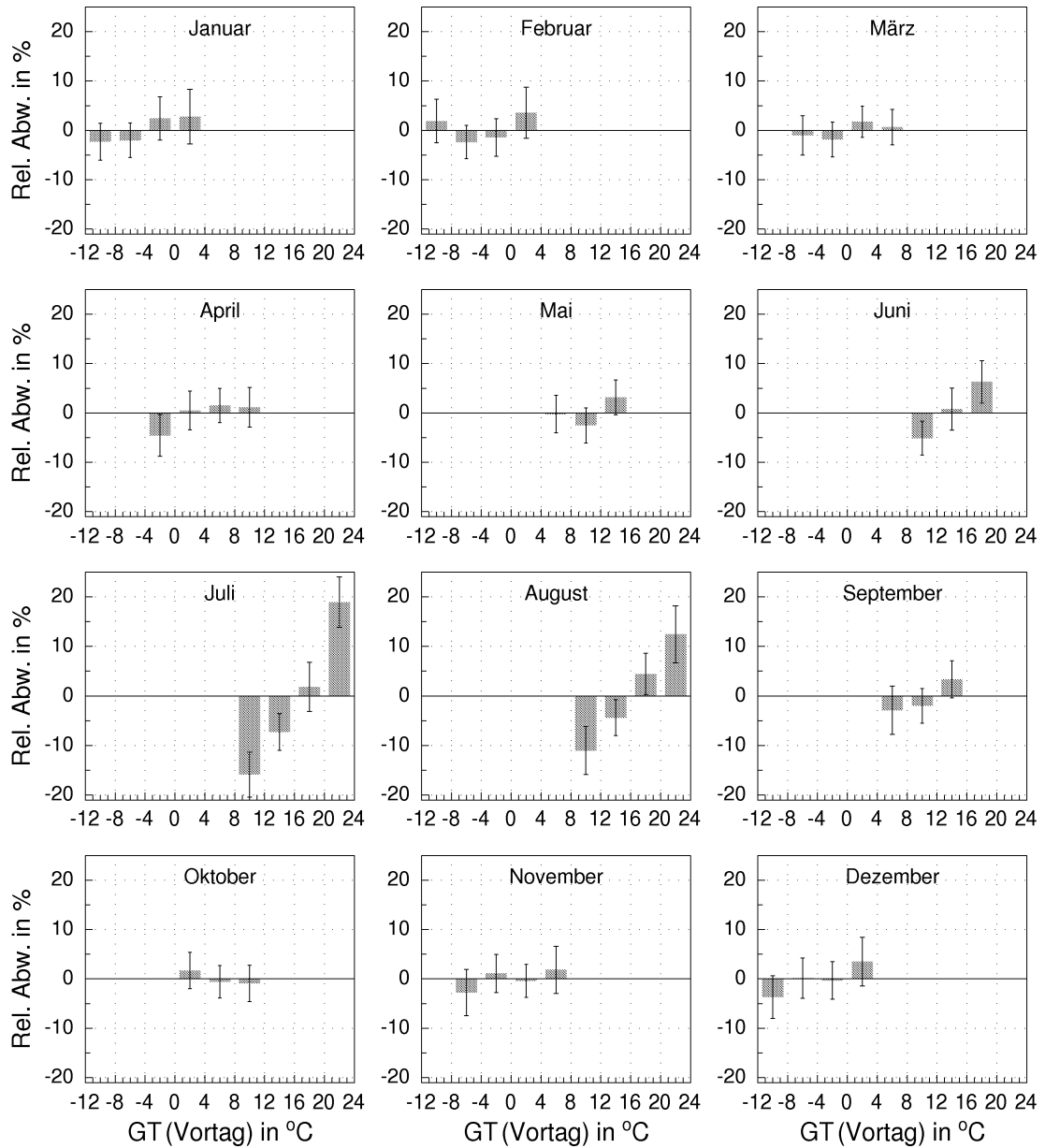


Abb. 3.11: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität bei den Atemwegserkrankungen MR_{At} vom entsprechenden monatlichen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

Zeitliche Änderung von GT und tägliche Mortalität

Die zeitliche Änderung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur wurde über ihre Abweichung vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel $DW7$ beschrieben. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 3.12 bis Abb. 3.18) zeigen die mittleren täglichen prozentualen Abweichungen der Mortalitätsraten in Abhängigkeit von $DW7$ (Vortag).

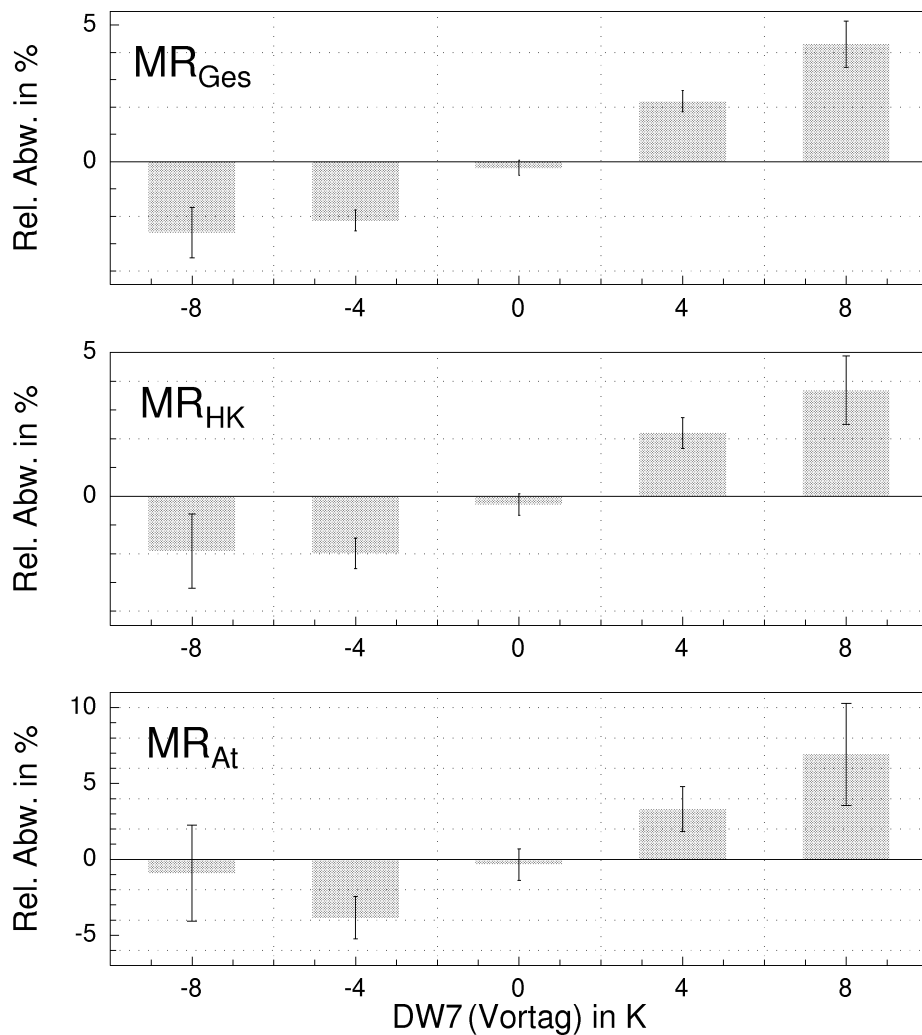


Abb. 3.12: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalitätsraten (Todesfälle pro 100.000 Einwohner) in Baden-Württemberg im Zeitraum von 1968 bis 1997 in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Die Klassenbreite beträgt 4 K, das Signifikanzniveau der Konfidenzintervalle 0.05. Darstellung der Gesamtmortalität MR_{GES} , im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} und bei den Atmungsorganen MR_{At} .

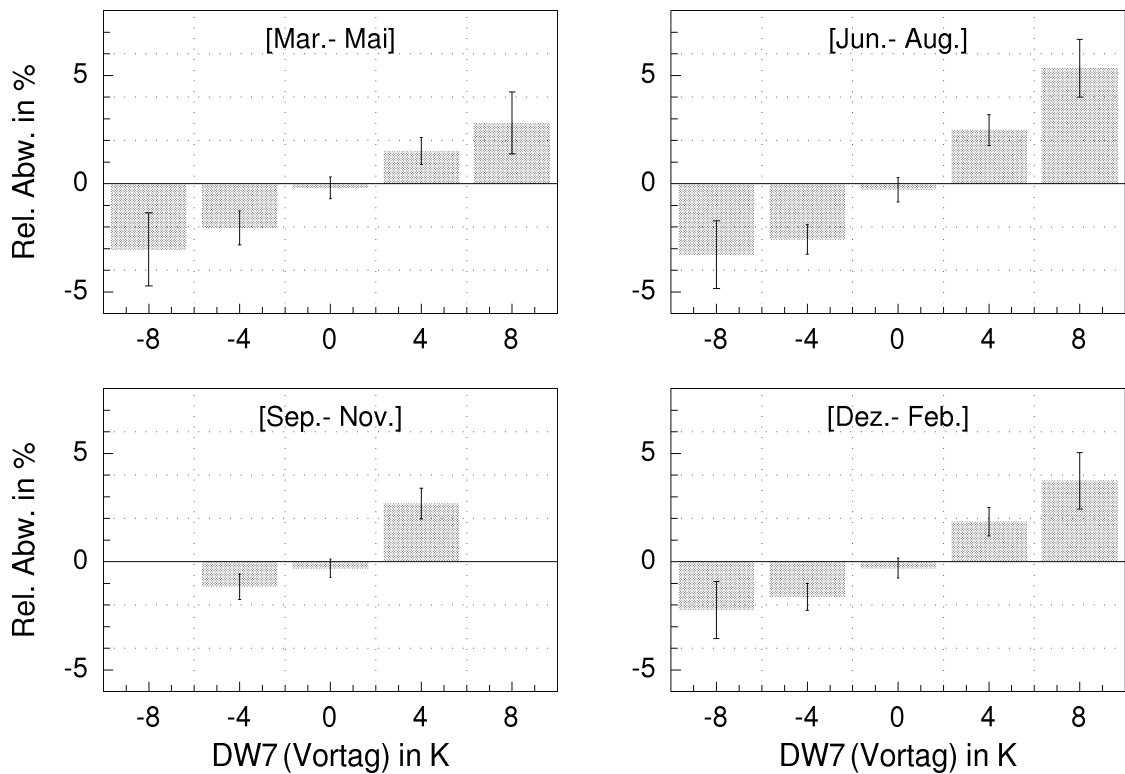


Abb. 3.13: Mittlere prozentuale Abweichungen der Gesamtmortalität MR_{Ges} vom entsprechenden jahreszeitlichen Mittelwert in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

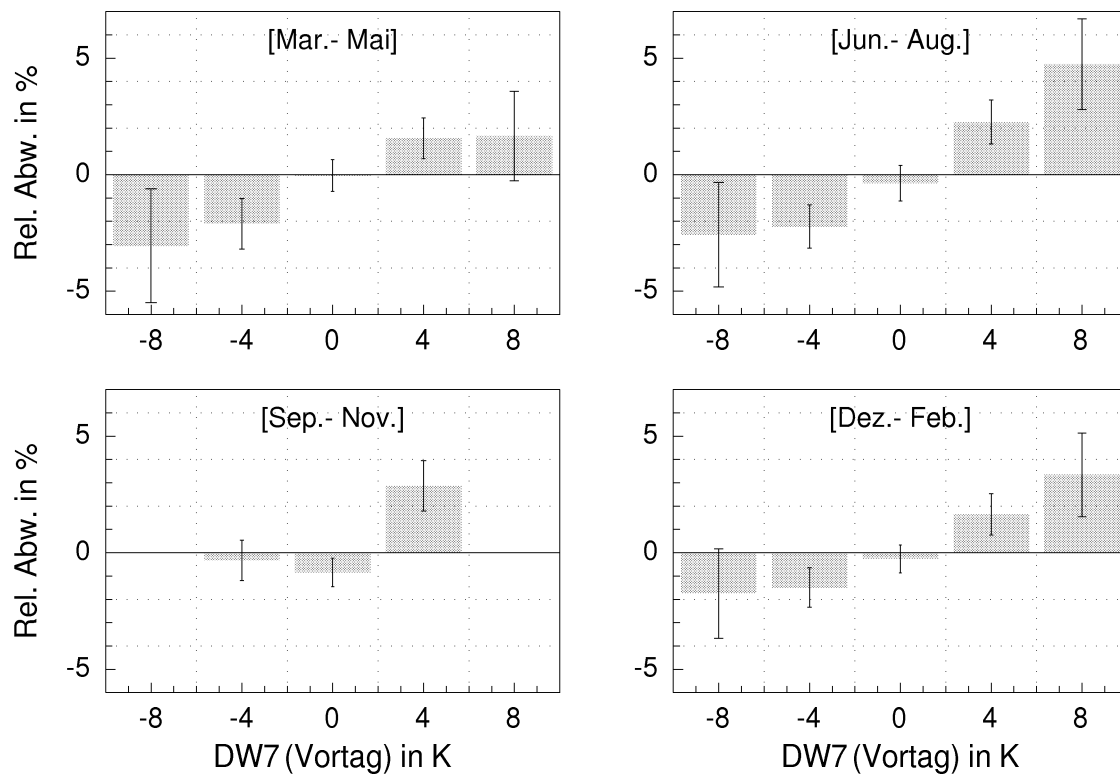


Abb. 3.14: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} vom Mittelwert in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

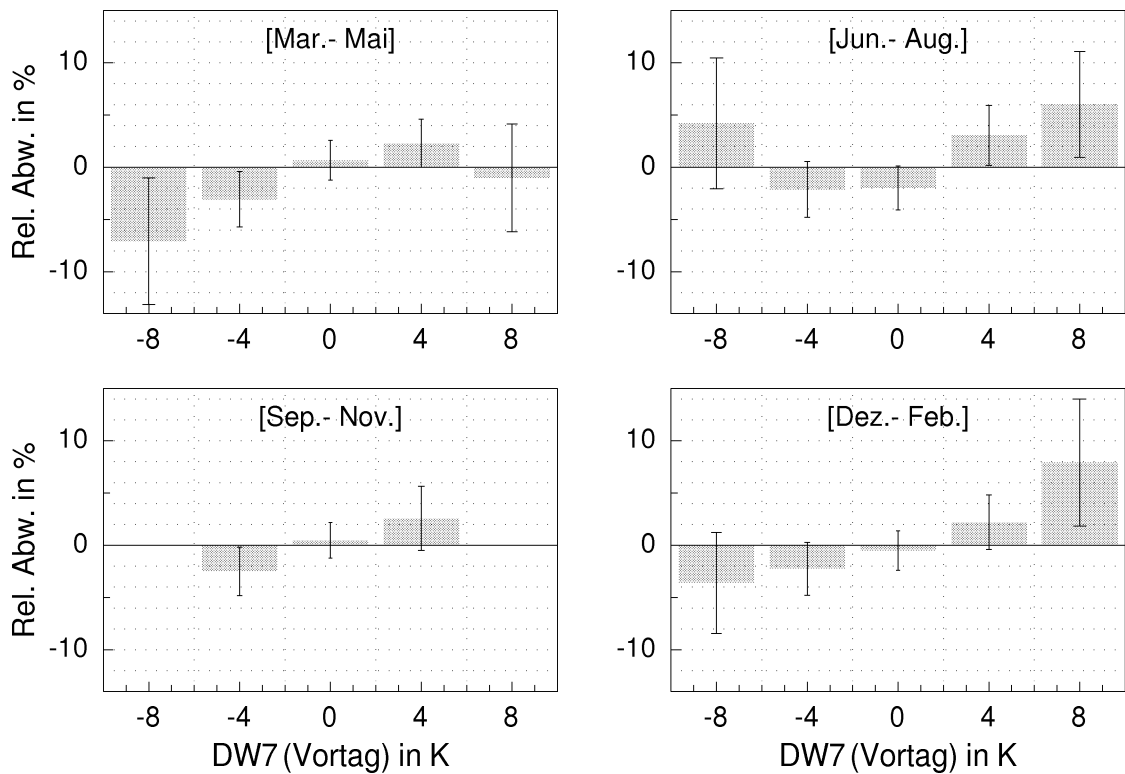


Abb. 3.15: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität bei den Atemwegserkrankungen MR_{At} vom entsprechenden jahreszeitlichen Mittelwert in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

3. Mortalität und thermische Belastung

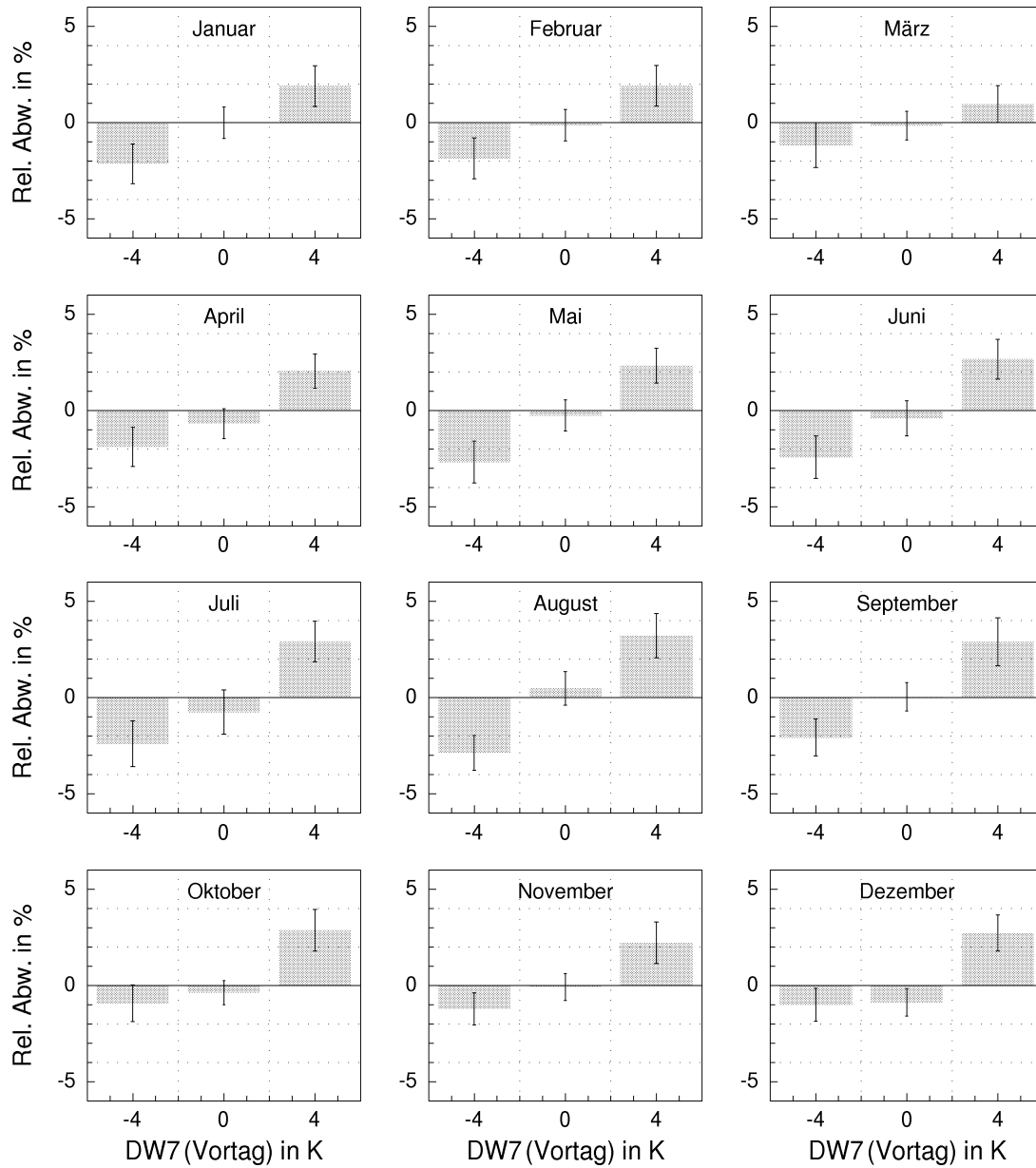


Abb. 3.16: Mittlere prozentuale Abweichungen der Gesamtmortalität MR_{Ges} vom entsprechenden monatlichen Mittelwert in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

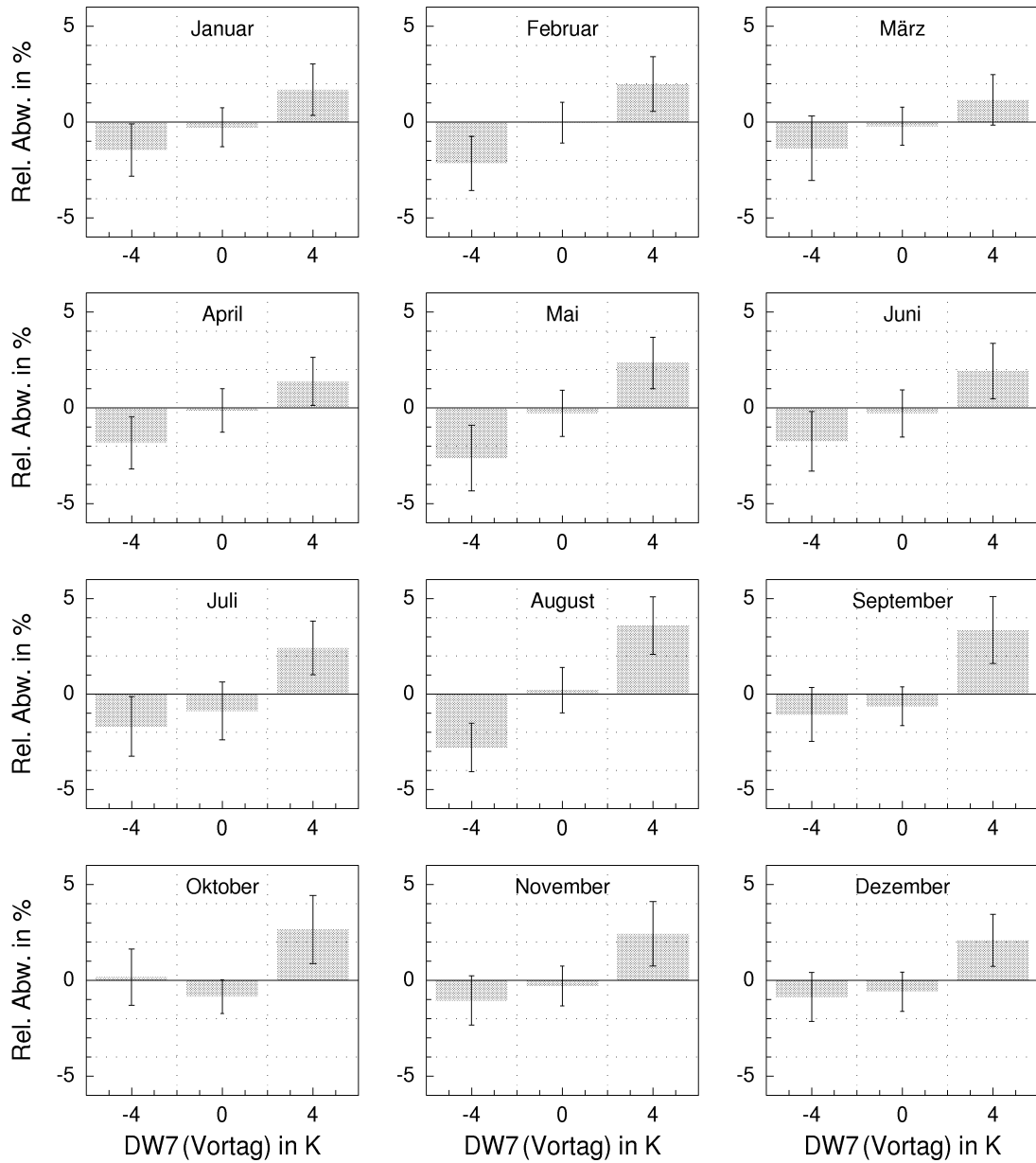


Abb. 3.17: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität im Herz-Kreislaufbereich MR_{HK} vom entsprechenden monatlichen Mittelwert in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

3. Mortalität und thermische Belastung

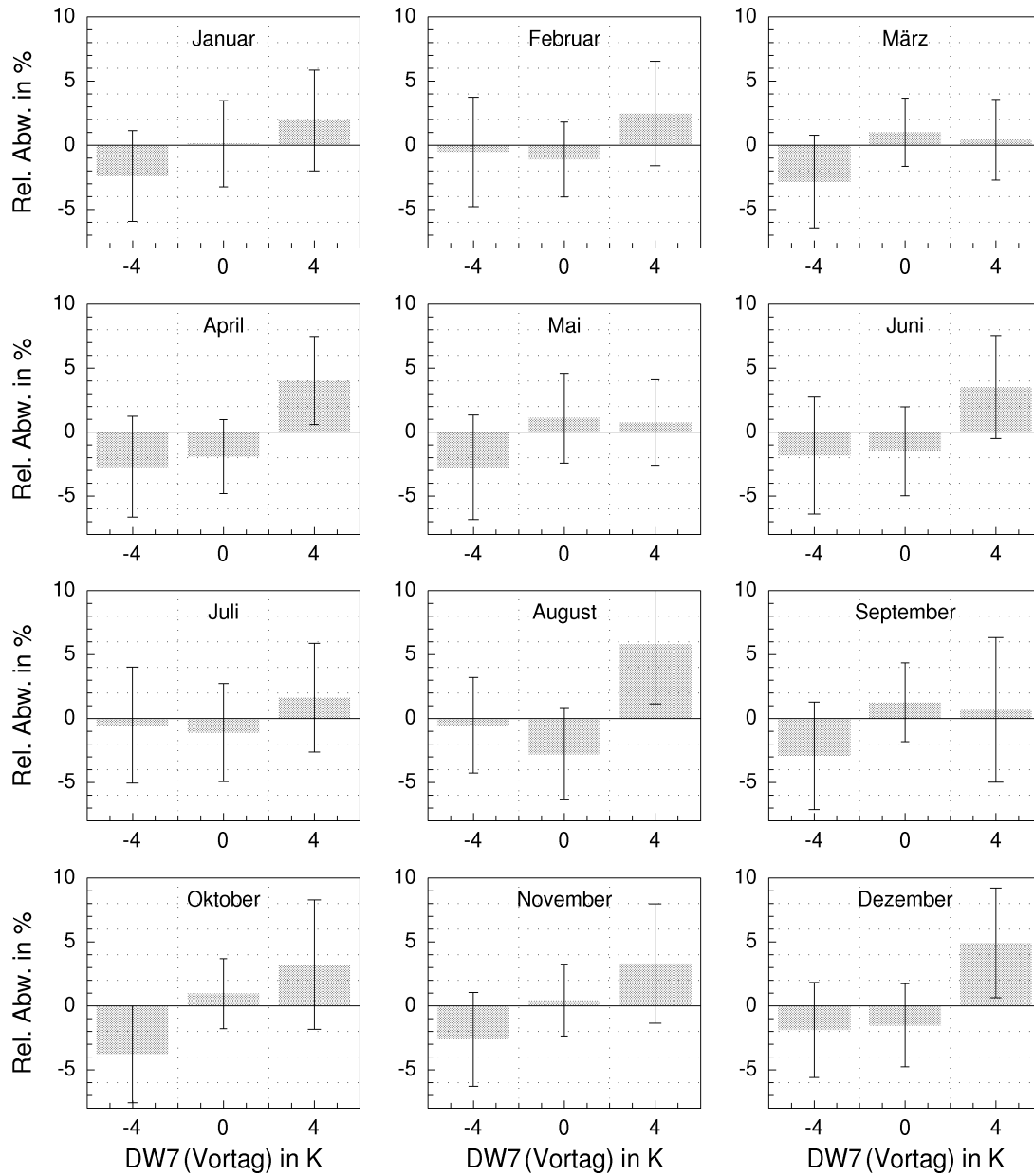


Abb. 3.18: Mittlere prozentuale Abweichungen der Mortalität bei den Atemwegserkrankungen MR_{At} vom entsprechenden monatlichen Mittelwert in Abhängigkeit von der Abweichung der täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen 7-tägigen gewichteten Mittel $DW7$. Klassenbreite: 4 K, Signifikanzniveau: 0.05.

3.2.3 Diskussion

Der Gesamtzeitraum (Abb. 3.5 und Abb. 3.12)

Die Histogramme für die Mortalitätsraten in Abhängigkeit von der mittleren täglichen gefühlten Temperatur (Vortag) zeigen negative Abweichungen vom 30-jährigen Mittelwert in den Klassen, in denen die gefühlte Temperatur im Komfortbereich liegt. Die größte negative Abweichung der Gesamtmortalität liegt mit -6.04 % in der 8. Klasse [11.99 °C...16.00 °C]. Im Herzkreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen betragen die Abweichungen -8.26 % bzw. -17.25 %. Mit zunehmendem Kältestreß steigen auch die Mortalitätsraten an. Die größten positiven Abweichungen liegen jeweils in der kältesten Klasse [$GT \leq 12.00$ °C] mit 9.26 % (13.75 %, 22.48 %). Bei zunehmender Wärmebelastung steigen die Mortalitätsraten ebenfalls an. Die mittlere Abweichung beträgt in der wärmsten Klasse [$GT > 24.00$ °C] bei der Gesamtmortalität +6.98 %. Zunehmende Wärmebelastung und zunehmender Kältestreß bedeuten eine Belastung der Thermoregulationsmechanismen, und damit eine Erhöhung der täglichen Todesfälle.

Damit können die Ergebnisse früherer Untersuchungen in Baden-Württemberg von *Jendritzky et al.* (1997) bestätigt werden. Einen Abfall der Abweichungen in Richtung der Randklassen, wie sie von *Frost und Auliciems* (1993) dargestellt wurden, konnte nicht gefunden werden (siehe Abb 3.1). Es ist aber nicht auszuschließen, daß Effekte bei sehr seltenen extremen Kälteereignissen durch die Wahl der Klassengrenzen der Randklassen überdeckt wurden.

Bei geringen Abweichungen der mittleren täglichen gefühlten Temperatur vom siebentägigen vorangegangenen gewichteten Mittel $DW7$ zeigen die Mortalitätsraten kaum Abweichungen vom 30-jährigen Mittelwert. Negative Werte von $DW7$ bedeuten eine Entlastung des Organismus. In diesem Bereich besitzen auch die Abweichungen der Mortalitätsraten negative Werte. Sind jedoch die mittleren täglichen gefühlten Temperaturen gegenüber den vorangegangenen Tagen höher, so steigen auch die Abweichungen der Mortalitätsraten an. Hier zeigt sich deutlich, daß eine Änderung zum warmen Milieu eine Belastung des Organismus bewirkt und damit zu einem Anstieg der Mortalitätsraten führt. Die mittleren Abweichungen der Mortalitätsraten mit +3.69 % und +6.92 % liegen in den Klassen mit den höchsten Werten von $DW7$.

Die Jahreszeiten (Abb. 3.6 bis 3.8 und Abb. 3.13 bis 3.15)

Bei der Betrachtung der einzelnen Jahreszeiten zeigen die Histogramme der Wintermonate und der Übergangsjahreszeiten generell eine Zunahme der Mortalitätsraten mit einer Abnahme der mittleren täglichen gefühlten Temperatur, wobei die mittleren Abweichungen in den Wintermonaten nur gering und nicht signifikant sind. Eine Ausnahme bildet die kälteste Klasse bei den Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich. Hier liegt die mittlere

Abweichung der täglichen Todesfälle bei +3.96 % und unterscheidet sich damit signifikant von den anderen Klassen.

Bei den Sommermonaten ist deutlich eine starke Zunahme der Mortalitätsraten mit steigenden gefühlten Temperaturen zu erkennen. Die mittleren Abweichungen liegen in der wärmsten Klasse bei +13.47 % (12.98 % und 31.32 %). Die Unterschiede auch gegenüber den Klassen der anderen Jahreszeiten sind signifikant.

Die Betrachtung der Änderungen des thermischen Milieus zeigt wie bei den Histogrammen der Gesamtzeiträume eine Zunahme der täglichen Todesfälle mit einer Änderung zu wärmeren Bedingungen. Eine Änderung zu kälteren Bedingungen bewirkt auch hier wieder eine Abnahme der täglichen Mortalitätsraten. Ausnahme bilden die Verteilungen der Histogramme der Mortalitätsraten bei den Atemwegserkrankungen in den Frühlings- und den Sommermonaten. Die großen Konfidenzintervalle lassen hier jedoch keine statistisch sicheren Beurteilungen zu.

Die Monate (Abb. 3.9 bis 3.11 und Abb. 3.16 bis 3.18)

Aufgrund der geringen Fallzahlen in den Klassen der einzelnen Monate ist nur eine vorsichtige Interpretation der Histogramme möglich. In den meisten Monaten überlappen sich die einzelnen Konfidenzintervalle. Trotzdem läßt sich feststellen, daß in den Monaten mit niedrigen Monatsmitteltemperaturen (Oktober bis Februar) eine Abnahme der mittleren täglichen gefühlten Temperatur zu einer Zunahme der täglichen Gesamtmortalität und der Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich führt. In den Monaten März bis Mai ändert sich dieser Trend, ab den Monat Juni ist deutlich eine Zunahme der Mortalitätsraten mit steigenden gefühlten Temperaturen zu erkennen. Die größten Abweichungen (+6.84 % bis 18.92 %) sind jeweils in der wärmsten Klasse im Juli zu finden, in denen auch die Wärmebelastung am höchsten ist. Hier zeigt sich auch, daß die Beziehungen zwischen den thermischen Umgebungbedingungen und den täglichen Todesfällen in den Sommermonaten höher sind als in den übrigen Monaten. Die geringeren aber trotzdem noch signifikanten Abweichungen der gleichen Klasse im August sind vermutlich ein Hinweis auf die größeren Auswirkungen der ersten extremen Wärmebelastungsereignisse in den Monaten Juni und Juli. Gefährdete Personen sind vermutlich schon bei den ersten Extremereignissen gestorben, es handelt sich also um eine geringfügige Vorverlegung des Todeseintrittsdatums, während sich die Überlebenden an die belastenden Umgebungsbedingungen angepaßt haben. In diesem Zusammenhang sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Randklassen der einzelnen Histogramme immer offene Randklassen sind. Deswegen können in der wärmsten Klasse im Juni [16 °C...20 °C] trotzdem Tage mit mittleren täglichen gefühlten Temperaturen von über 20 °C vorkommen.

Der Monat September mit vorherrschenden ruhigen Wetterlagen begünstigt eine Entlastung der Thermoregulationsmechanismen. Die mittleren täglichen Mortalitätsraten weisen nur geringe Abweichungen vom entsprechenden Monatsmittelwert auf.

Der Einfluß der Änderung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur läßt sich auch hier wiederfinden, wobei sich bei den Todesfällen bei den Atemwegserkrankungen keine signifikanten Unterschiede feststellen lassen.

Die Ergebnisse zeigen, daß nicht nur die thermischen Bedingungen vom Vortag, sondern auch ihre zeitlichen Änderungen einen Einfluß auf die täglichen Todesfälle haben. Bei mittleren täglichen gefühlten Temperaturen im Behaglichkeitsbereich weisen die Mortalitätsraten die niedrigsten Werte auf. Mit zunehmendem Kältestreß steigen auch die Mortalitätsraten an. Extreme Wärmebelastung führt zu einem starken Anstieg der Mortalitätsraten. Ebenfalls führt eine Änderung des thermischen Milieus zu wärmeren Bedingungen zu erhöhten Todesfällen. Änderungen zum Kalten bewirkt eine Entlastung des Organismus und führt damit auch zu einer Verringerung der täglichen Todesfälle.

Für die Beantwortung der Frage, welche der beiden Einflußgrößen (GT und $DW7$) in den einzelnen Monaten den dominanten Einfluß besitzt, wurde eine weitere Klasseneinteilung vorgenommen. Die einzelnen Klassen der mittleren täglichen gefühlten Temperatur wurden auf die Verteilungen der Abweichungen vom vorangegangenen siebentägigen Mittel untersucht. Die Abweichungen wurden in 5 Unterklassen mit einer Klassenbreite von 4 K eingeteilt. Dabei sind die erste und fünfte Unterklasse offene Randklassen. Für jede Unterklasse wurden die prozentuale Abweichung und das Konfidenzintervall bestimmt. In Abb 3.19 sind die Monate Februar, Mai und August dargestellt. Die großen Zahlen stellen die mittlere prozentuale Abweichung der Gesamtmortalität vom monatlichen Mittelwert dar. Die kleine Zahl oberhalb gibt die Klassenbesetzung an, die kleine Zahl unterhalb stellt das Konfidenzintervall dar.

Für die bessere Orientierung sind die positiven Abweichungen dunkelgrau, die negativen Abweichungen hellgrau unterlegt. Weiße Felder bedeuten leere Klassen. Bei Klassenbesetzungen mit weniger als hundert Werten wurde für die Berechnung der Konfidenzintervalle das Argument der t-Verteilung in Abhängigkeit der Klassenbesetzung benutzt.

Es zeigt sich, daß in der kältesten Klasse der mittleren täglichen gefühlten Temperatur im Februar alle Unterklassen positive Abweichungen besitzen. In der Unterklasse mit der größten Änderung zum kalten Milieu befindet sich die höchste Abweichung der Mortalitätsraten, wobei hier nur vier Fälle zu verzeichnen sind. Ebenfalls durchgehend positive Werte haben die wärmste und zweitwärmste Klasse im August. Bei extremen thermischen Bedingungen wie anhaltende Kälte oder Hitze ist das thermische Milieu die dominierende Einflußgröße. Bei gemäßigten thermischen Bedingungen scheint eher die zeitliche Änderung der thermischen Umgebungsbedingungen der dominierende Faktor zu sein. Besonders die sehr variablen thermischen Bedingungen in der Übergangszeit vom Winter zum Sommer wirken sich belastend auf die Thermoregulationsmechanismen aus und führen damit zu erhöhten täglichen Mortalitätsraten.

Korrelationskoeffizienten

Eine weitere Bestätigung der Vermutung, daß die Beziehungen zwischen den thermischen Bedingungen und den täglichen Todesfällen im Sommer höher sind als im Winter (*Kalkstein und Greene*, 1997), zeigen die in Abb. 3.20 dargestellten linearen Korrelationskoeffizienten für die Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten vom mittleren Jahrgang (siehe Kap. 3.3.1) und der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT (Vortag) für jeden Tag (30 Werte) eines Jahres. Dabei sind Korrelationskoeffizienten von $r \leq |0.211|$ signifikant für $\alpha = 0.05$.

Hohe Korrelationskoeffizienten befinden sich in den Monaten Juni, Juli und August. Der höchste Korrelationskoeffizient bei der Gesamtmortalität weist Ende Juli einen Wert von 0.823 auf. Dabei bedeuten positive Korrelationskoeffizienten eine Zunahme der Mortalitätsraten mit zunehmender Wärmebelastung. Negative Korrelationskoeffizienten weisen auf eine Zunahme der täglichen Todesfälle mit steigendem Kältestreß hin. Die starken Schwankungen der Korrelationskoeffizienten im April und im Mai im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen könnten möglicherweise ihre Ursache in den sehr variablen thermischen Bedingungen in diesen Monaten haben. Die gegenläufigen Schwankungen aus dem Signifikanzbereich heraus sind noch ungeklärt.

Die linearen Korrelationskoeffizienten der Abweichungen der mittleren täglichen gefühlten Temperaturen vom vorangegangenen siebentägigen Mittel $DW7$ (Vortag) und den Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten MR vom mittleren Jahrgang (siehe Abb. 3.21) weisen hohe Schwankungen auf und sind nur mit wenigen Ausnahmen signifikant. Positive Korrelationskoeffizienten bedeuten positive Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten vom mittleren Jahrgang bei Änderungen der thermischen Bedingungen zum Warmen hin. Daraus folgt keine Bestätigung für einen signifikanten Einfluß der zeitlichen Änderung der thermischen Bedingungen (insbesondere im Sommer) auf die täglichen Todesfälle. Möglicherweise muß hier ein anderer Zeitraum für die Beschreibung der zeitlichen Änderung des thermischen Milieus betrachtet werden.

3. Mortalität und thermische Belastung

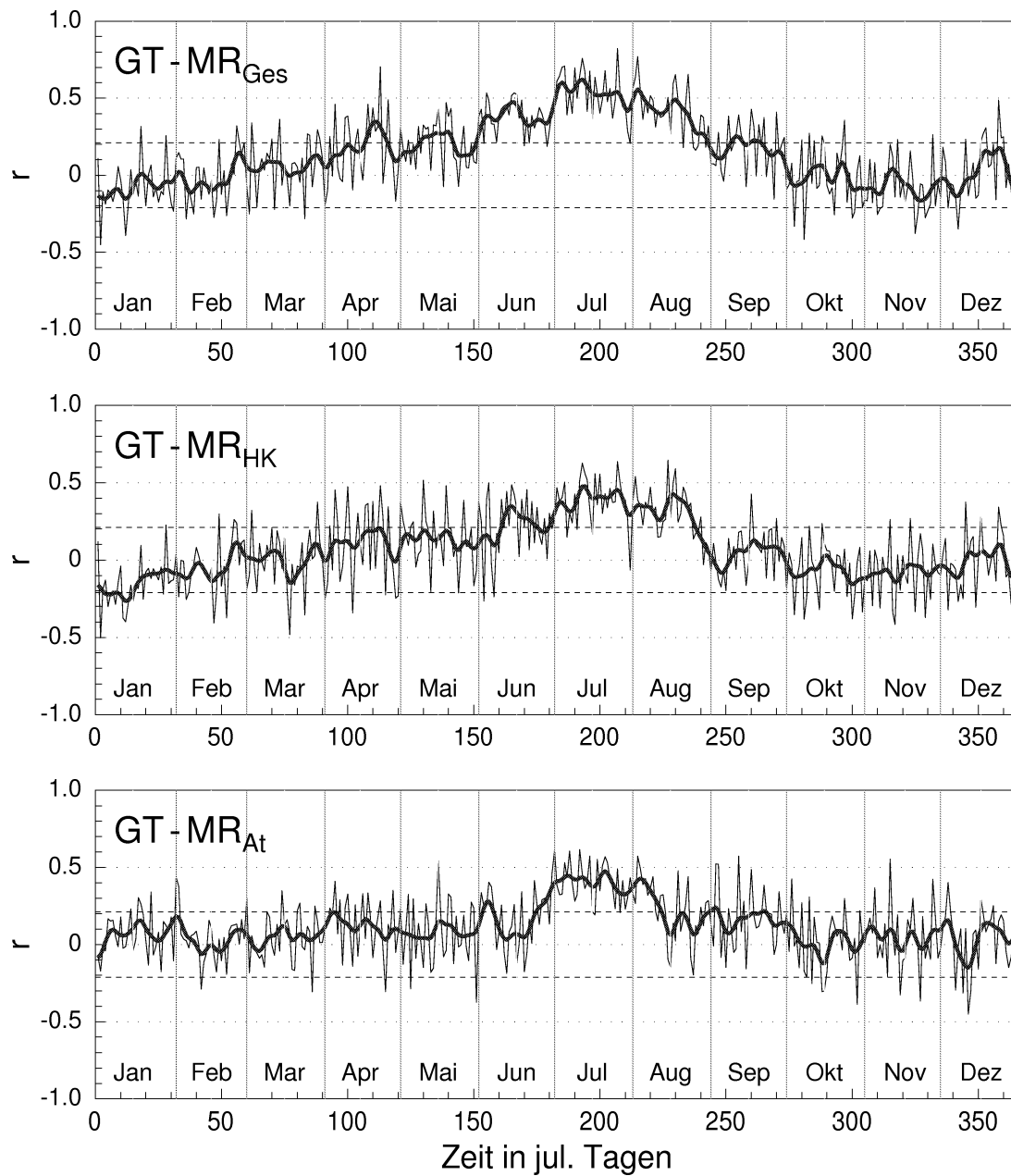


Abb. 3.20: Darstellung der linearen Korrelationskoeffizienten für die mittleren täglichen gefühlten Temperaturen (Vortag) und der täglichen Todesfälle (Oben: Gesamtmortalität, Mitte: Herz-Kreislaufbereich, Unten: Atemwegserkrankungen) Korrelationskoeffizienten zwischen den gestrichelten Linien (0.211 und -0.211) sind nicht signifikant zum Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$.

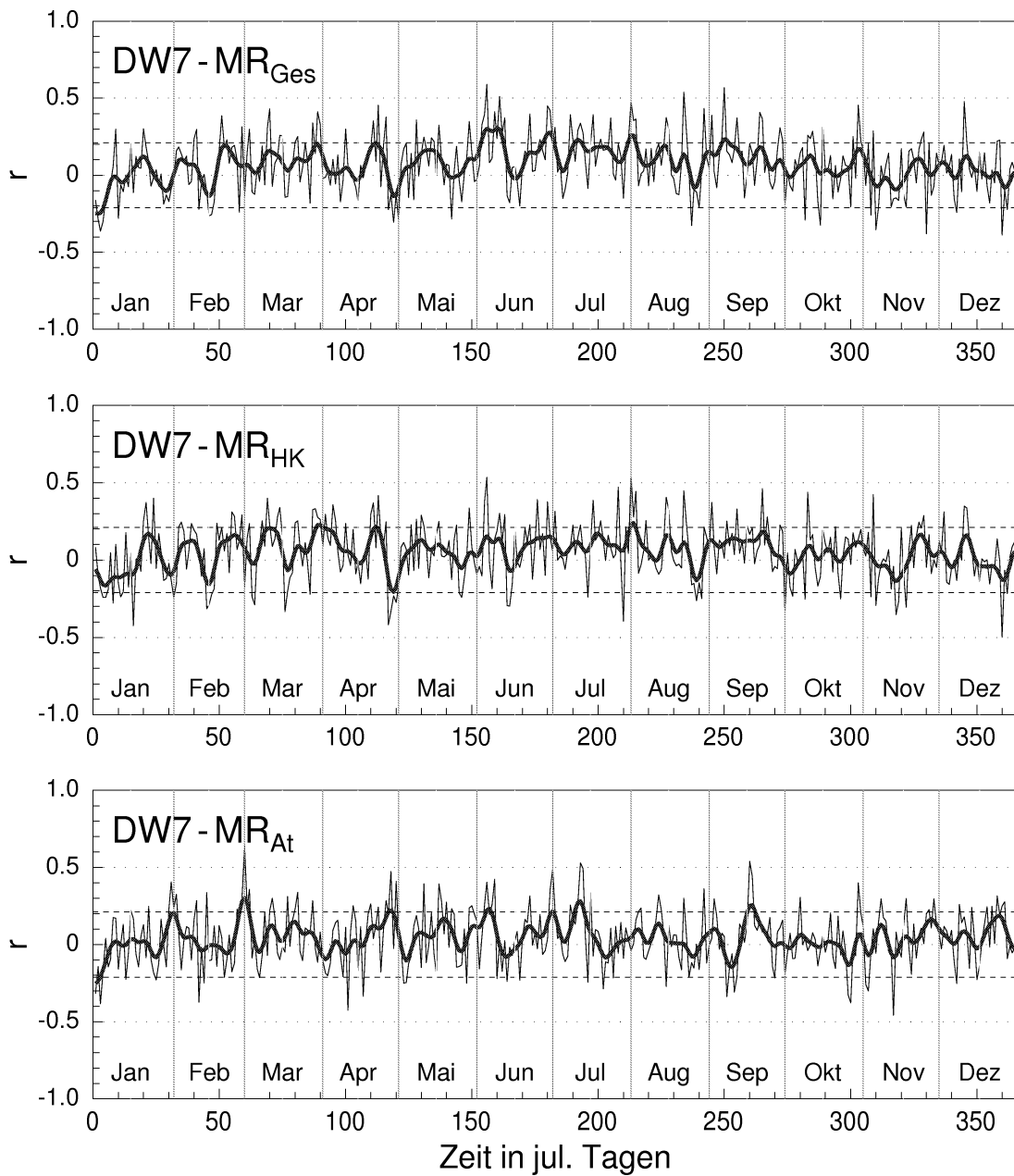


Abb. 3.21: Darstellung der linearen Korrelationskoeffizienten für die Abweichungen der mittleren täglichen gefühlten Temperaturen vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel $DW7$ (Vortag) und der täglichen Todesfälle (Oben: Gesamtmortalität, Mitte: Herz-Kreislaufbereich, Unten: Atemwegserkrankungen). Korrelationskoeffizienten zwischen den gestrichelten Linien (0.211 und -0.211) sind nicht signifikant zum Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$.

3.3 Das Regressionsmodell

3.3.1 Methodik

Über die Beziehungen zwischen der thermischen Belastung, ihrer zeitlichen Änderung und den täglichen Todesfällen wurde ein Modell entwickelt, das die täglichen Mortalitätsraten simulieren soll. Als Basis wurde ein mittlerer Jahresgang verwendet, der nur von dem julianischen Kalender abhängt. Es wurde angenommen, daß die täglichen Abweichungen der Mortalitätsraten vom mittleren Jahresgang von den thermischen Bedingungen und ihren zeitlichen Änderungen abhängen. Die thermischen Bedingungen wurden mit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT vom Vortag beschrieben, ihre zeitliche Änderung mit der Abweichung vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel $DW7$.

$$mr_i = \overline{\overline{MR}}_i + MR'_i$$

mit $\overline{\overline{MR}}_i = f(j)$ und $MR'_i = f(GT, DW7)$.

Der mittlere Jahresgang $\overline{\overline{MR}}$

Für die Beschreibung des mittleren Jahresganges der Mortalitätsraten wurden die Zeitreihen der einzelnen Jahre mit einem numerischen Filter (180 Tage) geglättet. Aus den tiefpaßgefilterten Zeitreihen wurde ein mittlerer Jahresgang berechnet und als Polynom 4. Grades in Abhängigkeit des julianischen Datums dargestellt. Die Koeffizienten der einzelnen Polynome sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt.

$$\overline{\overline{MR}}_{Ges}(j) = a_0 + a_1j + a_2j^2 + a_3j^3 + a_4j^4$$

	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
MR_{Ges}	2.879	$-1.68 \cdot 10^{-6}$	$69.0 \cdot 10^{-6}$	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$-11.0 \cdot 10^{-9}$
MR_{HK}	1.402	$-1.60 \cdot 10^{-6}$	$33.2 \cdot 10^{-6}$	$1.0 \cdot 10^{-6}$	$0.103 \cdot 10^{-6}$
MR_{At}	0.197	$0.378 \cdot 10^{-3}$	$6.3 \cdot 10^{-6}$	$0.2 \cdot 10^{-6}$	$9.0 \cdot 10^{-9}$

Tab. 3.1: Koeffizienten der Polynome für die Funktionen der mittleren Jahresgänge.

Die Kurven der mittleren Jahresgänge sind in Abb 3.22 als Abweichung vom Jahresmittel dargestellt. Der Verlauf der Kurven ist sehr gleichmäßig. Aufgrund der geringen Todesfallzahlen bei den Atemwegen fallen die prozentualen Abweichungen deutlich höher aus

als bei den Mortalitätsraten der Gesamtmortalität und im Herz-Kreislaufbereich. Das Maximum liegt in den Wintermonaten, das Minimum befindet sich zwischen den Monaten August und September. Auffallend ist der annähernd lineare Verlauf von Mitte Mai bis Mitte August. In diesem Bereich sind vermutlich stärkere Schwankungen der thermischen Bedingungen im Frühling als im Herbst und extreme Wärmebelastungsereignisse für erhöhte Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich verantwortlich. Die höheren Todesfälle bei den Atemwegserkrankungen werden im Sommer hauptsächlich durch Asthma-Anfälle aufgrund hohem Pollenflug und Belastung durch Luftschadstoffe verursacht.

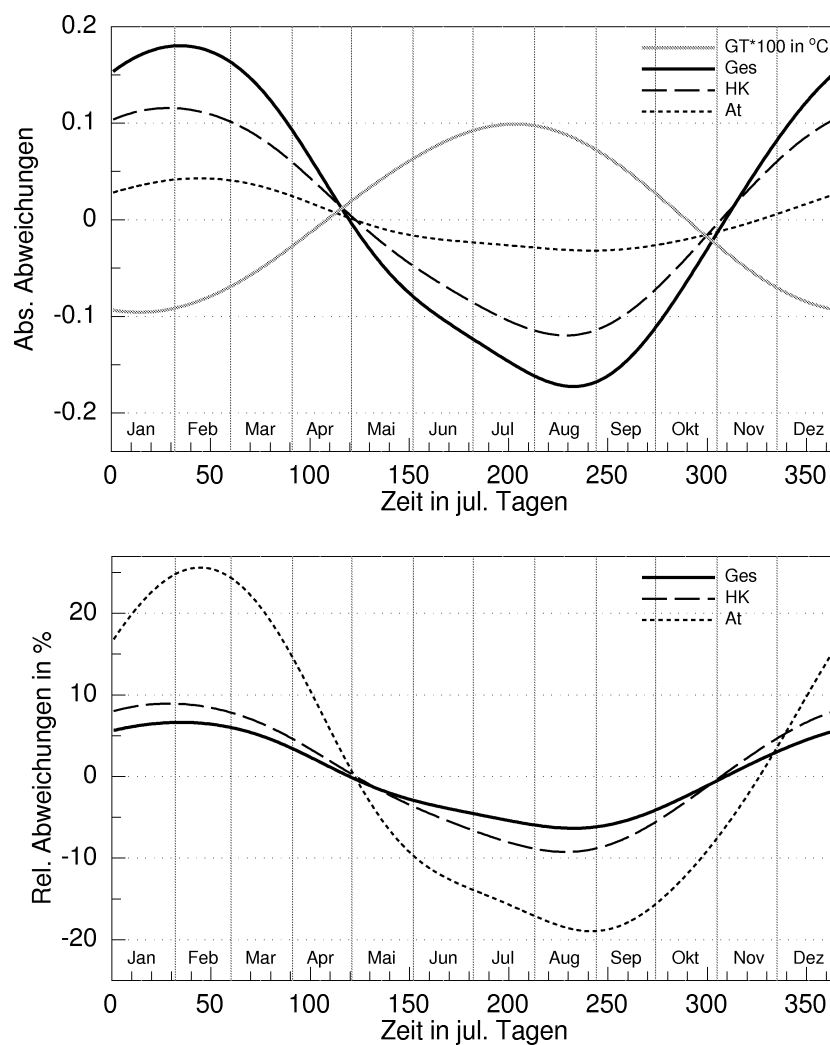


Abb. 3.22: Darstellung der Abweichungen der gemittelten Jahresgänge der gefühlten Temperatur und der Mortalitätsraten vom Gesamtmittelwert.

Die täglichen Abweichungen MR'

Der Einfluß der mittleren täglichen gefühlten Temperatur vom Vortag und ihrer siebentägigen Änderung auf die Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten wird über einen nicht linearen dreidimensionalen Regressionsansatz unter der Annahme der linearen Unabhängigkeit beschrieben.

$$MR'_i = f(GT_i) + f(DW7_i)$$

Durch das Zusammenfassen in Klassen und Berechnen der Mittelwerte (siehe Kap. 3.2) wurden die benötigten Regressionsbeziehungen erhalten. Die Beziehungen sind in der Abb. 3.23 für die Gesamtmortalität dargestellt. Ein Sommer- und ein Wintermodell berücksichtigten die jahreszeitlich bedingten Einflüsse. Dabei bezieht sich das Sommermodell nur auf Perioden, bei denen die mittlere gefühlte Temperatur einen Schwellenwert von 20 °C im Bereich von 30 Tagen mehrmals überschritten hat. Das gleiche Kriterium wurde auch bei der Wahl der Zeitabschnitte für das Wintermodell verwendet, wobei hier ein Schwellenwert von 5 °C vorgegeben wurde, der in dieser Zeit mehrmals unterschritten werden mußte. Die einzelnen Zeitabschnitte sind im Anhang (Tab. A.1) zusammengestellt. Da die Beziehungen zwischen den Mortalitätsraten und den siebentägigen Änderungen fast keine saisonalen Unterschiede aufweisen, wurden die Funktionen $f(DW7_i)$ aus den Histogrammen der Abb. 3.12 (S. 56) bestimmt. Für die Gesamtmortalität lautet die Regressionsbeziehung dann folgendermaßen:

$$f(GT_i) = a_0 + a_1 GT_i + a_2 GT_i^2$$

$$f(DW7_i) = -0.26 + 0.45 DW7_i + 0.02 DW7_i^2$$

	a_0	a_1	a_2
Sommermodell			
MR_{Ges}	7.067	-1.783	0.077
MR_{HK}	15.076	-2.626	0.097
MR_{At}	-19.795	0.031	0.068
Wintermodell			
MR_{Ges}	0.082	-0.338	—
MR_{HK}	0.097	-0.495	—
MR_{At}	-1.138	-0.893	—

Tab. 3.2: Koeffizienten der Polynome für die Funktionen der Abweichungen durch die mittlere tägliche gefühlte Temperatur GT .

Das Sommermodell

Mittlere tägliche gefühlten Temperaturen unterhalb $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ und negative Abweichungen vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel $DW7$ bewirken negative Abweichungen (bis zu -4.3%) der täglichen Mortalitätsraten vom mittleren Jahresgang. Dagegen steigen die Abweichungen der Mortalitätsraten mit zunehmenden gefühlten Temperaturen ab ca. $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ drastisch an. Ebenfalls steigen die Mortalitätsraten mit zunehmenden Änderungen zum warmen Milieu.

Das Wintermodell

Das Wintermodell liefert einen linearen Zusammenhang zwischen den täglichen Mortalitätsraten und den mittleren täglichen gefühlten Temperaturen. Positive Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten sind im Bereich negativer Temperaturen zu verzeichnen. Die Beziehungen zwischen den zeitlichen Änderungen der thermischen Bedingungen und den Mortalitätsraten sind die gleichen, wie sie im Sommermodell beschrieben sind. Allerdings ergab eine Überprüfung der kältesten Klasse von GT , daß bei einer Änderung der thermischen Bedingungen zum warmen Milieu keinen Anstieg der täglichen Mortalitätsrate erfolgt (siehe Kap. 3.2.3).

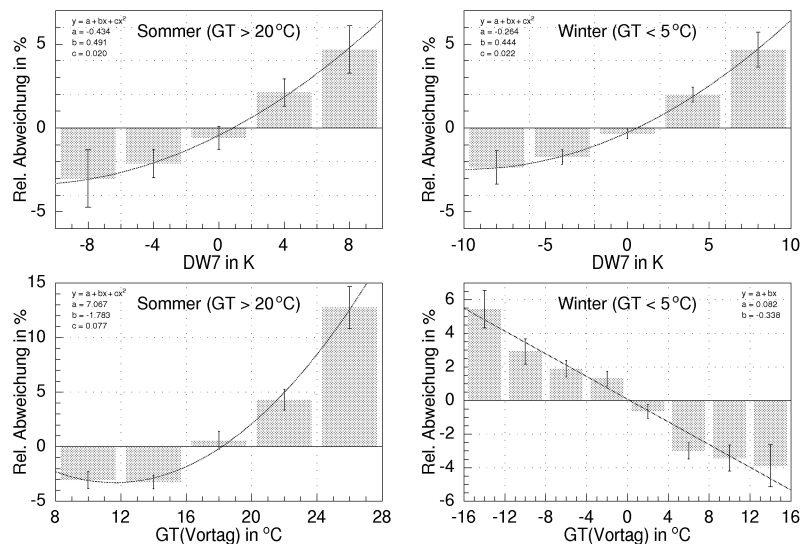


Abb. 3.23: Darstellung des Einflusses der mittleren gefühlten Temperatur GT und ihrer Abweichung vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel $DW7$ auf die Gesamtmortalität für die ausgewählten Zeiträume.

3.3.2 Diskussion

Um die Güte des Regressionsmodells zu beurteilen, wurden die berechneten Werte mit den Originaldaten der Mortalitätsraten über den Gesamtzeitraum verglichen. In Abb 3.25 ist das Streudiagramm für die Gesamtmortalität, und eine berechnete Regressionsgerade (Methode der kleinsten Quadrate) für das Gesamtmodell dargestellt. Der lineare Korrelationskoeffizient beträgt für die Gesamtmortalität 0.602. Dies entspricht einer Varianzerklärung von 36.24 %. Eine Modellrechnung, bei der nur der mittlere Jahresgang berücksichtigt wurde, bestätigte die Vermutung, daß der Korrelationskoeffizient von 0.602 hauptsächlich durch den Verlauf der Jahresgänge der mittleren gefühlten Temperatur und der Mortalitätsraten verursacht wird (31.47 %). Mit 4.77 % ist die Varianzerklärung nur durch die täglichen Schwankungen sehr gering.

Das Gesamtmodell liefert Gesamtmortalitätsraten zwischen 2.39 und 3.30, obwohl die Originaldaten zwischen 1.91 und 3.38 liegen. Dies spiegelt die unerklärte Varianz wieder und weist darauf hin, daß der Jahresgang der dominierende Vorgang ist. Auffallend sind die zwei länglichen Punktwolken oberhalb und unterhalb der Regressionsgeraden. Die obere Punktwolke wird durch das Wintermodell verursacht, die untere mit leicht erhöhten Werten am rechten Rand durch das Sommermodell.

Die Ergebnisse der einzelnen Modelle sind in Tab. 3.3 zusammengefaßt. Beim Modell I wurde ein möglicher Trend bei den Orginaldaten beibehalten. Vor den Berechnungen mit dem Modell II wurde ein nichtlinearer Trend abgezogen. Die Modelle I b) und II b) berücksichtigten nur die mittleren Jahresgänge.

	Sommer- Modell	Winter- Modell	Modell I a)	Modell I b)	Modell II a)	Modell II b)
r_{Ges}	0.490	0.354	0.583	0.545	0.602	0.561
B_{Ges} in %	24.0	21.53	33.87	29.70	36.24	31.47
r_{HK}	0.425	0.324	0.551	0.545	0.589	0.581
B_{HK} in %	17.22	10.50	30.36	29.70	34.69	33.76
r_{At}	0.247	0.344	0.478	0.485	0.521	0.522
B_{At} in %	6.10	11.83	22.85	23.52	26.21	27.25
I = mit Trend, II = voriger Abzug eines nichtlinearen Trendes						
a) = Gesamtmodell, b) = nur mittlerer Jahresgang						

Tab. 3.3: Darstellung der linearen Korrelationskoeffizienten r und der Bestimmtheitsmaße B für die einzelnen Modelle.

Der Vergleich des Sommermodells mit dem Wintermodell ergibt eine Varianzerklärung von 24.01 % im Sommer und nur 12.53 % im Winter (siehe Abb. 3.24). Hier zeigt sich, daß die Beziehungen zwischen den thermischen Belastungen und den täglichen Todesfällen

im Sommer enger sind als im Winter. Eine weitere Modellrechnung, bei der der Einfluß eines möglichen Trends untersucht wurde, zeigt, daß bei Nichtberücksichtigung die Varianzerklärung um 2.37 % sinkt.

Im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen ergeben sich maximale Varianzerklärungen von 34.69 % und 27.25 %, wobei die maximale Varianzerklärung bei den Atemwegserkrankungen nur mit dem mittleren Jahrgang erzielt wurde. In allen Fällen liegen die Varianzerklärungen unter den Werten der Gesamtmortalität. Vermutlich ist dies auch ein Effekt der kleineren Fallzahlen. Bei dem Gesamtmodell muß berücksichtigt werden, daß hohe Korrelationskoeffizienten möglicherweise durch zwei Punktwolken unterschiedlicher Grundgesamtheiten zustande kommen, die bei getrennter Betrachtung nur niedrigere Korrelationskoeffizienten liefern (siehe Sommer- und Wintermodell).

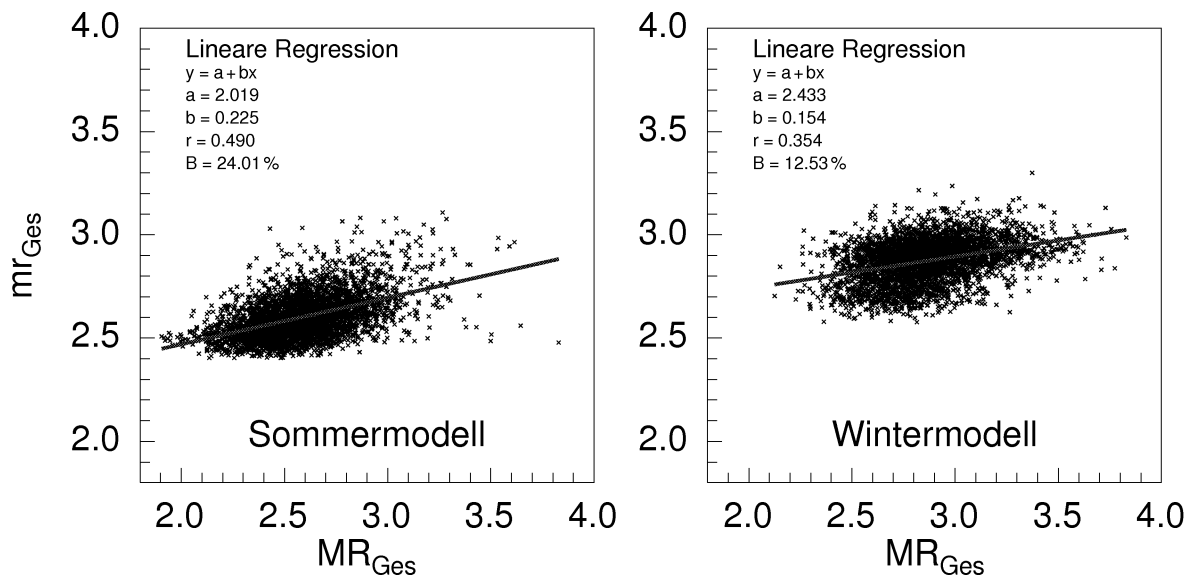


Abb. 3.24: Modellrechnung für die Gesamtmortalität für die ausgewählten Zeiträume Sommer und Winter.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, daß durch die geringen Varianzerklärungen für die täglichen Schwankungen der Mortalitätsraten ein Prognosemodell mit diesem Ansatz nicht sinnvoll ist. Besonders im Winter scheinen die täglichen Schwankungen anderen Einflüssen zu unterliegen. Allerdings lassen sich aus der Kenntnis der erwarteten thermischen Bedingungen sehr wohl Aussagen über das Maß der Biotropie machen. Besonders extreme Wärmebelastungs- und Kältestressereignisse sollten in diesem Zusammenhang näher untersucht werden, da besonders in den Sommermonaten Hitzewellen eine starke Beanspruchung der Thermoregulationsmechanismen verursachen.

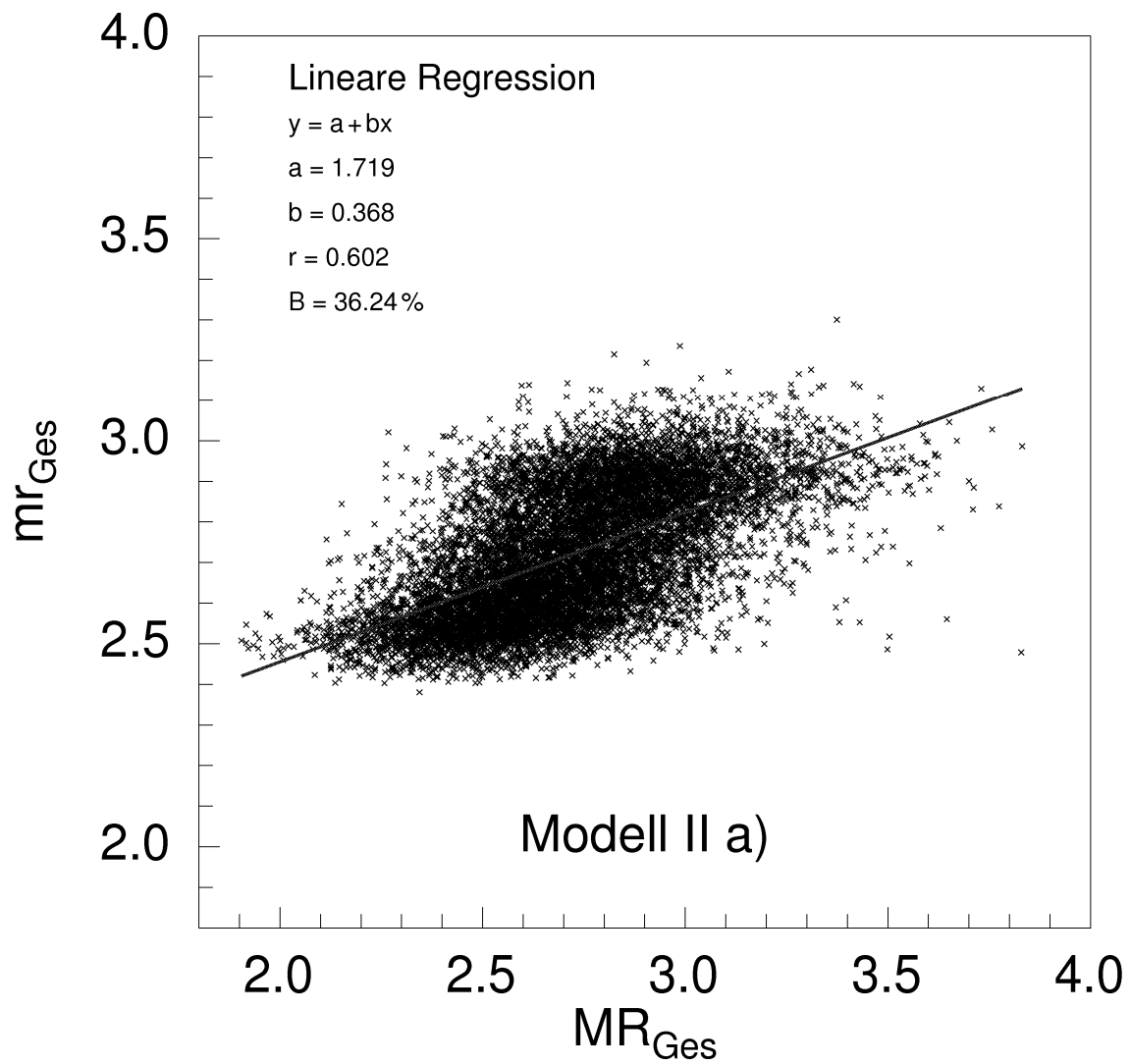


Abb. 3.25: Modellrechnung für die Gesamtmortalität über den gesamten Zeitraum. Die Berechnung der Regressionsgerade erfolgte über die Methode der kleinsten Quadrate.

3.4 Extremereignisse

Die Untersuchung des Einflusses von Extremereignissen wie Hitzewellen und Kaltlufteinbrüche auf die täglichen Todesfallzahlen gestaltet sich äußerst kompliziert. Besonders die Beantwortung der Frage, ob es sich um Vorsterblichkeit (*harvesting*) oder Übersterblichkeit handelt, ist mit großen Schwierigkeiten verbunden. Zentrales Problem hierbei ist die Festlegung des Erwartungswertes bei den täglichen Todesfällen. Daneben spielen auch die täglichen Schwankungen der Todesfallzahlen eine Rolle, da ihre Ausprägungen über das ganze Jahr gesehen nicht gleichmäßig verteilt sind. Gerade im Frühling sind die täglichen Schwankungen deutlich stärker ausgeprägt als im Herbst. Auch die Vermutung, daß die ersten Extremereignisse eines Jahres die größten Auswirkungen besitzen, müssen bei der Beurteilung der Ergebnisse mit einbezogen werden (*Smoyer, 1996*).

Im Juli 1995 forderte eine kurze aber intensive Hitzeperiode in Chicago 525 zusätzliche Todesopfer. Vermutlich liegt die Zahl der Todesopfer wesentlich höher, da nur die Fälle gezählt wurden, bei denen der Arzt eindeutig die Hitze als Todesursache feststellen konnte. Schon in den 70er Jahren wurde auf dieses Problem hingewiesen (*Ellis, 1972*). Der wahre Wert der zusätzlichen Todesfälle (*Excess Mortality*) wird vielmehr durch die Abweichung vom entsprechenden Erwartungswert bestimmt (*Avery, 1985*). Es muß angenommen werden, daß die Todesfälle durch Hitze bisher um den Faktor 10 unterschätzt wurden (*Changnon, 1996*). Ein weiteres Problem ergibt sich mit der Frage nach Schwellenwerten für Extremsituationen, da gleiche extreme thermische Bedingungen in verschiedenen Ländern unterschiedliche Auswirkungen besitzen können (siehe Einleitung Kap.3).

Um also Rückschlüsse auf den Einfluß von thermischen Extremsituationen auf die täglichen Todesfälle ziehen zu können, muß zuerst das Problem der Festlegung des Erwartungswertes gelöst werden. Im folgenden Kapitel werden mehrere Ansätze dargestellt, die zu einer Lösung dieses zentralen Problems führen können. Dabei wurden für jedes Jahr die Zeitreihen mit einer Länge von 201 Tagen herausgesucht, in deren Mitte sich der Tag (Stichtag) mit der wärmsten bzw. der kältesten mittleren gefühlten Temperatur befindet. Dieses Verfahren ist eine Möglichkeit, dem Problem zu begegnen, ab welchen thermischen Bedingungen von Extremereignissen gesprochen werden kann. Es stellt aber keine Lösung im eigentlichen Sinne dar, spielen doch Zeitpunkt und Dauer der extremen thermischen Bedingungen ebenfalls eine Rolle.

Extreme Wärmebelastungsereignisse

Der Verlauf der gemittelten Kurve der gefühlten Temperatur in Abb. 3.26 zeigt einen leichten Anstieg von 4.73 °C auf 17.53 °C vier Tage vor dem Stichtag. Innerhalb von 3 Tagen steigt sie auf 26.01 °C am Stichtag an, um dann in der Zeit von 2 Tagen auf 17.27

°C zurück zu gehen. Danach sinkt sie kontinuierlich mit leichten Schwankungen auf 3.64 °C ab.

Die Gesamtmortalität zeigt während diesen 201 Tagen einen Abfall von 2.80 auf 2.60 mit regelmäßigen Schwankungen bis ungefähr 55 Tage vor dem Stichtag. Danach nehmen die Schwankungen deutlich zu mit dem höchsten Peak (2.86) einen Tag nach dem Stichtag. Innerhalb 2 Tagen fällt die Mortalitätsrate rapide ab und weist nur noch geringere Schwankungen auf. Bis zum Tag 201 steigt sie dann wieder auf einen Wert von 2.75.

Extreme Kältestreßereignisse

Die in Abb. 3.27 gemittelten gefühlten Temperaturen sinken von 10.41 °C auf -6.53 °C 4 Tage vor dem Stichtag ab. Danach fällt die gefühlte Temperatur sehr schnell auf -16.27 °C am Stichtag. 5 Tage nach dem Stichtag wird aber schon wieder ein Wert von -7.49 °C erreicht. 6 Tage nach dem Stichtag steigt sie langsam wieder an und erreicht am Ende 5.45 °C.

Der Verlauf der Gesamtmortalität zeigt einen leichten Anstieg mit regelmäßigen Schwankungen bis zum Stichtag von 2.63 auf 2.85. Nach dem Stichtag weist sie innerhalb 4 Tagen einen deutlichen Sprung um ca. 0.08 auf. Der höchste Wert mit 3.04 liegt allerdings erst 10 Tage nach dem Stichtag. Danach sinkt die Mortalitätsrate nur langsam wieder ab und erreicht 100 Tage nach dem Stichtag einen Wert von 2.75.

3.4.1 Das lineare Verfahren

In Anlehnung an eine frühere Untersuchung in Baden-Württemberg wurde über die herausgesuchten Zeitreihen gemittelt und ihre Abweichungen vom berechneten Erwartungswert dargestellt (*Jendritzky et al., 1997*). Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate wurde eine Regressionsgerade aus den Werten der Tage bis zwei Tage vor dem Stichtag für die gemittelten Mortalitätsraten berechnet und als Erwartungswert benutzt. Für die gefühlten Temperaturen diente der Gesamtmittelwert (201 Tage) als Erwartungswert. In Abb. 3.26 und 3.27 sind in den oberen beiden Schaubildern die gemittelten Kurven und die entsprechenden Erwartungswerte dargestellt. Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen vom berechneten Erwartungswert dar.

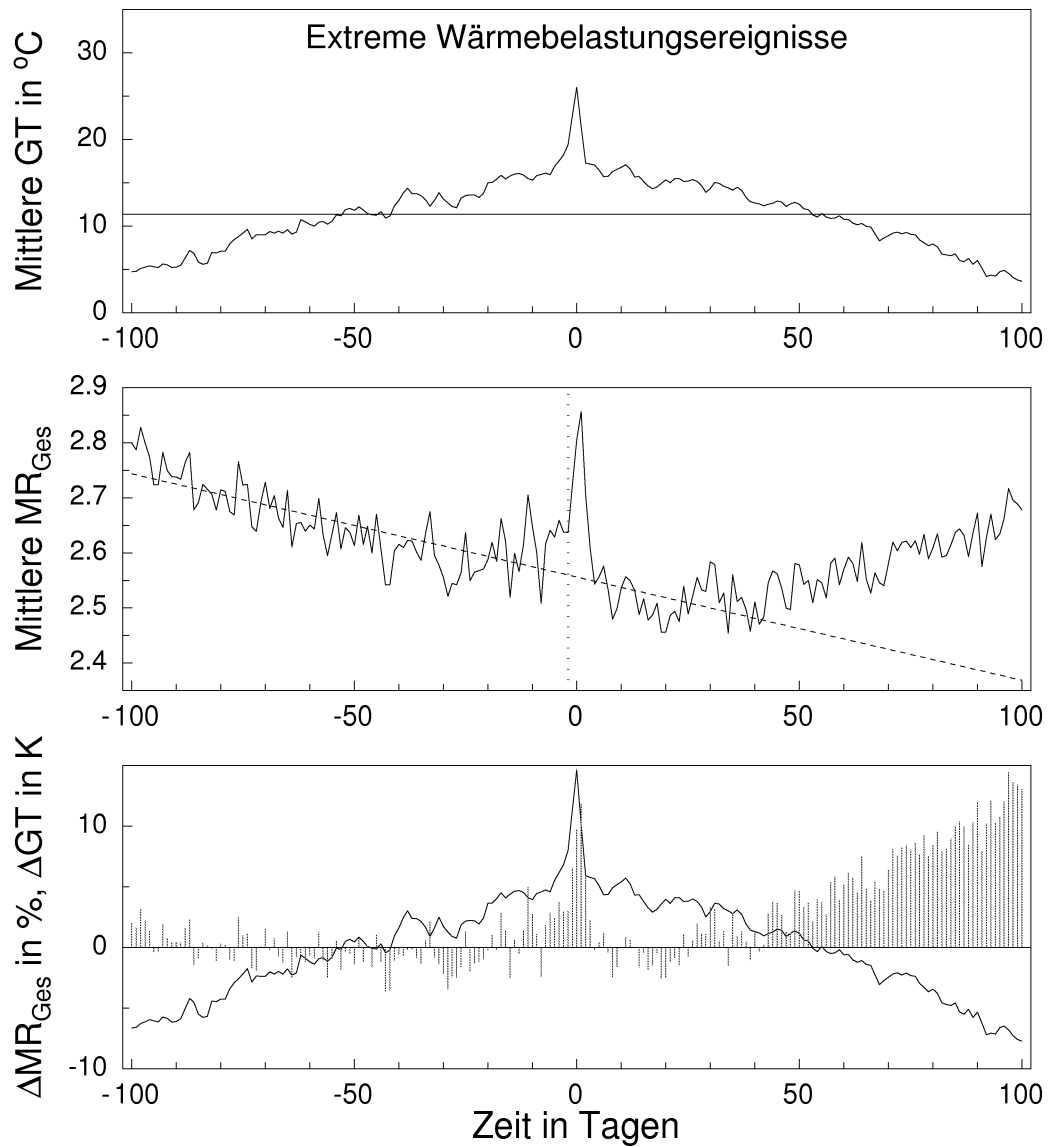


Abb. 3.26: Darstellung der gemittelten Zeitreihen (durchgezogene Kurven) und den jeweils entsprechenden Erwartungswerten (Geraden) für die gefühlte Temperatur GT (oben) und die Gesamt mortalität MR_{Ges} (Mitte). Die Werte links von der senkrechten gestrichelten Linie in der mittleren Abbildung wurden für die Berechnung des Erwartungswertes benutzt. Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen ΔGT und ΔMR_{Ges} vom entsprechenden Erwartungswert dar.

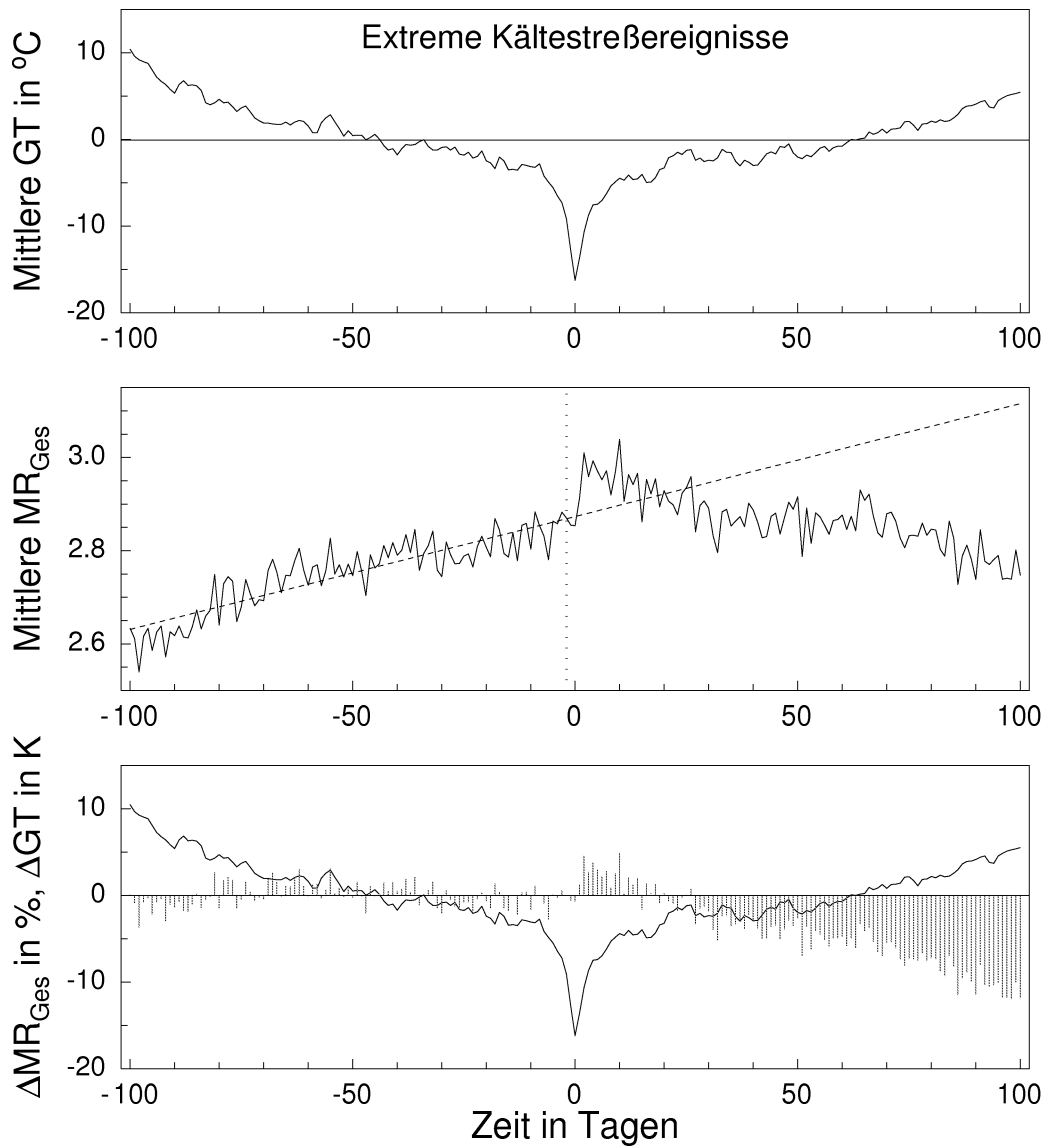


Abb. 3.27: Darstellung der gemittelten Zeitreihen (durchgezogene Kurven) und den jeweils entsprechenden Erwartungswerten (Geraden) für die gefühlte Temperatur GT (oben) und die Gesamt mortalität MR_{Ges} (Mitte). Die Werte links von der senkrechten gestrichelten Linie in der mittleren Abbildung wurden für die Berechnung des Erwartungswertes benutzt. Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen ΔGT und ΔMR_{Ges} vom entsprechenden Erwartungswert dar.

3.4.2 Das Filterverfahren

In den Abb. 3.28 bis 3.35 wurden die Erwartungswerte jeweils durch Filterung der gemittelten Zeitreihen mit Hilfe eines symmetrischen Tiefpaßfilters bestimmt. Die Bestimmung der mittleren Zeitreihen wurde in Kap 3.4 beschrieben. Die Tiefpaßfilterung erfolgte durch Konvolution (Ringmittelung) im Zeitbereich. Um einer Verkürzung der Zeitreihen durch die Filterung entgegenzuwirken, wurden die Zeitreihen an den beiden Enden linear verlängert. Die Gewichtsfunktion $w(i)$ für die Berechnung der einzelnen Gewichte w_i wurde hierbei über die Wahl der Abschneidefrequenz f_c bestimmt:

$$w(i) = \text{sinc}(x) * \sin(i/l)$$

$$x = 2.0 \text{ idt} f_c$$

$$l = 1/(2.0 \text{ dt} f_c)$$

$$\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$$

$$\text{dt} = 1 \text{ Tag.}$$

In den folgenden Abbildungen sind jeweils die berechneten Erwartungswerte als gestrichelte Kurven und die Abweichungen für die Abschneidefrequenzen $f_c = 0.01$ und $f_c = 0.02$ dargestellt, da bei diesen Frequenzen die erhaltenen Kurven der Erwartungswerte am sinnvollsten schienen. Dabei muß beachtet werden, daß die Randbereiche der gefilterten Kurven durch die angesetzten Randstücke beeinflusst werden.

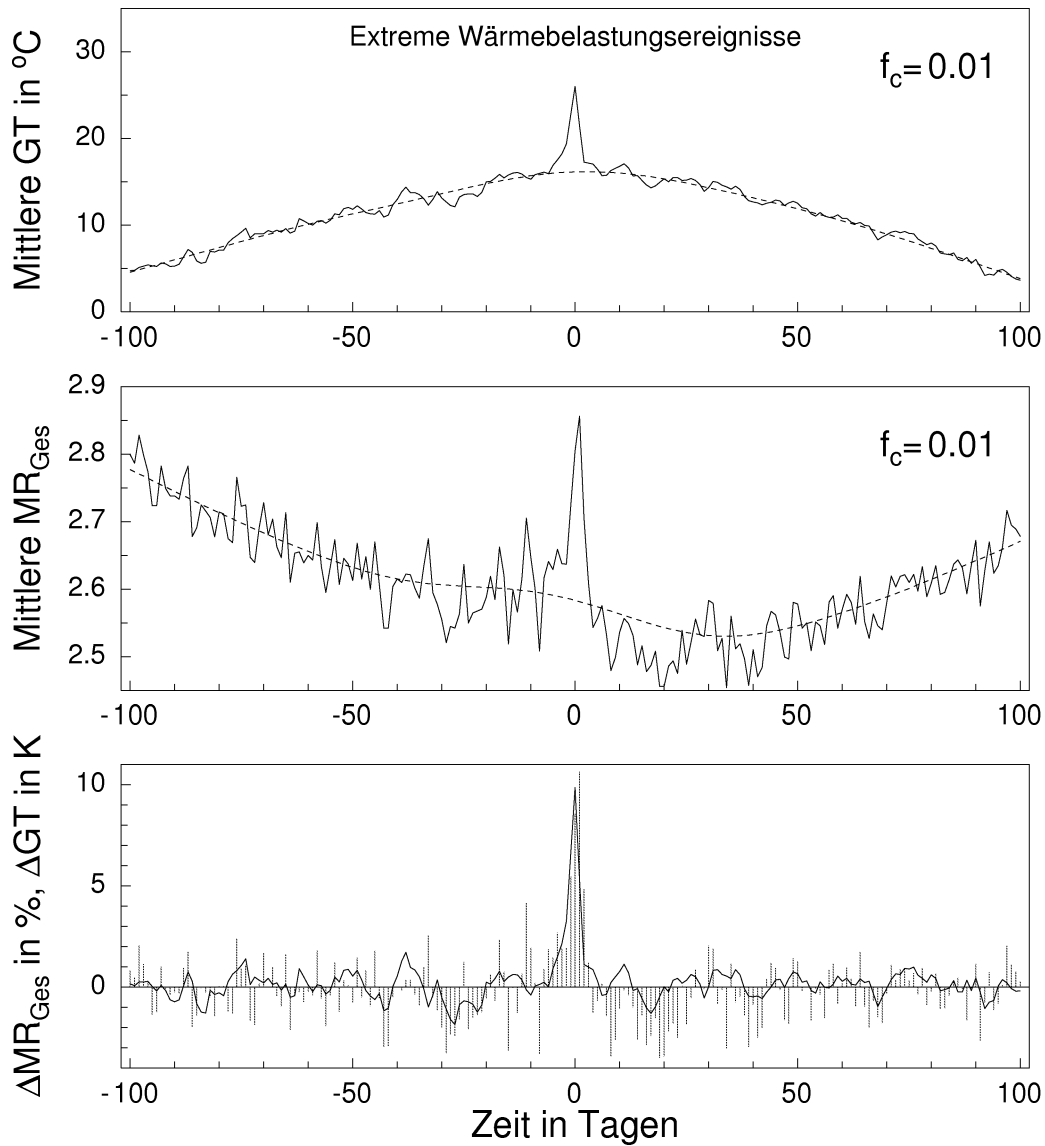


Abb. 3.28: Darstellung der gemittelten Zeitreihen (durchgezogene Kurven) und der jeweils entsprechenden Erwartungswerte (gestrichelte Kurven aus Tiefpaßfilterung) für die gefühlte Temperatur GT (oben) und die Gesamt mortalität MR_{Ges} (Mitte). Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen ΔGT (Kurve) und ΔMR_{Ges} (Balken) vom entsprechenden Erwartungswert dar. f_c ist die verwendete Abschneidefrequenz der Tiefpaßfilterung.

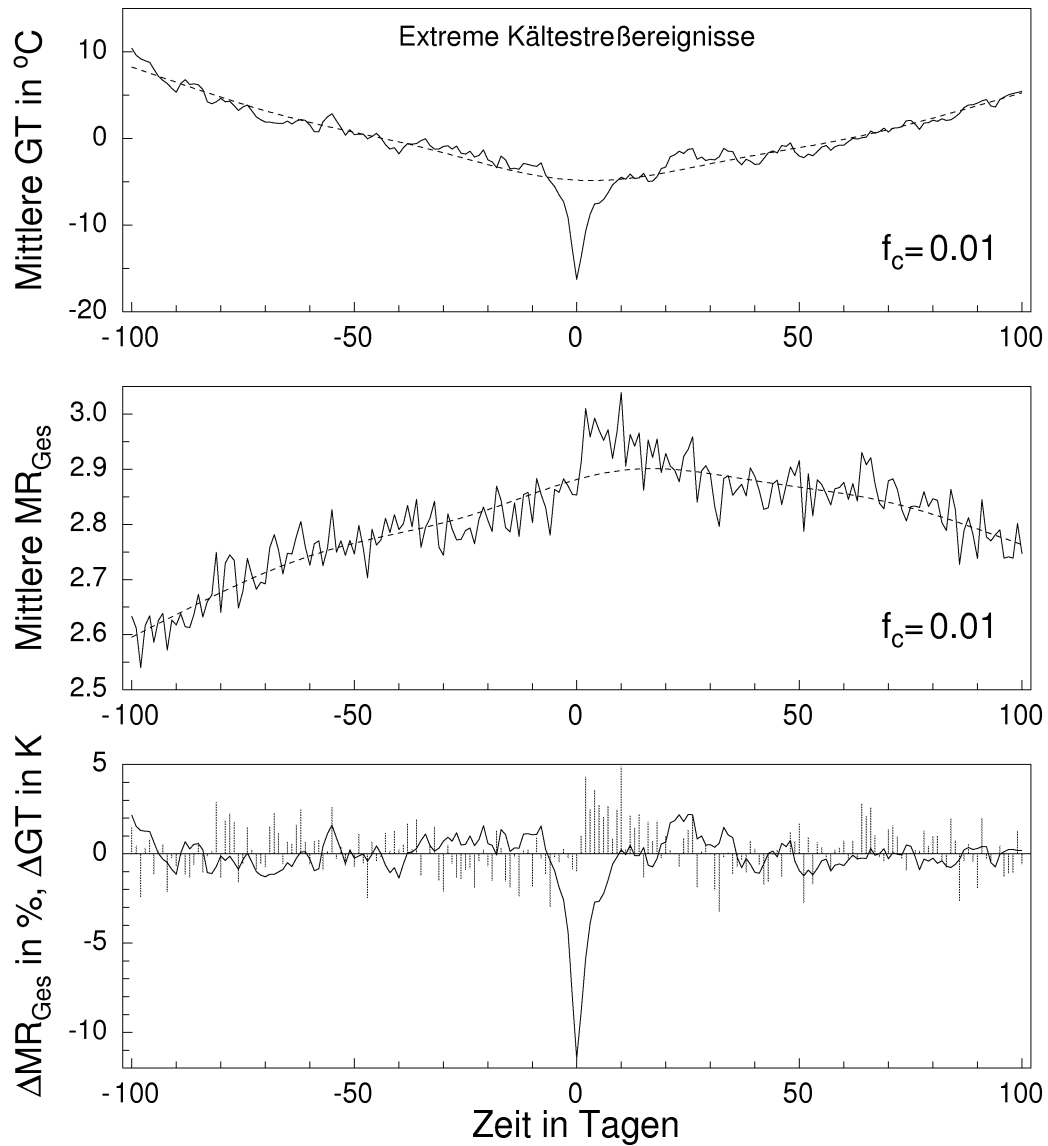


Abb. 3.29: Darstellung der gemittelten Zeitreihen (durchgezogene Kurven) und der jeweils entsprechenden Erwartungswerte (gestrichelte Kurven aus Tiefpaßfilterung) für die gefühlte Temperatur GT (oben) und die Gesamtmortalität MR_{Ges} (Mitte). Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen ΔGT (Kurve) und ΔMR_{Ges} (Balken) vom entsprechenden Erwartungswert dar. f_c ist die verwendete Abschneidefrequenz der Tiefpaßfilterung.

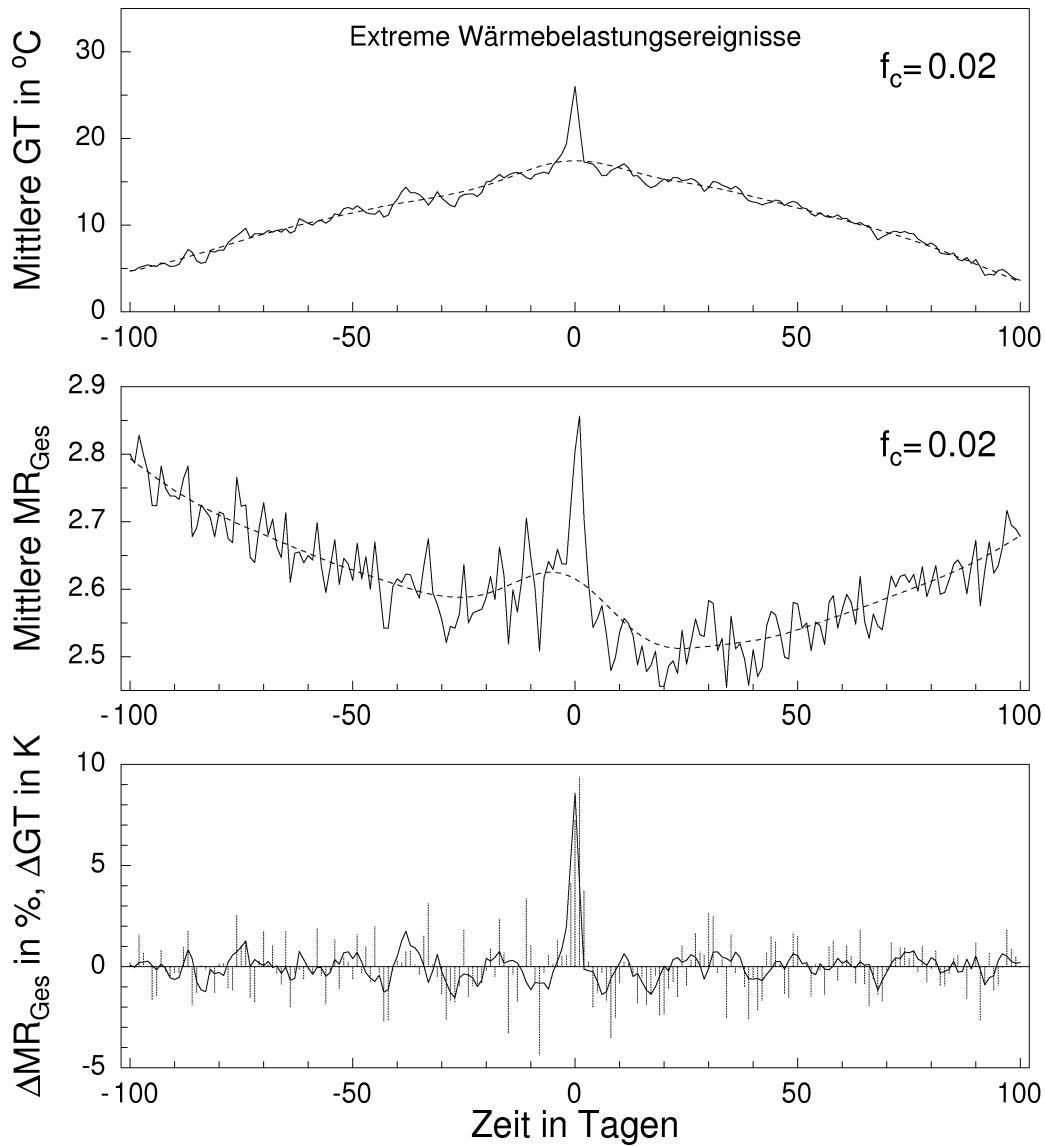


Abb. 3.30: Darstellung der gemittelten Zeitreihen (durchgezogene Kurven) und der jeweils entsprechenden Erwartungswerte (gestrichelte Kurven aus Tiefpaßfilterung) für die gefühlte Temperatur GT (oben) und die Gesamtmortalität MR_{Ges} (Mitte). Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen ΔGT (Kurve) und ΔMR_{Ges} (Balken) vom entsprechenden Erwartungswert dar. f_c ist die verwendete Abschneidefrequenz der Tiefpaßfilterung.

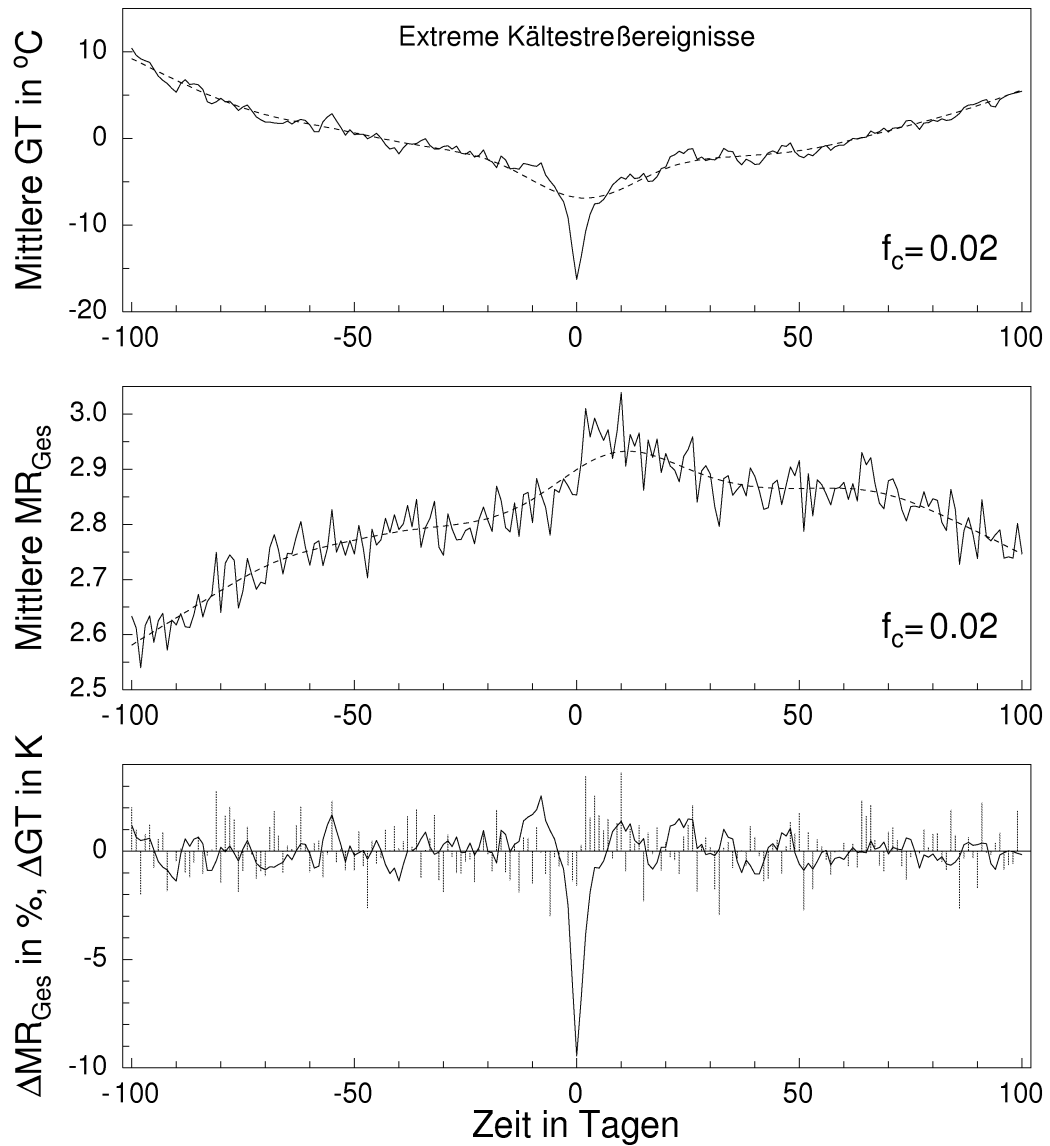


Abb. 3.31: Darstellung der gemittelten Zeitreihen (durchgezogene Kurven) und der jeweils entsprechenden Erwartungswerte (gestrichelte Kurven aus Tiefpaßfilterung) für die gefühlte Temperatur GT (oben) und die Gesamtmortalität MR_{Ges} (Mitte). Die untere Abbildung stellt jeweils die Abweichungen ΔGT (Kurve) und ΔMR_{Ges} (Balken) vom entsprechenden Erwartungswert dar. f_c ist die verwendete Abschneidefrequenz der Tiefpaßfilterung.

3. Mortalität und thermische Belastung

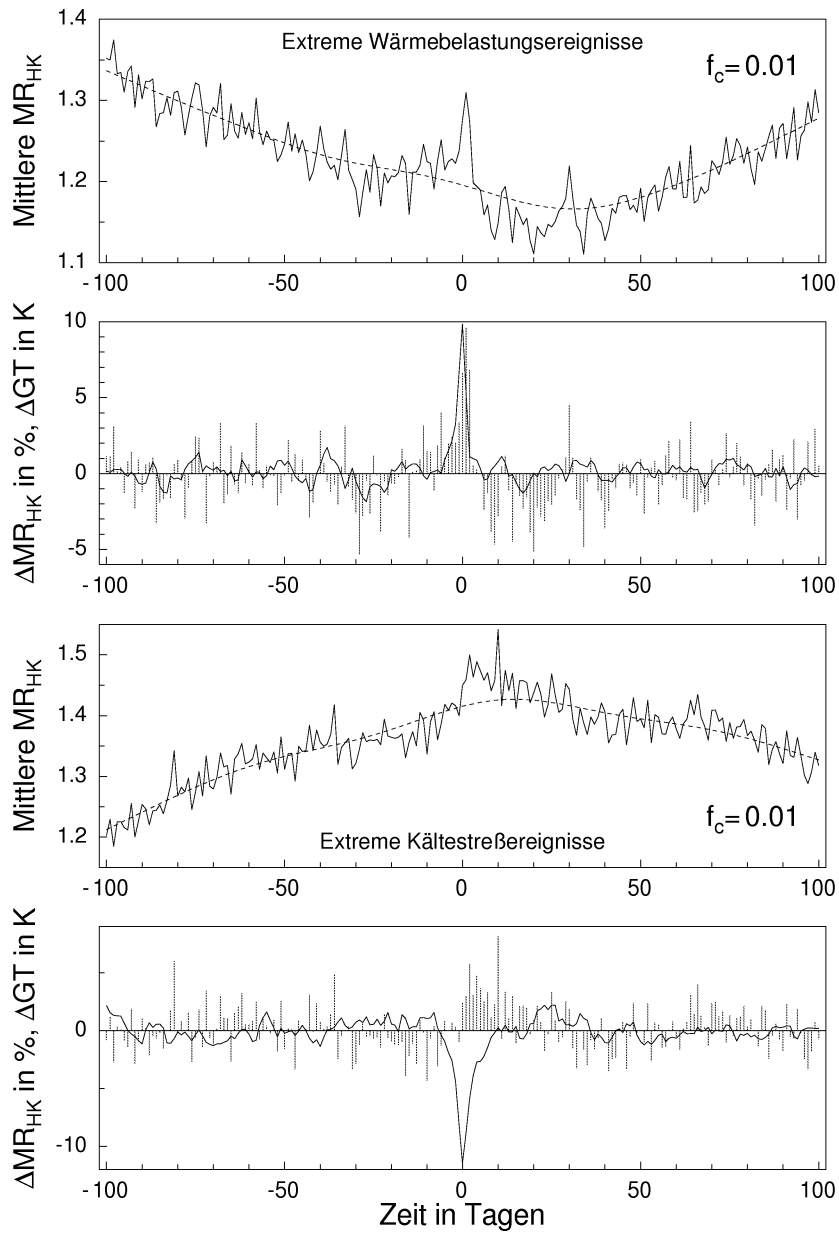


Abb. 3.32: Darstellung der gemittelten und gefilterten Zeitreihen im Herz-Kreislaufbereich. Die Abweichungen ΔMR_{HK} vom Erwartungswert sind jeweils als Balken für Wärmebelastungsereignisse (2. Abbildung) und für Kältestreßereignisse (4. Abbildung) dargestellt.

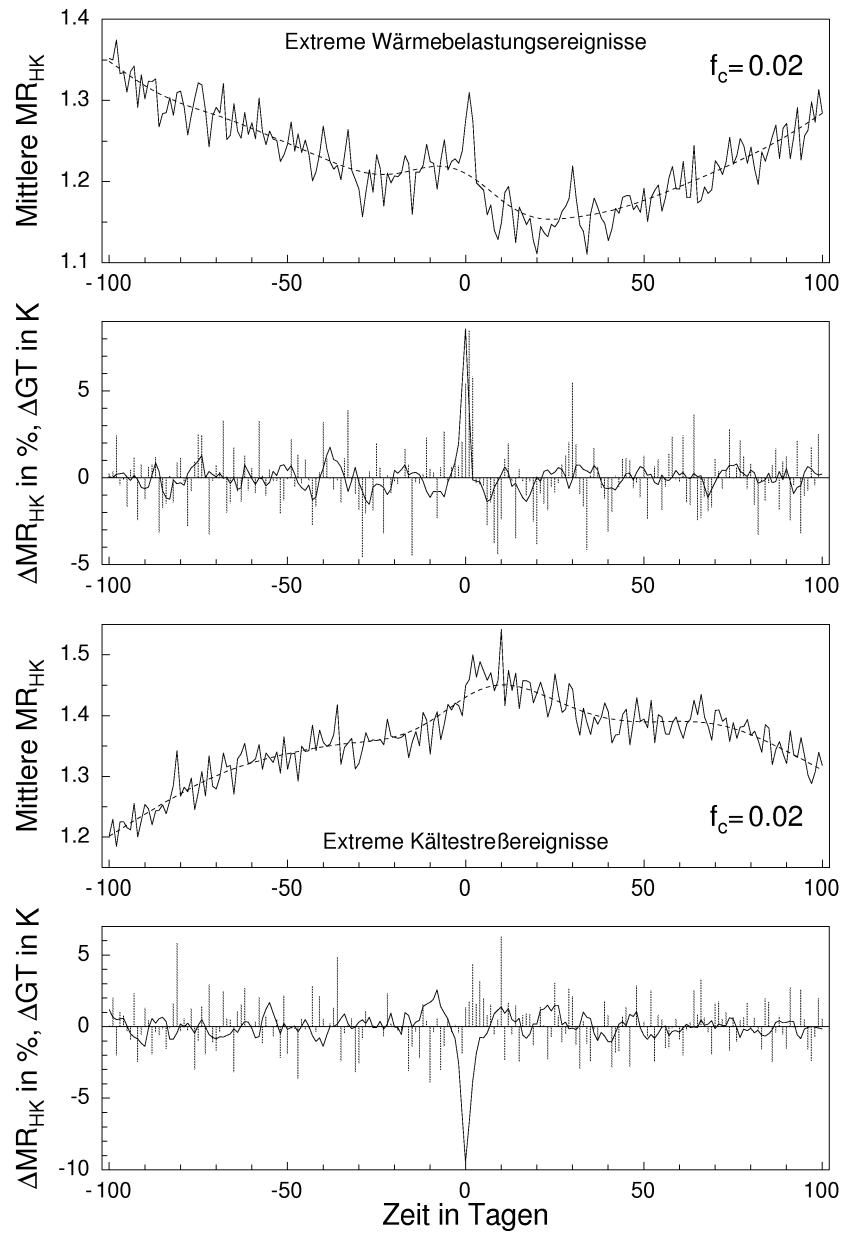


Abb. 3.33: Darstellung der gemittelten und gefilterten Zeitreihen im Herz-Kreislaufbereich. Die Abweichungen ΔMR_{HK} vom Erwartungswert sind jeweils als Balken für Wärmebelastungsereignisse (2. Abbildung) und für Kältestreßereignisse (4. Abbildung) dargestellt.

3. Mortalität und thermische Belastung

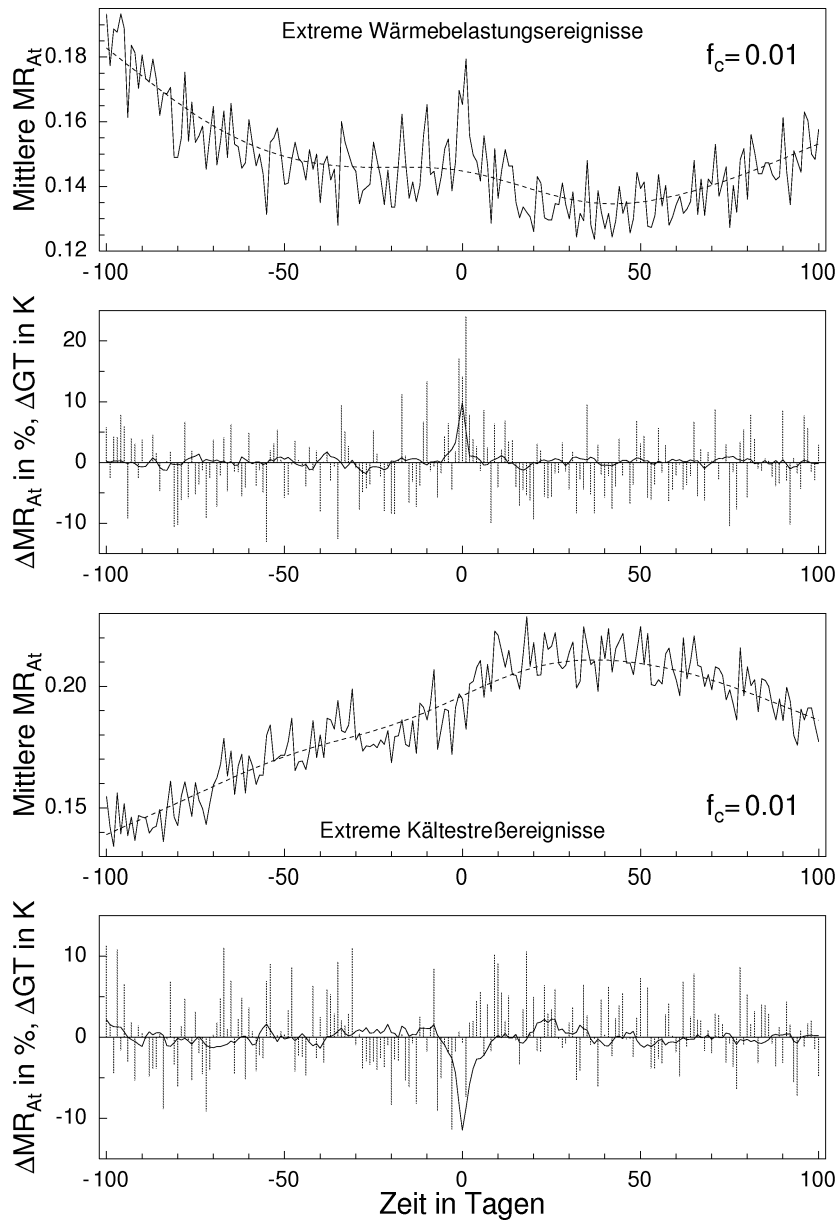


Abb. 3.34: Darstellung der gemittelten und gefilterten Zeitreihen bei den Atemwegserkrankungen. Die Abweichungen ΔMR_{At} vom Erwartungswert sind jeweils als Balken für Wärmebelastungsereignisse (2. Abbildung) und für Kältestreßereignisse (4. Abbildung) dargestellt.

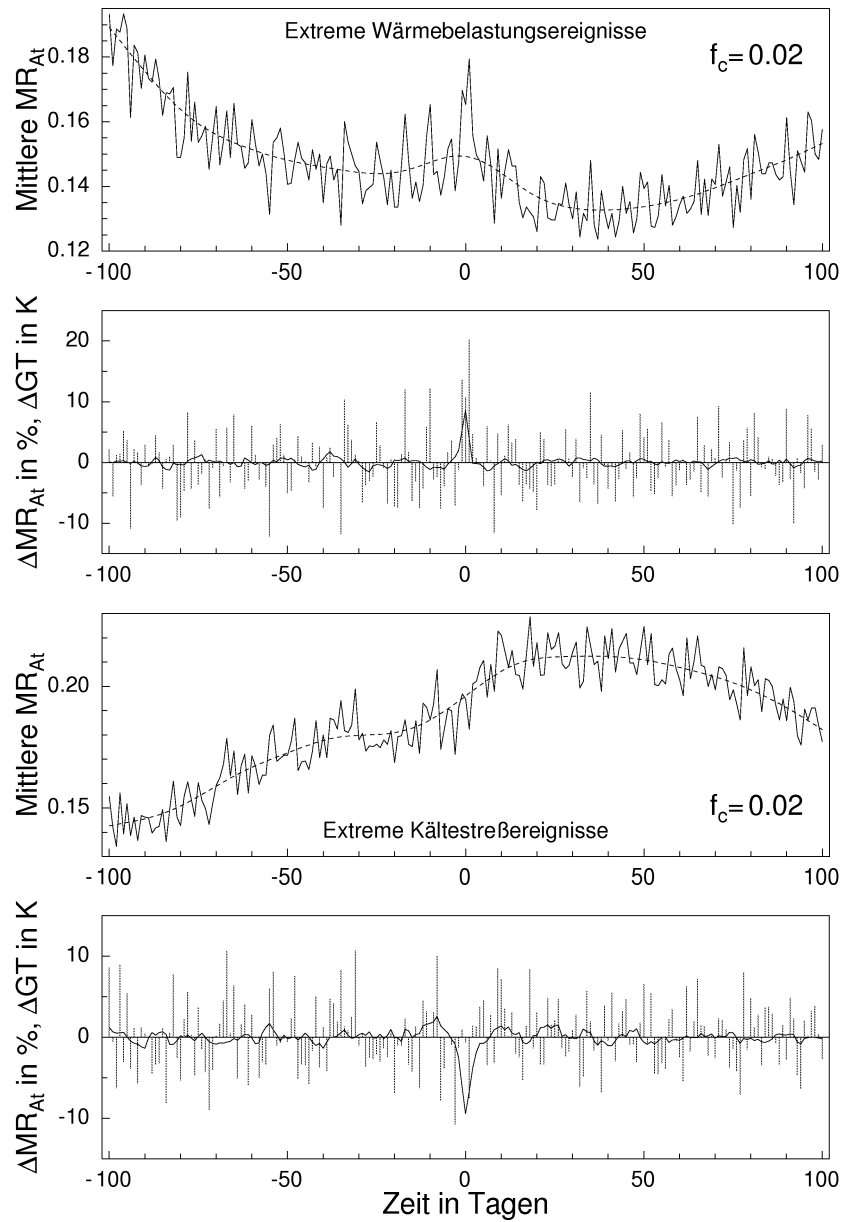


Abb. 3.35: Darstellung der gemittelten und gefilterten Zeitreihen bei den Atemwegserkrankungen. Die Abweichungen ΔMR_{At} vom Erwartungswert sind jeweils als Balken für Wärmebelastungsereignisse (2. Abbildung) und für Kältestreßereignisse (4. Abbildung) dargestellt.

3.4.3 Der mittlere Jahresgang

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Verfahren wurde hier der mittlere Jahresgang der Gesamtmortalität als Erwartungswert verwendet und von jeder einzelnen Zeitreihe unter Berücksichtigung des jeweiligen Stichtages abgezogen. Über die Abweichungen wurde dann das 30-jährige Mittel gebildet (siehe Abb. 3.37). Da der mittlere Jahresgang einer Cosinus-Funktion sehr ähnlich ist, wurde zum Vergleich der mittlere Jahresgang \overline{MR}_{Ges} durch eine angepaßte Cosinus-Funktion der julianischen Tage $f(t)$ ersetzt. Der mittlere Jahresgang und die angepaßte Cosinus-Funktion sind in Abb. 3.36 dargestellt.

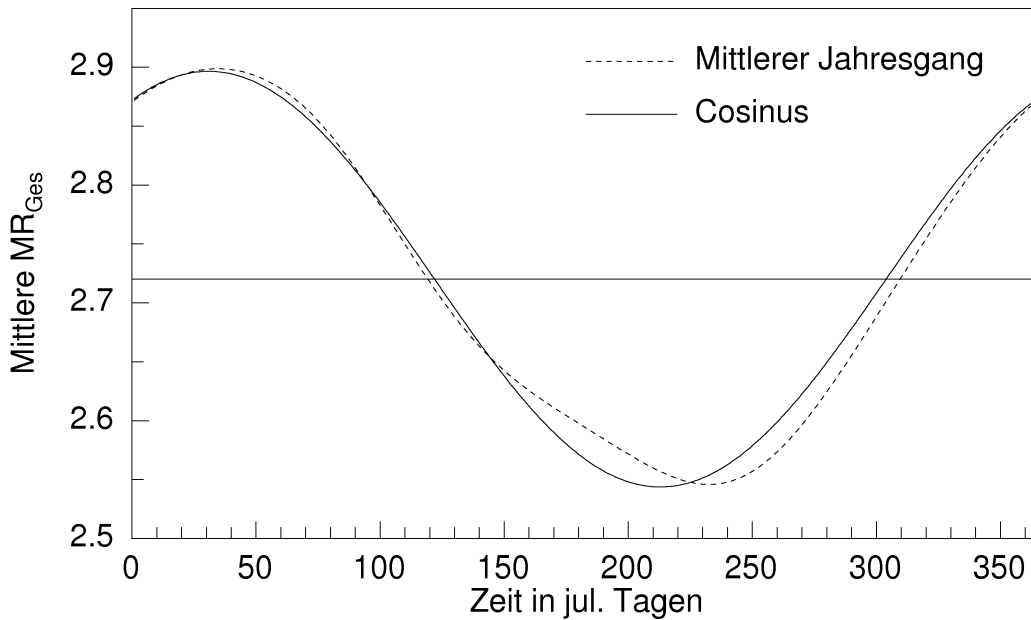


Abb. 3.36: Darstellung des mittleren Jahresganges der Gesamtmortalität und ihrer angepaßten Cosinus-Funktion. Die horizontale Linie entspricht dem Gesamtmittelwert.

Die objektive Anpassung erfolgte über den allgemeinen Ansatz der Cosinus-Funktion:

$$f(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + B$$

mit der Amplitude $A = \max(\overline{MR}_{Ges}) - \min(\overline{MR}_{Ges}) = 0.35$,

der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi/T = 2\pi/365$,

der Phasenverschiebung $\varphi = t_o * 2\pi/T = 30 * 2\pi/365$

und der Verschiebung der Ordinate um den Mittelwert des mittleren Jahresganges \overline{MR}_{Ges} mit $B = 2.72$.

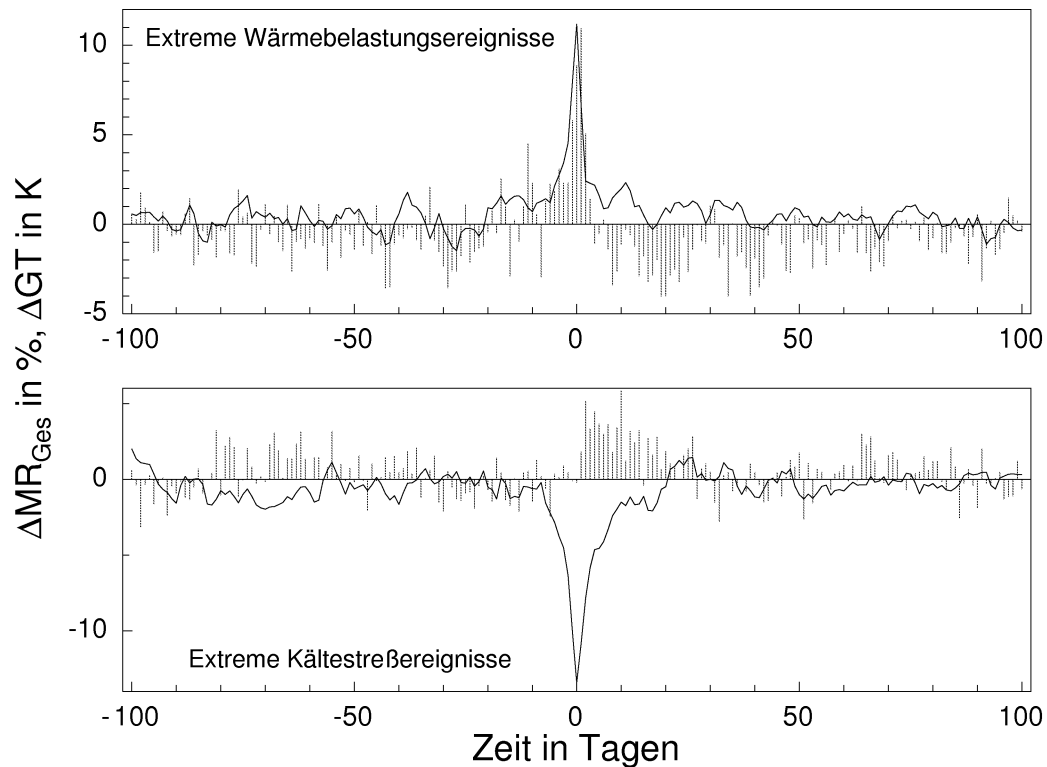


Abb. 3.37: Darstellung der gemittelten Abweichungen vom mittleren Jahresgang der gefühlten Temperatur und der Gesamtmortalität.

3.4.4 Diskussion

Extreme Wärmebelastungsereignisse

Bei dem linearen Ansatz und den Filterverfahren zeigen die prozentualen Abweichungen der Mortalitätsraten bis ungefähr 40 Tage vor dem Stichtag gleichmäßige Schwankungen mit $\pm 5\%$ um den Erwartungswert bei der Gesamtmortalität und im Herz-Kreislaufbereich. Die großen Schwankungen von $\pm 15\%$ bei den Atemwegserkrankungen werden durch die geringe Anzahl der Todesfälle verursacht. Bei der Annäherung an den Stichtag werden die Schwankungen unregelmäßiger und zeigen größere Ausprägungen. Dabei folgt die Mortalitätsrate dem starken Anstieg der Temperatur mit einer Phasenverschiebung von einem Tag. Die maximale Abweichung vom Erwartungswert befindet sich einen Tag hinter dem Stichtag mit ungefähr $+10\%$ je nach der Wahl des Verfahrens. Mit Abnahme der gefühlten Temperatur nimmt auch die Mortalitätsrate ab und zeigt in den nachfolgenden Tagen unterdurchschnittliche Werte. Erst ab 30 Tagen nach dem Stichtag besitzen die Abweichungen wieder normale Werte. Allerdings zeigen bei dem li-

nearen Ansatz die Werte ab ca. 45 Tagen nach dem Stichtag zunehmend große positive Abweichungen. In diesem Bereich kann der Ansatz nicht verwendet werden, da die berechnete Gerade dem normalen Verlauf der mittleren Kurve nicht mehr folgen kann (siehe Abb. 3.26).

Im Gegensatz dazu liegen die gemittelten prozentualen Abweichungen vom mittleren Jahresgang in Abb. 3.37 meistens im negativen Bereich, wobei die Werte selten -3 % unterschreiten. Aber auch hier ist um den Stichtag ein Zunahme der Mortalitätsrate mit einem Tag Phasenverschiebung zu beobachten, wobei die maximale Abweichung wie bei den anderen Ansätzen bei ungefähr +10 % liegt. Nach ungefähr 5 Tagen besitzen die Abweichungen der Mortalitätsraten fast nur negative Werte mit einem Maximum 20 Tage nach dem Stichtag.

Extreme Kältestreßereignisse

Bei den Darstellungen der Kältestreßereignisse weisen die prozentualen Abweichungen für die Gesamtmortalität und im Herz-Kreislaufbereich bei den ersten beiden Ansätzen in allen Bereichen einen gleichmäßigen Verlauf um $\pm 5\%$ auf. Die Abweichungen im Bereich der Atemwegserkrankungen liegen bei $\pm 10\%$. Ausnahme bilden die positiven Abweichungen mit 2-3 Tagen Phasenverschiebung vom Stichtag, wobei die Periode bei den Atemwegserkrankungen wesentlich kürzer ist. Allerdings sind die Absolutwerte bei den Atemwegserkrankungen in der Folgezeit sehr hoch. Die kontinuierlich zunehmenden negativen Abweichungen 30 Tage nach dem Stichtag bei dem linearen Verfahren entstehen wieder durch den Effekt, daß der Erwartungswert dem normalen Verlauf der mittleren Kurve nicht folgen kann. Bemerkenswert ist die größte positive Abweichung bei allen Abbildungen 10 Tage nach dem Stichtag. Der Ansatz über den mittleren Jahresgang liefert fast identische Ergebnisse.

Um eine Aussage über den Einfluß von Extremsituationen auf die täglichen Todesfälle zu machen, ist es wichtig, den genauen Erwartungswert der täglichen Mortalität zu kennen. Besonders der Zeitraum nach dem Stichtag ist von großem Interesse bei der Beantwortung der Frage, ob es sich dabei um Vorsterblichkeit oder Übersterblichkeit handelt.

Bei allen Verfahren zur Bestimmung des Erwartungswertes wird deutlich, daß bei einer Phasenverschiebung von einem Tag bei Wärmebelastungsereignissen einen Anstieg der täglichen Todesfälle zu verzeichnen ist. Die maximale Abweichung vom entsprechenden Erwartungswert befindet sich einen Tag nach dem Stichtag und ist abhängig vom jeweiligen Verfahren. Das Filterverfahren mit einer Abschneidefrequenz von 0.02 liefert die geringste maximale Abweichung, da die Filterkurve der gemittelten Kurve am besten folgen kann. Bei allen Verfahren ist eine Periode mit unterdurchschnittlichen Mortalitätsraten im Anschluß an den Stichtag erkennbar. Die Perioden haben eine Länge von 10 bis 20 Tagen.

Bei Kältebelastungsereignissen ist ebenfalls ein Anstieg der Mortalitätsraten mit einer Phasenverschiebung von 2 bis 3 Tagen zu verzeichnen. Auch hier wieder sind die Abweichungen abhängig vom jeweiligen Verfahren. Allerdings ist bei keinem der Verfahren eine auffällige Mindersterblichkeit nach dem Stichtag zu entdecken.

Das lineare Verfahren hat den Nachteil, daß es den Erwartungswert nur bis ungefähr 20 Tage nach dem Stichtag gut wiedergibt. Das Filterverfahren stellt damit schon eine bessere Lösung dar, wobei die Ergebnisse durch die Wahl der Abschneidefrequenz stark beeinflußt werden. Aus mathematischen Gründen erscheint der Ansatz über die Mittelung der Abweichungen vom mittleren Jahresgang am sinnvollsten. Da die Ergebnisse sehr stark von der Wahl des Erwartungswertes abhängen, wird von einer Aussage über Vor- und Übersterblichkeit abgesehen.

Kapitel 4

Zusammenfassung und Schlußbemerkung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung des Einflusses der thermischen Bedingungen auf die täglichen Todesfälle in Baden-Württemberg. Für die statistischen Untersuchungen wurde der Datensatz der Todesursachenstatistik von 1968 bis 1997 vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt. Die entsprechenden meteorologischen Daten lieferte der Deutsche Wetterdienst.

Aufgrund des starken Anstiegs der Bevölkerung von ungefähr 8.5 Mio. auf 10.4 Mio. Einwohner innerhalb dieses Zeitraumes wurden die 30-jährigen Zeitreihen auf jeweils 100.000 Einwohner normiert. Neben dem Datensatz der gesamten Todesfälle wurden auch die Zeitreihen der Todesfälle im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen entsprechend der internationalen Klassifikation der Todesursachen untersucht. Durch die Unsicherheiten bei der eindeutigen Feststellung der Todesursache durch die Ärzte entsteht eine gewisse Unschärfe bei den Datensätzen der einzelnen Todesursachen. Die 30-jährige Zeitreihe der täglichen Mortalitätsraten bei den Atemwegserkrankungen weist einen deutlichen nicht linearen Trend auf. Die zuverlässigsten Daten sind sicher die Gesamtmortalitätsraten, obwohl sie ebenfalls einen Trend aufweisen. Die niedrigeren Mortalitätsraten in den 90er Jahren werden vermutlich aufgrund einer höheren Lebenserwartung der Bevölkerung durch eine bessere medizinische Versorgung verursacht. Eine Unterscheidung nach Alter und Geschlecht wie bei früheren Arbeiten (*Keatinge et al.*, 1989 und *The Eurowinter Group*, 1997) wurde nicht vorgenommen. Fehlerhafte Daten durch Abbuchungsfehler einiger Ämter in den Jahren 1980 bis 1986 wurden korrigiert, ebenso die erhöhten Todesfallzahlen durch Grippe-Epidemien in den Wintermonaten.

Die thermischen Bedingungen wurden physiologisch relevant auf der Basis des Klima-Michel-Modells (*Jendritzky et al.*, 1979/1990) über die gefühlte Temperatur (*Staiger et al.*, 1997) beschrieben. Aus den meteorologischen Daten der SYNOP-Stationen des Deutschen Wetterdienstes Stuttgart, Freiburg, Karlsruhe und Konstanz zu den vier Hauptterminen 00.00, 06.00, 12.00 und 18.00 UTC wurde eine mittlere tägliche gefühlte Temperatur berechnet. Durch sie wurden die mittleren thermischen Umgebungsbedingungen in Baden-Württemberg beschrieben.

Der Jahresgang

Das gefundene saisonale Verhalten mit höheren Mortalitätsraten im Winter und niedrigeren Raten im Sommer bestätigt die Ergebnisse früherer Studien aus gemäßigten Klimaten (*Sakamoto-Momiyama*, 1977 und *Lerchl*, 1998). Dabei wird der Jahresgang der Gesamtmortalität hauptsächlich durch den Verlauf der Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich und bei den Atemwegserkrankungen bestimmt. Die Monatsmittel der Mortalitätsraten weisen im Frühjahr deutlich höhere Werte auf als im Herbst, obwohl die Monatsmittel der gefühlten Temperatur nur geringe Unterschiede zeigen. Die sehr variablen thermischen Bedingungen im Frühjahr bewirken eine stärkere Belastung der Thermoregulationsmechanismen und führen damit zu höheren Todesfallzahlen. Die Monate September und Oktober mit ihren ruhigen Herbstwetterlagen entlasten den menschlichen Organismus. Für die hohen Mortalitätsraten im Winter werden hauptsächlich physiologische und psychologische Faktoren verantwortlich gemacht, wie z.B. höhere Infektionsgefahr durch ein geschwächtes Immunsystem, Veränderungen im Fließverhalten des Blutes und unangepaßtes Verhalten bei ungünstigen thermischen Bedingungen (*The Eurowinter Group*, 1997). Die niedrigsten Todesfallzahlen liegen bei der Gesamtmortalität sowie im Herz-Kreislaufbereich im August. Im September weisen die Mortalitätsraten bei den Atemwegserkrankungen die geringsten Werte auf. Die leicht erhöhten Werte in den Sommermonaten werden vermutlich durch vermehrte Asthma-Anfälle durch Pollenflug und Luftbelastungen herbeigeführt.

Der Einfluß der thermischen Bedingungen

Mit Hilfe von Mittelwertvergleichen wurde der Einfluß der thermischen Bedingungen vom Vortag und seine zeitlichen Änderungen während der vorangegangenen sieben Tage auf die täglichen Mortalitätsraten untersucht. Die Ergebnisse bestätigen früher gefundene Beziehungen in gemäßigten Klimaten (*Frost und Auliciems*, 1993), insbesondere die Ergebnisse der Mortalitätsstudie des Deutschen Wetterdienstes (*Jendritzky et al.*, 1997). Bei Behaglichkeitsbedingungen weisen die Mortalitätsraten die niedrigsten Werte auf. Mit zunehmendem Kältestreß steigen die Mortalitätsraten an, was sich hauptsächlich dem ähnlichen Verlauf der jeweiligen Jahresgänge zuschreiben läßt. Obwohl im Sommer

die niedrigsten Mortalitätsraten erwartet werden, nehmen mit zunehmender Wärmebelastung die täglichen Todesfälle drastisch zu. Die mittleren täglichen Mortalitätsraten in den Sommermonaten zeigen die größten signifikanten Abweichungen in den wärmsten Klassen.

Grundsätzlich bewirkt eine zeitliche Änderung der thermischen Bedingungen zum warmen Milieu eine Belastung des Organismus und führt damit zu einem Anstieg der täglichen Todesfälle in jeder Jahreszeit. Sehr ungünstig wirkt sich Warmluftzufuhr auf die Mortalitätsraten im Herz-Kreislaufbereich aus. Dies zeigt sich besonders in den Monaten November und Dezember. Bei keinen oder nur geringen Änderungen der thermischen Bedingungen weisen die Mortalitätsraten keine signifikanten Abweichungen vom Erwartungswert auf. Änderungen zum kälteren Milieu bewirken eine Entlastung der Thermoregulationsmechanismen. Dies zeigt sich durch die negativen Abweichungen der mittleren täglichen Mortalitätsraten vom Erwartungswert. Der Einfluß der zeitlichen Änderungen des thermischen Milieus auf die täglichen Todesfälle im Bereich der Atemwegserkrankungen scheint gering. Hier wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen gefunden.

Der Vergleich des Einflusses zwischen den thermischen Bedingungen und ihren zeitlichen Änderungen zeigt, daß vermutlich bei sehr kalten und extrem warmen Bedingungen das vorherrschende Milieu dominant gegenüber seiner zeitlichen Änderung ist.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den mittleren täglichen gefühlten Temperaturen vom Vortag und den Abweichungen der täglichen Mortalitätsraten vom mittleren Jahresgang weisen deutlich auf die engeren Beziehungen im Sommer hin. In den Monaten Juni, Juli und August liegt r^2 bei ungefähr 25 %.

Bei den Untersuchungen von extremen Wärmebelastungsereignissen weisen die Mortalitätsraten einen deutlichen Anstieg mit einer Phasenverschiebung von einem Tag auf. Ebenfalls ist ein Anstieg der Mortalitätsraten nach drei bis vier Tagen bei Kältestreueignissen zu verzeichnen. In beiden Fällen sind vor allem ältere und kranke Menschen mit geringerem Anpassungsvermögen gefährdet. Auf die Frage, ob es sich dabei um Vorsterblichkeit (*harvesting*), also eine Vorverlegung des Todeseintrittsdatums um wenige Tage oder Wochen, oder um Übersterblichkeit handelt, konnte keine Antwort gegeben werden. Hier zeigt sich deutlich die Problematik der Festlegung des Erwartungswertes der täglichen Todesfälle, da dieser von mehreren Faktoren abhängig ist. Auf der einen Seite zeigen die ersten extremen Ereignisse die größten Wirkungen auf die täglichen Todesfälle (*Smoyer, 1996*). Auf der anderen Seite haben sich die Überlebenden an die thermischen Bedingungen angepasst. Die Wirkungen der nachfolgenden extremen Belastungsereignisse fallen dadurch scheinbar geringer aus, da die Anzahl von gefährdeten Personen abgenommen hat (*Frost und Auliciems, 1993*).

Ebenfalls in dieser Arbeit wurde versucht, mit einem nichtlinearen Regressionsansatz die täglichen Mortalitätsraten zu simulieren. Die täglichen Schwankungen wurden über den Einfluß der thermischen Bedingungen, die in dieser Arbeit gefunden wurden, beschrieben. Eine Varianzerklärung bei der Gesamtmortalität von 36.24 % wurde dabei hauptsächlich durch den mittleren Jahresgang (31.47 %) erhalten. Damit ist der Einfluß der thermischen Bedingungen auf die täglichen Mortalitätsraten mit einer erklärten Varianz von 4.77 % mit diesem Modellansatz nur sehr gering. Eine Verbesserung des Ansatzes könnte möglicherweise mit einer anderen Auswahl der einzelnen Zeiträume erzielt werden.

Ausblick

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich die umweltmedizinische Bedeutung der thermischen Bedingungen im Hinblick auf die täglichen Todesfälle. Dabei darf nicht vergessen werden, daß bei thermischen Belastungen bereits gesunde Menschen in ihrer Leistungsfähigkeit und in ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt werden, und daß ein durch Krankheit geschwächter Organismus mit einem verringerten Anpassungsvermögen schon bei kleinen äußeren Störungen mit einer Verschlechterung seines Zustandes reagiert.

Für eine quantitative Bestimmung der täglichen Todesfälle läßt sich der gewählte Regressionsansatz noch nicht verwenden. Dagegen eignet sich die Gesamtheit der Ergebnisse als Basis für ein Prognoseverfahren für atmosphärische Belastungen bei extremen Situationen, wie erste Ansätze in den USA zeigen (*Kalkstein et al.*, 1996).

Aufgrund der engeren Beziehungen in den Sommermonaten sollten vor allem die Untersuchungen von Extremsituationen unter Einbeziehung der Luftbelastungen Gegenstand zukünftiger Arbeiten sein. Größeren Aufschluß würde hier vermutlich auch die nähere Betrachtung der gefühlten Temperatur von 06.00 UTC ergeben, da somit der Wärmeinselseffekt in den großen Städten besser berücksichtigt werden kann. Denn gerade die fehlende nächtliche Abkühlung in den Innenstädten führt zu einer Belastung der Thermoregulationsmechanismen, weil dadurch ein erholsamer Schlaf behindert wird.

Wichtig sind diese Ergebnisse auch für die Klimawirkungsforschung bei der Beantwortung der Frage der regionalen Auswirkungen eventueller Klimaänderungen. Durch einen möglichen Anstieg der globalen Mitteltemperatur wird durch mildere Winter mit einem Rückgang der durch Kälte induzierten Mortalitätsraten gerechnet. Dagegen werden in den Sommermonaten durch das vermehrte und intensivere Auftreten von Hitzewellen höhere Mortalitätsraten erwartet. Modellrechnungen für die nächsten 50 Jahre zeigen, daß global gesehen unabhängig vom Bevölkerungswachstum in vielen großen Städten mit tausenden zusätzlichen Todesfällen nur durch Einwirkung von Hitze zu rechnen ist (*WHO/WMO/UNEP-Task Group*, 1996). Die entscheidende offene Frage ist die nach der Adaptionsfähigkeit von Gesellschaften.

Literatur

- Ambach, E., Katzgraber, F., Hasenöhl, C., Steinacker, R. (1997):** *Einfluß von Föhnwetterlagen auf Myocardinfarkt- und Suicidrate: Realität oder Mythos?* Wetter und Leben 49:3-7.
- Ando, M., Yamamoto, S., Tamura, K. (1998):** *Outline of Health Effects on Global Climate Change.* J. Epidemiol. 6:141-144.
- Ando, M., Yamamoto, S., Asanuma, S., Tamura, K. (1998):** *Impacts of Heat Stress on Hyperthermic Disorders and Heat Stroke - Standpoint of Geriatric Research.* Int. Sympos. on Human Biometeorology.
- AOK-Gesundheitsatlas (1992):** Hrsg. AOK-Bundesverband, Bonn, 243-254.
- Auliciems, A., Frost, D.B., Siskind, V. (1992):** *The time factor in mortality: weather associations in a subtropical environment.* Int. J. Biometeorology 40:183-191.
- Avery, W.M. (1985):** *Heat and your heart: Heatstress.* Center for Environmental Physiology, 7 pp.
- Bosch, K. (1992):** *Statistik-Taschenbuch.* R. Oldenburg Verlag, München, Wien.
- Bucher, K. (1992):** *Die Bedeutung des thermischen Wirkungskomplexes im Wirkungsakkord des Wetters am Beispiel von Todesfällen im Herz-Kreislauf-Bereich.* Ann. d. Meteorologie 28:121-127.
- Büttner (1938):** *Physikalische Bioklimatologie: Probleme und Methoden.* Akad. Verlagsgesellschaft M.B.H, Leipzig.
- Changnon, S.A., Kunkel, K.E., Reinke, B.C. (1996):** *Impacts and Responses to the 1995 Heat Wave: A Call to Action.* American Met. Soc. 77, 7:1497-1506.
- Clauß, G., Finze, F.-R., Partsch, L. (1995):** *Statistik für Soziologen, Pädagogen, Psychologen und Mediziner.* Bd.1, Harri Deutsch Verlag, Thun, Frankfurt
- Ellis, F.P. (1972):** *Mortality from heat illness and heat aggravated illness in the U.S..* Environ. Res. 5:1-58.

- Fanger, P.O. (1972):** *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- Faust, V. (1978):** *Biometeorologie: Der Einfluß von Wetter und Klima auf Gesunde und Kranke*. Hippokrates Verlag, Stuttgart.
- Faust, V. (1986):** *Wetter-Klima-menschliche Gesundheit*. Hippokrates Verlag, Stuttgart.
- Frost, D.B., Auliciems C. (1993):** *Myocardial infarct death, the population at risk, and temperature habitation*. Int. J. Biometeorology 37:46-51.
- Hartung, J., Elpelt, B. (1995):** *Multivariate Statistik*. (5. Auflage), R. Oldenburg Verlag München, Wien.
- Höppe, P. (1993):** *Heat balance modelling. Multi-author Review*. Experientia 49, 11:741-746.
- Hsia L.B., Lu, J.K. (1988):** *Association between temperature and death in residential populations in Shanghai*. Int. J. Biometeorology 32:47-51.
- IPCC (1996):** *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., et al. (eds.), 2nd Assessment Report of IPCC-WGI, Cambridge University Press, 571 pp.
- IPCC (1998):** *The regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability*. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., et al. (eds.) A Special Report of IPCC-WGII, Cambridge University Press, 515 pp.
- Jendritzky, G., Sönning, W., Swantes, H.J. (1979):** *Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Modell)*. In: Beitr. Akad. f. Raumforschung und Landschaftsplanung, Beiträge 28, Hannover.
- Jendritzky, G., Menz, G., Schmidt-Kessen, W., Schirmer, H. (1990):** *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell)*. ARL-Verlag, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Beiträge 114, Hannover.
- Jendritzky, G. (1992):** *Biometeorologische Parameter*. In: Handbuch Umweltmedizin. Hrsg. Wichmann, Schlipköter, Fülgraff, Ecomed Verlag, Landsberg, IV-1.3.2:1-27.
- Jendritzky, G. (1992):** *Wirkungen von Wetter und Klima auf die Gesundheit des Menschen*. In: Handbuch Umweltmedizin. Hrsg. Wichmann, Schlipköter, Fülgraff, Ecomed Verlag, Landsberg, VII-3, 1-14.
- Jendritzky, G., Bucher K., Bendisch F. (1997):** *Die Mortalitätsstudie des Deutschen Wetterdienstes*. Ann. d. Meteorologie 33:46-51.

-
- Jendritzky, G. (1998):** *Gesundheitsrisiken durch Klimaänderungen*. Umweltmed. Forsch. Prax. 3 (2) 72-76 Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg.
- Jendritzky, G. (1998):** *Gesundheitsrisiken bei Klimaänderungen*. Ann. d. Meteorologie 37:147-148.
- Jendritzky, G. (1998):** *Biometeorologie*. Mitschriften zur Vorlesung an der Universität Karlsruhe (TH), WS 97/98.
- Kalkstein, L.S. (1993):** *Health and climate change: direct impacts in cities*. The Lancet 342:1397-1399.
- Kalkstein, L.S., Smoyer, K.E. (1993):** *The impact of climate change on human health: some international implications*. Experientia 49:969-979.
- Kalkstein, L.S., Jamason, P.F., Greene, J.S., et al. (1996):** *The Philadelphia Hot Weather - Health Watch/Warning System: Development and Application, Sommer 1995*. American Met. Soc. 77, 7:1519-1528.
- Kalkstein, L.S., Greene, J.S. (1997):** *An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change*. Environ. Health Perspect 105:84-93.
- Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., et al. (1993):** *Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality*. Archives of Environmental Health 48:235-242.
- Keatinge, W.R., Coleshaw, S.R.K., Holmes, J. (1989):** *Changes in seasonal mortalities with improvement in home heating in England and Wales from 1964 to 1984*. Int. J. Biometeorology 33:71-76.
- Kunst, A.E., Looman, C.W.N., Mackenbach, J.P. (1993):** *Outdoor Air Temperature and Mortality in the Netherlands: A Time-Series Analysis*. American J. of Epidemiology 137, 3:331-341.
- Lauraine, C.G., Breffle, W.S., Smith, J.B., Kalkstein, L.S. (1998):** *Analysis of differences in hot-weather-related mortality across 44 U.S. metropolitan areas*. Environ. Science Police 1:59-70.
- Lerchl, A. (1998):** *Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: The role of the temperature*. Int. J. Biometeorology 42:84-88.
- Martens, P. (1998):** *Health and Climate Change*. Earthscan Publications Ltd., London, 176 pp
- McMichael, A.J., Kovats, R.S. (1998):** *Assessment of the Impact on Mortality in England and Wales of the Heatwave and Associated Air Pollution Episode of 1976*. Report to the Department of Health. London School of Hygiene and Tropical Medicine, London.

- Motohashi, Y., Tukano, T., Nakamura, K., et al. (1996):** *Seasonality of mortality in Sri Lanka: biometeorological considerations.* Int. J. Biometeorology 39:121-126.
- Rooney, C., McMichael, A.J., Kovats, S.R., Coleman, M.P. (1998):** *Excess mortality in England and Wales, and Greater London, during the 1995 heatwave.* Epidemiol Community Health 52:482-486.
- Sachs, L. (1992):** *Angewandte Statistik.* (7. Auflage), Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Saez, M., Sunyer, J., Castellsagué, J., et al. (1995):** *Relationship between Weather, Temperature and Mortality: A Time Series Analysis Approach in Barcelona.* Int. J. of Epidemiology 24, 3:576-581.
- Sakamoto-Momiyama, M. (1977):** *Seasonality in Human Mortality.* University of Tokyo Press, Tokyo.
- Schönwiese, C.D. (1992):** *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler.* (2.Auflage), Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart.
- Schriftenreihe des Bundesministers für Jugend, Familie, Frauen und Gesundheit (1992):** *Beitrag zur Abschätzung der Aussagekraft der amtlichen Todesursachenstatistik.* Kohlhammer Verlag, 253:119-129.
- Schwartz, J. (1994):** *Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis.* Environ. Res. 64:36-52.
- Smoyer, K.E. (1996):** *Environmental risk factors in heat wave mortality: implications for mortality projections under climate change scenarios.* Proceedings of 14th Int. Congress of Biometeorology 1-8 September 1996, Ljubljana, Slowenien.
- Smoyer, K.E. (1998):** *A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri - 1980 and 1995.* Int. J. Biometeorology 42:44-50.
- Spix, C., Wichmann, H.E. (1990):** *Besonderheiten der täglichen Sterbeziffern in NRW am Jahreswechsel.* Tagesband der GMDS-Tagung, Berlin.
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G. (1997):** *Gefühlte Temperatur: Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestreß beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius.* Ann. d. Meteorologie 33:100-107, Offenbach.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg** <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>.
- The Eurowinter Group (1997):** *Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart diseases, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe.* Keatinge, W.R., Donaldson, G.C., (coord.). The Lancet 349:1341-1346.

-
- Trenkle, H. (1989):** *Wetterfähigkeit: Vorbeugen und Behandeln; der Einfluß von Wetter und Klima auf Körper und Psyche.* Natur und Medizin, Falken-Verlag, Niederhausen/Ts.
- Tselepidaki, I.K., Asimakopoulos, D.N., Katsouyanni, K. (1995):** *The use of a complex thermohygrometric index in predicting adverse health effects in Athens.* Int. J. Biometeorology 38:194-198.
- Ungeheuer, H., Weickmann, L., Pfeleiderer, H., et al. (1952):** *Klima-Wetter-Mensch.* Hrsg. Seybold, A. und Wolterdeck, H., Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg.
- VDI 3787 (1998):** *Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für Stadt- und Regionalplanung.* VDI-Richtlinien, Umweltmeteorologie I, Blatt 2.
- Weihe, W.H. (1986):** *Systematik der durch Klima und Wetter betroffenen Krankheiten.* In: *Wetter-Klima-menschliche Gesundheit.* Hrsg. Faust, Hippokrates Verlag, Stuttgart.
- Weihe, W.H.:** *Autonome und bewußt gesteuerte Regulation: Beziehungen zwischen Wetter und Mensch.* Ann. d. Met. 33:52-57.
- WHO/WMO/UNEP-Task Group (1996):** *Climate Change and Human Health.* McMichael, A.J., Haines, A., Sloof, R., Kovats, S. (eds.). WHO, Geneva, 229 pp.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Atmosphärischer Wirkungskomplex	4
1.2	Wärmeaustausch und Thermopreferendum	9
1.3	Komponenten im Wärmehaushalt des Menschen	10
1.4	Bestrahlte Oberfläche eines stehenden Menschen	19
1.5	Prozentsatz der Personen im Diskomfort	22
2.1	Bevölkerungsentwicklung	26
2.2	Zeitreihen der Mortalitätsraten	28
2.3	Tägliche Todesfälle im Herz-Kreislaufbereich (1978/1985/1987)	30
2.4	Streudiagramme der gefühlten Temperaturen gt	32
2.5	Häufigkeitsverteilungen	33
2.6	30-jährige Monatsmittelwerte	35
2.7	Tiefpaßgefilterte Zeitreihen von 1968 bis 1997	37
2.8	Abweichungen der Jahresmittelwerte von 1968 bis 1997	38
3.1	Generalisierte Form der Beziehung zwischen Temperatur und Mortalitätsraten (ICD 410)	40
3.2	Saisonale Variation der Mortalität (ICD 410-424)	41
3.3	Mortalität und thermische Belastung	42
3.4	Monatsmittelwerte 1968 bis 1997	46
3.5	MR und GT	49
3.6	MR_{Ges} und GT : Jahreszeiten	50
3.7	MR_{HK} und GT : Jahreszeiten	51
3.8	MR_{At} und GT : Jahreszeiten	52

3.9	MR_{Ges} und GT : Monate	53
3.10	MR_{HK} und GT : Monate	54
3.11	MR_{At} und GT : Monate	55
3.12	MR und $DW7$	56
3.13	MR_{Ges} und $DW7$: Jahreszeiten	57
3.14	MR_{HK} und $DW7$: Jahreszeiten	58
3.15	MR_{At} und $DW7$: Jahreszeiten	59
3.16	MR_{Ges} und $DW7$: Monate	60
3.17	MR_{HK} und $DW7$: Monate	61
3.18	MR_{At} und $DW7$: Monate	62
3.19	MR , GT und $DW7$: Februar, April, August	66
3.20	Lineare Korrelationskoeffizienten: $MR - GT$	68
3.21	Lineare Korrelationskoeffizienten: $MR - DW7$	69
3.22	Mittlere Jahresgänge	71
3.23	Sommer- und Wintermodell	73
3.24	Modellrechnung (Sommer- und Wintermodell)	75
3.25	Modellrechnung (Gesamtmodell)	76
3.26	Extremsituationen: Linearer Ansatz (Sommer)	79
3.27	Extremsituationen: Linearer Ansatz (Winter)	80
3.28	Extremsituationen: Filterverfahren (0.01), MR_{Ges} (Sommer)	82
3.29	Extremsituationen: Filterverfahren (0.01), MR_{Ges} (Winter)	83
3.30	Extremsituationen: Filterverfahren (0.02), MR_{Ges} (Sommer)	84
3.31	Extremsituationen: Filterverfahren (0.02), MR_{Ges} (Winter)	85
3.32	Extremsituationen: Filterverfahren (0.01), MR_{HK}	86
3.33	Extremsituationen: Filterverfahren (0.02), MR_{HK}	87
3.34	Extremsituationen: Filterverfahren (0.01), MR_{At}	88
3.35	Extremsituationen: Filterverfahren (0.02), MR_{At}	89
3.36	Extremsituationen: Mittlerer Jahresgang	90
3.37	Extremsituationen: Mittlere Abweichungen vom mittleren Jahresgang	91

A.1	Legende der Darstellungen	117
A.2	MR_{Ges} , GT und $DW7$ (Gesamtzeitraum)	117
A.3	MR_{Ges} , GT und $DW7$ (März bis Mai)	118
A.4	MR_{Ges} , GT und $DW7$ (Juni bis August)	119
A.5	MR_{Ges} , GT und $DW7$ (September bis November)	120
A.6	MR_{Ges} , GT und $DW7$ (Dezember bis Februar)	121
A.7	MR_{HK} , GT und $DW7$ (März bis Mai)	122
A.8	MR_{HK} , GT und $DW7$ (Juni bis August)	123
A.9	MR_{HK} , GT und $DW7$ (September bis November)	124
A.10	MR_{HK} , GT und $DW7$ (Dezember bis Februar)	125
A.11	MR_{At} , GT und $DW7$ (März bis Mai)	126
A.12	MR_{At} , GT und $DW7$ (Juni bis August)	127
A.13	MR_{At} , GT und $DW7$ (September bis November)	128
A.14	MR_{At} , GT und $DW7$ (Dezember bis Februar)	129

Tabellenverzeichnis

1.1	Beschreibende Größen der thermischen Bedingungen	6
1.2	Kriterien für thermischen Diskomfort	12
1.3	ASHRAE-Skala	24
2.1	Lineare Korrelationskoeffizienten von gt der Stationen	31
2.2	30-jährige Monatsmittelwerte	36
3.1	Koeffizienten für die Funktionen der mittleren Jahresgänge	70
3.2	Koeffizienten für die Funktionen der Abweichungen	72
3.3	Lineare Korrelationskoeffizienten der einzelnen Modelle	74
A.1	Zeiträume der Modelle	110
A.2	MR und GT : Gesamtzeitraum und Jahreszeiten	111
A.3	MR und GT : Januar bis Juni	112
A.4	MR und GT : Juli bis Dezember	113
A.5	MR und $DW7$: Gesamtzeitraum und Jahreszeiten	114
A.6	MR und $DW7$: Januar bis Juni	115
A.7	MR und $DW7$: Juli bis Dezember	116

Anhang A

Tabellen und Abbildungen

A.1: Zeiträume für die Modellrechnung

A.2: Mortalität und gefühlte Temperatur

A.3: Mortalität und zeitliche Änderung der gefühlten Temperatur

A.4: Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

A.1 Zeiträume für die Modellrechnung

	Wintermodell						Sommermodell							
	d	m	j	-	d	m	j	d	m	j	-	d	m	j
1	1	1	1968	-	14	4	1968	22	4	1968	-	11	7	1968
2	20	10	1968	-	25	4	1969	12	5	1969	-	12	8	1969
3	2	10	1969	-	23	5	1970	14	6	1970	-	14	8	1970
4	3	10	1970	-	3	5	1971	9	5	1971	-	20	8	1971
5	16	9	1971	-	18	5	1972	4	6	1972	-	14	8	1972
6	11	9	1972	-	10	5	1973	26	6	1973	-	9	9	1973
7	30	9	1973	-	9	5	1974	30	7	1974	-	18	8	1974
8	23	9	1974	-	5	6	1975	13	6	1975	-	15	8	1975
9	8	10	1975	-	1	5	1976	8	5	1976	-	19	7	1976
10	16	10	1976	-	9	5	1977	13	6	1977	-	7	8	1977
11	17	9	1977	-	15	5	1978	6	6	1978	-	23	8	1978
12	21	9	1978	-	7	5	1979	30	5	1979	-	8	8	1979
13	23	9	1979	-	6	5	1980	12	6	1980	-	8	8	1980
14	8	10	1980	-	7	5	1981	21	5	1981	-	16	8	1981
15	4	10	1981	-	11	5	1982	1	6	1982	-	13	8	1982
16	6	10	1982	-	28	5	1983	4	6	1983	-	1	9	1983
17	12	10	1983	-	31	5	1984	19	6	1984	-	23	8	1984
18	24	9	1984	-	4	5	1985	26	5	1985	-	22	8	1985
19	13	10	1985	-	8	6	1986	15	6	1986	-	11	8	1986
20	21	10	1986	-	23	5	1987	29	6	1987	-	19	9	1987
21	28	9	1987	-	25	4	1988	11	7	1988	-	19	8	1988
22	8	10	1988	-	1	5	1989	20	6	1989	-	23	8	1989
23	8	10	1989	-	21	4	1990	26	6	1990	-	29	8	1990
24	8	10	1990	-	19	5	1991	2	7	1991	-	5	9	1991
25	18	10	1991	-	1	5	1992	14	5	1992	-	29	8	1992
26	12	10	1992	-	16	4	1993	25	5	1993	-	23	8	1993
27	16	10	1993	-	20	4	1994	18	6	1994	-	23	8	1994
28	17	9	1994	-	15	5	1995	20	6	1995	-	12	8	1995
29	28	9	1995	-	11	5	1996	31	5	1996	-	2	8	1996
30	13	9	1996	-	10	5	1997	7	6	1997	-	26	8	1997
31	13	10	1997	-	31	12	1997	-	-	-	-	-	-	-

d = Tag, m = Monat, j = Jahr
 Schwellenwerte: Wintermodell: 5 °C, Sommermodell: 20 °C.

Tab. A.1: Darstellung der verwendeten Zeiträume für das Sommer- und Wintermodell.

A.2 Mortalität und gefühlte Temperatur

Kl.	Intervall <i>GT</i> in °C	\overline{MR}_{Ges}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{HK}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{At}	Abw. in %	KI in %
	Gesamt	2.720			1.297			0.168		
1	≤ -12.01	2.972	9.26	±1.17	1.475	13.75	±1.71	0.206	22.48	±5.28
2	-12.00...-8.01	2.901	6.66	±0.78	1.418	9.35	±1.10	0.195	16.29	±3.29
3	-8.00...-4.01	2.872	5.59	±0.51	1.400	7.97	±0.72	0.197	17.16	±2.25
4	-4.00...-0.01	2.856	4.99	±0.46	1.385	6.78	±0.62	0.193	14.86	±1.98
5	0.00...3.99	2.799	2.89	±0.44	1.353	4.36	±0.60	0.185	10.09	±1.89
6	4.00...7.99	2.690	-1.12	±0.45	1.284	-1.00	±0.62	0.164	-2.32	±1.79
7	8.00...11.99	2.577	-5.25	±0.41	1.212	-6.55	±0.56	0.141	-15.83	±1.44
8	12.00...15.99	2.556	-6.04	±0.43	1.189	-8.26	±0.58	0.139	-17.25	±1.46
9	16.00...19.99	2.603	-4.31	±0.60	1.203	-7.23	±0.80	0.148	-11.95	±2.05
10	20.00...23.99	2.692	-1.03	±0.86	1.235	-4.78	±1.19	0.155	-7.95	±3.11
11	≥ 24.00	2.910	6.98	±1.83	1.342	3.53	±2.58	0.185	10.45	±5.99
	März - Mai	2.770			1.331			0.180		
1	≤ -4.01	2.894	4.50	±1.22	1.395	4.80	±1.67	0.205	13.41	±4.43
2	-4.00...-0.01	2.849	2.88	±0.89	1.378	3.52	±1.17	0.194	7.39	±3.23
3	0.00...3.99	2.806	1.31	±0.70	1.361	2.26	±0.96	0.195	8.01	±2.69
4	4.00...7.99	2.743	-0.98	±0.66	1.318	-0.98	±0.92	0.179	-0.77	±2.45
5	8.00...11.99	2.702	-2.46	±0.76	1.288	-3.26	±1.07	0.162	-10.10	±2.66
6	≥ 12.00	2.703	-2.39	±0.86	1.283	-3.64	±1.19	0.158	-12.16	±2.70
	Juni - Aug.	2.565			1.188			0.141		
1	≤ 7.99	2.513	-2.02	±1.62	1.211	1.93	±2.40	0.131	-7.56	±6.56
2	8.00...11.99	2.483	-3.17	±0.66	1.162	-2.23	±0.96	0.128	-9.06	±2.61
3	12.00...15.99	2.508	-2.20	±0.55	1.160	-2.34	±0.77	0.136	-3.87	±2.23
4	16.00...19.99	2.589	0.95	±0.71	1.192	0.36	±0.95	0.145	2.98	±2.73
5	20.00...23.99	2.689	4.85	±0.93	1.233	3.73	±1.32	0.156	10.63	±3.78
6	≥ 24.00	2.910	13.47	±1.94	1.342	12.98	±2.81	0.185	31.32	±7.12
	Sep. - Nov.	2.645			1.252			0.146		
1	≤ -4.01	2.772	4.79	±1.03	1.345	7.43	±1.70	0.156	6.58	±5.05
2	-4.00...-0.01	2.730	3.23	±0.85	1.319	5.38	±1.32	0.159	9.20	±3.72
3	0.00...3.99	2.710	2.47	±0.64	1.300	3.87	±0.98	0.155	6.39	±2.79
4	4.00...7.99	2.641	-0.15	±0.63	1.247	-0.39	±0.91	0.146	0.15	±2.55
5	8.00...11.99	2.560	-3.20	±0.63	1.194	-4.61	±0.85	0.136	-7.10	±2.51
6	≥ 12.00	2.579	-2.49	±0.79	1.196	-4.50	±1.05	0.135	-7.33	±3.12
	Dez. - Feb.	2.904			1.417			0.204		
1	≤ -12.01	2.966	2.16	±1.10	1.473	3.96	±1.59	0.204	-0.10	±4.49
2	-12.00...-8.01	2.917	0.46	±0.82	1.430	0.91	±1.14	0.201	-1.86	±3.01
3	-8.00...-4.01	2.887	-0.57	±0.56	1.411	-0.42	±0.75	0.202	-1.43	±2.16
4	-4.00...-0.01	2.908	0.14	±0.58	1.413	-0.26	±0.75	0.205	0.48	±2.38
5	≥ 0.00	2.890	-0.47	±0.71	1.402	-1.03	±0.89	0.210	2.69	±3.06

Tab. A.2: Mortalität und mittlere tägliche gefühlte Temperatur (Vortag).

Kl.	Intervall <i>GT</i> in °C	\overline{MR}_{Ges}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{HK}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{At}	Abw. in %	KI in %
	Jan.	2.916			1.428			0.213		
1	≤ -8.01	2.947	1.08	±1.15	1.463	2.40	±1.56	0.208	-2.29	±3.76
2	-8.00...-4.01	2.904	-0.41	±0.99	1.426	-0.12	±1.23	0.208	-2.00	±3.50
3	-4.00...-0.01	2.923	0.26	±1.01	1.419	-0.65	±1.24	0.218	2.43	±4.37
4	≥ 0.00	2.877	-1.31	±1.42	1.397	-2.15	±1.64	0.218	2.79	±5.52
	Feb.	2.933			1.427			0.219		
1	≤ -8.01	2.954	0.73	±1.24	1.453	1.83	±1.69	0.223	1.90	±4.41
2	-8.00...-4.01	2.894	-1.34	±1.00	1.404	-1.57	±1.33	0.214	-2.36	±3.38
3	-4.00...-0.01	2.954	0.70	±1.00	1.437	0.74	±1.28	0.216	-1.43	±3.78
4	≥ 0.00	2.931	-0.06	±1.29	1.415	-0.83	±1.69	0.227	3.60	±5.18
	März	2.907			1.405			0.211		
1	≤ -4.01	2.911	0.15	±1.25	1.408	0.16	±1.62	0.209	-1.00	±3.98
2	-4.00...-0.01	2.919	0.43	±0.98	1.412	0.43	±1.34	0.207	-1.82	±3.54
3	0.00...3.99	2.901	-0.19	±0.93	1.411	0.41	±1.36	0.215	1.76	±3.18
4	≥ 4.00	2.895	-0.40	±1.17	1.388	-1.26	±1.52	0.213	0.65	±3.58
	Apr.	2.756			1.324			0.179		
1	≤ -0.01	2.740	-0.59	±1.31	1.319	-0.33	±1.83	0.171	-4.56	±4.21
2	0.00...3.99	2.731	-0.90	±0.98	1.319	-0.33	±1.30	0.180	0.48	±3.93
3	4.00...7.99	2.750	-0.23	±0.86	1.322	-0.09	±1.29	0.182	1.49	±3.48
4	≥ 8.00	2.805	1.78	±1.10	1.333	0.74	±1.51	0.182	1.14	±4.01
	Mai	2.646			1.264			0.150		
1	≤ 7.99	2.634	-0.45	±0.97	1.267	0.24	±1.40	0.150	-0.25	±3.80
2	8.00...11.99	2.625	-0.81	±0.90	1.249	-1.16	±1.37	0.147	-2.54	±3.55
3	≥ 12.00	2.681	1.34	±0.94	1.278	1.12	±1.40	0.155	3.14	±3.53
	Juni	2.604			1.225			0.144		
1	≤ 11.99	2.540	-2.46	±0.86	1.207	-1.53	±1.26	0.136	-5.12	±3.43
2	12.00...15.99	2.573	-1.20	±0.98	1.201	-1.98	±1.43	0.145	0.77	±4.24
3	≥ 16.00	2.725	4.63	±1.11	1.276	4.14	±1.44	0.153	6.29	±4.28

Tab. A.3: Mortalität und mittlere tägliche gefühlte Temperatur (Vortag).

Kl.	Intervall <i>GT</i> in °C	\overline{MR}_{Ges}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{HK}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{At}	Abw. in %	KI in %
	Juli	2.581			1.187			0.144		
1	≤ 11.99	2.454	-4.92	±1.09	1.141	-3.87	±1.61	0.121	-15.87	±4.52
2	12.00...15.99	2.498	-3.19	±0.92	1.154	-2.82	±1.28	0.133	-7.28	±3.70
3	16.00...19.99	2.573	-0.29	±1.25	1.179	-0.68	±1.70	0.146	1.81	±4.95
4	≥ 20.00	2.780	7.71	±1.41	1.268	6.84	±1.99	0.171	18.92	±5.09
	Aug.	2.510			1.153			0.137		
1	≤ 11.99	2.412	-3.89	±1.20	1.119	-2.95	±1.67	0.122	-11.03	±4.85
2	12.00...15.99	2.463	-1.88	±0.89	1.132	-1.82	±1.24	0.131	-4.39	±3.63
3	16.00...19.99	2.533	0.92	±1.00	1.161	0.64	±1.46	0.143	4.43	±4.15
4	≥ 20.00	2.660	5.96	±1.31	1.215	5.34	±1.80	0.154	12.42	±5.76
	Sep.	2.534			1.177			0.129		
1	≤ 7.99	2.499	-1.39	±1.19	1.166	-0.93	±1.82	0.126	-2.88	±4.88
2	8.00...11.99	2.513	-0.85	±0.80	1.170	-0.57	±1.13	0.127	-2.00	±3.53
3	≥ 12.00	2.572	1.49	±0.90	1.189	1.01	±1.20	0.134	3.35	±3.73
	Okt.	2.659			1.258			0.149		
1	≤ 3.99	2.691	1.19	±0.89	1.289	2.44	±1.35	0.151	1.69	±3.67
2	4.00...7.99	2.665	0.23	±0.75	1.260	0.15	±1.10	0.148	-0.60	±3.29
3	≥ 8.00	2.623	-1.38	±0.84	1.227	-2.47	±1.19	0.147	-0.89	±3.67
	Nov.	2.741			1.321			0.160		
1	≤ -4.01	2.777	1.31	±0.99	1.350	2.18	±1.59	0.156	-2.76	±4.70
2	-4.00...-0.01	2.739	-0.08	±0.92	1.323	0.19	±1.43	0.162	1.09	±3.85
3	0.00...3.99	2.729	-0.42	±0.81	1.314	-0.50	±1.19	0.159	-0.39	±3.36
4	≥ 4.00	2.729	-0.42	±1.29	1.300	-1.57	±1.80	0.163	1.83	±4.79
	Dez.	2.865			1.396			0.184		
1	≤ -8.01	2.899	1.19	±1.01	1.414	1.28	±1.56	0.177	-3.66	±4.31
2	-8.00...-4.01	2.862	-0.08	±0.90	1.399	0.21	±1.32	0.184	0.15	±4.09
3	-4.00...-0.01	2.845	-0.70	±0.93	1.383	-0.98	±1.34	0.183	-0.31	±3.80
4	≥ 0.00	2.864	-0.03	±1.03	1.395	-0.11	±1.34	0.190	3.49	±4.94

Tab. A.4: Mortalität und mittlere tägliche gefühlte Temperatur (Vortag).

A.3 Mortalität und zeitliche Änderung der gefühlten Temperatur

Kl.	Intervall <i>DW7</i> in <i>K</i>	\overline{MR}_{Ges}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{HK}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{At}	Abw. in %	KI in %
	Gesamt	2.720			1.297			0.168		
1	≤ -6.01	2.649	-2.60	± 0.92	1.272	-1.91	± 1.29	0.166	-0.90	± 3.17
2	-6.00...-2.01	2.662	-2.15	± 0.38	1.271	-1.98	± 0.53	0.161	-3.84	± 1.40
3	-2.00...1.99	2.714	-0.22	± 0.27	1.293	-0.29	± 0.38	0.167	-0.34	± 1.05
4	2.00...5.99	2.780	2.21	± 0.38	1.325	2.20	± 0.54	0.173	3.31	± 1.49
5	≥ 6.00	2.837	4.30	± 0.84	1.344	3.69	± 1.19	0.180	6.92	± 3.36
	März - Mai	2.770			1.331			0.180		
1	≤ -6.01	2.686	-3.04	± 1.69	1.290	-3.05	± 2.44	0.168	-7.08	± 6.06
2	-6.00...-2.01	2.713	-2.04	± 0.79	1.303	-2.10	± 1.09	0.175	-3.06	± 2.66
3	-2.00...1.99	2.764	-0.19	± 0.50	1.331	-0.03	± 0.69	0.182	0.67	± 1.91
4	2.00...5.99	2.812	1.51	± 0.62	1.352	1.57	± 0.87	0.185	2.30	± 2.30
5	≥ 6.00	2.848	2.81	± 1.43	1.353	1.66	± 1.92	0.179	-1.01	± 5.16
	Juni - Aug.	2.565			1.188			0.141		
1	≤ -6.01	2.481	-3.27	± 1.56	1.158	-2.57	± 2.24	0.147	4.21	± 6.27
2	-6.00...-2.01	2.498	-2.58	± 0.68	1.162	-2.22	± 0.93	0.138	-2.12	± 2.67
3	-2.00...1.99	2.557	-0.27	± 0.57	1.184	-0.36	± 0.77	0.138	-1.98	± 2.09
4	2.00...5.99	2.628	2.48	± 0.71	1.215	2.26	± 0.94	0.146	3.07	± 2.86
5	≥ 6.00	2.701	5.34	± 1.33	1.245	4.75	± 1.95	0.150	6.01	± 5.08
	Sep. - Nov.	2.645			1.252			0.146		
1	≤ -2.01	2.614	-1.16	± 0.58	1.248	-0.32	± 0.86	0.142	-2.49	± 2.32
2	-2.00...1.99	2.637	-0.30	± 0.43	1.242	-0.84	± 0.61	0.147	0.49	± 1.71
3	≥ 2.00	2.716	2.68	± 0.71	1.288	2.88	± 1.08	0.150	2.59	± 3.07
	Dez. - Feb.	2.904			1.417			0.204		
1	≤ -6.01	2.839	-2.23	± 1.32	1.392	-1.75	± 1.92	0.197	-3.60	± 4.82
2	-6.00...-2.01	2.856	-1.63	± 0.62	1.396	-1.49	± 0.85	0.200	-2.24	± 2.53
3	-2.00...1.99	2.895	-0.29	± 0.46	1.413	-0.26	± 0.60	0.203	-0.51	± 1.89
4	2.00...5.99	2.957	1.85	± 0.66	1.440	1.64	± 0.89	0.209	2.22	± 2.61
5	≥ 6.00	3.012	3.74	± 1.31	1.464	3.34	± 1.80	0.221	7.92	± 6.08

Tab. A.5: Mortalität und Abweichung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel.

A.3. Mortalität und zeitliche Änderung der gefühlten Temperatur

Kl.	Intervall <i>DW7</i> in <i>K</i>	\overline{MR}_{Ges}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{HK}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{At}	Abw. in %	KI in %
	Jan.	2.916			1.428			0.213		
1	≤ -2.01	2.853	-2.14	± 1.03	1.407	-1.46	± 1.36	0.207	-2.39	± 3.53
2	-2.00...1.99	2.915	-0.01	± 0.81	1.424	-0.27	± 1.02	0.213	0.11	± 3.35
3	≥ 2.00	2.971	1.90	± 1.05	1.452	1.69	± 1.34	0.217	1.93	± 3.93
	Feb.	2.933			1.427			0.219		
1	≤ -2.01	2.878	-1.86	± 1.06	1.396	-2.17	± 1.41	0.218	-0.52	± 4.26
2	-2.00...1.99	2.929	-0.14	± 0.82	1.426	-0.03	± 1.06	0.216	-1.11	± 2.91
3	≥ 2.00	2.989	1.91	± 1.06	1.455	1.99	± 1.43	0.224	2.47	± 4.07
	März	2.907			1.405			0.211		
1	≤ -2.01	2.873	-1.17	± 1.17	1.386	-1.36	± 1.68	0.205	-2.83	± 3.61
2	-2.00...1.99	2.902	-0.16	± 0.75	1.402	-0.21	± 0.99	0.213	1.01	± 2.66
3	≥ 2.00	2.935	0.96	± 0.96	1.422	1.15	± 1.32	0.212	0.43	± 3.15
	Apr.	2.756			1.324			0.179		
1	≤ -2.01	2.704	-1.89	± 1.02	1.299	-1.82	± 1.37	0.175	-2.72	± 3.94
2	-2.00...1.99	2.737	-0.68	± 0.78	1.322	-0.14	± 1.13	0.176	-1.92	± 2.90
3	≥ 2.00	2.812	2.05	± 0.89	1.342	1.38	± 1.26	0.187	4.03	± 3.45
	Mai	2.646			1.264			0.150		
1	≤ -2.01	2.575	-2.68	± 1.09	1.230	-2.62	± 1.72	0.146	-2.75	± 4.08
2	-2.00...1.99	2.639	-0.26	± 0.81	1.260	-0.30	± 1.21	0.152	1.08	± 3.51
3	≥ 2.00	2.708	2.33	± 0.91	1.293	2.34	± 1.34	0.152	0.74	± 3.34
	Juni	2.604			1.225			0.144		
1	≤ -2.01	2.541	-2.43	± 1.11	1.204	-1.75	± 1.56	0.141	-1.84	± 4.57
2	-2.00...1.99	2.594	-0.41	± 0.91	1.222	-0.29	± 1.23	0.141	-1.50	± 3.47
3	≥ 2.00	2.673	2.66	± 1.03	1.249	1.92	± 1.45	0.149	3.52	± 4.03

Tab. A.6: Mortalität und Abweichung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel.

Kl.	Intervall <i>DW7</i> in <i>K</i>	\overline{MR}_{Ges}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{HK}	Abw. in %	KI in %	\overline{MR}_{At}	Abw. in %	KI in %
	Juli	2.581			1.187			0.144		
1	≤ -2.01	2.519	-2.40	± 1.19	1.167	-1.70	± 1.56	0.143	-0.52	± 4.54
2	-2.00...1.99	2.561	-0.76	± 1.15	1.177	-0.88	± 1.52	0.142	-1.11	± 3.84
3	≥ 2.00	2.656	2.91	± 1.05	1.216	2.42	± 1.40	0.146	1.62	± 4.26
	Aug.	2.510			1.153			0.137		
1	≤ -2.01	2.438	-2.88	± 0.90	1.121	-2.80	± 1.27	0.136	-0.53	± 3.74
2	-2.00...1.99	2.522	0.47	± 0.87	1.156	0.20	± 1.20	0.133	-2.79	± 3.58
3	≥ 2.00	2.590	3.21	± 1.15	1.195	3.58	± 1.51	0.144	5.78	± 4.64
	Sep.	2.534			1.177			0.129		
1	≤ -2.01	2.481	-2.08	± 0.96	1.165	-1.07	± 1.41	0.125	-2.93	± 4.20
2	-2.00...1.99	2.535	0.04	± 0.74	1.170	-0.64	± 1.01	0.131	1.27	± 3.09
3	≥ 2.00	2.607	2.89	± 1.25	1.217	3.35	± 1.75	0.130	0.67	± 5.65
	Okt.	2.659			1.258			0.149		
1	≤ -2.01	2.634	-0.93	± 0.95	1.260	0.15	± 1.47	0.143	-3.80	± 3.78
2	-2.00...1.99	2.649	-0.38	± 0.62	1.247	-0.85	± 0.89	0.150	0.93	± 2.74
3	≥ 2.00	2.735	2.86	± 1.08	1.291	2.64	± 1.78	0.153	3.21	± 5.06
	Nov.	2.741			1.321			0.160		
1	≤ -2.01	2.707	-1.23	± 0.83	1.307	-1.05	± 1.28	0.156	-2.63	± 3.66
2	-2.00...1.99	2.739	-0.09	± 0.70	1.317	-0.30	± 1.04	0.161	0.44	± 2.81
3	≥ 2.00	2.802	2.22	± 1.08	1.353	2.43	± 1.68	0.165	3.30	± 4.68
	Dez.	2.865			1.396			0.184		
1	≤ -2.01	2.836	-1.00	± 0.86	1.384	-0.87	± 1.28	0.180	-1.89	± 3.72
2	-2.00...1.99	2.839	-0.88	± 0.72	1.388	-0.60	± 1.03	0.181	-1.52	± 3.26
3	≥ 2.00	2.943	2.73	± 0.94	1.426	2.09	± 1.36	0.193	4.91	± 4.29

Tab. A.7: Mortalität und Abweichung der mittleren täglichen gefühlten Temperatur vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel.

A.4 Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

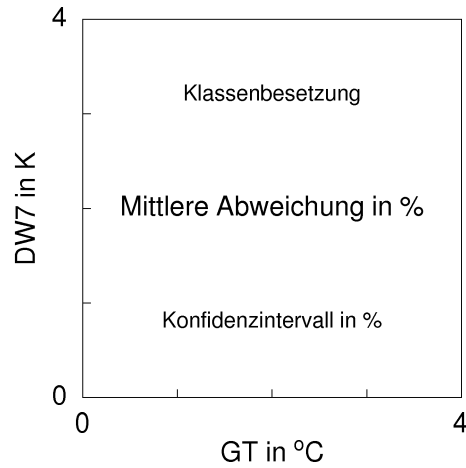


Abb. A.1: Legende für die einzelnen Klassen: Die Klassenbreite beträgt $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ für GT und 4 K für $DW7$. Die Klassen $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ von GT und die Klassen -10 K bis -6 K und 6 K bis 10 K von $DW7$ sind offene Randklassen.

	9	24	41	70	64	51	60	84	82	41	13	
8	13.77	8.50	11.86	9.56	7.37	6.08	2.93	-2.25	-1.68	2.86	6.48	
	5.99	3.34	2.90	1.92	2.27	2.15	2.26	1.79	1.97	2.66	4.69	
4	35	79	211	328	384	336	369	347	227	124	37	
	12.30	8.25	8.18	7.38	5.51	2.00	-2.39	-3.13	-3.53	-0.29	7.29	
	2.96	2.19	1.17	0.99	0.85	0.88	0.89	0.83	1.12	1.53	2.40	
0	59	191	481	726	748	710	866	620	322	148	40	
	9.15	6.86	5.10	5.06	2.45	-1.55	-5.40	-6.16	-4.43	-1.44	8.72	
	1.94	1.11	0.72	0.68	0.62	0.64	0.57	0.65	0.92	1.40	3.63	
-4	67	120	269	380	336	338	456	345	158	82	19	
	8.01	6.02	4.22	2.55	0.33	-3.95	-7.88	-8.73	-6.06	-2.20	4.12	
	1.99	1.54	0.94	0.86	0.91	0.93	0.79	0.79	1.35	2.01	4.61	
-8	29	44	52	63	39	52	57	66	31	20	8	
	7.33	3.68	1.84	1.28	-0.01	-4.08	-9.17	-10.91	-6.87	-5.74	4.41	
	3.00	2.10	2.44	2.16	2.97	2.11	2.11	1.78	3.26	3.29	9.65	
	-16	-12	-8	-4	0	4	8	12	16	20	24	28

Abb. A.2: Mittlere tägliche Abweichungen der Gesamtmortalität vom 30-jährigen Mittelwert in Abhängigkeit der mittleren täglichen gefühlten Temperatur GT und ihrer Abweichung vom vorangegangenen siebentägigen gewichteten Mittel $DW7$.

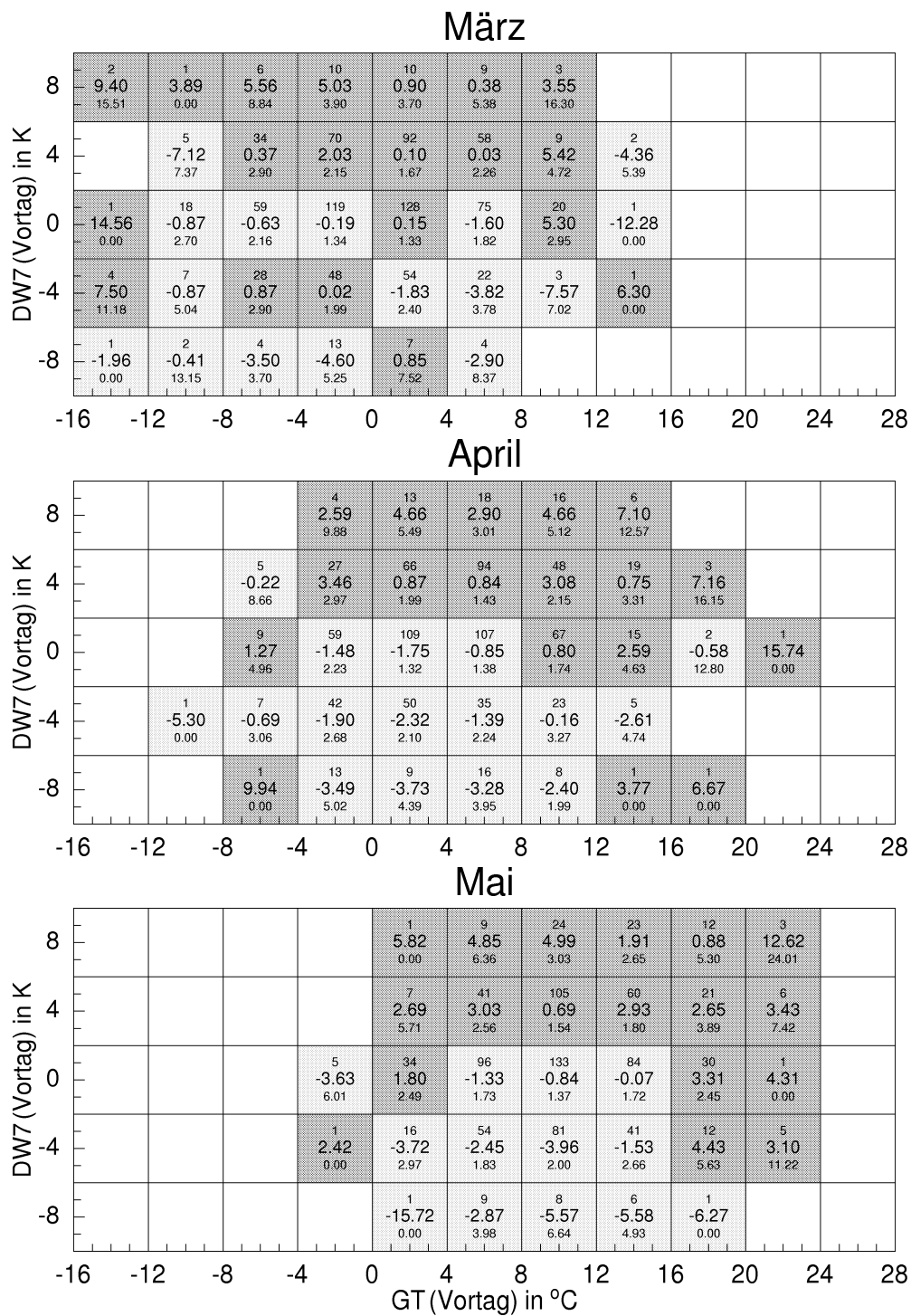


Abb. A.3: Mittlere tägliche Abweichungen der Gesamtmortalität vom 30-jährigen Monatsmittelwert.

A.4. Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

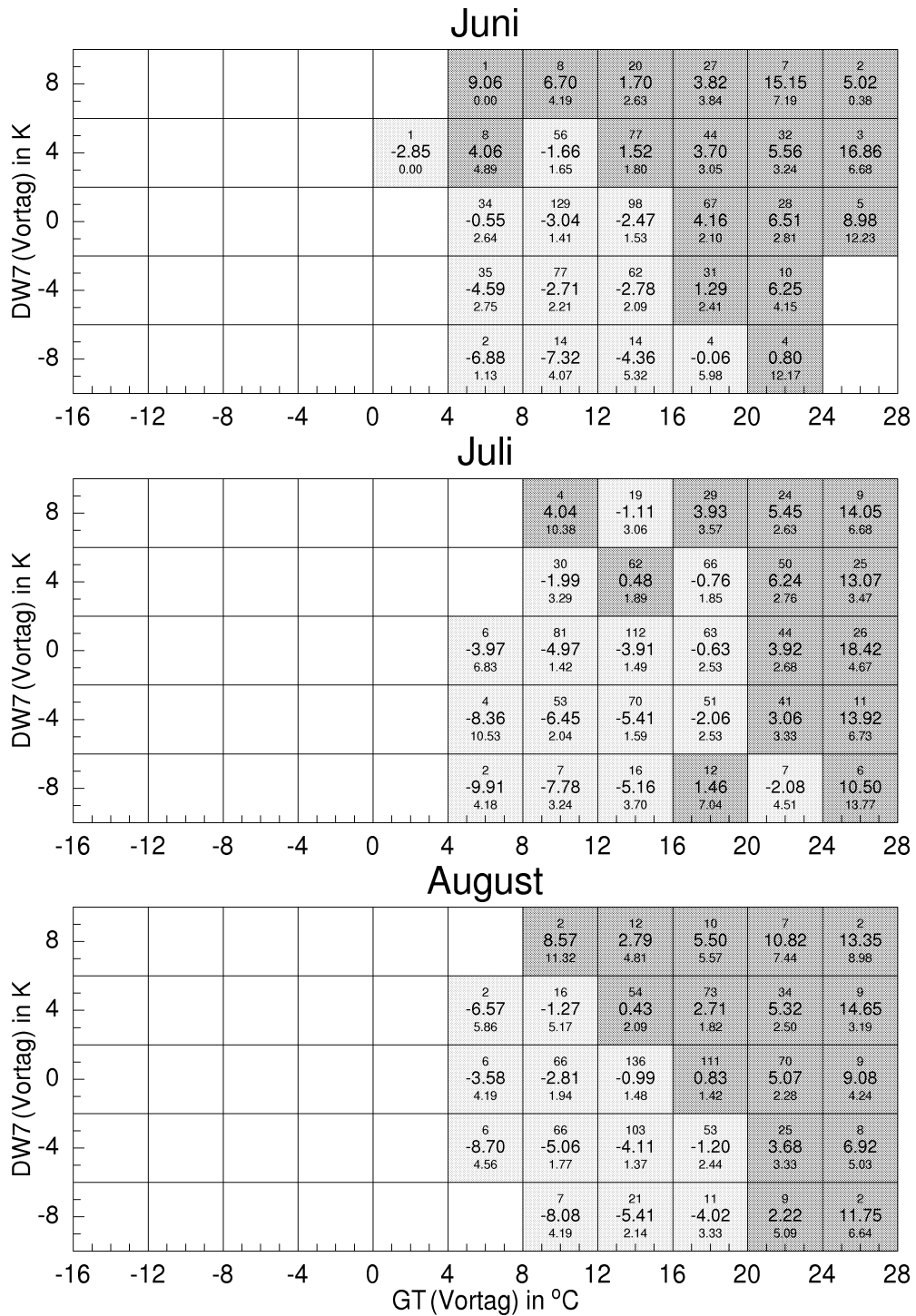


Abb. A.4: Mittlere tägliche Abweichungen der Gesamtmortalität vom 30-jährigen Monatsmittelwert.

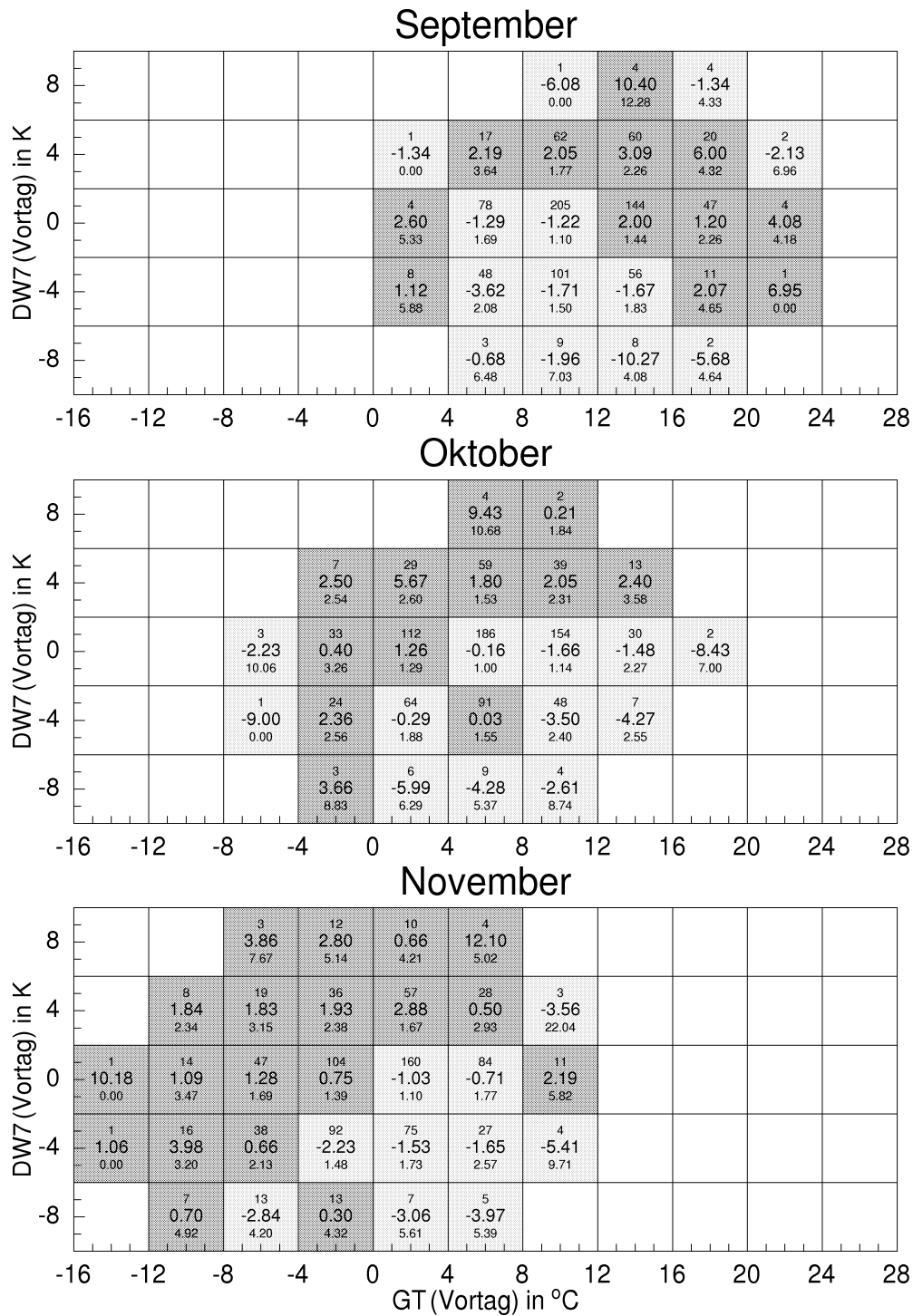


Abb. A.5: Mittlere tägliche Abweichungen der Gesamtmortalität vom 30-jährigen Monatsmittelwert.

A.4. Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

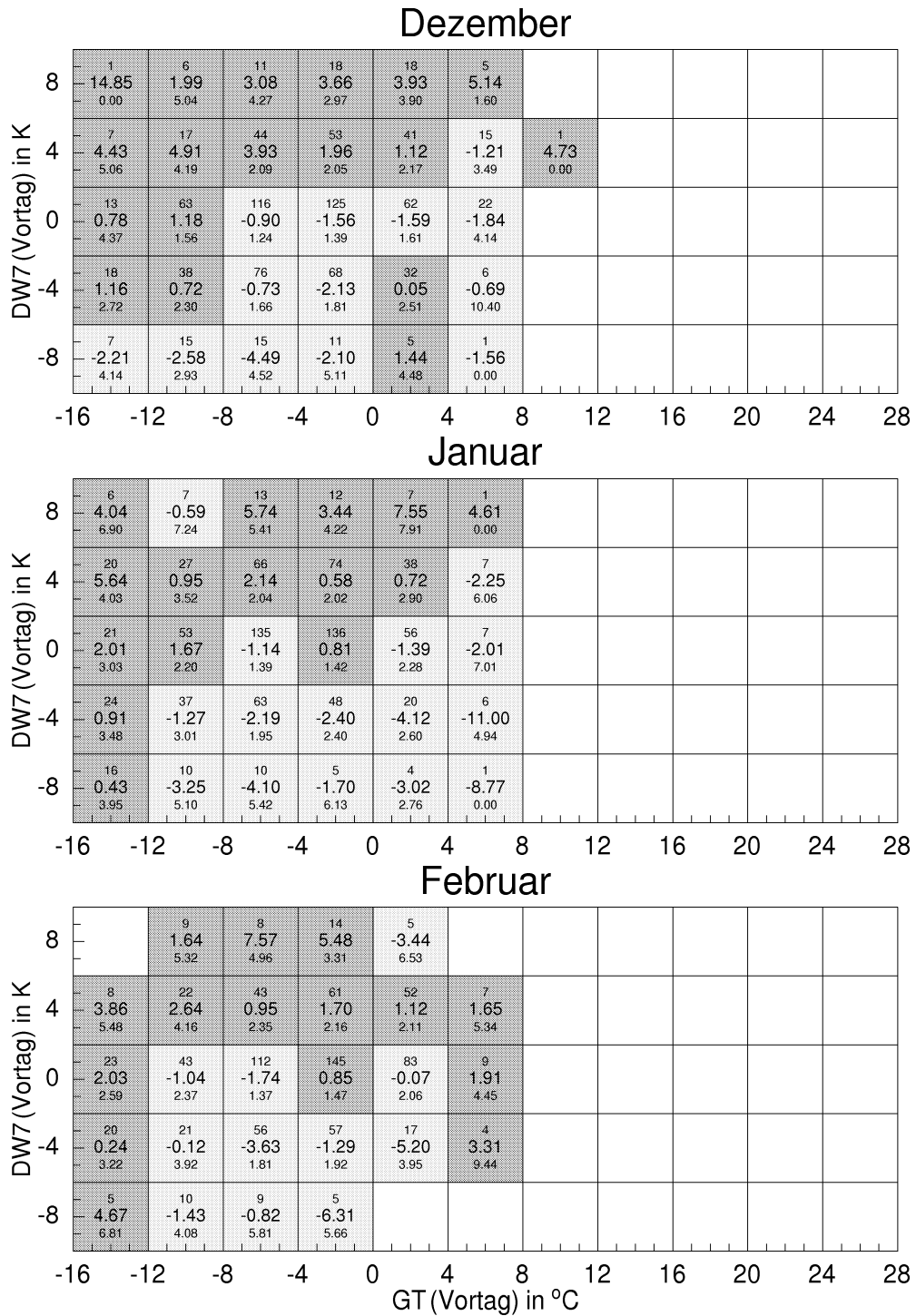


Abb. A.6: Mittlere tägliche Abweichungen der Gesamtmortalität vom 30-jährigen Monatsmittelwert.

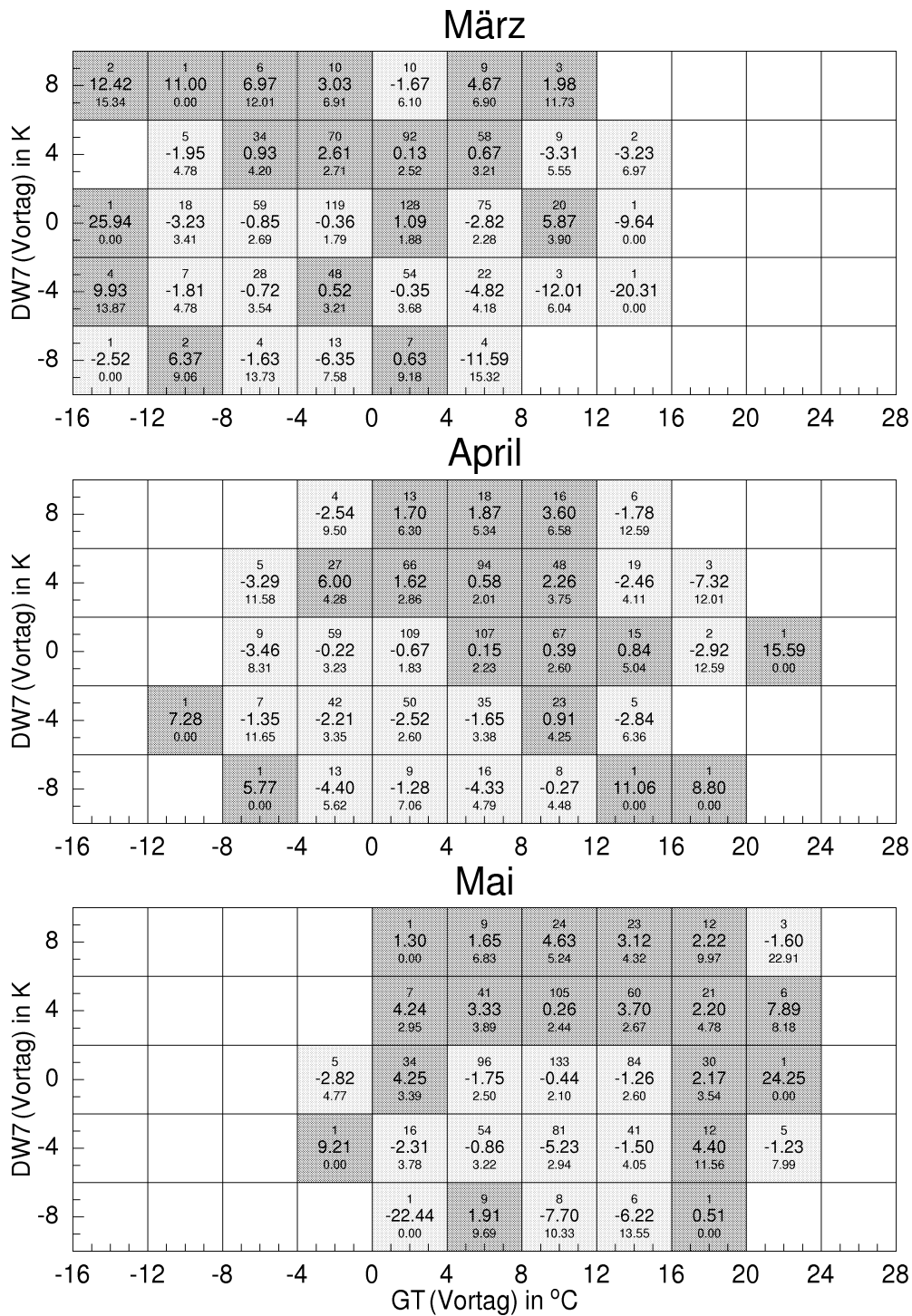


Abb. A.7: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert im Herz-Kreislaufbereich.

A.4. Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

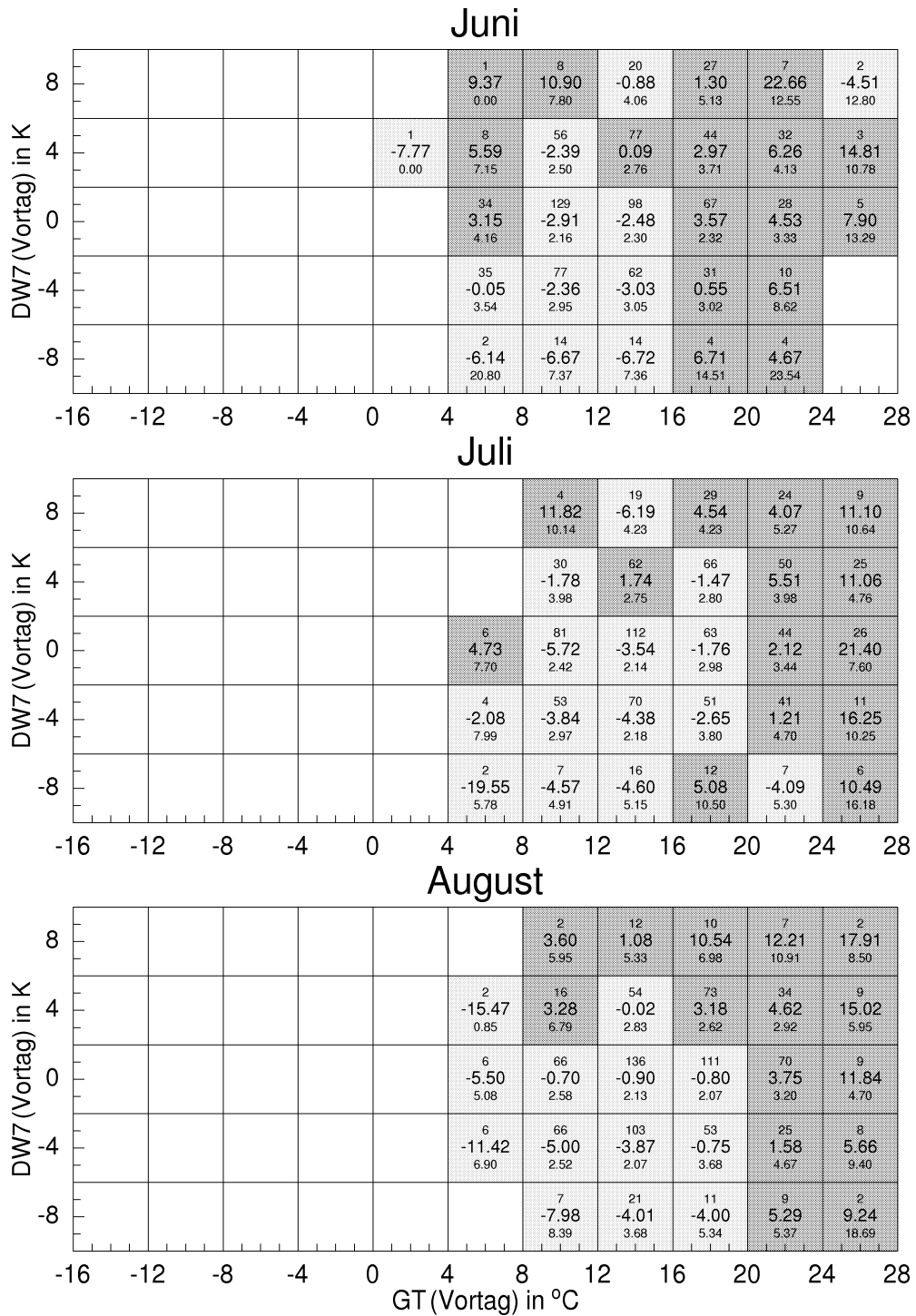


Abb. A.8: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert im Herz-Kreislaufbereich.

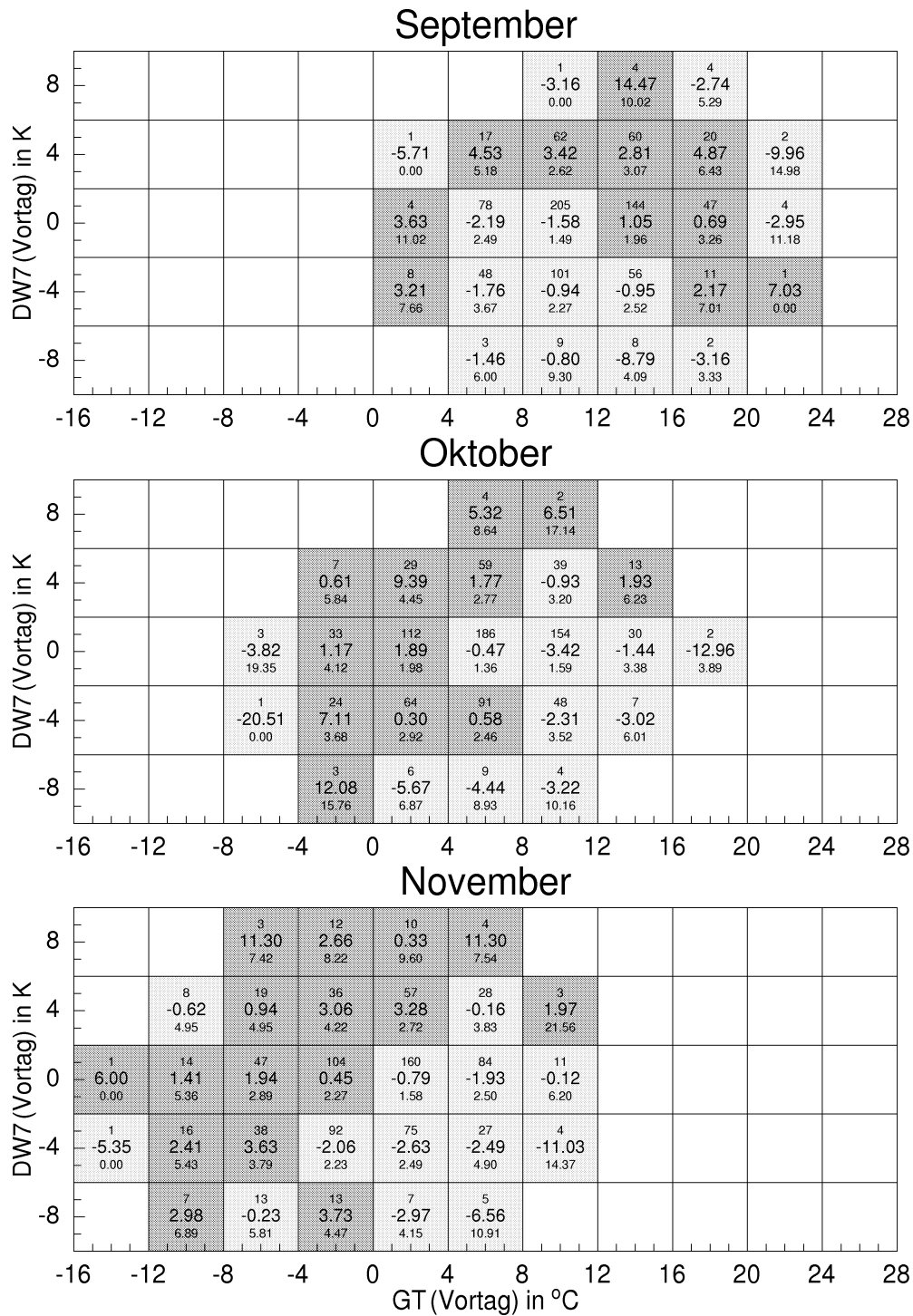


Abb. A.9: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert im Herz-Kreislaufbereich.

A.4. Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

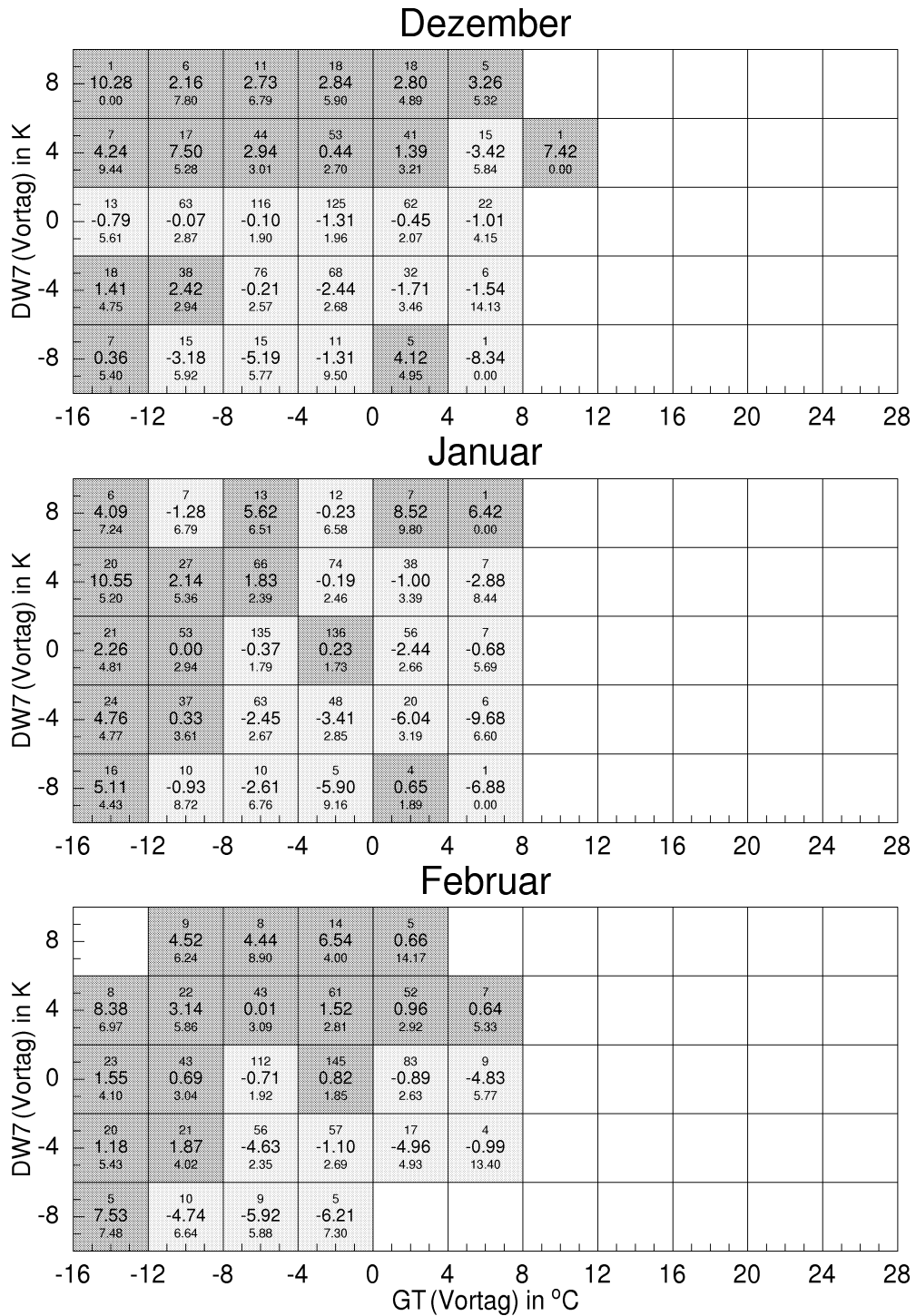


Abb. A.10: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert im Herz-Kreislaufbereich.

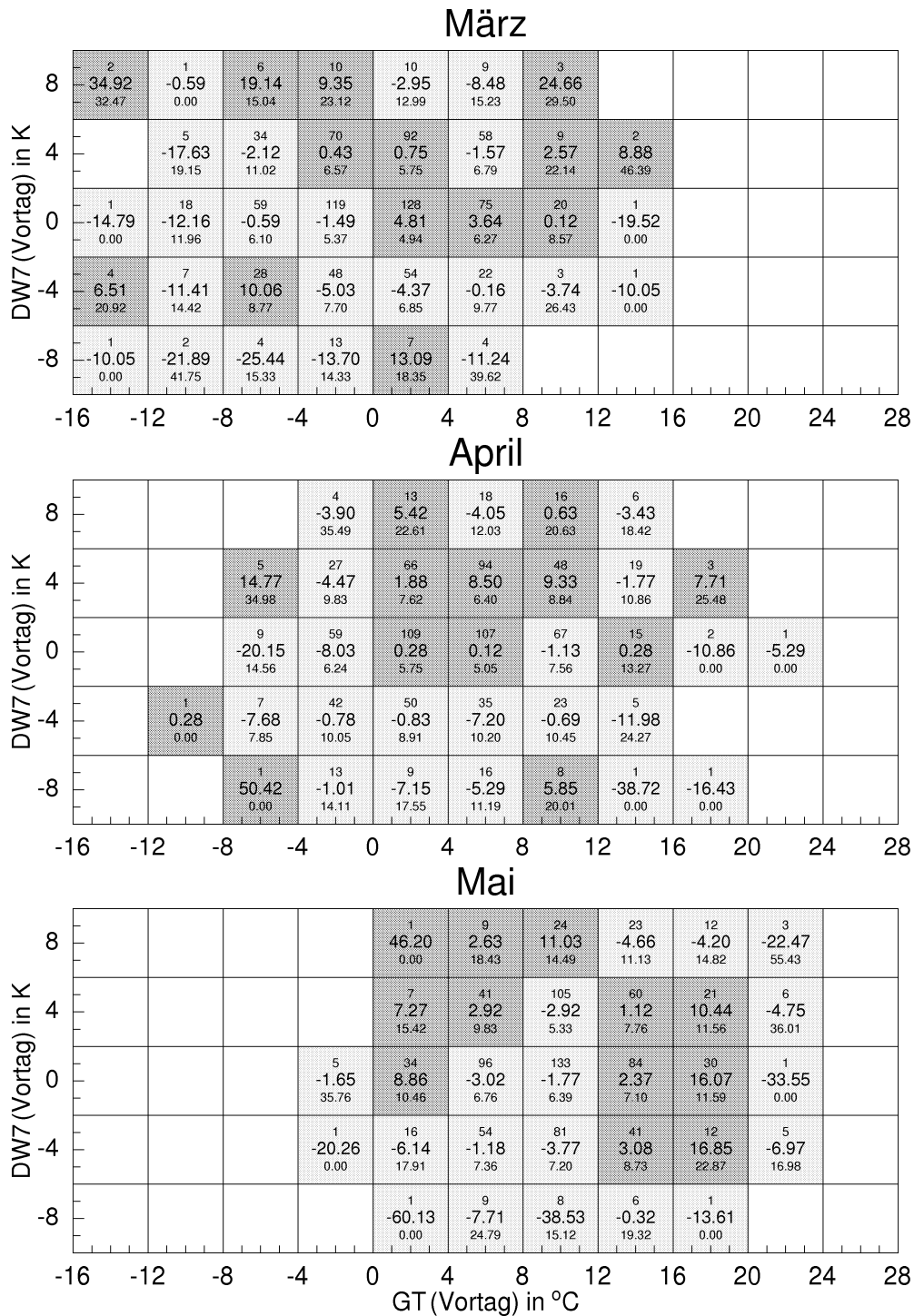


Abb. A.11: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert bei den Atemwegserkrankungen.

A.4. Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

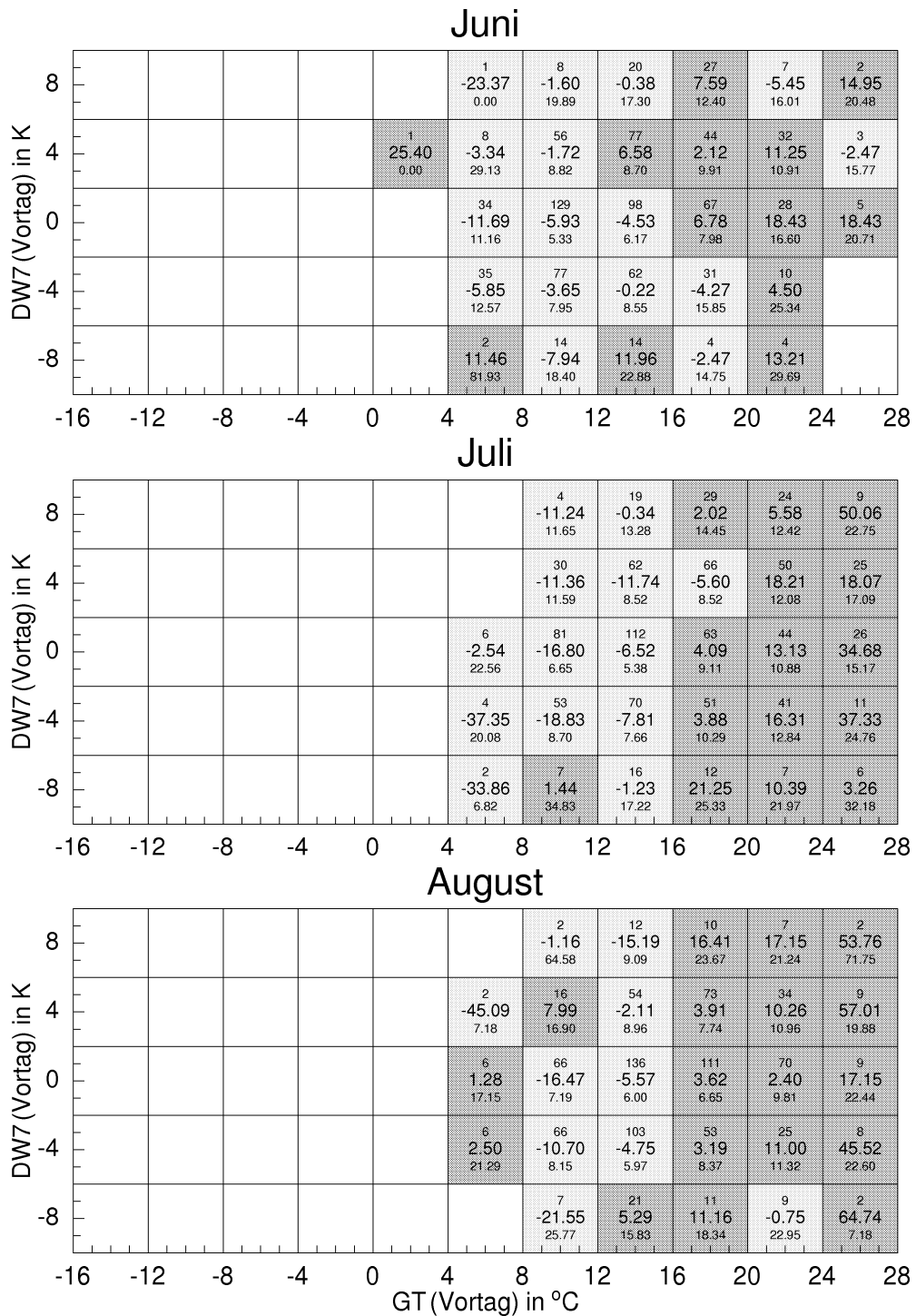


Abb. A.12: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert bei den Atemwegserkrankungen.

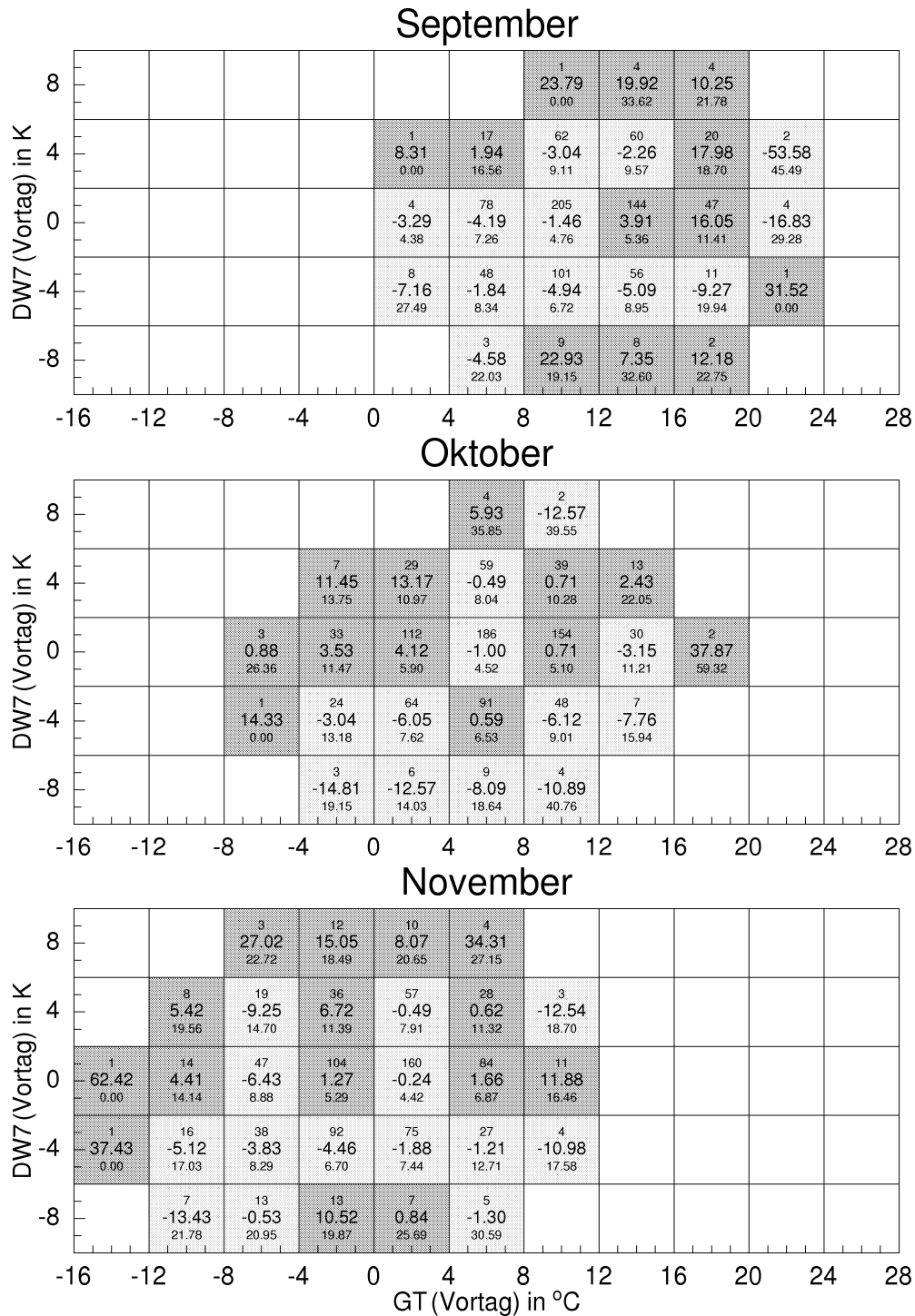


Abb. A.13: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert bei den Atemwegserkrankungen.

A.4. Mortalität, gefühlte Temperatur und ihre zeitliche Änderung

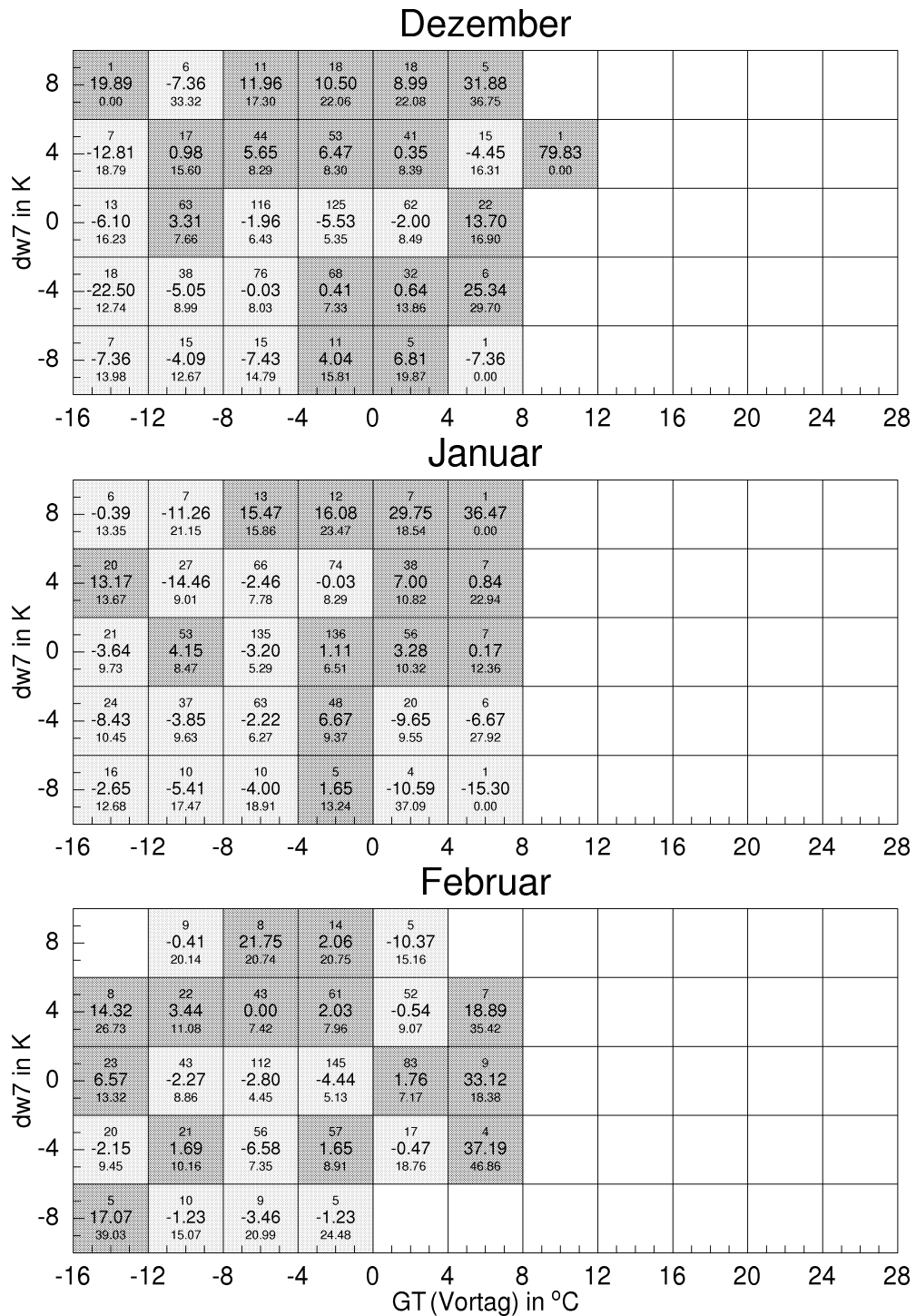


Abb. A.14: Mittlere tägliche Abweichungen der Mortalitätsraten vom 30-jährigen Monatsmittelwert bei den Atemwegserkrankungen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. F. Fiedler für die Ermöglichung und Betreuung meiner Diplomarbeit in einem sehr interessanten und nicht alltäglichen Themengebiet.

Herrn Prof. Ch. Kottmeier danke ich für die Übernahme des Korreferats und für die hilfreichen Anregungen bei Problemen mit dem KYSS-Program.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. G. Jendritzky und seinen Mitarbeitern Frau Dr. K. Laschewski und Herrn Dr. K. Bucher vom Deutschen Wetterdienst, Geschäftsfeld Medizinmeteorologie in Freiburg, die mir in vielen anregenden Diskussionsrunden und bei der Interpretation der Ergebnisse zur Seite standen. Herrn Bendisch danke ich für die Zusammenstellung der Datensätze.

Christian Barthlott, Olaf Eisen und Karoline Schmitt danke ich für die gute Zusammenarbeit und immer angenehme Atmosphäre im Diploman- denraum Süd.

Danken möchte ich auch allen Studenten und Mitarbeitern des 13. Stocks für ihr offenes Ohr bei Problemen mit UNIX und anderen organisatorischen Fragen, insbesondere Frau O. Birnmeier.

Vielen Dank auch an Michaela, Sonja und Volker.

Besonderer Dank gilt auch meinen vielen Freunden, die mir zur Seite standen, wenn es mal nicht so vorwärts ging. Ein ganz großes Dankeschön vor allem an Armin, Kerstin, Norbert, Michael, Sandra und an meine Schwester Ursula.

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt, die Quellen kenntlich gemacht und außer den genannten keine weiteren Hilfsmittel verwendet zu haben. Ich bin damit einverstanden, daß diese Arbeit in die Institutsbibliothek gestellt und kopiert werden darf.

Karlsruhe, 13. August 1999