

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3711 61 238
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

Einfluss des Wetters auf das Auftreten von ischämischen Herzkrankheiten (ICD Code: I20-I25) in Deutschland

Anlage 3

von

Dr. Christina Koppe, Daniela Bernhard, Dr. Stefan Zacharias

Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung,
Stefan-Meier-Straße 4, D-79104 Freiburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Abschlussdatum Juni 2013

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Einfluss des Wetters auf das Auftreten von ischämischen Herzkrankheiten (ICD Code: I20-I25) in Deutschland
Autor(en) (Name, Vorname)	Koppe, Christina Bernhard, Daniela Zacharias, Stefan
Durchführende Institution (Name, Anschrift)	Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung, Stefan-Meier-Straße 4, 79104 Freiburg, Deutschland
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2013
Forschungskennzahl (FKZ)	3711 61 238
Seitenzahl des Berichts	67
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Gesundheit, wetterbedingte Beschwerden, ischämische Herzkrankheiten, Mortalität, Krankenhausaufnahmen, Deutschland

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Influence of weather conditions on the occurrence of ischemic heart diseases (ICD code I20-I25) in Germany
Author(s) (Family Name, First Name)	Koppe, Christina Bernhard, Daniela Zacharias, Stefan
Performing Organisation (Name, Address)	German Meteorological Service, Center for Biometeorological Research, Stefan-Meier-Strasse 4, 79104 Freiburg, Germany
Funding Agency	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Report Date (Year)	2013
Project No. (FKZ)	3711 61 238
No. of Pages	67
Supplementary Notes	
Keywords	Human health, weather-related disorders, ischemic heart diseases, mortality, hospital admissions, Germany

Kurzbeschreibung

Es gibt Hinweise darauf, dass die atmosphärische Umwelt einen Einfluss auf die Häufigkeit von kardiovaskulären Erkrankungen hat. Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss von meteorologischen Parametern auf die ischämischen Herzerkrankungen, welche eine Untergruppe der kardiovaskulären Erkrankungen sind, für Deutschland zu untersuchen. Dazu wurden tägliche Daten zu ischämisch bedingten Sterbefällen und Krankenhauseinlieferungen für den Zeitraum 2001-2010 auf Regierungsbezirksebene vom Forschungsdatenzentrum des Bundes in Kamenz bereitgestellt. Aufgrund der geringen Anzahl von Fällen mussten einige Regionen weiter zusammengefasst werden. Die Sterbefalldaten wurden trendbereinigt und für einen Teil der Analysen auch um den Jahresgang bereinigt. Bei den Krankenhauseinlieferungen war zudem eine Entfernung des Wochengangs notwendig. Hierfür wurde eigens für diese Studie eine Methodik entwickelt, welche eine flexible Berücksichtigung des Wochengangs ermöglicht. Für die Sterbefalldaten wurde eine starke Abhängigkeit von der thermischen Umwelt gefunden. Die trendbereinigten Daten zeigen einen typischen V-förmigen Zusammenhang mit der thermischen Belastung. Der optimale Lufttemperaturbereich, der mit der geringsten Sterblichkeit einhergeht, liegt im Mittel zwischen 15°C und 19°C Tagesmitteltemperatur. Unterhalb und oberhalb dieses Bereiches steigt die Mortalität fast linear an. Der Anstieg unterhalb des thermischen Optimums ist im Wesentlichen durch den Jahresgang bedingt. Die Sterbefalldaten, die zusätzlich durch den Jahresgang bereinigt wurden, zeigen kein erhöhtes relatives Risiko unterhalb des Optimums mit Ausnahme der Todesursachen I20-I22 (v. a. Infarkte) bei sehr niedrigen Tagesmitteltemperaturen ($< -7^{\circ}\text{C}$). Eine Untersuchung von Hitzewellen ergab ein um 10 % erhöhtes Risiko für die Mortalität aufgrund ischämischer Herzkrankheiten während Hitzewellen. Für die Anzahl der Krankenhauseinlieferungen konnte keine eindeutige Beziehung zu den meteorologischen Parametern ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen im Wesentlichen die Ergebnisse anderer Studien auch für Deutschland und konnten den Anstieg der Sterblichkeit aufgrund ischämischer Herzkrankheiten auch an warmen/heißen Tagen deutlich belegen.

Abstract

There is some evidence from the literature that the atmospheric environment influences the frequency of acute cardiovascular problems. Therefore, this study aims at analyzing the influence of meteorological parameters on the occurrence of ischemic heart diseases (IHD), a subgroup of cardiovascular diseases in Germany. Data on the daily occurrence of IHD death rates and hospital admission rates were provided for the period 2001-2010 on a regional resolution of NUTS2 for Germany by the Federal Research Data Center in Kamenz. Since the number of daily cases was low in several regions, these regions were aggregated for data protection reasons. Daily mortality rates were de-trended and corrected for the course of the year. Morbidity data were additionally corrected for the weekly course. We found a strong relationship between the thermal environment and daily mortality rates. The de-trended mortality data that were not corrected for the course of the year, showed a V-or U-shape relationship with the thermal environment. The lowest mortality rates occurred at daily mean temperatures between 15°C and 19°C. Below and above this range, mortality increased nearly linearly. We found that the increase below this thermal optimum was mainly due to the seasonal feature. The mortality rates that were corrected for the course of the year didn't show an increase in mortality below the optimum temperature any more. An exception was the mortality with ICD codes I20-I22 (mainly myocardial infarction) that was increasing also after correction for the course of the year at very low daily mean temperatures ($< -7^{\circ}\text{C}$). During heat waves the daily risk for IHD mortality increased on average by 10 %. We couldn't find any significant relationship between the number of hospital admissions due to ischemic heart diseases and meteorological parameters. Altogether, we were able to demonstrate that there is a significant increase in IHD mortality in Germany especially on days with high average temperatures.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	12
1 Einführung.....	13
2 Problemstellung und Zielsetzung.....	15
3 Datengrundlage.....	16
3.1 Gesundheitsdaten	16
3.2 Wetterdaten	20
4 Methoden	22
4.1 Bestimmung des Erwartungswertes der Mortalität und Morbidität	22
4.1.1 Bearbeitungsschritte für Mortalitäts- und Morbiditätsdaten	22
4.1.2 Zusätzliche Bearbeitungsschritte für Morbiditätsdaten	23
4.1.3 Relatives Risiko	25
4.2 Ermittlung des Zusammenhangs zwischen thermischer Umwelt und Mortalität bzw. Morbidität	25
4.3 Regressionsanalysen	25
5 Ergebnisse	27
5.1 Zusammenhang zwischen thermischer Umwelt und Mortalitätsrate	27
5.1.1 Thermisches Optimum	27
5.1.2 Regressionsanalysen.....	37
5.1.3 Jahreszeitliche Unterschiede	38
5.2 Zusammenhang zwischen Temperatur und Morbiditätsrate	40
5.3 Untersuchung des Einflusses von Hitzewellen auf ischämische Herzerkrankungen.....	42
5.3.1 Vorgehensweise	42
5.3.2 Ergebnisse.....	42
6 Diskussion.....	47
7 Schlussfolgerungen.....	52
8 Quellenverzeichnis	53
Anhang	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Regionale Auflösung der Gesundheitsdaten.....	17
Abbildung 2:	Bestimmung des Erwartungswertes (EW) der Mortalitätsrate und der Abweichungen vom Erwartungswert (Residuen) am Beispiel der Region Düsseldorf (R051).....	23
Abbildung 3:	Bestimmung des Erwartungswertes (EW) der Morbiditätsrate und der Abweichungen vom Erwartungswert (Residuen) am Beispiel der Region Düsseldorf (R051) im Jahr 2003. Unten: Ausschnitt aus dem Jahr 2003.....	24
Abbildung 4:	Mittelwerte der Mortalitätsraten (normiert auf die minimale Mortalität) für Intervalle des Tagesmittelwertes der Lufttemperatur im Mittel über alle Regionen. Zeitraum 2001-2010.	28
Abbildung 5:	Mittelwerte der Mortalitätsrate für 3°C Intervalle der Lufttemperatur für 7 Regionen in Deutschland. 2001-2010.....	30
Abbildung 6:	Mittelwerte der Mortalitätsrate für 3°C Intervalle der Lufttemperatur für 7 Regionen in Deutschland. Normiert auf die Mortalitätsrate im Intervall mit dem Mittelwert 17,5°C. Zeitraum: 2001-2010.	30
Abbildung 7:	Mittelwerte des relativen Risikos der Mortalität für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur für alle Regionen in Deutschland gemittelt. Zeitraum 2001-2010.	35
Abbildung 8:	Mittelwerte des relativen Risikos der Mortalität für 3°C-Intervalle des Tagesmittelwertes der Lufttemperatur für 7 Regionen in Deutschland. Ursachen I20-I25. Zeitraum 2001-2010.....	35
Abbildung 9:	Mittelwerte des relativen Risikos der Mortalität (I20-I25) für 3°C-Intervalle der Temperaturdifferenz zum Vortag im Mittel über Regionen in Deutschland. Zeitraum 2001-2010.	36
Abbildung 10:	Mittelwerte des relativen Risikos der Morbidität aufgegliedert nach einzelnen Ursachen für 3°C-Intervalle der Tagesmitteltemperatur im Mittel über Regionen in Deutschland für zeitliche Verschiebungen von 0 und 7 Tagen. Zeitraum 2001-2010.	40
Abbildung 11:	Mittelwerte des relativen Risikos der Morbidität für 3°C-Intervalle der Tagesmitteltemperatur für Berlin für zeitliche Verschiebungen von 0 bis 10 Tagen. Zeitraum 2001-2010.	41
Abbildung 12:	Prozentuale Veränderung der Mortalität während Hitzewellen im Zeitraum 2001-2010, Tag0 entspricht dem ersten Tag der Hitzewelle. M: Männer, F: Frauen.....	43
Abbildung 13:	Prozentuale Veränderung der Morbidität während Hitzewellen im Zeitraum 2001-2010, Tag0 entspricht dem ersten Tag der Hitzewelle. M: Männer, F: Frauen.....	44

Abbildung 14:	Prozentuale Veränderung der hitzewellen-assoziierten Mortalität für sieben klimatische Bereiche in Deutschland. M: Männer, F: Frauen.....	46
Abbildung 15:	Mittelwerte der Mortalität für 3°C-Intervalle der Tagesmitteltemperatur für unterschiedliche lags am Beispiel der Region Berlin (R110).	48
Abbildung 16:	Mittelwerte des relativen Mortalitätsrisikos für 3°C-Intervalle der Gefühlten Temperatur über alle Regionen in Deutschland gemittelt. Zeitraum 2001-2010.	59
Abbildung 17:	Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Winter (DJF) für die Regionen R150 (oben) und R059 (unten). Zeitraum 2001-2010.	60
Abbildung 18:	Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Frühling (MAM) für die Regionen R060 (oben) und R160 (unten). Zeitraum 2001-2010.	61
Abbildung 19:	Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Sommer (JJA) für die Regionen R120 (oben) und R098 (unten). Zeitraum 2001-2010.	62
Abbildung 20:	Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Herbst (SON) für die Regionen R130 (oben) und R051 (unten). Zeitraum 2001-2010.	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der Gesundheitsdaten. GF: Geheimhaltungsfälle.....	16
Tabelle 2:	Aggregation der NUTS2-Regionen und Zuordnung der verwendeten Wetterstation.....	18
Tabelle 3:	Mittlere Mortalitäts- und Morbiditätsraten in den Regionen für den Zeitraum 2001 bis 2010.....	19
Tabelle 4:	Verwendete meteorologische Parameter.....	21
Tabelle 5:	Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001- 2010 nach Regionen zusammen gefasst.....	29
Tabelle 6:	wie Tabelle 5, nur für die Gefühlte Temperatur.....	29
Tabelle 7:	wie Tabelle 5, nur für den Humidex.....	29
Tabelle 8:	Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen.....	31
Tabelle 9:	wie Tabelle 8, nur für die Gefühlte Temperatur.....	31
Tabelle 10:	wie Tabelle 8, nur für den Humidex.....	31
Tabelle 11:	Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen.....	32
Tabelle 12:	wie Tabelle 11, nur für die Gefühlte Temperatur.....	32
Tabelle 13:	wie Tabelle 11, nur für den Humidex.....	32
Tabelle 14:	Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24- I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen.....	33
Tabelle 15:	wie Tabelle 14, nur für die Gefühlte Temperatur.....	33
Tabelle 16:	wie Tabelle 14, nur für den Humidex.....	33
Tabelle 17:	Steigung der Regressionsgeraden zwischen den 3°C- Intervallen der Lufttemperatur und den mittleren Sterbefallzahlen innerhalb dieser Intervalle mit den Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010. Die Steigungen sind auf den Mittelwert der Mortalitätsrate im Untersuchungszeitraum in den jeweiligen Regionen normiert worden.....	38
Tabelle 18:	Prozentuale Veränderung der Mortalität ischämischer Herzkrankheiten (Subtypen, Geschlecht) während Hitzewellen.....	42
Tabelle 19:	Prozentuale Veränderung der Morbidität ischämischer Herzkrankheiten (Subtypen, Geschlecht) während Hitzewellen.....	45

Tabelle 20:	Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010.	55
Tabelle 21:	Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010.	56
Tabelle 22:	Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010.	57
Tabelle 23:	Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010.	58
Tabelle 24:	Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Gesamte Temperaturspanne.	64
Tabelle 25:	Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Nur Tage mit GTmin ≤ 0°C (= leichter Kältestress).	65
Tabelle 26:	Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Nur Tage mit GTmax ≥ 20°C (= leichte Wärmebelastung).	66
Tabelle 27:	Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Nur Tage mit GTmax ≥ 26°C (= mäßige Wärmebelastung).	67

Abkürzungsverzeichnis

EW	Erwartungswert
GAM	Generalized Additive Model
GF	Geheimhaltungsfall
GLM	Generalized Linear Model
GT	Gefühlte Temperatur
ICD	International Classification of Diseases
IHK	Ischämische Herzkrankheiten
M	Mitte (Rheinland-Pfalz, Saarland und Hessen)
Mort	Mortalität
Morb	Morbidität, hier Krankenhauseinlieferungen
MR	Mortalitätsrate pro 100 000 Einwohner
NO	Nordosten (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Berlin)
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques, Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik
NW	Nordwesten (Niedersachsen, Bremen, Schleswig Holstein, Hamburg)
O	Osten (Sachsen-Anhalt, Thüringen, Sachsen)
RR	Relatives Risiko
SO	Südosten (Bayern)
STABWN	Standardabweichung
SW	Südwesten (Baden-Württemberg)
W	Westen (Nordrhein-Westfalen)

1 Einführung

Ischämische oder auch koronare Herzkrankheiten sind chronische Erkrankungen der Herzkranzgefäße, die durch eine verminderte Blutzufuhr, welche durch eine Verengung oder einen Verschluss eines oder mehrerer Herzkranzgefäße und den dadurch entstehenden Sauerstoff- und Nährstoffmangel verursacht werden (Quelle: gbe-bund.de, Löwel et al., 2006). Zu den ischämischen Herzkrankheiten (IHK) gehören Angina pectoris, Myokardinfarkt und ischämische Herzkrankheit. In der International Classification of Diseases (ICD, Version 10) werden sie unter den Klassifikationen I20 bis I25 zusammengefasst. In den meisten Fällen ist Arteriosklerose die Ursache für IHK. Ablagerungen in den Gefäßwänden verursachen eine Versteifung und eine Verminderung des Gefäßquerschnitts. Dadurch wird die Durchblutung und somit die Sauerstoffversorgung der Herzmuskulatur vermindert. Als Risikofaktoren gelten u. a. Bluthochdruck, Hypercholesterinämie und Rauchen (Gößwald et al., 2013).

Kardiovaskuläre Erkrankungen, zu denen auch die ischämischen Herzkrankheiten zählen, sind die häufigste Todesursache in den meisten Industrieländern. Dies gilt auch für Deutschland (Mercer, 2003). Die Sterblichkeit aufgrund von IHK macht rund 40 % der gesamten kardiovaskular bedingten Mortalität aus. Im Jahr 2003 verursachten koronare Herzkrankheiten in Deutschland etwa jeden 5. Sterbefall. Seit Beginn der 1980er Jahre konnte in Deutschland ein deutlicher Rückgang der Mortalitätsrate von ischämischen Herzkrankheiten verzeichnet werden (Löwel et al., 2006). Starben im Jahr 2001 noch rund 201 Personen pro 100.000 Einwohner an IHK waren es im Jahr 2010 noch 163 (Quelle: gbe-bund.de). Als Grund hierfür werden neben der Reduktion der Risikofaktoren auch verbesserte therapeutische Möglichkeiten bei der Behandlung des Herzinfarktes aufgeführt (Gößwald et al., 2013). Allerdings ist dieser Rückgang nicht über alle Altersgruppen gleich verteilt und in den höheren Altersgruppen nicht zu finden (Löwel et al., 2006)

Männer sind von ischämischen Herzkrankheiten etwa doppelt so häufig betroffen wie Frauen. Die Lebenszeitprävalenz von Männern über 40 beträgt nach Gößwald et al. (2013) in Deutschland rund 12 %, die von Frauen rund 6 %. Bei den Männern machen Herzinfarkte rund 57 % der gesamten ischämischen Herzkrankheiten aus, bei den Frauen liegt der Anteil der Herzinfarkte bei 39 %. Auch das Alter spielt eine deutliche Rolle. Während bei den 40- bis 49-Jährigen rund 2 % der Bevölkerung betroffen sind, sind es bei den 70- bis 79-Jährigen rund 22 % (Gößwald et al., 2013). Neben Alter und Geschlecht scheint auch der soziale Status eine Rolle für die Lebenszeitprävalenz von ischämischen Herzkrankheiten zu spielen. Diese nimmt mit steigendem sozialen Status ab (Gößwald et al., 2013). Zudem gibt es auch erbliche Faktoren, die das Risiko an ischämischen Herzkrankheiten zu erkranken, erhöhen.

Neben diesen nicht beeinflussbaren Risikofaktoren gibt es beeinflussbare bzw. vermeidbare Faktoren wie Zigarettenrauchen, Bluthochdruck, Übergewicht, Störungen des Fettstoffwechsels und Diabetes mellitus, die zu einer Erhöhung des Risikos für IHK beitragen. Dabei ist das Risiko für eine Person an IHK zu erkranken umso höher, je mehr Risikofaktoren gleichzeitig vorliegen (Löwel et al., 2006)

Ein Großteil der Studien, die sich mit dem Einfluss von Wetter auf kardiovaskuläre Erkrankungen befasst, fand einen Einfluss der Temperatur (sowohl Hitze als auch Kälte) auf die kardiovaskulär bedingte Sterblichkeit (Zacharias, 2012). Dies gilt auch, wenn die ischämischen Herzkrankheiten separat betrachtet werden. Bei Untersuchungen zum Auftreten von Herzinfarkten wurde in den meisten Studien vor allem ein signifikanter Kälteeffekt (Zunahme des Herzinfarkttrisikos mit Abnahme der Temperatur) gefunden. Studien, die auch den Hitzeeffekt untersucht hatten, fanden teilweise eine positive Korrelation zwischen Temperatur und der Anzahl der Herzinfarkte, teilweise auch keine signifikanten Zusammenhänge (Zacharias, 2012). Eine Untersuchung in der Tschechischen Republik fand beispielsweise einen Zusammenhang zwischen Hitzeereignissen und der Sterblichkeit aufgrund ischämischer Herzkrankheiten. Für die Morbidität konnte dieser Zusammenhang jedoch nicht festgestellt werden (Davidkovová et al., 2013).

Es gibt nur wenige Studien, die außer der absoluten Lufttemperatur noch andere meteorologische Parameter untersuchen. Diese geben jedoch Hinweise darauf, dass Temperaturänderungen zum Vortag (Kriszbacher et al. 2010, Messner 2005), der Luftdruck bzw. dessen Änderung im Vergleich zum Vortag (Goerre et al. 2007, Danet et al. 1999) oder die relative Luftfeuchtigkeit (Sharovsky et al. 2004, Abrignani et al. 2009, Lee et al. 2010) einen Einfluss auf das Herzinfarkttrisiko haben könnten.

Physiologisch lässt sich der Zusammenhang zwischen Kälteexposition und kardiovaskulären Erkrankungen über ein Zusammenziehen der äußeren hautnahen Blutgefäße (Vasokonstriktion) erklären, welche eine Erhöhung der Blutmenge im Inneren des Körpers bewirkt, die wiederum den Blutdruck als traditionellen Risikofaktor für kardiovaskuläre Krankheiten und speziell auch für IHK steigen lässt. Erhöhungen des Blutdrucks in der kalten Jahreszeit und mit Abnahme der Außentemperatur wurden in vielen Studien nachgewiesen (Alperovitch et al. 2009, Madsen und Nafstad 2006, Barnett et al. 2007, Kent et al. 2011).

Neben dem Blutdruck werden auch weitere hämodynamische Parameter wie die Blutviskosität von der Temperatur beeinflusst. Bei Kälte und Vasokonstriktion wird dem überschüssigen Blut in den inneren Organen Flüssigkeit entzogen (z. B. über die Niere), wobei die festen Bestandteile des Bluts wie z. B. rote und weiße Blutkörperchen im Blutkreislauf verbleiben. Durch die erhöhte Blutviskosität und Veränderungen bei Blutgerinnungsfaktoren wie Fibrinogen steigt das Risiko für Verklumpungen und die Bildung arterieller Thrombosen als Ursache für ischämische Erkrankungen bei anfälligen Personen signifikant an (Sun 2010).

Auch sehr hohe Temperaturwerte im Sommer führen zu einem häufigeren Auftreten von kardiovaskulären Erkrankungen. Flüssigkeitsverlust durch starkes Schwitzen kann ebenfalls eine erhöhte Blutviskosität und ein gesteigertes Thromboserisiko bewirken (Cheng und Su 2010). Des Weiteren werden die Blutgerinnungsfähigkeit und entzündliche Prozesse in den Gefäßen beeinflusst. So gibt es Hinweise auf eine mit hohen Temperaturwerten einhergehende Verschlechterung der endothelialen Funktion, die in Zusammenhang mit Arteriosklerose steht und ebenfalls einen Risikofaktor für Gefäßerkrankungen darstellt (Nawrot et al. 2005).

2 Problemstellung und Zielsetzung

Der demographische Wandel mit einer Zunahme des Anteils älterer Personen kann zu einem weiteren zahlenmäßigen Anstieg der ischämischen Herzkrankheiten in der Bevölkerung führen (Löwel et al., 2006). Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, neben dem Alter der Bevölkerung auch andere Faktoren abschätzen zu können, die das Auftreten von Mortalität und Morbidität aufgrund ischämischer Herzkrankheiten beeinflussen können.

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass bestimmte meteorologische Bedingungen die Auftretenshäufigkeit ischämischer Herzkrankheiten beeinflussen können. Ziel dieser Analyse war es, für Deutschland diese meteorologischen Einflussfaktoren zu identifizieren. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich systematische regionale Unterschiede ergeben.

Die in dieser Studie gefundenen Zusammenhänge sollen weiterhin dazu dienen, die Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf ischämische Herzkrankheiten abschätzen zu können. Diese Abschätzung wird in einem zweiten Teil der Studie erfolgen, welcher im Jahr 2014 fertig gestellt wird.

3 Datengrundlage

3.1 Gesundheitsdaten

Die Gesundheitsdaten wurden vom Forschungsdatenzentrum des Bundes in Kamenz bezogen. Dabei wurden sowohl die Sterbefälle als auch die Krankenhauseinlieferungen (Diagnosefälle) der Ursachen mit dem ICD-Codes I20 bis I25 (ischämische Herzkrankheiten) in täglicher Auflösung angefordert. Neben der Gesamtzahl der Fälle mit ischämischen Herzerkrankungen, wurden bei den Sterbefällen Datensätze für die Ursachen I20-I22 und I24-I25 betrachtet. Für den ICD-Code I23 wurden keine Sterbefälle klassifiziert. Bei den Krankenhauseinlieferungen konnte aufgrund der hohen Anzahl von Fällen zusätzlich die Gruppe mit der Diagnose I20 getrennt betrachtet werden (Tabelle 1). Daneben erfolgte sowohl für die Sterbefälle (I20-I25), als auch für die Diagnosefälle (I20-I25) eine weitere Differenzierung nach Geschlecht.

Aufgrund des Datenschutzes gelten Tage mit 5 oder weniger Sterbe- oder Diagnosefällen als Geheimhaltungsfälle. Diese Tage wurden pauschal mit dem Wert 3 aufgefüllt.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Gesundheitsdaten. GF: Geheimhaltungsfälle.

ICD Code	Bezeichnung	Diagnosefälle (Krankenhauseinlieferungen)		Sterbefälle	
		Summe / Anzahl GF	Mittelwert pro Tag	Summe / Anzahl GF	Mittelwert pro Tag
I20-I25	Ischämische Herzkrankheiten	7.478.227 / 2.049	2048	1.474.983 / 6.883	404
I20	Angina pectoris	2.715.232 / 3.468	743	642.617 / 16.489	176
I21	Akuter Myokardinfarkt	2.000.283 / 3.414	548		
I22	Rezidivierender Myokardinfarkt				
I23	Bestimmte akute Komplikationen nach akutem Myokardinfarkt			Keine Fälle	Keine Fälle
I24	Sonstige akute ischämische Herzkrankheit	2.765.448 / 10.986	757	820.078 / 8.393	225
I25	Chronische ischämische Herzkrankheit				

Die Daten sollten mit einer regionalen Auflösung von NUTS 2 Regionen (i. d. R. Regierungsbezirke) beschafft werden. Es stellte sich allerdings heraus, dass vor allem in den Regierungsbezirken mit einer relativ geringen Bevölkerungszahl, viele Geheimhaltungsfälle eingetreten wären. Daher wurden die NUTS2 – Regionen weiter aggregiert (Abb.1, Tab. 2).

Des Weiteren wurden 7 Großregionen (NW, W, M, SW, SO, NO, O) in Deutschland gebildet, welche eine einfachere Vergleichbarkeit der Ergebnisse ermöglichen.

Abbildung 1: Regionale Auflösung der Gesundheitsdaten



In Tabelle 3 sind die mittleren täglichen Mortalitätsraten und Krankenhauseinlieferungsraten für die einzelnen Regionen aufgelistet. Die geringsten Mortalitätsraten traten im Zeitraum 2001-2010 in der Region R089 (Regierungsbezirke Freiburg und Tübingen), sowie in der Region R09M (Oberbayern und Schwaben) und R110 (Berlin) auf. Am höchsten war die Sterblichkeit aufgrund ischämischer Herzkrankheiten in den Regionen R150 (Sachsen-Anhalt), R140 (Sachsen) und R160 (Thüringen). Die Unterschiede in den Mittelwerten der Mortalitätsraten sind in der Regel signifikant ($\alpha < 0,05$). Lediglich zwischen den Regionen R60 und R19 sowie R98 und R59; R99 und R51 sowie R110 und R09M konnte kein signifikanter Unterschied in der mittleren Mortalitätsrate festgestellt werden.

Tabelle 2: Aggregation der NUTS2-Regionen und Zuordnung der verwendeten Wetterstation.

NUTS2 Region	Regionalcode	Name Wetterstation	Code	Region
Schleswig-Holstein	R019	Schleswig	10035	Nordwest (NW)
Hamburg				
Braunschweig	R039	Hannover Flughafen	10338	
Hannover				
Lüneburg				
Weser-Ems	R049	Bremen Flughafen	10224	
Bremen				
Düsseldorf	R051	Düsseldorf Flughafen	10400	West (W)
Köln	R053	Köln / Bonn Flughafen	10513	
Münster	R058	Münster / Osnabrück Flughafen	10315	
Detmold				
Arnsberg	R059	Bad Lippspringe	10430	
Darmstadt	R060	Fritzlar	10439	Mitte (M)
Gießen				
Kassel				
Koblenz	R109M	Trier	10609	
Rhein Hessen-Pfalz				
Trier				
Saarland				
Stuttgart	R088	Stuttgart Flughafen	10738	Südwest (SW)
Karlsruhe				
Freiburg	R089	Lahr	10805	
Tübingen				
Oberbayern	R09M	Augsburg	10852	Südost (SO)
Schwaben				
Niederbayern	R098	Weiden	10688	
Oberpfalz				
Oberfranken				
Mittelfranken	R099	Würzburg	10655	
Unterfranken				
Berlin	R110	Tegel Flughafen	10382	Nordost (NO)
Brandenburg	R120	Potsdam	10379	
Mecklenburg-Vorp.	R130	Trollenhagen	10281	
Chemnitz	R140	Dresden Flughafen	10488	Ost (O)
Dresden				
Leipzig				
Sachsen-Anhalt	R150	Magdeburg	10361	
Thüringen	R160	Erfurt / Weimar Flughafen	10554	

Im Mittel gab es in Deutschland im Zeitraum 2001 bis 2010 pro Tag und 100.000 Einwohner 2,51 Krankenhauseinlieferungsfälle mit der Diagnose „ischämische Herzkrankheiten“. In den Regionen R051 (Düsseldorf), R059 (Arnsberg), R109M (Saarland und Rheinland-Pfalz) sowie in der Region 160 (Thüringen) lag die Zahl der Krankenhauseinlieferungen pro 100.000 Einwohner deutlich über dem Durchschnitt. In den Regionen R088 (Stuttgart und Karlsruhe), R089 (Freiburg und Tübingen), R09 (Schwaben und Oberbayern) sowie R099 (Mittel- und Unterfranken) lag sie deutlich unter dem Durchschnitt. Der Quotient aus Mortalität und Morbidität ist in den Ballungsräumen Düsseldorf (R051), Köln (R053) und Berlin (R110) besonders gering. Das bedeutet, dass im Vergleich zur Anzahl der Krankenhauseinlieferungen mit der Diagnose I20–I25 relativ wenig Menschen sterben. Besonders hoch ist der Quotient in Sachsen (R140) und Sachsen-Anhalt (R150).

Tabelle 3: Mittlere Mortalitäts- und Morbiditätsraten in den Regionen für den Zeitraum 2001 bis 2010.

	Mortalitätsdaten			Diagnosedaten			Mort/ Morb
	Mittelwert	STABWN	Trend / Jahr	Mittelwert	STABWN	Trend / Jahr	
R019	0,46	0,14	-0,026	2,23	0,89	-0,063	0,207
R039	0,56	0,13	-0,013	2,33	0,86	-0,063	0,242
R049	0,47	0,13	-0,010	2,17	0,80	-0,079	0,216
R051	0,49	0,13	-0,020	3,13	1,39	-0,127	0,156
R053	0,42	0,13	-0,023	2,78	1,15	-0,103	0,150
R058	0,44	0,13	-0,021	2,74	1,19	-0,106	0,162
R059	0,51	0,15	-0,024	3,06	1,36	-0,108	0,168
R060	0,46	0,11	-0,011	2,48	1,03	-0,115	0,187
R109M	0,50	0,12	-0,004	2,97	1,22	-0,142	0,170
R088	0,41	0,09	-0,006	2,04	0,82	-0,062	0,201
R089	0,34	0,10	-0,005	1,81	0,78	-0,057	0,189
R09M	0,39	0,10	-0,012	1,97	0,88	-0,076	0,200
R098	0,52	0,14	-0,012	2,48	1,04	-0,060	0,210
R099	0,49	0,14	-0,010	2,02	0,84	-0,060	0,242
R110	0,39	0,12	-0,008	2,82	1,06	-0,060	0,138
R120	0,60	0,17	-0,014	2,51	0,98	-0,033	0,241
R130	0,59	0,21	-0,011	2,85	1,26	-0,077	0,209
R140	0,72	0,16	-0,014	2,21	0,92	-0,106	0,327
R150	0,74	0,19	-0,010	2,80	1,14	-0,002	0,265
R160	0,62	0,19	-0,025	2,92	1,28	-0,044	0,213

Blau: Mittelwert über alle Regionen -1 Standardabweichung; Rot: Analog nur +1 Standardabweichung.

In allen Regionen ging die Mortalitätsrate im Untersuchungszeitraum zurück. Im Mittel betrug dieser Trend -0,014 pro Jahr. Besonders gering fiel der Rückgang der Mortalitätsrate in den Regionen R109M (Saarland und Rheinland-Pfalz), R088 (Regierungsbezirke Karlsruhe und Stuttgart) sowie in der Region R089 (Regierungsbezirke Freiburg und Tübingen) aus. Diese Regionen haben generell eine unterdurchschnittliche Sterblichkeitsrate aufgrund von IHK. Einen besonders starken Rückgang der Sterblichkeit konnte in den Regionen R019 (Schleswig-Holstein und Hamburg), R053 (Regierungsbezirk Köln), R058 (Regierungsbezirke Münster und Detmold) verzeichnet werden, obwohl diese im Mittel eine relativ geringe Mortalitätsrate aufwiesen. Desweiteren war der Rückgang der Mortalitätsrate in den Regionen R059 (Arnsberg) und R160 (Thüringen) besonders deutlich (Tab. 3).

Auch die Anzahl der Diagnosefälle ging im Untersuchungszeitraum im Mittel mit -0,077 pro Jahr zurück. Der Rückgang fiel hier besonders deutlich in den Regionen R051 (Düsseldorf), R060 (Hessen) und R109M (Saarland und Rheinland-Pfalz) aus. Am schwächsten war der Rückgang in Brandenburg (R120) und in Sachsen-Anhalt (R150) ausgeprägt (Tab. 3).

3.2 Wetterdaten

Um den Zusammenhang zwischen Wetter bzw. Witterung und dem Auftreten von ischämischen Herzkrankheiten zu untersuchen, standen meteorologische Daten des hauptamtlichen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung. Für jede Region wurde eine repräsentative meteorologische Messstation ausgewählt (Tab. 2). Die Auswahl der Station erfolgte sowohl nach dem Kriterium der Repräsentanz für eine Region, als auch vor dem Hintergrund, eine möglichst lückenlose Zeitreihe von meteorologischen Daten zu erhalten.

Trotzdem ließ es sich nicht vermeiden, dass bei einigen der verwendeten Messstationen fehlende Termine vorhanden waren. Diese wurden identifiziert und mittels linearer Interpolation aufgefüllt. Bei einer hohen Anzahl an aufeinanderfolgenden fehlenden Werten wurden Nachbarstationen herangezogen, um diese zu ergänzen.

Neben den Messwerten wurden auch einige abgeleitete Parameter berechnet (siehe Tab 4). Der Humidex gilt als kombinierter Einflussfaktor aus Temperatur und Feuchte und wird aus den Kenngrößen Lufttemperatur und Taupunkttemperatur in 2 m Höhe bestimmt. Als weiterer thermischer Index wurde die Gefühlte Temperatur berechnet. Diese ist als die Lufttemperatur einer Standardumgebung definiert, in welcher das thermische Empfinden den aktuellen Gegebenheiten entspricht. In dieser Standardumgebung ist die Windgeschwindigkeit auf einen leichten Windzug reduziert, die mittlere Strahlungstemperatur entspricht der Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit entspricht 50 % (Staiger et al., 1997). Die Gefühlte Temperatur basiert auf einem kompletten Wärmehaushaltsmodell des menschlichen Organismus und erlaubt daher eine physiologisch relevante Bewertung der thermischen Umwelt. Des Weiteren wurden innertägliche Temperaturschwankungen, die Veränderung der Lufttemperatur in 2 m Höhe im Vergleich zum Vortag sowie im Vergleich zum gewichteten Mittel der vorhergehenden sieben Tage und die Änderung des Luftdrucks auf Stationshöhe im Vergleich zum Vortag berechnet.

Die meteorologischen Daten lagen in stündlicher Auflösung vor und wurden zu Tagesmittelwerten aggregiert, um die gleiche zeitliche Auflösung zu erhalten, wie bei den Gesundheitsdaten.

Tabelle 4: Verwendete meteorologische Parameter

Parameter	Abkürzung	Einheit
Bedeckungsgrad aller Wolken	N	Achtel
10min Mittel Windgeschwindigkeit	ff	0,1m/s
Lufttemperatur in 2m Höhe	TT	0,1°C
Taupunkttemperatur in 2m Höhe	TD	0,1°C
auf NN reduzierter Luftdruck	P	0,1 hPa
3-std. Luftdruckänderung	ppp	0,1 hPa
Niederschlag im Bezugszeitraum	1RRR	0,1 mm
Bedeckungsgrad der niedrigen Wolken	Nh	Achtel
Tagessumme der Sonnenscheindauer	3SD24	0,1 Stunde
Tagessumme der Globalstrahlung	FG24	J/(cm) ²
Tagesmaximum der Temperatur in 2m Höhe	TX24	0,1°C
Tagesminimum der Temperatur in 2m Höhe	TN24	0,1°C
relative Feuchte	UU	%
Humidex*	humi	°C
Gefühlte Temperatur*	GT	°C
Innertägliche Temperaturschwankungen*	IST	0,1°C
Temperaturänderung im Vergleich zum Vortag*	dt	0,1°C
Temperaturänderung im Vergleich zum gewichteten 7-Tage Mittel*	dt_7d	0,1°C
Luftdruckänderung im Vergleich zum Vortag*	dP	0,1 hPa

* abgeleitete Parameter

4 Methoden

4.1 Bestimmung des Erwartungswertes der Mortalität und Morbidität

4.1.1 Bearbeitungsschritte für Mortalitäts- und Morbiditätsdaten

Sowohl die Mortalitäts- als auch die Morbiditätsdaten unterliegen jahreszeitlichen Schwankungen und einem langfristigen Trend. Generell sind die Fallzahlen im Winter höher als im Sommer. Um den Einfluss des Wetters auf die Mortalität ermitteln zu können, ist eine Bereinigung der Daten um den Trend und je nach Fragestellung auch um den Jahresgang notwendig. Bei den Krankenhauseinlieferungsdaten werden Jahresgang und Trend noch von einem sehr ausgeprägten Wochengang überlagert. Daher ist hier eine zusätzliche Wochengangsberreinigung notwendig.

Die Mortalitäts- und Morbiditätsdaten wurden auf Grundlage fortschreibender Bevölkerungszahlen aus der GENESIS Datenbank des Statistischen Bundesamtes auf 100.000 Einwohner normiert, um so Trends, die durch Schwankungen der Bevölkerungszahl in einer Region bedingt sind, eliminieren zu können.:

$$\text{Mortalitätsrate bzw. Morbiditätsrate} = \frac{(\text{absolute Mortalität bzw. Morbidität} \times 100.000) / \text{Bevölkerungszahl}}$$

Dabei wurde die Bevölkerungszahl zwischen den jährlich für den Stichtag 31.12. in der GENESIS Datenbank angegebenen Werten linear interpoliert.

Da starke Ausreißer die Bereinigung der Daten von Trend und Jahresgang beeinflussen, erfolgte eine Untersuchung der vorhandenen Daten auf Ausreißer. Als Ausreißer wurden alle Werte, die größer als das Dreifache der Standardabweichung waren, lokalisiert und mittels linearer Interpolation ersetzt.

Je nach Art der durchgeführten Analysen wurden die Daten unterschiedlich vorbereitet. Für die Bestimmung des thermischen Optimums, das mit der geringsten Sterblichkeit einhergeht, wurden die Daten lediglich um den langfristigen Trend bereinigt. Für die Morbidität war diese Analyse nicht möglich, da der Wochengang durch seine starken Schwankungen sämtliche andere Effekte überlagert und somit immer eine Wochengangsberreinigung notwendig ist.

Der Trend wurde mittels linearer Regression bestimmt, die gefitteten Werte einer Zeitreihe anschließend von den normierten Daten abgezogen und der Mittelwert der Trendzeitreihe wieder addiert.

Für die Analysen, in denen untersucht wurde, inwieweit sich meteorologische Parameter unabhängig vom Jahresgang auf die Mortalität auswirken, wurde eine Jahresgangberreinigung durchgeführt.

Der Jahresgang der Mortalitätsrate (=Erwartungswert) wurde mittels eines mehrstufigen Filterverfahrens bestimmt, das für jeden Tag innerhalb der beobachteten zehn Jahre einen Erwartungswert berechnet (Koppe, 2005).

Bei diesem Verfahren wird zuerst ein gaußscher Tiefpassfilter mit einer Länge von 365 Tagen über die Mortalitätsdaten gelegt. Die Basis dieses Verfahrens beruht darauf, dass für jeden Tag ein gewichteter Mittelwert aus den vorhergehenden und nachfolgenden Werten berechnet wird. Werte, die näher am zu berechnenden Wert liegen werden dabei stärker gewichtet als solche, die weiter entfernt liegen (Abb. 2). Die für die Gaußsche Tiefpassfilterung benötigten Filtergewichte lassen sich aus der standardisierten Normalverteilung und deren Dichtefunktion berechnen.

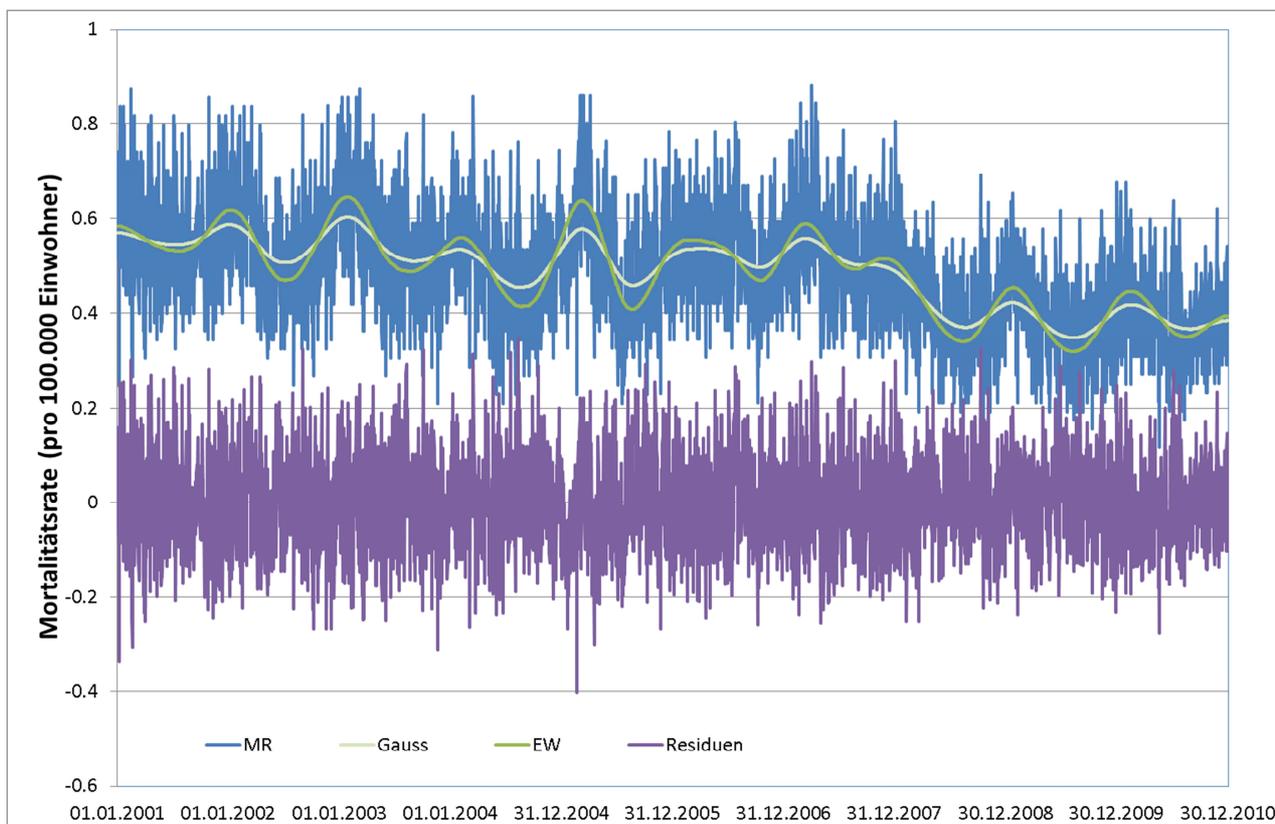
Da Gaußfilter jedoch meist zu flach verlaufen und den Jahresgang nicht stark genug wieder geben, wird der bereits gefilterte Jahresgang nochmals um einen Faktor k gestreckt, um Maxima und Minima im Ursprungsdatensatz besser an die tatsächlich vorhandenen Daten anzupassen (Restaurationsverfahren nach Taubenheim). Mit Hilfe der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung lässt sich dieser Faktor berechnen. Der Erwartungswert (EW) der Mortalität lässt sich nun durch Multiplikation

der gauß-gefilterten Werte mit dem Faktor k errechnen (Abb. 2). Eine derartige als Restauration bezeichnete Operation hat das Ziel, die Durchlasscharakteristik im Frequenzbereich des interessierenden Signals so nahe wie möglich an den (reellen) Wert 1 heranzubringen. Es handelt sich somit um eine Korrektur der Tiefpassfilterung im interessierenden Frequenzbereich, mit der die Nachteile der gewählten Glättungsoperation ausgeglichen werden (Taubenheim, 1969).

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass Trends hierbei direkt berücksichtigt werden und dass es keine Rolle spielt, ob diese linear oder nicht linear sind.

Um eine starke Variation der täglichen Schwankungen der Mortalitäts- und Morbiditätsdaten zu verringern, wurden für die folgenden Analysen Zweitagesmittelwerte verwendet.

Abbildung 2: Bestimmung des Erwartungswertes (EW) der Mortalitätsrate und der Abweichungen vom Erwartungswert (Residuen) am Beispiel der Region Düsseldorf (R051).

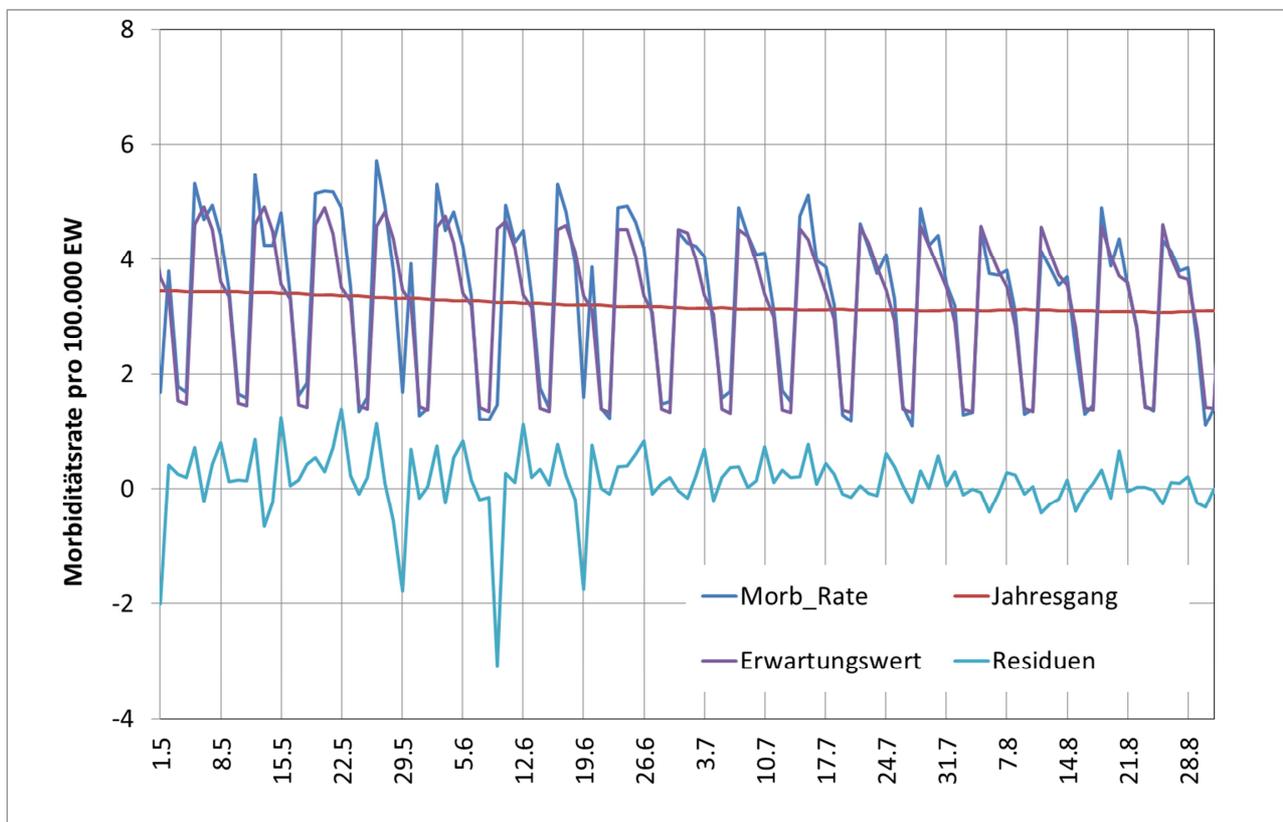
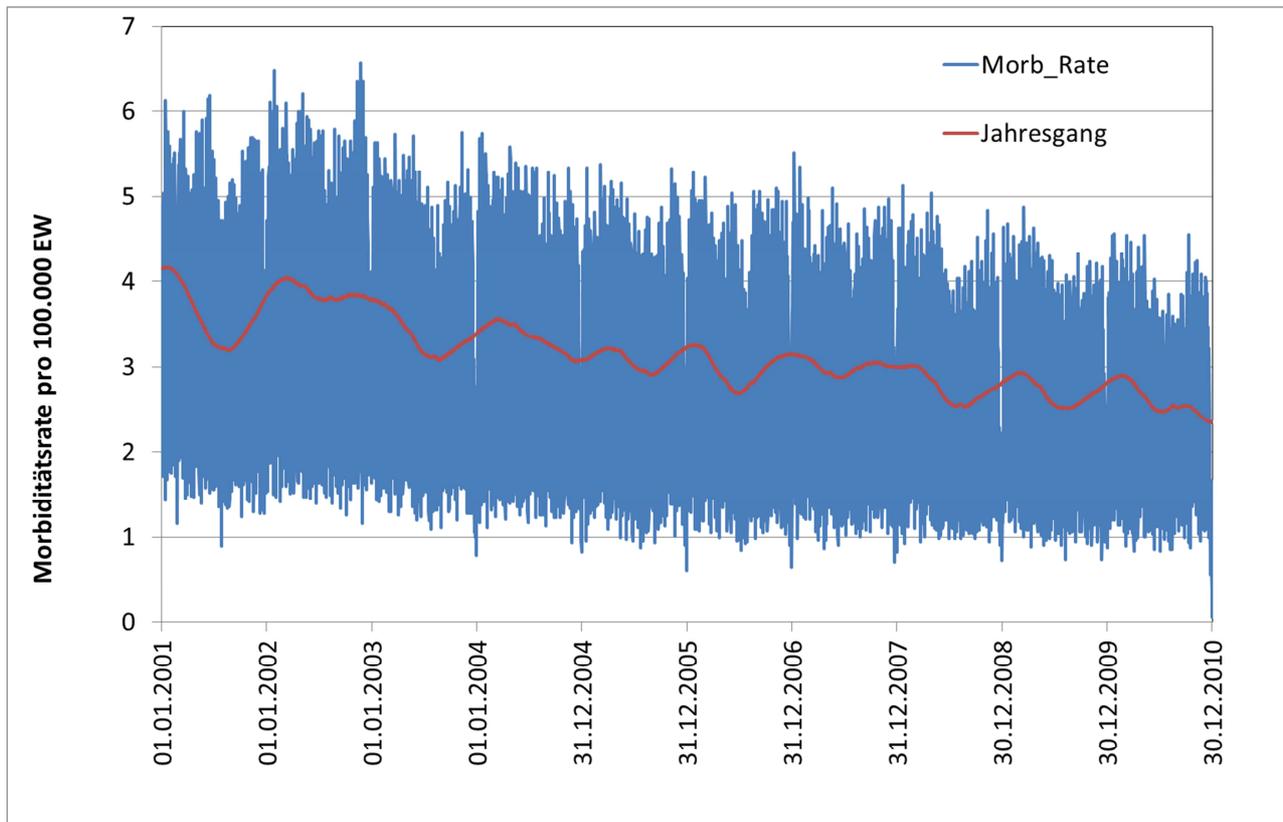


4.1.2 Zusätzliche Bearbeitungsschritte für Morbiditätsdaten

Morbiditätsdaten bedürfen zusätzlich zu der Bereinigung des Jahresgangs auch einer Bereinigung des Wochengangs, da dieser bei den Krankenhauseinlieferungsdaten deutlich stärker als der Jahresgang ausgeprägt ist (etwa 3-fache Amplitude, Abb. 3). Die meisten Krankenhauseinlieferungen finden montags und dienstags statt. Das Minimum des Wochengangs liegt am Wochenende.

Zur Bereinigung der Daten um den Wochengang wurde für jeden Wochentag separat der Erwartungswert bestimmt. Hierfür wurden Teilzeitreihen extrahiert, die nur aus einem Wochentag bestanden (z. B. Montage). Über diese wurde dann wie bei der Ermittlung des Jahresgangs der Mortalitätsdaten ebenfalls ein Gaußfilter gelegt, diesmal mit der Länge $365/7 (=52)$ Tage. Nach der Bereinigung wurde die Zeitreihe wieder in ihre ursprüngliche Reihenfolge gebracht (Abb. 3).

Abbildung 3: Bestimmung des Erwartungswertes (EW) der Morbiditätsrate und der Abweichungen vom Erwartungswert (Residuen) am Beispiel der Region Düsseldorf (R051) im Jahr 2003. Unten: Ausschnitt aus dem Jahr 2003.



4.1.3 Relatives Risiko

Für ein Teil der Analysen wurde das relative Risiko der Mortalität bzw. der Morbidität verwendet. Das relative Risiko RR lässt sich aus dem Verhältnis zwischen den Residuen und dem Erwartungswert bzw. Jahresgang bestimmen:

$$RR = 1 + \text{Residuen} / \text{Jahresgang}$$

Für die Mortalität sind Erwartungswert und Jahresgang identisch. Für die Morbidität wurde das relative Risiko ebenfalls auf den Jahresgang bezogen.

4.2 Ermittlung des Zusammenhangs zwischen thermischer Umwelt und Mortalität bzw. Morbidität

Da unklar ist, wie viel der im Winter in der Regel höheren Mortalität als im Sommer rein auf die thermischen Bedingungen und wie viel davon auf andere Faktoren zurückzuführen ist, wurde die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen thermischer Umwelt und Mortalität sowohl mit den nicht vom Jahresgang bereinigten Mortalitätsraten als auch mit dem vom Jahresgang bereinigten relativen Risiko durchgeführt.

Für 3°C breite Intervalle des Tagesmittelwertes der Lufttemperatur, der Gefühlten Temperatur und des Humidex wurde der Mittelwert der Mortalitätsrate, die Standardabweichung und das 95 % Konfidenzintervall berechnet. Diese Intervalle wurden in 0,1°C Schritten gebildet, um so einen kontinuierlichen Verlauf der Beziehung zwischen thermischer Umwelt und Mortalität zu bekommen. Im Folgenden wurden nur die Intervalle betrachtet, in denen mindestens 30 Werte vorlagen.

Eine analoge Vorgehensweise erfolgte mit dem relativen Risiko der Krankenhauseinlieferungen. Hier konnten keine aufgrund des starken Wochengangs absoluten Werte betrachtet werden.

Um den Bereich mit der geringsten mittleren Mortalitätsrate (thermisches Optimum) möglichst objektiv zu ermitteln, wurden folgenden Vorgehensweise gewählt:

- Bestimmung des Intervalls mit der geringsten Mortalitätsrate ($T_{\text{int}}(\text{min})$)
- Unterteilung in zwei Datensätze, je einen oberhalb und einen unterhalb $T_{\text{int}}(\text{min})$
- In diesen Teildatensätzen wurde durch sukzessive Verschiebung der Intervalle mittels linearer Regression das maximale korrigierte Bestimmtheitsmaß ($R^2_{\text{kor}}(\text{max})$) bestimmt. Dies geschah für ein 5°C Intervall ab $T_{\text{int}}(\text{min})$. Im warmen Bereich musste dieses Intervall zum Teil auf 1°C verkürzt werden, wenn der Schwellenwert so hoch lag, dass der warme Bereich keine 5°C mehr abgedeckt hätte.
- die zugehörige Temperatur (Gefühlte Temperatur, Humidex) zum untersten Intervall mit dem maximalen korrigierten R^2 wurde als oberer Schwellenwert des Bereichs mit der geringsten Mortalitätsrate definiert und die zugehörigen Temperatur zum obersten Intervall mit dem maximalen korrigierten R^2 wurde als unterer Schwellenwert definiert. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine flexible Festlegung der Breite des optimalen Bereichs der Temperatur (Gefühlte Temperatur, Humidex)

4.3 Regressionsanalysen

Der Einfluss meteorologischen Parameter auf die Mortalitätsdaten wurde mittels Generalized Linear Models (GLMs) untersucht. Diesem Regressionsverfahren liegt folgende mathematische Gleichung zu Grunde:

$$g(y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \varepsilon$$

wobei β_0 bis β_n die Regressionskoeffizienten für jeden meteorologischen Parameter und ε den Fehlerterm bilden.

Ziel dieses Regressionsverfahrens ist die Schätzung der optimalen Regressionskoeffizienten β , die nach der Methode der *maximum likelihood* bestimmt werden. Abweichend von regulären Regressionen wird in den verallgemeinerten linearen Modellen nicht die Summe der Abweichungsquadrate zwischen Modellvorhersage und Beobachtung bestimmt, sondern ein optimales Verhältnis der Regressionskoeffizienten der Parameter, das die Wahrscheinlichkeit maximiert. Schrittweise wird anschließend auf Basis des Akaike-Informationskriteriums (AIC) das Modell automatisch vereinfacht und diejenigen Parameter ausgesondert, die die Modellgüte verringern. Das AIC beinhaltet die Residuenquadratsumme des geschätzten Modells, den Stichprobenumfang n und die Anzahl der erklärenden Variablen im Modell. Es gilt die Kennzahl des AIC zu minimieren.

Weiterhin wurden Generalized Additive Models (GAM) verwendet, die allerdings nur sehr geringe Unterschiede zu den GLMs in der erklärten Varianz aufwiesen. Aus Gründen der einfacheren und verständlicheren Interpretation erfolgten die Auswertungen des statistischen Zusammenhangs zwischen Mortalität und meteorologischen Parametern somit auf Basis der GLMs.

5 Ergebnisse

5.1 Zusammenhang zwischen thermischer Umwelt und Mortalitätsrate

5.1.1 Thermisches Optimum

In den meisten Regionen ergibt sich zwischen thermischer Umwelt (Temperatur, Gefühlter Temperatur, Humidex) und der Mortalitätsrate der Ursachen I20–I22 eine typische V- bzw. U-förmige Beziehung. Es gibt einen Bereich mit einer minimalen Sterblichkeit aufgrund ischämischer Herzkrankheiten (=thermisches Optimum). Oberhalb und unterhalb steigt die Sterblichkeit mit zunehmender Entfernung von diesem optimalen Temperaturbereich fast linear an (Abb. 4).

Bei den Sterbefällen der Männer und den Sterbefällen mit den Ursachen I20-I22 (Angina pectoris und Infarkte) lässt sich im Mittel über alle Regionen ein Anstieg der Sterblichkeit oberhalb des thermischen Optimums nur an sehr warmen Tagen (z. B. mit Tagesmitteltemperaturen $> 24^{\circ}\text{C}$) feststellen.

Für die Lufttemperatur (Anhang, Tab. 18-21) und die Gefühlte Temperatur sowie den Humidex (nicht dargestellt) wurde für alle Regionen der Bereich des thermischen Optimums bestimmt. Der Bereich optimaler mittlerer täglicher Lufttemperatur liegt im Mittel über alle Regionen zwischen rund 15°C und rund 19°C (Gefühlte Temperatur ca. $13\text{--}17^{\circ}\text{C}$, Humidex ca. $18\text{--}22^{\circ}\text{C}$). In den meisten Regionen ist dieser Bereich des thermischen Optimums nur $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ breit, kann aber in Ausnahmefällen bis zu 7°C betragen (Anhang, Tab. 18, Region R058)

Zwischen den Geschlechtern gibt es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Obergrenze des thermischen Optimums. Lediglich der untere Schwellenwert des optimalen Temperaturbereichs ist bei den Männern signifikant höher ($\alpha < 0,05$) als für beide Geschlechter gemeinsam (Tab. 5). Wird die Gefühlte Temperatur und der Humidex zur Bewertung der thermischen Umwelt herangezogen, so ist der untere Schwellenwert des optimalen Bereichs der Gefühlten Temperatur der Männer zusätzlich noch signifikant höher als der der Frauen (Tab. 6 und 7). Der Bereich des thermischen Optimums liegt bei Männern also generell bei etwas höheren Werten des Tagesmittelwertes der Lufttemperatur (Gefühlten Temperatur, Humidex) als bei den Frauen.

Beim Vergleich der Regionen lässt sich keine einheitliche Systematik einer räumlichen Differenzierung des optimalen thermischen Bereichs für die Ursachen I20-I25 erkennen (Abb. 5 und 6, Tab. 5 bis 7). Allerdings fällt auf, dass sich die Rangfolge der Höhe der Schwellenwerte der unterschiedlichen thermischen Bewertungsverfahren voneinander unterscheidet. Der obere Schwellenwert der Lufttemperatur ist v. a. im Westen relativ hoch, was auf eine geringere Wärmesensitivität in diesen Regionen hindeutet. Wird die Gefühlte Temperatur verwendet, so findet sich die geringste Hitzesensitivität im Süden (Südost und Südwest). Unter Verwendung des Humidex ist es ebenfalls der Südosten, der den höchsten Schwellenwert aufweist.

Der optimale Temperaturbereich und der optimale Bereich der Gefühlten Temperatur sowie des Humidex für die Diagnosen I20-I22 liegen signifikant ($\alpha < 0,05$) über dem aller ischämischen Herzkrankheiten und dem für die Diagnosen I24-I25. Auch bei der Betrachtung der Ursachen I20-I22 und I24-I25 ergeben sich keine systematischen regionalen Unterschiede (Tab. 8-10).

Die Sterblichkeit steigt meist sowohl mit Zunahme der thermischen Belastung oberhalb und unterhalb des optimalen Temperaturbereichs fast linear an (Abb. 4, Tab. 11-13, Anhang, Tab. 20+21). Dabei ist der Betrag der Steigung oberhalb des thermischen Optimums im Mittel über alle Regionen meist signifikant ($\alpha < 0,05$) höher als unterhalb des Optimums. Der Erklärungsanteil der Regressionsgeraden für den Bereich unterhalb des thermischen Optimums liegt meist über 90 %. Oberhalb des thermischen Optimums ist er etwas geringer, liegt aber bei der Lufttemperatur und dem Humidex meist über 90 % und der Gefühlten Temperatur über 70 %. Für die Ursachen I24-I25 liegt der

Erklärungsanteil oberhalb des thermischen Optimums in der Regel höher als für die Ursachen I20-I22.

Es fällt auf, dass die Steigung oberhalb des Temperaturoptimums für den Gesamtdatensatz und die Männer im Westen und für die Frauen im Nordosten deutlich steiler ist als in den anderen Re-gionen (Tab. 11). In diesen Regionen liegt auch die Obergrenze des optimalen Temperaturbe-reichs relativ hoch. Allerdings sind die Unterschiede nicht signifikant ($\alpha > 0,5$). Auf der kalten Seite sind die Unter-schiede in der Steigung deutlich geringer ausgeprägt als auf der warmen. Auffallend ist jedoch das im Osten die Steigung durchweg steiler ist, als in den anderen Regionen (Anhang, Tab. 20+21).

Auch für die Todesursachen I20-I22 und I24-I25 ist die Steigung der Regressionsgeraden oberhalb des thermischen Optimums signifikant ($\alpha < 0,05$) größer als unterhalb (Tab. 14). Im Allgemeinen verläuft die Steigung bei separater Betrachtung der Ursachen I20-I22 und I24-I25 jedoch etwas fla-cher als für den gesamten Datensatz.

Abbildung 4: Mittelwerte der Mortalitätsraten (normiert auf die minimale Mortalität) für Intervalle des Tagesmittelwertes der Lufttemperatur im Mittel über alle Regionen. Zeitraum 2001-2010.

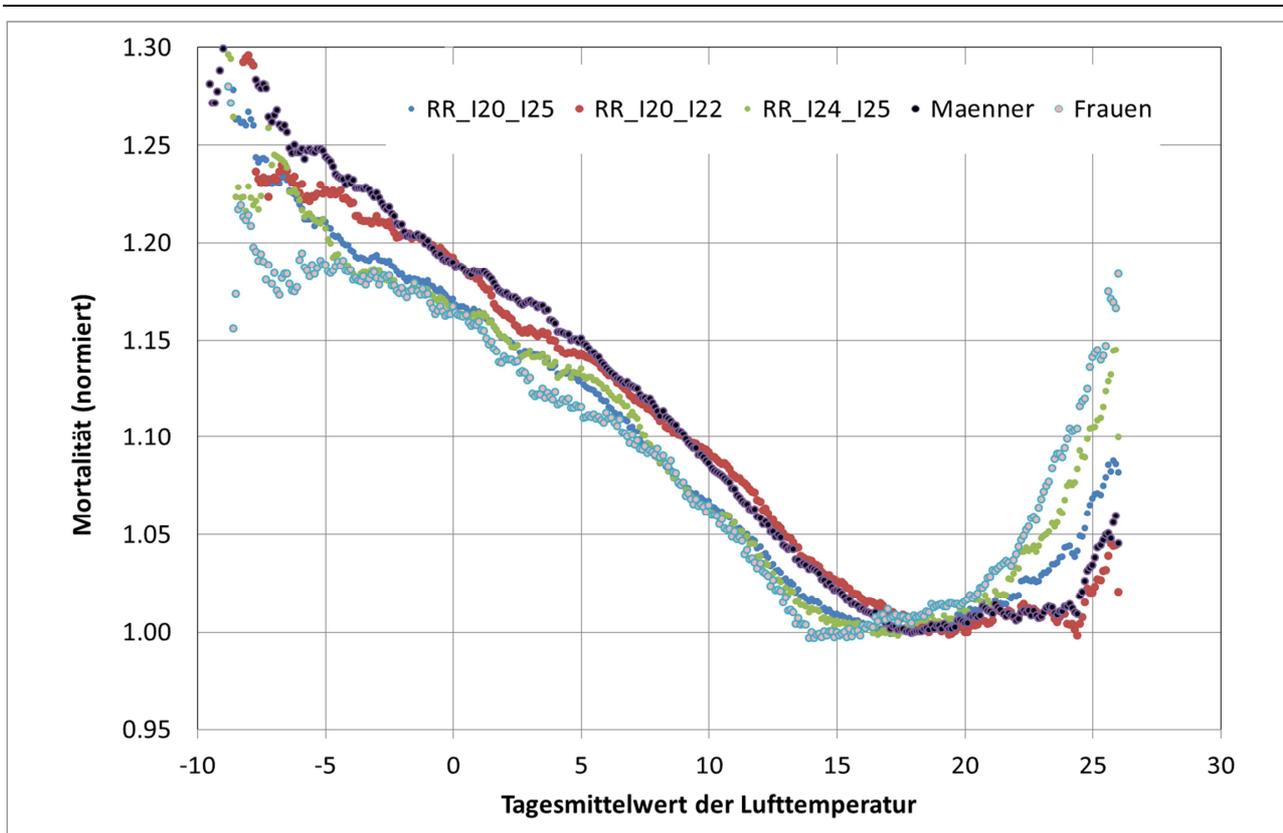


Tabelle 5: Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen zusammen gefasst

	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt (R ²)	Frauen (R ²)	Männer (R ²)	Gesamt (R ²)	Frauen (R ²)	Männer (R ²)
SW	17,9 (0,90)	18,2 (0,79)	17,2 (0,69)	16,2 (0,91)	18,1 (0,89)	16,8 (0,96)
SO	16,6 (0,73)	18,1 (0,92)	18,7 (0,77)	16,2 (0,94)	14,8 (0,84)	18,5 (0,91)
M	16,5 (0,79)	17,6 (0,66)	16,8 (0,86)*	16,4 (0,94)	17,4 (0,93)	18,0 (0,95)*
W	18,7 (0,87)	18,1 (0,88)	20,3 (0,89)	16,8 (0,95)	17,6 (0,89)	17,7 (0,93)
NW	17,1 (0,90)	17,1 (0,75)	16,9 (0,62)	16,9 (0,95)	15,6 (0,96)	16,7 (0,83)
NO	17,9 (0,96)	19,7 (0,85)	19,5 (0,76)	17,3 (0,91)	17,5 (0,82)	18,5 (0,81)
O	18,0 (0,86)	17,5 (0,85)	18,4 (0,85)*	17,9 (0,95)	17,3 (0,93)	18,7 (0,93)*

Tabelle 6: wie Tabelle 5, nur für die Gefühlte Temperatur

	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt (R ²)	Frauen (R ²)	Männer (R ²)	Gesamt (R ²)	Frauen (R ²)	Männer (R ²)
SW	16,3 (0,76)	19,4 (0,71)	15,4 (0,78)	15,8 (0,93)	16,4 (0,92)	15,4 (0,97)
SO	16,5 (0,79)	18,2 (0,87)	20,0 (0,72)	14,4 (0,93)	14,8 (0,88)	18,3 (0,89)
M	13,7 (0,77)	14,9 (0,47)	17,1 (0,78)	13,6 (0,91)	12,7 (0,90)	16,9 (0,95)
W	14,6 (0,79)	16,0 (0,84)	20,0 (0,84)	14,2 (0,95)	14,6 (0,92)	16,0 (0,94)
NW	14,7 (0,93)	16,8 (0,82)	15,0 (0,89)	14,0 (0,95)	13,6 (0,96)	14,4 (0,86)
NO	15,5 (0,89)	15,4 (0,80)	18,0 (0,82)	15,1 (0,91)	14,2 (0,87)	15,8 (0,78)
O	15,4 (0,87)	15,2 (0,81)	16,3 (0,54)	13,9 (0,95)	13,1 (0,92)	14,9 (0,96)

Tabelle 7: wie Tabelle 5, nur für den Humidex

	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt (R ²)	Frauen (R ²)	Männer (R ²)	Gesamt (R ²)	Frauen (R ²)	Männer (R ²)
SW	20,9 (0,90)	20,9 (0,89)	19,0 (0,82)	19,7 (0,91)	18,1 (0,81)	19,0 (0,96)
SO	22,1 (0,93)	23,0 (0,92)	24,8 (0,78)	19,7 (0,94)	18,7 (0,89)	21,8 (0,91)
M	20,0 (0,82)	21,5 (0,85)	19,1 (0,80)	17,4 (0,94)	16,7 (0,92)	20,8 (0,95)*
W	21,5 (0,85)	19,7 (0,85)	24,0 (0,87)	18,2 (0,95)	17,8 (0,91)	22,7 (0,94)
NW	19,3 (0,86)	22,1 (0,71)	19,7 (0,68)	19,1 (0,95)	19,1 (0,96)	19,6 (0,86)
NO	20,4 (0,93)	18,2 (0,83)	25,8 (0,91)	20,2 (0,91)	18,0 (0,86)	21,9 (0,84)
O	21,8 (0,93)	20,9 (0,82)	19,9 (0,87)	20,5 (0,96)	19,5 (0,94)	19,7 (0,94)

*der höhere untere Schwellenwert hängt damit zusammen, dass nicht für alle Gebiete einer Region ein oberer Schwellenwert bestimmt werden konnte, da es in diesen Gebieten nicht zu einem Mortalitätsanstieg oberhalb des Schwellenwertes gekommen ist.

Abbildung 5: Mittelwerte der Mortalitätsrate für 3°C Intervalle der Lufttemperatur für 7 Regionen in Deutschland. 2001-2010

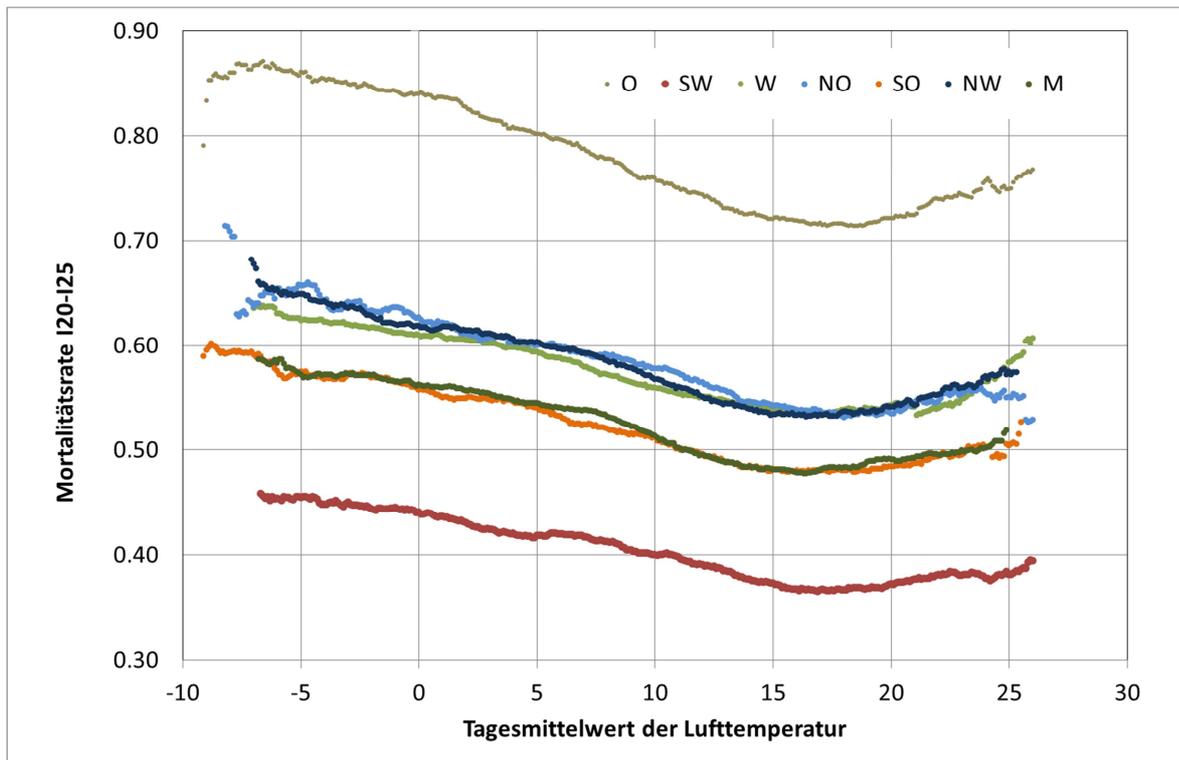


Abbildung 6: Mittelwerte der Mortalitätsrate für 3°C Intervalle der Lufttemperatur für 7 Regionen in Deutschland. Normiert auf die Mortalitätsrate im Intervall mit dem Mittelwert 17,5°C. Zeitraum: 2001-2010.

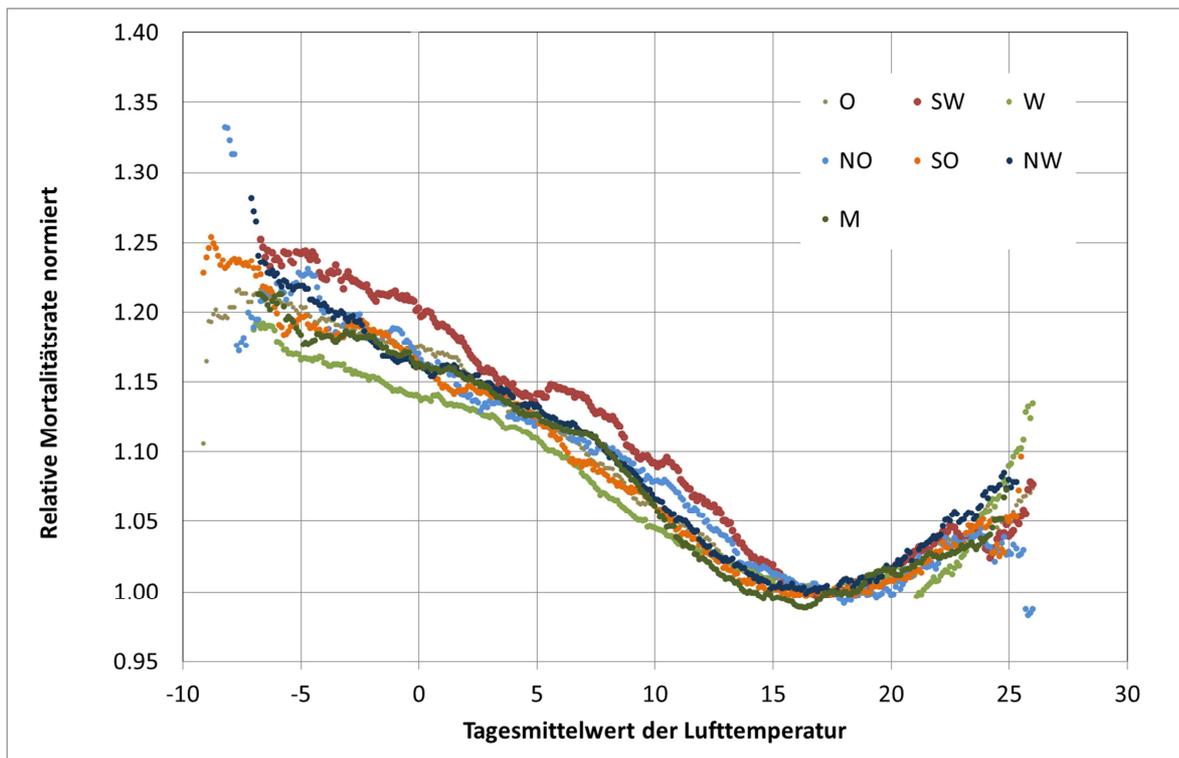


Tabelle 8: Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen.

	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt (R ²)	I20-I22 (R ²)	I24-I25 (R ²)	Gesamt (R ²)	I20-I22 (R ²)	I24-I25 (R ²)
SW	17,9 (0,90)	18,4 (0,86)	18,5 (0,78)	16,2 (0,91)	17,2 (0,95)	16,9 (0,92)
SO	16,6 (0,73)	19,8 (0,79)	17,5 (0,88)	16,2 (0,94)	17,8 (0,91)	15,9 (0,88)
M	16,5 (0,79)	20,1 (0,76)	16,6 (0,80)	16,4 (0,94)	19,8 (0,92)	16,1 (0,93)
W	18,7 (0,87)	21,9 (0,76)	17,7 (0,90)	16,8 (0,95)	17,3 (0,91)	16,3 (0,93)
NW	17,1 (0,90)	19,4 (0,74)	18,4 (0,73)	16,9 (0,95)	19,0 (0,95)	16,6 (0,78)
NO	17,9 (0,96)	22,2 (0,80)	17,7 (0,95)	17,3 (0,91)	20,5 (0,67)	17,4 (0,90)
O	18,0 (0,86)	22,0 (0,61)	20,3 (0,90)	17,9 (0,95)	18,4 (0,96)	17,1 (0,90)

Tabelle 9: wie Tabelle 8, nur für die Gefühlte Temperatur

	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt (R ²)	I20-I22 (R ²)	I24-I25 (R ²)	Gesamt (R ²)	I20-I22 (R ²)	I24-I25 (R ²)
SW	16,3 (0,76)	17,2 (0,79)	16,3 (0,68)	15,8 (0,93)	17,1 (0,96)	12,7 (0,80)
SO	16,5 (0,79)	22,3 (0,64)	15,8 (0,83)	14,4 (0,93)	20,5 (0,90)	14,0 (0,87)
M	13,7 (0,77)	16,3 (0,52)	13,1 (0,82)	13,6 (0,91)	16,1 (0,93)	12,6 (0,90)
W	14,6 (0,79)	19,2 (0,82)	14,2 (0,82)	14,2 (0,95)	16,6 (0,87)	14,1 (0,93)
NW	14,7 (0,93)	19,0 (0,61)	15,5 (0,88)	14,0 (0,95)	14,9 (0,91)	18,4 (0,87)
NO	15,5 (0,89)	18,0 (0,82)*	14,9 (0,90)	15,1 (0,91)	20,6 (0,59)*	14,8 (0,90)
O	15,4 (0,87)	20,6 (0,77)	26,8 (0,88)	13,9 (0,95)	16,3 (0,91)	13,4 (0,89)

Tabelle 10: wie Tabelle 8, nur für den Humidex

	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt (R ²)	I20-I22 (R ²)	I24-I25 (R ²)	Gesamt (R ²)	I20-I22 (R ²)	I24-I25 (R ²)
SW	20,9 (0,90)	22,2 (0,89)	18,3 (0,83)	19,7 (0,91)	21,4 (0,95)	17,2 (0,89)
SO	22,1 (0,93)	24,5 (0,83)	20,1 (0,88)	19,7 (0,94)	18,9 (0,91)	18,4 (0,90)
M	20,0 (0,82)	23,5 (0,57)	17,7 (0,77)	17,4 (0,94)	21,6 (0,91)	15,4 (0,93)
W	21,5 (0,85)	24,2 (0,84)	19,5 (0,81)	18,2 (0,95)	23,1 (0,92)	17,7 (0,93)
NW	19,3 (0,86)	26,1 (0,83)	22,3 (0,86)	19,1 (0,95)	24,0 (0,95)	22,2 (0,86)
NO	20,4 (0,93)	21,8 (0,86)	22,0 (0,89)	20,2 (0,91)	22,6 (0,66)*	20,2 (0,90)
O	21,8 (0,93)	23,6 (0,82)	21,1 (0,91)	20,5 (0,96)	21,1 (0,95)	20,6 (0,92)

*der höhere untere Schwellenwert hängt damit zusammen, dass nicht für alle Gebiete einer Region ein oberer Schwellenwert bestimmt werden konnte, da es in diesen Gebieten nicht zu einem Mortalitätsanstieg bei Werten über dem thermischen Optimum gekommen ist.

Tabelle 11: Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen.

	Steigung oberhalb T_{opt}			Steigung unterhalb T_{opt}		
	Gesamt	Frauen	Männer	Gesamt	Frauen	Männer
SW	0,005	0,007	0,003	-0,003	-0,004	-0,004
SO	0,004	0,012	0,012	-0,004	-0,004	-0,005
M	0,004	0,007	0,006	-0,005	-0,005	-0,005
W	0,012	0,014	0,019	-0,004	-0,005	-0,005
NW	0,006	0,009	0,004	-0,005	-0,006	-0,005
NO	0,010	0,019	0,007	-0,004	-0,005	-0,004
O	0,007	0,015	0,007	-0,007	-0,007	-0,007

Tabelle 12: wie Tabelle 11, nur für die Gefühlte Temperatur

	Steigung oberhalb GT_{opt}			Steigung unterhalb GT_{opt}		
	Gesamt	Frauen	Männer	Gesamt	Frauen	Männer
SW	0,004	0,006	0,003	-0,003	-0,003	-0,004
SO	0,004	0,009	0,006	-0,004	-0,004	-0,004
M	0,004	0,003	0,017	-0,004	-0,004	-0,004
W	0,006	0,009	0,012	-0,004	-0,004	-0,004
NW	0,005	0,009	0,006	-0,005	-0,005	-0,004
NO	0,009	0,011	0,008	-0,004	-0,004	-0,003
O	0,007	0,010	0,006	-0,006	-0,006	-0,006

Tabelle 13: wie Tabelle 11, nur für den Humidex

	Steigung oberhalb $Humi_{opt}$			Steigung unterhalb $Humi_{opt}$		
	Gesamt	Frauen	Männer	Gesamt	Frauen	Männer
SW	0,005	0,006	0,003	-0,003	-0,003	-0,004
SO	0,008	0,012	0,010	-0,003	-0,003	-0,004
M	0,006	0,011	0,006	-0,004	-0,003	-0,004
W	0,010	0,010	0,026	-0,003	-0,004	-0,004
NW	0,004	0,006	0,003	-0,004	-0,004	-0,004
NO	0,009	0,008	0,015	-0,004	-0,004	-0,003
O	0,009	0,012	0,006	-0,006	-0,006	-0,006

Tabelle 14: Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010 nach Regionen.

	Steigung oberhalb T_{opt}			Steigung unterhalb T_{opt}		
	I20-I25	I20-I22	I24-I25	I20-I25	I20-I22	I24-I25
SW	0,005	0,002	0,004	-0,003	-0,002	-0,002
SO	0,004	0,006	0,006	-0,004	-0,002	-0,003
M	0,004	0,002	0,004	-0,005	-0,002	-0,005
W	0,012	0,008	0,005	-0,004	-0,002	-0,003
NW	0,006	0,006	0,004	-0,005	-0,003	-0,002
NO	0,010	0,007	0,007	-0,004	-0,001	-0,003
O	0,007	0,004	0,015	-0,007	-0,003	-0,004

Tabelle 15: wie Tabelle 14, nur für die Gefühlte Temperatur

	Steigung oberhalb GT_{opt}			Steigung unterhalb GT_{opt}		
	I20-I25	I20-I22	I24-I25	I20-I25	I20-I22	I24-I25
SW	0,004	0,002	0,003	-0,003	-0,002	-0,002
SO	0,004	0,006	0,004	-0,004	-0,002	-0,002
M	0,004	0,001	0,003	-0,004	-0,002	-0,004
W	0,006	0,006	0,003	-0,004	-0,002	-0,002
NW	0,005	0,006	0,004	-0,005	-0,002	-0,002
NO	0,009	0,006	0,006	-0,004	-0,001	-0,002
O	0,007	0,015	0,006	-0,006	-0,003	-0,003

Tabelle 16: wie Tabelle 14, nur für den Humidex

	Steigung oberhalb $Humi_{opt}$			Steigung unterhalb $Humi_{opt}$		
	I20-I25	I20-I22	I24-I25	I20-I25	I20-I22	I24-I25
SW	0,005	0,003	0,003	-0,003	-0,002	-0,002
SO	0,008	0,004	0,005	-0,003	-0,002	-0,002
M	0,006	0,001	0,003	-0,004	-0,002	-0,003
W	0,010	0,005	0,004	-0,003	-0,002	-0,002
NW	0,004	0,010	0,004	-0,004	-0,002	-0,002
NO	0,009	0,004	0,007	-0,004	-0,001	-0,002
O	0,009	0,007	0,006	-0,006	-0,003	-0,003

Generell ergeben sich nur relativ geringe Unterschiede zwischen der Bewertung der thermischen Umwelt mit der mittleren Lufttemperatur, der Gefühlten Temperatur oder dem Humidex für die Auswirkungen auf die Sterblichkeit aufgrund ischämischer Herzkrankheiten. Da die mittlere Lufttemperatur bei der Modellierung der Beziehung zur IHK bedingten Sterblichkeit i. d. R. einen leicht höheren Erklärungsanteil aufweist, als die anderen beiden thermischen Indizes, werden die folgenden Analysen lediglich für die mittlere Lufttemperatur dargestellt. Die Verwendung der mittleren Lufttemperatur hat zudem den Vorteil, dass sie bei Übertragung der Zusammenhänge auf Daten aus den Klimaprojektionen weniger Unsicherheiten aufweist als die abgeleiteten Indizes.

Da unklar ist, welcher Anteil der Mortalität im Winter wirklich thermisch bedingt ist und wie die Auswirkungen witterungsunabhängiger Faktoren (z. B. weniger Bewegung, Vitamin-D-Mangel, Infektionskrankheiten) auf die Sterblichkeit im Winter sind, wurde neben der Analyse des Zusammenhangs zwischen thermischer Umwelt und trendbereinigten Mortalitätsraten auch der Zusammenhang mit trend- und jahresgangbereinigten Mortalitätsraten untersucht. Für diese Analysen wurde das Relative Risiko der Mortalität verwendet.

Ein Relatives Risiko von 1 bedeutet, dass genau so viele Menschen wie für die Jahreszeit üblich gestorben sind. Für die ischämischen Herzkrankheiten insgesamt (I20-I25) liegt das Relative Risiko bei Temperaturen unter 15°C bei 1 oder darunter. Bei einer Tagesmitteltemperatur von 25°C liegt das Relative Risiko bei über 1,1. Das bedeutet, dass an Tagen mit einer Mitteltemperatur von 25°C gut 10 % mehr Menschen an ischämischen Herzkrankheiten sterben, als zu erwarten gewesen wären. Auch für die Ursachen I20-I22 und I24-I25, Frauen sowie Männer steigt das Relative Risiko über 15°C Tagesmitteltemperatur deutlich an. Auffallend ist, dass für die Ursachen I24-I25 und für die Frauen, das Relative Risiko ab etwa 20°C Tagesmitteltemperatur deutlich schneller steigt als für Männer und die Ursachen I20-I22. So liegt zum Beispiel bei 25°C das Relative Risiko für die Ursachen I24-I25 bei 1,15 und für die Ursachen I20-I22 bei rund 1,1 (Abb. 7, Anhang Abb. 16, wie Abb. 7 nur für GT).

An Tagen mit sehr geringen Tagesmittelwerten der Lufttemperatur steigt das Relative Risiko lediglich für die Ursachen I20 bis I22 deutlich über 1. Die anderen Datensätze zeigen keine Kältesensitivität.

Es gibt auch leichte regionale Unterschiede. In der Region Südwest (Baden-Württemberg) ist das Relative Risiko erst ab Tagesmitteltemperaturen über 17°C erhöht. In den meisten anderen Regionen ist dies ab etwa 15°C, in der Region Mitte bereits ab etwa 13°C der Fall (Abb. 8).

Abbildung 7: Mittelwerte des relativen Risikos der Mortalität für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur für alle Regionen in Deutschland gemittelt. Zeitraum 2001-2010.

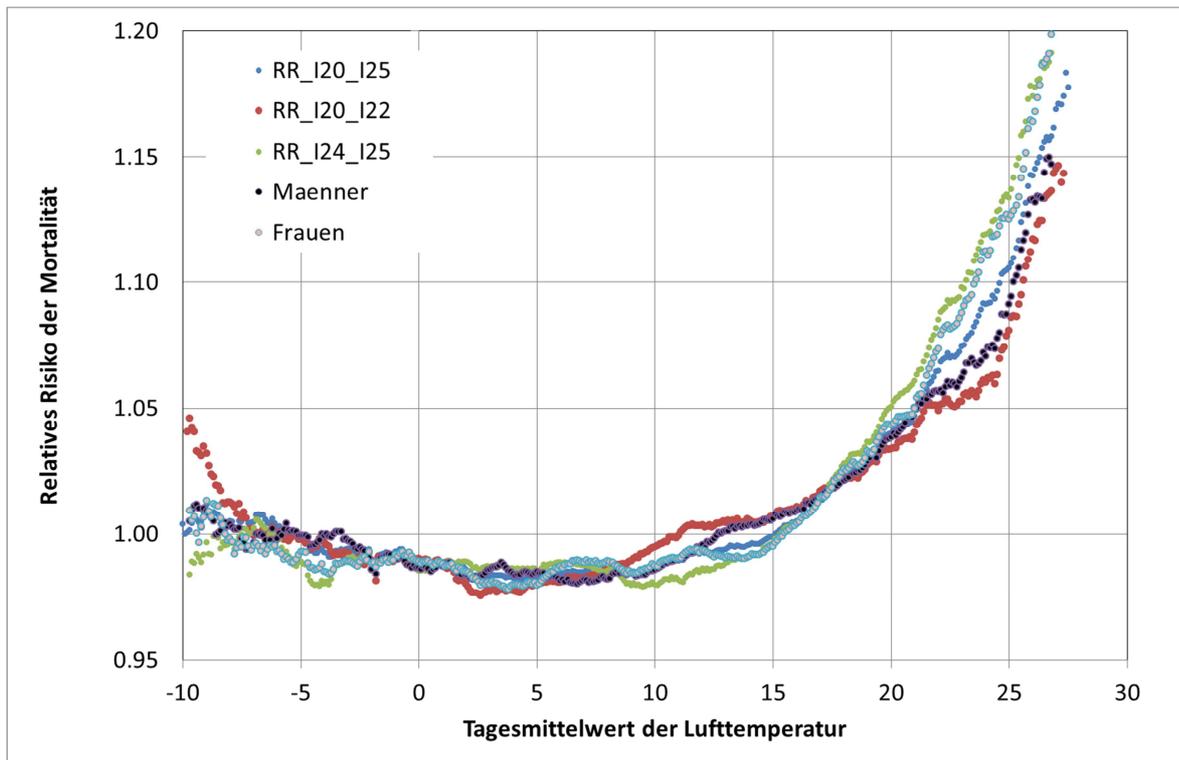
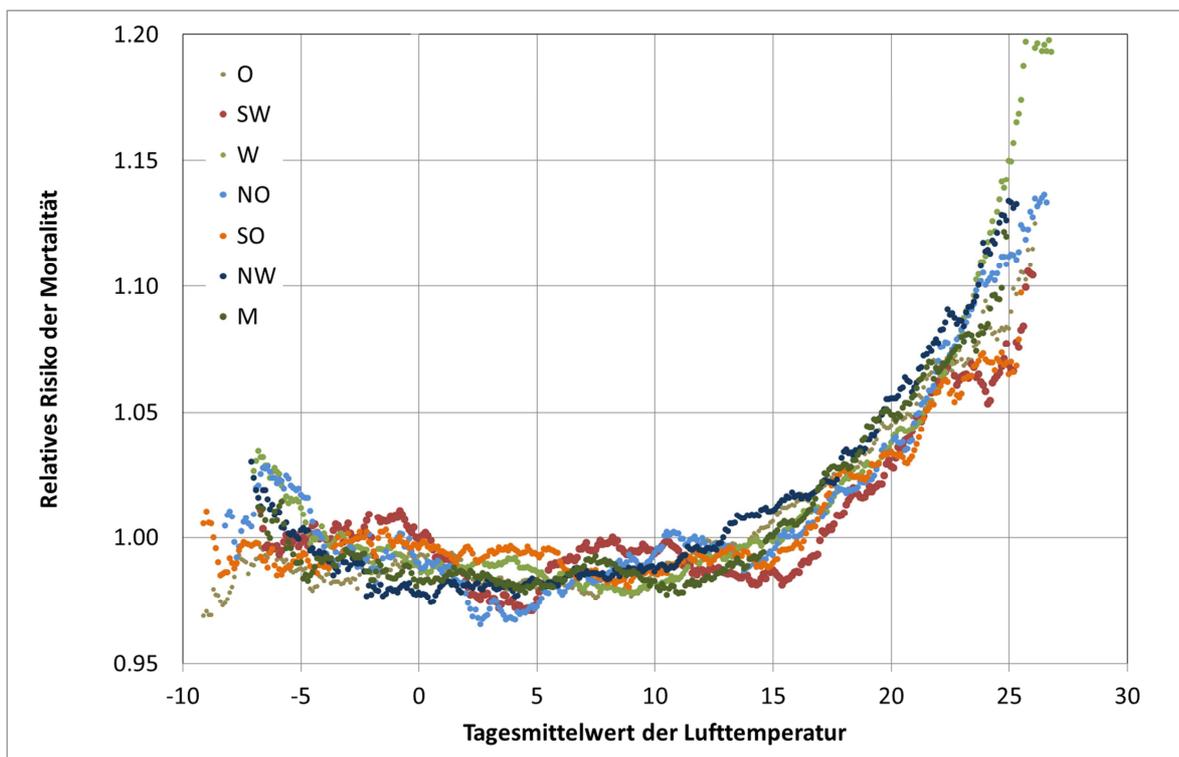


Abbildung 8: Mittelwerte des relativen Risikos der Mortalität für 3°C-Intervalle des Tagesmittelwertes der Lufttemperatur für 7 Regionen in Deutschland. Ursachen I20-I25. Zeitraum 2001-2010.

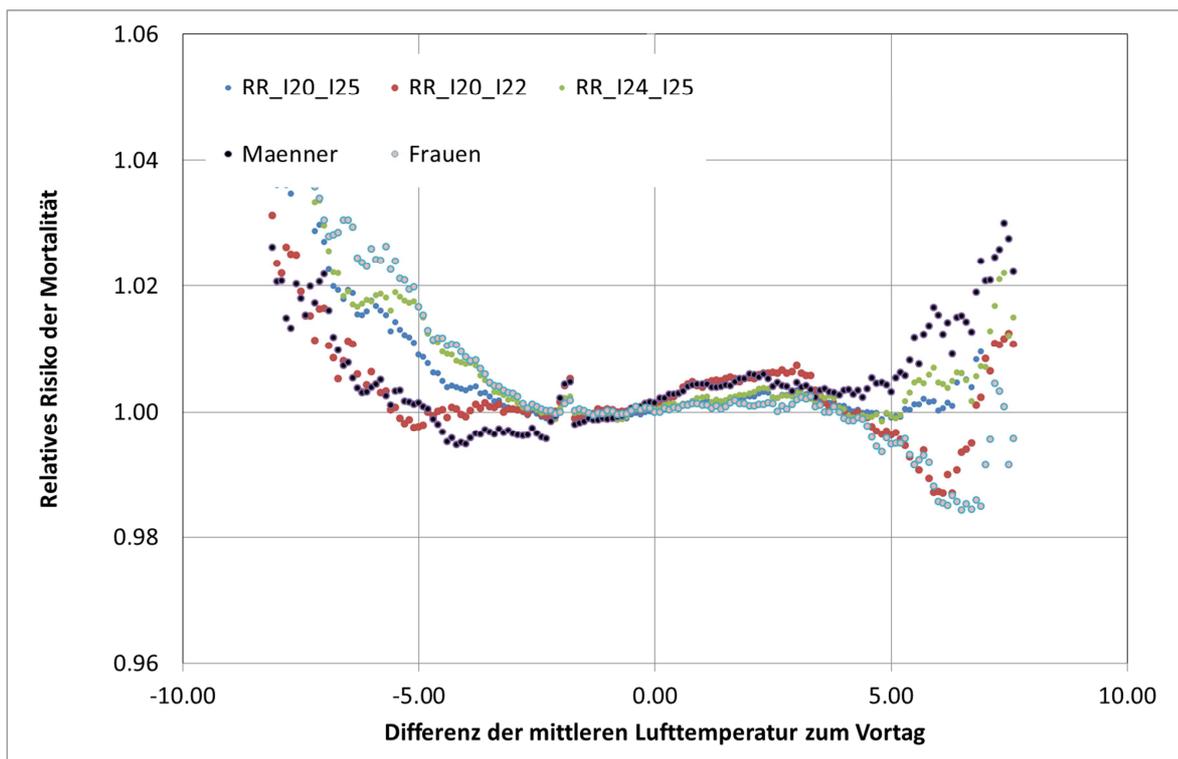


Neben den absoluten Werten der Lufttemperatur wird in der Literatur auch diskutiert inwiefern sich Temperaturänderungen im Vergleich zum Vortag auf die Häufigkeit von ischämischen Herzkrankheiten auswirken. Aus Abbildung 9 geht hervor, dass im Mittel über alle Regionen Temperaturänderungen von $\pm 3^{\circ}\text{C}$ keinen wesentlichen Einfluss auf das Relative Risiko haben. Bei der Sterblichkeit aufgrund aller ischämischer Herzkrankheiten I20–I25, der Ursachen I24-I25 und bei den Frauen ist ein Anstieg des Relativen Risikos bei Temperaturrückgängen von 3°C oder mehr zu beobachten. Bei den Ursachen I20-I22 und bei den Männern ist eine Erhöhung des Relativen Risikos erst ab einem Rückgang der Tagesmitteltemperatur von 5°C zu erkennen.

Einen negativen Einfluss von Temperaturanstiegen über 5°C ergibt sich bei den Männern und in abgeschwächter Form für die Ursachen I24-I25. Generell ist der Einfluss von Temperaturanstiegen weniger eindeutig als der von Temperaturrückgängen.

Im Vergleich zum Einfluss der absoluten Temperaturwerte auf das Relative Risiko, ist der Einfluss von Temperaturänderungen gering. So erhöht ein Temperaturrückgang um 7°C das Relative Risiko der Sterblichkeit der Ursachen I20-I25 um lediglich 2 %. Tagesmitteltemperaturen von 20°C sind hingegen mit einer Risikoerhöhung um rund 4 % verbunden und Tagesmitteltemperaturen von 25°C mit gut 10 % (Abb. 7).

Abbildung 9: Mittelwerte des relativen Risikos der Mortalität (I20-I25) für 3°C -Intervalle der Temperaturdifferenz zum Vortag im Mittel über Regionen in Deutschland. Zeitraum 2001-2010.



5.1.2 Regressionsanalysen

Die Analysen des Zusammenhangs zwischen meteorologischen Parametern und der Abweichung der Mortalitätsrate vom Erwartungswert mit GLMs ergaben nur geringe Erklärungsanteile der Modelle.

Für die Ursachen I20-I25 (beide Geschlechter) lag der Erklärungsanteil der GLMs für den kompletten Datensatz bei 0,8-5 % (Anhang, Tab. 22). Dabei ist der Parameter mit dem größten Einfluss der Humidex, welcher positiv mit der Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert korreliert ist. Der Humidex erklärte je nach Region 17-42 % der Gesamtvarianz des Modells. Der zweiteinflussreichste Parameter ist die Taupunkttemperatur, die negativ mit der Sterblichkeit korreliert ist. Diese erklärte 1135 % der Modellvarianz. Die Taupunkttemperatur ist ein Maß für die absolute Luftfeuchtigkeit. Je höher die Taupunkttemperatur, desto feuchter ist die Luft. In vielen Regionen hat auch der Luftdruck (negative Korrelation, 0-14% relativer Erklärungsanteil) und die relative Luftfeuchte (positive Korrelation, 0-18% relativer Erklärungsanteil) einen Einfluss.

Wurden nur die kalten Tage (Minimum der Gefühlten Temperatur $\leq 0^{\circ}\text{C}$) betrachtet (leichter Kältestress), so war der Erklärungsanteil der GLMs noch etwas geringer als für den kompletten Datensatz (0,6-3,9 %). Als wichtigste meteorologische Einflussfaktoren wurden für kalte Bedingungen der Luftdruck (negative Korrelation, zwischen 5% und 50% Erklärungsanteil) und die Änderung der Lufttemperatur zum gewichteten Mittelwert der 7 Vortage (positive Korrelation, 0-35 % Erklärungsanteil) identifiziert (Anhang, Tab. 23).

Bei alleiniger Betrachtung des Einflusses meteorologischer Parameter auf die IHK bedingte Sterblichkeit an warmen Tagen mit einer Gefühlten Temperatur von mindestens 20°C (leichte Wärmebelastung) spielen wieder meteorologische Parameter, die das thermische Milieu charakterisieren, eine wichtige Rolle. Hier haben der Humidex (positive Korrelation, 0-54 % Erklärungsanteil) und die Temperaturänderung zum Vortag (negative Korrelation, 0-33 % Erklärungsanteil) den größten Einfluss. Generell liegt der Erklärungsanteil der Modelle mit 1,5-10,7 % bei warmen Bedingungen etwas höher als bei kalten oder für den gesamten Datensatz (Anhang, Tab. 24).

Noch etwas höher ist der Erklärungsanteil der GLMs, die nur Tage mit starker Wärmebelastung (Gefühlte Temperatur $\geq 26^{\circ}\text{C}$) einbeziehen (Anhang, Tab. 25). Dieser liegt zwischen 2 % und 15,4 %. Bei diesen Modellen spielt die Temperaturänderung zum Vortag in der Regel die wichtigste Rolle (negative Korrelation, 0-52 % Erklärungsanteil).

Die Erklärungsanteile der GLMs für die Ursachen I20-I22 sind in der Regel noch etwas geringer als die für alle ischämischen Herzkrankheiten (nicht dargestellt). Analog zu den Ursachen I20 bis I25 sind bei den Ursachen I20-I22 der Humidex mit einer positiven Korrelation und die Taupunkttemperatur mit einer negativen Korrelation die meteorologischen Parameter mit dem höchsten Erklärungsanteil an den Modellen. Allerdings liegt der Gesamterklärungsanteil meist unter 2 % (0,6-2,1 %). Auch unter kalten, warmen und heißen Bedingungen unterscheiden sich die meteorologischen Parameter, die die größten Erklärungsanteile an den Modellen haben nicht wesentlich von denen für die Ursachen I20-I25.

Auch bei Betrachtung der GLMs für die Ursachen I24-I25 ergeben sich keine systematischen Unterschiede zu den Modellen für alle Ursachen ischämischer Herzkrankheiten. Dies gilt auch für die Einzelbetrachtung der Frauen (beides nicht dargestellt).

Bei den Männern ist das Bestimmtheitsmaß für die GLMs mit Ausnahme von kalten Bedingungen in der Regel etwas geringer als für den Gesamtdatensatz und die Frauen (nicht dargestellt). Unter kalten Bedingungen scheinen bei den Männern auch innertägliche Temperaturschwankungen (positive Korrelation) neben dem Luftdruck eine gewisse Rolle zu spielen. An warmen Tagen ($\text{GT} \geq 20^{\circ}\text{C}$) sind in vielen Modellen der Tagesmittelwert und das Tagesminimum der Lufttemperatur positiv mit den

Sterbefallzahlen korreliert. Auch an Tagen mit einer Gefühlten Temperatur über 26°C spielt bei den Männern der Tagesmittelwert der Lufttemperatur eine wesentliche Rolle.

Zusammenfassend lässt sich zu den Analysen mittels GLM sagen, dass der Erklärungsanteil der Modelle für die komplette Temperaturspanne mit meist unter 4 % gering ist. Werden nur Tage mit mindestens leichter oder mäßiger Wärmebelastung betrachtet, dann erhöht sich der Erklärungsanteil auf bis zu 17 % für die Frauen. Abgesehen von Tagen mit leichtem Kältestress ($GT \leq 0^\circ\text{C}$) haben hauptsächlich meteorologische Parameter, die dem thermischen Bereich zuzuordnen sind (z. B.: Humidex, Temperaturänderung zum Vortag, Taupunkttemperatur, Tagesmitteltemperatur) einen großen Einfluss auf den Erklärungsanteil der Modelle. Diese sind meist positiv (Ausnahme Temperaturänderung zum Vortag und Taupunkttemperatur) mit der Mortalität korreliert. An Tagen mit leichtem Kältestress spielt in den meisten Modellen der Luftdruck, welcher in der Regel negativ mit der Sterblichkeit korreliert ist, eine Rolle.

5.1.3 Jahreszeitliche Unterschiede

Die Beziehung zwischen der Lufttemperatur und der Sterblichkeitsrate aufgrund ischämischer Herzkrankheiten (I20-I25) unterliegt in allen untersuchten Regionen jahreszeitlichen Schwankungen. In Tabelle 17 sind die Steigungen der linearen Regressionsbeziehung zwischen den 3°C Intervallen der Lufttemperatur und den trendbereinigten 10-Jahresmittelwert der Mortalitätsrate aufgelistet. Da im Sommer und in den Übergangsjahreszeiten die vorkommenden Temperaturen oft das Temperaturoptimum überspannt haben, wurde in diesen Fällen die Steigung im Sommer oberhalb des Temperaturoptimums und in den Übergangsjahreszeiten unterhalb des Temperaturoptimums berechnet.

Im Winter und in den Übergangsjahreszeiten bei Temperaturen unterhalb des Temperaturoptimums steigt die Mortalitätsrate mit fallenden Temperaturen an. Dieser Anstieg liegt im Winter im Mittel bei 0,4 % pro Grad Temperaturrückgang und in den Übergangsjahreszeiten bei rund 0,7 %. Dabei ist der Unterschied zwischen Winter und Frühling bzw. Herbst signifikant ($\alpha < 0,05$). Im Sommer steigt die Sterblichkeitsrate im Mittel um 1,2 % je Grad Temperaturanstieg.

Die Unterschiede zwischen den Regionen sind jedoch groß. Im Anhang (Abb. 17-20) sind Beispiele für Regionen mit starker und schwacher Temperaturabhängigkeit der Sterblichkeit mit den Ursachen I20-I25 aufgeführt.

Tabelle 17: Steigung der Regressionsgeraden zwischen den 3°C-Intervallen der Lufttemperatur und den mittleren Sterbefallzahlen innerhalb dieser Intervalle mit den Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010. Die Steigungen sind auf den Mittelwert der Mortalitätsrate im Untersuchungszeitraum in den jeweiligen Regionen normiert worden.

Region	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
R019	-0,011#	-0,0078###	0,0103*#	-0,0083###
R039	-0,0023#	-0,0078#	0,0089#	-0,0055###
R049	-0,0023##	-0,0047##	0,0117*#	-0,0091*#
R051	-0,002##	-0,006*#	0,0234*#	-0,0043*#
R053	-0,0026##	-0,003##	0,0075#	-0,0071###
R058	-0,0021##	-0,0055*###	0,0286*#	-0,0062*###
R059	-0,0028#	-0,0072*###	0,0133*#	-0,0046*#
R060	-0,0041#	-0,011*#	0,0081#	-0,0062*###

Region	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
R088	-0,0056#	-0,0087##	0,0175#	-0,0058###
R089	-0,0007#	-0,0074*#	0,0085#	-0,0095*#
R098	-0,0043#	-0,0095###	0,0034#	-0,0061##
R099	-0,0055###	-0,0075###	0,0093*#	-0,0085*##
R09M	-0,0046#	-0,007###	0,0092*#	-0,0055###
R109	-0,0021##	-0,0079*#	0,0126*#	-0,0089*###
R110	-0,0076#	-0,0061###	0,0092*#	-0,0097*#
R120	-0,0048###	-0,0092##	0,0226*#	-0,0105*###
R130	-0,0036##	-0,0098###	0,0155*#	-0,0146*###
R140	-0,0058#	-0,0073###	0,0099#	-0,0055###
R150	-0,0084#	-0,008###	0,0088*#	-0,0069*#
R160	-0,005###	-0,0047###	0,0086*#	-0,0052*###
Mittelwert	-0,0044	-0,0073	0,0123	-0,0074
Standardabweichung	0,0025	0,0019	0,0061	0,0024

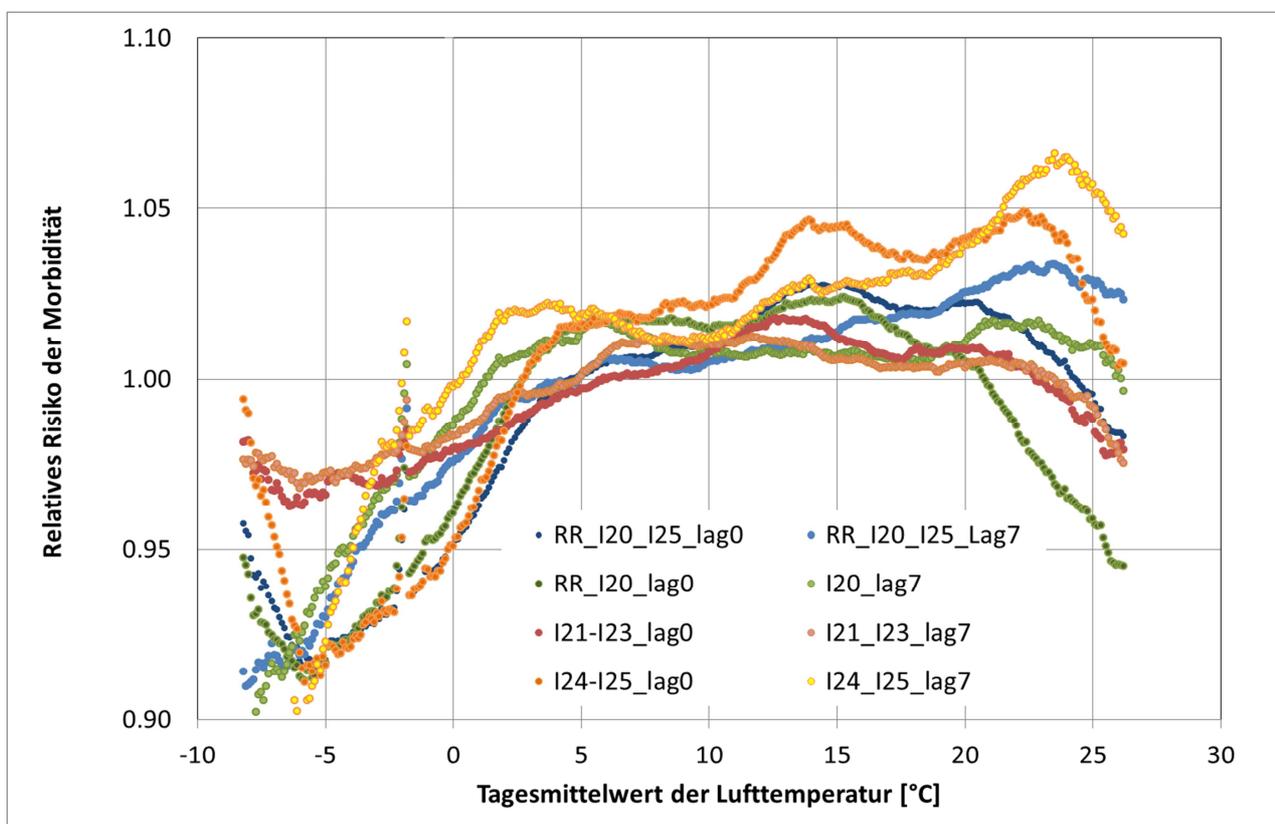
Rot unterlegt: Absolutwert der Steigung größer als Mittelwert aller Regionen + 1 Standardabweichung; Blau unterlegt: Absolutwert der Steigung kleiner als Mittelwert über alle Regionen – 1 Standardabweichung. * Steigung für Temperaturintervalle unterhalb (Frühling, Herbst) bzw. oberhalb (Sommer) des Schwellenwertes. #: lag <=3; ##: lag 4-6; ###: lag >=7. Kursiv und grau: Bestimmtheitsmaß < 0,8.

Auch die zeitliche Verschiebung (lag) zwischen dem Auftreten der Temperatur und der stärksten Auswirkung auf die Mortalitätsrate ist für die Jahreszeiten unterschiedlich. Während sich im Sommer Temperaturen über dem Schwellenwert meist mit einer sehr geringen zeitlichen Verzögerung auf einen Anstieg der Mortalitätsrate auswirken, beträgt das lag in den Übergangsjahreszeiten für Temperaturen unterhalb des thermischen Optimalbereichs häufig mehrere Tage. Allerdings sind hier die Ergebnisse auch nicht ganz einheitlich, so dass es auch einige Regionen mit einer sehr kurzen zeitlichen Verschiebung gibt.

5.2 Zusammenhang zwischen Temperatur und Morbiditätsrate

Die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Temperatur (bzw. GT und Humidex) und Morbidität erfolgt über das relative Risiko. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und den Krankenhauseinlieferungen mit den Diagnosen I20-I25 ist weniger deutlich als bei den Sterbefällen. Im Mittel über alle Regionen lässt sich eine Zunahme des relativen Risikos ab Temperaturen von etwa -5°C (Intervallmittelwert) erkennen (Abb. 10). Ab 20°C geht es – je nach betrachteter zeitlicher Verschiebung - wieder leicht zurück. Zwischen 5°C und knapp 25°C ist das relative Risiko dann größer 1. Das bedeutet, dass mehr Menschen als erwartet ins Krankenhaus eingeliefert wurden. Bei Betrachtung einer zeitlichen Verschiebung zwischen Temperatur und Morbidität von 7 Tagen bleibt das relative Risiko im Mittel über alle Regionen auch bei Temperaturen über 25°C erhöht.

Abbildung 10: Mittelwerte des relativen Risikos der Morbidität aufgegliedert nach einzelnen Ursachen für 3°C-Intervalle der Tagesmitteltemperatur im Mittel über Regionen in Deutschland für zeitliche Verschiebungen von 0 und 7 Tagen. Zeitraum 2001-2010.

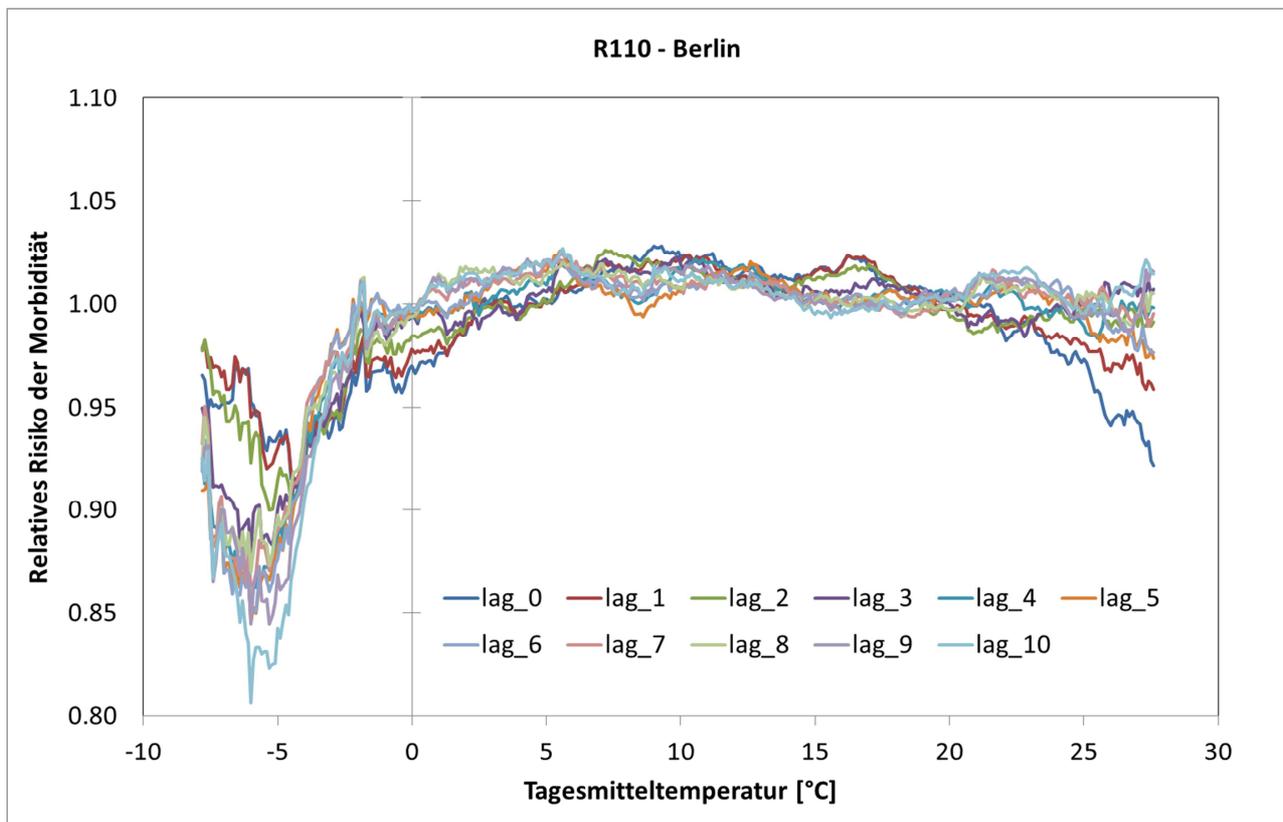


Auf der kalten Seite ist ein Anstieg des relativen Risikos ohne Berücksichtigung einer zeitlichen Verschiebung bei Temperaturen unter -6°C zu erkennen. Allerdings bleibt das relative Risiko im gesamten negativen Temperaturbereich unter 1 und ist damit geringer als der Erwartungswert.

Für die Ursachen I21-I23 (Myokardinfarkt, Reinfarkt, Komplikationen nach Infarkt) unterscheiden sich die Kurvenverläufe für lag 0 und lag 7 kaum. Bei I24-I25 (v. a. chronische ischämische Herzkrankheit) ist das relative Risiko für Krankenhauseinlieferungen an Tagen mit Tagesmitteltemperaturen über 10°C (lag 0) meist etwas höher als für die anderen Ursachen.

Wie am Beispiel von Berlin in Abbildung 11 gezeigt, geht das relative Risiko vor allem für die kurzen lags (0 und 1 Tag) ab 20°C wieder zurück. Die restlichen lags unterscheiden sich auf der warmen Seite nicht allzu stark voneinander.

Abbildung 11: Mittelwerte des relativen Risikos der Morbidität für 3°C-Intervalle der Tagesmitteltemperatur für Berlin für zeitliche Verschiebungen von 0 bis 10 Tagen. Zeitraum 2001-2010.



Generell sind die gefundenen Zusammenhänge zwischen dem Tagesmittelwert der Lufttemperatur und der Morbidität weniger gut interpretierbar als die Zusammenhänge mit der Mortalität. Ein Grund hierfür könnte der stark ausgeprägte Wochengang sein, welcher vermutlich nicht aufgrund witterungsbedingter Ursachen zustande kommt und alle anderen Effekte überlagert. Es wurde daher auf weitere Analysen der Krankenauseinlieferungsdaten vorerst verzichtet.

5.3 Untersuchung des Einflusses von Hitzewellen auf ischämische Herzerkrankungen

5.3.1 Vorgehensweise

Während Hitzewellen kommt es zu einem Anstieg der Gesamtmortalität. Ziel dieser Untersuchung war es, zu testen, ob auch die Mortalität aufgrund ischämischer Herzkrankheiten an besonders heißen Tagen erhöht ist.

Da es keine feste Definition von Hitzewellen gibt, wurde in Anlehnung zur Studie von Kysely et al. (2011) folgende Definition verwendet (wobei die exakte Perzentilbestimmung sowie die Mindestdauer von Hitzewellen etwas abgeändert wurde):

- Mindestens drei aufeinanderfolgende Tage mit einer Temperatur größer dem 95ten-Perzentil (verwendete Größe: jeweils Tagesmitteltemperatur).
- Es werden für alle verwendeten 20 Regionen in Deutschland jeweils lokale Perzentile der Temperatur verwendet

Bei der Mortalität wurden die Abweichungen der Mortalitätsraten vom Erwartungswert (Jahresgang) in Relation zum Erwartungswert gesetzt. Dies entspricht dem Relativen Risiko mit der Ausnahme, dass beim Relativen Risiko noch 1 addiert wird, um keine negativen Risiken zu erhalten. Bei den Morbiditätsraten wurde zusätzlich noch der Wochengang entfernt.

Die Hitzewellen wurden für den Zeitraum 2001-2010 bestimmt und die prozentuale Abweichung der Mortalität vom Erwartungswert wurde jeweils über alle 20 Regionen gemittelt.

5.3.2 Ergebnisse

Im Mittel gab es 2,4 Ereignisse pro Jahr, auf die die Hitzewellendefinition zugetroffen hat. Das 95te Perzentil der Tagesmitteltemperatur liegt im Deutschlandmittel bei 21,3°C, an den Hitzewellentagen lag die Tagesmitteltemperatur im Mittel bei 23,5°C. Die durchschnittliche Hitzewelle dauerte 5,3 Tage an.

An Tagen mit Hitzewellen ist die Mortalität signifikant gegenüber den Nicht-Hitzewellentagen erhöht (Abb. 12). Im Folgenden wird die prozentuale Erhöhung der Mortalitätsrate während Hitzewellen im Einzelnen angegeben (Tab. 18).

Tabelle 18: Prozentuale Veränderung der Mortalität ischämischer Herzkrankheiten (Subtypen, Geschlecht) während Hitzewellen

ICD Code	Mortalität
I20-I25	+10,5 %
I20-I25, Männer	+8,1 %
I20-I25, Frauen	+12,2 %
I20-I22	+8,2 %
I24-I25	+12,5 %

Abbildung 12: Prozentuale Veränderung der Mortalität während Hitzewellen im Zeitraum 2001-2010, Tag0 entspricht dem ersten Tag der Hitzewelle. M: Männer, F: Frauen.

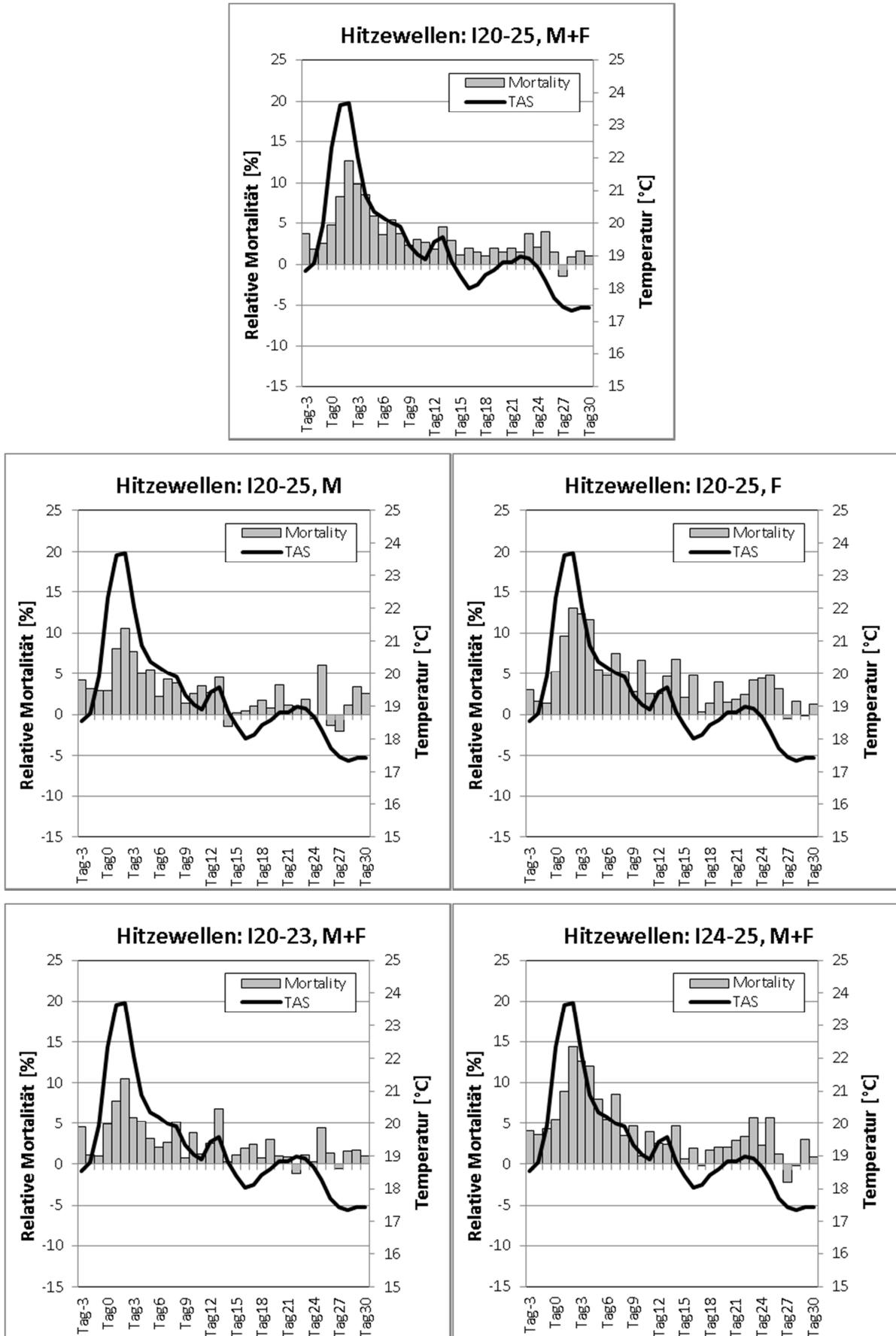
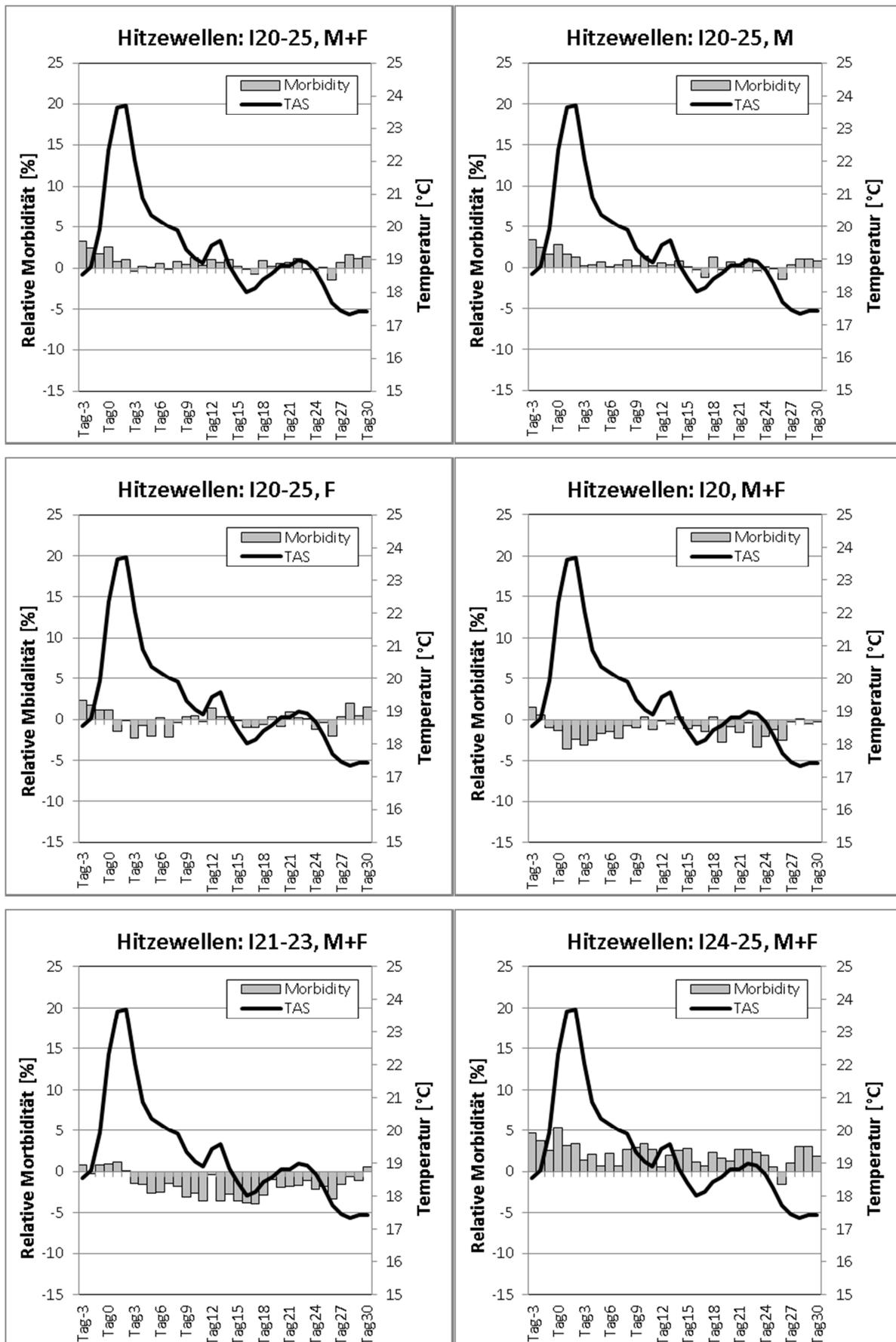


Abbildung 13: Prozentuale Veränderung der Morbidität während Hitzewellen im Zeitraum 2001-2010, Tag0 entspricht dem ersten Tag der Hitzewelle. M: Männer, F: Frauen.



Zentrales Ergebnis der Untersuchung ist, dass während einer Hitzewelle das Risiko, an einer ischämischen Herzkrankheit zu sterben, um ca. 10 % erhöht ist. Dabei sind Frauen signifikant stärker betroffen als Männer (12 % vs. 8 %). Des Weiteren kann gezeigt werden, dass Hitzewellen einen stärkeren Einfluss auf sonstige akute und auf chronische ischämische Herzkrankheiten (I24-I25) als auf Angina Pectoris und Herzinfarkte ausüben (I20-I22). Auch dieser Unterschied ist signifikant.

Im Gegensatz zur Mortalität ist bei der Morbidität kein Anstieg während Hitzewellen zu sehen. Dies ist sowohl am zeitlichen Verlauf der Morbidität während Hitzewellen (Abb. 13) als auch an den tabellarischen Werten der prozentualen Veränderung der Morbiditätsrate während Hitzewellen erkennbar (Tab. 19).

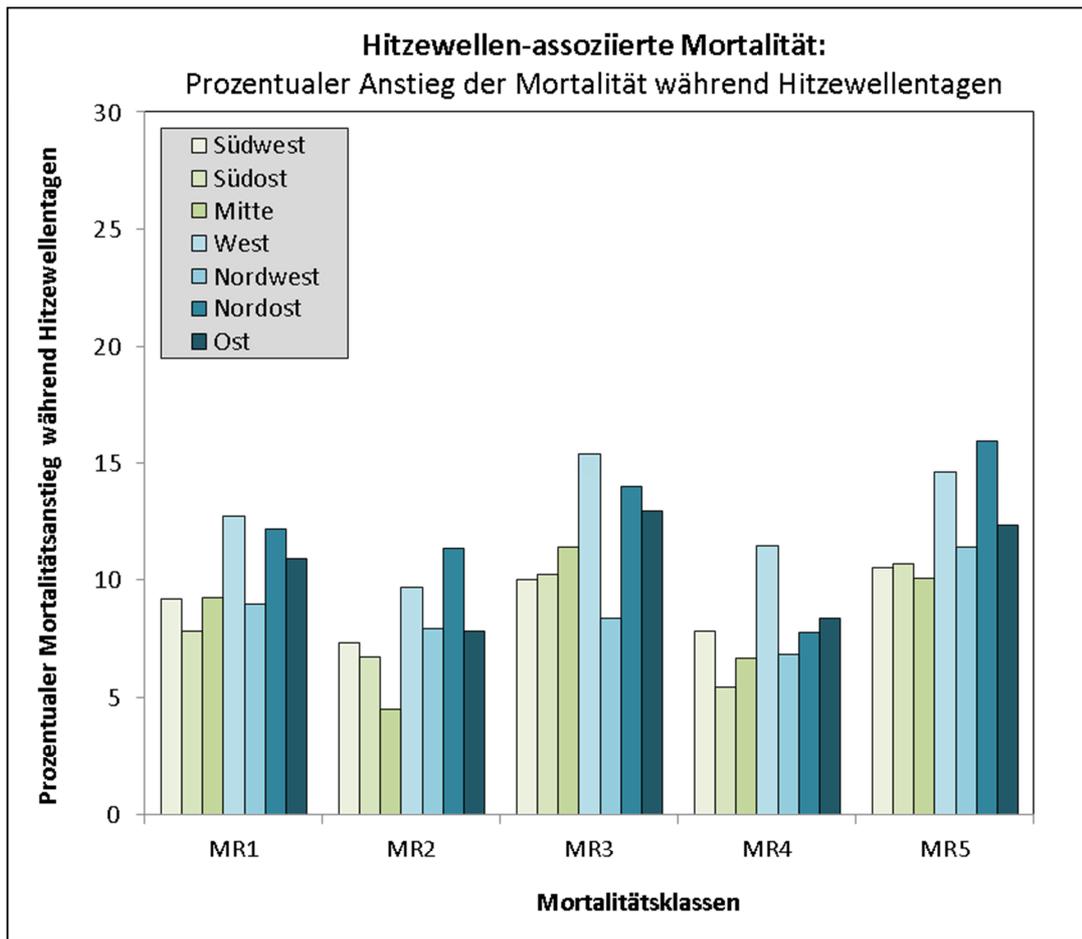
Tabelle 19: Prozentuale Veränderung der Morbidität ischämischer Herzkrankheiten (Subtypen, Geschlecht) während Hitzewellen.

ICD Code	Morbidität
I20-I25	-0,3 %
I20-I25, Männer	+0,1 %
I20-I25, Frauen	-2,1 %
I20	-3,8 %
I21-I23	-1,5 %
I24-I25	+1,8 %

Mögliche Erklärungen für diese geringere Auswirkung von Hitzewellen auf die Morbidität könnten darin begründet sein, dass Beschwerden von anfälligen Personen oft nicht als bedrohlich wahrgenommen werden und daher kein Aufsuchen eines Arztes oder Krankenhauses erfolgt. Aus diesem Grund erliegen diese Patienten ihrer Erkrankung manchmal sehr schnell zu Hause, bevor sie im Krankenhaus Hilfe bekommen können. Auf diese Weise gehen sie zwar in die Mortalitätsstatistik, aber nicht als Krankenhausaufnahmen in die Morbiditätsstatistik ein.

Eine Aufgliederung nach sieben klimatischen Bereichen zeigt, dass die hitzewellen-assoziierte Mortalität in den Regionen West, Nordost und Ost tendenziell höher ausfällt als in den übrigen Regionen (Abb. 14). Hierbei ist jedoch auch zu beachten, dass für die Definition der Hitzewellen immer die lokalen Temperaturperzentile verwendet wurden, d. h. die hier präsentierte Grafik beschreibt eher die relative als die absolute Belastung durch Hitzewellen.

Abbildung 14: Prozentuale Veränderung der hitzewellen-assoziierten Mortalität für sieben klimatische Bereiche in Deutschland. M: Männer, F: Frauen



6 Diskussion

Es bestehen deutliche Differenzen in den Mortalitäts- bzw. Morbiditätsraten aufgrund von IHK zwischen den einzelnen Bundesländern. Die Unterschiede in den Mortalitätsraten werden auch von der Gesundheitsberichterstattung des Bundes gestützt (Löwel et al., 2006). Löwel et al. (2006) führen als Gründe für die regionalen Unterschiede sowohl echte Risikounterschiede als auch unterschiedliche Zuverlässigkeit der Daten der monokausalen Todesursachenstatistik auf.

Der relativ niedrige Quotient aus Mortalität und Morbidität in den Ballungsräumen Düsseldorf, Köln und Berlin könnte aus einer schnellen Versorgung von Personen mit IHK bedingten Beschwerden in dicht besiedelten Gebieten herrühren. Dies wird auch durch die Aussagen der Deutschen Herzstiftung im Deutschen Herzbericht 2013 gestützt, die neben der schlechteren ärztlichen Versorgung in vielen ländlichen Regionen noch Unterschiede in der Bevölkerungsstruktur, im sozioökonomischen Status und möglicherweise auch Unterschiede im Gesundheitsbewusstsein anführt. Ein weiterer Grund könnte auch der höhere Anteil älterer Menschen in den Regionen mit höheren Raten ischämischer Herzkrankheiten sein, eine grobe Abschätzung ergab jedoch, dass unterschiedliche Altersstrukturen nur für einen geringen Teil (im Mittel ca. 16 %) der regionalen Unterschiede der Mortalitätsrate verantwortlich sind.

Die Anzahl der Sterbefälle und Krankenhauseinlieferungen aufgrund ischämischer Herzkrankheiten weisen einen Jahresgang mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer auf. Worin dieser Jahresgang genau begründet ist, ist nach wie vor offen. Zum einen könnte die höhere Inzidenz im Winter durch kältere Temperaturen bedingt sein. Zum anderen ist es auch nicht auszuschließen, dass andere nicht-meteorologische Faktoren einen Einfluss ausüben. Um dies zu untersuchen, wurde ein Teil der Berechnung mit den jahresgang-bereinigten Daten durchgeführt.

Bei den Krankenhauseinlieferungen war zudem noch eine Wochengangsbereinigung notwendig. Der Wochengang bei den Krankenhauseinlieferungen ist deutlich stärker als der Jahresgang ausgeprägt und überprägt auch alle anderen Schwankungen. Daher ist es für die Ergebnisse der weiteren Analysen entscheidend, den Wochengang, welcher durch nicht-meteorologische Faktoren bedingt ist, möglichst fehlerfrei zu entfernen. Die in dieser Studie gewählte Methode zur Wochengangsbereinigung wurde speziell für diese Studie entwickelt und hat den Vorteil, dass sie gegebenenfalls vorhandene Änderungen im Wochengang im Jahres- und im Zeitverlauf automatisch mit berücksichtigt. Hier sind gegebenenfalls noch genauere Untersuchungen nötig, die aufgrund der begrenzten Zeit des Teilprojektes nicht durchgeführt werden konnten.

Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen der Zahl der wochengangsbereinigten Krankenhauseinlieferungen und der thermischen Umwelt hat sich jedoch trotzdem kein eindeutiger Zusammenhang ergeben. Gründe könnten noch vorhandene Defizite in der Wochengangsbereinigung oder aber ein nicht vorhandener Zusammenhang zwischen thermischer Umwelt und der Zahl der Krankenhauseinlieferungen sein. Dass sich generell zwar zwischen Mortalität und thermischer Umwelt nicht aber zwischen der Morbidität und thermischer Umwelt Zusammenhänge ergeben, wird auch von anderen Studien (z. B.: Davidkovová et al. 2013) bestätigt.

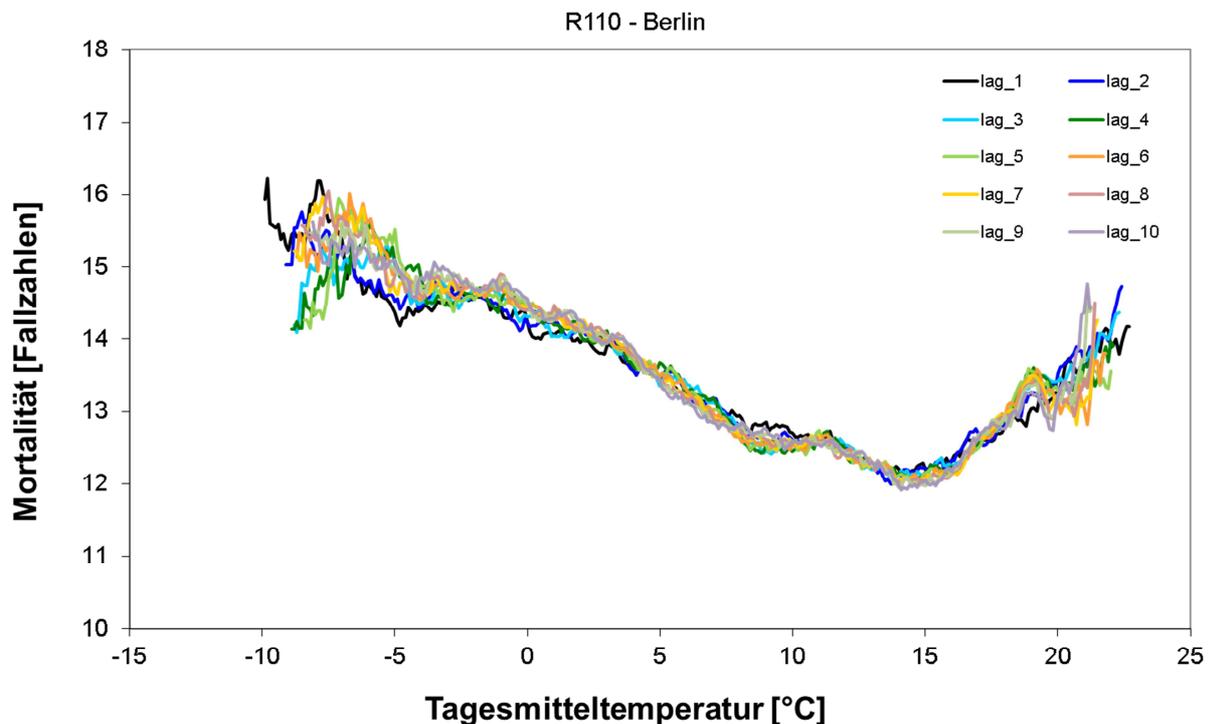
Aufgrund des schlechten Zusammenhangs, welcher sich für die Krankenhauseinlieferungen ergibt, wurde in diesem Bericht auf die Darstellung der Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Krankenhauseinlieferungen verzichtet.

Generell stellt sich auch die Frage, wie repräsentativ die ausgewählten Wetterstationen für die Regionen mit Gesundheitsdaten sind. Das Wetter wird durch kleinräumige Strukturen wie Gebirge, Wälder, Wasserflächen oder Städte auch innerhalb einer Region modifiziert, so dass die Daten der ausgewählten Wetterstation nicht in der Lage sind, die genaue Exposition des Individuums wieder zu

geben. Da eine genaue Expositionsbestimmung generell nicht möglich ist, muss die sich durch die Verwendung einer repräsentativen Station ergebende Ungenauigkeit in Kauf genommen werden.

Der Zusammenhang zwischen thermischer Umwelt und Mortalitätsrate wurde für unterschiedliche zeitliche Verschiebungen (lags) untersucht (Abb. 15). Die Unterschiede zwischen den einzelnen lags waren in der Regel sehr gering. Auf der kalten Seite ergeben in der Regel die längeren lags einen etwas besseren Zusammenhang, auf der warmen Seite sind es eher die kürzeren. Die optimalen lags sind zudem regional unterschiedlich und auch von der Jahreszeit abhängig (Tab. 17). Aufgrund der generell geringen Unterschiede zwischen den lags und um eine einfachere Interpretierbarkeit und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Regionen zu gewährleisten, wurden die Analysen ohne Berücksichtigung einer zeitlichen Verschiebung durchgeführt. Die Zusammenhänge zwischen Mortalität und meteorologischen Parametern sind bei Verwendung eines nicht immer optimalen lags daher eher konservativ dargestellt. Bei Verwendung des jeweils optimalen lags würden sich noch höhere Erklärungsanteile der Modelle ergeben.

Abbildung 15: Mittelwerte der Mortalität für 3°C-Intervalle der Tagesmitteltemperatur für unterschiedliche lags am Beispiel der Region Berlin (R110).



Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der IHK bedingten Sterblichkeit und den Tagesmittelwerten von Lufttemperatur, Gefühlter Temperatur und Humidex haben gezeigt, dass es in der Regel keine systematischen Unterschiede zwischen den einzelnen Methoden zur Beschreibung der thermischen Umwelt gibt. Im Einzelfall ergeben sich zwar für einzelne Regionen bessere Zusammenhänge (höherer Erklärungsanteil), wenn anstatt der mittleren Lufttemperatur ein Index, der zusätzlich noch die Luftfeuchtigkeit (Humidex) oder neben der Luftfeuchtigkeit auch noch die mittlere Strahlungstemperatur und die Windgeschwindigkeit (Gefühlte Temperatur) berücksichtigt, verwendet wird, generell beschreibt die Lufttemperatur alleine die Zusammenhänge allerdings schon sehr gut. Daher wurde der Schwerpunkt der Darstellung der Ergebnisse auf den Tagesmittelwert der Lufttemperatur gelegt.

Signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich der Obergrenze des thermischen Optimalbereichs lassen sich für ischämische Herzkrankheiten nicht feststellen. Lediglich die Untergrenze des Optimalbereichs scheint für die Männer etwas höher zu sein als für die Frauen. Dies bedeutet, dass der Temperatur- (Gefühlte Temperatur-, Humidex-) Bereich mit der geringsten Sterblichkeit für die Männer schmaler ist, als für die Frauen. Im Mittel über alle Regionen beträgt der thermische Optimalbereich bei der Lufttemperatur für die Männer beispielsweise 3,7°C und für die Frauen 5,1°C.

Regional lässt sich anhand der Daten keine einheitliche Systematik bezüglich der Lage des thermischen Optimalbereichs für ischämische Herzkrankheiten feststellen. Lediglich bei der Betrachtung des relativen Risikos im Vergleich zum Jahresgang fällt auf, dass das relative Risiko im Südwesten Deutschlands (Baden-Württemberg) erst ab deutlich höheren Tagesmitteltemperaturen (rund 17°C) erhöht ist, als im kühleren Nordwesten Deutschlands (Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg), wo es bereits ab Tagesmitteltemperaturen über 13°C leicht erhöht ist. Dies könnte ein Hinweis auf eine mögliche Anpassung der Bevölkerung im Südwesten an das wärmere Klima im Sommer sein.

Die Steigung der Regressionsgeraden zwischen der mittleren Lufttemperatur (Gefühlten Temperatur, Humidex) und der mittleren Mortalitätsrate eines Intervalls kann als Maß für die Temperatursensitivität angesehen werden. Je höher der Absolutwert der Steigung, desto stärker nimmt die Mortalität im Mittel mit einer Temperaturzu- bzw. -abnahme zu. Bei der ischämisch bedingten Mortalität (I20-I25) ist diese Temperatursensitivität (Sensitivität der Gefühlten Temperatur, des Humidex) oberhalb des thermischen Optimums in der Regel signifikant ($\alpha < 0,05$) höher als unterhalb (Abb. 4). Dies liegt auch daran, dass aufgrund der Lage des thermischen Optimums zwischen 15 und 20°C Tagesmitteltemperatur der Anstieg oberhalb des Bereichs minimaler Sterblichkeit wesentlich kürzer und daher oft auch steiler ausfällt (meist umfasst er nur einen Bereich von 7- 8°C).

Bei der Betrachtung der Temperaturabhängigkeit fällt auf, dass sich die Kurvenverläufe für Frauen und die Ursachen I24-I25 ähneln und die für Männer und die Ursachen I20-I22. Aufgrund der geringen Fallzahlen lagen die geschlechtsspezifischen Daten nicht weiter nach einzelnen Ursachen aufgliedert vor. Das Ergebnis bestätigt, die höhere Prävalenz der Infarkte (I21 und I22) bei den Männern (57 % der ischämischen Herzkrankheiten) im Vergleich zu den Frauen (39 %) (Gößwald et al., 2013). Dies könnte auch ein Grund dafür sein, warum einige Studien, die sich auf die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Herzinfarkten und der thermischen Umwelt beschränken, keinen signifikanten Hitzeeffekt finden konnten.

Der Hitzeeffekt ist bei Männern und bei alleiniger Betrachtung der Ursachen (I20-I22) weniger stark ausgeprägt als für die übrigen Datensätze. Lediglich bei sehr hohen Tagesmittelwerten der Lufttemperatur (ab etwa 24°C Intervallmittelwert) ist im Deutschlandmittel ein Anstieg der Sterblichkeit für Männer und die Ursachen I20-I22 zu erkennen. Auch Kyselý et al. (2011) fanden bei einer Untersuchung der Hitzewellen in Tschechien, dass Frauen eine höhere hitzebedingte Sterblichkeit aufweisen als Männer. Die höhere Hitzesensitivität von Frauen kann zum einen geschlechtsbedingt sein, zum anderen besteht auch die Möglichkeit, dass der Effekt durch den höheren Anteil von Frauen in der besonders hitzesensitiven Altersgruppe der über 75-Jährigen bedingt ist. Um dies zu untersuchen wären altersstrukturierte Daten nötig, die in dieser Studie nicht vorlagen.

Wird das zum Jahresgang der Sterblichkeit relative Risiko der Mortalität untersucht, so fällt auf, dass das relative Risiko für Temperaturen unterhalb 15°C in der Regel kleiner als 1 ist, also unterhalb dessen, was für die Jahreszeit normal ist. Lediglich die Ursachen I20-I22 (Angina Pectoris und Myokardinfarkt) zeigen einen Anstieg des relativen Risikos über 1 für sehr geringe Tagesmitteltemperaturen (Intervallmittelwert $< -7^\circ\text{C}$) an.

Eine Klimaänderung mit wärmeren Sommern könnte dazu führen, dass es mehr Tage mit Tagesmitteltemperaturen über 15°C gibt, die ein erhöhtes relatives Risiko für IHK bedingte Sterblichkeit aufweisen. Wie sich der Klimawandel genau auf das Risiko für IHK bedingte Sterblichkeit auswirkt, wird im zweiten Teil dieser Studie untersucht.

Die Untersuchung von Hitzewellen bestätigte die Ergebnisse aus der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Mittelwerten des relativen Risikos für Temperaturintervalle. Auch hier wurde eine etwas höhere Sterblichkeit für die Frauen (12,2 %) und die Ursachen I24-I25 (12,5 %) als für die Männer (8,1 %) und die Ursachen I20-I22 (8,2 %) festgestellt. Das entspricht in etwa der Risikoerhöhung die sich für Tagesmitteltemperaturen um 25°C (Intervallmittelwert) ergibt.

Auch bei der Untersuchung von Hitzewellen konnte für die Anzahl der Krankenhauseinlieferungen keine Zunahme gefunden werden. Je nach betrachteter Ursache gab es sogar etwas weniger Krankenhauseinlieferungen als zu erwarten gewesen wären. Unklar ist hier jedoch, ob die geringe Anzahl der Krankenhauseinlieferungen verhaltensbedingt ist oder es bei extrem hohen Tagesmitteltemperaturen nach Einsetzen der Beschwerden sehr schnell zu einem fatalen Ausgang kommt, so dass die betroffenen Personen nicht in die Krankenhausstatistik eingehen oder aber ob die Hitze wirklich keine nicht-fatalen Auswirkungen auf ischämische Herzkrankheiten hat.

Auch andere Studien fanden, dass bei Hitzewellen die Morbidität generell wesentlich schwächer steigt als die Mortalität an (Whitman et al. 1997, Michelozzi et al. 2009). Eine mögliche Begründung geht davon aus, dass Beschwerden von anfälligen Personen oft nicht als bedrohlich wahrgenommen werden und daher kein Aufsuchen eines Arztes oder Krankenhauses erfolgt. Aus diesem Grund erliegen diese Patienten ihrer Erkrankung manchmal sehr schnell zu Hause (gerade bei Herzkrankheiten), bevor sie im Krankenhaus Hilfe bekommen können (Michelozzi et al. 2009). Auf diese Weise gehen sie zwar in die Mortalitätsstatistik, aber nicht als Krankenhausaufnahmen in die Morbiditätsstatistik ein. Auf der anderen Seite ist es aber auch denkbar, dass Beschwerden von alleine wieder abklingen und somit in keiner Morbiditätsstatistik auftauchen. Letztendlich sind die Hintergründe für die unterschiedlichen Beobachtungen bei Morbidität und Mortalität aber bislang nicht geklärt.

Wie auch in einigen anderen Studien konnten wir nachweisen, dass vor allem Temperaturrückgänge von mehr als 3°C (Frauen und I24-I25) und von mehr als 5°C (Männer und I20-I22) mit einer Zunahme des relativen Risikos für die Sterblichkeit einhergehen. Bei den Temperaturzunahmen ist das Bild weniger einheitlich. Hier lässt sich bei einem Temperaturanstieg von mehr als 5°C im Vergleich zum Vortag vor allem bei den Männern, aber auch in abgeschwächter Form für die Ursachen I24-I25 ein Anstieg des relativen Risikos über 1 erkennen.

Die Analysen des Zusammenhangs zwischen meteorologischen Parametern und IHK bedingter Sterblichkeit mittels GLMs ergaben in der Regel einen relativ geringen Erklärungsanteil der aufgestellten Modelle. Meist liegt dieser unter 4 % für den Gesamtdatensatz, kann aber, wenn nur Tage mit mindestens mäßiger Wärmebelastung betrachtet werden (Tagesmaximum der Gefühlten Temperatur $\geq 26^\circ\text{C}$), je nach Region auch über 10 % betragen.

Die ermittelten GLMs unterscheiden sich je nach Region und je nach Unterdatensatz (gesamter Temperaturbereich, nur Tage mit leichtem Kältestress ($\text{GT}_{\text{min}} \leq 0$), nur Tage mit leichter Wärmebelastung ($\text{GT}_{\text{max}} \geq 20$), nur Tage mit mäßiger Wärmebelastung ($\text{GT}_{\text{max}} > 26^\circ\text{C}$) voneinander. Während für den gesamten Datensatz und die Datensätze mit Wärmebelastung vor allem Parameter, die das thermische Milieu beschreiben von großer Bedeutung sind, spielt an Tagen mit leichtem Kältestress auch der Luftdruck eine Rolle. Tiefer Luftdruck führt an kalten Tagen in vielen Regionen zu einem Anstieg der IHK bedingten Sterblichkeit. Allerdings vermag er in der Regel weniger als 1% der Gesamtvarianz der Sterblichkeit zu erklären.

Die Ergebnisse dieser Studie in Bezug auf die meteorologischen Parameter, welche einen Einfluss auf die Sterblichkeit aufgrund ischämischer Herzkrankheiten haben, sind in Einklang mit den Ergebnissen früherer Studien.

Der im Allgemeinen sehr geringe Erklärungsanteil der mittels der GLMs erstellten Modelle erklärt sich damit, dass es neben dem Wetter wesentlich bedeutendere Einflüsse auf die IHK bedingte Mortalität gibt. Zu diesen zählen u. a. Lebensgewohnheiten oder Stress. Umwelteinflüsse, zu denen auch das Wetter gehört, haben in der Regel einen deutlich geringeren Einfluss als andere Faktoren.

Die im Winter im Vergleich zu den anderen Jahreszeiten signifikant geringere absolute Steigung der Regressionsgeraden zwischen der Lufttemperatur und der mittleren Mortalitätsrate aufgrund ischämischer Herzkrankheiten deutet auf eine geringere Temperatursensitivität der Bevölkerung im Winter hin. Im Mittel ist die Sterblichkeit im Winter mit den Diagnosen I20-I25 deutlich höher als zu den anderen Jahreszeiten. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass es andere Faktoren als die Lufttemperatur gibt, die für die höhere Mortalität im Winter verantwortlich sind. Bei der Interpretation von Studien zum Einfluss auf die kältebedingte Sterblichkeit ischämischer Herzkrankheiten sollte daher darauf geachtet werden, dass die höhere Sterblichkeit im Winter nicht alleine dem Temperatureffekt zugeschlagen wird. Daraus ergeben sich auch Konsequenzen für die Interpretation von Ergebnissen zum Einfluss des Klimawandels auf koronare Herzkrankheiten.

7 Schlussfolgerungen

Diese Studie konnte belegen, dass die thermische Umwelt einen Einfluss auf die Sterblichkeit von ischämischen Herzkrankheiten in Deutschland hat.

Für fast alle der untersuchten Datensätze der Mortalität aufgrund ischämischer Herzkrankheiten ergeben sich enge Zusammenhänge mit der thermischen Umwelt. Bei der Mortalität gibt es in der Regel einen optimalen Temperaturbereich oberhalb und unterhalb dessen die Mortalitätsrate ansteigt. Dabei ist der Anstieg auf der warmen Seite dieses Optimums stärker als auf der kalten Seite.

Bei der Morbidität ließ sich dieses Muster nicht wiederfinden. Warum Tage mit sehr hohen und niedrigen Tagesmitteltemperaturen zwar eine Auswirkung auf die Anzahl der IHK Sterbefälle, nicht aber eine Auswirkung auf die Morbidität haben, bleibt offen.

Für die Untersuchung der thermischen Umwelt können sowohl die Lufttemperatur als auch die Gefühlte Temperatur als auch der Humidex eingesetzt werden. Es ergeben sich bezüglich des Zusammenhangs mit den Gesundheitsdaten keine systematischen Unterschiede in Abhängigkeit des verwendeten Indexes.

Der Bereich mit der geringsten Sterblichkeit variiert von Region zu Region etwas. Es ließen sich jedoch keine regionalen Cluster mit besonders hohen oder niedrigen optimalen Temperaturbereichen ausmachen. Ähnliches gilt für die Höhe der Steigung der Regressionsgeraden, die als Indikator für die Sensitivität der Bevölkerung gesehen werden kann.

Der mit Ausnahme der Todesursachen I20-I22 nicht vorhandene Anstieg des relativen Risikos bei sehr geringen Tagesmitteltemperaturen deutet darauf hin, dass der Anstieg der Sterblichkeit bei Temperaturen unterhalb des thermischen Optimums vor allem durch den Jahresgang bedingt ist. Oberhalb von etwa 15°C Tagesmitteltemperatur kommt es in allen Regionen zu einem Anstieg des relativen Risikos für ischämische Herzkrankheiten.

Mittels der GLM konnte nur ein geringer Prozentsatz (meist unter 4%) der Gesamtvarianz erklärt werden. In der Regel gehörten jedoch auch die vom Modell ausgewählten Parameter zum thermischen Bereich, was den Einfluss der thermischen Umwelt auf das Auftreten von IHK bedingten Sterbefällen hervorhebt. Zudem konnten die Untersuchungen der mittleren Sterblichkeit in den 3°C Temperaturintervallen den Einfluss der thermischen Umwelt deutlich belegen.

Aufgrund der Zunahme des relativen Sterberisikos für ischämische Herzkrankheiten bei hohen Temperaturen ist das Problem in Hinblick auf ein sich zum Warmen hin wandelndes Klima und den demographischen Wandel auch in Zukunft von großer Bedeutung. Das Wissen über die Zusammenhänge zwischen thermischer Umwelt und ischämischen Herzkrankheiten kann zur Planung von Präventionsmaßnahmen und der Aufklärung der Betroffenen dienen und somit die thermisch bedingte Sterblichkeit gegebenenfalls verringern.

8 Quellenverzeichnis

- Abrignani, M. G., S. Corrao, G. B. Biondo, N. Renda, A. Braschi, G. Novo, A. Di Girolamo, G. B. Braschi & S. Novo (2009) Influence of climatic variables on acute myocardial infarction hospital admissions. *Int J Cardiol*, 137, 123-9.
- Alperovitch, A., J. M. Lacombe, O. Hanon, J. F. Dartigues, K. Ritchie, P. Ducimetiere & C. Tzourio (2009) Relationship between blood pressure and outdoor temperature in a large sample of elderly individuals: the Three-City study. *Arch Intern Med*, 169, 75-80.
- Barnett, A. G., S. Sans, V. Salomaa, K. Kuulasmaa, A. J. Dobson & W. M. Project (2007) The effect of temperature on systolic blood pressure. *Blood Press Monit*, 12, 195-203.
- Cheng, X. & H. Su (2010) Effects of climatic temperature stress on cardiovascular diseases. *Eur J Intern Med*, 21, 164-7.
- Danet, S., F. Richard, M. Montaye, S. Beauchant, B. Lemaire, C. Graux, D. Cottel, N. Marecaux & P. Amouyel (1999) Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. A 10-year survey: the Lille-World Health Organization MONICA project (Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease). *Circulation*, 100, E1-7.
- Davidkovová H., Kyselý J., Plavcová E., Kríz B. (2013): Comparison of impacts of hot spells on mortality and morbidity for cardiovascular diseases in the Czech Republic, 1994-2009. ISEE-Conference Basel, 2013, Poster P2-12-07.
- Goerre, S., C. Egli, S. Gerber, C. Defila, C. Minder, H. Richner & B. Meier (2007) Impact of weather and climate on the incidence of acute coronary syndromes. *Int J Cardiol*, 118, 36-40.
- Gößwald A., Schienkewitz A., Nowossadeck E., Busch M.A. (2013): Prävalenz von Herzinfarkt und koronarer Herzkrankheit bei Erwachsenen im Alter von 40 bis 79 Jahren in Deutschland - Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbl.* 56:650–655, DOI 10.1007/s00103-013-1666-9.
- Kent, S. T., G. Howard, W. L. Crosson, R. J. Prineas & L. A. McClure (2011) The association of remotely-sensed outdoor temperature with blood pressure levels in REGARDS: a cross-sectional study of a large, national cohort of African-American and white participants. *Environ Health*, 10, 7.
- Koppe, C. (2005): Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 226, Offenbach am Main.
- Kriszbacher, I., J. J. Bodis, A. Koppan, I. Boncz & M. Koppan (2010) The effect of climate on heart attack mortality. *Int J Cardiol*, 139, 92-3.
- Kyselý J., Plavcová E., Davidkovová H., Kyn J. (2011) Comparison of hot and cold spell effects on cardiovascular mortality in individual population groups in the Czech Republic. *Climate Research*, 49: 113-129.
- Lee, J. H., S. C. Chae, D. H. Yang, H. S. Park, Y. Cho, J. E. Jun, W. H. Park, S. Kam, W. K. Lee, Y. J. Kim, K. S. Kim, S. H. Hur, M. H. Jeong & I. Korea Acute Myocardial Infarction Registry (2010) Influence of weather on daily hospital admissions for acute myocardial infarction (from the Korea Acute Myocardial Infarction Registry). *Int J Cardiol*, 144, 16-21.
- Löwel H., Hörmann A., Döring A., Heier M., Meisinger C., Schneider A., Kaup U., Gösele U. Hymer H. (2006): Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Themenheft 33 – Koronare Herzkrankheiten und akuter Myokardinfarkt. Herausgeber: Robert Koch-Institut, Berlin.
- Madsen, C. & P. Nafstad (2006) Associations between environmental exposure and blood pressure among participants in the Oslo Health Study (HUBRO). *Eur J Epidemiol*, 21, 485-91.
- Mercer, J. B. (2003) Cold - an underrated risk factor for health. *Environ Res*, 92, 8-13.
- Messner, T. (2005) Environmental variables and the risk of disease. *Int J Circumpolar Health*, 64, 523-33.
- Michelozzi, P., G. Accetta, M. De Sario, D. D'Ippoliti, C. Marino, M. Baccini, A. Biggeri, H. R. Anderson, K. Katsouyanni, F. Ballester, L. Bisanti, E. Cadum, B. Forsberg, F. Forastiere, P. G. Goodman, A. Hojs, U. Kirchmayer, S. Medina, A. Paldy, C. Schindler, J. Sunyer, C. A. Perucci & P. C. Group (2009) High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *Am J Respir Crit Care Med*, 179, 383-9.

Nawrot, T. S., J. A. Staessen, R. H. Fagard, L. M. Van Bortel & H. A. Struijker-Boudier (2005) Endothelial function and outdoor temperature. *Eur J Epidemiol*, 20, 407-10

Staiger, H.; Bucher, K.; Jendritzky, G. (1997): Gefühlte Temperatur. Die thermophysiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. *Ann. Meteorol.* 33, 100-107.

Sharovsky, R., L. A. Cesar & J. A. Ramires (2004) Temperature, air pollution, and mortality from myocardial infarction in Sao Paulo, Brazil. *Braz J Med Biol Res*, 37, 1651-7.

Sun, Z. (2010) Cardiovascular responses to cold exposure. *Front Biosci (Elite Ed)*, 2, 495-503.

Taubenheim, J. (1969): Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. In: *Geographische Monographien*, Band 5 (Hrsg.: Buchheim, W.; Fanselau, G.; Hiller, W.; Menzel, H.). Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Pertig.

Whitman, S., G. Good, E. R. Donoghue, N. Benbow, W. Shou & S. Mou (1997) Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave. *American Journal of Public Health*, 87, 1515-1518.

Zacharias, S. (2012): Literaturstudie zum Einfluss des Wetters auf die menschliche Gesundheit. Bericht zum Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes UFOPLAN 3711 61 238.

Anhang

Tabelle 20: Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010.

Region	Oberer Schwellenwert I20 I25			Unterer Schwellenwert I20 I25		
	Gesamt	Frauen	Männer	Gesamt	Frauen	Männer
R019	18,3	19,0	18,3	18,2	14,9	18,2
R039	16,4	15,7	16,4	16,1	15,5	16,1
R049	16,5	16,5	16,0	16,4	16,4	15,9
R051	18,1	18,6	23,3	16,9	17,0	17,3
R053	18,4	17,4	23,8	17,3	17,3	20,4
R058	21,8	21,0	15,8	17,8	20,8	15,7
R059	16,4	15,5	18,4	15,3	15,4	17,3
R060	16,2	18,6		16,0	18,4	19,3
R088	16,8	16,7	16,6	13,5	16,6	15,8
R089	19,0	19,7	17,8	18,9	19,6	17,8
R098	14,9	18,4	14,7	14,8	14,6	14,6
R099	18,6	16,4	24,3	18,5	16,2	23,8
R09M	16,2	19,5	17,2	15,3	13,7	17,1
R109	16,8	16,5	16,8	16,7	16,4	16,7
R110	16,4	19,9	20,9	16,2	15,7	18,0
R120	19,9	20,7	19,6	18,8	18,3	19,6
R130	17,4	18,6	18,0	17,0	18,5	17,8
R140	18,5	18,6	18,6	18,4	18,5	18,5
R150	18,1	20,0		18,0	19,7	20,3
R160	17,3	13,9	18,2	17,3	13,8	17,2
Mittelwert	17,6	18,0	18,6	16,9	16,9	17,9

Tabelle 21: Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für den Anstieg der Mortalitätsrate mit den Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010.

Region	Oberer Schwellenwert gesamt			Unterer Schwellenwert gesamt		
	I20-I25	I20-I22	I24-I25	I20-I25	I20-I22	I24-I25
R019	18,3	17,6	19,0	18,2	16,7	18,7
R039	16,4	17,1	21,3	16,1	17,0	16,2
R049	16,5	23,4	14,9	16,4	23,2	14,8
R051	18,1	22,4	17,3	16,9	17,2	17,2
R053	18,4	22,2	17,1	17,3	17,1	17,0
R058	21,8	21,3	20,3	17,8	16,3	15,3
R059	16,4	21,7	15,9	15,3	18,5	15,8
R060	16,2	20,1	16,0	16,0	19,9	15,8
R088	16,8	16,7	19,5	13,5	16,6	16,3
R089	19,0	20,2	17,4	18,9	17,7	17,4
R098	14,9		14,4	14,8	19,0	14,3
R099	18,6	23,8	17,2	18,5	18,7	17,1
R09M	16,2	15,8	21,0	15,3	15,7	16,2
R109	16,8		17,1	16,7	19,6	16,4
R110	16,4	24,5	16,2	16,2	24,4	16,1
R120	19,9	24,2	19,8	18,8	19,6	19,0
R130	17,4	17,8	17,1	17,0	17,6	17,0
R140	18,5	24,2	19,4	18,4	19,5	16,1
R150	18,1	19,4	24,2	18,0	19,2	18,0
R160	17,3	22,4	17,3	17,3	16,6	17,3
Mittelwert	17,6	20,8	18,1	16,9	18,5	16,6

Tabelle 22: Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25 im Zeitraum 2001-2010.

Region	Steigung oberhalb T_{opt}			Steigung unterhalb T_{opt}		
	Gesamt	Frauen	Männer	Gesamt	Frauen	Männer
R019	0,008	0,017	0,003	-0,005	-0,007	-0,005
R039	0,006	0,002	0,006	-0,006	-0,005	-0,006
R049	0,005	0,009	0,004	-0,005	-0,006	-0,004
R051	0,014	0,019	0,036	-0,003	-0,004	-0,004
R053	0,006	0,011	0,024	-0,004	-0,004	-0,004
R058	0,018	0,018	0,005	-0,005	-0,005	-0,006
R059	0,009	0,008	0,010	-0,004	-0,005	-0,005
R060	0,003	0,011		-0,005	-0,004	-0,005
R088	0,007	0,009	0,004	-0,004	-0,004	-0,004
R089	0,002	0,005	0,002	-0,003	-0,003	-0,004
R098	0,003	0,008	0,004	-0,005	-0,004	-0,006
R099	0,004	0,011	0,032	-0,004	-0,005	-0,004
R09M	0,004	0,018	0,001	-0,003	-0,003	-0,005
R109	0,006	0,002	0,006	-0,005	-0,005	-0,005
R110	0,004	0,011	0,006	-0,004	-0,005	-0,004
R120	0,015	0,029	0,012	-0,005	-0,004	-0,004
R130	0,011	0,018	0,004	-0,005	-0,006	-0,003
R140	0,008	0,016	0,004	-0,007	-0,007	-0,007
R150	0,008	0,025		-0,008	-0,007	-0,008
R160	0,006	0,004	0,011	-0,006	-0,006	-0,006
Mittelwert	0,007	0,013	0,010	-0,005	-0,005	-0,005

T_{opt} : optimaler Temperaturbereich. Grau: $R^2 < 0,5$

Tabelle 23: Steigung der Regressionsgeraden zwischen Temperatur und Mortalität oberhalb bzw. unterhalb der Schwellenwerte der Lufttemperatur (°C) für die Diagnosen I20-I25, I20-I22 und I24-I25 im Zeitraum 2001-2010.

Region	Steigung oberhalb T_{opt}			Steigung unterhalb T_{opt}		
	I20-I25	I20-I22	I24-I25	I20-I25	I20-I22	I24-I25
R019	0,008	0,002	0,005	-0,005	-0,003	-0,002
R039	0,006	0,001	0,001	-0,006	-0,003	-0,001
R049	0,005	0,013	0,004	-0,005	-0,002	-0,003
R051	0,014	0,016	0,006	-0,003	-0,001	-0,003
R053	0,006	0,005	0,003	-0,004	-0,002	-0,002
R058	0,018	0,002	0,008	-0,005	-0,002	-0,003
R059	0,009	0,010	0,005	-0,004	-0,002	-0,002
R060	0,003	0,002	0,002	-0,005	-0,002	-0,003
R088	0,007	0,002	0,007	-0,004	-0,002	-0,002
R089	0,002	0,003	0,001	-0,003	-0,002	-0,002
R098	0,003		0,003	-0,005	-0,002	-0,003
R099	0,004	0,011	0,004	-0,004	-0,002	-0,002
R09M	0,004	0,001	0,010	-0,003	-0,002	-0,002
R109	0,006		0,007	-0,005	-0,002	-0,007
R110	0,004	0,004	0,005	-0,004	-0,001	-0,003
R120	0,015	0,012	0,011	-0,005	-0,003	-0,002
R130	0,011	0,004	0,006	-0,005	-0,001	-0,004
R140	0,008	0,006	0,007	-0,007	-0,003	-0,004
R150	0,008	0,002	0,032	-0,008	-0,004	-0,004
R160	0,006	0,004	0,005	-0,006	-0,003	-0,003
Mittelwert	0,007	0,006	0,007	-0,005	-0,002	-0,003

Grau : $R^2 < 0,5$

Abbildung 16: Mittelwerte des relativen Mortalitätsrisikos für 3°C-Intervalle der Gefühlten Temperatur über alle Regionen in Deutschland gemittelt. Zeitraum 2001-2010.

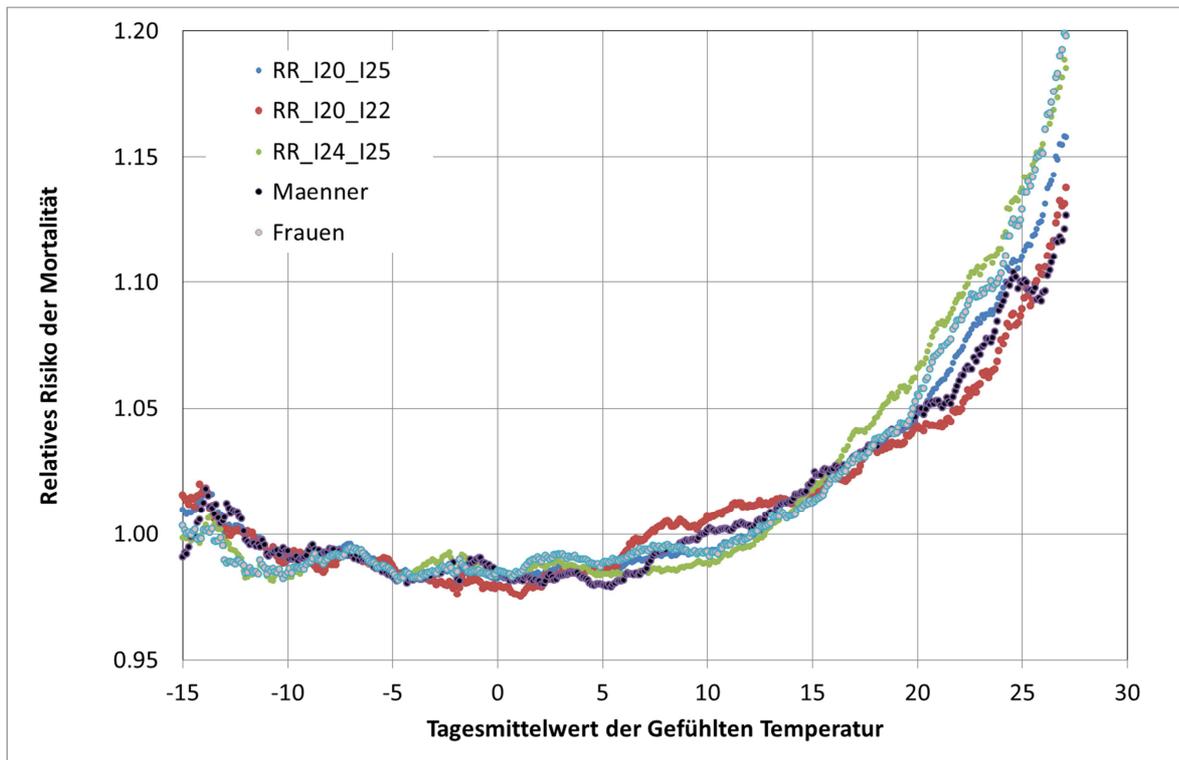


Abbildung 17: Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Winter (DJF) für die Regionen R150 (oben) und R059 (unten). Zeitraum 2001-2010.

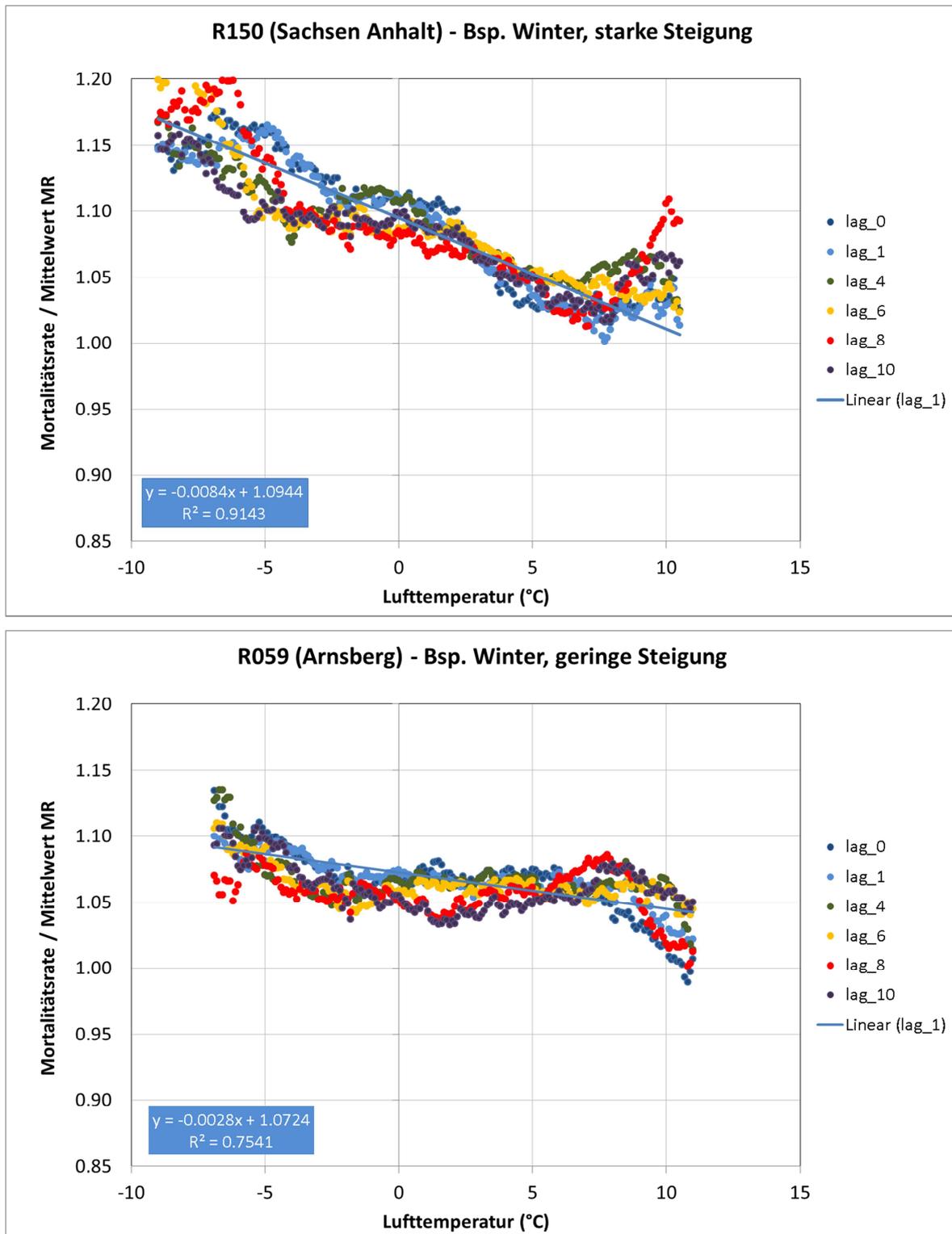


Abbildung 18: Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Frühling (MAM) für die Regionen R060 (oben) und R160 (unten). Zeitraum 2001-2010.

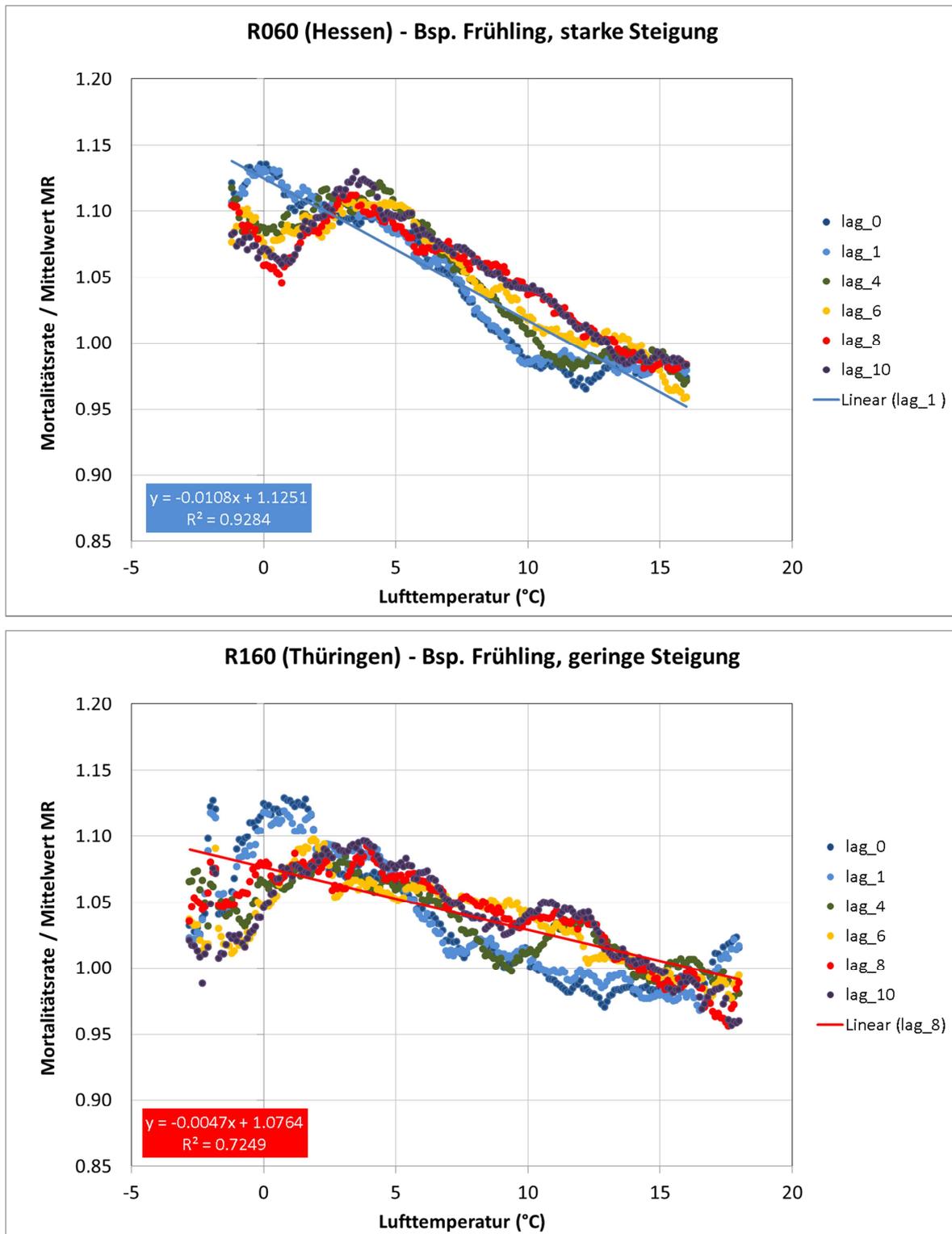


Abbildung 19: Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Sommer (JJA) für die Regionen R120 (oben) und R098 (unten). Zeitraum 2001-2010.

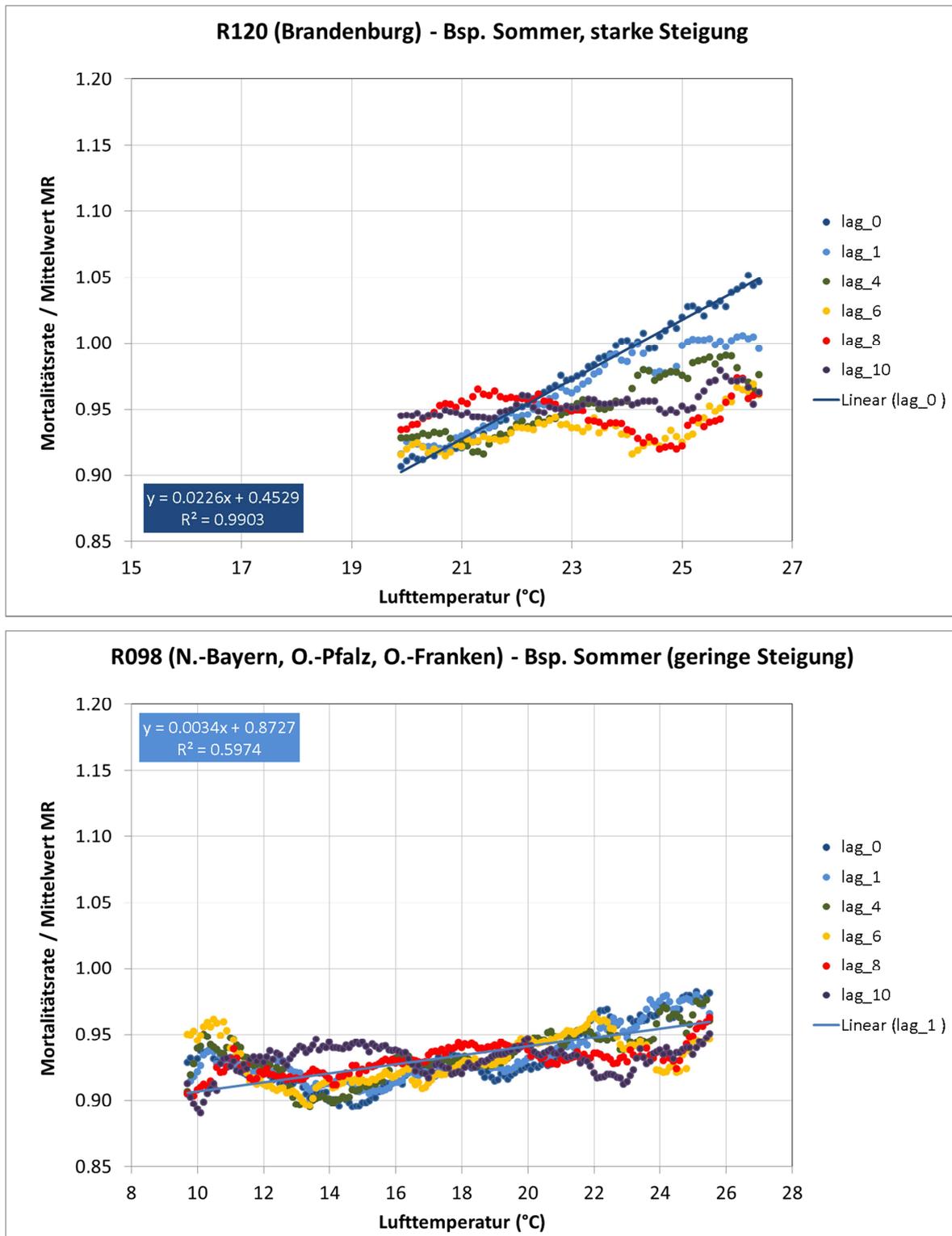


Abbildung 20: Mittelwerte der Mortalitätsrate (I20-I25) relativ zum Zeitreihenmittelwert für 3°C-Intervalle der Lufttemperatur im Herbst (SON) für die Regionen R130 (oben) und R051 (unten). Zeitraum 2001-2010.

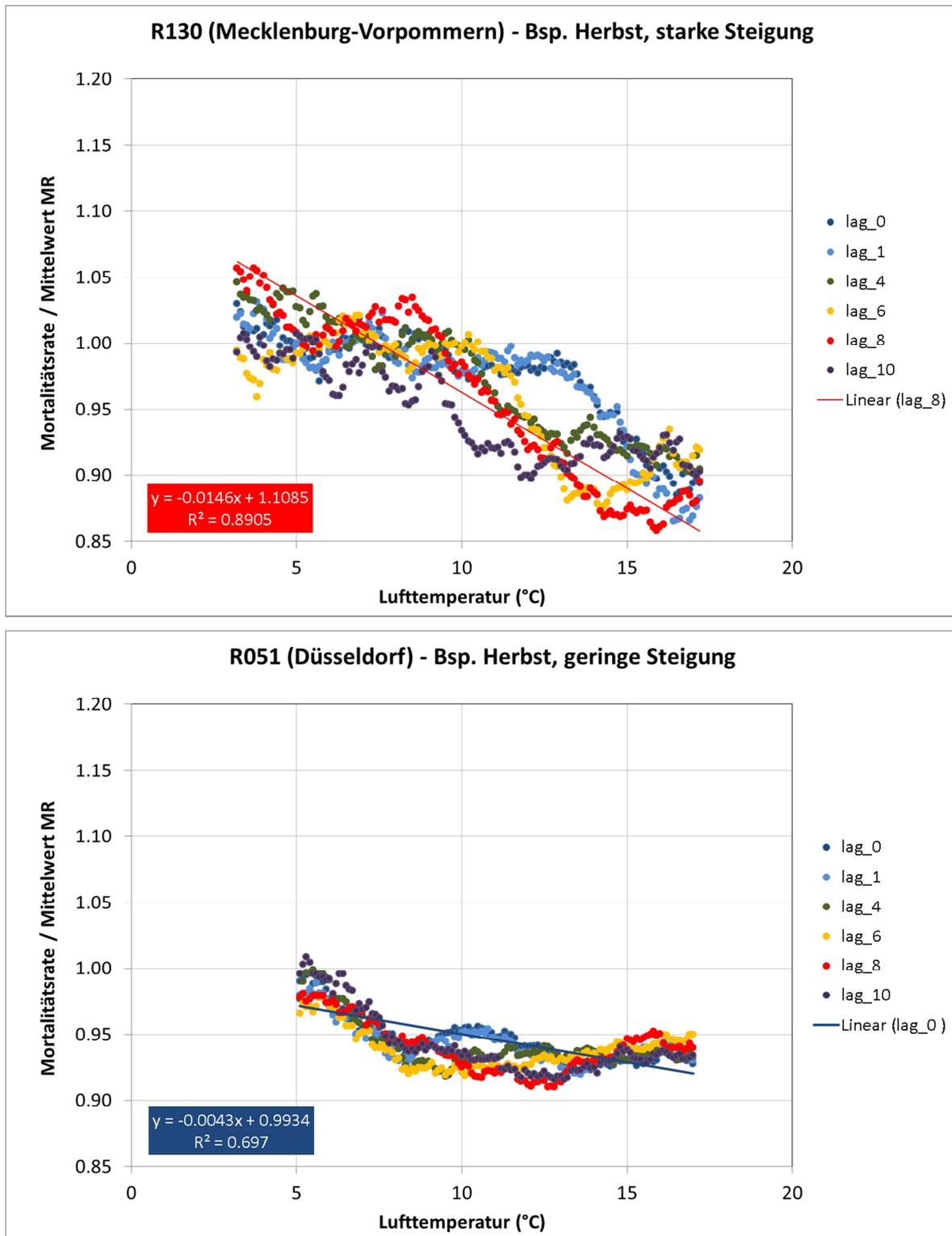


Tabelle 24: Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Gesamte Temperaturspanne.

Region	R ²	N	ff	TT	TD	P	X1RRR	Nh	X3SD24	FG24	TX24	TN24	UU	humi	GT	ITS	dt	dt 7d	dP
R019	0,022				-0,35	-0,07	-0,04						0,09	0,40			-0,04		
R039	0,029	-0,08		-0,16	-0,11	-0,02		0,06			0,13			0,17		0,13	-0,06	0,02	-0,05
R049	0,041			-0,11	-0,12	-0,11		0,02	0,05	-0,04	0,07		0,05	0,24	-0,09		-0,08		0,01
R051	0,019	-0,03			-0,15	-0,11	-0,02		0,17		0,15		0,07	0,17			-0,04	0,06	0,02
R053	0,021		0,02		-0,33								0,13	0,42			-0,10		
R058	0,018				-0,18	-0,07	0,07				0,12		0,11	0,26	-0,15				0,05
R059	0,041			-0,14	-0,16	-0,02							0,13	0,23		0,19	-0,04	0,09	
R060	0,016			-0,19	-0,15	-0,09		-0,16						0,23		-0,04	-0,05	0,10	
R109	0,022				-0,14	-0,12				-0,05			0,12	0,18		0,21	-0,14	0,03	
R088	0,017		0,02		-0,19	-0,07		0,04				-0,12	0,10	0,28		0,13			0,06
R089	0,012			-0,18	-0,13	-0,17		0,03						0,21		0,28			
R098	0,008				-0,20	-0,12							0,18	0,26			-0,06	0,18	
R099	0,043			-0,15	-0,20		-0,01	0,03			0,09		0,11	0,32			-0,02	0,07	
R09M	0,050			-0,15	-0,14	-0,09	-0,02						0,07	0,24	0,12		-0,03	0,14	0,01
R110	0,030	-0,04	-0,02	-0,12	-0,17			0,04						0,23	-0,13		-0,04	0,20	-0,04
R120	0,041	-0,07	-0,03	0,15	-0,13	-0,04			0,08		-0,15		0,06	0,17	-0,12				
R130	0,035	-0,05			-0,16	-0,03					-0,11	-0,10	0,10	0,30			-0,02	0,09	-0,05
R140	0,027			-0,13	-0,15	-0,04	-0,01				-0,10		0,10	0,29			-0,05	0,13	
R150	0,046			-0,13	-0,17	-0,14		-0,07				0,07	0,09	0,25				0,05	0,01
R160	0,029		-0,07	-0,20	-0,19	-0,09								0,27	-0,18				

R²: Bestimmtheitsmaß des GLMs. Restliche Spalten geben den Anteil des meteorologischen Parameters am Gesamterklärungsanteil in Hundertstel an. Das Vorzeichen zeigt an, ob der Parameter positiv (kein Vorzeichen) oder negativ (-) mit der Mortalität korreliert ist.

Tabelle 25: Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Nur Tage mit GTmin <= 0°C (= leichter Kältestress).

Region	R ²	N	TT	TD	P	X1RRR	Nh	FG24	TX24	TN24	UU	humi	GT	ITS	dt	dt 7d	dP	GTmax	GTmin
R019	0,009			0,13	-0,50				0,13			-0,19	0,06						
R039	0,019			0,09	-0,11					-0,19	-0,11			0,31			-0,12		
R049	0,027				-0,16				0,13				-0,11	0,11	-0,07	0,24	0,02	-0,16	
R051	0,009				-0,20	-0,13		-0,23				0,12	-0,09	0,22					
R053	0,006		0,20		-0,36					-0,44									
R058	0,010		0,19		-0,23													-0,37	-0,21
R059	0,032		-0,08		-0,05		-0,17				-0,07	0,08	0,03	0,12	-0,05	0,31		-0,05	
R060	0,018		-0,10		-0,27					0,12					0,25			0,08	-0,17
R109	0,018		-0,07		-0,46				0,07		-0,05	0,06			-0,05	0,25			
R088	0,020		0,06	0,14	-0,23		0,09					-0,07		0,08	-0,06		0,07		-0,20
R089	0,031				-0,17	0,16						-0,16		0,33		0,11			
R098	0,012	0,19			-0,24			-0,12		-0,22							0,11	0,11	
R099	0,026		-0,24		-0,08						-0,05	0,22		0,15	0,13	0,12	0,02		
R09M	0,039		-0,12		-0,33	0,09			0,04		-0,04	0,07	0,05		-0,03	0,19	0,02	-0,03	
R110	0,022		-0,38		-0,18						-0,04				-0,05	0,35			
R120	0,018	-0,16		0,11	-0,25	-0,06	0,07			-0,07					0,05		0,08	-0,09	0,05
R130	0,016		0,08		-0,36				-0,09	-0,15						0,12	-0,14	0,07	
R140	0,019			-0,39	-0,17		0,11							0,09		0,25			
R150	0,034		-0,17		-0,39	0,09		-0,03	0,10					0,10		0,13			
R160	0,024		-0,17		-0,31		-0,10				-0,09	0,18				0,06			

R²: Bestimmtheitsmaß des GLMs. Restliche Spalten geben den Anteil des meteorologischen Parameters am Gesamterklärungsanteil in Hundertstel an. Das Vorzeichen zeigt an, ob der Parameter positiv (kein Vorzeichen) oder negativ (-) mit der Mortalität korreliert ist.

Tabelle 26: Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Nur Tage mit GTmax \geq 20°C (= leichte Wärmebelastung).

Region	R ²	N	ff	TT	TD	P	X1RRR	Nh	X3SD24	FG24	TX24	TN24	UU	humi	GT	ITS	dt	dt 7d	dP	GT max	GT min
R019	0,054	-0,04	-0,02	-0,17	0,22		-0,11	0,07					-0,06			-0,03	-0,21		-0,06		
R039	0,041	-0,23				-0,08						0,51					-0,18				
R049	0,107		0,04	-0,19		-0,14	-0,02								0,23		-0,26	-0,12			
R051	0,044	-0,08		-0,14		-0,09				0,05		0,15			0,21		-0,16				-0,13
R053	0,042		0,05		-0,12	0,05	-0,03						0,07	0,20			-0,33			0,15	
R058	0,056				-0,16	-0,08		-0,03						0,32	-0,16			-0,17	0,08		
R059	0,101			0,18	-0,07	0,05		0,03	-0,03		-0,12				0,17		-0,23		-0,02		-0,10
R060	0,038		0,12					-0,11				-0,20					-0,26	0,05			0,26
R109	0,059			0,31	-0,12				-0,05	-0,04			0,11			0,18	-0,20				
R088	0,040			-0,32					-0,05				-0,09	0,34		0,13	-0,07				
R089	0,015				-0,28		-0,12						0,10	0,43			-0,07				
R098	0,021												-0,18				-0,16	0,10			0,56
R099	0,089			0,22	-0,16		-0,01	0,02			0,20		0,07		0,21		-0,10				
R09M	0,067	0,03					-0,09	-0,07	-0,04					0,54		0,06	-0,06	0,08	0,04		
R110	0,042					0,10	0,05	0,03	-0,04				-0,11	0,43			-0,08	0,13	-0,04		
R120	0,051				-0,12			-0,12			-0,16			0,23						-0,09	0,27
R130	0,099	-0,08	-0,02	-0,21									-0,04	0,24	-0,18		-0,06	-0,06			-0,12
R140	0,058								0,15			0,40				-0,06	-0,03	0,06			-0,29
R150	0,061	-0,10	-0,02		-0,14					0,05	-0,18			0,29	-0,22						
R160	0,046			0,29	0,10			0,13						-0,22			-0,12				-0,15

R²: Bestimmtheitsmaß des GLMs. Restliche Spalten geben den Anteil des meteorologischen Parameters am Gesamterklärungsanteil in Hundertstel an. Das Vorzeichen zeigt an, ob der Parameter positiv (kein Vorzeichen) oder negativ (-) mit der Mortalität korreliert ist.

Tabelle 27: Zusammenfassung der GLMs für die Mortalität (Ursachen I20-I25). Nur Tage mit GTmax >= 26°C (= mäßige Wärmebelastung).

Region	R ²	ff	TT	TD	P	X1RRR	Nh	X3SD24	FG24	TX24	TN24	UU	humi	GT	ITS	dt	dt 7d	dP	GTmax	GTmin
R019	0,132	-0,05		0,14		-0,08	0,10					-0,09	-0,10		-0,10	-0,11		-0,03	0,13	
R039	0,076				-0,12					0,26						-0,40		0,12		
R049	0,151	-0,02		0,40	-0,10							-0,28				-0,17		0,03		
R051	0,050	0,03	-0,11	-0,04	-0,14			0,15			0,10			0,15				0,27		
R053	0,041	0,18			0,08											-0,22			0,53	
R058	0,046			-0,14									0,42	-0,19			-0,25			
R059	0,154	-0,04	0,22	-0,03	0,04		0,14	-0,03		-0,13					0,08	-0,16		-0,02		-0,09
R060	0,022					-0,11										-0,52				0,37
R109	0,124	-0,03		-0,13			0,05	-0,04					0,17	-0,13	0,17	-0,12			0,14	
R088	0,075					0,09		-0,05					0,34		0,16	-0,17				-0,19
R089	0,018		0,62													-0,38				
R098	0,031								0,28		-0,17				0,30					0,25
R099	0,103	0,03		-0,21	0,02	-0,01	0,04					0,14	0,42			-0,12		-0,02		
R09M	0,090		0,32		0,08	-0,08	-0,06	-0,17							0,09	-0,13	0,05			
R110	0,064				0,08	0,16		-0,08		0,32					0,12	-0,10		-0,15		
R120	0,094			-0,08			-0,18				0,24	0,14	0,16			-0,12			-0,07	
R130	0,122	-0,03					-0,16						0,38	-0,27		-0,11	-0,06			
R140	0,061					-0,12				-0,09	0,32			0,17		-0,06				-0,23
R150	0,065	-0,08						0,14	0,12		0,60							0,05		
R160	0,076	-0,06					0,04		0,37	0,17	0,14						-0,07		-0,05	-0,11

R²: Bestimmtheitsmaß des GLMs. Restliche Spalten geben den Anteil des meteorologischen Parameters am Gesamterklärungsanteil in Hundertstel an. Das Vorzeichen zeigt an, ob der Parameter positiv (kein Vorzeichen) oder negativ (-) mit der Mortalität korreliert ist.