

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

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

Literaturstudie zum Einfluss des Wetters auf die menschliche Gesundheit

Anlage 1

von

Dr. Stefan Zacharias

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

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Abschlussdatum November 2012

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Literaturstudie zum Einfluss des Wetters auf die menschliche Gesundheit
Autor(en) (Name, Vorname)	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	2012
Forschungskennzahl (FKZ)	3711 61 238
Seitenzahl des Berichts	85
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Gesundheit, Wetterfähigkeit, wetterbedingte Beschwerden, Mortalität, Morbidität, Deutschland

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Literature review about the influence of weather on human health
Author(s) (Family Name, First Name)	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)	2012
Project No. (FKZ)	3711 61 238
No. of Pages	85
Supplementary Notes	
Keywords	Human health, weather sensitivity, weather-related disorders, mortality, morbidity, Germany

Kurzbeschreibung

Das Wetter beeinflusst Wohlbefinden, Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Menschen auf vielfältige Weise. Neben allgemeinen Befindlichkeitsstörungen wetterfühligere Personen werden Wettereinflüsse mit kardiovaskulären Erkrankungen, Atemwegserkrankungen, rheumatischen Beschwerden, Kopfschmerzen und Migräne sowie psychischen Krankheiten in Verbindung gebracht. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse einer systematischen Literaturrecherche zu den Effekten der meteorologischen Parameter Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Wind und Strahlung auf die menschliche Gesundheit präsentiert. Dabei wurden Datenbanken nach aktuellen Forschungsergebnissen der letzten zehn Jahre (2002-2012) durchsucht und mehr als 600 Fachartikel ausgewertet.

Insgesamt gilt der Einfluss des Wetters auf viele Erkrankungen als gut belegt. Sowohl für direkte als auch indirekte Effekte (z. B. über Luftschadstoffe, Allergene) existieren empirische Nachweise und bekannte Wirkmechanismen. In diesem Zusammenhang muss als wichtigster meteorologischer Faktor vor allem der Einfluss der thermischen Bedingungen genannt werden. Mortalität und Auftretenshäufigkeit von vielen Krankheiten sind im Winter deutlich erhöht. Niedrige Temperatur führt zu einem Anstieg von Herzinfarkten und Schlaganfällen, aber auch Atemwegserkrankungen sind in besonderem Ausmaß betroffen. Auf der anderen Seite üben Perioden hoher Temperatur sowie schnelle Temperaturänderungen (in beide Richtungen) ebenfalls ungünstigen Einfluss auf gesundheitliche Probleme aus.

Bei wetterfühligeren Personen, die z. B. unter Kopfschmerzen, rheumatischen Beschwerden oder Störungen des subjektiven Wohlbefindens leiden, ist die Bestimmung eines kausalen biotropen Wirkfaktors teilweise schwieriger. Meteorologische Parameter wirken bei Wetteränderungen oft zusammen, wodurch eine getrennte Bewertung der einzelnen Faktoren schwierig ist. Hinzu kommen individuell ausgeprägte Reaktionen des Organismus auf verschiedene Wetterreize.

Abstract

Weather affects human well-being, health, and productivity in many ways. Weather conditions have been associated with cardiovascular diseases, respiratory diseases, rheumatism, headaches and migraines, mental illnesses, as well as subjective mood disorders. This report presents the results of a systematic literature review on the influence of meteorological parameters such as temperature, pressure, humidity, wind, and solar radiation on human health. Different data bases were searched for ongoing research of the last ten years (2002-2012) and more than 600 peer-reviewed articles were evaluated.

The literature survey demonstrates that the influence of weather conditions on many diseases is well documented. Empirical evidence and proven mechanisms exist for both direct and indirect effects (e.g. via air pollutants or allergens). Overall, the most important meteorological factor is the thermal environment. Mortality and prevalence of many diseases are significantly higher in the winter season. Low temperature leads to an increase in heart attacks, strokes, and respiratory diseases. On the other hand, periods of very high temperature and rapid temperature changes also exert unfavourable influence on health problems.

The determination of a causal biotropic factor regarding headache, rheumatism, and disorders of mental health turned out to be more difficult. Meteorological parameters act together when the weather is changing, making a separate assessment of each factor complicated. Additionally, persons suffering from the fore-mentioned diseases show different individual reactions to weather stimuli.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	12
1 Einführung.....	13
1.1 Motivation.....	13
1.2 Problemstellung	14
1.3 Aufbau des Berichts	15
2 Literaturrecherche	16
3 Wetterauswirkung auf verschiedene Krankheiten.....	18
3.1 Gesamt-Mortalität und –Morbidity	18
3.1.1 Zeitliche Schwankungen	18
3.1.2 Temperatureffekt.....	21
3.1.3 Unterscheidung nach Altersgruppen	24
3.2 Kardiovaskuläre Krankheiten.....	26
3.2.1 Saison- und Temperatureffekte	26
3.2.2 Einfluss des Luftdrucks	31
3.2.3 Einfluss sonstiger Wetterelemente	33
3.2.4 Einfluss der Luftverschmutzung	34
3.3 Atemwegserkrankungen.....	38
3.3.1 COPD	40
3.3.2 Asthma.....	41
3.3.3 Infektionen der Atemwege.....	42
3.3.4 Einfluss der Luftverschmutzung	43
3.4 Migräne und Kopfschmerzen.....	45
3.5 Rheumatische Beschwerden und Schmerzen im Bewegungsapparat.....	49
3.6 Subjektives Wohlbefinden, psychische Erkrankungen und Suizide	54
3.6.1 Subjektives Wohlbefinden	54
3.6.2 Psychische Erkrankungen.....	55
3.6.3 Suizide	57
3.7 Weitere Krankheitsformen.....	61
3.7.1 Diabetes mellitus.....	61
3.7.2 Spasmen, Koliken	61
4 Biotrope Wetterlagen.....	63
5 Zusammenfassung der Wirkung der einzelnen Wetterfaktoren	64

6 Quellenverzeichnis67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Jahresgang der täglichen Mortalitätsrate MR (pro 100.000 Einwohner) in Baden-Württemberg in den Jahren 1968-1997 (Abb. 1 aus Laschewski und Jendritzky (2002)).....	20
Abbildung 2:	Jahresgang kardiovaskulärer Krankenhausaufnahmen (links) und Todesfälle (rechts) in London in den Jahren 1994-2000 (Abb. 1 aus Kovats et al. (2004))	20
Abbildung 3:	Schematische Mortalitätsrate in Abhängigkeit von der mittleren täglichen Lufttemperatur (nach einer Meta-Analyse von Yu et al. (2012)).....	23
Abbildung 4:	Prozentualer Anstieg des Mortalitätsrisikos für Kälteeffekt (links, 1%-Perzentil minus 10%-Perzentil der Temperatur) und Hitzeeffekt (rechts, 99%-Perzentil minus 90%-Perzentil der Temperatur) für verschiedene Krankheitsformen und Altersgruppen (Abb. 4 aus Anderson und Bell (2009)).	25
Abbildung 5:	Anzahl der Studien zu kardiovaskulären Krankheiten mit Fallzahl n > 1000, die signifikante Effekte von Winter, Kälte, Hitze und Temperaturänderungen belegen.....	27
Abbildung 6:	Anzahl der Studien zu Atemwegskrankheiten mit Fallzahl n > 1000, die signifikante Effekte von Winter, Kälte, Hitze und Temperaturänderungen belegen.....	39
Abbildung 7:	Jahresgang der täglichen Suizidanzahl (graue Kreise und gestrichelte Kurve) in Korea in den Jahren 2001-2005 (Abb. 1 aus Kim et al. (2011))	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Umfangreichste 20 Studien zum Jahresgang der Mortalität (10 Studien, oben) und Morbidität (10 Studien, unten) von Erkrankungen.	19
Tabelle 2:	Umfangreichste 20 Studien (Fallzahl n > 0,4 Mio.) zur Wirkung der Temperatur auf die Mortalität (14 Studien, oben) und Morbidität (6 Studien, unten) von Erkrankungen.	22
Tabelle 3:	Kälte- und Hitzeeffekt auf die Mortalität verschiedener Krankheitsformen und Altersgruppen auf Basis der Studien von Analitis et al. (2008) und Baccini et al. (2008) für 15 europäische Städte.	25
Tabelle 4:	Umfangreichste 20 Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Herzinfarkte.	27
Tabelle 5:	Umfangreichste 20 Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Schlaganfälle.	28
Tabelle 6:	Studien mit Fallzahl n > 1000 zur Wirkung von Temperaturänderungen und innertäglichen Temperaturschwankungen (DTR) auf kardiovaskuläre Erkrankungen.	30
Tabelle 7:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf venöse Thromboembolien (Tiefe Venenthrombosen TVT bzw. Lungenembolien LE), Rupturen von abdominalen Aortenaneurysmen (RAAA) und Subarachnoidalblutungen (SAB).	32
Tabelle 8:	Umfangreichste 20 Studien zum Einfluss von Luftverschmutzung durch Feinstaub (PM10 und PM2.5), Schwefeldioxid (SO ₂), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffdioxid (NO ₂) und Ozon (O ₃) auf die Mortalität und Morbidität von Erkrankungen.	35
Tabelle 9:	Studien zum gleichzeitigen Einfluss von Luftverschmutzung und meteorologischen Parametern auf die Gesamtmortalität (oben) sowie die Morbidität und Mortalität von kardiovaskulären Krankheiten (Mitte) und Atemwegserkrankungen (unten).	36
Tabelle 10:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf COPD.	40
Tabelle 11:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Asthma.	42
Tabelle 12:	Prozentualer Anteil von Migräne- und Kopfschmerz-Patienten, die Wetter bzw. Wetteränderungen als Trigger für Kopfschmerz-Attacken nennen.	46
Tabelle 13:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Migräne (Migr.) und Spannungskopfschmerz (SK).	47
Tabelle 14:	Prozentualer Anteil von Patienten mit Rheuma und chronischen Schmerzen im Bewegungsapparat, die bei sich einen	

	Zusammenhang zwischen Wetter und Schmerzempfinden feststellen.	50
Tabelle 15:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf die Symptomatik von rheumatischen Erkrankungen und chronischen Schmerzen im Bewegungsapparat.	51
Tabelle 16:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf die Symptomatik von psychischen Erkrankungen.	56
Tabelle 17:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf die Suizidrate.	59
Tabelle 17:	Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Nierenkoliken.	62

1 Einführung

1.1 Motivation

Der Begriff „Wetter“ definiert den atmosphärischen Zustand an einem bestimmten Ort und Zeitpunkt auf Basis der meteorologischen Parameter Temperatur, Druck, Feuchtigkeit, Wind und Strahlung. Der Einfluss des Wetters auf Lebewesen ist damit allgegenwärtig, selbst im Inneren von Räumen ist der Mensch nicht von Wetterfaktoren, z. B. dem Luftdruck, abgeschnitten. Das Wetter kann beträchtlichen Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen ausüben, so bezeichnen sich nach einer Studie von Höppe et al. (2002) ca. 50 % der Deutschen als wetterfühlig. Dabei umfasst der Begriff „Wetterfühligkeit“ im weiteren Sinne nicht nur das subjektive individuelle Wohlbefinden, sondern beschreibt ebenfalls das Auftreten bzw. die Verschlimmerung von Symptomen bei ernsten gesundheitlichen Erkrankungen. Wetter an sich macht zwar nicht krank, kann aber bei geschwächten Personen der Auslöser für gesundheitliche Probleme sein. Der Einfluss des Wetters kann auch für die Auftretenshäufigkeit schwerer Erkrankungen wie Herzinfarkt oder Schlaganfall bedeutend sein: so ist die Zahl der Todesfälle nicht nur bei extremen Wetterereignissen wie dem Hitzesommer 2003 stark erhöht, sondern auch bei moderaten Temperaturwerten in gewöhnlichen europäischen Wintern ist ein deutlicher Anstieg der Mortalität zu verzeichnen.

Biometeorologische Studien konnten zahlreiche Zusammenhänge zwischen Wetter und Gesundheit belegen. Dazu gehört insbesondere ein gehäuftes Auftreten von gesundheitlichen Beschwerden in bestimmten Jahreszeiten und Wetterlagen. So konnten statistisch signifikante Wettereinflüsse auf Herz- und Gefäßerkrankungen, Atemwegserkrankungen, rheumatische Beschwerden sowie auf Kopfschmerzen und Migräne nachgewiesen werden. Auch eine Verbindung zu psychischen Krankheiten und zu allgemeinen Befindlichkeitsstörungen wurde belegt. Hintergrund hierfür ist, dass für bestimmte meteorologische Faktoren (z. B. die thermischen Bedingungen) ein optimaler Bereich existiert, in dem sich der Körper in einem Zustand geringer Belastung befindet, da die nötige Regelungsaktivität auf ein Minimum reduziert wird. Extreme Werte sowie schnelle Änderungen dieser meteorologischen Umgebungsfaktoren erfordern eine vermehrte Anpassungsleistung des Organismus, wobei es bei anfälligen und geschwächten Personen zur Auslösung von Befindlichkeitsstörungen sowie zur Verschlimmerung von Krankheitssymptomen kommen kann. Dabei liegt das Maximum der biotropen Intensität des Wetters häufig im Bereich der stärksten Wetteränderung (Bucher und Wanka 2007).

Der Klimawandel könnte zukünftig vor allem in den Übergangsjahreszeiten und im Winterhalbjahr zu einer Zunahme von Großwetterlagen mit wechselhafter Witterung führen. Bisher wurde jedoch noch nicht untersucht, ob die hiermit bedingten häufigeren und stärkeren Wetterwechsel eine größere Belastung für den menschlichen Organismus bedeuten.

Ziel des vom Umweltbundesamt geförderten UFOPlan-Projekts „Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland“ (Projektlaufzeit: 2012-2014) ist die Abschätzung der zukünftigen biotropen Belastung der Bevölkerung in Deutschland. Hierfür sollen Zukunftsprojektionen regionaler Klimamodelle in Hinblick auf die Veränderungen der Häufigkeit von biotropen Wetterlagen bzw. von Situationen mit raschen Wetterwechseln analysiert werden. Grundlage für eine solche Abschätzung ist die Zusammenfassung des aktuellen Wissensstandes zum Einfluss von Wetter bzw. Wetteränderungen auf die Befindlichkeit und Gesundheit von Menschen. Aufbauend auf der umweltmedizinischen Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin (DGAUM 2008) soll dieser Wissensstand mit Hilfe einer systematischen Literaturrecherche in medizinischen Datenbanken aktualisiert und im vorliegenden Bericht präsentiert werden.

1.2 Problemstellung

Schon seit vielen Jahrhunderten ist bekannt, dass zahlreiche Krankheiten in bestimmten Jahreszeiten und Wettersituationen gehäuft auftreten. Spätestens seit den 1950er Jahren fokussiert sich auch die medizin-meteorologische Forschung auf diese Aspekte (Becker 1954). Dabei wurden die Einflüsse von meteorologischen Parametern wie Temperatur, Luftdruck, relativer Feuchte, Wind, Niederschlag und Sonnenschein mit gesundheitlichen Aspekten in Verbindung gebracht. Des Weiteren wurden nicht nur die absoluten Werte dieser Faktoren, sondern auch deren Änderungen in die Untersuchungen mit einbezogen.

Der Nachweis von Wettereinflüssen auf die Gesundheit ist aus verschiedenen Gründen sehr komplex:

- Wetter gehört nicht zu den Hauptrisikofaktoren für Erkrankungen, sondern kann lediglich bei geschwächten oder vorgeschädigten Personen ein Mit-Auslöser für das Auftreten oder eine Verschlimmerung von Krankheiten sein.
- Durch epidemiologische Studien beobachtete Zusammenhänge zwischen Wetterbedingungen und gesundheitlichen Problemen stellen zunächst einmal nur Korrelationen dar und belegen keine Kausalität. Dieser Nachweis der Kausalität und der genauen Wirkmechanismen (z. B. in Klimakammern) ist auf Grund der Vielzahl der Risikofaktoren für Krankheiten oft schwierig.
- Sowohl das Wetter als auch der menschliche Körper stellen sehr komplexe Systeme dar, die auf umfangreiche und vielfältige Weise miteinander agieren. Darüber hinaus ändern sich bei Wetterumschwüngen oft mehrere meteorologische Parameter gleichzeitig, was die getrennte Bewertung einzelner Faktoren erschwert.
- Jede Erkrankung hat ihre eigene Pathophysiologie, d. h. es gibt sehr viele Kombinationen von möglichen Wirkungen meteorologischer Parameter auf die verschiedenen Krankheitstypen. Des Weiteren reagieren Menschen individuell auf Umwelt- und somit auch Wettereinflüsse.
- Die Wetter- und Klimawirkung kann in verschiedenen Regionen sehr unterschiedlich sein, d. h. die erzielten Resultate sind nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragbar.

Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse von Studien aus früheren Jahrzehnten in einigen Fällen uneinheitlich, was die Wirkung einzelner Wetterfaktoren betrifft. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, dass die Zahl der erfassten Patienten teilweise gering ist, was oft entweder keinen signifikanten Nachweis eines eher kleinen prozentualen Wirkeffekts erlaubt oder aber die Wahrscheinlichkeit zufälliger Ergebnisse erhöhen kann. Andererseits wurden in den letzten Jahren einige Projekte ins Leben gerufen, die unter Einbeziehung verschiedener Regionen und unter Verwendung sehr großer statistischer Fallzahlen (teilweise > 1 Million Patienten) den saisonalen Verlauf und Wettereinflüsse auf die Gesundheit untersuchen. Ein Beispiel hierfür ist das europäische PHEWE-Projekt (Michelozzi et al. 2007). Dabei konnten für viele Erkrankungen grundlegende Nachweise für einen jahreszeitlichen Verlauf sowie die negativen Effekte von sowohl Kälte als auch extremer Hitze auf die Gesundheit gefunden werden.

Für die Erfassung des Wettereinflusses kann auf verschiedene Art und Weise vorgegangen werden. Neben der univariaten Betrachtung einzelner Parameter wie Temperatur, Luftdruck und Feuchte bietet sich auch die Verwendung bi- oder multivariater Verfahren an. Ein Beispiel dafür sind thermische Indizes, welche neben der Lufttemperatur auch noch die Luftfeuchte, Strahlungstemperatur und den Wind enthalten können. Noch weitergehend ist die Verwendung von durch objektive Verfahren kategorisierten Wetterlagen, um die gesamte Wirkung des Wetters zu erfassen. Auch wenn letzterer Ansatz für den Bereich der Biowettervorhersage gut geeignet ist, basiert der überwiegende Großteil der Studien zum gesundheitlichen Wettereinfluss auf der Untersuchung uni- oder bivariater Parameter. Die Gründe hierfür liegen darin, dass Parameter wie die Temperatur leichter zu erklären und besser

zu vergleichen sind als Biowetterklassen, die für verschiedene Regionen oft sehr uneinheitlich definiert sind.

1.3 Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht beruht auf einer systematischen Literaturrecherche in verschiedenen Datenbanken. Dabei wurden die medizinischen Datenbanken PubMed und DIMDI, die Datenbanken des Umweltbundesamtes OPAC/UFORDAT, der Publikationsserver des Robert-Koch-Instituts und der UB-Katalog der Universität Freiburg nach Beiträgen der Jahre 2002 bis 2012 unter vorgegebenen Einschlusskriterien durchsucht. Eine genaue Beschreibung der Suchstrategie unter Angabe der vorgegebenen medizinischen und meteorologischen Schlüsselbegriffe sowie der Anzahl der gefundenen und relevanten Treffer wird in Kapitel 2 präsentiert.

Prinzipiell lässt sich der Zusammenhang zwischen Wetter und menschlichem Organismus von zwei Seiten betrachten. Zum einen können ausgehend von den verschiedenen Organsystemen des Menschen Einflussfaktoren des Wetters auf diese beschrieben werden. Dies geschieht im Kapitel 3, in dem die Einflüsse von Saison und Wetter auf die Häufigkeit (Morbidität) und Sterblichkeit (Mortalität) von Erkrankungen erörtert werden. Dabei wird zunächst der Fokus auf generelle temporäre Muster sowie die allgemeine Morbidität und Mortalität gelegt, während nachfolgend die Ergebnisse des Wettereinflusses für einzelne Krankheitsbilder wie Herz- und Gefäßerkrankungen, Atemwegserkrankungen, rheumatische Beschwerden, Kopfschmerzen und Migräne, psychische Erkrankungen sowie Diabetes und Nierenkoliken vorgestellt werden. Oft ebenfalls mit Wettereinfluss in Verbindung gebrachte Krankheiten wie Blutungen und Entzündungen werden nicht in separaten Unterkapiteln erörtert, sondern im Rahmen von übergeordneten Krankheitssystemen wie Herz-Gefäß-Krankheiten oder Atemwegserkrankungen behandelt. Während im anschließenden Kapitel 4 Bezug auf Studien zum Zusammenhang zwischen Wetterlagen und gesundheitlichen Beschwerden genommen wird, werden die Wirkungen der einzelnen Wetterelemente im letzten Kapitel 5 zusammengefasst und diskutiert.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche zu wichtigen Effekten und Aussagen werden in Form von Tabellen mitgeliefert, die relevante Artikel zum jeweiligen Thema enthalten. Dabei ist es auf Grund der Vielzahl der Studien zu einzelnen Themenbereichen oft nicht möglich, alle Studien zu diesem Thema aufzuführen. In diesem Fall werden jeweils die wichtigsten relevanten Studien aufgeführt, wobei als Einschlusskriterien repräsentative Fallzahlen und eine Vergleichbarkeit zum mitteleuropäischen Klima der mittleren Breiten gelten.

2 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche wurde in den medizinischen Datenbanken PubMed und DIMDI, den Datenbanken des Umweltbundesamts OPAC/UFORDAT, im Publikationsserver des Robert-Koch-Instituts und im Hochschulkatalog der Universität Freiburg für Dissertationen/Diplomarbeiten durchgeführt:

- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- <http://www.dimdi.de/static/de/index.html>
- <http://doku.uba.de/>
- <http://edoc.rki.de/>
- <http://www.ub.uni-freiburg.de/>

Um Beiträge zum Einfluss des Wetters auf die Gesundheit zu finden, wurde als Suchalgorithmus eine Kombination von meteorologischen und medizinischen Suchbegriffen verwendet, die jeweils untereinander mit „oder“ verbunden und mit dem anderen Themenbereich mit „und“ gekoppelt sind. Damit sieht der Suchalgorithmus z. B. für die englischsprachige Datenbank PubMed wie folgt aus:

("weather" OR "climate" OR "climatic" OR "meteorology" OR "meteorological" OR "biometeorology" OR "biometeorological" OR "air temperature" OR "atmospheric temperature" OR "ambient temperature" OR "outdoor temperature" OR "atmospheric pressure" OR "barometric pressure" OR "humidity")

AND

("cardiovascular" OR "cerebrovascular" OR "coronary" OR "heart disease" OR "myocardial" OR "stroke" OR "thrombosis" OR "bleeding" OR "angina pectoris" OR "insufficiency" OR "thromboembolism" OR "embolic" OR "embolism" OR "ischemic" OR "ischemia" OR "hypertensive" OR "hypertension" OR "hypotensive" OR "hypotension" OR "blood pressure" OR "circulatory" OR "aortic dissection" OR "aneurysm" OR "arthritis" OR "osteoarthritis" OR "rheumat" OR "pain" OR "fibromyalgia" OR "stiffness" OR "asthma*" OR "COPD" OR "bronchitis" OR "respiratory disease" OR "headache" OR "migraine" OR "bipolar disorder" OR "suicide" OR "anxiety" OR "sleep" OR "depression" OR "diabetes mellitus" OR "spasms" OR "colics")*

Für die deutschsprachigen Datenbanken wurden jeweils auch die deutschen Suchbegriffe verwendet, wobei bei den Ergebnissen der englischsprachige Anteil bei weitem überwiegt. Um die Suche sinnvoll zu begrenzen, wurden als Filter der Zeitraum der letzten zehn Jahre (2002-2012) sowie eine Beschränkung auf „Menschen“ eingestellt. Die elektronische Suche in den Datenbanken ergab 3092 Treffer, wobei mit 2942 Treffern der überwiegende Anteil auf PubMed entfällt. Hierbei muss erwähnt werden, dass die umfangreichste Subdatenbank Medline sowohl in PubMed als auch DIMDI enthalten ist. Aus diesem Grund wurde Medline zur Vermeidung unnötiger Duplikate in DIMDI ausgeschlossen. Die Suche in den Datenbanken des Umweltbundesamts ergab nur sehr wenige Treffer, während auf dem Publikationsserver des Robert-Koch-Instituts und im UB-Katalog der Universität Freiburg für Diplomarbeiten/Dissertationen überhaupt kein passendes Ergebnis gefunden wurde. Letzteres ist durch die geringe Anzahl meteorologischer Themen sowie die fehlende Veröffentlichungspflicht vieler Abschlussarbeiten zu erklären.

Nach der Prüfung der Treffer auf Relevanz und dem Einbeziehen weiterer relevanter Artikel aus den Referenzangaben der Resultate ergeben sich letztendlich mehr als 600 relevante Studien zum Thema. Dabei sind die Herz- und Gefäßerkrankungen mit ca. 350 Artikeln klar in der Mehrzahl, gefolgt von Atemwegserkrankungen (ca. 100 Artikel), psychischen Erkrankungen und Suiziden (ca. 60 Artikel), Migräne und Kopfschmerzen (ca. 50 Artikel), rheumatischen Beschwerden (ca. 50 Artikel) sowie Diabetes (ca. 10 Artikel) und Nierenkoliken (ca. 10 Artikel).

Bei einer Aufgliederung nach Herkunft stammt etwa die Hälfte der Untersuchungen aus Europa (ca. 330 Artikel), während die Anzahl der deutschen bzw. Deutschland beinhaltenden Untersuchungen bei ca. 70 Studien liegt.

3 Wetterauswirkung auf verschiedene Krankheiten

3.1 Gesamt-Mortalität und –Morbidity

3.1.1 Zeitliche Schwankungen

In zahlreichen epidemiologischen Studien konnte basierend auf großen Datensätzen ein jahreszeitlicher Rhythmus von Erkrankungen nachgewiesen werden. Dabei liegt das Maximum von Mortalität und Morbidity bei den meisten Krankheiten im Winter und das Minimum im Sommer (siehe Tab. 1). In einer der umfangreichsten Studien zu diesem Thema werden von Nakaji et al. (2004) die monatlichen Todesraten für 30 Jahre in Japan untersucht (Fallzahl > 22 Millionen). Hierbei ist ein deutlicher Jahresgang zu beobachten, bei dem im Winter die Gesamtmortalität um 14 % gegenüber dem durchschnittlichen Jahreswert erhöht ist. Während Herzerkrankungen mit +28 % sowie Atemwegserkrankungen mit +36 % am meisten zu dieser Schwankung beitragen, liegen z. B. bei Krebserkrankungen kaum jahreszeitliche Variationen vor. Bei psychischen Krankheiten kann der Jahresgang dagegen komplett anders aussehen, so erreicht hier z. B. die häufig mit psychischen Krankheiten in Verbindung stehende Suizidrate ihr Maximum im Frühsommer und ihr Minimum im Winter.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich für Europa, so beträgt hier die Übersterblichkeit im Winter (Unterschied in der Mortalität zwischen Winter und dem Jahreserwartungswert) im Mittel ca. 16 % (Healy 2003). In den meisten europäischen Ländern wird etwa die Hälfte der Übersterblichkeit im Winter den Herz- und Gefäßkrankheiten und ein weiteres Viertel den Atemwegserkrankungen zugerechnet (Keatinge 2002, Nayha 2005). Während Influenza-Epidemien in früheren Jahrzehnten bedeutende Todeszahlen verursachen konnten, ist ihr Anteil deutlich zurück gegangen und macht heute nur noch ca. 5 % der Übersterblichkeit im Winter aus (Keatinge 2002). In einer Studie vergleicht Healy (2003) die Sterblichkeit in 14 europäischen Ländern und stellt dabei fest, dass die saisonalen Schwankungen in den Ländern mit milden Wintern teilweise deutlich höher liegen als in nördlichen Ländern mit kalten Wintern (z. B. Portugal 28 %, Finnland 10 %). Dieses scheinbar paradoxe Ergebnis ist neben wärmerer Kleidung im Freien vor allem auf intensiveres Heizen sowie eine bessere Häuserisolierung und damit einhergehender höherer Innentemperatur in den nördlichen Ländern zurückzuführen (Donaldson 1997).

In einer Studie der Mortalität in Baden-Württemberg von 1968-1997 mit ca. 2,8 Millionen Fällen beobachten Laschewski und Jendritzky (2002) ebenfalls eine signifikante Saisonalität mit einem Maximum im Februar und einem Minimum im August (siehe Abb. 1). Der Unterschied in der täglichen Mortalitätsrate zwischen den drei Wintermonaten Dezember bis Februar und dem Jahresdurchschnitt beträgt ca. 8 %, was gut mit der von Healy (2003) für Deutschland angegebenen Übersterblichkeit im Winter von 11 % übereinstimmt.

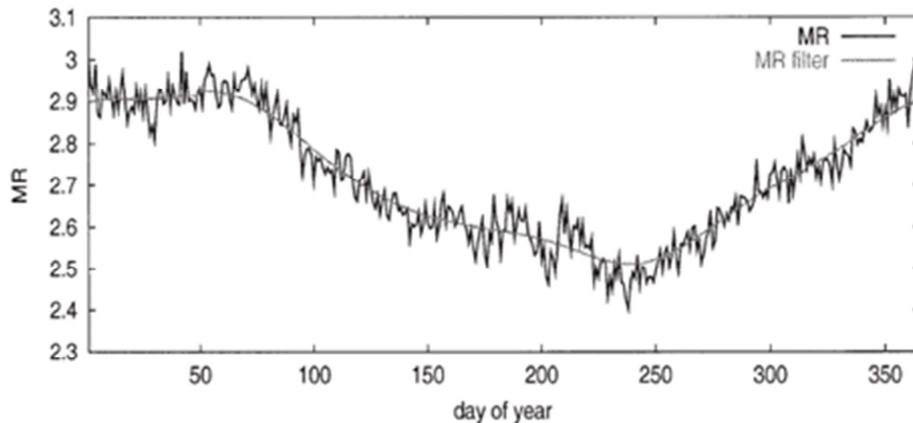
Bei der Betrachtung von Studien zur Morbidity fällt auf, dass hier die jahreszeitlichen Schwankungen wesentlich schwächer ausgeprägt sind (vgl. Tab. 1, untere Hälfte). Während alle Mortalitätsstudien eine signifikante Saisonalität mit einem Maximum der Todesfälle im Winter beobachten, ist dieser Zusammenhang bei Untersuchungen zur Morbidity nur teilweise zu beobachten. Einige Studien berichten auch von einem gehäuften Auftreten im Frühjahr (Kriszbacher et al. 2009) oder können keine signifikante Saisonalität finden (Cowperthwaite und Burnett 2011).

Tabelle 1: Umfangreichste 20 Studien zum Jahresgang der Mortalität (10 Studien, oben) und Morbidität (10 Studien, unten) von Erkrankungen.

Referenz	Land	Fallzahl	Krankheit	Max	Ergebnis
Nakaji et al. (2004)	Japan, 1970-1999	22 Mio.	gesamt, KVK, AK	W	sign. Wintereffekt: gesamt +14% , KVK +28% , AK +36%
Healy (2003)	14 Länder, 1988-1997	10 Mio.	gesamt	W	sign. Wintereffekt: Europa +16% (Finnland +10% bis Portugal +28%), Deutschland +11%
Laschewski und Jendritzky (2002)	Deutschland, 1968-1997	2,8 Mio.	gesamt	W	sign. Wintereffekt in Baden-Württemberg: +8%
Revich und Shaposhnikov (2008)	Moskau, 2000-2006	0,7 Mio.	gesamt, KVK, AK	W	sign. Wintereffekt: bei AK am höchsten, gefolgt von KVK u. gesamt
Keatinge (2002)	Großbritannien, k.A.	0,5 Mio.	gesamt	W	sign. Wintereffekt: jährlich 40.000 kältebeeinflusste und 1.000 hitzebeeinflusste Todesfälle in GB
Nayha (2005)	Finnland, 1961-1997	0,5 Mio.	gesamt, KVK, AK	W	sign. Wintereffekt: KVK +16% , AK +45%
Barnett et al. (2008)	Australien, 1997-2004	0,2 Mio.	KVK	W	sign. Wintereffekt: +13%
Crawford et al. (2003)	Nordirland, 1979-1998	68.000	KVK	W	sign. Wintereffekt bei Herzinfarkten, im langjährigen Trend abnehmend
Rocklov und Forsberg (2008)	Stockholm, 1998-2003	65.000	gesamt	W	sign. Wintereffekt: +10%
Goncalves et al. (2007)	Sao Paulo, 1996-2000	46.000	KVK	W	sign. Wintereffekt
Kovats et al. (2004)	London, 1994-2000	0,8 Mio.	gesamt, KVK, AK	ns	Wintereffekt nur bei AK, nicht bei gesamt und KVK (für Mortalität jeweils sign. Wintereffekt)
Kleimenova et al. (2007)	Moskau, 1979-1981	0,3 Mio.	KVK	W	sign. Wintereffekt bei KVK (aber für Mortalität stärker)
Spencer et al. (1998)	USA, 1994-1996	0,3 Mio.	KVK	W	sign. Wintereffekt bei Herzinfarkten: +26%
Cowperthwaite und Burnett (2011)	USA, 2004-2008	0,2 Mio.	KVK	ns	keine sign. Saisonalität von Schlaganfällen
Stein et al. (2005)	USA, 1980-1998	0,2 Mio.	KVK	ns	keine sign. Saisonalität von Lungenembolien
Lee et al. (2011)	Taiwan, 1998-2003	0,2 Mio.	KVK	ns	keine sign. Saisonalität von ischämischen Schlaganfällen
Boulay et al. (2001)	Frankreich, 1995-1998	0,1 Mio.	KVK	W	sign. Wintereffekt bei Lungenembolien und Venenthrombosen
Goggins et al. (2012)	Hongkong, 1999-2006	0,1 Mio.	KVK	W	sign. Wintereffekt bei Schlaganfällen
Kriszbacher et al. (2009)	Ungarn, 2000-2004	82.000	KVK	F	sign. Saisonalität von Herzinfarkten mit Maximum der Fälle im Frühjahr
Oberg et al. (2000)	USA, 1995-1996	73.000	KVK	F	sign. Saisonalität von Schlaganfällen mit Maximum der Fälle im Frühjahr

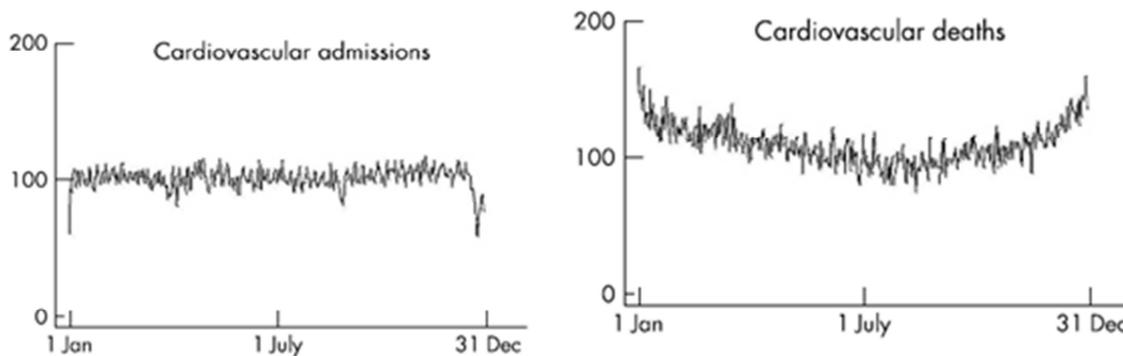
KVK: kardiovaskuläre Krankheiten, AK: Atemwegskrankheiten, Max: Jahreszeit mit sign. Häufung der Erkrankungen, W: Winter, F: Frühjahr, ns: nicht-signifikant, k.A.: keine Angabe. Signifikante Ergebnisse jeweils fett gedruckt. Als Wintereffekt wird jeweils die Differenz zwischen Winter und Gesamtjahr bezeichnet.

Abbildung 1: Jahresgang der täglichen Mortalitätsrate MR (pro 100.000 Einwohner) in Baden-Württemberg in den Jahren 1968-1997 (Abb. 1 aus Laschewski und Jendritzky (2002))



Diese Unterschiede zwischen Mortalität und Morbidität sind vor allem auf den Bereich der kardiovaskulären Krankheiten zurückzuführen, wie sich z. B. in der Studie von Kovats et al. (2004) zeigt. Hier steigt im Winter bei Atemwegserkrankungen sowohl die Zahl der Krankenhausaufnahmen als auch die Anzahl der Todesfälle. Im Gegensatz dazu ist bei den kardiovaskulären Erkrankungen nur ein Anstieg der Mortalitätskurve zu erkennen, während bei den Krankenhausaufnahmen keinerlei saisonales Muster zu erkennen ist (Abb. 2).

Abbildung 2: Jahresgang kardiovaskulärer Krankenhausaufnahmen (links) und Todesfälle (rechts) in London in den Jahren 1994-2000 (Abb. 1 aus Kovats et al. (2004))



Auch bei Hitzewellen steigt die Morbidität generell wesentlich schwächer 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.

3.1.2 Temperatureffekt

Der in verschiedenen Regionen der mittleren Breiten beobachtete saisonale Anstieg der Mortalität im Winter legt einen Zusammenhang mit dem ungünstigen Einfluss von Kälte nahe. Andererseits können trotz des generellen Minimums der Mortalität im Sommer auch sehr warme Wetterphasen zu vermehrtem Auftreten von Erkrankungen und Beschwerden führen. So steigt bei Hitzewellen die Mortalität stark an, z. B. beträgt die Zahl der zusätzlichen hitzebedingten Todesfälle während des Rekordsommers 2003 in Europa etwa 52000 (Larsen 2006).

Ein Ansatz für die Überprüfung des Einflusses von Kälte und Wärme ist die Korrelation von täglichen Mortalitäts- und Morbiditätsraten mit täglichen Temperaturwerten. Bei diesen Berechnungen ist es wichtig, zeitliche Variationen von Saison, Wochentag und langjährigem Trend sowie Störeinflüsse, z. B. durch Luftverschmutzung oder Grippewellen, zu berücksichtigen. Ferner gibt es mehrere Möglichkeiten als Maß für die Erfassung der thermischen Belastung, z. B. tägliche Maximal-, Minimal- oder Mittelwerte der Lufttemperatur, die maximale innertägliche Schwankung oder der Temperaturunterschied zum Vortag. Darüber hinaus wird häufig auch das Temperatur-Feuchte-Milieu für die gemeinsame Erfassung von Wärme und Feuchte betrachtet. Dieses stellt ein genaueres Maß für die Wärmebelastung dar, da viele Menschen Hitze in Kombination mit Schwüle als wesentlich belastender empfinden (Michelozzi et al. 2009). Ein weiteres Beispiel sind thermische Indizes wie die Gefühlte Temperatur, welche neben Lufttemperatur und Feuchte noch den Wind und die mittlere Strahlungstemperatur enthält. In vielen Studien ist dennoch die Verwendung der mittleren täglichen Lufttemperatur verbreitet, da sie sich als einfaches, aber belastbares Maß herausgestellt hat (Barnett et al. 2010, Yu et al. 2011).

Unter Verwendung großer Datenmengen konnte in den letzten Jahren von zahlreichen Studien belegt werden, dass sowohl tiefe als auch hohe Lufttemperaturwerte einen ungünstigen Einfluss auf die Mortalitätsrate ausüben. Aktuelle Review-Artikel bestätigen diesen Zusammenhang für viele verschiedene Regionen und Klimate (Yu et al. 2012, Astrom et al. 2011). In Tab. 2 wurden die wichtigsten Studien der letzten Jahre zum Temperatureinfluss auf die Gesundheit zusammengefasst. Typisches Merkmal der Temperatur-Mortalitätskurve ist eine u- oder v-Form, mit einem Minimum der Mortalität bei einer bestimmten thermischen Komforttemperatur der geringsten Belastung des Organismus und einem etwa linearen Anstieg der Mortalität zu beiden Seiten der Kurve. Dabei variiert diese thermische Komfortzone für verschiedene Regionen und Klimate und liegt in Europa meistens zwischen etwa 14°C in Helsinki und 24°C in Athen (Keatinge et al. 2000). Für Baden-Württemberg wird von Keatinge et al. (2000) von einer mittleren täglichen Lufttemperatur der geringsten Mortalität im Bereich von etwa 20°C ausgegangen.

Generell erfolgt der Anstieg der Mortalität auf beiden Seiten der Kurve zu weiten Teilen linear mit fallender bzw. steigender Temperatur, bis der Zusammenhang bei extremer Kälte bzw. Hitze nicht-linear wird. Dabei berichten viele Studien, dass der Anstieg der Mortalität mit fallender Temperatur wesentlich flacher verläuft als mit steigender Temperatur. Eine Metaanalyse von Yu et al. (2012) auf Basis von 15 Studien geht von einem prozentualen Anstieg des Mortalitätsrisikos von 1-2 % pro Grad Celsius Temperaturänderung auf der kalten Seite und von einem Anstieg von 2-5 % pro Grad Celsius Temperaturänderung auf der warmen Seite aus (vgl. Abb. 3). Eine Vergleichsstudie für sieben europäische Regionen (Keatinge et al. 2000) berichtet Kälteeffekte von 0,5 % (Finnland, Deutschland) bis zu 1,6 % (Griechenland) pro Grad Temperaturabnahme. Dieses Muster des stärkeren Kälteeffekts in wärmeren Klimaten wird von weiteren Vergleichsstudien bestätigt (z. B. Barnett et al. (2005a) zum Auftreten von Herzinfarkten in 21 Ländern) und ist auf unterschiedliche Verhaltensweisen und Schutzmechanismen vor Kälte zurückzuführen (Donaldson 1997). Als Hitzeeffekte für die gleichen sieben europäischen Regionen wurden Anstiege der Mortalität zwischen 0,8 % (Nord-Italien) über 1,4 % (Deutschland) bis zu 6,2 % (Nordfinnland) pro Grad Temperaturzunahme angegeben (Keatinge et al. 2000).

Tabelle 2: Umfangreichste 20 Studien (Fallzahl n > 0,4 Mio.) zur Wirkung der Temperatur auf die Mortalität (14 Studien, oben) und Morbidität (6 Studien, unten) von Erkrankungen.

Referenz	Land	Fallzahl	Krankheit	Ergebnis
Yu et al. (2012)	weltweit, 1973-2006	13 Mio.	gesamt	Metaanalyse von 15 Studien: Kälteeffekt pro 1°C unter th. Opt.: +1-2% , Hitzeeffekt pro +1°C über th. Opt.: +2-5%
Anderson und Bell (2009)	USA, 1987-2000	9 Mio.	gesamt, KVK, AK	Kälteeffekt (1%-10%-Perz.): gesamt +4,2 % , KVK +5,5% , AK +7,5% , Hitze-Effekt (99%-90%-Perz.): gesamt +3,0% , KVK +4,5% , AK +5,5%
Barnett et al. (2012)	USA, 1987-2000	8,3 Mio.	gesamt, KVK, AK	Kälteeffekt (<1%-Perz.): gesamt +0,5 %, KVK +0,7%, AK +1,0%, Hitzeeffekt (>99%-Perz.): gesamt +1,0% , KVK +2,5% , AK +1,0%
Medina-Ramon et al. (2006)	USA, 1989-2000	2,6 Mio.	KVK	Kälteeffekt (<1%-Perz.): +5,3% , Hitzeeffekt (>99%-Perz.): +1,0%
Chung et al. (2009)	Ostasien, 1972-2006	2,2 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt pro 1°C AT über th. Opt.: gesamt +2,6% , KVK +4,5% , AK +4,8%
Kysely et al. (2009)	Tschechien, 1986-2006	1,2 Mio.	KVK	sign. Kälteeffekt bis zu +6% bei Kältewellen
Braga et al. (2002)	USA, 1986-1993	1,1 Mio.	KVK, AK	sign. Kälte- und Hitzeeffekte bei KVK und AK v. a. in kühleren Klimaten
Analitis et al. (2008)	Europa, 1990-2000	1,0 Mio.	gesamt, KVK, AK	Kälteeffekt pro 1°C ATmin unter th. Opt.: gesamt +1,35 % , KVK +1,62% , AK +3,30%
Baccini et al. (2008)	Europa, 1990-2000	1,0 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt pro 1°C ATmax über th. Opt.: gesamt +2,48% , KVK +3,07% , AK +6,40%
McMichael et al. (2008)	12 int. Städte, 1989-2001	1,0 Mio.	gesamt	Kälteeffekt pro 1°C unter th. Opt.: +0,7% , Hitzeeffekt pro +1°C über th. Opt.: +3,1% , (jeweils für die 3 eur. Städte)
Revich und Shaposhnikov (2008)	Moskau, 2000-2006	0,7 Mio.	gesamt, KVK, AK	Kälteeffekt pro 1°C unter th. Opt.: gesamt +0,5% , KVK +0,6% , AK +1,5% , Hitzeeffekt pro +1°C über th. Opt.: gesamt +2,8% , KVK +3,1% , AK +8,7%
Carder et al. (2005)	Schottland, 1981-2001	0,5 Mio.	gesamt, KVK, AK	Kälteeffekt pro 1°C unter 11°C: gesamt +2,9 % , KVK +3,4% , AK +4,8% . Kein Hitzeeffekt in Schottland
Basu und Malig (2011)	Kalifornien, 1999-2006	0,5 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt pro 1°C AT: gesamt +0,8% , KVK +0,8% , AK +0,8%
Keatinge et al. (2000)	7 europ. Regionen, 1988-1992	0,4 Mio.	gesamt	Kälteeffekt pro 1°C unter th. Opt.: +0,8 % (Deutschland +0,5%), Hitzeeffekt pro +1°C über th. Opt.: +2,5% (Deutschland +1,4%). Wärmere Regionen jeweils stärkere Effekte.
Michelozzi et al. (2009)	Europa, 1990-2001	2,9 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt pro +1°C ATmax: gesamt + 0,1%, KVK: -0,7%, AK +1,7%
Ostro et al. (2010)	Kalifornien, 1999-2005	1,7 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt pro +1°C AT: gesamt +0,32% , KVK: +0,25% , AK +0,46%
Schwartz et al. (2004)	USA, 1986-1994	1,3 Mio.	KVK	sign. Hitzeeffekt bis zu +10% bei Hitzewellen
Green et al. (2010)	Kalifornien, 1999-2005	0,8 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt pro 1°C AT: gesamt +0,1%, KVK -0,0%, AK +0,4%
Kovats et al. (2004)	London, 1994-2000	0,8 Mio.	gesamt, KVK, AK	Hitzeeffekt bei Morbidität in London nur für AK, nicht für gesamt und KVK
Nitschke et al. (2007)	Australien, 1993-2006	0,7 Mio.	gesamt, KVK, AK	kein sign. Hitzeeffekt während Hitzewellen: gesamt +7%, KVK -1%, AK -3%

KVK: kardiovaskuläre Krankheiten, AK: Atemwegskrankheiten, AT: Temperatur-Feuchte-Index „Apparent Temperature“, th. Opt.: thermisches Optimum. Signifikante Ergebnisse jeweils fett gedruckt.

Trotz der Beobachtung eines stärkeren prozentualen Hitzeeffekts im Vergleich zum Kälteeffekt sind jedoch in Europa die Auswirkungen des ersteren deutlich schwächer, da wesentlich weniger Tage im Jahr oberhalb als unterhalb der thermischen Komforttemperatur liegen. Aus diesem Grund ist in allen europäischen Ländern die hitzebedingte im Vergleich zur kältebedingten Mortalität deutlich gerin-

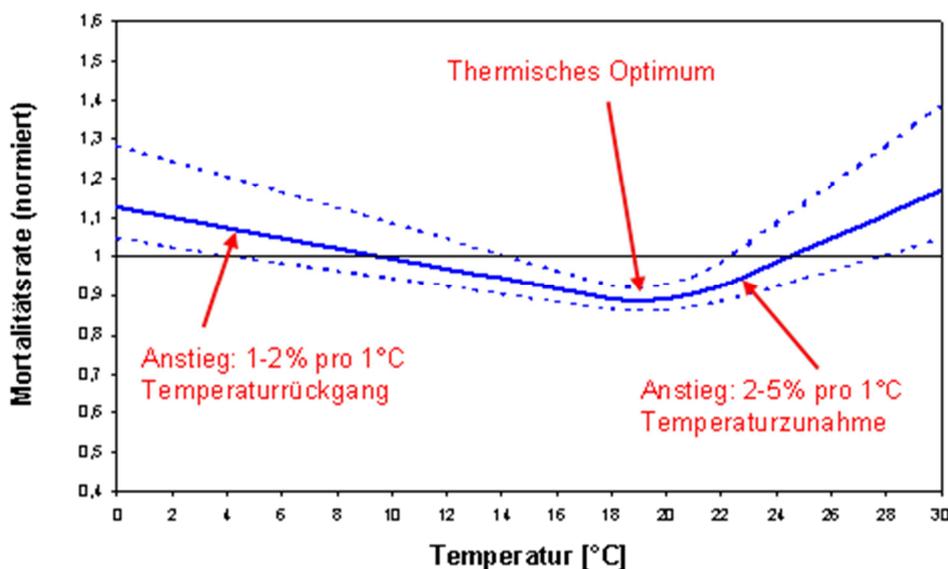
ger, z. B. stehen in Großbritannien 1000 hitzebeeinflusste Todesfälle 40000 kältebeeinflussten Todesfällen gegenüber (Keatinge 2002).

Ein weiterer Unterschied zwischen Kälte- und Wärmeeffekt liegt in der Direktheit und Dauer der Wirkung. Während der Hitzeeffekt ein sehr direkter ist und noch am gleichen Tag oder Folgetag einsetzt, ist bei Kälte eine Verzögerung der maximalen Wirkung von einigen Tagen bis zu mehreren Wochen zu beobachten (Anderson und Bell 2009, Yu et al. 2012). Im Gegensatz dazu nimmt der Hitzeeffekt schon nach einigen Tagen stark ab und wird später sogar oft negativ. Dieses Phänomen wird häufig als „Harvesting“-Effekt bezeichnet und beschreibt den hitzebedingten vorzeitigen Tod von anfälligen und geschwächten Menschen, von denen angenommen wird, dass sie vermutlich ohnehin bald gestorben wären. Der „Harvesting“-Effekt ist von Hitzewelle zu Hitzewelle sehr unterschiedlich ausgeprägt, im Mittel beträgt das Ausmaß der Vorverlegung der Todesfälle ca. 30 % (Koppe 2005).

Auch bei der Abschätzung des Temperatureffekts auf die menschliche Gesundheit ist wieder eine Diskrepanz zwischen Morbidität (auf Basis von Krankenhausaufnahmen) und Mortalität zu beobachten. Während die Einflüsse von Kälte und Wärme bei der Sterblichkeit von quasi allen untersuchten Studien bestätigt werden, sind diese Zusammenhänge bei der Morbidität etwas schwächer und teilweise nicht signifikant (siehe Tab. 2, unterer Teil).

Bei einer weiter gefassten Betrachtung der untersuchten 45 Morbiditätsartikel mit einer Fallzahl $n > 1000$ beobachten aber immerhin noch elf von 16 Studien den Hitzeeffekt und 23 von 35 Studien den Kälteeffekt. Bei einigen der Artikel mit nicht-signifikanter genereller Morbidität werden darüber hinaus signifikante Zusammenhänge für einzelne Krankheitstypen z. B. Atemwegserkrankungen genannt. Ein ähnliches Ergebnis für kardiovaskuläre Erkrankungen findet sich in einem Übersichtsartikel über Herzinfarkte von Bhaskaran et al. (2009), in dem sieben von 13 Studien den Hitzeeffekt und acht von zwölf Studien den Kälteeffekt bestätigen. Die Review-Artikel von Astrom et al. (2011) und Conlon et al. (2011) bestätigen ebenfalls die gute Dokumentation des Temperatur-Effekts auf die Mortalität, während sie bei der Morbidität noch Forschungsbedarf sehen.

Abbildung 3: Schematische Mortalitätsrate in Abhängigkeit von der mittleren täglichen Lufttemperatur (nach einer Meta-Analyse von Yu et al. (2012))



3.1.3 Unterscheidung nach Altersgruppen

Von vielen Krankheiten sind ältere Menschen in besonderem Ausmaß betroffen. So treten z. B. schwere Krankheitsverläufe bei älteren Patienten häufiger auf, da die körperliche Konstitution bei

diesen oft schwächer ist als bei jüngeren Personen. Auch die Mortalität in der Altersgruppe über 65 Jahren ist deutlich erhöht, was insbesondere für kardiovaskuläre Krankheiten und einige Atemwegserkrankungen wie Lungenentzündungen und Grippe gilt. Aus diesem Grund ist es von großem Interesse zu untersuchen, ob Einflüsse meteorologischer Faktoren (v. a. der Temperatur) auf die menschliche Gesundheit in dieser Altersgruppe anders oder besonders stark ausfallen.

Allerdings ist die Altersstruktur je nach Krankheitstyp sehr verschieden. Während z. B. bei kardiovaskulären Krankheiten ältere Personen besonders häufig betroffen sind, kann die Altersverteilung bei anderen Krankheitsformen (z. B. psychische Erkrankungen, Migräne und Kopfschmerzen, Nierenkoliken) komplett anders aussehen. Auch innerhalb von Krankheitsgruppen wie den Atemwegserkrankungen gibt es Unterschiede: so sind von Lungenentzündungen vor allem Ältere betroffen, während die chronisch obstruktive Bronchitis schon in mittlerem Alter auftritt und Asthma in jeder Altersgruppe vorkommen kann. Daher und weil für viele Subtypen von Krankheiten nicht ausreichend viele diesbezügliche Studien vorliegen, wird im Folgenden die Unterscheidung der meteorologischen Gesundheitswirkung nach Altersgruppen hauptsächlich qualitativ diskutiert. Die Studien mit der größten Datenbasis konzentrieren sich dabei auf den Temperatureffekt und auf die Gesamtheit von Erkrankungen sowie kardiovaskuläre und Atemwegskrankheiten.

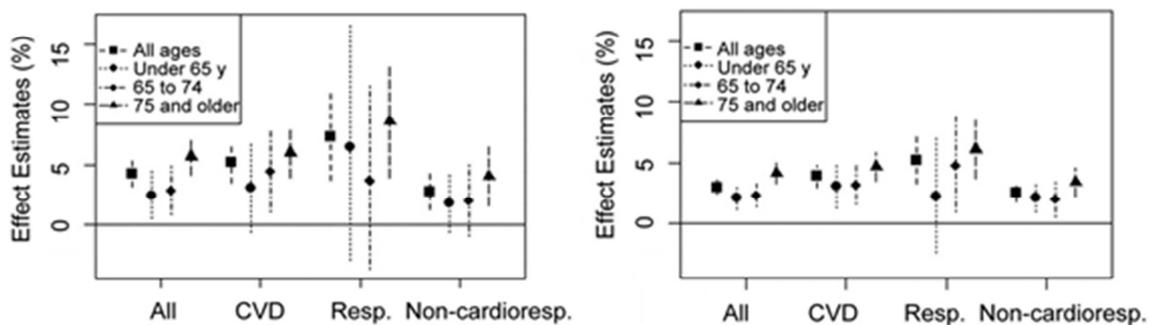
Eine Reihe von Studien kann dabei belegen, dass die Temperatur einen größeren Einfluss auf die Mortalität älterer Personen ausübt als auf die Sterblichkeit jüngerer Personen (Analitis et al. 2008, Anderson und Bell 2009, Baccini et al. 2008, Barnett et al. 2012, Carder et al. 2005, Medina-Ramon et al. 2006, Revich und Shaposhnikov 2008, Koppe 2005). Ein Beispiel hierfür ist die Untersuchung von Anderson und Bell (2009), die bei älteren Patienten erhöhte Kälte- und Hitzeeffekte auf die Mortalität in den USA nachweisen (Abb. 4). Dabei sind bei Personen über 75 Jahren sowohl die Gesamtmortalität als auch die Mortalität von kardiovaskulären und Atemwegskrankheiten signifikant erhöht. Ähnliche Resultate ergeben sich für Europa. So zeigen Analitis et al. (2008) in einer Untersuchung auf Basis von Datensätzen aus 15 europäischen Städten, dass der Effekt niedriger Temperatur bei über 75-Jährigen stärker als bei jüngeren Patienten ausgeprägt ist (Tab. 3, oben). Vergleichbares gilt für den Effekt hoher Temperatur (vgl. Tab. 3, unten), von dem Personen über 75 Jahren ebenfalls deutlich stärker betroffen sind (Baccini et al. 2008). Nur einzelne Studien zeigen im Gegensatz zu den bisher genannten Ergebnissen eine stärkere Anfälligkeit jüngerer Personen für Temperatureffekte. Dies ist allerdings meist auf bestimmte äußere Umstände zurückzuführen, so begründen z. B. Kysely et al. (2009) die höhere kardiovaskuläre Mortalität von Männern mittleren Alters bei niedriger Temperatur mit überproportional häufigerer Berufstätigkeit im Freien.

Auch bei der Morbidität von Krankheiten ergeben sich deutliche Unterschiede der Temperaturwirkung zwischen verschiedenen Altersklassen. In der Mehrzahl der Fälle sind Temperatureffekte bei Älteren stärker ausgeprägt: so zeigen z. B. Michelozzi et al. (2009), dass Atemwegskrankheiten pro Grad Temperaturanstieg über dem thermischen Optimum bei Personen über 75 Jahren um 3,8 % zunehmen, während der Anstieg im Durchschnitt der Altersklassen nur 1,7 % beträgt. Ähnliche Resultate sind auch in weiteren Studien zu beobachten (Kovats et al. 2004). Kardiovaskuläre Krankheiten sind von diesem Effekt ebenfalls betroffen: so ist z. B. der Hitzeeffekt auf Schlaganfälle bei Personen über 65 Jahren besonders deutlich ausgeprägt (Green et al. 2010).

Insgesamt zeigt der Großteil der Studien, dass ältere Menschen stärker von Temperatureffekten betroffen sind als jüngere Patienten; dies gilt insbesondere für die Mortalität von kardiovaskulären Krankheiten und Atemwegserkrankungen. Eine Erklärung für diese Effekte ist zum einen in der schlechteren Thermoregulation des Organismus zu sehen. Ältere Personen können die Körperkerntemperatur schwerer konstant halten und weisen eine schlechtere Durchblutung der Haut sowie eine reduzierte Funktionalität der Schweißdrüsen auf (Yu et al. 2012). Zum anderen sind Herz und Gefäßsystem teilweise schon geschädigt und Risikofaktoren wie Bluthochdruck und Arteriosklerose vorhanden, was die erhöhte Häufigkeit kardiovaskulärer Probleme erklärt. Ebenfalls ist das Immun-

system im Alter anfälliger, so dass leichter Infektionskrankheiten wie Lungenentzündungen auftreten können (Walford 1969). Aus all diesen Gründen zeigen Wettereinflüsse im Mittel eine häufigere und schwerwiegendere Wirkung auf diesen Personenkreis. Da in der Zukunft der Anteil der älteren Personen weiter steigen wird, kann damit einhergehend ebenfalls eine wachsende Bedeutung des Wettereinflusses auf die menschliche Gesundheit vermutet werden.

Abbildung 4: Prozentualer Anstieg des Mortalitätsrisikos für Kälteeffekt (links, 1%-Perzentil minus 10%-Perzentil der Temperatur) und Hitzeeffekt (rechts, 99%-Perzentil minus 90%-Perzentil der Temperatur) für verschiedene Krankheitsformen und Altersgruppen (Abb. 4 aus Anderson und Bell (2009)).



All: Alle Krankheiten, CVD: kardiovaskuläre Krankheiten, Resp.: Atemwegskrankheiten, Non-cardioresp.: alle Krankheiten außer kardiovaskulären und Atemwegskrankheiten.

Tabelle 3: Kälte- und Hitzeeffekt auf die Mortalität verschiedener Krankheitsformen und Altersgruppen auf Basis der Studien von Analitis et al. (2008) und Baccini et al. (2008) für 15 europäische Städte.

Prozentualer Anstieg des Mortalitätsrisikos pro Grad Temperaturabnahme unter dem thermischen Optimum (Analitis et al. 2008):				
	15-64 Jahre	65-74 Jahre	über 75 Jahre	jedes Alter
Gesamtmortalität	0,65	1,02	1,67	1,35
KVK-Mortalität	0,82	1,38	1,83	1,62
AK-Mortalität	2,76	3,53	3,34	3,30
Prozentualer Anstieg des Mortalitätsrisikos pro Grad Temperaturzunahme über dem thermischen Optimum (Baccini et al. 2008)				
	15-64 Jahre	65-74 Jahre	über 75 Jahre	jedes Alter
Gesamtmortalität	1,12	1,65	3,15	2,48
KVK-Mortalität	0,81	1,50	3,61	3,07
AK-Mortalität	2,28	3,90	7,36	6,40

KVK: kardiovaskuläre Krankheiten, AK: Atemwegskrankheiten.

3.2 Kardiovaskuläre Krankheiten

Kardiovaskuläre Krankheiten (KVK) sind Erkrankungen der Herzens und der Gefäße und stehen in den meisten entwickelten Ländern mit fast 50 % an erster Stelle in der Todesursachenstatistik (Mercer 2003). In Deutschland waren diese Erkrankungen im Jahr 2010 für 41 % aller Todesfälle verantwortlich (DESTATIS 2010b). Dabei sind Ältere besonders betroffen, so beträgt der Anteil über 65-

Jähriger an der KVK-Mortalität teilweise über 90 % (z. B. ischämische Herzkrankheit 90 %, Schlaganfälle 92 %), während dies bei der Gesamtmortalität nur etwa 84 % sind.

Zu den kardiovaskulären Krankheiten gehören Probleme der Herzkranzgefäße und des Herzmuskels, z. B. Herzinfarkt, chronische ischämische Herzkrankheit, Angina Pectoris, Herzinsuffizienz und Herzrhythmusstörungen. Dabei werden die ersten drei Nennungen zu den ischämischen Krankheiten gerechnet, da sie auf einer Minderversorgung des Herzens mit Blut beruhen, meist durch Verengung oder Verschluss eines Blutgefäßes. Die Herzinsuffizienz bezeichnet eine verringerte Leistungsfähigkeit des Herzens, während bei Herzrhythmusstörungen ungeordnete Erregungen in den Herzkammern ablaufen, die zu unregelmäßigen Kontraktionen des Herzmuskels führen. Schlaganfälle sind Folgen von Gefäßkrankheiten, die zu Problemen bei der Blutversorgung des Gehirns führen. Des Weiteren werden auch Venenthrombosen und Lungenembolien sowie Aortenkrankheiten zu den kardiovaskulären Erkrankungen gerechnet.

Trotz Unterschieden im Detail sind die Ursachen und Hintergründe dieser Erkrankungen weitgehend ähnlich, da sie auf Schädigungen des Blutgefäßsystems und Problemen der Blutversorgung beruhen. Ein Hauptrisikofaktor ist dabei die Arteriosklerose („Arterienverkalkung“), die zu einer Ablagerung von Blutfetten, Thromben und Bindegewebe in den Gefäßwänden führt. Dies bewirkt auf lange Sicht eine Verengung sowie Verdickung der Arterien und einen erhöhten Blutdruck, der einen weiteren Risikofaktor für viele Herzerkrankungen darstellt. Nach einer langen und häufig über Jahrzehnte symptomlosen Entwicklung kann sich die Arteriosklerose durch Ischämie, Thrombose, Angina pectoris, Herzinfarkt, Schlaganfall oder plötzlichen Tod manifestieren.

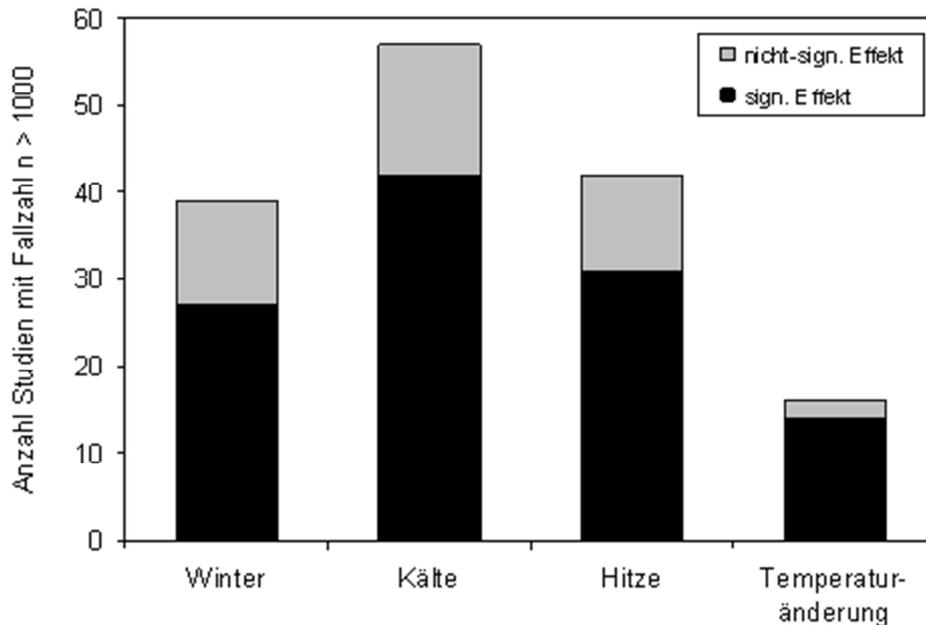
3.2.1 Saison- und Temperatureffekte

Im Bereich der Morbidität und Mortalität kardiovaskulärer Erkrankungen lässt sich meist ein deutlicher Jahresgang beobachten. Von 39 Studien mit einer Fallzahl $n > 1000$ Patienten konstatieren 27 das Maximum im Winter, drei ein Maximum im Frühjahr und neun keine signifikante Saisonalität (Abb. 5). Dabei können insbesondere die umfangreichsten Studien zu diesem Thema eine signifikante Winter-Übersterblichkeit der KVK-Mortalität feststellen (vgl. Tab. 1).

Darüber hinaus existieren neben der Saisonalität weitere periodische Schwankungsmuster. So ist bei vielen Herz- und Gefäßerkrankungen ein signifikanter intra-wöchentlicher Rhythmus festzustellen, wobei die Zahl der Fälle von montags bis freitags wesentlich höher als am Wochenende ist (Arntz et al. 2000, Wang et al. 2002, Bodis et al. 2010). Des Weiteren konnten in vielen Studien intra-tägliche Schwankungen zahlreicher Herzerkrankungen belegt werden. Hierbei wird übereinstimmend ein Minimum der Fälle in der Nacht zwischen 0-6 Uhr und ein Maximum der Fälle am Morgen bzw. frühen Vormittag beobachtet (Arntz et al. 2000, Kocer et al. 2005).

Von insgesamt 70 KVK-Studien mit einer Fallzahl $n > 1000$ Patienten zum Einfluss der Temperatur bestätigen 42 von 57 Untersuchungen den Kälteeffekt und 31 von 42 den Hitzeeffekt (vgl. Abb. 5). Artikel, die keine signifikanten Saison- oder Temperatureffekte finden können, stehen dabei meist in Verbindung zur Untersuchung von Morbidität, zu speziellen Subtypen von kardiovaskulären Krankheiten oder mit eher kleinen Fallzahlen.

Abbildung 5: Anzahl der Studien zu kardiovaskulären Krankheiten mit Fallzahl n > 1000, die signifikante Effekte von Winter, Kälte, Hitze und Temperaturänderungen belegen.



In Tab. 2 finden sich für die 20 umfangreichsten Studien neben den generellen Temperatureffekten auch die prozentualen Wirkeffekte pro Grad Temperaturabweichung vom thermischen Optimum. Dabei sind die negativen Auswirkungen von Kälte und Hitze bei den kardiovaskulären Krankheiten oft noch deutlicher als bei den Studien zur Gesamt-Mortalität und Morbidität. So beträgt in einer Auswertung von Daten aus 15 europäischen Städten von Analitis et al. (2008) der Kälteeffekt bei der KVK-Mortalität durchschnittlich +1,62 % (Gesamtmortalität +1,35 %), während (Baccini et al. 2008) für die gleichen Städte einen sommerlichen Hitzeeffekt von +3,07 % bei der KVK-Mortalität nachweisen (Gesamtmortalität +2,48 %). Ähnliche Resultate ergeben sich auch für die Mehrheit der meisten anderen Studien, so dass der Temperatureffekt auf kardiovaskuläre Krankheiten gut belegt ist. Dies gilt u. a. auch für Herzinfarkte und Schlaganfälle (Tab. 4, Tab. 5), die zwei der häufigsten Herz- und Gefäßkrankheiten darstellen und einen Anteil an der Gesamtmortalität in Deutschland von 6,5 % bzw. 5,7 % besitzen (DESTATIS 2010b). Auch hier sind Temperatureffekte sehr gut erforscht und vor allem der Kälteeffekt wird von fast allen Untersuchungen bestätigt. Der Hitzeeffekt ist etwas schwächer ausgeprägt und nur in weniger als der Hälfte der Studien zu beobachten. Allerdings ist auch in den übrigen Studien oft eine positive Korrelation feststellbar, die allerdings keine statistische Signifikanz erreicht (Medina-Ramon et al. 2006, Ostro et al. 2010).

Tabelle 4: Umfangreichste 20 Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Herzinfarkte.

Referenz	Land	Fallzahl	K	H	dT	p	dp	RH	dRH
Medina-Ramon et al. (2006)	USA	0,7 Mio.	s-	ns					
Ostro et al. (2010)	USA	0,1 Mio.		ns					
Barnett et al. (2005a)	21 Länder	87.410	s-					ns	
Bhaskaran et al. (2010)	England	84.010	s-	ns					
Kriszbacher et al. (2009)	Ungarn	81.956	s-						
Crawford et al. (2003)	Nordirland	68.683	s-						
Green et al. (2010)	USA	57.231		ns					
Kriszbacher et al. (2010)	Ungarn	16.160			s-/s+				
Sharovsky et al. (2004)	Brasilien	12.007	s-	s+		ns		s-	

Referenz	Land	Fall zahl	K	H	dT	p	dp	RH	dRH
Wolf et al. (2009)	Deutschland	9.800	s-						
Goerre et al. (2007)	Schweiz	6.560	ns			s+	s+		
Messner (2005)	Schweden	4.500	ns		s+	ns	ns	ns	ns
Abrignani et al. (2009)	Italien	3.918	s-			ns		s-	
Danet et al. (1999)	Frankreich	3.616	s-	ns		s-/s+			
Dilaveris et al. (2006)	Griechenland	3.126	s-	s+					
Ozheredov et al. (2010)	Russland	2.833	s-						
Morabito et al. (2005)	Italien	2.683	s-	s+					
Gerber et al. (2006)	USA	2.676	ns						
Lee et al. (2010)	Korea	2.136	s-					s-	
Biyik et al. (2007)	Türkei	1.312	s-						

Untersuchte Faktoren: Kälte (K), Hitze (H), Temperaturänderung zum Vortag (dT), Luftdruck (p), Luftdruckänderung (dp), relative Luftfeuchte (RH), Änderung der relativen Luftfeuchte (dRH). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

Tabelle 5: Umfangreichste 20 Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Schlaganfälle.

Referenz	Land	Fall zahl	K	H	dT	p	dp	RH	dRH
Medina-Ramon et al. (2006)	USA	0,5 Mio.	ns	ns					
Ebi et al. (2004)	USA	0,4 Mio.			s-/s+				
Michelozzi et al. (2009)	Europa	0,3 Mio.		ns					
Cowperthwaite und Burnett (2011)	USA	0,2 Mio.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ostro et al. (2010)	USA	0,2 Mio.		ns					
Revich und Shaposhnikov (2008)	Russland	0,1 Mio.	s-	s+					
Morabito et al. (2011)	Italien	0,1 Mio.	s-	s+	s-				
Goggins et al. (2012)	Hongkong	0,1 Mio.	s-	ns		ns	ns	ns	
Lim et al. (2012)	Korea	92.146		s+					
Analitis et al. (2008)	Europa	86.000	s-						
Green et al. (2010)	USA	72.954		ns					
Kovats et al. (2004)	England	72.000	s-						
Lin et al. (2009)	USA	57.467	ns						
Ohshige et al. (2006)	Japan	53.585	s-			ns		s-	
Donaldson (1997)	Europa	40.000	ns						
Low et al. (2006)	USA	16.000		s+		s-			
Wichmann et al. (2011)	Dänemark	15.826	ns	ns					
Wang et al. (2009)	Australien	6.743	s-						
Dawson et al. (2008)	Schottland	5.723	ns		s+	ns	ns		
Makie et al. (2002)	Japan	3.335	s-			ns		ns	

Untersuchte Faktoren: Kälte (K), Hitze (H), Temperaturänderung zum Vortag (dT), Luftdruck (p), Luftdruckänderung (dp), relative Luftfeuchte (RH), Änderung der relativen Luftfeuchte (dRH). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

Neben dem Einfluss absoluter Temperaturwerte konnte in einigen Untersuchungen auch die Bedeutung von Temperaturänderungen aufgezeigt werden (siehe Tab. 6). Unter allen KVK-Studien mit Fall-

zahl $n > 1000$ beobachteten 14 Studien ungünstige Effekte von Temperaturanstiegen bzw. -rückgängen, während nur zwei Studien keine signifikanten Effekte fanden (vgl. Abb. 5). Ein ungünstiger Einfluss von Temperaturanstiegen im Sommer auf kardiovaskuläre Todesfälle wird von Plavcova und Kysely (2009) und Kysely und Kriz (2003) belegt. Auf der anderen Seite finden sich auch bei Temperaturabnahmen von mehr als 3°C zum Vortag signifikante Zunahmen von Herzinfarkten und Schlaganfällen (Chen et al. 2008, Yang et al. 2009). Studien von Messner (2005) und Dawson et al. (2008) zeigen prozentuale Zunahmen des Risikos von Herzinfarkten bzw. ischämischen Schlaganfällen pro Grad Temperaturanstieg zum Vortag von 1,5 % bzw. 2,1 %. Allerdings fallen gerade in den umfangreichsten Studien zu Schlaganfällen die Ergebnisse indifferent aus. So stellen z. B. Cowperthwaite und Burnett (2011) keinerlei Temperatureffekt fest, und Ebi et al. (2004) beobachten zwar in San Francisco einen Anstieg von Schlaganfällen bei Temperaturänderungen, nicht aber in Los Angeles. Neben regionalen Differenzen existieren auch Unterschiede zwischen ischämischen Schlaganfällen und Hirnblutungen (Morabito et al. 2011, Dawson et al. 2008). Des Weiteren zeigt sich auch ein Zusammenhang zwischen innertäglichen Temperaturschwankungen und kardiovaskulären Krankheiten. So belegen alle drei Studien zu diesem Thema (vgl. Tab. 6) den ungünstigen Einfluss einer großen Spannweite zwischen täglicher Maximal- und Minimaltemperatur, z. B. weisen Kan et al. (2007) eine prozentuale Zunahme des Risikos von kardiovaskulären Todesfällen pro Grad innertäglicher Temperaturdifferenz von 1,86 % nach.

Der pathophysiologische Mechanismus der Temperaturwirkung auf den menschlichen Organismus ist gut erforscht. Dabei bewirkt Kälteexposition über ein Zusammenziehen der äußeren hautnahen Blutgefäße (Vasokonstriktion) eine Erhöhung der Blutmenge im Inneren des Körpers, welche wiederum den Blutdruck als traditionellen Risikofaktor für kardiovaskuläre Krankheiten steigen lässt. Erhöhungen des Blutdrucks in der kalten Jahreszeit wurden in vielen Studien nachgewiesen, wobei die Unterschiede zwischen Winter und Sommer im Bereich von 5 mmHg liegen können (Alperovitch et al. 2009). Zahlreiche Studien belegen einen mit einer Abnahme der mittleren Außentemperatur von 1°C einhergehenden um etwa 0,1-0,2 mmHg signifikant erhöhten Blutdruck (Madsen und Nafstad 2006, Barnett et al. 2007, Kent et al. 2011). Dabei zeigen Barnett et al. (2007), dass der Einfluss der Innentemperatur noch direkter und deutlicher ist als der der Außentemperatur (0,31 mmHg vs. 0,19 mmHg pro Grad Temperaturrückgang).

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. Als direkte Folge daraus liegen Blutkörperchen, Thrombozyten und diverse Blutfettwerte in konzentrierterer Form vor und die Blutviskosität kann bis zu 20 % erhöht sein (Keatinge 2002). 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. Zwar ist hier hoher Blutdruck als Risikofaktor weniger präsent, dafür kann Flüssigkeitsverlust und Dehydratation durch starkes Schwitzen 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).

Tabelle 6: Studien mit Fallzahl n > 1000 zur Wirkung von Temperaturänderungen und inner-täglichen Temperaturschwankungen (DTR) auf kardiovaskuläre Erkrankungen.

Referenz	Land	Fallzahl	Ergebnis
Ebi et al. (2004)	Kalifornien, 1983-1998	0,4 Mio.	in San Francisco bei Temperaturänderungen >3°C zum Vortag sign. Anstieg von Schlaganfällen um 6-18 %
Cowperthwaite und Burnett (2011)	USA, 2004-2008	0,2 Mio.	kein sign. Bezug von Schlaganfällen zu Temperaturänderungen
Morabito et al. (2011)	Italien, 1997-2007	0,1 Mio.	Temperaturänderungen haben sign. Einfluss auf Schlaganfälle: z. B. -5°C zum Vortag +16,5% Hirnblutungen
Plavcova und Kysely (2009)	Tschechien, 1986-2005	0,1 Mio.	im Sommer nach deutlichen Temperaturabnahmen Rückgang der Gesamt- und KVK-Mortalität
Kysely und Kriz (2003)	Tschechien, 1982-2000	0,1 Mio.	im Sommer bei mehr als +3°C Temperaturabweichung zum normalen Saisonverlauf sign. Zunahme der KVK-Mortalität
Yang et al. (2009)	Taiwan, 2000-2003	0,1 Mio.	Bei Temperaturabnahmen >8°C zum Vortag sign. Anstieg der KVK-Mortalität
Kan et al. (2007)	Shanghai, 2001-2004	64.595	sign. Zunahme der KVK-Mortalität bei hohen innertägl. Temperaturspannen: pro +1°C DTR -> +1,86%
Kriszbacher et al. (2010)	Ungarn, 2000-2005	16.160	sowohl rasche Temperaturzunahmen als auch -rückgänge sind sign. mit der Mortalität von Herzinfarkten verbunden
Chen et al. (2008)	China, k.A.	9.688	Sign. Zunahme der KVK-Mortalität bei Temperaturrückgängen zum Vortag >3°C
Toro et al. (2010)	Ungarn, 1995-2004	7.450	Sign. Zunahme der KVK-Mortalität bei Temperaturrückgängen
Dawson et al. (2008)	Schottland, 1990-2005	5.723	Sign. Zunahme des Risikos von ischämischen Schlaganfällen bei Temperaturzunahme zum Vortag: pro +1°C -> +2,1%
Messner (2005)	Schweden, 1985-1998	4.500	Sign. Zunahme des Risikos von Herzinfarkten bei Temperaturzunahme zum Vortag: pro +1°C -> +1,5%
Lee et al. (2010)	Korea, 2005-2007	2.136	sign. Zunahme des Risikos von Herzinfarkten bei hohen innertägl. Temperaturspannen: pro +1°C DTR -> +1,36%
Chyatte et al. (1994)	USA, 1981-1989	1.487	Temperaturrückgänge bewirken sign. mehr Subarachnoidal-blutungen bei Männern, nicht aber bei Frauen
Jimenez-Conde et al. (2008)	Barcelona	1.286	kein sign. Bezug von Schlaganfällen zu Temperaturänderungen
Liang et al. (2008)	Taiwan, 2000-2003	1.020	bei innertäglichen Temperaturspannen > 8°C sign. höheres Risiko des akuten Koronarsyndroms: +15%

K.A.: keine Angabe. Signifikante Ergebnisse jeweils fett gedruckt.

Ergänzend sollte erwähnt werden, dass saisonale Schwankungen bei Erkrankungen nicht uneingeschränkt Einflüssen des Wetters zugeschrieben werden können. Zwar erfolgt ein nicht unerheblicher Beitrag durch Änderungen von meteorologischen Parametern z. B. der Temperatur, ebenfalls existiert aber auch ein eher indirekter Einfluss durch veränderte Verhaltensweisen. So sind z. B. bei nasskalter Witterung im Winter oft Veränderungen bei Ernährung oder körperlicher Aktivität im Freien zu beobachten (Turin et al. 2010), die zu einer Erhöhung von traditionellen Risikofaktoren wie hohem Blutdruck und Arteriosklerose beitragen können.

3.2.2 Einfluss des Luftdrucks

Nach den thermischen Bedingungen, die von allen meteorologischen Parametern den wichtigsten Einfluss auf die Gesundheit ausüben, wird auch dem Luftdruck häufig eine Wirkung auf einige kar-

diovaskuläre Erkrankungen zugeschrieben. Zwar finden von insgesamt 27 Studien mit Fallzahl $n > 1000$ zum Einfluss von Luftdruck und Luftdruckänderungen weniger als die Hälfte einen signifikanten Effekt auf die Gesamtheit der KVK-Erkrankungen, und auch bei Herzinfarkten und Schlaganfällen ist ein Effekt des Luftdrucks nur in einzelnen Studien zu beobachten (vgl. Tab. 4, 5). Allerdings scheinen Druckeinflüsse für einige Subtypen der kardiovaskulären Krankheiten eine wichtigere Rolle zu spielen. Die diesbezüglichen Erkrankungen umfassen v. a. venöse Thromboembolien (Venenthrombosen und Lungenembolien), Aortenrupturen und die Subarachnoidalblutung.

Als tiefe Venenthrombosen werden Gefäßerkrankungen der tiefen Beinvenen bezeichnet, bei denen ein durch Blutgerinnung entstandener Thrombus ein Hindernis für den ungestörten Blutstrom darstellt. Falls sich ein solches Blutgerinnsel löst und in den Venen zurück bis zum Herzen gelangt, kann es Blutgefäße in der Lunge verstopfen und eine Lungenembolie verursachen. Da die Mehrzahl der eine Lungenembolie auslösenden Thromben in den tiefen Beinvenen entsteht, werden diese beiden Erkrankungen manchmal auch als venöse Thromboembolien zusammengefasst und machen ca. 1,1 % der Mortalität in Deutschland aus (DESTATIS 2010b).

Aortenrupturen gehören zu den arteriellen Erkrankungen und entstehen häufig an Aneurysmen, d. h. sackförmigen Ausbuchtungen an den Wänden von Arterien. Diese Arterienerweiterungen bilden sich an Stellen, an denen die Gefäßwand geschwächt ist und nicht über eine normale Muskelschicht verfügt. Die mit Abstand häufigste Variante der Aneurysmen befindet sich im unteren Bereich der Hauptschlagader und wird als abdominales Aortenaneurysma bezeichnet (Sakalihasan et al. 2005). Aortenrupturen in diesem Bereich gehen mit einer hohen Sterblichkeitsrate einher und besitzen einen Anteil an der Gesamtmortalität in Deutschland von ca. 0,3 % (DESTATIS 2010b).

Die Subarachnoidalblutung ist eine spezielle Form der Hirnblutung, bei der durch Platzen arterieller Gefäße Blut in den Subarachnoidalraum gelangt, der das Gehirn als schützende Hülle umgibt und mit Hirnflüssigkeit gefüllt ist. Ursache sind meist arterielle Aneurysmen, bei denen die geschwächte Gefäßwand in einer Situation kurzzeitig erhöhten Blutdrucks der Belastung nicht mehr standhält und reißt (van Gijn et al. 2007). Im Gegensatz zu anderen kardiovaskulären Krankheiten steigt bei der Subarachnoidalblutung das Risiko nicht stetig mit zunehmendem Alter an, sondern erreicht sein Maximum im Alter von ca. 50 Jahren. In Deutschland sterben jährlich etwa 2000 Menschen an dieser Erkrankung, dies entspricht ca. 0,2 % aller Todesfälle (DESTATIS 2010b).

Der Zusammenhang zwischen Wetterfaktoren und den drei vorgestellten Krankheitstypen wird in Tab. 7 präsentiert. Auf Grund der geringen Zahl der Veröffentlichungen wurden jeweils alle diesbezüglichen Studien mit einbezogen (unabhängig von der enthaltenen Fallzahl). Etwa in der Hälfte der Studien ist ein signifikanter Effekt des Luftdrucks erkennbar, wobei bei den Subarachnoidalblutungen Luftdruckänderungen den größten Einfluss ausüben. Die beiden anderen Wetterfaktoren Temperatur und relative Luftfeuchte scheinen eine weniger wichtige Rolle zu spielen.

Im Bereich der venösen Thromboembolien erweist sich ein ungünstiger Einfluss niedrigen atmosphärischen Drucks: während sechs Studien von einem solchen Einfluss berichten, ergibt nur eine Studie einen Beitrag hohen Luftdrucks und drei Studien finden keinen signifikanten Effekt. In der mit Abstand umfangreichsten Studie in diesem Bereich ergibt sich bei Brown et al. (2009) der Einfluss des Drucks als wichtigster meteorologischer Parameter und ein 2,1 % höheres Risiko für Venenthrombosen pro 10 hPa tieferen Drucks. Auch für Lungenembolien konnte dieser Effekt belegt werden (Scott et al. 1992, Masotti et al. 2005, Staskiewicz et al. 2010), während in Taiwan kein Einfluss des Luftdrucks auf venöse Thromboembolien nachgewiesen wurde (Lee et al. 2011).

Tabelle 7: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf venöse Thromboembolien (Tiefe Venenthrombosen TVT bzw. Lungenembolien LE), Rupturen von abdominalen Aortenaneurysmen (RAAA) und Subarachnoidalblutungen (SAB).

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	T	dT	p	dp	RH	dRH
Brown et al. (2009)	Schottland	TVT	37.336	ns		s-			
Lee et al. (2011)	Taiwan	TVT, LE	2.774	ns		ns		ns	
Scott et al. (1992)	USA	LE	>1.000			s-			
Masotti et al. (2005)	Italien	LE	457	s-		s-			
Staskiewicz et al. (2010)	Polen	LE	400	ns		ns		ns	
Esquenet et al. (1997)	Frankreich	TVT	345	ns		s-		ns	
Clauss et al. (2005)	UK	LE	316	ns		ns		ns	
Oztuna et al. (2008)	Türkei	LE	206	ns		s+		s+	
Staskiewicz et al. (2011)	Polen	LE	182	ns		s-		ns	
Meral et al. (2005)	Türkei	LE	91			s-			
Verberkmoes et al. (2012)	Niederlande	RAAA	1.594	ns	ns	ns	ns		
Bown et al. (2003)	England	RAAA	233			s-			
Killeen et al. (2008)	Irland	RAAA	204			s-	s-/s+		
Smith et al. (2008)	England	RAAA	182	ns		s-	ns		
Harkin et al. (2005)	Irland	RAAA	144			s-			
Sterpetti et al. (1995)	Italien	RAAA	77		s-/s+	ns		ns	
Kurtoglu et al. (2004)	Türkei	RAAA	24			ns			
Abe et al. (2008)	Japan	SAB	1.729	s-		s+		ns	
Chyatte et al. (1994)	USA	SAB	1.487		s-		s-		
Hughes et al. (2010)	UK	SAB	647	ns		ns		s+	
Setzer et al. (2007)	Deutschland	SAB	519				s-/s+	s+	
Biller et al. (1988)	USA	SAB	476	ns					
Lejeune et al. (1994)	Frankreich	SAB	238	s-		s-		s-	
Oyoshi et al. (1999)	Japan	SAB	210	ns		ns		ns	
Beseoglu et al. (2008)	Deutschland	SAB	183	ns		ns		ns	
Bano-Ruiz et al. (2010)	Spanien	SAB	173	ns		ns		ns	
Landers et al. (1997)	Südafrika	SAB	157				s-/s+		
Law et al. (2009)	Hongkong	SAB	135	ns	ns	ns	s-/s+	ns	ns
Buxton et al. (2001)	UK	SAB	109			s+	s+		
Jehle et al. (1994)	USA	SAB	76				s-/s+		
Feigin et al. (2000)	Russland	SAB	64	ns		ns		ns	

Untersuchte Faktoren: Temperatur, Temperaturänderung zum Vortag (dT), Luftdruck (p), Luftdruckänderung (dp), relative Luftfeuchte (RH), Änderung der relativen Luftfeuchte (dRH). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

Bei Rupturen von abdominalen Aortenaneurysmen kann in einigen Fällen ebenfalls ein Einfluss niedrigen Luftdrucks beobachtet werden: vier Studien berichten einen solchen Effekt, während drei Studien keinen signifikanten Beitrag dieses meteorologischen Parameters finden. Dabei sind Tage mit niedrigem atmosphärischen Druck signifikant korreliert mit dem Auftreten von Rupturen (Smith et al. 2008). Auch rasche Druckänderungen zum Vortag sind laut Killeen et al. (2008) mit dieser Erkrankung verbunden. Zusätzlich wurden Zusammenhänge auf monatlicher Basis zwischen niedrigem Druck und erhöhter Rupturenhäufigkeit festgestellt (Bown et al. 2003, Harkin et al. 2005, Killeen et

al. 2008). Im Gegensatz dazu können einige der untersuchten Studien, darunter auch der Artikel mit den höchsten Fallzahlen (Verberkmoes et al. 2012), keinen signifikanten Effekt des atmosphärischen Drucks finden.

Auch mit subarachnoidalen Blutungen wird der Luftdruck in Verbindung gebracht, wobei hier vor allem rasche Änderungen dieses meteorologischen Parameters von Bedeutung zu sein scheinen. Während sieben von zehn Studien keinen Einfluss der absoluten Druckwerte auf diese Erkrankung finden, bestätigen alle sechs Artikel zu diesem Thema den Effekt relativer Druckänderungen. Insbesondere Änderungen des atmosphärischen Drucks von mehr als 10 hPa im Vergleich zum Vortag begünstigen ein gehäuftes Auftreten (Landers et al. 1997, Buxton et al. 2001, Setzer et al. 2007). Dabei wird sowohl eine Druckzunahme (Buxton et al. 2001) als auch eine Druckabnahme (Chyatte et al. 1994) mit der Subarachnoidalblutung in Verbindung gebracht. Im Gegensatz zu vielen anderen kardiovaskulären Erkrankungen, bei denen die Temperatur unter den meteorologischen Parametern den größten Einfluss ausübt, scheint hier der Luftdruck der dominierende Faktor zu sein (Setzer et al. 2007).

Trotz der Belege für einen Zusammenhang zwischen Luftdruck bzw. Luftdruckänderungen und dem gehäuften Auftreten der besprochenen Krankheiten konnte der exakte pathophysiologische Mechanismus bisher nicht geklärt werden. Gemeinsamer Risikofaktor für Aortenrupturen und Subarachnoidalblutung ist hoher Blutdruck, so ist beispielsweise bekannt, dass Rupturen von Aneurysmen vermehrt bei plötzlichen Erhöhungen des Blutdrucks auftreten (van Gijn et al. 2007). Der direkte Einfluss des atmosphärischen Luftdrucks auf den Blutdruck scheint aber für eine solche Wirkung zu klein zu sein. Dafür spricht auch, dass Aktivitäten wie Bergwanderungen oder Flugreisen, die mit wesentlichen größeren Luftdruckunterschieden einhergehen, nicht in Verbindung mit subarachnoidalen Blutungen oder Aortenrupturen gebracht werden konnten.

Bei Venenthrombosen konnten Studien dagegen einen Zusammenhang zu niedrigem Kabinendruck bei Flugreisen belegen: z. B. finden Schwarz et al. (2003) eine Verdoppelung des Risikos von Venenthrombosen bei Langstreckenflügen mit einer Dauer von mehr als acht Stunden. Allerdings sind neben dem Luftdruck auch hier noch weitere Faktoren beteiligt, so spielt gerade bei Flugreisen die lange körperliche Inaktivität und Ruheposition der Beine eine entscheidende Rolle. Gemeinsames Fazit vieler Studien ist daher, dass neben dem Luftdruck noch weitere Faktoren bei der Auslösung dieser Erkrankungen involviert sein müssen (Setzer et al. 2007).

3.2.3 Einfluss sonstiger Wetterelemente

Bei den weiteren meteorologischen Parametern Luftfeuchte, Wind, Niederschlag und Sonnenscheindauer kann kein systematischer Einfluss auf kardiovaskuläre Krankheiten nachgewiesen werden. Nur einzelne Studien berichten über diesbezügliche Effekte, während die überwiegende Mehrheit der Untersuchungen keinen solchen Einfluss bestätigt (34 von 48 KVK-Artikeln mit Fallzahl $n > 1000$). Weiterhin ist auch keine Häufung der genannten Wetterfaktoren bei bestimmten Krankheitssubtypen zu beobachten.

Daher wird davon ausgegangen, dass diese meteorologischen Parameter keine entscheidende Wirkung als einzelne Wetterelemente ausüben, sondern als Teil der Gesamtwirkung von Wetterlagen den Einfluss von Faktoren wie der Temperatur unterstützen und verstärken (Schuh 2007). Dieses gilt z. B. für die Luftfeuchte, die in sommerlichen Hitzeepisoden in Zusammenhang mit der Temperatur die belastende Wirkung auf den Kreislauf erhöhen kann (Michelozzi et al. 2009). Ebenfalls sind Niederschlag und Wind bei Wetteränderungen wie z. B. beim Durchzug von Kaltfronten beteiligt, wobei sie auch hier wieder den dominierenden Effekt von Änderungen der thermischen Bedingungen unterstützen.

Der Umfang des Einflusses der Sonneneinstrahlung auf kardiovaskuläre Krankheiten ist unsicher. Zwar stellen einige Studien einen biologischen Wirkzusammenhang zwischen (mit sehr niedriger

Sonnenexposition einhergehenden) Defiziten von Vitamin D und der KVK-Mortalität her (Zittermann und Gummert 2010). Andererseits können andere Studien keinen signifikanten Einfluss der Sonnenscheindauer auf Herz- und Kreislauferkrankungen belegen (Lee et al. 2008, Brown et al. 2009, Goggins et al. 2012). Systematische Übersichts-Artikel von Pittas et al. (2010) und Wang et al. (2010) finden einen schwächeren, meist nicht-signifikanten Zusammenhang zwischen der Gabe von Vitamin D und der Senkung hohen Blutdrucks als Risikofaktor für KVK.

3.2.4 Einfluss der Luftverschmutzung

Das Beispiel einer Smog-Episode in London im Dezember 1952 mit etwa 4000 zusätzlichen Todesfällen machte zum ersten Mal in einer Großstadt deutlich, dass hohe Konzentrationen von Luftschadstoffen eine sehr negative Wirkung auf Häufigkeit und Mortalität von Erkrankungen ausüben (Ministry of Health 1954). Die Wetterbedingungen spielen dabei eine wichtige Rolle, da sich Schadstoffe vor allem in winterlichen Inversionswetterlagen und windschwachen sommerlichen Hochdrucklagen in der unteren Luftschicht ansammeln können. Zwar sind die Schadstoffkonzentrationen in den entwickelten Ländern in den letzten 50 Jahren stetig zurückgegangen, andererseits gilt heute durch verbesserte Datenverfügbarkeit und Analysemethoden als belegt, dass auch die relativ niedrigen gegenwärtigen Konzentrationen einen nachweisbaren Einfluss auf die Gesundheit ausüben (Anderson und Bell 2009). In zahlreichen Studien in den USA, Europa und Asien konnte ein klarer Effekt von Luftschadstoffen nachgewiesen werden (siehe Tab. 8).

So beobachten z. B. Katsouyanni et al. (2001) für 29 europäische Städte ein um durchschnittlich 0,6 % höheres Mortalitätsrisiko bei einer Erhöhung des Feinstaubgehalts der Luft von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Weitere Schadstoffe mit belegtem ungünstigem Einfluss auf die Gesundheit sind Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid und Ozon (Fischer et al. 2003). Dabei wird der letztere Schadstoff Ozon vor allem in windschwachen sommerlichen Hochdrucklagen zum Problem (Bell et al. 2004).

Kardiovaskuläre Krankheiten sind (neben Atemwegserkrankungen) in besonderem Ausmaß von der ungünstigen Wirkung von Luftschadstoffen betroffen: so steigt bei erhöhtem Feinstaubgehalt die KVK-Mortalität stärker an als die Gesamtmortalität (Samet et al. 2000, Dominici et al. 2004). Auch für Herzinfarkte und Schlaganfälle konnte ein negativer Effekt der Luftverschmutzung festgestellt werden (Wellenius et al. 2005, Bhaskaran et al. 2011). Dabei ist der Einfluss sehr direkt und schon auf der Skala von wenigen Stunden nachweisbar (Bhaskaran et al. 2011).

Als pathophysiologischer Mechanismus konnte in einigen Studien eine mit der Aufnahme von Schadstoffen einhergehende Erhöhung des Blutdrucks ausgemacht werden, so bewirkt z. B. eine Zunahme des Feinstaubgehalts von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einen Anstieg des Blutdrucks um 4 mmHg (Hoffmann et al. 2012). Gerade in anfälligen Personen mit Arteriosklerose oder Bluthochdruck kann dies zu einer Verschlimmerung oder Auslösung von Symptomen beitragen. Ein weiterer Wirkmechanismus funktioniert über die Ausschüttung von körpereigenen Signalmolekülen im Blut (Hertel et al. 2010). So konnte z. B. nachgewiesen werden, dass durch Feinstaubaufnahme der Gehalt des entzündungsauslösenden Botenstoffs Interleukin-6 und des Gerinnungsfaktors Fibrinogen signifikant erhöht wird (Rückerl et al. 2007, Schneider et al. 2010).

Nur relativ wenige Studien untersuchen den gleichzeitigen Einfluss von Luftverschmutzung und meteorologischen Parametern (vor allem Lufttemperatur und Luftfeuchte) auf die menschliche Gesundheit (Tab. 9). Dabei zeigt sich in Regionen mit geringen und mittleren Schadstoffkonzentrationen, dass der Temperatur-Effekt stärker als die Wirkung der Luftverschmutzung ausfällt (Goncalves et al. 2007, Krstic 2011).

Tabelle 8: Umfangreichste 20 Studien zum Einfluss von Luftverschmutzung durch Feinstaub (PM10 und PM2.5), Schwefeldioxid (SO₂), Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) auf die Mortalität und Morbidität von Erkrankungen.

Referenz	Land	Fallzahl	Krankheit	Ergebnis
Bell et al. (2004)	95 US-Städte, 1987-2000	9 Mio.	KVK, AK, gesamt (MT)	pro +10 ppb Ozon: gesamt +0,52% , KVK+AK +0,64%
Peng et al. (2009)	USA, 2000-2006	6,8 Mio.	KVK, AK (MB)	bei Älteren > 65 Jahre pro +10 µg/m ³ PM2.5: KVK +0,8% , AK +0,5%
Dominici et al. (2005)	90 US-Städte, k.A.	5 Mio.	gesamt (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: gesamt +0,27% , bei KVK und AK stärkerer Effekt
Katsouyanni et al. (2001)	29 eur. Städte, 1990-1997	1,8 Mio.	gesamt (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: +0,6% , in wärmeren Städten stärkerer Effekt
Zeka et al. (2005)	20 US-Städte, 1989-2000	1,8 Mio.	KVK, AK, gesamt (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: gesamt +0,45% , KVK +0,50% , AK +0,87%
Samoli et al. (2005)	22 eur. Städte, 1990-1997	1,4 Mio.	KVK, AK, gesamt (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: gesamt +0,3% , KVK +0,3% , AK +0,3%
Dominici et al. (2004)	10 US-Städte, 1986-1993	1,4 Mio.	KVK (MT+MB)	pro +10 µg/m ³ PM10: +0,26% Mortalität, +0,73% Krankenhausaufnahmen
Ren et al. (2009)	95 US-Städte, 1987-2000	1,3 Mio.	KVK (MT)	bei hohen Temperaturen stärkerer Ozon-Effekt: pro +10 ppb Ozon: +1,68%
Katsouyanni et al. (1997)	12 eur. Städte, 1975-1992	1,0 Mio.	gesamt (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: +0,4%
Fischer et al. (2003)	Niederlande, 1986-1994	0,9 Mio.	gesamt, KVK (MT)	sign. Effekt von PM10, SO ₂ , CO, NO ₂ , Ozon, pro +10 µg/m ³ PM10: gesamt +0,2% , KVK +0,2% , Effekte bei Älteren stärker
Kang et al. (2012)	Taiwan, 2000-2009	0,8 Mio.	KVK (MB)	nach Staubstürmen sign. mehr ischämische Schlaganfälle
Braga et al. (2001)	10 US-Städte, 1986-1993	0,8 Mio.	KVK, AK (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: KVK +1,0% , bei COPD und Pneumonie stärkerer Effekt
Samet et al. (2000)	20 US-Städte, 1987-1994	0,6 Mio.	KVK, AK, gesamt (MT)	pro +10 µg/m ³ PM10: gesamt +0,51% , KVK+AK +0,68%
Omori et al. (2003)	13 jap. Städte, 1990-1994	0,5 Mio.	KVK, AK, gesamt (MT)	bei Älteren > 65 Jahre pro +10 µg/m ³ PM10: gesamt +0,77% , KVK +0,91% , AK +1,09%
Gwynn et al. (2000)	New York, 1988-1990	0,4 Mio.	KVK, AK (MT+MB)	bei säurehaltigen Bestandteilen von Feinstaub (H ⁺ , SO ₄ ²⁻) besonders starker Effekt auf AK
Stieb et al. (2009)	Kanada, 1990-2000	0,4 Mio.	KVK, AK (MB)	KVK stärkster Bezug zu CO und NO ₂ , AK stärkster Bezug zu Ozon und PM10
Le Tertre et al. (2002)	8 eur. Städte, 1989-1997	0,3 Mio.	KVK (MB)	pro +10 µg/m ³ PM10: +0,5%
Zanobetti und Schwartz (2005)	21 US-Städte, 1985-1999	0,3 Mio.	KVK (MB)	bei Älteren > 65 Jahre pro +10 µg/m ³ PM10: +0,65% Herzinfarkte
Hong et al. (2002)	Seoul, 1995-1998	0,2 Mio.	KVK (MT)	sign. Effekt von PM10, SO ₂ , CO, NO ₂ , Ozon auf Schlaganfälle, Ältere besonders betroffen
Ostro et al. (2008)	Kalifornien, 2003-2005	0,2 Mio.	gesamt, KVK (MT)	sign. Effekt von PM2.5 auf Gesamt- und KVK-Mortalität

MT: Mortalität, MB: Morbidität, KVK: kardiovaskuläre Krankheiten, AK: Atemwegserkrankungen, k.A.: keine Angabe. Signifikante Ergebnisse jeweils fett gedruckt.

Tabelle 9: Studien zum gleichzeitigen Einfluss von Luftverschmutzung und meteorologischen Parametern auf die Gesamtmortalität (oben) sowie die Morbidität und Mortalität von kardiovaskulären Krankheiten (Mitte) und Atemwegserkrankungen (unten).

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	Ergebnis
Katsouyanni et al. (2001)	Europa	gesamt	1,8 Mio	Einfluss von Feinstaub auf die Gesamtmortalität in warmen Klimaten sign. stärker ausgeprägt als in

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	Ergebnis
				kühleren Klimaten
Krstic (2011)	Kanada	gesamt	150.000	Temperatureffekt auf die Gesamtmortalität größer als Effekt der Luftverschmutzung
Lin und Liao (2009)	Taiwan	gesamt	7.500	Kohlenmonoxid-Effekt auf Gesamtmortalität ist temperaturabhängig: pro Anstieg von CO um +0,2 ppm: +2,8 % (bei 20°C), +4,3 % (bei 25°C), +5,1 % (bei 28°C) Anstieg der Mortalität
Ren et al. (2009)	USA	KVK	1,3 Mio	hohe Temperatur verstärkt Ozon-Einfluss auf die tägliche KVK-Mortalität
Ren et al. (2008)	USA	KVK	0,8 Mio	Ozon verstärkt Temperatur-Einfluss auf die tägliche KVK-Mortalität
Choi et al. (2007)	Südkorea	KVK	0,1 Mio	In der warmen Saison korrelieren PM10 und NO ₂ sign. mit dem Blutdruck, während diese Korrelation in den kalten Monaten verschwindet
Goncalves et al. (2007)	Brasilien	KVK	46.000	Winteranstieg der KVK-Mortalität in Brasilien hauptsächlich durch Temperatureffekt, weniger durch Luftverschmutzungseffekte
Hanna et al. (2011)	USA	KVK	28.000	Ozon korreliert mit Zahl der Herzinfarkte nur bei extrem warm-feuchten Luftmassen (Lag: 5 Tage)
Tsai et al. (2003)	Taiwan	KVK	23.000	Luftverschmutzungseffekte auf Schlaganfälle wesentlich stärker an warmen Tagen mit T > 20°C als an kühlen Tagen mit T < 20°C
Cheng et al. (2009)	Taiwan	KVK	k.A.	Luftverschmutzungseffekte auf Herzinfarkte temperaturabhängig
Stieb et al. (2009)	Kanada	AK	0,4 Mio	Luftverschmutzungseffekte auf AK stärker in der warmen Saison (April bis September)
Yang und Chen (2007)	Taiwan	AK	46.000	Luftverschmutzungseffekte auf COPD stärker an warmen Tagen mit T > 20°C als an kalten Tagen mit T < 20°C
Hanna et al. (2011)	USA	AK	14.000	Ozon korreliert mit Zahl der Asthmaattacken bei warm-trockenen Luftmassen (Lags: 1-5 Tage) und warm-feuchten Luftmassen (Lag: 0 Tage)
Lavigne et al. (2012)	Kanada	AK	3.700	Luftverschmutzungseffekte auf Asthma in den warmen Monaten besonders groß
Leitte et al. (2009)	Rumänien	AK	257	Feinstaubeffekt auf chronische Bronchitis wird bei hoher absoluter Luftfeuchte kleiner
Cheng et al. (2007)	Taiwan	AK	k.A.	Luftverschmutzungseffekte auf Pneumonie teilweise temperaturabhängig
Chiu et al. (2009)	Taiwan	AK	k.A.	Luftverschmutzungseffekte auf Pneumonie an warmen Tagen mit T > 23°C stärker als an kalten Tagen mit T < 23°C

Ein weiteres zentrales Ergebnis belegt die Temperaturabhängigkeit der Schadstoffwirkung. Dabei begünstigt eine hohe Temperatur in den meisten Fällen einen stärkeren ungünstigen Einfluss von Schadstoffen auf die menschliche Gesundheit. So beobachten z. B. Katsouyanni et al. (2001), dass ein Feinstaub-Anstieg von 10 µg/m³ in warmen Klimaten eine Zunahme der Gesamtmortalität um 0,8 % bewirkt, während diese Zunahme in kühleren Klimaten nur 0,3 % beträgt. Die stärkere Schadstoffwirkung auf kardiovaskuläre Krankheiten bei höherer Temperatur wird ebenfalls von weiteren Studien beschrieben (Choi et al. 2007, Lin und Liao 2009, Ren et al. 2009). Als Erklärung wird häufig genannt, dass in warmen Regionen oder Jahreszeiten die gemessene Schadstoffbelastung besser die tatsächliche Exposition der Bevölkerung repräsentiert, da sich die Menschen dann öfter im Freien

aufhalten bzw. die Wohnungen mehr Austausch mit der Umgebungsluft aufweisen (Katsouyanni et al. 2001). Schlussendlich werden sich gegenseitig verstärkende Effekte von Luftverschmutzung und meteorologischen Faktoren beobachtet: so verstärkt einerseits hohe Temperatur die Wirkung von Ozon auf die KVK-Mortalität (Ren et al. 2009), andererseits verstärkt aber auch ein hoher Ozongehalt den ungünstigen Effekt hoher Temperatur (Ren et al. 2008).

3.3 Atemwegserkrankungen

Atemwegserkrankungen sind nach den kardiovaskulären Krankheiten und Krebserkrankungen die dritthäufigste Ursache von Mortalität und Morbidität in Deutschland. So entfallen hier im Jahr 2010 ca. 7 % aller Sterbefälle auf Erkrankungen des Atmungsapparats (DESTATIS 2010b). Dabei gehen insbesondere chronische Erkrankungen der unteren Atemwege (chronische obstruktive Lungenkrankheit, Asthma bronchiale) sowie die Lungenentzündung als bedeutendste Infektionskrankheit häufig mit schwerwiegenden Verläufen und Todesfällen einher.

Die chronische obstruktive Lungenkrankheit (COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease) ist eine entzündliche Veränderung des Lungengewebes, bei der durch langfristiges Einatmen schädlicher Substanzen (v. a. Tabakrauch) die Schleimhaut der Bronchien verkümmert. Dies führt, beginnend mit einer Überempfindlichkeit der Bronchien, auf lange Sicht einer irreparablen Zerstörung der Lungengewebsstruktur und zu einem Kollaps der Bronchien (Rabe et al. 2007). Symptome sind fortschreitende Atemnot und Kurzatmigkeit selbst bei nur geringen körperlichen Belastungen. Betroffen sind großteils Raucher bzw. dem Passivrauch ausgesetzte Personen, allerdings spielt in Entwicklungs- und Schwellenländern auch die Luftverschmutzung eine nicht unbedeutende Rolle. An COPD leiden global ca. 65 Millionen Menschen mit ansteigendem Trend: so erwartet die WHO, dass die Krankheit bis 2030 von der weltweit fünfthäufigsten zur dritthäufigsten Todesursache aufsteigt (Dance 2012). In Deutschland ist COPD mit aktuell jährlich 25000 Todesfällen die Atemwegserkrankung mit der höchsten Mortalität, wobei die Zahl der Sterbefälle allein in den letzten zehn Jahren um 46 % angestiegen ist (DESTATIS 2010b).

Asthma bronchiale bezeichnet eine chronische Entzündung und Überempfindlichkeit der Bronchialschleimhaut. Dabei wird zwischen allergischem Asthma (Immunreaktion) und nicht-allergischem Asthma (keine Immunreaktion) unterschieden, wobei ersteres wesentlich häufiger vorkommt und das nicht-allergische Asthma in seiner Reinform nur in 10 % der Fälle auftritt. Allergene oder andere Reize lösen einen physiologischen Prozess aus, der über eine Verkrampfung der Bronchialmuskulatur zu einer Verengung der Atemwege und anfallsartiger Luftnot führt. Auch Asthmaerkrankungen nehmen weltweit in den meisten Ländern zu (Beggs und Bambrick 2005). Schätzungen gehen davon aus, dass allein in Deutschland etwa 7 % der Bevölkerung bzw. über 5 Millionen Personen betroffen sind (Masoli et al. 2004), wobei die asthmabedingte Mortalität in den letzten Jahren auf Grund besserer medizinischer Behandlungsmöglichkeiten auf aktuell ca. 1200 jährliche Todesfälle zurückgegangen ist (DESTATIS 2010b).

Unter den Infektionskrankheiten ist die Lungenentzündung bzw. Pneumonie die bedeutendste Erkrankung in Deutschland mit ca. 220000 Krankenhausaufnahmen (DESTATIS 2010a) und 18000 Todesfällen (DESTATIS 2010b) im Jahr 2010. Unter einer Lungenentzündung wird eine akute oder chronische Entzündung des Lungengewebes verstanden, deren Hauptursache eine bakterielle Infektion ist, z. B. durch Pneumokokken, Staphylokokken oder Mykoplasmen. Eine Pneumonie-Infektion tritt häufig als sekundäre Erkrankung bei älteren und anfälligen Personen auf, die z. B. unter COPD oder Immunabwehrschwächen leiden.

Neben der Lungenentzündung gehört auch die durch den Influenza-Virus hervorgerufene Grippe zu den Infektionskrankheiten mit potentiell tödlichem Verlauf. Noch vor einigen Jahrzehnten führte diese im Winter regelmäßig zu Pandemien mit vielen Todesfällen. Heute ist die Bedrohung durch die Influenza auf Grund alljährlicher Impfungsmöglichkeiten und besserer medizinischer Behandlung stark zurückgegangen und die Erkrankung ist nicht mehr in den Top 100 der Todesursachen in Deutschland zu finden (DESTATIS 2010b).

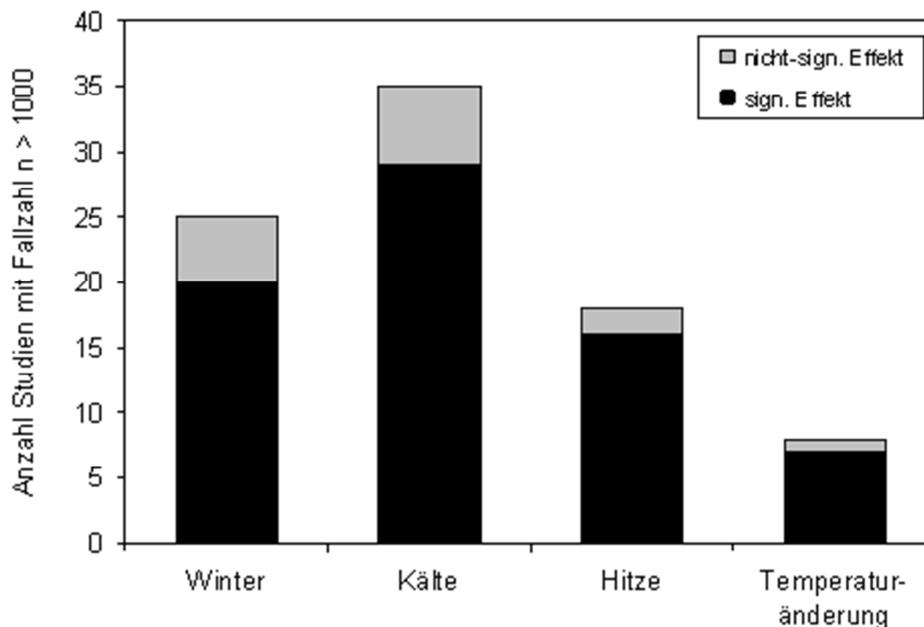
Weitere sehr häufige Infektionskrankheiten mit allerdings wesentlich leichteren Symptomen und geringer Mortalität sind gewöhnliche Erkältungserkrankungen. Diese werden ebenfalls durch Viren

verursacht (z. B. Respiratorische Syncytial-Viren, Rhinoviren oder Adenoviren), und betreffen überwiegend die oberen Atemwege.

Wie bei den kardiovaskulären Erkrankungen ist auch bei den Atemwegserkrankungen (AK) ein eindeutiger saisonaler Verlauf festzustellen, wobei 20 von 25 Studien mit einer Fallzahl $n > 1000$ Patienten ein gehäuftes Auftreten im Winter beobachten (Abb. 6). Der jahreszeitliche Effekt ist hier meist sogar noch deutlicher ausgeprägt als bei den KVK (vgl. Tab. 1). So stellen z. B. Nakaji et al. (2004) in Japan einen Unterschied in der AK-Mortalität zwischen Winter und dem Durchschnittswert des Jahres von +36 % fest. Auch in weiteren Studien, welche die Mortalität und Morbidität verschiedener Krankheitstypen vergleichen, findet sich die jeweils größte jahreszeitliche Variation bei den Atemwegserkrankungen (Revich und Shaposhnikov 2008, Nayha 2005, Kovats et al. 2004).

Eine weitere Gemeinsamkeit zu den bisher behandelten Krankheitstypen ist der schädliche Einfluss von sowohl niedrigen als auch sehr hohen Temperaturwerten. Von insgesamt 43 AK-Studien mit einer Fallzahl $n > 1000$ Patienten zum Einfluss der Temperatur bestätigen 29 von 35 Studien den Kälteeffekt und 16 von 18 den Hitzeeffekt (vgl. Abb. 6).

Abbildung 6: Anzahl der Studien zu Atemwegserkrankungen mit Fallzahl $n > 1000$, die signifikante Effekte von Winter, Kälte, Hitze und Temperaturänderungen belegen.



Dabei beobachten quasi alle Studien einen noch stärkeren Einfluss der Temperatur auf die Atemwegserkrankungen als auf die gesamten oder kardiovaskulären Krankheiten (vgl. Tab. 2). So beträgt in einer Auswertung der Mortalität bei den AK in einer europäischen Übersichtsstudie von Analitis et al. (2008) der Kälteeffekt pro Grad Celsius unter dem thermischen Optimum durchschnittlich +3,30 % (Gesamtmortalität +1,35 %), während Baccini et al. (2008) im Rahmen des gleichen Projekts einen sommerlichen Hitzeeffekt pro Grad Celsius über dem thermischen Optimum von +6,40 % (Gesamtmortalität +2,48 %) nachweisen. Auch für die Mehrheit der weiteren Studien ergeben sich qualitativ die gleichen Aussagen, wobei die Temperatureffekte auf die Morbidität meist ebenfalls signifikant ausfallen (im Unterschied zu den KVK, vgl. Tab. 2 unterer Teil). Dabei strapazieren sowohl Kälte als auch Hitze den menschlichen Organismus und schwächen die Immunabwehr, was zu einem häufigeren Auftreten von z. B. Lungenentzündungen und anderen Infektionen führt (Makie et al. 2002).

Die bisher geschilderten Beobachtungen zu Jahresgang und Einfluss von Temperatur sind gut belegt und für die Gesamtheit der Atemwegserkrankungen gültig. Allerdings existieren zwischen den be-

handelten Atemwegserkrankungen Unterschiede bezüglich der pathophysiologischen Ursachen und Mechanismen, die sich auch auf den Einfluss meteorologischer Parameter auf die Verschlimmerung der jeweiligen Symptome auswirken. Aus diesem Grund wird im Folgenden separat auf COPD, Asthma und Atemwegsinfektionen eingegangen.

3.3.1 COPD

Mit die häufigsten Ursachen für Krankenhausaufnahmen bei COPD sind temporäre Verschlimmerungsphasen mit erhöhter Atemnot. Dabei sind meteorologische Faktoren zwar an der Entwicklung der Krankheit nicht beteiligt, können allerdings zu einer Verschlimmerung der Symptome erheblich beitragen (Tab. 10). Auffällig ist in diesem Zusammenhang insbesondere der ungünstige Einfluss von kühler Luft im Winter (Donaldson und Wedzicha 2006). In Labortests konnte gezeigt werden, dass dieser Effekt auf das Atemsystem auf zweierlei Mechanismen beruht. Hierbei wird zum einen bei einer Abkühlung der unbedeckten Gesichtshaut über einen Reflex des Vagusnervs eine Verengung der Atemwege bzw. Bronchokonstriktion herbeigeführt (Koskela et al. 1996). Der zweite Mechanismus bewirkt vor allem während körperlicher Anstrengung bei einem Einatmen von kalter Luft eine Abkühlung der Atemwege, die ebenfalls zu einer Bronchokonstriktion und Atemknappheit beiträgt (Stensrud et al. 2007).

Tabelle 10: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf COPD.

Referenz	Land	Fallzahl	T	dT	DT R	p	RH	Wind	RR	SD
Ferrari et al. (2012)	Deutschland	1,7 Mio.	s+			S+	(s-)	(s+)	ns	s-
Donaldson und Wedzicha (2006)	UK	550.000	s-							
Liang et al. (2009)	Taiwan	3.263	s-		s+					
Song et al. (2008)	China	>1.000			s+					
Maheswaran et al. (2010)	UK	422	s-							
Bakerly et al. (2011)	UK	157	s-							
Bhowmik et al. (2005)	UK	79	s-							
Donaldson et al. (1999)	UK	76		s-						
Koskela et al. (1996)	Finnland	33	s-							

Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), Temperaturänderung (dT), innertägliche Temperaturschwankung (DTR), Luftdruck (p), relative Luftfeuchte (RH), Windgeschwindigkeit (Wind), Niederschlag (RR), Sonnenscheindauer (SD). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

Auch rasche Temperaturrückgänge zum Vortag können zu einer signifikanten Verschlimmerung von Symptomen und einer Verschlechterung der Lungenfunktion bei COPD-Patienten führen (Donaldson et al. 1999). Ähnliches gilt für innertägliche Temperaturschwankungen: so beobachteten Liang et al. (2009) mit zunehmendem Abstand zwischen täglicher Maximal- und Minimaltemperatur einen Anstieg von COPD-Krankenhausaufnahmen, und Song et al. (2008) stellen eine signifikante Zunahme der COPD-Mortalität von +1,25 % pro Grad Celsius innertäglicher Schwankung fest.

Eine jüngst erschienene umfangreiche Studie zur Anzahl ambulanter Hausbesuche in Bayern findet als einzige eine positive Korrelation zwischen Temperatur und COPD (Ferrari et al. 2012). Leider wird hier aber kein möglicher Wirkmechanismus für den ungünstigen Einfluss hoher Temperatur diskutiert. Diese Studie ist auch die einzige, die den Einfluss weiterer meteorologischer Parameter auf COPD untersucht. Hierbei wird ein signifikant schädlicher Einfluss hohen Luftdrucks und niedriger Sonnenscheindauer festgestellt. In der Teilregion Nordbayern wird zusätzlich ein ungünstiger Effekt von niedriger Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit beobachtet, während Niederschlag nicht mit COPD verbunden zu sein scheint. Um allerdings belastbare Aussagen zum Einfluss dieser meteorolo-

gischen Wetterelemente auf COPD machen zu können, ist eine Bestätigung durch weitere Untersuchungen erforderlich.

3.3.2 Asthma

Bei der Auslösung und Verschlimmerung von Asthmasymptomen spielt das Wetter sowohl auf direktem Weg als auch indirekt über seinen Einfluss auf allergene Pollen und Luftverschmutzung eine wichtige Rolle. Der meteorologische Parameter mit dem eindeutigsten Effekt ist dabei die Temperatur (Tab. 11). So wurde von den meisten diesbezüglichen Untersuchungen ein ungünstiger Einfluss von niedriger Temperatur und raschen Temperaturrückgängen bestätigt (Hashimoto et al. 2004, Weiland et al. 2004, Chen et al. 2006). Dieser Effekt beruht ebenso wie bei COPD auf einer Bronchokonstriktion, welche sowohl durch vagale Reflexe bei Hautkühlung als auch durch direkte Atemwegsabkühlung ausgelöst wird (Koskela 2007). Zwar funktionieren diese Mechanismen auch bei gesunden Personen und insbesondere der zweite Effekt kann z. B. bei längerem Training in kalter Umgebungsluft zum sogenannten Belastungsasthma führen (Storms 2003), allerdings sind die Auswirkungen auf anfällige und asthmatische Personen deutlich stärker.

Bezüglich der Luftfeuchtigkeit werden in Untersuchungen unterschiedliche Effekte auf Asthmatiker berichtet. Dabei wurde zum einen in Klimakammern nachgewiesen, dass sich die Atemkapazität mit abnehmender Luftfeuchte signifikant verschlechtert (Stensrud et al. 2006). Andererseits wurde in einigen Studien ein Zusammenhang von hoher Luftfeuchtigkeit und Asthmaattacken berichtet, wobei diese in einigen Fällen auch auf Begleitursachen wie eine höhere Konzentration von Pilzsporen zurückzuführen sind. Aus diesen Gründen kann z. B. auch der Effekt der Luftfeuchte je nach Aufenthaltsort gegensätzlich ausfallen: während innerhalb von Gebäuden eine um 10 % höhere relative Feuchte einen Anstieg von Asthmaanfällen um 2,7 % bewirkt, ist im Freien eine geringere Luftfeuchte signifikant mit Asthmaattacken korreliert (Weiland et al. 2004).

Ein weiteres häufig in Verbindung mit Asthma gebrachtes Wetterereignis sind Gewitter. So bestätigen zahlreiche Studien eine signifikante Häufung von Asthmaattacken während und kurz nach Gewittern (Villeneuve et al. 2005, Grundstein und Sarnat 2009). Diese Zunahme kann neben einem raschen Temperaturrückgang vor allem auf eine erhöhte Anzahl freigesetzter Pollen zurückgeführt werden (Celenza et al. 1996, Schuh 2003). Dabei können große Regentropfen durch das Zerschlagen und Aufplatzen von Pollen eine erhöhte Freisetzung allergener Proteine bewirken, die durch starke Winde während eines Gewitters zusätzlich verbreitet werden (Grundstein und Sarnat 2009).

Darüber hinaus berichten einige Studien von einem ungünstigen Einfluss von nebligen Wettersituationen auf Asthmatiker (Villeneuve et al. 2005). Hierbei ist der genaue Mechanismus aber nicht einheitlich beschrieben: während manche Studien einen negativen Einfluss von hoher Luftfeuchtigkeit vermuten (Kashiwabara et al. 2003), könnten auch Begleiterscheinungen nebligen Wetters z. B. kühle Temperatur oder Schadstoffanreicherung während windarmer Wetterlagen als Ursache involviert sein.

Weitere Wetterfaktoren wie Luftdruck, Wind oder Niederschlag werden seltener im Zusammenhang mit Asthma genannt. Einige Studien mit positiver Korrelation zum Luftdruck beruhen auf monatlichen Daten (Priftis et al. 2006, Xirasagar et al. 2006) und sind daher nicht mit dem täglichen Wettergeschehen, sondern eher mit dem saisonalen Zyklus in Verbindung zu bringen.

Tabelle 11: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Asthma.

Referenz	Land	Fallzahl	T	dT	p	dp	RH	dRH
Chen et al. (2006)	Taiwan	99591	s-		s+		ns	
Arnedo-Pena et al. (2011)	Spanien	45000					s-	
Xirasagar et al. (2006)	Taiwan	27275	s-		s+		s-	
Priftis et al. (2006)	Griechenland	25412			s+		s+	
Mireku et al. (2009)	USA	25401		s+		ns		s+
Villeneuve et al. (2005)	Kanada	18970		ns				ns
Nastos et al. (2008)	Griechenland	12000	s-				s+	
Verlato et al. (2002)	22 eur. Länder	>10000	s-/s+					
Abe et al. (2009)	Japan	6447	s-		ns		ns	
Weiland et al. (2004)	12 eur. Länder	6000	s-				s-/s+	
Hashimoto et al. (2004)	Japan	5559		s-		s-		s-
Yang et al. (1997)	Taiwan	4164					s+	
Grineski et al. (2011)	USA	3503						
Garcia-Marcos et al. (2009)	Spanien	3000					s+	
Wang und Yousef (2007)	USA	>2000	s-					
May et al. (2011)	USA	554	s-				s+	
Rossi et al. (1993)	Finnland	232	s-		ns		ns	
Celenza et al. (1996)	London	148		s-				
Koh und Choi (2002)	Korea	69	s-				s-	
Koskela und Tukiainen (1995)	Finnland	25	s-					
Kilic et al. (2010)	Türkei	25	s+		s-			
Stensrud et al. (2006)	Norwegen	20	s-				s-	s-
Stensrud et al. (2007)	Norwegen	20	s-	s-			s-	
Carey et al. (2010)	USA	12	ns					

Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), Temperaturänderung (dT), Luftdruck (p), Luftdruckänderung (dp), relative Luftfeuchte (RH), Änderung der relativen Luftfeuchte (dRH). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

3.3.3 Infektionen der Atemwege

Die Häufigkeit von Atemwegsinfektionen unterliegt der Verbreitung und Stabilität von Krankheitserregern sowie der individuellen persönlichen Anfälligkeit. Dabei können neben dem menschlichen Verhalten auch meteorologische Faktoren zu einer Ansteckung beitragen. Das dominierende zeitliche Muster in den Klimaten der mittleren Breiten ist eine signifikante Häufung der Krankheitsfälle in den Wintermonaten, die von quasi allen Studien bestätigt wird. So beträgt z. B. der Unterschied in der Mortalität bei Lungenentzündungen zwischen Winter und Gesamtjahr in Japan +34 % (Nakaji et al. 2004). Bei Influenza und Erkältungskrankheiten ist die jahreszeitliche Schwankung noch wesentlich größer, so treten mehr als 90 % aller Fälle in den Wintermonaten auf (Dushoff et al. 2006, Meerhoff et al. 2009).

Als wichtige meteorologische Parameter mit Einfluss auf die Häufigkeit von Atemwegsinfektionen gelten insbesondere Temperatur und Luftfeuchtigkeit. So konnten z. B. Davis et al. (2012) eine höhere Mortalität bei Pneumonie und Influenza in Verbindung mit kühlen und trockenen Wetterlagen im Winter beobachten. Der Zusammenhang zwischen dem Einatmen kühler und trockener Luft und einer höheren Anfälligkeit für diese beiden Erkrankungen wurde in Tierversuchen nachgewiesen (Loren et al. 2007). Weiterhin konnte auf Basis von Labortests mit menschlichen Probanden belegt

werden, dass die genannten Lufteigenschaften eine höhere bakterielle Aktivität in der Lunge begünstigen (Harris et al. 2002). Dabei sind die meisten bakteriellen Erreger für Pneumonie zwar das ganze Jahr im oberen Atemtrakt vorhanden, werden aber von der Immunabwehr der Bronchien in Schach gehalten. Bei einer Auskühlung und Austrocknung der Bronchialschleimhaut sinkt dagegen die Widerstandsfähigkeit gegen die Erreger und eine Entwicklung der Krankheit gerade bei anfälligen Personen mit ohnehin geringer Immunabwehr wird wahrscheinlicher (Pio et al. 2010).

Auch bei Erkältungskrankheiten werden von den meisten Studien niedrige Temperaturwerte als wichtigstes ungünstiges Wetterelement angegeben (Yusuf et al. 2007). Ursache hierfür ist eine erhöhte Anfälligkeit bei Auskühlung der Bronchialschleimhaut. Daneben wird klimatologisch manchmal aber auch ein schädlicher Einfluss von hoher Luftfeuchtigkeit beobachtet (du Prel et al. 2009, Meerhoff et al. 2009). Dies liegt an der Rolle der meteorologischen Faktoren für die Stabilität der Erkältungsviren außerhalb des Körpers. Labortests zeigen eine höhere Stabilität von Erkältungsviren in Aerosolen bei niedriger Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit (Rechsteiner und Winkler 1969), was zu einer höheren Ansteckungsgefahr durch diesen Übertragungsweg führt. Des Weiteren wird in einigen Studien eine negative Korrelation von Sonneneinstrahlung und Erkältungen beobachtet (Viegas et al. 2004, Yusuf et al. 2007), wobei die zugehörige Hypothese von einer Inaktivierung der Erreger außerhalb des Körpers durch länger andauernde UVB-Einstrahlung ausgeht. Weitere meteorologische Faktoren wurden seltener untersucht und ergaben keine einheitlichen Resultate. So beobachteten Walton et al. (2010) in einem Review-Artikel über Erkältungsviren nur für die Temperatur (26 von 35 Studien) und die Luftfeuchte (16 von 28 Studien) signifikante Ergebnisse in der Mehrheit der untersuchten Studien, was die wichtige Rolle dieser beiden Parameter unterstreicht.

Es bleibt zu erwähnen, dass das Wetter die Häufigkeit von Atemwegsinfektionen nicht nur auf direktem, sondern auch auf indirektem Weg begünstigen kann. So führen die niedrigeren Temperaturwerte im Winter zu einem häufigeren Aufenthalt in Gebäuden und öffentlichen Transportmitteln. Dabei steigt die Ansteckungsgefahr durch den Kontakt zu einer höheren Zahl potentieller Krankheitsträger und durch die oft trockene Heizungsluft im Inneren von Gebäuden. Die Bedeutung dieser indirekten Faktoren ist auch sehr anschaulich in anderen Klimaten z. B. den Tropen zu beobachten. In diesen weist die jahreszeitliche Schwankung einen völlig anderen Verlauf auf und das Maximum der Atemwegsinfektionen ist nicht in der kältesten Jahreszeit, sondern häufig in der Regenzeit zu finden (Paynter et al. 2010). Auch hier wird von einer erhöhten Ansteckungsgefahr durch häufigeren Aufenthalt im Inneren von Gebäuden und der größere Personendichte dort ausgegangen (Yusuf et al. 2007).

3.3.4 Einfluss der Luftverschmutzung

Wie bereits in Kap. 3.2.4 beschrieben, kann Luftverschmutzung (vor allem bei Akkumulation von Schadstoffen in windschwachen Wetterlagen) einen schädlichen Einfluss auf Häufigkeit und Mortalität von Erkrankungen ausüben. Dabei sind neben kardiovaskulären Krankheiten insbesondere Atemwegserkrankungen betroffen (vgl. Tab. 8). So beobachten fast alle Studien einen stärkeren Effekt von Luftschadstoffen auf die AK-Mortalität als auf die Gesamtmortalität (Bell et al. 2004, Domini et al. 2005). Ältere Personen scheinen besonders anfällig zu sein (Omori et al. 2003).

Der schädliche Einfluss von Luftschadstoffen gilt darüber hinaus auch separat für alle behandelten Atemwegserkrankungen. So sind z. B. COPD-Patienten besonders stark von schlechter Luftqualität betroffen (Braga et al. 2001, Kan und Chen 2003, Lee et al. 2007b). Dies verwundert nicht, da Luftschadstoffe (neben Tabakrauch) zu den Hauptursachen dieser Erkrankung zählen (Rabe et al. 2007). Episoden mit hoher Luftverschmutzung können daher die entzündeten Bronchialstrukturen zusätzlich schädigen und zu einer Verschlimmerung der Symptome beitragen. Auch bei Asthma konnte ein ungünstiger Effekt von Luftschadstoffen nachgewiesen werden. So beobachten z. B. Sunyer et al. (2003) in einer Untersuchung in sieben europäischen Städten pro Erhöhung des SO₂-Gehalts um 10

ppb eine signifikante Zunahme der asthmabedingten Krankenhausaufnahmen von 1,3 %. Für andere Schadstoffe wie Feinstaub, NO₂ oder Ozon fallen die Ergebnisse qualitativ vergleichbar aus (Barnett et al. 2005b, Stieb et al. 2009). Ein schädlicher Einfluss von Luftschadstoffen wird ebenfalls für Atemwegsinfektionen wie Pneumonie, Influenza oder Erkältungen belegt (Martins et al. 2002, Barnett et al. 2005b).

Als pathophysiologischer Mechanismus kann eine mit der Aufnahme von Schadstoffen einhergehende Erhöhung der Konzentration von körpereigenen Signalmolekülen ausgemacht werden (Hertel et al. (2010), vgl. auch Kap. 3.2.4). Diese Botenstoffe werden mit entzündlichen Prozessen der Bronchialschleimhaut in Verbindung gebracht, die ungünstigen Einfluss sowohl auf kardiovaskuläre Krankheiten als auch auf Atemwegserkrankungen ausüben (Rückerl et al. 2007). Darüber hinaus wurde bei erhöhter Luftverschmutzung eine Verschlechterung der Lungenfunktion z. B. bei COPD-Patienten nachgewiesen (Silkoff et al. 2005, Lagorio et al. 2006). Ein weiterer Effekt ist ein möglicher Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Allergenen. So bestätigen sich zunehmend Hinweise, dass die Allergenität von Pollen bei gleichzeitiger Anwesenheit von Luftschadstoffen signifikant erhöht ist, was zu einer Verschlimmerung der Symptome bei Allergikern und Asthmatikern beiträgt (Carlsten und Melen 2012).

Einige Studien untersuchen auch den gleichzeitigen Einfluss von Luftverschmutzung und meteorologischen Parametern auf Atemwegserkrankungen (vgl. Tab. 9, unten). Dabei zeigt sich wie schon bei den kardiovaskulären Krankheiten (Kap. 3.2.4) eine Temperaturabhängigkeit der Schadstoffwirkung. Hohe Temperatur ist im allgemeinen mit einer stärkeren Schadstoffwirkung auf Krankheiten wie Asthma (Hanna et al. 2011, Lavigne et al. 2012), COPD (Yang und Chen 2007) und Lungenentzündungen (Chiu et al. 2009) verbunden. Als Begründung für diesen Effekt wird ebenfalls die höhere Exposition der Bevölkerung gegenüber Luftschadstoffen in der wärmeren Jahreszeit genannt (Stieb 2009). Nur eine einzige Studie untersucht die gleichzeitige Wirkung von Luftverschmutzung und Luftfeuchte auf die menschliche Gesundheit (Leitte et al. 2009). Dabei beobachten die Autoren, dass der ungünstige Effekt von Feinstaub auf chronische Bronchitis bei hoher absoluter Luftfeuchte geringer ausfällt. Als Erklärung dient hier die bei hoher Feuchtigkeit reduzierte Anzahl von Schadstoffteilchen in der Luft.

3.4 Migräne und Kopfschmerzen

Migräne und Spannungskopfschmerz gehören zu den primären Kopfschmerzformen (d. h. nicht als Folge einer anderen Krankheit wie z. B. eines Tumors) und machen zusammen etwa 90 % aller Kopfschmerzerkrankungen aus. Dabei ist die Migräne eine neurologische Erkrankung mit periodisch wiederkehrenden anfallsartigen Kopfschmerzattacken. Diese sind häufig von weiteren Symptomen wie Appetitlosigkeit, Übelkeit, sowie Licht- und Geräuschempfindlichkeit begleitet. In einigen Ausprägungen geht dem Migräneanfall eine sogenannte Aura mit optischen und sensorischen Wahrnehmungsstörungen voraus. Es wird davon ausgegangen, dass weltweit und in Deutschland ca. 10 % der Bevölkerung an Migräne leiden, wobei der Anteil der Frauen mit 65 % deutlich überwiegt (Obermann und Katsarava 2008). Die Ursachen für diese Erkrankung sind noch nicht endgültig geklärt. Vieles spricht dafür, dass sowohl genetische als auch äußere Faktoren eine Rolle spielen. Eine häufige Theorie ist die sogenannte Übererregbarkeitshypothese, die eine besondere Empfindlichkeit des Nervensystems und Gehirns gegenüber äußeren und inneren Reizen postuliert (DMKG 2005). Migräne ist bis heute nicht heilbar, allerdings ist die medikamentöse Behandlung ihrer Symptome mittlerweile gut möglich.

Der episodische Spannungskopfschmerz ist die häufigste Kopfschmerzform in Deutschland mit ca. 29 Millionen Betroffenen (Schuh 2007). Dabei ist er im Unterschied zur Migräne durch leicht- bis mittelschwere beidseitige Kopfschmerzen geprägt. Diese haben keinen pulsierenden, sondern eher einen drückenden/ziehenden Charakter und sind im Allgemeinen nicht durch Begleitsymptome gekennzeichnet. Auch bei Spannungskopfschmerzen sind die genauen Ursachen noch nicht geklärt. Es werden Einflüsse verschiedener Faktoren vermutet (z. B. Muskelverspannungen des Nackens), bei dem es durch Aktivierung von Schmerzrezeptoren zu einer leichteren Wahrnehmung von Schmerzen kommt (Kaniecki 2012).

Da Migräne und Spannungskopfschmerz in vielen Patienten kombiniert auftreten und teilweise auch die exakten Diagnosen aufwendig und fehleranfällig sind, untersuchen einige Studien gemischte Patientengruppen (Walach et al. 2002, Holzhammer und Wöber 2006, Connelly et al. 2010). Aus diesem Grund steht im Folgenden der Begriff Kopfschmerzen stets für die beiden genannten Krankheitsformen.

Im Gegensatz zum Kreislauf- und Atmungssystem sind bei Kopfschmerzen keine saisonalen Häufungen der Beschwerden zu beobachten. So konnte keine der untersuchten Studien einen signifikanten Jahresgang feststellen, und Kopfschmerzattacken traten zu allen Jahreszeiten etwa ähnlich häufig auf (Hoffmann et al. 2011, Bekkelund et al. 2011).

In Umfragen oder Interviews geben Patienten oft an, dass ihre Kopfschmerzanfälle durch bestimmte Schlüsselreize wie Umweltfaktoren oder Änderungen des persönlichen Lebensstils ausgelöst werden. So berichten 75-90 % der Migräne-Patienten von sogenannten Triggern, die ihren Migräneattacken vorausgehen (Kelman 2007, Yadav et al. 2010). Zu diesen Triggern gehören neben Stress, Menstruation, Schlafstörungen und Ernährung auch Wetteränderungen (Friedman und De ver Dye 2009). Insgesamt sind mehr als 60 Schlüsselreize für Migräne bekannt, wobei Betroffene im Mittel neun verschiedene persönliche Trigger angeben (Wöber et al. 2006). Wetteränderungen werden sehr oft unter den Top 3 der wichtigsten auslösenden Faktoren genannt, wobei die Schwankungen je nach Studie von 10 % (Yadav et al. 2010) bis 83 % (Eross et al. 2007) reichen. Im Mittel der untersuchten Artikel nennen etwa 50 % der Migräne-Patienten den Wettereinfluss als Schlüsselreiz (vgl. Tab. 12). Auch beim Spannungskopfschmerz spielen Wetteränderungen als auslösende Faktoren eine gewisse Rolle, auch wenn der Anteil in der einzigen Studie mit einer separaten Auswertung von Migräne und Spannungskopfschmerz für letztere Krankheitsform geringer auszufallen scheint (Chabriat et al. 1999).

Tabelle 12: Prozentualer Anteil von Migräne- und Kopfschmerz-Patienten, die Wetter bzw. Wetteränderungen als Trigger für Kopfschmerz-Attacken nennen.

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	Anteil [%]
Zivadinov et al. (2003)	Kroatien	Migräne, SK	2.475	46
Kelman (2007)	USA	Migräne	1.207	53
Lampl et al. (2003)	Österreich	Migräne	997	42
Bener (2006)	Katar	Migräne, SK	913	50
Chabriat et al. (1999)	Frankreich	Migräne	385	35
		SK	313	18
Yadav et al. (2010)	Indien	Migräne	182	10
Wöber et al. (2006)	Österreich	Migräne, SK	120	82
Neut et al. (2012)	Frankreich	Migräne	102	69
Eross et al. (2007)	USA	Migräne	100	83
Ierusalimschy und Moreira Filho (2002)	Brasilien	Migräne	100	76
Prince et al. (2004)	USA	Migräne	77	62
Kimoto et al. (2011)	Japan	Migräne	28	64

SK: Spannungskopfschmerz

Die wissenschaftlichen Belege für einen Zusammenhang zwischen Wetter und Kopfschmerzen sind im Gegensatz zu den persönlichen Empfindungen der Patienten nicht eindeutig. Einige Studien finden zwar signifikante Einflüsse meteorologischer Parameter, allerdings sind die Ergebnisse teilweise inkonsistent und lassen kein systematisches Bild entstehen (siehe Tab. 13).

Ein häufig von Patienten vermuteter ungünstiger Schlüsselreiz ist niedriger Luftdruck. Zwar gibt es einzelne Untersuchungen, die den Einfluss niedrigen Drucks bestätigen (Kimoto et al. 2011). Andererseits finden andere Studien einen ungünstigen Effekt hohen Luftdrucks (Szyszkowicz 2008), während die meisten Artikel keinerlei signifikante Wirkung ausmachen können (Connelly et al. 2010, Zebenholzer et al. 2011). In einem Übersichts-Artikel resümieren Bolay und Rapoport (2011), dass der Luftdruck alleine wohl eher keinen Trigger für Migräne darstellt.

Auch bei der Temperatur sind die Zusammenhänge nicht eindeutig. Hier werden sowohl hohe (Mukamal et al. 2009) als auch niedrige Temperaturwerte (Yang et al. 2011a) mit Kopfschmerzanfällen in Verbindung gebracht. Die Mehrzahl der Studien kann allerdings keine signifikanten Zusammenhänge belegen (Villeneuve et al. 2006, Connelly et al. 2010). Ähnliches gilt für die meisten anderen meteorologischen Parameter. Zwar können in einzelnen Untersuchungen immer wieder Korrelationen zu Kopfschmerzen festgestellt werden, z. B. für hohe Windgeschwindigkeiten (Villeneuve et al. 2006) oder Föhn (Walach et al. 2002), für die Mehrheit der Untersuchungen ergibt sich jedoch kein einheitliches Bild.

Eine Reihe von Studien fokussiert sich deshalb statt auf absolute Werte von meteorologischen Parametern auf rasche Änderungen derselben. Hier stellen z. B. Varin und Czado (2010) und Kimoto et al. (2011) einen ungünstigen Einfluss fallenden Luftdrucks auf Kopfschmerzen fest. In einer jüngst erschienenen deutschen Untersuchung von Scheidt et al. (2012) wird eine signifikante Wirkung von sowohl fallender als auch steigender Temperatur beschrieben. Dabei nimmt die Zahl der Migräneattacken bei einer Abnahme oder Zunahme der Mitteltemperatur zum Vortag von 5°C um jeweils ca. 20 % zu. Da auch die bereits beschriebenen Effekte von Wind und Föhn eher in den Kontext kurzfristiger Wetteränderungen einzuordnen sind, scheinen rasche Änderungen meteorologischer Parameter einen größeren Einfluss auf Kopfschmerzen auszuüben als absolute Werte. Dafür spricht auch die feh-

lende Saisonalität, welche die Bedeutung von absoluter Kälte oder Wärme relativiert. Allerdings können auch hier nicht alle Studien eine signifikante Beziehung zwischen kurzfristigen Wetteränderungen und Kopfschmerzen belegen.

Tabelle 13: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Migräne (Migr.) und Spannungskopfschmerz (SK).

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	T	dT	p	dp	RH	dRH	Wi	RR	SD
Szyszkowicz (2008)	Kanada	SK	10.497	ns		s+		ns				
Mukamal et al. (2009)	USA	SK	7.054	s+		s-		ns				
Scheidt et al. (2012)	Deut.	Migr.	4.700		s-/s+							
Villeneuve et al. (2006)	Kanada	Migr.	4.093	ns		ns		ns		s-	ns	
Zebenholzer et al. (2011)	Österr.	Migr.	238		ns	ns				ns		ns
Varin und Czado (2010)	USA	Migr.	119		ns		s-		Ns			
Walach et al. (2002)	Deut.	Migr., SK	98							ns*		
Prince et al. (2004)	USA	Migr.	77	ns*	ns*	ns*						
Cooke et al. (2000)	Kanada	Migr.	75							ns*		
Yang et al. (2011a)	Taiwan	Migr., SK	52	s-								
Bekkelund et al. (2011)	Norw.	Migr.	40									
Kimoto et al. (2011)	Japan	Migr.	28			s-	s-					
Connelly et al. (2010)	USA	Migr., SK	25	ns		ns		s+				
Hoffmann et al. (2011)	Deut.	Migr.	20	ns*				ns*				

Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), Temperaturänderung (dT), Luftdruck (p), Luftdruckänderung (dp), relative Luftfeuchte (RH), Änderung der relativen Luftfeuchte (dRH), Wind (Wi, incl. Föhn bzw. Chinook), Niederschlag (RR), Sonnenscheindauer (SD). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns. Das *-Zeichen bezeichnet eine sign. Korrelation in Teilgruppen.

Die auffälligen Unterschiede zwischen den persönlichen Eindrücken der Patienten und den Ergebnissen wissenschaftlicher Korrelationsstudien liegen zum einen daran, dass die angegebenen Trigger auf der Selbsteinschätzung von Patienten beruhen. Diese unterliegt aber einem möglichen Bias bezüglich der menschlichen Neigung, kausale Bezüge zwischen verschiedenen Geschehnissen herzustellen. So konnte nachgewiesen werden, dass die tatsächliche Anzahl wetterfühligere Migräne-Patienten signifikant geringer war als die Zahl, die dies von sich geglaubt hatte (Cooke et al. 2000, Prince et al. 2004). Ferner beruhen Studien für eine Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Wetter und Kopfschmerzen meistens auf einer täglichen Aufzeichnung der Häufigkeit und Intensität von Schmerzen in einem Tagebuch und einer Korrelation mit meteorologischen Daten einer nahegelegenen Wetterstation. Da Schmerz jedoch durch keinerlei Messmethoden bestimmt werden kann, muss das Schmerzempfinden von jedem Patienten subjektiv auf einer Skala angegeben werden, was die Vergleichbarkeit erschwert. Zusätzlich ist diese Art der Datenerhebung sehr aufwendig, so dass die untersuchten Fallzahlen maximal im drei- bis vierstelligen Bereich liegen. Dies führt ebenfalls zu Problemen, kleine Wettereinflüsse signifikant herauszuarbeiten.

Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, dass oft nur Teilgruppen der untersuchten Patienten eine Wetterempfindsamkeit aufweisen. Da diese auch unterschiedliche Richtungen der Wetterfaktoren einschließen kann, heben sich die Effekte in der Gesamtheit der untersuchten Patienten oft auf. So führt z. B. in einer Studie von Prince et al. (2004) bei einigen Patienten niedrige Temperatur zu vermehrten Migräneattacken, während andere Betroffene einen ungünstigen Einfluss hoher Temperatur berichten.

Diese Beobachtung der unterschiedlichen Wettersensitivität von Patienten kann aber auch zu Lösungsmöglichkeiten der Problematik führen. So berichten mehrere Studien, die als Gesamtergebnis keine eindeutigen Einflüsse meteorologischer Faktoren beobachtet hatten, von signifikanten Effekten in Teilgruppen. Dabei konnten Einflüsse der Temperatur (Prince et al. 2004), von föhnartigen Chinook-Winden (Cooke et al. 2000) sowie des Sonnenlichts (Bekkelund et al. 2011) belegt werden. In einer jüngst erschienenen deutschen Studie von Hoffmann et al. (2011) an 20 Migräne-Patienten wurde für sechs Teilnehmer eine signifikante Wetterabhängigkeit mit einem Zusammenhang zu niedriger Temperatur gefunden. Es wird daher häufig empfohlen (Becker 2011, Hoffmann et al. 2011), künftige Studiendesigns eher an Longitudinalstudien wetterfühligere Patienten auszurichten, bei denen jede Person als ihre eigene statistische Kontrolle dient.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass der Wettereinfluss auf Migräne und Kopfschmerzen zwar klein, aber dennoch empirisch belegt ist. Während manche Patienten überhaupt keine Wettersensitivität aufweisen, sind andere in besonders hohem Ausmaß betroffen. Dabei scheinen rasche Wetteränderungen von größerer Bedeutung zu sein als die absoluten Werte meteorologischer Parameter. Ebenfalls ist der Akkordeffekt des Wetters wichtig: so verursacht das Zusammenwirken mehrerer Wetterfaktoren in Form eines Kaltfrontdurchzugs oder einer Föhnwetterlage ein häufigeres Auftreten von Kopfschmerzattacken (Walach et al. 2002).

Der pathophysiologische Mechanismus des Wettereinflusses auf die Auslösung von Migräneanfällen ist allerdings noch weitgehend unklar. Befürworter der Übererregbarkeitshypothese gehen davon aus, dass Migräne-Patienten eine besondere Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen Reizen z. B. Umweltfaktoren aufweisen. Daher könnten rasche Wetteränderungen über eine erhöhte Stimulierung des zentralen Nervensystems zu einer Überreaktion und den damit verbundenen Migränesymptomen führen (Schuh 2007). Allerdings sind die exakten Zusammenhänge nach wie vor unbekannt und es sind weitere Forschungen notwendig, um hier größere Klarheit zu erlangen (Connelly et al. 2010, Hoffmann et al. 2011).

3.5 Rheumatische Beschwerden und Schmerzen im Bewegungsapparat

Krankheiten des rheumatischen Formenkreises umfassen Beschwerden am Muskel-Skelettsystems des Körpers, die mit Schmerzen und funktioneller Einschränkung des Stütz- und Bewegungsapparats einhergehen. Dabei ist Rheuma laut der „Internationalen Klassifikation der Krankheiten“ ein Sammelbegriff für ca. 200-400 einzelne Erkrankungen (WHO 2004), die sehr verschiedene Ursachen, Beschwerden und Verläufe haben können. Daher ist ein Überblick über die Beschwerden innerhalb des rheumatischen Formenkreises schwierig und die jeweilige Diagnose steht für viele Patienten oft erst nach einer langjährigen Odyssee durch verschiedene Arztpraxen fest.

Generell werden vier Hauptgruppen von rheumatischen Erkrankungen unterschieden. Der erste Bereich bezeichnet entzündlich-rheumatische Erkrankungen wie z. B. die rheumatoide Arthritis. Bei diesen sogenannten Autoimmunkrankheiten kommt es zu einer Störung des Immunsystems, wobei der Körper die eigenen Gelenkstrukturen angreift. Als Folge der chronischen Entzündungen kann es zu Schmerzen, Schwellungen und Gelenkzerstörungen kommen. Ursachen sind sowohl genetische Disposition als auch Infektionen, hormonelle Prozesse und Rauchen. Weltweit sind etwa 0,5-1 % der Bevölkerung von rheumatoider Arthritis betroffen, wobei der Anteil der Frauen bei etwa 75 % liegt (Kobayashi et al. 2008).

Die zweite Krankheitsgruppe bezeichnet degenerative rheumatische Erkrankungen wie die Arthrose. Dabei wird durch übermäßigen Gelenkverschleiß (z. B. durch Übergewicht oder Fehlstellungen) ein Knorpelabbau hervorgerufen, der zu Schmerzen und langfristig zu massiven Schädigungen des Gelenks führen kann. Prinzipiell können alle Gelenke von Arthrose befallen werden, in Deutschland ist das Knie am häufigsten betroffen. Das Krankheitsrisiko erhöht sich mit zunehmendem Alter: so ist die Mehrzahl der Personen über 65 Jahren von Arthrose betroffen, wobei die Krankheit aber bei vielen Personen symptomlos verläuft (Roach und Tilley 2008).

Der dritte Krankheitsbereich umfasst Erkrankungen der Weichteile. Ein Beispiel hierfür ist die Fibromyalgie (Faser-Muskel-Schmerz). Die Fibromyalgie ist eine chronische und nicht heilbare Erkrankung, die durch Schmerzen, Druckempfindlichkeit und weitere Symptome wie Erschöpfung und Schlafstörungen gekennzeichnet ist. Die Ursachen sind bis heute nicht vollständig geklärt. Vermutet wird eine Störung des zentralen Nervensystems mit einer erniedrigten Schmerzschwelle, oft als Folge von früher erlittenen seelischen und körperlichen Traumata (Nampiaparampil und Shmerling 2004). An Fibromyalgie leiden ca. 2 % der Bevölkerung, wobei hier der Anteil der Frauen 85-90 % beträgt (Bennett et al. 2007).

Ebenfalls zum rheumatischen Formenkreis gehören als letzte Gruppe bestimmte Stoffwechselstörungen wie die Gicht. Dieser Erkrankung liegt eine Nierenfunktionsstörung zugrunde, durch die mittels Ablagerung von Harnsäurekristallen in den Gelenken Knorpelveränderungen und Schmerzen hervorgerufen werden. Im Gegensatz zu den meisten anderen rheumatischen Erkrankungen sind die Ursachen der Gicht heute bekannt und die Krankheit kann gut behandelt werden.

Die Häufigkeit aller schwerwiegenden rheumatischen Erkrankungen wird auf etwa 4 % der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland geschätzt (DGRh 1994). Der Anteil der leichteren und gelegentlichen Beschwerden ist deutlich höher und hat wesentlichen Einfluss auf das Wohlbefinden der Bevölkerung und auf das gesamtwirtschaftliche System. Rheuma gehört zu den häufigsten behandlungsbedürftigen Gesundheitsstörungen: so schätzt z. B. der Rheumabericht der Bundesregierung (Glöser 1997), dass etwa ein Drittel aller Frührenten und ein hoher Prozentsatz aller Arztbesuche auf rheumatischen Erkrankungen beruhen. Darüber hinaus gehen nach aktuellen Zahlen für das Jahr 2010 etwa 10 % aller Krankenhausaufnahmen in Deutschland auf dieses Krankheitsbild zurück (DESTA-TIS 2010a).

Trotz jüngster Fortschritte sind viele rheumatische Erkrankungen bis heute nicht heilbar (vor allem bei fortgeschrittenem Krankheitsverlauf). Aus diesem Grund fokussiert sich die Therapie oft auf die Behandlung von Symptomen durch entzündungshemmende und schmerzlindernde Medikamente (Kay und Westhovens 2009). Darüber hinaus werden zur Linderung von Beschwerden auch die sogenannte physikalische Therapie (Wärme- und Kältebehandlung) sowie in einigen Fällen operative chirurgische Eingriffe durchgeführt.

Schon seit der Antike existiert die Überzeugung, dass das Wetter mit dem Schmerzempfinden bei rheumatischen Erkrankungen in Verbindung steht. Vor allem feuchte und kühle Bedingungen seien ungünstig, während sich warme und trockene Bedingungen vorteilhaft bemerkbar machen (Tromp 1963). Auch in der Gegenwart beschreibt die Mehrzahl der Rheumatiker Wetterbedingungen als wichtigen Schlüsselreiz. In einer Reihe von Befragungen von Patienten mit Rheuma und chronischen Schmerzen im Bewegungsapparat wurde der Anteil der Personen ermittelt, die einen Einfluss von Wetterbedingungen auf ihre Erkrankung beobachten (Tab. 14). Als Ergebnis erachten jeweils 63-87 % der Befragten das Wetter als wichtig für die Intensität ihrer Schmerzempfindungen. Die Ergebnisse sind für verschiedene rheumatische Erkrankungen vergleichbar, wobei bei den Fibromyalgie-Patienten der Anteil wetterempfindlicher Personen noch etwas höher zu sein scheint (Ng et al. 2004, Miranda et al. 2007). Als ungünstige Jahreszeiten werden häufig der Herbst und Winter genannt, als ungünstige Wetterfaktoren niedrige Temperatur, hohe Luftfeuchtigkeit und rasche Wetteränderungen (Shutty et al. 1992, Lloyd et al. 2001, Bennett et al. 2007). Mit einem Anteil wetterempfindlicher Personen von durchschnittlich 75 % sind Rheuma-Patienten unter allen Krankheitsbildern die Gruppe mit der höchsten genannten Wetterempfindlichkeit.

Tabelle 14: Prozentualer Anteil von Patienten mit Rheuma und chronischen Schmerzen im Bewegungsapparat, die bei sich einen Zusammenhang zwischen Wetter und Schmerzempfinden feststellen.

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	Anteil [%]
Bennett et al. (2007)	USA	Fibromyalgie	2.596	80
Miranda et al. (2007)	Portugal	Rheuma	955	70
Jamison et al. (1995)	USA	Chronischer Schmerz	558	68
Salek et al. (2011)	Bangladesch	Chronischer Schmerz	138	63
Ng et al. (2004)	Neuseeland	Rheuma	137	74
Lloyd et al. (2001)	Großbritannien	Rheumatoide Arthritis	92	76
Hagglund et al. (1994)	USA	Fibromyalgie	84	75
Shutty et al. (1992)	USA	Chronischer Schmerz	70	87
Cay et al. (2011)	Türkei	Rheumatoide Arthritis	56	84

Da sehr viele Rheumakranke eine Verschlimmerung ihrer Symptome bei kaltem und feuchtem Wetter beklagen, liegt es nahe, in Regionen mit wärmerem und trockenerem Klima einen geringeren Anteil von rheumatischen Schmerzpatienten zu vermuten. Allerdings sind die wenigen Studien zu diesem Thema widersprüchlich. Während einige Untersuchungen diesbezügliche geographische und klimatische Unterschiede betonen (Costenbader et al. 2008, Kalichman et al. 2011), können andere Studien keine Unterschiede in der Schmerzhäufigkeit von Rheumapatienten zwischen kaltfeuchten und warmtrockenen Gebieten finden (Jamison et al. 1995). Als Begründung wird von letzteren eine Anpassung der Bevölkerung an das jeweilige lokale Klima vermutet. Dagegen berichten die meisten Studien übereinstimmend von den positiven Effekten einer Klimatherapie für Rheuma-Patienten in warmen und trockenen Gebieten (Hafstrom und Hallengren 2003). Beim Vergleich von Rehabilitati-

ons-Maßnahmen in kühlen Klimaten (Skandinavien) und warmen Klimaten (Mittelmeer) zeigt sich zwar für beide Regionen ein positiver Effekt, allerdings ist die im warmen Klima erzielte Wirkung intensiver und länger anhaltend (Staalesen Strumse et al. 2009).

Trotz der Überzeugung der Patienten und der beschriebenen Wirkung von Klimatherapien sind die wissenschaftlichen Belege für einen Zusammenhang zwischen Wetter und der Symptomatik von Rheumaerkrankungen weniger eindeutig. Neben Untersuchungen, die einen Wettereinfluss bejahen, existieren auch viele Studien, die an einem solchen Nachweis scheitern. Die Ergebnisse für aktuelle Studien zur Wirkung von Wetterfaktoren auf rheumatische Erkrankungen sind in Tab. 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf die Symptomatik von rheumatischen Erkrankungen und chronischen Schmerzen im Bewegungsapparat.

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	T	dT	p	dp	RH	dRH	Wi	RR	SD
MacFarlane et al. (2010)	Engl.	Schmerz	2.491	s-		ns					s+	s-
Smedslund und Hagen (2011)	Norw.	RA	492	ns*		ns*		ns*				
McAlindon et al. (2007)	USA	Arthrose	200	s-	ns	ns	s+	ns			ns	
Wilder et al. (2003)	USA	OA	154	ns		ns*					ns	
Strusberg et al. (2002)	Argent.	RA	82	s-		s+		s+				
		Arthrose	52	s-		ns		s+				
		Fibro	17	s-		s+		ns				
Verges et al. (2004)	Span.	Arthrose	80	ns		s-		ns				
		RA	12	s-		ns		ns				
Hagglund et al. (1994)	USA	Fibro	84	ns		ns				s+		ns
Gorin et al. (1999)	USA	RA	75	s-	ns	ns	ns	ns	s+			s-
Fors und Sexton (2002)	Norw.	Fibro	55	ns*		ns*		ns*				ns*
Brennan et al. (2012)	Irland	Arthrose	53	ns	ns	ns	s-/s+				ns	
Drane et al. (1997)	Austr.	RA	53	ns	s-	ns		s+	s-			
Tsai et al. (2006)	Taiwan	RA	52	ns		ns		ns				
Smedslund et al. (2009)	Norw.	RA	36									ns*
Redelmeier und Tversky (1996)	Kanada	RA	18	ns		ns		ns				

Untersuchte Krankheiten: Arthrose, Rheumatoide Arthritis (RA), Fibromyalgie (Fibro), chronischer Schmerz. Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), Temperaturänderung (dT), Luftdruck (p), Luftdruckänderung (dp), relative Luftfeuchte (RH), Änderung der relativen Luftfeuchte (dRH), Windgeschwindigkeit (Wi), Niederschlag (RR), Sonnenscheindauer (SD). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns. Das * Zeichen bezeichnet eine sign. Korrelation in Teilgruppen.

Dabei bestätigt sich der Einfluss von Temperatur und Feuchte als wichtigste meteorologische Faktoren. So beobachten immerhin fünf von 14 Studien einen ungünstigen Effekt von niedriger Temperatur auf Rheuma und Schmerzen im Bewegungsapparat (Strusberg et al. 2002, MacFarlane et al. 2010), während hohe Temperatur in keinem Fall als negativ bewertet wurde. Zusätzlich wird in zwei Studien ein schädlicher Einfluss von hoher Luftfeuchtigkeit genannt.

In früheren Untersuchungen wurde oft die Bedeutung niedrigen Luftdrucks für die rheumatische Symptomatik hervorgehoben (Guedj und Weinberger 1990). Dies spiegelt sich in der aktuellen Zusammenschau nicht wider: so beobachtet die überwiegende Mehrzahl der Studien keinen Einfluss des Drucks, während die wenigen signifikanten Ergebnisse widersprüchlich bezüglich der Richtung des Effekts sind (Strusberg et al. 2002, Verges et al. 2004).

Auch bei raschen Wetterwechseln, manifestiert in Veränderungen der Parameter Temperatur, Feuchte und Luftdruck, wird in einigen Untersuchungen ein signifikanter Wettereinfluss festgestellt (Drane et al. 1997, Brennan et al. 2012). Dabei scheint es in manchen Fällen eher auf die Intensität als auf das Vorzeichen des Wetterwechsels anzukommen, da eine Wirkung bei Veränderungen in beide Richtungen eintritt (Brennan et al. 2012). Ebenfalls wird in einigen Studien ein günstiger Einfluss von Sonnenschein bzw. UV-Strahlung beschrieben (MacFarlane et al. 2010). Weitere Wetterfaktoren wie Wind und Niederschlag wurden seltener in Untersuchungen aufgenommen und zeigen nur in Einzelfällen signifikante Effekte (Hagglund et al. 1994).

Die in der aktuellen Zusammenstellung präsentierten Resultate decken sich bezüglich des nur teilweise erfolgten wissenschaftlichen Nachweises eines Wettereinflusses mit den Ergebnissen anderer Übersichtsartikel. So finden Drane et al. (1997) und de Figueiredo et al. (2011) jeweils in ungefähr der Hälfte der untersuchten Artikel einen signifikanten Effekt von Wetterfaktoren (hauptsächlich Temperatur, Feuchte und Luftdruck) auf Schmerzen und rheumatische Beschwerden. Patberg und Rasker (2004) betonen vor allem die Bedeutung der Luftfeuchte und schließen daraus, dass das Mikroklima an der Haut die entscheidende Rolle spielt. Zwei weitere Übersichtsartikel fassen die Ergebnisse ihrer Literaturrecherche noch zurückhaltender zusammen. So berichtet Quick (1997) in einer Zusammenfassung von 16 Artikeln nur seltene Zusammenhänge zwischen Wetterfaktoren und der Verschlimmerung von Symptomen. Ähnliches ergibt sich aus einer Metaanalyse von Smedslund und Hagen (2011), bei der die Korrelationen von Temperatur, Druck sowie Feuchte und rheumatischen Beschwerden jeweils nahe Null liegen. Die Autoren betonen jedoch, dass in kleineren Teilgruppen von Patienten durchaus Zusammenhänge auftreten können.

Die teilweisen Differenzen bei der Bewertung des Wettereinflusses resultieren aus der schwierigen Vergleichbarkeit vieler Studien. Neben Unterschieden im Krankheitsbild, Studiendesign und der subjektiven Erfassung der Schmerzsymptome spielt oft auch die Studiendauer eine wichtige Rolle. Viele Studien umfassen nur ein Zeitfenster weniger Wochen oder Monate und sind damit zu kurz, um z. B. jahreszeitliche Schwankungen der Temperatur zu beinhalten (Patberg und Rasker 2004). Des Weiteren ist es oft schwierig, den Einfluss einzelner Wetterfaktoren zu quantifizieren, da atmosphärische Prozesse immer simultan ablaufen. Leider gibt es einen Mangel an Untersuchungen in kontrollierten Umgebungen: so sind die Klimakammertests von Hollander (1963) bis heute die einzige Studie in einem derartig kontrollierten Umfeld. In diesen Tests an zwölf rheumatischen Personen unter Laborbedingungen konnte zwar kein Effekt einzelner Wetterfaktoren, dagegen aber eine signifikante Wirkung simultaner Druckabnahme und Feuchtezunahme belegt werden. Der Einfluss von Wetterfaktoren auf chronischen Schmerz konnte zusätzlich in Tierversuchen reproduziert werden: so wirken sich sowohl tiefe Temperatur als auch niedriger Luftdruck ungünstig auf den Schmerz bei Ratten aus (Sato 2003).

Generell scheint die weit verbreitete Überzeugung der Patienten über einen Wettereinfluss auf ihre rheumatische Erkrankung wesentlich stärker zu sein als die tatsächlich wissenschaftlich belegten Effekte. Dies wird vor allem durch psychologische Begründungen erklärt. Zum einen besteht eine Neigung des Menschen, Zusammenhänge und Muster auch dort zu vermuten, wo keine vorhanden sind. So identifizierte z. B. eine Mehrzahl von Studienteilnehmern Korrelationen auch in unkorrelierten Zufallsreihenfolgen (Redelmeier und Tversky 1996). Eine andere Studie konnte nachweisen, dass Wettervorhersagen von Rheumatikern mit selbsterklärter "Wettervorfühlbarkeit" nicht besser als Zufallsvorhersagen waren (Nyberg und Nyberg 1984). Die psychologischen Erklärungen hinter diesen Mechanismen beruhen auf selektiven Bestätigungseffekten bzw. einem positiven Wahrnehmungsbias (Shutty et al. 1992).

Ebenfalls großen Einfluss auf das Schmerzempfinden hat auch die jeweilige Stimmungslage der Patienten. So konnten die Wettereffekte auf rheumatische Beschwerden zu ungefähr 50 % auf Laune, Schlafqualität und mangelnde körperliche Bewegung zurückgeführt werden (MacFarlane et al.

2010). Bekannt ist ebenfalls, dass das individuelle Schmerzempfinden sehr subjektiv ist und sich innerhalb eines Tages deutlich ändern kann.

Selbst bei Studien, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen Wetterfaktoren und Symptomen finden, sind die Effekte auf der Schmerzskala oft sehr klein. So wird z. B. bei Gorin et al. (1999) ein signifikanter Temperatureffekt beobachtet, allerdings zeigt sich bei einer Abkühlung von 10°F (5,6°C) nur ein geringer Anstieg von 0,6 Punkten auf einer Schmerzskala von 100 Punkten. Ähnliche, als klinisch wenig relevant bewertete Ergebnisse finden sich auch in anderen Untersuchungen (McAlindon et al. 2007).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Einflüsse des Wetters auf rheumatische Erkrankungen zwar nicht ganz so stark sind wie in den Überzeugungen der Patienten, dass aber dennoch eine Reihe von Studien signifikante Effekte vor allem im Bereich der Temperatur- und Feuchtebedingungen beobachtet. Hinzu kommt, dass die Wirkung des Wetters auf Rheumakranke sehr individuell ausfallen kann: während bei manchen Patienten keine Wettereffekte auftreten, ist die Wirkung bei bestimmten Teilgruppen deutlich feststellbar. Auf diese Weise schwächt sich der resultierende Effekt für die Gesamtheit der Studie ab und erreicht keine Signifikanz, obwohl für Teilgruppen eine Wetterempfindlichkeit nachgewiesen werden kann (Fors und Sexton 2002, Wilder et al. 2003, Smedslund und Hagen 2011). In diesem Punkt besteht auch ein Zusammenhang zum Wettereinfluss auf das Schmerzempfinden bei Migräne-Patienten, welches ebenfalls sehr individuell ausgeprägt ist (Becker 2011).

Die Mechanismen der Wetterwirkung auf Rheumakranke sind bis heute weitgehend ungeklärt. Einige Hypothesen gehen davon aus, dass vor allem Kälte und Feuchte die Schmerzrezeptoren im Körper ansprechen können, welche über die Nervenbahnen im Gehirn ein Gefühl des Schmerzes erzeugen (Schuh 2007). Diese Beeinflussung der Schmerzrezeptoren kann entweder durch eine Ausdehnung bzw. Kontraktion von Knochen, Muskeln und Sehnen erfolgen oder auf direktem Wege über eine Temperaturempfindlichkeit der Rezeptoren. Des Weiteren wird vermutet, dass insbesondere Mikrotraumata empfindlich auf thermische Ausdehnung bzw. Kontraktion reagieren (Jamison et al. 1995). Der Luftdruck könnte dagegen über eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems zu einer Verstärkung der Schmerzsymptome beitragen (Sato 2003). Trotz fehlender Nachweise der pathophysiologischen Mechanismen besteht heute weitgehender Konsens darin, dass kaltes nasses Wetter die Schmerzschwelle senken und dadurch Gelenkschmerzen hervorrufen kann (Schuh 2007).

3.6 Subjektives Wohlbefinden, psychische Erkrankungen und Suizide

Psychische Erkrankungen wie Depression oder Angst- und Panikstörungen bezeichnen eine erhebliche Abweichung des Verhaltens betroffener Personen von der Norm im Bereich des Denkens, Fühlens und Handelns. Auf Grund dieser Definition ist der Krankheitsbegriff in der Medizin oft unscharf und die Übergänge von der Gesundheit zur Krankheit sind fließend. Psychische Erkrankungen sind weit verbreitet und gehören zu den häufigsten Beratungsanlässen in Arztpraxen und Kliniken: so wird davon ausgegangen, dass etwa 10 % aller Deutschen an behandlungsbedürftigen psychischen Störungen leiden, des Weiteren machten diese Erkrankungen 6,3 % aller Krankenhausaufnahmen im Jahr 2010 aus (DESTATIS 2010a). Im Gegensatz zur oft vorherrschenden Einschätzung eines ansteigenden Trends konnte in einem Übersichtsartikel über 44 Studien keine generelle Zunahme der Häufigkeit psychischer Störungen gefunden werden (Richter et al. 2008). Die beobachtete erhöhte Zahl diesbezüglicher Arbeitsunfähigkeit sowie Frühverrentung wird statt dessen auf eine geringere Dunkelziffer durch Enttabuisierung sowie verbesserte Diagnosen zurückgeführt.

Die Depression stellt die am häufigsten auftretende psychische Erkrankung dar und ist charakterisiert durch gedrückte Stimmung, Interessenverlust und Antriebslosigkeit. Negative Gedanken und Eindrücke werden überbewertet, während positive Aspekte ausgeblendet bleiben. Bei der Entstehung einer Depression spielen sowohl genetische Disposition als auch psychologisch belastende Ereignisse eine Rolle. Im Krankheitsverlauf wird bei den Patienten ein Mangel der Neurotransmitter Serotonin und Noradrenalin im Gehirn festgestellt. Wie viele andere psychische Erkrankungen ist auch die Depression heutzutage durch Psychopharmaka und Psychotherapie oft gut behandelbar (NIMH 2009).

Unter dem Sammelbegriff der Depression verbergen sich verschiedene Subtypen der Erkrankung. So existiert neben der unipolaren Depression (nur negative Stimmungsphasen) auch die bipolare Störung. Diese zeichnet sich durch einen Wechsel aus depressiven und manischen Episoden aus, wobei bei den manischen Phasen Antrieb und Stimmung weit über Normalniveau liegen. Sehr selten tritt der Subtyp der unipolaren Manie auf, welche durch ein Fehlen depressiver Episoden charakterisiert ist. Noch häufiger als eine „echte“ Depression ist die Sonderform der saisonalen depressiven Verstimmung (SAD = seasonal affective disorder) zu beobachten. Diese ist definiert durch eine regelmäßige jahreszeitliche Wiederkehr und erreicht ihr Maximum hauptsächlich im Winter. Als Ursachen werden durch Lichtmangel verursachte Störungen des Melatonin- und Serotoninstoffwechsels sowie Änderungen des chronobiologischen Rhythmus vermutet (Kasper et al. 1989).

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation leiden etwa 5 % der globalen Bevölkerung bzw. 350 Millionen Menschen mindestens einmal im Jahr unter einer Depression (WHO 2012). Für die saisonale depressiven Verstimmung sind die Zahlen wahrscheinlich noch höher, so geben z. B. Rosen et al. (1990) für verschiedene Regionen der USA Anteile von 3-12 % an. Allerdings ist wie bei vielen psychischen Erkrankungen die Dunkelziffer recht hoch, da nach wie vor viele Menschen eine Stigmatisierung befürchten und den Gang zum Arzt vermeiden.

Bei schwer depressiven Patienten wird der Leidensdruck durch die empfundene Sinnlosigkeit des Lebens manchmal so groß, dass Selbstmord in den Bereich der Möglichkeiten gerät. Psychische Krankheiten zählen daher zu den Hauptursachen für Suizide. Im Jahr 2010 begingen in Deutschland etwa 10000 Menschen Selbstmord, dies entspricht 1,2 % der Gesamtsterblichkeit (DESTATIS 2010b). Global gesehen beträgt der Anteil des Suizids an der Mortalität sogar 1,8 % mit steigendem Trend (Lin et al. 2008). Männer sind weltweit mit etwa 65-80 % Anteil an der Suizidrate deutlich überrepräsentiert (Deutschland 74 %).

3.6.1 Subjektives Wohlbefinden

Schon in der Antike wurden saisonal bedingte Veränderungen von Stimmung und Antrieb beschrieben. Auch heute glauben viele Menschen, dass Jahreszeiten und Wetter einen Einfluss auf das sub-

jektive Wohlbefinden der Allgemeinbevölkerung ausüben. Konsens ist, dass im dunklen und trüben Winter die Stimmung meist etwas schlechter als im hellen Sommer ausfällt. So ist z. B. an sonnigen Tagen die selbstberichtete Lebenszufriedenheit höher als an bedeckten Tagen (Kämpfer und Mutz 2011). In einer kroatischen Studie berichten 76 % aller Personen von einem Wettereffekt auf ihre Laune (Momirovic et al. 2005), wobei feuchtes Wetter am häufigsten als ungünstig bezeichnet wurde. Des Weiteren nannten in einer Befragung in Deutschland etwa 30 % der wetterfühligsten Personen Gereiztheit, Niedergeschlagenheit und Konzentrationsstörungen als mögliche Folge des Wettereinflusses (Höppe et al. 2002). Erhebungen in Kanada ergaben ein sehr ähnliches Bild (von Mackensen et al. 2005).

Die wenigen statistischen Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Wetterfaktoren und täglicher Laune, Schlafqualität und Leistungsfähigkeit bei gesunden Personen können diese Berichte allerdings nur zum Teil bestätigen. So wird zwar von einer signifikant verbesserten Schlafqualität bei hohem Luftdruck, wenig Niederschlag und tiefer Temperatur berichtet (Pandey et al. 2005). Dagegen konnte in einer Studie von Watson (2000) kein Einfluss von Wetterfaktoren auf die tägliche Laune festgestellt werden. In einer ähnlich angelegten Untersuchung fanden Keller et al. (2005), dass schönes Wetter (hoher Luftdruck und hohe Temperatur) die Laune und die kognitiven Fähigkeiten im Frühjahr signifikant hebt, wenn die Probanden mehr als 30 Minuten an der frischen Luft verbrachten. Dagegen zeigte sich in allen anderen Jahreszeiten keine Wirkung von Wetterfaktoren auf die tägliche Stimmung. In einer etwas differenzierteren deutschen Studie findet sich zwar kein Einfluss des Wetters auf explizit gute Laune, dagegen wirken sich geringe Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeit sowie hohe Temperatur ungünstig auf schlechte Laune aus (Denissen et al. 2008). Wenig Sonnenschein bewirkte darüber hinaus auch eine erhöhte Müdigkeit der Studienteilnehmer.

Die Ursachen für Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit des Menschen sind vielfältig, wobei das Wetter unter vielen anderen Faktoren oft nur eine untergeordnete Rolle spielt. Selbst bei Untersuchungen mit statistisch signifikanten Zusammenhängen erklären meteorologische Parameter nur einen geringen Teil der beobachteten Variabilität (Denissen et al. 2008). Darüber hinaus können sich auf Grund der komplexen Wechselwirkungen unerwartete Folgerungen ergeben. So könnte z. B. bei schönem Wetter eine mit guter Laune verbundene höhere Leistungsfähigkeit vermutet werden. Eine aktuelle Studie fand aber das genaue Gegenteil heraus: Leistungsfähigkeit und Arbeitsgeschwindigkeit waren bei schönem Wetter signifikant niedriger als bei schlechten Wetterbedingungen (Lee et al. 2012). Als Erklärung führen die Autoren eine erhöhte kognitive Ablenkung durch das Nachdenken über Freizeitbeschäftigungen bei schönem Wetter an.

3.6.2 Psychische Erkrankungen

Auch bei psychischen Störungen wird oft ein jahreszeitlicher Einfluss angenommen. So vermuten schon Kasper et al. (1989), dass die saisonale depressive Verstimmung das extreme Ende des Spektrums der jahreszeitlichen Stimmungsschwankungen darstellt, welche in geringerem Ausmaß auch in der Allgemeinbevölkerung aufzufinden sind. Allerdings kann mit Ausnahme von SAD für die meisten psychischen Krankheiten kein eindeutiger Jahresgang ausgemacht werden. So finden sich erhöhte Häufigkeiten der Depression sowohl im Sommer/Herbst (Huibers et al. 2010) als auch bimodal im Winter und Frühjahr (Radua et al. 2010). Auch bei der bipolaren Störung ergibt sich kein konsistentes Bild: in verschiedenen Studien finden sich unterschiedliche Häufigkeitsverteilungen, und ein weltweiter Vergleich verschiedener Klimazonen beobachtet keine Saisonalität bei dieser Erkrankung (Bauer et al. 2009). Ähnlich uneinheitlich sieht es bei Angst- und Panikstörungen aus (Bulbena et al. 2005, Ohtani et al. 2006).

Aber selbst bei der oft als Winterdepression bezeichneten saisonalen depressiven Verstimmung, die qua Definition eine jahreszeitliche Schwankung aufweist, tritt die Krankheit durchaus nicht immer in der dunklen Jahreszeit auf. So berichten (Kasper et al. 1989) von einer bimodalen Struktur bei der

Häufigkeit von SAD mit einem Hauptmaximum im Winter und einem schwächeren Maximum im Sommer. Auch bei Marriott et al. (1994) und Ohtani et al. (2006) liegt der Anteil der SAD-Patienten, bei denen die Erkrankung jeweils im Sommer beobachtet wird, bei etwa 20 %. Aus diesem Grund wird klar, dass Lichtmangel nicht der einzige Faktor bei der Pathogenese von SAD sein kann.

Statistische Untersuchungen über einen Zusammenhang zwischen Wetterfaktoren und der Symptomatik von verschiedenen psychischen Erkrankungen erbringen gemischte Ergebnisse (Tab. 16). Am häufigsten wurde der Einfluss von schönem bzw. schlechtem Wetter auf Grundlage der meteorologischen Parameter Temperatur und Sonnenschein untersucht. Dabei findet sich bei der Temperatur häufiger eine positive als eine negative Korrelation zu psychischen Erkrankungen: so beobachten z. B. Sung et al. (2012) ein gehäuftes Auftreten bipolarer Störungen bei hoher Temperatur. In der Mehrzahl der Studien konnten allerdings keine signifikanten Wärme- oder Kälteeffekte nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse wurden für den Einfluss der solaren Einstrahlung erzielt. Fünf Studien erbrachten eine positive Korrelation zur Sonnenscheindauer, vier Studien dagegen eine negative Korrelation. Dabei zeigte sich z. B. bei SAD ein günstiger Einfluss des Sonnenscheins (Young et al. 1997), während vor allem bei bipolaren und manischen Erkrankungen eher ein ungünstiger Effekt vorherrscht (Hakkarainen et al. 2003, Volpe und Del Porto 2006). Allerdings sind auch hier die Ergebnisse nicht überall konsistent und die Hälfte der Studien bleibt ergebnislos.

Tabelle 16: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf die Symptomatik von psychischen Erkrankungen.

Referenz	Land	Krankheit	Fallzahl	T	p	RH	Wi	RR	SD
Huibers et al. (2010)	Holland	Depression	14.478	ns				ns	ns
Lee et al. (2007a)	Taiwan	BS: Manie	8.631	ns				s-	s-
		BS: Depression	2.078	s+				ns	s+
		BS: gemischt	4.351	s+				ns	s-
Garcia et al. (2009)	Spanien	Psych. Krankh.	3.048	s+	ns	s-	ns		ns
Young et al. (1997)	USA	SAD: USA	387						s-
		SAD: Chicago	190	ns					ns
Bauer et al. (2009)	weltweit	BS	360	ns				ns	ns
Volpe und Del Porto (2006)	Brasilien	Manie	269	s+		s-		s-	s+
Volpe et al. (2008)	Brasilien	Manie (Aggr.)	k.A.	ns		ns			ns
		Manie (Psychot.)	k.A.	ns		s-			s+
Bulbena et al. (2005)	Spanien	Angststörung	223	ns		ns	ns	ns	ns
		Panikstörung	145	ns		ns	s+	s-	ns
Lee et al. (2002)	Südkorea	BS	152	ns	ns	ns		ns	s+
Radua et al. (2010)	Spanien	Depr. (Melanch.)	127	s-	ns	ns			s-
		Depr. (Psychot.)	126	ns	s-	ns			ns
Hakkarainen et al. (2003)	Finnland	BS	67						s+
Christensen et al. (2008)	Dänemark	BS	56	s-	ns	ns		ns	ns
Boker et al. (2008)	USA	BS	15	s+	ns				
Sung et al. (2012)	Taiwan	BS	k.A.	s+					

Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), Luftdruck (p), relative Luftfeuchte (RH), Wind (Wi), Niederschlag (RR), Sonnenscheindauer (SD). Krankheitsformen: BS: Bipolare Störung, SAD: „Seasonal Affective Disorder“, Depr.: Depression. Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

Etwas weniger häufig untersucht wurden die meteorologischen Faktoren Feuchtigkeit und Niederschlag. Hier zeigt sich in der Mehrzahl der Studien kein signifikantes Resultat. Allerdings deuten die wenigen Studien mit signifikanten Effekten darauf hin, dass hohe Luftfeuchte und Niederschlag eher einen günstigen Einfluss auf psychische Erkrankungen ausüben (Volpe und Del Porto 2006). Luftdruck und Windgeschwindigkeit wurden am seltensten analysiert und ergaben nur in Einzelfällen eine Wirkung auf die betrachteten Krankheiten.

Auch bei der gleichzeitigen Erfassung mehrerer Wetterfaktoren als Wetterklassen konnten keine zweifelsfrei eindeutigen Zusammenhänge belegt werden. So fanden z. B. Schaerer et al. (2009) in einer Untersuchung über die bipolare Störung zwar, dass einige Biowetterklassen signifikant mit besserer bzw. schlechterer Laune verbunden waren, folgerten aber, dass hieraus dennoch keine Aussage bezüglich eines typischen „Depressionswetters“ möglich ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Einflüsse von Jahreszeit und Wetterfaktoren auf psychische Krankheiten nicht sehr ausgeprägt sind. So ist SAD die einzige Erkrankung in diesem Spektrum, die einen klaren Jahresgang mit einem Maximum der Häufigkeit im Winter aufweist. Der pathophysiologische Mechanismus ist hier häufig ein durch Sonnenlichtmangel verursachter reduzierter Serotoninspiegel im Gehirn, der zu einer Stimmungseintrübung beiträgt. Als Behandlungsmethoden kommen Lichttherapie, Präparate mit Vitamin D oder Antidepressiva wie z. B. Serotonin-Aufnahmehemmer in Frage.

Die saisonalen Schwankungen bei allen anderen psychischen Krankheiten sind dagegen eher gering. Dies deutet darauf hin, dass die sich am stärksten saisonal ändernden Faktoren Temperatur und Sonnenscheindauer keine überragende Rolle bei diesen Erkrankungen spielen. Aber auch die Zusammenhänge zu weiteren meteorologischen Parametern sind eher schwach ausgeprägt. Insgesamt konnte für keinen Wetterfaktor ein signifikanter Zusammenhang zu psychischen Erkrankungen in mehr als der Hälfte der Untersuchungen gefunden werden.

Darüber hinaus ergaben selbst die Studien mit signifikanten Ergebnissen oft kein wirklich konsistentes Bild bezüglich der Richtung der Effekte. Dies liegt zum einen an der Diversität der verschiedenen psychischen Erkrankungen und ihrer Subtypen. So ergibt sich z. B. in einer Studie der bipolaren Störung eine komplett verschiedene Wirkung des Sonnenscheins auf manische oder depressive Episoden (Lee et al. 2007a). Ein weiteres Beispiel sind die unterschiedlichen Resultate für Patienten mit melancholischer oder psychotischer Depression (Radua et al. 2010). Darüber hinaus stehen die schwachen Korrelationen in Übereinstimmung mit den gefundenen Zusammenhängen zwischen Wetter und Stimmung der Allgemeinbevölkerung. Diese sind ebenfalls nicht sehr deutlich und teilweise inkonsistent ausgeprägt. Da viele Faktoren an der Stimmungsbildung beteiligt sind und die jeweiligen Wetterfaktoren auf Krankheitstypen und Patienten individuell verschieden wirken, sind oft keine generell gültigen Aussagen zum Wettereffekt auf psychische Erkrankungen möglich.

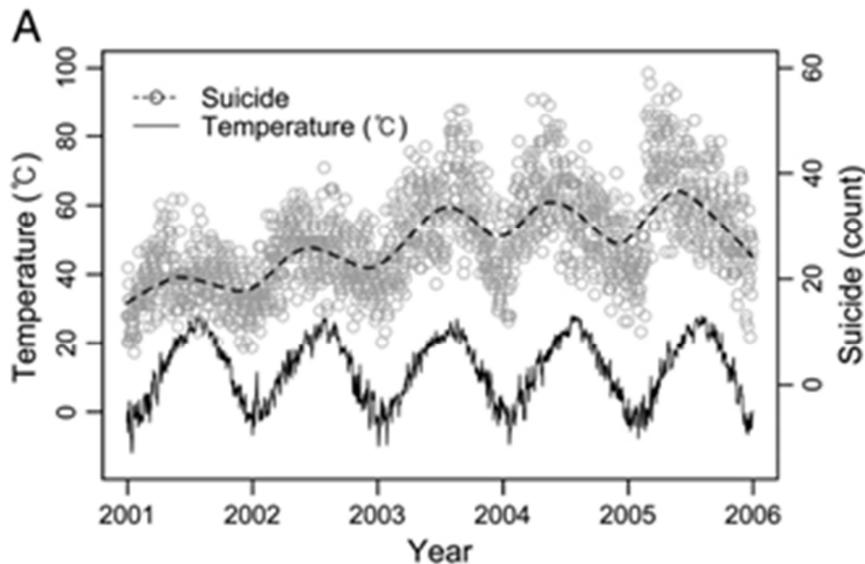
3.6.3 Suizide

Unter den Ursachen für Selbstmord rangieren depressive Erkrankungen unter der vorderen Plätzen. So hegen 50 % aller unter Depression leidenden Personen Selbstmordgedanken (Balestrieri et al. 2006). Schätzungen gehen ferner davon aus, dass bei mehr als der Hälfte der Suizide psychische Erkrankungen vorliegen (Arsenault-Lapierre et al. 2004). Allerdings spielen neben gesundheitlichen Problemen auch Beziehungs- und Familienstreitigkeiten sowie wirtschaftliche Notlagen und Arbeitslosigkeit eine Rolle (Ruuhela et al. 2009).

Bei der Untersuchung der globalen Suizidrate fällt ins Auge, dass diese eine charakteristische jahreszeitliche Schwankung aufweist. Dabei ist in fast allen Ländern ein Minimum im Winter und eine maximale Häufigkeit im Frühsommer zu beobachten. Dieses Muster mit einem erhöhten Auftreten von Suiziden in der Periode mit fast maximalem Tageslicht findet sich auch in weiteren Übersichtsartikeln: so identifizieren z. B. Chew und McCleary (1995) und Ajdacic-Gross et al. (2010) das Maximum

im Mai, während Petridou et al. (2002) es im Juni lokalisieren. Als anschauliches Beispiel sei der jahreszeitliche Verlauf der Suizidanzahl in Korea von 2001 bis 2005 dargestellt (Abb. 7). Auch hier ist jeweils eine Häufung im frühen Sommer und ein Rückgang im Winter festzustellen.

Abbildung 7: Jahresgang der täglichen Suizidanzahl (graue Kreise und gestrichelte Kurve) in Korea in den Jahren 2001-2005 (Abb. 1 aus Kim et al. (2011))



Die jahreszeitliche Variation der Suizidrate steigt mit zunehmenden Breitengraden an (Ajdacic-Gross et al. 2010), während sie in den Tropen schwächer ausgeprägt oder nicht vorhanden ist (Nejar et al. 2007). In den meisten Ländern der mittleren Breiten beträgt der Unterschied zwischen Fröhsommer und Winter ca. 15-30 % (Lambert et al. 2003, Nakaji et al. 2004, Kim et al. 2011). Des Weiteren tritt das Maximum der Suizidrate in höheren Breitengraden oft später im Jahr auf (Voracek und Fisher 2002). Allerdings ist im langfristigen Trend in vielen Ländern ein Rückgang der saisonalen Schwankung zu beobachten (Ajdacic-Gross et al. 2010).

Auf Grund der klaren jahreszeitlichen Variabilität der Selbstmordrate wird von vielen Autoren ein klimatischer Einfluss vermutet. Im Fokus steht dabei insbesondere die Sonnenscheindauer, da das globale Maximum der Selbstmordhäufigkeit jeweils in zeitlicher Nähe zur maximalen solaren Einstrahlung auftritt. Ein weiterer noch öfter untersuchter meteorologischer Faktor ist die Temperatur. Die in verschiedenen Studien gefundenen Zusammenhänge zwischen einzelnen Wetterfaktoren und Suizidhäufigkeit sind in Tab. 17 dargestellt. In etwa der Hälfte der Studien ergibt sich eine signifikant positive Korrelation zwischen Sonnenschein bzw. Temperatur auf der einen Seite und der Suizidrate auf der anderen Seite. Dagegen findet sich bei Niederschlag und Luftfeuchtigkeit eher eine negative Korrelation, während Luftdruck und Wind keine wichtige Rolle spielen. Dies bedeutet, dass warmes sonniges Wetter mit geringer Luftfeuchte bzw. Niederschlag oft gleichzeitig mit höheren Suizidzahlen auftritt.

Allerdings belegt, wie immer bei Korrelationen, eine statistisch signifikante Beziehung noch keine Kausalität. Auf den ersten Blick scheint es schwer erklärlich, wie warmes sonniges Wetter eine Suizidentscheidung verstärken soll. Trotz fehlender direkter Belege existieren aber einige Hypothesen einer solchen Beeinflussung. Ältere Studien fokussierten sich auf die Temperatur und schlugen eine wärmebedingte Reizbarkeit des Nervensystems vor (Dixon und Shulman 1983).

Tabelle 17: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf die Suizidrate.

Referenz	Land	Fallzahl	T	p	RH	Wi	RR	SD
Likhvar et al. (2011)	Japan	501.950	s+	ns	ns			ns
Ajdacic-Gross et al. (2007)	Schweiz	128.322	s+				ns	ns
Page et al. (2007)	England	53.623	s+					
Kim et al. (2011)	Korea	49.451	s+					
Hiltunen et al. (2011)	Finnland	43.393	ns					ns
Tsai (2010)	Taiwan	22.368	s+				s+	s+
Lin et al. (2008)	Taiwan	18.130	s+	ns	ns		ns	ns
Vyssoki et al. (2012)	Österreich	16.673						s+
Lambert et al. (2003)	Australien	5.706	ns				ns	s+
Toro et al. (2009)	Ungarn	4.918	s+		s-			
Yang et al. (2011b)	Taiwan	4.857	s+					s-
Yackerson et al. (2011)	Israel	4.325	ns		ns	s+		
Nejar et al. (2007)	Brasilien	3.984	ns					ns
Papadopoulos et al. (2005)	Griechenland	3.717						s+
Dixon et al. (2007)	USA	3.355	ns					
Renk (2011)	Deutschland	2.987	s+			ns	ns	s+
Partonen et al. (2004)	Lapland	1.658	ns	ns		ns		
Deisenhammer et al. (2003)	Österreich	702	s+	ns	s-		ns	
Kordic et al. (2010)	Bosnien	89	ns	ns	ns			

Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), Luftdruck (p), relative Luftfeuchte (RH), Wind, Niederschlag (RR), Sonnenscheindauer (SD). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

Dagegen vermuten Petridou et al. (2002) auf Grund der zeitlichen Übereinstimmung einen direkten Effekt der solaren Einstrahlung auf die Ausführung einer Selbstmordabsicht. Dabei beeinflusst die Sonne den Melatonin- und Serotoninhaushalt des Gehirns und übt damit Einfluss auf die Stimmung aus. Dem Sonnenschein wird hierbei die Wirkung eines natürlichen Antidepressivums zugeschrieben. Der zugrundeliegende Gedanke ist, dass Antidepressiva eine gewisse Zeit benötigen, um ihre volle Wirkung zu entfalten (etwa zwei Wochen). In der Zwischenzeit spüren die Patienten zwar noch keine stimmungsaufhellende Wirkung, aber schon eine ansteigende Energie und Tatkraft. In dieser Periode besteht nun die Gefahr, dass Personen mit noch düsterer Grundstimmung ihre Selbstmordabsichten auf Grund ihrer erhöhten Energie in die Tat umsetzen (Papadopoulos et al. 2005).

Allerdings sind diese direkten Auswirkungen von Wetterfaktoren auf die Suizidrate umstritten. Einige Untersuchungen betonen, dass Umweltfaktoren nur einen geringen Anteil an der Suizidentscheidung ausmachen, während sozioökonomische Gründe wie Einsamkeit, Alter oder Arbeitslosigkeit eine wesentlich wichtigere Rolle spielen (Tsai 2010, Yang et al. 2011b). Die meisten Autoren stellen daher psychologische Mechanismen in den Vordergrund, z. B. basierend auf dem sogenannten „broken promise“-Konzept von (Gabennesch 1988). Dieses besagt, dass suizidgefährdete Personen bei Beginn neuer Zyklen (neues Jahr, neuer Monat, neue Woche) regelmäßig erhöhte Erwartungen und Wünsche aufbauen, bei deren Nichterfüllung die enttäuschten Erwartungen zu Selbstmordhäufungen führen. Allerdings versagt diese Theorie bei der Erklärung der beobachteten jahreszeitlichen Schwankungen (Ajdacic-Gross et al. 2010). Daher wird als psychologischer Mechanismus heute ein Konzept favorisiert, welches auf dem Vergleich des individuellen Wohlbefindens zur Stimmung der

Mitmenschen beruht (Schuh 2007). Bei sonnigen Wettersituationen, bei denen die meisten Menschen gute Laune verspüren, empfinden Depressive den Kontrast zu ihrem eigenen düsteren Stimmungsbild als besonders trist, was zu der erhöhten Suizidneigung beiträgt.

Neben psychologischen Gründen spielt auch das Vorhandensein von Gelegenheiten eine nicht zu unterschätzende Rolle. So konnten aktuelle Forschungsergebnisse nachweisen, dass gewalttätige Suizidmethoden wie Erhängen oder Ertränken eine besondere saisonale Abhängigkeit aufweisen, während dies bei anderen Methoden wie Vergiftung weniger der Fall ist (Lin et al. 2008, Vyssoki et al. 2012). Manche Autoren führen daher die jahreszeitlichen Suizidzyklen teilweise auf die saisonale Verfügbarkeit mancher Methoden wie z. B. Ertränken zurück. Ein weiterer Vorschlag ist die „lack of cold“-Hypothese von (Ajdacic-Gross et al. 2007). Diese besagt, dass zwar nicht hohe Temperatur das Suizidrisiko erhöht, wohl aber der Mangel an Kälte in Jahreszeiten außerhalb des Winters. Damit wäre mit dieser Hypothese vor allem das Minimum von Freiluftsuiziden im Winter zu erklären. Letztlich existiert aber bis heute zu diesem Thema keine einheitliche Theorie (Ajdacic-Gross et al. 2010).

3.7 Weitere Krankheitsformen

Neben den bisher diskutierten Krankheiten existieren noch einige weitere Erkrankungen, die ebenfalls mit Wetterbedingungen in Verbindung gebracht werden. Dabei handelt es sich zum einen um Diabetes und zum anderen um krampfartige Krankheitsformen wie Spasmen und Koliken.

3.7.1 Diabetes mellitus

Diabetes ist eine Volkskrankheit, von der in Deutschland mittlerweile 9 % der Bevölkerung bzw. 7 Millionen Menschen betroffen sind (diabetesDE 2011). Mehr als 22000 Menschen starben im Jahr 2010 an den direkten Folgen der Erkrankung (DESTATIS 2010b). Hauptursache beim mit 90 % häufigsten Typ II („Altersdiabetes“) ist neben einer genetischen Disposition vor allem Übergewicht, das zu einer Störung des Insulinhaushalts führen kann und einen zu hohen Blutzuckerspiegel begünstigt. Durch den hohen Zuckergehalt des Blutes werden langfristig die Gefäße geschädigt, was zu einem häufigeren Auftreten vieler kardiovaskulärer Erkrankungen führt. Hinzu kommt, dass 75 % aller Diabetiker gleichzeitig unter dem zusätzlichen Risikofaktor Bluthochdruck leiden (diabetesDE 2011). Aus diesen Gründen ist z. B. bei Diabetikern das Risiko von Schlaganfällen um das 2-3 fache erhöht (Jeerakathil et al. 2007). Weitere von Diabetes in Mitleidenschaft gezogene Organe sind Niere, Augen und Nerven.

Wissenschaftliche Studien über den Zusammenhang zwischen Wetterfaktoren und Diabetes sind nicht sehr zahlreich und fokussieren sich hauptsächlich auf die Effekte von Jahreszeit, hoher Temperatur und Luftverschmutzung. Dabei ist im Winter eine signifikant erhöhte Mortalität von Diabetikern zu beobachten, wobei der Unterschied zum Jahresmittel im Bereich von etwa +20 % liegt (Nakaji et al. 2004). Aber nicht nur kalte Monate, sondern auch Hitzewellen sind in besonderem Ausmaß ungünstig für diese Erkrankung (Pudpong und Hajat 2011, Wang et al. 2012). Des Weiteren ist die Mortalität von Diabetes-Patienten bei hohen Schadstoffkonzentrationen in der Luft signifikant höher als die Mortalität von Nicht-Diabetikern (Kan et al. 2004, Goldberg et al. 2006). Allerdings stellt sich bei einer weiteren Unterscheidung heraus, dass nur Diabetiker mit kardiovaskulären Begleiterkrankungen von der höheren Mortalität betroffen waren, nicht jedoch Diabetiker ohne Begleiterkrankungen (Goldberg et al. 2006).

Aus diesen Gründen werden die Wettereinflüsse auf Diabetes zu großen Teilen auf die Zusammenhänge zwischen Wetterfaktoren und den jeweiligen Komorbiditäten zurückgeführt. Diabetiker können also auf Grund ihrer Beziehung zu verschiedenen Krankheiten und ihres oft fortgeschrittenen Alters („Altersdiabetes“) als besonders anfällige Gruppe für Wetterereignisse betrachtet werden, wobei der Wettereinfluss aber mehr über die jeweilige Begleiterkrankung als über Diabetes allein aussagt.

3.7.2 Spasmen, Koliken

Als Krampf oder Spasmus wird eine unkontrollierbare Muskelanspannung bezeichnet. Beispiele hierfür sind Muskelkrämpfe beim Sport durch Überbelastung und Magnesiummangel, Krämpfe im Zusammenhang mit den Atemwegen (Bronchospasmus) und Krämpfe an Hohlorganen wie Niere, Galle oder Darm (Koliken). Koliken verursachen oft sehr starke, wellenartige Schmerzen, aber auch Beschwerden wie Blutdruckanstieg, Schweißausbrüche und Kreislaufzusammenbruch können eine Folge sein. Nierenkoliken sind die häufigste Ausprägung dieser Erkrankung und entstehen beispielsweise, wenn sich in der Niere gebildete Ablagerungen (Nierensteine) beim Abgang im Harnleiter festsetzen.

Bei der Literatursuche wurden nur einige wenige wissenschaftliche Studien zum Einfluss von Klima und Wetter auf Spasmen gefunden. Dabei richtet sich der Fokus fast ausschließlich auf Nierenkoliken (Tab. 18), welche in den meisten Industrieländern 0,5-1,5 % aller Krankhausaufnahmen ausmachen. In Deutschland betrug im Jahr 2010 der Anteil dieser Erkrankung an allen Krankenhausaufenthalten

0,7 %, wobei Menschen im Alter zwischen 40-60 Jahren besonders betroffen waren (DESTATIS 2010a).

Nahezu alle Studien mit Bezug zu jahreszeitlichen Variationen zeigen, dass Nierenkoliken im Sommer häufiger als in anderen Jahreszeiten auftreten. So geben z. B. Chauhan et al. (2004) in der größten diesbezüglichen Studie an, dass die Zahl der Koliken in den warmen Monaten signifikant um 16 % gegenüber den kühlen Monaten erhöht ist. Pincus et al. (2010) konstatieren sogar ein um 23 % häufigeres Auftreten im Sommer. Parallel zu den jahreszeitlichen Relationen wird für höhere Temperaturwerte fast immer ein Anstieg von Nierenkoliken beobachtet. Berechnungen sowohl auf monatlicher als auch täglicher Basis ergeben hochsignifikante positive Korrelationen (Cervellin et al. 2011). Weitere Wetterfaktoren wurden eher selten in die Untersuchungen einbezogen. So zeigt sich lediglich in einer Studie ein Zusammenhang auch zur relativen Feuchte: dabei wird bei hoher Temperatur (> 27°C) und niedriger Luftfeuchte (< 45 %) ein signifikant häufigeres Auftreten von Nierenkoliken beobachtet (Boscolo-Berto et al. 2008).

Als Ursache für die Häufung von Nierenproblemen im Sommer wird vermutet, dass heiße und trockene Wetterbedingungen zu einem verstärkten Wachstum von Nierensteinen beitragen. Des Weiteren scheint eine Dehydratation des Organismus beteiligt zu sein. So konnte in einer Untersuchung nachgewiesen werden, dass Patienten mit Nierenkoliken signifikant weniger Wasser getrunken hatten als eine Kontrollgruppe (Perez et al. 2010). Aus diesem Grund wird in einigen Studien empfohlen, im Sommer verstärkt Flüssigkeit zu sich zu nehmen, um einer Dehydratation vorzubeugen.

Tabelle 18: Studien zum Einfluss von Wetterfaktoren auf Nierenkoliken.

Referenz	Land	Fallzahl	T	RH	Maximum
Chauhan et al. (2004)	USA	30.358	s+		Sommer
Cervellin et al. (2011)	Italien	8.168	s+		
Pincus et al. (2010)	Australien	3.070	s+	ns	Sommer
Lujan et al. (2011)	Spanien	1.866	ns	ns	Sommer, Herbst
Boscolo-Berto et al. (2008)	Italien	1.163	s+	s-	
Basiri et al. (2004)	Iran	574			Sommer
Perez et al. (2010)	Kuba	146			Sommer

Untersuchte Faktoren: Temperatur (T), relative Luftfeuchte (RH). Sign. positive Korrelation (s+), sign. negative Korrelation (s-), keine sign. Korrelation ns.

4 Biotrope Wetterlagen

Generell gibt es Hinweise darauf, dass gleichzeitige Änderungen von Wetterfaktoren einen stärkeren gesundheitlichen Effekt bewirken als die Veränderung einzelner Parameter. Ein Beispiel dafür sind die Klimakammertests von Hollander (1963), bei denen nur bei simultaner Feuchtezunahme und Luftdruckabnahme ein signifikanter Einfluss auf rheumatische Beschwerden beobachtet werden konnte, während alleinige Veränderungen der jeweiligen Einzelfaktoren ohne nachweisbare Effekte blieben. Aus diesen Erwägungen heraus gibt es Ansätze, tägliche Wetterbedingungen in Form von typischen Biowetterklassen zu kategorisieren, um den Gesamteffekt des Wetters erfassen zu können. Die Anzahl der gefundenen Studien der letzten zehn Jahre, die den Einfluss von Biowetterklassen auf die menschliche Gesundheit untersuchen, ist allerdings sehr gering. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Studien vorgestellt.

Einige Untersuchungen konnten einen Zusammenhang zwischen Wetterlagen und kardiovaskulären Krankheiten nachweisen. So zeigen z. B. Gluszak et al. (2008), dass in Polen bei Kaltfronten und Okklusionen mehr Herzrhythmusstörungen auftreten. In Ungarn ist die Anzahl von Frontbewegungen signifikant mit der Anzahl von Herzinfarkten korreliert (Kriszbacher et al. 2009). Des Weiteren konnten bei der Untersuchung von fünf winterlichen Luftmassentypen über Norditalien häufigere Herzinfarkte einen Tag nach einer antizyklonalen kontinentalen Luftmasse und sechs Tage nach einer zyklonalen Luftmasse festgestellt werden (Morabito et al. 2006). Für die gleiche Klassifikation wurde zusätzlich ein signifikant höherer Blutdruck bei zyklonalen Luftmassen beobachtet (Morabito et al. 2008). Dagegen konnte bei einer deutschen Studie unter Verwendung von fünf Biowetterklassen, die sich am Durchzug eines typischen Tiefdruckgebiets orientieren, kein Bezug zu Herzinfarkten hergestellt werden (Mey et al. 2002).

De Pablo et al. (2009) untersuchten sieben winterliche Wetterklassen in Spanien und belegten Beziehungen zwischen kalten Wetterlagen und kardiovaskulären Krankheiten sowie Atemwegserkrankungen. In Serbien sind einige Biowetterklassen z. B. nasskalte antizyklonale Wetterlagen mit einer besonders hohen Anzahl von Schlaganfällen verbunden, während z. B. warm-feuchte zyklonale Wetterlagen mit einer besonders niedrigen Anzahl einhergehen (Milojevic et al. 2011). Bei der Untersuchung von acht synoptischen und elf mesoskaligen Wetterlagen in Griechenland wurde eine Erhöhung der täglichen Mortalitätsrate bei östlicher Anströmung festgestellt (Kassomenos et al. 2001).

Darüber hinaus stehen Wetterlagen ebenfalls in Verbindung zu anderen Krankheitsformen. So fanden Walach et al. (2002) bei der Untersuchung von 13 Wetterklassen in Deutschland, dass zwei der Wetterlagen (Föhn, Höhentief) mit häufigerem Kopfschmerz gekoppelt sind. Bei der Zuordnung von zehn Biowetterklassen zu Stimmungsänderungen konnte von Schaerer et al. (2009) für München und Freiburg gezeigt werden, dass bestimmte Wetterklassen Einfluss auf die Stimmung von Patienten mit bipolarer Störung ausüben. Des Weiteren wurde in einer serbischen Studie eine signifikant erhöhte Anzahl von mit Atemnot einhergehenden Pneumothorax-Fällen bei Kaltfrontpassage und antizyklonaler warmer Wetterlage beobachtet (Bulajich et al. 2005).

Die Verwendung von Wetterklassen zur Untersuchung des Wettereinflusses auf die Gesundheit beinhaltet neben den genannten Vorteilen aber auch einige Nachteile. Zum einen ist das Verfahren wesentlich aufwendiger (im Vergleich zur Untersuchung einzelner meteorologischer Parameter). Darüber hinaus werden je nach Land und Klimaregion unterschiedliche Klassifikationen verwendet, so dass ein Vergleich untereinander schwierig ist und Ergebnisse oft nicht ohne weiteres auf andere Orte und Regionen übertragbar sind. Auf Grund dieser Problematik verwendet die überwiegende Anzahl von Studien nach wie vor einfachere univariate Wetterfaktoren wie z. B. Temperatur oder Luftdruck.

5 Zusammenfassung der Wirkung der einzelnen Wetterfaktoren

Nachdem in Kapitel 3 der Wettereinfluss ausgehend von den einzelnen Organsystemen untersucht wurde, wird nun der umgekehrte Weg beschritten und ausgehend von den einzelnen Wetterfaktoren der gesundheitliche Effekt beschrieben. Dabei werden die Wirkung der vorgestellten Wetterfaktoren auf die verschiedenen Krankheitssysteme zusammengefasst sowie die zugrundeliegenden Wirkmechanismen bzw. -hypothesen genannt.

Als wichtigster biotroper Wirkfaktor haben sich die Temperatur- und Feuchtebedingungen der Luft herauskristallisiert, die bedeutenden Einfluss auf viele Erkrankungen ausüben. So ist im Winter die Gesamtmortalität in Deutschland um ca. 10 % gegenüber dem Jahresmittel erhöht. Bei Kälte ist das Risiko von kardiovaskulären Erkrankungen, z. B. eines Herzinfarkts oder eines Schlaganfalls, signifikant höher als bei moderaten thermischen Bedingungen. Dies liegt an der mit niedrigen Temperaturwerten verbundenen Vasokonstriktion der äußeren Blutgefäße. Diese führt zu einer Zunahme von Blutdruck und Blutviskosität und erhöht somit in anfälligen Personen das Risiko thromboembolischer Ereignisse. Kälte wirkt sich des Weiteren ungünstig auf Atemwegserkrankungen aus. So bewirkt die Abkühlung der Gesichtshaut und der Atemwege eine Verengung der Bronchien, welche die Atemknappheit bei Asthmatikern und COPD-Patienten verschlimmert. Darüber hinaus führt die Abkühlung und Austrocknung der Atemwege zu einer höheren Anfälligkeit für Infektionskrankheiten wie Grippe oder Erkältungen. Auch rheumatische Erkrankungen sind von den genannten meteorologischen Faktoren betroffen. So wird häufig ein ungünstiger Einfluss von Kälte und hoher Luftfeuchte auf rheumatische Beschwerden berichtet. Als Hypothese kommt hier eine Beeinflussung der Schmerzrezeptoren z. B. durch Dehnung/Stauchung der Gelenke ins Spiel, die aber bislang nicht nachgewiesen werden konnte.

Nicht nur Kälte, sondern auch hohe Temperaturwerte führen zu einem Anstieg der Häufigkeit vieler Erkrankungen. So nimmt bei z. B. bei Hitzewellen wie dem Rekordsommer 2003 in weiten Teilen Europas die Gesamtmortalität deutlich zu. Besonders betroffen sind davon kardiovaskuläre Erkrankungen. Die hohe Temperatur kann einerseits durch einen Abfall des Blutdrucks zu Kreislaufschwächen führen. Auf der anderen Seite bewirkt Dehydratation eine erhöhte Blutviskosität, die bei Risikopatienten die Wahrscheinlichkeit thromboembolischer Ereignisse erhöht. Dehydratation belastet aber auch die Niere, wodurch z. B. Nierenkoliken im Sommer häufiger auftreten. Durch Hitzeereignisse ebenfalls in besonderem Ausmaß betroffen sind Atemwegserkrankungen. Ursachen hierfür sind die Reizung der Atemwege (vor allem in Kombination mit Ozon) und die durch die erhöhte körperliche Belastung bewirkte schwächere Immunabwehr.

Rasche Temperaturänderungen zum Vortag oder innertägliche Temperaturschwankungen sind ebenfalls signifikant mit kardiovaskulären Krankheiten und Atemwegserkrankungen verbunden. Insbesondere bei einem geschwächten Thermoregulationssystem kann es durch die Anpassungsarbeit zu einer Belastung des Organismus kommen. Des Weiteren triggern Temperaturänderungen in manchen anfälligen Personen Migräne-Attacken. Dabei spielt häufig weniger das Vorzeichen, sondern eher der Betrag der Änderung die entscheidende Rolle. Diese Beobachtungen sprechen dafür, dass nicht nur absolute Werte der Temperatur, sondern auch relative Änderungen von großer Bedeutung sind. Darüber hinaus scheinen Personen, bei denen der Organismus überempfindlich auf Umweltreize reagiert (wie z. B. Migräne-Patienten), besonders betroffen zu sein.

Ein weiteres meteorologisches Element, der Luftdruck, wird ebenfalls immer wieder mit verschiedenen Erkrankungen in Beziehung gesetzt. Allerdings zeigt die Mehrzahl der Studien für die meisten Krankheiten keine signifikanten Zusammenhänge. Ausnahmen sind einige Subtypen von kardiovaskulären Erkrankungen. So ist die Anzahl von Venenthrombosen bzw. Lungenembolien sowie von Aortenrupturen häufig mit niedrigem Luftdruck korreliert. Des Weiteren treten bestimmte Hirnblu-

tungen (Subarachnoidalblutungen) häufiger in Verbindung mit Druckänderungen zum Vortag von mehr als 10 hPa auf. Allerdings ist der Mechanismus hierfür bis heute ungeklärt. Hypothesen postulieren z. B. eine Beeinflussung des Blutdrucks über eine Stimulierung der sich an der Innenwand der Halsschlagader befindlichen Barorezeptoren. Allerdings konnte bis heute keine diesbezügliche Wirkung des Luftdrucks auf den Blutdruck belegt werden. Darüber hinaus scheinen die atmosphärischen Luftdruckschwankungen zu klein zu sein (vor allem im Vergleich mit den bei Flugreisen oder Bergwanderungen erreichten Druckänderungen), um eine signifikante Wirkung auf den Organismus zu erzielen.

Ebenfalls nicht eindeutig geklärt ist die Rolle von niederfrequenten Luftdruckschwankungen. Diese minimalen Vibrationen des Luftdrucks entstehen z. B. bei Frontdurchgängen oder Wetterumschlägen und können nahezu ungehindert auch in Innenräume eindringen. Ihnen wird nachgesagt, dass sie u. a. die mentale Aktivität und das Wohlbefinden beeinflussen: so zeigten sich in einem Klimakammer-test eine schlechtere Gedächtnisleistung sowie eine höhere Herzrate bei künstlich herbeigeführten quasichaotischen Luftdruckoszillationen (Delyukov und Didyk 1999). Allerdings fehlen auch hier die Bestätigung durch weitere Forschungsergebnisse und der Nachweis eines plausiblen Wirkmechanismus. Insgesamt wird daher angenommen, dass Luftdruck und Luftdruckschwankungen weniger als Einzelelement, sondern eher gemeinsam mit weiteren Wetterfaktoren auf den menschlichen Organismus einwirken.

Ein weiterer meteorologischer Parameter mit Bezug zu gesundheitlichen Beschwerden ist die solare Einstrahlung. Während es im Sommer bei unzureichendem Schutz zu Hautschädigungen und langfristig zu Hautkrebskrankungen kommen kann, ist im Winter in den mittleren und höheren Breiten eher die fehlende solare Strahlung das Problem. Der hierdurch verursachte mögliche Mangel an Vitamin D steht z. B. im Verdacht, ungünstigen Einfluss auf Blutdruck und kardiovaskuläre Erkrankungen auszuüben. Des Weiteren konnte zumindest teilweise nachgewiesen werden, dass sich mangelndes Tageslicht und trübes Wetter negativ auf Stimmung und Wohlbefinden auswirken können. Am stärksten ausgeprägt ist dieser Effekt sicherlich bei der saisonalen depressiven Verstimmung, bei der als Mechanismus durch Lichtmangel verursachte Störungen des Serotoninhaushalts vermutet werden. Darüber hinaus werden in den meisten Ländern die höchsten Suizidraten während Schönwetterperioden im Frühsommer beobachtet. Dies scheint auf den ersten Blick konträr zur Hypothese einer gehobenen Stimmung, ist aber vermutlich auf einen indirekten psychologischen Effekt bei depressiven Patienten zurückzuführen.

Bisher noch nicht diskutiert wurde die Möglichkeit einer gesundheitlichen Wirkung atmosphärischer Impulsstrahlung. Diese elektromagnetischen Wellen bzw. Sferics entstehen z. B. bei Gewittern oder der Reibung großer Luftmassen und wären auf Grund ihres ungehinderten Eindringens in geschlossene Räume prinzipiell gut geeignet, Wettereinflüsse auf die Gesundheit zu erklären (König 1962). Weiterhin eilen sie dem Wettergeschehen um Hunderte von Kilometern voraus und könnten damit die selbstberichteten Wettervorfühlbarkeitssymptome einiger Patienten auslösen. Auf Grund dieser Eigenschaften wurde vor allem in den Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg ein belastender Einfluss der Sferics auf z. B. Kopfschmerzen und Migräne vermutet. Als Hypothese einer möglichen Wirkung wurde eine Anregung der Nervenenden und eine damit verbundene Wirkung auf die Aktivität des Gehirns ins Spiel gebracht.

Allerdings konnten diese den Sferics zugeschriebenen Eigenschaften in wissenschaftlichen Untersuchungen kaum bestätigt werden. In Labortests mit künstlichen Sferics lösten diese keine Beschwerden bei Migräne-Patienten aus (Schienle et al. 1999). Weitere Untersuchungen auf Basis von Tagebucheinträgen fanden signifikante Zusammenhänge zu Kopfschmerzen nur in Einzelfällen. So zeigten sich z. B. in einer deutschen Studie lediglich bei einem von 21 Patienten Einflüsse der Sferics (Walach et al. 2001). In einer weiteren Untersuchung in Deutschland fanden Vaitl et al. (2001) einen Effekt der Sferics nur in einigen Herbstmonaten, nicht aber im Sommer, in dem die meisten Gewitter

bzw. Sferics auftreten. Des Weiteren war die biotrope Wirkung selbst in diesen Herbstmonaten deutlich schwächer als der Effekt anderer Wetterfaktoren wie z. B. der Temperatur. Eine weitere Relativierung besteht darin, dass die atmosphärische Impulsstrahlung wesentlich schwächer ausfällt als die elektromagnetische Strahlung von Mobiltelefonen bzw. anderen elektrischen Geräten, für die bis heute keine eindeutige Gesundheitsgefahr belegt werden konnte. Aus diesen Gründen zählen Sferics in der modernen Medizinmeteorologie nicht mehr zu den möglichen Einflussfaktoren für die menschliche Gesundheit (Schuh 2007). Eine Literatursuche in der medizinischen Datenbank PubMed mit dem Suchbegriff „sferics“ ergab keinen einzigen relevanten Treffer für den Zeitraum der letzten zehn Jahre.

Das Wetter kann nicht nur direkt, sondern auch indirekt Einfluss auf die Gesundheit des Menschen nehmen. So steigen insbesondere bei winterlichen Inversionswetterlagen oder auch bei windschwachen sommerlichen Hochdrucklagen die Konzentrationen von Schadstoffen in der bodennahen atmosphärischen Luftschicht signifikant an. Schadstoffe wie Feinstaub, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide und Ozon reizen die Atemwege und führen zu entzündlichen Prozessen der Bronchialschleimhaut. Atemwegsinfektionen nehmen zu, Asthma- und COPD-Patienten leiden unter einer Verschlechterung ihrer Lungenfunktion mit verstärkten Phasen akuter Atemknappheit. Des Weiteren gibt es Hinweise auf eine gesteigerte Allergenität von Pollen. Der zweite große betroffene Krankheitsbereich sind die kardiovaskulären Erkrankungen. Auch hier ist bei erhöhter Schadstoffkonzentration eine Zunahme der Häufigkeit sowie Sterblichkeit zu konstatieren. Krankheiten wie Herzinfarkte oder Schlaganfälle sind signifikant wahrscheinlicher in Phasen hoher Luftverschmutzung. Als eine wichtige Ursache gilt die Zunahme des Blutdrucks, die in anfälligen Personen das Risiko thromboembolischer Ereignisse erhöht. Des Weiteren wird mit ansteigenden Schadstoffkonzentrationen eine Ausschüttung entzündungsauslösender Stresshormone beobachtet.

Insgesamt gilt der Einfluss des Wetters, genauer einzelner Wetterfaktoren, auf viele Erkrankungen als gut belegt. Sowohl für direkte als auch indirekte Effekte existieren empirische Nachweise und bekannte Wirkmechanismen. In diesem Zusammenhang muss vor allem der Einfluss der thermischen Bedingungen auf kardiovaskuläre und Atemwegserkrankungen genannt werden. Bei der Gruppe von wetterfühligen Personen, die z. B. unter Kopfschmerzen, rheumatischen Beschwerden oder Störungen des subjektiven Wohlbefindens leiden, ist die Bestimmung eines kausalen biotropen Wirkfaktors nicht so einfach. Verschiedene meteorologische Parameter kommen ins Spiel, wobei eindeutige empirische Belege der Wetterwirkung sowie ein Nachweis des pathophysiologischen Mechanismus bislang oft fehlen. Zu beachten ist hier, dass es sich bei Wetterereignissen immer um gleichzeitige Veränderungen des atmosphärischen Zustands handelt und viele Faktoren bei Wetterumschwüngen simultan zusammen wirken. Daher kann mit Ausnahme der Temperatur- und Feuchtebedingungen gerade bei Wetterfaktoren wie Luftdruck, Wind oder Niederschlag ein alleiniger Effekt des jeweiligen Parameters oft nicht signifikant nachgewiesen werden. Darüber hinaus existieren individuell ausgeprägte Reaktionen des Organismus auf verschiedene Wetterreize z. B. bei Migräne oder rheumatischen Beschwerden. Auf Grund dieser Komplexität wird es im Bereich des Wettereinflusses auf die menschliche Gesundheit auf absehbare Zeit weiteren Forschungsbedarf geben.

6 Quellenverzeichnis

- Abe, T., S. Ohde, S. Ishimatsu, H. Ogata, T. Hasegawa, T. Nakamura & Y. Tokuda (2008) Effects of meteorological factors on the onset of subarachnoid hemorrhage: a time-series analysis. *J Clin Neurosci*, 15, 1005-10.
- Abe, T., Y. Tokuda, S. Ohde, S. Ishimatsu, T. Nakamura & R. B. Birrer (2009) The relationship of short-term air pollution and weather to ED visits for asthma in Japan. *Am J Emerg Med*, 27, 153-9.
- 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.
- Ajdacic-Gross, V., M. Bopp, M. Ring, F. Gutzwiller & W. Rossler (2010) Seasonality in suicide--a review and search of new concepts for explaining the heterogeneous phenomena. *Soc Sci Med*, 71, 657-66.
- Ajdacic-Gross, V., C. Lauber, R. Sansossio, M. Bopp, D. Eich, M. Gostynski, F. Gutzwiller & W. Rossler (2007) Seasonal associations between weather conditions and suicide--evidence against a classic hypothesis. *Am J Epidemiol*, 165, 561-9.
- 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.
- Analitis, A., K. Katsouyanni, A. Biggeri, M. Baccini, B. Forsberg, L. Bisanti, U. Kirchmayer, F. Ballester, E. Cadum, P. G. Goodman, A. Hojs, J. Sunyer, P. Tiittanen & P. Michelozzi (2008) Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE project. *Am J Epidemiol*, 168, 1397-408.
- Anderson, B. G. & M. L. Bell (2009) Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*, 20, 205-13.
- Arnedo-Pena, A., L. Garcia-Marcos, J. F. Fernandez-Espinar, A. Bercedo-Sanz, I. Aguinaga-Ontoso, C. Gonzalez-Diaz, I. Carvajal-Uruena, R. Busquet-Monge, M. M. Suarez-Varela, N. G. de Andoin, J. Batlles-Garrido, A. Blanco-Quiros, A. L. Varela & G. Garcia-Hernandez (2011) Sunny hours and variations in the prevalence of asthma in schoolchildren according to the International Study of Asthma and Allergies (ISAAC) Phase III in Spain. *Int J Biometeorol*, 55, 423-34.
- Arntz, H. R., S. N. Willich, C. Schreiber, T. Bruggemann, R. Stern & H. P. Schultheiss (2000) Diurnal, weekly and seasonal variation of sudden death. Population-based analysis of 24,061 consecutive cases. *Eur Heart J*, 21, 315-20.
- Arsenault-Lapierre, G., C. Kim & G. Turecki (2004) Psychiatric diagnoses in 3275 suicides: a meta-analysis. *BMC Psychiatry*, 4, 37.
- Astrom, D. O., B. Forsberg & J. Rocklov (2011) Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies. *Maturitas*, 69, 99-105.
- Baccini, M., A. Biggeri, G. Accetta, T. Kosatsky, K. Katsouyanni, A. Analitis, H. R. Anderson, L. Bisanti, D. D'Ippoliti, J. Danova, B. Forsberg, S. Medina, A. Paldy, D. Rabczenko, C. Schindler & P. Michelozzi (2008) Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, 19, 711-9.
- Bakerly, N. D., J. A. Roberts, A. R. Thomson & M. Dyer (2011) The effect of COPD health forecasting on hospitalisation and health care utilisation in patients with mild-to-moderate COPD. *Chron Respir Dis*, 8, 5-9.
- Balestrieri, M., P. Rucci, A. Sbrana, L. Ravani, A. Benvenuti, C. Gonnelli, L. Dell'osso & G. B. Cassano (2006) Lifetime rhythmicity and mania as correlates of suicidal ideation and attempts in mood disorders. *Compr Psychiatry*, 47, 334-41.
- Bano-Ruiz, E., J. Abarca-Olivas, J. M. Duart-Clemente, F. Ballenilla-Marco, P. Garcia & C. Botella-Asuncion (2010) [Influence of the atmospheric pressure and other variable weather on the incidence of the subarachnoid hemorrhage]. *Neurocirugia (Astur)*, 21, 14-21.
- Barnett, A. G., M. de Loooper & J. F. Fraser (2008) The seasonality in heart failure deaths and total cardiovascular deaths. *Aust N Z J Public Health*, 32, 408-13.
- Barnett, A. G., A. J. Dobson, P. McElduff, V. Salomaa, K. Kuulasmaa, S. Sans & W. M. Project (2005a) Cold periods and coronary events: an analysis of populations worldwide. *J Epidemiol Community Health*, 59, 551-7.

- Barnett, A. G., S. Hajat, A. Gasparrini & J. Rocklov (2012) Cold and heat waves in the United States. *Environ Res*, 112, 218-24.
- 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.
- Barnett, A. G., S. Tong & A. C. A. Clements (2010) What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environmental Research*, 110, 604-611.
- Barnett, A. G., G. M. Williams, J. Schwartz, A. H. Neller, T. L. Best, A. L. Petroschevsky & R. W. Simpson (2005b) Air pollution and child respiratory health: a case-crossover study in Australia and New Zealand. *Am J Respir Crit Care Med*, 171, 1272-8.
- Basiri, A., S. M. Moghaddam, R. Khoddam, S. T. Nejad & A. Hakimi (2004) Monthly variations of urinary stone colic in Iran and its relationship to the fasting month of Ramadan. *J Pak Med Assoc*, 54, 6-8.
- Basu, R. & B. Malig (2011) High ambient temperature and mortality in California: exploring the roles of age, disease, and mortality displacement. *Environ Res*, 111, 1286-92.
- Bauer, M., T. Glenn, P. Grof, N. L. Rasgon, W. Marsh, K. Sagduyu, M. Alda, G. Murray, D. Quiroz, Y. Malliaris, J. Sasse, M. Pilhatsch & P. C. Whybrow (2009) Relationship among latitude, climate, season and self-reported mood in bipolar disorder. *J Affect Disord*, 116, 152-7.
- Becker, F. (1954) Ergebnisse medizinmeteorologischer Grundlagenforschung. *Dtsch Met J*, 5, 630-635.
- Becker, W. J. (2011) Weather and migraine: can so many patients be wrong? *Cephalalgia*, 31, 387-90.
- Beggs, P. J. & H. J. Bambrick (2005) Is the global rise of asthma an early impact of anthropogenic climate change? *Environ Health Perspect*, 113, 915-9.
- Bekkelund, S. I., K. Hindberg, H. Bashari, F. Godtliebsen & K. B. Alstadhaug (2011) Sun-induced migraine attacks in an Arctic population. *Cephalalgia*, 31, 992-8.
- Bell, M. L., A. McDermott, S. L. Zeger, J. M. Samet & F. Dominici (2004) Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *JAMA*, 292, 2372-8.
- Bener, A. (2006) Frequency of headache and migraine in Qatar. *Neuroepidemiology*, 27, 61-6.
- Bennett, R. M., J. Jones, D. C. Turk, I. J. Russell & L. Matallana (2007) An internet survey of 2,596 people with fibromyalgia. *BMC Musculoskelet Disord*, 8, 27.
- Beseoglu, K., D. Hanggi, W. Stummer & H. J. Steiger (2008) Dependence of subarachnoid hemorrhage on climate conditions: a systematic meteorological analysis from the dusseldorf metropolitan area. *Neurosurgery*, 62, 1033-8; discussion 1038-9.
- Bhaskaran, K., S. Hajat, B. Armstrong, A. Haines, E. Herrett, P. Wilkinson & L. Smeeth (2011) The effects of hourly differences in air pollution on the risk of myocardial infarction: case crossover analysis of the MINAP database. *BMJ*, 343, d5531.
- Bhaskaran, K., S. Hajat, A. Haines, E. Herrett, P. Wilkinson & L. Smeeth (2009) Effects of ambient temperature on the incidence of myocardial infarction. *Heart*, 95, 1760-9.
- Bhaskaran, K., S. Hajat, A. Haines, E. Herrett, P. Wilkinson & L. Smeeth (2010) Short term effects of temperature on risk of myocardial infarction in England and Wales: time series regression analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project (MINAP) registry. *BMJ*, 341, c3823.
- Bhowmik, A., T. A. Seemungal, G. C. Donaldson & J. A. Wedzicha (2005) Effects of exacerbations and seasonality on exhaled nitric oxide in COPD. *Eur Respir J*, 26, 1009-15.
- Biller, J., M. P. Jones, A. Bruno, H. P. Adams, Jr. & K. Banwart (1988) Seasonal variation of stroke--does it exist? *Neuroepidemiology*, 7, 89-98.
- Biyik, I., M. A. Canbaz & O. Ergene (2007) Seasonal variability of acute myocardial infarction in a Western Anatolian city and its relations to acute infections and climate. *Int Angiol*, 26, 285-9.

- Bodis, J., I. Csoboth, L. Gazdag & I. Kriszbacher (2010) Seasonal variation, weekly and daily rhythm of transient ischemic attack in Hungary. *Clin Appl Thromb Hemost*, 16, 232.
- Boker, S. M., E. Leibenluft, P. R. Deboeck, G. Virk & T. T. Postolache (2008) Mood Oscillations and Coupling Between Mood and Weather in Patients with Rapid Cycling Bipolar Disorder. *Int J Child Health Hum Dev*, 1, 181-203.
- Bolay, H. & A. Rapoport (2011) Does low atmospheric pressure independently trigger migraine? *Headache*, 51, 1426-30.
- Boscolo-Berto, R., F. Dal Moro, A. Abate, G. Arandjelovic, F. Tosato & P. Bassi (2008) Do weather conditions influence the onset of renal colic? A novel approach to analysis. *Urol Int*, 80, 19-25.
- Boulay, F., F. Berthier, G. Schoukroun, C. Raybaut, Y. Gendreike & B. Blaive (2001) Seasonal variations in hospital admission for deep vein thrombosis and pulmonary embolism: analysis of discharge data. *BMJ*, 323, 601-2.
- Bown, M. J., M. J. McCarthy, P. R. Bell & R. D. Sayers (2003) Low atmospheric pressure is associated with rupture of abdominal aortic aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 25, 68-71.
- Braga, A. L., A. Zanobetti & J. Schwartz (2001) The lag structure between particulate air pollution and respiratory and cardiovascular deaths in 10 US cities. *J Occup Environ Med*, 43, 927-33.
- Braga, A. L., A. Zanobetti & J. Schwartz (2002) The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environ Health Perspect*, 110, 859-63.
- Brennan, S. A., T. Harney, J. M. Queally, J. O'Connor McGoona, I. C. Gormley & F. J. Shannon (2012) Influence of weather variables on pain severity in end-stage osteoarthritis. *Int Orthop*, 36, 643-6.
- Brown, H. K., A. J. Simpson & J. T. Murchison (2009) The influence of meteorological variables on the development of deep venous thrombosis. *Thromb Haemost*, 102, 676-82.
- Bucher, K. & E. Wanka (2007) Das Problem der Wetterföhligkeit. *promet*, 33, 133-139.
- Bulajich, B., D. Subotich, D. Mandarich, R. V. Kljajich & M. Gajich (2005) Influence of atmospheric pressure, outdoor temperature, and weather phases on the onset of spontaneous pneumothorax. *Ann Epidemiol*, 15, 185-90.
- Bulbena, A., G. Pailhez, R. Acena, J. Cunillera, A. Rius, C. Garcia-Ribera, J. Gutierrez & C. Rojo (2005) Panic anxiety, under the weather? *Int J Biometeorol*, 49, 238-43.
- Buxton, N., C. Liu, D. Dasic, P. Moody & D. T. Hope (2001) Relationship of aneurysmal subarachnoid hemorrhage to changes in atmospheric pressure: results of a prospective study. *J Neurosurg*, 95, 391-2.
- Carder, M., R. McNamee, I. Beverland, R. Elton, G. R. Cohen, J. Boyd & R. M. Agius (2005) The lagged effect of cold temperature and wind chill on cardiorespiratory mortality in Scotland. *Occup Environ Med*, 62, 702-10.
- Carey, D. G., K. A. Aase & G. J. Pliego (2010) The acute effect of cold air exercise in determination of exercise-induced bronchospasm in apparently healthy athletes. *J Strength Cond Res*, 24, 2172-8.
- Carlsten, C. & E. Melen (2012) Air pollution, genetics, and allergy: an update. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*, 12, 455-61.
- Cay, H. F., I. Sezer, M. Z. Firat & C. Kacar (2011) Which is the dominant factor for perception of rheumatic pain: meteorology or psychology? *Rheumatol Int*, 31, 377-85.
- Celenza, A., J. Fothergill, E. Kupek & R. J. Shaw (1996) Thunderstorm associated asthma: a detailed analysis of environmental factors. *BMJ*, 312, 604-7.
- Cervellin, G., I. Comelli, D. Comelli, P. Cortellini, G. Lippi, T. Meschi & L. Borghi (2011) Regional short-term climate variations influence on the number of visits for renal colic in a large urban Emergency Department: results of a 7-year survey. *Intern Emerg Med*, 6, 141-7.
- Chabriat, H., J. Danchot, P. Michel, J. E. Joire & P. Henry (1999) Precipitating factors of headache. A prospective study in a national control-matched survey in migraineurs and nonmigraineurs. *Headache*, 39, 335-8.
- Chauhan, V., B. Eskin, J. R. Allegra & D. G. Cochrane (2004) Effect of season, age, and gender on renal colic incidence. *Am J Emerg Med*, 22, 560-3.

- Chen, C. H., S. Xirasagar & H. C. Lin (2006) Seasonality in adult asthma admissions, air pollutant levels, and climate: a population-based study. *J Asthma*, 43, 287-92.
- Chen, X., Q. Cao, C. Liu & C. Xu (2008) Research on meteorological conditions and their related diseases in Hefei, China. *Ann N Y Acad Sci*, 1140, 86-90.
- Cheng, M. F., S. S. Tsai, T. N. Wu, P. S. Chen & C. Y. Yang (2007) Air pollution and hospital admissions for pneumonia in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*, 70, 2021-6.
- Cheng, M. F., S. S. Tsai & C. Y. Yang (2009) Air pollution and hospital admissions for myocardial infarction in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*, 72, 1135-40.
- Cheng, X. & H. Su (2010) Effects of climatic temperature stress on cardiovascular diseases. *Eur J Intern Med*, 21, 164-7.
- Chew, K. S. & R. McCleary (1995) The spring peak in suicides: a cross-national analysis. *Soc Sci Med*, 40, 223-30.
- Chiu, H. F., M. H. Cheng & C. Y. Yang (2009) Air pollution and hospital admissions for pneumonia in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *Inhal Toxicol*, 21, 32-7.
- Choi, J. H., Q. S. Xu, S. Y. Park, J. H. Kim, S. S. Hwang, K. H. Lee, H. J. Lee & Y. C. Hong (2007) Seasonal variation of effect of air pollution on blood pressure. *J Epidemiol Community Health*, 61, 314-8.
- Christensen, E. M., J. K. Larsen, A. Gjerris, L. Peacock, M. Jacobi & E. Hassenbalch (2008) Climatic factors and bipolar affective disorder. *Nord J Psychiatry*, 62, 55-8.
- Chung, J. Y., Y. Honda, Y. C. Hong, X. C. Pan, Y. L. Guo & H. Kim (2009) Ambient temperature and mortality: an international study in four capital cities of East Asia. *Sci Total Environ*, 408, 390-6.
- Chyatte, D., T. L. Chen, K. Bronstein & L. M. Brass (1994) Seasonal fluctuation in the incidence of intracranial aneurysm rupture and its relationship to changing climatic conditions. *J Neurosurg*, 81, 525-30.
- Clauss, R., J. Mayes, P. Hilton & R. Lawrenson (2005) The influence of weather and environment on pulmonary embolism: pollutants and fossil fuels. *Med Hypotheses*, 64, 1198-201.
- Conlon, K. C., N. B. Rajkovich, J. L. White-Newsome, L. Larsen & M. S. O'Neill (2011) Preventing cold-related morbidity and mortality in a changing climate. *Maturitas*, 69, 197-202.
- Connelly, M., T. Miller, G. Gerry & J. Bickel (2010) Electronic momentary assessment of weather changes as a trigger of headaches in children. *Headache*, 50, 779-89.
- Cooke, L. J., M. S. Rose & W. J. Becker (2000) Chinook winds and migraine headache. *Neurology*, 54, 302-7.
- Costenbader, K. H., S. C. Chang, F. Laden, R. Puett & E. W. Karlson (2008) Geographic variation in rheumatoid arthritis incidence among women in the United States. *Arch Intern Med*, 168, 1664-70.
- Cowperthwaite, M. C. & M. G. Burnett (2011) An analysis of admissions from 155 United States hospitals to determine the influence of weather on stroke incidence. *J Clin Neurosci*, 18, 618-23.
- Crawford, V. L., M. McCann & R. W. Stout (2003) Changes in seasonal deaths from myocardial infarction. *QJM*, 96, 45-52.
- Dance, A. (2012) Health impact: Breathless. *Nature*, 489, S2-S3.
- 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.
- Davis, R. E., C. E. Rossier & K. B. Enfield (2012) The impact of weather on influenza and pneumonia mortality in New York City, 1975-2002: a retrospective study. *PLoS One*, 7, e34091.
- Dawson, J., C. Weir, F. Wright, C. Bryden, S. Aslanyan, K. Lees, W. Bird & M. Walters (2008) Associations between meteorological variables and acute stroke hospital admissions in the west of Scotland. *Acta Neurol Scand*, 117, 85-9.
- De Figueiredo, E. C., G. C. Figueiredo & R. T. Dantas (2011) Influence of meteorological elements on osteoarthritis pain: a review of the literature. *Rev Bras Reumatol*, 51, 622-8.

- De Pablo, F., C. Tomas, L. R. Soriano & L. Diego (2009) Winter circulation weather types and hospital admissions for cardiovascular, respiratory, and digestive diseases in Salamanca, Spain *Int J Climatol*, 29, 1692-1703.
- Deisenhammer, E. A., G. Kemmler & P. Parson (2003) Association of meteorological factors with suicide. *Acta Psychiatr Scand*, 108, 455-9.
- Delyukov, A. & L. Didyk (1999) The effects of extra-low-frequency atmospheric pressure oscillations on human mental activity. *Int J Biometeorol*, 43, 31-37.
- Denissen, J. J., L. Butalid, L. Penke & M. A. van Aken (2008) The effects of weather on daily mood: a multilevel approach. *Emotion*, 8, 662-7.
- DESTATIS (2010a) Statistisches Bundesamt: Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern (einschließlich Sterbe- und Stundenfälle). Feldserie 12, Reihe 6.2.1.
- DESTATIS (2010b) Statistisches Bundesamt: Todesursachen in Deutschland. Feldserie 12, Reihe 4.
- DGAUM (2008) Umweltmedizinische Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.: Auswirkungen des Wetters auf die menschliche Gesundheit.
- DGRh (1994) Memorandum der Deutschen Gesellschaft für Rheumatologie e.V. *Zeitschrift für Rheumatologie*, 53, 113-134.
- diabetesDE (2011) Deutscher Gesundheitsbericht Diabetes 2012, 14. November 2011, <http://profi.diabetesde.org/gesundheitsbericht/2012/>.
- Dilaveris, P., A. Synetos, G. Giannopoulos, E. Gialafos, A. Pantazis & C. Stefanadis (2006) CLimate Impacts on Myocardial infarction deaths in the Athens Territory: the CLIMATE study. *Heart*, 92, 1747-51.
- Dixon, K. W. & M. D. Shulman (1983) A statistical investigation into the relationship between meteorological parameters and suicide. *Int J Biometeorol*, 27, 93-105.
- Dixon, P. G., A. N. McDonald, K. N. Scheitlin, J. E. Stapleton, J. S. Allen, W. M. Carter, M. R. Holley, D. D. Inman & R. B. Roberts (2007) Effects of temperature variation on suicide in five U.S. counties, 1991–2001. *Int J Biometeorol*, 51, 395-403.
- DMKG (2005) Deutsche Migräne- und Kopfschmerzgesellschaft: Migräne. [Available in <http://www.dmkg.de/>].
- Dominici, F., A. McDermott, M. Daniels, S. L. Zeger & J. M. Samet (2005) Revised analyses of the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study: mortality among residents of 90 cities. *J Toxicol Environ Health A*, 68, 1071-92.
- Dominici, F., A. Zanobetti, S. L. Zeger, J. Schwartz & J. M. Samet (2004) Hierarchical bivariate time series models: a combined analysis of the effects of particulate matter on morbidity and mortality. *Biostatistics*, 5, 341-60.
- Donaldson, G. (1997) Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. *Lancet* 349 1341 - 1346.
- Donaldson, G. C., T. Seemungal, D. J. Jeffries & J. A. Wedzicha (1999) Effect of temperature on lung function and symptoms in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J*, 13, 844-9.
- Donaldson, G. C. & J. A. Wedzicha (2006) COPD exacerbations .1: Epidemiology. *Thorax*, 61, 164-8.
- Drane, D., G. Berry, D. Bieri, A. C. McFarlane & P. Brooks (1997) The association between external weather conditions and pain and stiffness in women with rheumatoid arthritis. *J Rheumatol*, 24, 1309-16.
- Du Prel, J. B., W. Puppe, B. Grondahl, M. Knuf, J. A. Weigl, F. Schaaff & H. J. Schmitt (2009) Are meteorological parameters associated with acute respiratory tract infections? *Clin Infect Dis*, 49, 861-8.
- Dushoff, J., J. B. Plotkin, C. Viboud, D. J. Earn & L. Simonsen (2006) Mortality due to influenza in the United States--an annualized regression approach using multiple-cause mortality data. *Am J Epidemiol*, 163, 181-7.
- Ebi, K. L., K. A. Exuzides, E. Lau, M. Kelsh & A. Barnston (2004) Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983-1998. *Int J Biometeorol*, 49, 48-58.
- Eross, E., D. Dodick & M. Eross (2007) The Sinus, Allergy and Migraine Study (SAMS). *Headache*, 47, 213-24.

- Esquenet, P., J. Boudet, M. A. Sevestre-Pietri, O. Ganry & J. Pietri (1997) [Effect of meteorological variations on the emergence of deep venous thrombosis of the leg]. *J Mal Vasc*, 22, 244-8.
- Feigin, V. L., Y. P. Nikitin, M. L. Bots, T. E. Vinogradova & D. E. Grobbee (2000) A population-based study of the associations of stroke occurrence with weather parameters in Siberia, Russia (1982-92). *Eur J Neurol*, 7, 171-8.
- Ferrari, U., T. Exner, E. R. Wanka, C. Bergemann, J. Meyer-Arnek, B. Hildenbrand, A. Tufman, C. Heumann, R. M. Huber, M. Bittner & R. Fischer (2012) Influence of air pressure, humidity, solar radiation, temperature, and wind speed on ambulatory visits due to chronic obstructive pulmonary disease in Bavaria, Germany. *Int J Biometeorol*, 56, 137-43.
- Fischer, P., G. Hoek, B. Brunekreef, A. Verhoeff & J. van Wijnen (2003) Air pollution and mortality in The Netherlands: are the elderly more at risk? *Eur Respir J Suppl*, 40, 34s-38s.
- Fors, E. A. & H. Sexton (2002) Weather and the pain in fibromyalgia: are they related? *Ann Rheum Dis*, 61, 247-50.
- Friedman, D. I. & T. De ver Dye (2009) Migraine and the environment. *Headache*, 49, 941-52.
- Gabennesch, H. (1988) When Promises Fail: A Theory of Temporal Fluctuations in Suicide. *Social Forces*, 67.
- Garcia-Marcos, L., J. Battles-Garrido, A. Blanco-Quiros, G. Garcia-Hernandez, F. Guillen-Grima, C. Gonzalez-Diaz, A. Garcia-Merino, A. Arnedo-Pena, R. M. Busquets-Monge, M. Morales-Suarez-Varela, A. Lopez-Silvarrey-Varela & N. Garcia-Andoin (2009) Influence of two different geo-climatic zones on the prevalence and time trends of asthma symptoms among Spanish adolescents and schoolchildren. *Int J Biometeorol*, 53, 53-60.
- Garcia, F. M., S. S. Boada, A. X. Collsamata, I. G. Joaquim, Y. A. Perez, O. G. Tricio & C. M. Ibiza (2009) [Meteorological factors and psychiatric emergencies]. *Actas Esp Psiquiatr*, 37, 34-41.
- Gerber, Y., S. J. Jacobsen, J. M. Killian, S. A. Weston & V. L. Roger (2006) Seasonality and daily weather conditions in relation to myocardial infarction and sudden cardiac death in Olmsted County, Minnesota, 1979 to 2002. *J Am Coll Cardiol*, 48, 287-92.
- Glöser, S. (1997) Fortschreibung des Rheumaberichts: Versorgung verbessert. *Dtsch Arztebl*, 94, A-2468 / B-2110 / C-1976.
- Gluszak, A., S. Kocon, K. Zuk, P. Aljabali, A. Gluza & K. Siwek (2008) Episodes of atrial fibrillation and meteorological conditions. *Kardiol Pol*, 66, 958-63; discussion 964-5.
- 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.
- Goggins, W. B., J. Woo, S. Ho, E. Y. Y. Chan & P. H. Chau (2012) Weather, season, and daily stroke admissions in Hong Kong *International Journal of Biometeorology* 56, 865-872.
- Goldberg, M. S., R. T. Burnett, J. F. Yale, M. F. Valois & J. R. Brook (2006) Associations between ambient air pollution and daily mortality among persons with diabetes and cardiovascular disease. *Environ Res*, 100, 255-67.
- Goncalves, F. L., S. Braun, P. L. Dias & R. Sharovsky (2007) Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of Sao Paulo. *Environ Res*, 104, 275-81.
- Gorin, A. A., J. M. Smyth, J. N. Weisberg, G. Affleck, H. Tennen, S. Urrows & A. A. Stone (1999) Rheumatoid arthritis patients show weather sensitivity in daily life, but the relationship is not clinically significant. *Pain*, 81, 173-7.
- Green, R. S., R. Basu, B. Malig, R. Broadwin, J. J. Kim & B. Ostro (2010) The effect of temperature on hospital admissions in nine California counties. *Int J Public Health*, 55, 113-21.
- Grineski, S. E., J. G. Staniswalis, P. Bulathsinhala, Y. Peng & T. E. Gill (2011) Hospital admissions for asthma and acute bronchitis in El Paso, Texas: do age, sex, and insurance status modify the effects of dust and low wind events? *Environ Res*, 111, 1148-55.
- Grundstein, A. & S. E. Sarnat (2009) Meteorological Mechanisms Explaining Thunderstorm-Related Asthma. *Geography Compass*, 3, 45-63.
- Guedj, D. & A. Weinberger (1990) Effect of weather conditions on rheumatic patients. *Ann Rheum Dis*, 49, 158-9.

- Gwynn, R. C., R. T. Burnett & G. D. Thurston (2000) A time-series analysis of acidic particulate matter and daily mortality and morbidity in the Buffalo, New York, region. *Environ Health Perspect*, 108, 125-33.
- Hafstrom, I. & M. Hallengren (2003) Physiotherapy in subtropic climate improves functional capacity and health-related quality of life in Swedish patients with rheumatoid arthritis and spondylarthropathies still after 6 months. *Scand J Rheumatol*, 32, 108-13.
- Hagglund, K. J., W. E. Deuser, S. P. Buckelew, J. Hewett & D. R. Kay (1994) Weather, beliefs about weather, and disease severity among patients with fibromyalgia. *Arthritis Care Res*, 7, 130-5.
- Hakkarainen, R., C. Johansson, T. Kieseppa, T. Partonen, M. Koskenvuo, J. Kaprio & J. Lonnqvist (2003) Seasonal changes, sleep length and circadian preference among twins with bipolar disorder. *BMC Psychiatry*, 3, 6.
- Hanna, A. F., K. B. Yeatts, A. Xiu, Z. Zhu, R. L. Smith, N. N. Davis, K. D. Talgo, G. Arora, P. J. Robinson, Q. Meng & J. P. Pinto (2011) Associations between ozone and morbidity using the Spatial Synoptic Classification system. *Environ Health*, 10, 49.
- Harkin, D. W., M. O'Donnell, J. Butler, P. H. Blair, J. M. Hood & A. A. Barros D'Sa (2005) Periods of low atmospheric pressure are associated with high abdominal aortic aneurysm rupture rates in Northern Ireland. *Ulster Med J*, 74, 113-21.
- Harris, O. A., J. M. Colford, M. C. Good & P. G. Matz (2002) The role of hypothermia in the management of severe brain injury: a meta-analysis. *Arch Neurol*, 59, 1077-1083.
- Hashimoto, M., T. Fukuda, T. Shimizu, S. Watanabe, S. Watanuki, Y. Eto & M. Urashima (2004) Influence of climate factors on emergency visits for childhood asthma attack. *Pediatr Int*, 46, 48-52.
- Healy, J. D. (2003) Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *J Epidemiol Community Health*, 57, 784-9.
- Hertel, S., A. Viehmann, S. Moebus, K. Mann, M. Bocker-Preuss, S. Mohlenkamp, M. Nonnemacher, R. Erbel, H. Jacobs, M. Memmesheimer, K. H. Jockel & B. Hoffmann (2010) Influence of short-term exposure to ultrafine and fine particles on systemic inflammation. *Eur J Epidemiol*, 25, 581-92.
- Hiltunen, L., K. Suominen, J. Lonnqvist & T. Partonen (2011) Relationship between daylength and suicide in Finland. *J Circadian Rhythms*, 9, 10.
- Hoffmann, B., H. Luttmann-Gibson, A. Cohen, A. Zanobetti, C. de Souza, C. Foley, H. H. Suh, B. A. Coull, J. Schwartz, M. Mittleman, P. Stone, E. Horton & D. R. Gold (2012) Opposing effects of particle pollution, ozone, and ambient temperature on arterial blood pressure. *Environ Health Perspect*, 120, 241-6.
- Hoffmann, J., H. Lo, L. Neeb, P. Martus & U. Reuter (2011) Weather sensitivity in migraineurs. *J Neurol*, 258, 596-602.
- Hollander, J. L. (1963) Environment and musculoskeletal diseases. *Arch Environ Health*, 6, 527-536.
- Holzhammer, J. & C. Wöber (2006) [Non-alimentary trigger factors of migraine and tension-type headache]. *Schmerz*, 20, 226-37.
- Hong, Y. C., J. T. Lee, H. Kim, E. H. Ha, J. Schwartz & D. C. Christiani (2002) Effects of air pollutants on acute stroke mortality. *Environ Health Perspect*, 110, 187-91.
- Höppe, P., S. von Mackensen, D. Nowak & E. Piel (2002) [Prevalence of weather sensitivity in Germany]. *Dtsch Med Wochenschr*, 127, 15-20.
- Hughes, M. A., P. J. Grover, C. R. Butler, V. A. Elwell & N. D. Mendoza (2010) A 5-year retrospective study assessing the association between seasonal and meteorological change and incidence of aneurysmal subarachnoid haemorrhage. *Br J Neurosurg*, 24, 396-400.
- Huibers, M. J., L. E. de Graaf, F. P. Peeters & A. Arntz (2010) Does the weather make us sad? Meteorological determinants of mood and depression in the general population. *Psychiatry Res*, 180, 143-6.
- Ierusalimschy, R. & P. F. Moreira Filho (2002) [Precipitating factors of migraine attacks in patients with migraine without aura]. *Arq Neuropsiquiatr*, 60, 609-13.

- Jamison, R. N., K. O. Anderson & M. A. Slater (1995) Weather changes and pain: perceived influence of local climate on pain complaint in chronic pain patients. *Pain*, 61, 309-15.
- Jeerakathil, T., J. A. Johnson, S. H. Simpson & S. R. Majumdar (2007) Short-term risk for stroke is doubled in persons with newly treated type 2 diabetes compared with persons without diabetes: a population-based cohort study. *Stroke*, 38, 1739-43.
- Jehle, D., R. Moscati, J. Frye & N. Reich (1994) The incidence of spontaneous subarachnoid hemorrhage with change in barometric pressure. *Am J Emerg Med*, 12, 90-1.
- Jimenez-Conde, J., A. Ois, M. Gomis, A. Rodriguez-Campello, E. Cuadrado-Godia, I. Subirana & J. Roquer (2008) Weather as a trigger of stroke. Daily meteorological factors and incidence of stroke subtypes. *Cerebrovasc Dis*, 26, 348-54.
- Kalichman, L., M. Korosteshevsky, V. Batsevich & E. Kobylansky (2011) Climate is associated with prevalence and severity of radiographic hand osteoarthritis. *Homo*, 62, 280-7.
- Kämpfer, A. & M. Mutz (2011) On the Sunny Side of Life: Sunshine Effects on Life Satisfaction. *Social Indicators Research*, available online.
- Kan, H. & B. Chen (2003) A case-crossover analysis of air pollution and daily mortality in Shanghai. *J Occup Health*, 45, 119-24.
- Kan, H., J. Jia & B. Chen (2004) The association of daily diabetes mortality and outdoor air pollution in Shanghai, China. *J Environ Health*, 67, 21-6.
- Kan, H., S. J. London, H. Chen, G. Song, G. Chen, L. Jiang, N. Zhao, Y. Zhang & B. Chen (2007) Diurnal temperature range and daily mortality in Shanghai, China. *Environ Res*, 103, 424-31.
- Kang, J. H., T. C. Liu, J. Keller & H. C. Lin (2012) Asian dust storm events are associated with an acute increase in stroke hospitalisation. *J Epidemiol Community Health*.
- Kaniecki, R. G. (2012) Tension-type headache. *Continuum (Minneapolis)*, 18, 823-34.
- Kashiwabara, K., K. Itonaga & T. Moroi (2003) Airborne water droplets in mist or fog may affect nocturnal attacks in asthmatic children. *J Asthma*, 40, 405-11.
- Kasper, S., T. A. Wehr, J. J. Bartko, P. A. Gaist & N. E. Rosenthal (1989) Epidemiological findings of seasonal changes in mood and behavior. A telephone survey of Montgomery County, Maryland. *Arch Gen Psychiatry*, 46, 823-33.
- Kassomenos, P., A. Gryparis, E. Samoli, K. Katsouyanni, S. Lykoudis & H. A. Flocas (2001) Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece. *Environ Health Perspect*, 109, 591-6.
- Katsouyanni, K., G. Touloumi, E. Samoli, A. Gryparis, A. Le Tertre, Y. Monopoli, G. Rossi, D. Zmirou, F. Ballester, A. Boumghar, H. R. Anderson, B. Wojtyniak, A. Paldy, R. Braunstein, J. Pekkanen, C. Schindler & J. Schwartz (2001) Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 12, 521-31.
- Katsouyanni, K., G. Touloumi, C. Spix, J. Schwartz, F. Balducci, S. Medina, G. Rossi, B. Wojtyniak, J. Sunyer, L. Bacharova, J. P. Schouten, A. Ponka & H. R. Anderson (1997) Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *BMJ*, 314, 1658-63.
- Kay, J. & R. Westhovens (2009) Methotrexate: the gold standard without standardisation. *Ann Rheum Dis*, 68, 1081-2.
- Keatinge, W. R. (2002) Winter mortality and its causes. *Int J Circumpolar Health*, 61, 292-9.
- Keatinge, W. R., G. C. Donaldson, E. Cordioli, M. Martinelli, A. E. Kunst, J. P. Mackenbach, S. Nayha & I. Vuori (2000) Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *BMJ*, 321, 670-3.
- Keller, M. C., B. L. Fredrickson, O. Ybarra, S. Cote, K. Johnson, J. Mikels, A. Conway & T. Wager (2005) A warm heart and a clear head. The contingent effects of weather on mood and cognition. *Psychol Sci*, 16, 724-31.
- Kelman, L. (2007) The triggers or precipitants of the acute migraine attack. *Cephalalgia*, 27, 394-402.

- 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.
- Kilic, M., D. Ufuk Altintas, M. Yilmaz, S. Gunecer Kendirli, G. Bingol Karakoc, E. Taskin, T. Ceter & N. M. Pinar (2010) The effects of meteorological factors and *Alternaria* spore concentrations on children sensitised to *Alternaria*. *Allergol Immunopathol (Madr)*, 38, 122-8.
- Killeen, S. D., M. J. O'Sullivan, J. C. Coffey, H. P. Redmond & G. J. Fulton (2008) Atmospheric pressure variations and abdominal aortic aneurysm rupture. *Ir J Med Sci*, 177, 217-20.
- Kim, Y., H. Kim & D. S. Kim (2011) Association between daily environmental temperature and suicide mortality in Korea (2001-2005). *Psychiatry Res*, 186, 390-6.
- Kimoto, K., S. Aiba, R. Takashima, K. Suzuki, H. Takekawa, Y. Watanabe, M. Tatsumoto & K. Hirata (2011) Influence of barometric pressure in patients with migraine headache. *Intern Med*, 50, 1923-8.
- Kleimenova, N. G., O. V. Kozyreva, T. K. Breus & S. I. Rapoport (2007) [Seasonal variations in the myocardial infarction incidence and possible effects of geomagnetic micropulsations on the cardiovascular system in humans]. *Biofizika*, 52, 1112-9.
- Kobayashi, S., S. Momohara, N. Kamatani & H. Okamoto (2008) Molecular aspects of rheumatoid arthritis: role of environmental factors. *FEBS J*, 275, 4456-62.
- Kocer, A., A. Ilhan, N. Ince & C. Bilge (2005) The related causes in very early morning onset of stroke. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 29, 983-8.
- Koh, Y. I. & I. S. Choi (2002) Seasonal difference in the occurrence of exercise-induced bronchospasm in asthmatics: dependence on humidity. *Respiration*, 69, 38-45.
- Koppe, C. 2005. Gesundheitsrelevante Bewertung von thermischer Belastung unter Berücksichtigung der kurzfristigen Anpassung der Bevölkerung an die lokalen Witterungsverhältnisse. In Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, 208. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg.
- Kordic, M., D. Babic, B. Petrov, J. Kordic, B. Jelavic & G. Pivic (2010) The meteorological factors associated with suicide. *Coll Antropol*, 34 Suppl 1, 151-5.
- Koskela, H. & H. Tukiainen (1995) Facial cooling, but not nasal breathing of cold air, induces bronchoconstriction: a study in asthmatic and healthy subjects. *Eur Respir J*, 8, 2088-93.
- Koskela, H. O. (2007) Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management. *Int J Circumpolar Health*, 66, 91-100.
- Koskela, H. O., A. K. Koskela & H. O. Tukiaineu (1996) Bronchoconstriction due to cold weather in COPD. The roles of direct airway effects and cutaneous reflex mechanisms. *Chest*, 110, 632-6.
- Kovats, R. S., S. Hajat & P. Wilkinson (2004) Contrasting patterns of mortality and hospital admissions during hot weather and heat waves in Greater London, UK. *Occup Environ Med*, 61, 893-8.
- Kriszbacher, I., J. Bodis, I. Csoboth & I. Boncz (2009) The occurrence of acute myocardial infarction in relation to weather conditions. *Int J Cardiol*, 135, 136-8.
- 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.
- Krstic, G. (2011) Apparent temperature and air pollution vs. elderly population mortality in Metro Vancouver. *PLoS One*, 6, e25101.
- Kurtoglu, M., H. Yanar, M. Aksoy, C. Ertekin, F. Tunca, R. Guloglu & I. Tinay (2004) Seasonality in the incidence of abdominal aortic aneurysm ruptures: a review of eight years. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 10, 39-41.
- Kysely, J. & B. Kriz (2003) [High summer temperatures and mortality in the Czech Republic 1982-2000]. *Epidemiol Mikrobiol Immunol*, 52, 105-16.

- Kysely, J., L. Pokorna, J. Kyncl & B. Kriz (2009) Excess cardiovascular mortality associated with cold spells in the Czech Republic. *BMC Public Health*, 9, 19.
- Lagorio, S., F. Forastiere, R. Pistelli, I. Iavarone, P. Michelozzi, V. Fano, A. Marconi, G. Ziemacki & B. D. Ostro (2006) Air pollution and lung function among susceptible adult subjects: a panel study. *Environ Health*, 5, 11.
- Lambert, G., C. Reid, D. Kaye, G. Jennings & M. Esler (2003) Increased suicide rate in the middle-aged and its association with hours of sunlight. *Am J Psychiatry*, 160, 793-5.
- Lampl, C., A. Buzath, U. Baumhackl & D. Klingler (2003) One-year prevalence of migraine in Austria: a nation-wide survey. *Cephalalgia*, 23, 280-6.
- Landers, A. T., P. K. Narotam, S. T. Govender & J. R. van Dellen (1997) The effect of changes in barometric pressure on the risk of rupture of intracranial aneurysms. *Br J Neurosurg*, 11, 191-5.
- Larsen, J. (2006) Setting the record straight: more than 52,000 Europeans died from heat in summer 2003. [Available in <http://www.earthpolicy.org/Updates/2006/Update56.htm>].
- Laschewski, G. & G. Jendritzky (2002) Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany. *Clim Res*, 21, 91-103.
- Lavigne, E., P. J. Villeneuve & S. Cakmak (2012) Air pollution and emergency department visits for asthma in Windsor, Canada. *Can J Public Health*, 103, 4-8.
- Law, H. Y., G. K. Wong, D. T. Chan, L. Wong & W. S. Poon (2009) Meteorological factors and aneurysmal subarachnoid haemorrhage in Hong Kong. *Hong Kong Med J*, 15, 85-9.
- Le Tertre, A., S. Medina, E. Samoli, B. Forsberg, P. Michelozzi, A. Boumghar, J. M. Vonk, A. Bellini, R. Atkinson, J. G. Ayres, J. Sunyer, J. Schwartz & K. Katsouyanni (2002) Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities. *J Epidemiol Community Health*, 56, 773-9.
- Lee, C. H., C. L. Cheng, L. J. Lin, L. M. Tsai & Y. H. Yang (2011) Epidemiology and predictors of short-term mortality in symptomatic venous thromboembolism. *Circ J*, 75, 1998-2004.
- Lee, H. C., C. J. Hu, C. S. Chen & H. C. Lin (2008) Seasonal variation in ischemic stroke incidence and association with climate: a six-year population-based study. *Chronobiol Int*, 25, 938-49.
- Lee, H. C., S. Y. Tsai & H. C. Lin (2007a) Seasonal variations in bipolar disorder admissions and the association with climate: a population-based study. *J Affect Disord*, 97, 61-9.
- Lee, H. J., L. Kim, S. H. Joe & K. Y. Suh (2002) Effects of season and climate on the first manic episode of bipolar affective disorder in Korea. *Psychiatry Res*, 113, 151-9.
- Lee, I. M., S. S. Tsai, C. C. Chang, C. K. Ho & C. Y. Yang (2007b) Air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Inhal Toxicol*, 19, 393-8.
- 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.
- Lee, J. J., F. Gino & B. R. Staats (2012) Rainmakers: Why Bad Weather Means Good Productivity. Harvard Business School Working Paper, No. 13-005.
- Leitte, A. M., C. Petrescu, U. Franck, M. Richter, O. Suci, R. Ionovici, O. Herbarth & U. Schlink (2009) Respiratory health, effects of ambient air pollution and its modification by air humidity in Drobeta-Turnu Severin, Romania. *Sci Total Environ*, 407, 4004-11.
- Lejeune, J. P., M. Vinchon, P. Amouyel, T. Escartin, D. Escartin & J. L. Christiaens (1994) Association of occurrence of aneurysmal bleeding with meteorologic variations in the north of France. *Stroke*, 25, 338-41.
- Liang, W. M., W. P. Liu, S. Y. Chou & H. W. Kuo (2008) Ambient temperature and emergency room admissions for acute coronary syndrome in Taiwan. *Int J Biometeorol*, 52, 223-9.

- Liang, W. M., W. P. Liu & H. W. Kuo (2009) Diurnal temperature range and emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan. *Int J Biometeorol*, 53, 17-23.
- Likhvar, V., Y. Honda & M. Ono (2011) Relation between temperature and suicide mortality in Japan in the presence of other confounding factors using time-series analysis with a semiparametric approach. *Environ Health Prev Med*, 16, 36-43.
- Lim, Y. H., H. Kim & Y. C. Hong (2012) Variation in mortality of ischemic and hemorrhagic strokes in relation to high temperature. *Int J Biometeorol*.
- Lin, C. M. & C. M. Liao (2009) Temperature-dependent association between mortality rate and carbon monoxide level in a subtropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Int J Environ Health Res*, 19, 163-74.
- Lin, H. C., C. S. Chen, S. Xirasagar & H. C. Lee (2008) Seasonality and climatic associations with violent and nonviolent suicide: a population-based study. *Neuropsychobiology*, 57, 32-7.
- Lin, S., M. Luo, R. J. Walker, X. Liu, S. A. Hwang & R. Chinery (2009) Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology*, 20, 738-46.
- Lloyd, G., A. Carlisle & S. D'Arcy (2001) Weather sensitivity in rheumatoid arthritis - is it all in the mind? *Rheumatology*, 40, 51-53.
- Low, R. B., L. Bielory, A. I. Qureshi, V. Dunn, D. F. Stuhlmeier & D. A. Dickey (2006) The relation of stroke admissions to recent weather, airborne allergens, air pollution, seasons, upper respiratory infections, and asthma incidence, September 11, 2001, and day of the week. *Stroke*, 37, 951-7.
- Lowen, A. C., S. Mubareka, J. Steel & P. Palese (2007) Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog*, 3, 1470-6.
- Lujan, M., M. T. Sanchez, J. Turo, C. Pascual, V. Chiva, C. Martin & J. Torres (2011) [Climate and epidemiological characteristics of renal colic attendances in an urban setting in Spain]. *Actas Urol Esp*, 35, 481-6.
- MacFarlane, T. V., J. McBeth, G. T. Jones, B. Nicholl & G. J. Macfarlane (2010) Whether the weather influences pain? Results from the EpiFunD study in North West England. *Rheumatology (Oxford)*, 49, 1513-20.
- 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.
- Maheswaran, R., T. Pearson, N. Hoysal & M. J. Campbell (2010) Evaluation of the impact of a health forecast alert service on admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Bradford and Airedale. *J Public Health (Oxf)*, 32, 97-102.
- Makie, T., M. Harada, N. Kinukawa, H. Toyoshiba, T. Yamanaka, T. Nakamura, M. Sakamoto & Y. Nose (2002) Association of meteorological and day-of-the-week factors with emergency hospital admissions in Fukuoka, Japan. *Int J Biometeorol*, 46, 38-41.
- Marriott, P. F., K. M. Greenwood & S. M. Armstrong (1994) Seasonality in panic disorder. *J Affect Disord*, 31, 75-80.
- Martins, L. C., R. Latorre Mdo, M. R. Cardoso, F. L. Goncalves, P. H. Saldiva & A. L. Braga (2002) [Air pollution and emergency room visits due to pneumonia and influenza in Sao Paulo, Brazil]. *Rev Saude Publica*, 36, 88-94.
- Masoli, M., D. Fabian, S. Holt, R. Beasley & P. Global Initiative for Asthma (2004) The global burden of asthma: executive summary of the GINA Dissemination Committee report. *Allergy*, 59, 469-78.
- Masotti, L., E. Ceccarelli, S. Forconi & R. Cappelli (2005) Seasonal variations of pulmonary embolism in hospitalized patients. *Respir Med*, 99, 1469-73.
- May, L., M. Carim & K. Yadav (2011) Adult asthma exacerbations and environmental triggers: a retrospective review of ED visits using an electronic medical record. *Am J Emerg Med*, 29, 1074-82.
- McAlindon, T., M. Formica, C. H. Schmid & J. Fletcher (2007) Changes in barometric pressure and ambient temperature influence osteoarthritis pain. *Am J Med*, 120, 429-34.

- McMichael, A. J., P. Wilkinson, R. S. Kovats, S. Pattenden, S. Hajat, B. Armstrong, N. Vajanapoom, E. M. Niciu, H. Mahomed, C. Kingkeow, M. Kosnik, M. S. O'Neill, I. Romieu, M. Ramirez-Aguilar, M. L. Barreto, N. Gouveia & B. Nikiforov (2008) International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *Int J Epidemiol*, 37, 1121-31.
- Medina-Ramon, M., A. Zanobetti, D. P. Cavanagh & J. Schwartz (2006) Extreme temperatures and mortality: assessing effect modification by personal characteristics and specific cause of death in a multi-city case-only analysis. *Environ Health Perspect*, 114, 1331-6.
- Meerhoff, T. J., J. W. Paget, J. L. Kimpen & F. Schellevis (2009) Variation of respiratory syncytial virus and the relation with meteorological factors in different winter seasons. *Pediatr Infect Dis J*, 28, 860-6.
- Meral, M., A. Mirici, S. Aslan, M. Akgun, H. Kaynar, L. Saglam & M. Gorguner (2005) Barometric pressure and the incidence of pulmonary embolism. *Chest*, 128, 2190-4.
- 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.
- Mey, W., H. Löwel & K. Bucher. 2002. *Herzinfarkt und Wetter*. ed. G. d. d. D. Herzstiftung, 68.
- 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.
- Michelozzi, P., U. Kirchmayer, K. Katsouyanni, A. Biggeri, G. McGregor, B. Menne, P. Kassomenos, H. Anderson, M. Baccini, G. Accetta, A. Analytis & T. Kosatsky (2007) Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: background, objectives, design. *Environmental Health*, 6, 12.
- Milojevic, D., V. Gajic, J. Smailagic, N. Djonovic, G. Toncev & S. Gajic (2011) Biometeorological phases influence on stroke morbidity. *Med Glas Ljek komore Zenicko-doboj kantona*, 8, 229-36.
- Ministry of Health (1954) Mortality and Morbidity during the London Fog of December, 1952. Reports on Public Health and Medical Subjects No. 95, Her Majesty's Stationary Office, London.
- Miranda, L. C., M. Parente, C. Silva, P. Clemente-Coelho, H. Santos, S. Cortes, D. Medeiros, J. S. Ribeiro, F. Barcelos, M. Sousa, C. Miguel, R. Figueiredo, M. Mediavilla, E. Simoes, M. Silva, J. V. Patto, H. Madeira, J. Ferreira, M. Micaelo, R. Leitao, V. Las, A. Faustino & A. Teixeira (2007) [Perceived pain and weather changes in rheumatic patients]. *Acta Reumatol Port*, 32, 351-61.
- Mireku, N., Y. Wang, J. Ager, R. C. Reddy & A. P. Baptist (2009) Changes in weather and the effects on pediatric asthma exacerbations. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 103, 220-4.
- Momirovic, A., B. Resanovic, J. Culig & I. Herljevic (2005) Mood effects of weather conditions of the Zagreb population, Croatia. *Coll Antropol*, 29, 515-8.
- Morabito, M., A. Crisci, D. Grifoni, S. Orlandini, L. Cecchi, L. Bacci, P. A. Modesti, G. F. Gensini & G. Maracchi (2006) Winter air-mass-based synoptic climatological approach and hospital admissions for myocardial infarction in Florence, Italy. *Environ Res*, 102, 52-60.
- Morabito, M., A. Crisci, S. Orlandini, G. Maracchi, G. F. Gensini & P. A. Modesti (2008) A synoptic approach to weather conditions discloses a relationship with ambulatory blood pressure in hypertensives. *Am J Hypertens*, 21, 748-52.
- Morabito, M., A. Crisci, R. Vallorani, P. A. Modesti, G. F. Gensini & S. Orlandini (2011) Innovative approaches helpful to enhance knowledge on weather-related stroke events over a wide geographical area and a large population. *Stroke*, 42, 593-600.
- Morabito, M., P. A. Modesti, L. Cecchi, A. Crisci, S. Orlandini, G. Maracchi & G. F. Gensini (2005) Relationships between weather and myocardial infarction: a biometeorological approach. *Int J Cardiol*, 105, 288-93.
- Mukamal, K. J., G. A. Wellenius, H. H. Suh & M. A. Mittleman (2009) Weather and air pollution as triggers of severe headaches. *Neurology*, 72, 922-7.

- Nakaji, S., S. Parodi, V. Fontana, T. Umeda, K. Suzuki, J. Sakamoto, S. Fukuda, S. Wada & K. Sugawara (2004) Seasonal changes in mortality rates from main causes of death in Japan (1970--1999). *Eur J Epidemiol*, 19, 905-13.
- Nampiaparampil, D. E. & R. H. Shmerling (2004) A review of fibromyalgia. *Am J Manag Care*, 10, 794-800.
- Nastos, P. T., A. G. Paliatsos, M. Papadopoulos, C. Bakoula & K. N. Priftis (2008) The effect of weather variability on pediatric asthma admissions in Athens, Greece. *J Asthma*, 45, 59-65.
- 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.
- Nayha, S. (2005) Environmental temperature and mortality. *Int J Circumpolar Health*, 64, 451-8.
- Nejar, K. A., I. M. Bensenor & P. A. Lotufo (2007) Sunshine and suicide at the tropic of Capricorn, Sao Paulo, Brazil, 1996-2004. *Rev Saude Publica*, 41, 1062-4.
- Neut, D., A. Fily, J. C. Cuvelier & L. Vallee (2012) The prevalence of triggers in paediatric migraine: a questionnaire study in 102 children and adolescents. *J Headache Pain*, 13, 61-5.
- Ng, J., D. Scott, A. Taneja, P. Gow & A. Gosai (2004) Weather changes and pain in rheumatology patients. *APLAR J Rheumatol*, 7, 204-206.
- NIMH (2009) National Institute of Mental Health: Depression. [Available in <http://www.nimh.nih.gov/health/publications/depression/complete-index.shtml>].
- Nitschke, M., G. R. Tucker & P. Bi (2007) Morbidity and mortality during heatwaves in metropolitan Adelaide. *Med J Aust*, 187, 662-5.
- Nyberg, G. & A. Nybeg (1984) Weather forecasting in rheumatic disease. *Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology, Series B*, 34, 267-272.
- Oberg, A. L., J. A. Ferguson, L. M. McIntyre & R. D. Horner (2000) Incidence of stroke and season of the year: evidence of an association. *Am J Epidemiol*, 152, 558-64.
- Obermann, M. & Z. Katsarava (2008) Epidemiology of unilateral headaches. *Expert Rev Neurother*, 8, 1313-20.
- Ohshige, K., Y. Hori, O. Tochikubo & M. Sugiyama (2006) Influence of weather on emergency transport events coded as stroke: population-based study in Japan. *Int J Biometeorol*, 50, 305-11.
- Ohtani, T., H. Kaiya, T. Utsumi, K. Inoue, N. Kato & T. Sasaki (2006) Sensitivity to seasonal changes in panic disorder patients. *Psychiatry Clin Neurosci*, 60, 379-83.
- Omori, T., G. Fujimoto, I. Yoshimura, H. Nitta & M. Ono (2003) Effects of particulate matter on daily mortality in 13 Japanese cities. *J Epidemiol*, 13, 314-22.
- Ostro, B., S. Rauch, R. Green, B. Malig & R. Basu (2010) The effects of temperature and use of air conditioning on hospitalizations. *Am J Epidemiol*, 172, 1053-61.
- Ostro, B. D., W. Y. Feng, R. Broadwin, B. J. Malig, R. S. Green & M. J. Lipsett (2008) The impact of components of fine particulate matter on cardiovascular mortality in susceptible subpopulations. *Occup Environ Med*, 65, 750-6.
- Oyoshi, T., M. Nakayama & J. Kuratsu (1999) Relationship between aneurysmal subarachnoid hemorrhage and climatic conditions in the subtropical region, Amami-Oshima, in Japan. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 39, 585-90; discussion 590-1.
- Ozheredov, V. A., T. K. Breus, I. Gurfinkel' lu, B. A. Revich & T. A. Mitrofanova (2010) [Influence of some weather factors and the geomagnetic activity on the development of severe cardiological pathologies]. *Biofizika*, 55, 133-44.
- Oztuna, F., S. Ozsu, M. Topbas, Y. Bulbul, P. Kosucu & T. Ozlu (2008) Meteorological parameters and seasonal variations in pulmonary thromboembolism. *Am J Emerg Med*, 26, 1035-41.
- Page, L. A., S. Hajat & R. S. Kovats (2007) Relationship between daily suicide counts and temperature in England and Wales. *Br J Psychiatry*, 191, 106-12.
- Pandey, J., M. Grandner, C. Crittenden, M. T. Smith & M. L. Perlis (2005) Meteorologic factors and subjective sleep continuity: a preliminary evaluation. *Int J Biometeorol*, 49, 152-5.

- Papadopoulos, F. C., C. E. Frangakis, A. Skalkidou, E. Petridou, R. G. Stevens & D. Trichopoulos (2005) Exploring lag and duration effect of sunshine in triggering suicide. *J Affect Disord*, 88, 287-97.
- Partonen, T., J. Haukka, K. Viilo, H. Hakko, S. Pirkola, E. Isometsa, J. Lonnqvist, T. Sarkioja, E. Vaisanen & P. Rasanen (2004) Cyclic time patterns of death from suicide in northern Finland. *J Affect Disord*, 78, 11-9.
- Patberg, W. R. & J. J. Rasker (2004) Weather effects in rheumatoid arthritis: from controversy to consensus. A review. *J Rheumatol*, 31, 1327-34.
- Paynter, S., R. S. Ware, P. Weinstein, G. Williams & P. D. Sly (2010) Childhood pneumonia: a neglected, climate-sensitive disease? *Lancet*, 376, 1804-5.
- Peng, R. D., M. L. Bell, A. S. Geyh, A. McDermott, S. L. Zeger, J. M. Samet & F. Dominici (2009) Emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases and the chemical composition of fine particle air pollution. *Environ Health Perspect*, 117, 957-63.
- Perez, J. A., L. Palmes Mde, J. F. Ferrer, O. O. Urdangarain & A. B. Nunez (2010) Renal colic at emergency departments. Epidemiologic, diagnostic and etiopathogenic study. *Arch Esp Urol*, 63, 173-87.
- Petridou, E., F. C. Papadopoulos, C. E. Frangakis, A. Skalkidou & D. Trichopoulos (2002) A role of sunshine in the triggering of suicide. *Epidemiology*, 13, 106-9.
- Pincus, S., C. Macbean & D. Taylor (2010) The effects of temperature, age and sex on presentations of renal colic in Melbourne, Australia. *Eur J Emerg Med*, 17, 328-31.
- Pio, A., B. R. Kirkwood & S. Gove (2010) Avoiding hypothermia, an intervention to prevent morbidity and mortality from pneumonia in young children. *Pediatr Infect Dis J*, 29, 153-9.
- Pittas, A. G., M. Chung, T. Trikalinos, J. Mitri, M. Brendel, K. Patel, A. H. Lichtenstein, J. Lau & E. M. Balk (2010) Systematic review: Vitamin D and cardiometabolic outcomes. *Ann Intern Med*, 152, 307-14.
- Plavcova, E. & J. Kysely (2009) [Effects of sudden air temperature and pressure changes on mortality in the Czech Republic]. *Epidemiol Mikrobiol Imunol*, 58, 73-83.
- Priftis, K. N., A. G. Paliatsos, P. Panagiotopoulou-Gartagani, P. Tapratzi-Potamianou, A. Zachariadi-Xypolita, P. Nicolaidou & P. Saxoni-Papageorgiou (2006) Association of weather conditions with childhood admissions for wheezy bronchitis or asthma in Athens. *Respiration*, 73, 783-90.
- Prince, P. B., A. M. Rapoport, F. D. Sheftell, S. J. Tepper & M. E. Bigal (2004) The effect of weather on headache. *Headache*, 44, 596-602.
- Pudpong, N. & S. Hajat (2011) High temperature effects on out-patient visits and hospital admissions in Chiang Mai, Thailand. *Sci Total Environ*, 409, 5260-7.
- Quick, D. C. (1997) Joint pain and weather. A critical review of the literature. *Minn Med*, 80, 25-9.
- Rabe, K. F., S. Hurd, A. Anzueto, P. J. Barnes, S. A. Buist, P. Calverley, Y. Fukuchi, C. Jenkins, R. Rodriguez-Roisin, C. van Weel, J. Zielinski & D. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung (2007) Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med*, 176, 532-55.
- Radua, J., A. Pertusa & N. Cardoner (2010) Climatic relationships with specific clinical subtypes of depression. *Psychiatry Res*, 175, 217-20.
- Rechsteiner, J. & K. C. Winkler (1969) Inactivation of Respiratory Syncytial Virus in Aerosol. *J Gen Virol*, 5, 405-410.
- Redelmeier, D. A. & A. Tversky (1996) On the belief that arthritis pain is related to the weather. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93, 2895-6.
- Ren, C., G. M. Williams, K. Mengersen, L. Morawska & S. Tong (2009) Temperature enhanced effects of ozone on cardiovascular mortality in 95 large US communities, 1987-2000: Assessment using the NMMAPS data. *Arch Environ Occup Health*, 64, 177-84.

- Ren, C., G. M. Williams, L. Morawska, K. Mengersen & S. Tong (2008) Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occup Environ Med*, 65, 255-60.
- Renk, S. 2011. Der Einfluss von Temperatur und Sonnenstrahlung auf die Suizidalität. In Medizinische Fakultät, 64. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- Revich, B. & D. Shaposhnikov (2008) Temperature-induced excess mortality in Moscow, Russia. *Int J Biometeorol*, 52, 367-74.
- Richter, D., K. Berger & T. Reker (2008) [Are mental disorders on the increase? A systematic review]. *Psychiatr Prax*, 35, 321-30.
- Roach, H. I. & S. Tilley. 2008. The Pathogenesis of Osteoarthritis
Bone and Osteoarthritis. eds. F. Bronner & M. C. Farach-Carson, 1-18. Springer London.
- Rocklov, J. & B. Forsberg (2008) The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998--2003: a study of lag structures and heatwave effects. *Scand J Public Health*, 36, 516-23.
- Rosen, L. N., S. D. Targum, M. Terman, M. J. Bryant, H. Hoffman, S. F. Kasper, H. J. R., J. P. Docherty, B. Welch & N. E. Rosenthal (1990) Prevalence of seasonal affective disorder at four latitudes. *Psychiatry Research*, 31, 131-144.
- Rossi, O. V., V. L. Kinnula, J. Tienari & E. Huhti (1993) Association of severe asthma attacks with weather, pollen, and air pollutants. *Thorax*, 48, 244-8.
- Rückerl, R., S. Greven, P. Ljungman, P. Aalto, C. Antoniadou, T. Bellander, N. Berglind, C. Chrysohoou, F. Forastiere, B. Jacquemin, S. von Klot, W. Koenig, H. Kuchenhoff, T. Lanki, J. Pekkanen, C. A. Perucci, A. Schneider, J. Sunyer, A. Peters & A. S. Group (2007) Air pollution and inflammation (interleukin-6, C-reactive protein, fibrinogen) in myocardial infarction survivors. *Environ Health Perspect*, 115, 1072-80.
- Ruuhela, R., L. Hiltunen, A. Venalainen, P. Pirinen & T. Partonen (2009) Climate impact on suicide rates in Finland from 1971 to 2003. *Int J Biometeorol*, 53, 167-75.
- Sakalihan, N., R. Limet & O. D. Defawe (2005) Abdominal aortic aneurysm. *Lancet*, 365, 1577-89.
- Salek, K. M., M. A. Mamun, N. Parvin, S. M. Ahmed, M. M. Khan, A. N. Rijvi, M. H. Rahman, M. R. Khasru, A. Akther, M. Rahman, S. Islam & A. Emran (2011) Fluctuation of pain by weather change in musculoskeletal disorders. *Mymensingh Med J*, 20, 645-51.
- Samet, J. M., F. Dominici, F. C. Curriero, I. Coursac & S. L. Zeger (2000) Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. *N Engl J Med*, 343, 1742-9.
- Samoli, E., A. Analitis, G. Touloumi, J. Schwartz, H. R. Anderson, J. Sunyer, L. Bisanti, D. Zmirou, J. M. Vonk, J. Pekkanen, P. Goodman, A. Paldy, C. Schindler & K. Katsouyanni (2005) Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ Health Perspect*, 113, 88-95.
- Sato, J. (2003) Weather change and pain: a behavioral animal study of the influences of simulated meteorological changes on chronic pain. *Int J Biometeorol*, 47, 55-61.
- Schaerer, L. O., K. Bucher, C. Born, J. M. Langosch, A. Dorneich, H. Grunze & D. Ebert (2009) Connection between daily weather conditions and psychopathology in patients with bipolar disorder. *Journal of Affective Disorders*.
- Scheidt, J., C. Koppe, S. Rill, D. Reinel, F. Wogenstein & J. Drescher (2012) Influence of temperature changes on migraine occurrence in Germany. *Int J Biometeorol*.
- Schienze, A., R. Stark & D. Vaitl (1999) Electrocortical responses of headache patients to the simulation of 10 kHz spherics. *Int J Neurosci*, 97, 211-24.
- Schneider, A., L. M. Neas, D. W. Graff, M. C. Herbst, W. E. Cascio, M. T. Schmitt, J. B. Buse, A. Peters & R. B. Devlin (2010) Association of cardiac and vascular changes with ambient PM2.5 in diabetic individuals. *Part Fibre Toxicol*, 7, 14.
- Schuh, A. (2003) [Asthma after summer thunderstorm, stroke in cold weather, death in heat. When weather causes illness]. *MMW Fortschr Med*, 145, 25.
- Schuh, A. (2007) Biowetter: Wie das Wetter unsere Gesundheit beeinflusst.

- Schwartz, J., J. M. Samet & J. A. Patz (2004) Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity. *Epidemiology*, 15, 755-61.
- Schwarz, T., G. Siegert, W. Oettler, K. Halbritter, J. Beyer, R. Frommhold, S. Gehrlich, F. Lenz, E. Kuhlisch, H. E. Schroeder & S. M. Schellong (2003) Venous thrombosis after long-haul flights. *Arch Intern Med*, 163, 2759-64.
- Scott, J. A., E. L. Palmer, A. J. Fischman & H. W. Strauss (1992) Meteorologic influences on the frequency of pulmonary embolism. *Invest Radiol*, 27, 583-6.
- Setzer, M., J. Beck, E. Hermann, A. Raabe, V. Seifert, H. Vatter & G. Marquardt (2007) The influence of barometric pressure changes and standard meteorological variables on the occurrence and clinical features of subarachnoid hemorrhage. *Surg Neurol*, 67, 264-72; discussion 272.
- 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.
- Shutty, M. S., Jr., G. Cundiff & D. E. DeGood (1992) Pain complaint and the weather: weather sensitivity and symptom complaints in chronic pain patients. *Pain*, 49, 199-204.
- Silkoff, P. E., L. Zhang, S. Dutton, E. L. Langmack, S. Vedal, J. Murphy & B. Make (2005) Winter air pollution and disease parameters in advanced chronic obstructive pulmonary disease patients residing in Denver, Colorado. *J Allergy Clin Immunol*, 115, 337-44.
- Smedslund, G. & K. B. Hagen (2011) Does rain really cause pain? A systematic review of the associations between weather factors and severity of pain in people with rheumatoid arthritis. *Eur J Pain*, 15, 5-10.
- Smedslund, G., P. Mowinckel, T. Heiberg, T. K. Kvien & K. B. Hagen (2009) Does the weather really matter? A cohort study of influences of weather and solar conditions on daily variations of joint pain in patients with rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum*, 61, 1243-7.
- Smith, R. A., P. R. Edwards & A. F. Da Silva (2008) Are periods of low atmospheric pressure associated with an increased risk of abdominal aortic aneurysm rupture? *Ann R Coll Surg Engl*, 90, 389-93.
- Song, G., G. Chen, L. Jiang, Y. Zhang, N. Zhao, B. Chen & H. Kan (2008) Diurnal temperature range as a novel risk factor for COPD death. *Respirology*, 13, 1066-9.
- Spencer, F. A., R. J. Goldberg, R. C. Becker & J. M. Gore (1998) Seasonal Distribution of Acute Myocardial Infarction in the Second National Registry of Myocardial Infarction. *J Am Coll Cardiol*, 31, 1226-1233.
- Staalesen Strumse, Y. A., B. Y. Nordvag, J. K. Stanghelle, M. Rosland, A. Winther, P. A. Pajunen, T. Garen & B. Flato (2009) The efficacy of rehabilitation for patients with rheumatoid arthritis: comparison between a 4-week rehabilitation programme in a warm and cold climate. *Scand J Rheumatol*, 38, 28-37.
- Staskiewicz, G., E. Czekajka-Chehab, J. Przegalinski, M. Maciejewski, M. Pachowicz & A. Drop (2011) Meteorological parameters and severity of acute pulmonary embolism episodes. *Ann Agric Environ Med*, 18, 127-30.
- Staskiewicz, G., K. Torres, E. Czekajka-Chehab, M. Pachowicz, A. Torres, S. Radej, G. Opielak, R. Maciejewski & A. Drop (2010) Low atmospheric pressure and humidity are related with more frequent pulmonary embolism episodes in male patients. *Ann Agric Environ Med*, 17, 163-7.
- Stein, P. D., F. Kayali, A. Beemath, E. Skaf, M. Alnas, I. Alesh & R. E. Olson (2005) Mortality from acute pulmonary embolism according to season. *Chest*, 128, 3156-8.
- Stensrud, T., S. Berntsen & K. H. Carlsen (2006) Humidity influences exercise capacity in subjects with exercise-induced bronchoconstriction (EIB). *Respir Med*, 100, 1633-41.
- Stensrud, T., S. Berntsen & K. H. Carlsen (2007) Exercise capacity and exercise-induced bronchoconstriction (EIB) in a cold environment. *Respir Med*, 101, 1529-36.
- Sterpetti, A. V., N. Cavallari, P. Allegrucci, F. Agosta & A. Cavallaro (1995) Seasonal variation in the incidence of ruptured abdominal aortic aneurysm. *J R Coll Surg Edinb*, 40, 14-5.

- Stieb, D. M., M. Szyszkowicz, B. H. Rowe & J. A. Leech (2009) Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environ Health*, 8, 25.
- Storms, W. W. (2003) Review of exercise-induced asthma. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 1464-70.
- Strusberg, I., R. C. Mendelberg, H. A. Serra & A. M. Strusberg (2002) Influence of weather conditions on rheumatic pain. *J Rheumatol*, 29, 335-8.
- Sun, Z. (2010) Cardiovascular responses to cold exposure. *Front Biosci (Elite Ed)*, 2, 495-503.
- Sung, T. I., M. J. Chen & H. J. Su (2012) A positive relationship between ambient temperature and bipolar disorder identified using a national cohort of psychiatric inpatients. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol*.
- Sunyer, J., R. Atkinson, F. Ballester, A. Le Tertre, J. G. Ayres, F. Forastiere, B. Forsberg, J. M. Vonk, L. Bisanti, R. H. Anderson, J. Schwartz, K. Katsouyanni & A. study (2003) Respiratory effects of sulphur dioxide: a hierarchical multicity analysis in the APHEA 2 study. *Occup Environ Med*, 60, e2.
- Szyszkowicz, M. (2008) Air pollution and daily emergency department visits for headache in Montreal, Canada. *Headache*, 48, 417-23.
- Toro, K., J. Bartholy, R. Pongracz, Z. Kis, E. Keller & G. Dunay (2010) Evaluation of meteorological factors on sudden cardiovascular death. *J Forensic Leg Med*, 17, 236-42.
- Toro, K., G. Dunay, J. Bartholy, R. Pongracz, Z. Kis & E. Keller (2009) Relationship between suicidal cases and meteorological conditions. *J Forensic Leg Med*, 16, 277-9.
- Tromp, S. W. 1963. *Medical biometeorology : weather, climate and the living organism*. Amsterdam [etc.]: [s.n.].
- Tsai, J. F. (2010) Socioeconomic factors outweigh climate in the regional difference of suicide death rate in Taiwan. *Psychiatry Res*, 179, 212-6.
- Tsai, S. S., W. B. Goggins, H. F. Chiu & C. Y. Yang (2003) Evidence for an association between air pollution and daily stroke admissions in Kaohsiung, Taiwan. *Stroke*, 34, 2612-6.
- Tsai, W. S., Y. H. Yang, L. C. Wang & B. L. Chiang (2006) Abrupt temperature change triggers arthralgia in patients with juvenile rheumatoid arthritis. *J Microbiol Immunol Infect*, 39, 465-70.
- Turin, T. C., N. Rumana, Y. Kita, Y. Nakamura & H. Ueshima (2010) Circannual periodicity of stroke: the interrelation between the stroke risk factors and stroke triggering factors. *Int J Stroke*, 5, 133-4.
- Vaitl, D., N. Propson, R. Stark, B. Walter & A. Schienle (2001) Headache and sferics. *Headache*, 41, 845-53.
- van Gijn, J., R. S. Kerr & G. J. Rinkel (2007) Subarachnoid haemorrhage. *Lancet*, 369, 306-18.
- Varin, C. & C. Czado (2010) A mixed autoregressive probit model for ordinal longitudinal data. *Biostatistics*, 11, 127-38.
- Verberkmoes, N. J., M. A. Soliman Hamad, J. F. Ter Woorst, M. E. Tan, C. H. Peels & A. H. van Straten (2012) Impact of temperature and atmospheric pressure on the incidence of major acute cardiovascular events. *Neth Heart J*, 20, 193-6.
- Verges, J., E. Montell, E. Tomas, G. Cumelles, G. Castaneda, N. Marti & I. Moller (2004) Weather conditions can influence rheumatic diseases. *Proc West Pharmacol Soc*, 47, 134-6.
- Verlato, G., R. Calabrese & R. De Marco (2002) Correlation between asthma and climate in the European Community Respiratory Health Survey. *Arch Environ Health*, 57, 48-52.
- Viegas, M., P. R. Barrero, A. F. Maffey & A. S. Mistchenko (2004) Respiratory viruses seasonality in children under five years of age in BuenosAires, ArgentinaA five-year analysis. *Journal of Infection*, 49, 222-228.
- Villeneuve, P. J., J. Leech & D. Bourque (2005) Frequency of emergency room visits for childhood asthma in Ottawa, Canada: the role of weather. *Int J Biometeorol*, 50, 48-56.
- Villeneuve, P. J., M. Szyszkowicz, D. Stieb & D. A. Bourque (2006) Weather and emergency room visits for migraine headaches in Ottawa, Canada. *Headache*, 46, 64-72.
- Volpe, F. M. & J. A. Del Porto (2006) Seasonality of admissions for mania in a psychiatric hospital of Belo Horizonte, Brazil. *J Affect Disord*, 94, 243-8.

- Volpe, F. M., A. Tavares & J. A. Del Porto (2008) Seasonality of three dimensions of mania: psychosis, aggression and suicidality. *J Affect Disord*, 108, 95-100.
- von Mackensen, S., P. Hoeppe, A. Maarouf, P. Tourigny & D. Nowak (2005) Prevalence of weather sensitivity in Germany and Canada. *Int J Biometeorol*, 49, 156-66.
- Voracek, M. & M. L. Fisher (2002) Sunshine and suicide incidence. *Epidemiology*, 13, 492-3; author reply 493-4.
- Vyssoki, B., N. Praschak-Rieder, G. Sonneck, V. Bluml, M. Willeit, S. Kasper & N. D. Kapusta (2012) Effects of sunshine on suicide rates. *Compr Psychiatry*, 53, 535-9.
- Walach, H., H. D. Betz & A. Schweickhardt (2001) Sferics and headache: a prospective study. *Cephalalgia*, 21, 685-90.
- Walach, H., A. Schweickhardt & K. Bucher (2002) [Does weather modify headaches? An empirical evaluation of bio-weather categorization]. *Schmerz*, 16, 1-8.
- Walford, R. L. 1969. *The Immunological Theory of Aging*. Copenhagen.
- Walton, N. A., M. R. Poynton, P. H. Gesteland, C. Maloney, C. Staes & J. C. Facelli (2010) Predicting the start week of respiratory syncytial virus outbreaks using real time weather variables. *BMC Med Inform Decis Mak*, 10, 68.
- Wang, H., M. Sekine, X. Chen & S. Kagamimori (2002) A study of weekly and seasonal variation of stroke onset. *Int J Biometeorol*, 47, 13-20.
- Wang, H. C. & E. Yousef (2007) Air quality and pediatric asthma-related emergencies. *J Asthma*, 44, 839-41.
- Wang, L., J. E. Manson, Y. Song & H. D. Sesso (2010) Systematic review: Vitamin D and calcium supplementation in prevention of cardiovascular events. *Ann Intern Med*, 152, 315-23.
- Wang, X. Y., A. G. Barnett, W. Hu & S. Tong (2009) Temperature variation and emergency hospital admissions for stroke in Brisbane, Australia, 1996-2005. *Int J Biometeorol*, 53, 535-41.
- Wang, X. Y., A. G. Barnett, W. Yu, G. FitzGerald, V. Tippett, P. Aitken, G. Neville, D. McRae, K. Verrall & S. Tong (2012) The impact of heatwaves on mortality and emergency hospital admissions from non-external causes in Brisbane, Australia. *Occup Environ Med*, 69, 163-9.
- Watson, D. 2000. *Mood and temperament*. New York: Guilford Press.
- Weiland, S. K., A. Husing, D. P. Strachan, P. Rzehak, N. Pearce & I. P. O. S. Group (2004) Climate and the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinitis, and atopic eczema in children. *Occup Environ Med*, 61, 609-15.
- Wellenius, G. A., J. Schwartz & M. A. Mittleman (2005) Air pollution and hospital admissions for ischemic and hemorrhagic stroke among medicare beneficiaries. *Stroke*, 36, 2549-53.
- 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.
- WHO. 2004. World Health Organization: International Statistical Classification of Diseases and Health Related Problems, 10th revision.
- WHO. 2012. World Health Organization: Depression, Fact sheet N°369, October 2012, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs369/en/index.html>.
- Wichmann, J., Z. Andersen, M. Ketznel, T. Ellermann & S. Loft (2011) Apparent temperature and cause-specific emergency hospital admissions in Greater Copenhagen, Denmark. *PLoS One*, 6, e22904.
- Wilder, F. V., B. J. Hall & J. P. Barrett (2003) Osteoarthritis pain and weather. *Rheumatology (Oxford)*, 42, 955-8.
- Wöber, C., J. Holzhammer, J. Zeitlhofer, P. Wessely & C. Wober-Bingol (2006) Trigger factors of migraine and tension-type headache: experience and knowledge of the patients. *J Headache Pain*, 7, 188-95.
- Wolf, K., A. Schneider, S. Breitner, S. von Klot, C. Meisinger, J. Cyrus, H. Hymer, H. E. Wichmann, A. Peters & G. Cooperative Health Research in the Region of Augsburg Study (2009) Air temperature and the occurrence of myocardial infarction in Augsburg, Germany. *Circulation*, 120, 735-42.

- Xirasagar, S., H. C. Lin & T. C. Liu (2006) Seasonality in pediatric asthma admissions: the role of climate and environmental factors. *Eur J Pediatr*, 165, 747-52.
- Yackerson, N. S., A. Zilberman, D. Todder & Z. Kaplan (2011) The influence of several changes in atmospheric states over semi-arid areas on the incidence of mental health disorders. *Int J Biometeorol*, 55, 403-10.
- Yadav, R. K., J. Kalita & U. K. Misra (2010) A study of triggers of migraine in India. *Pain Med*, 11, 44-7.
- Yang, A. C., J. L. Fuh, N. E. Huang, B. C. Shia, C. K. Peng & S. J. Wang (2011a) Temporal associations between weather and headache: analysis by empirical mode decomposition. *PLoS One*, 6, e14612.
- Yang, A. C., S. J. Tsai & N. E. Huang (2011b) Decomposing the association of completed suicide with air pollution, weather, and unemployment data at different time scales. *J Affect Disord*, 129, 275-81.
- Yang, C. Y. & C. J. Chen (2007) Air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*, 70, 1214-9.
- Yang, C. Y., J. F. Chiu, H. F. Chiu & W. Y. Kao (1997) Damp housing conditions and respiratory symptoms in primary school children. *Pediatric Pulmonology*, 24, 73-77.
- Yang, T. C., P. C. Wu, V. Y. Chen & H. J. Su (2009) Cold surge: a sudden and spatially varying threat to health? *Sci Total Environ*, 407, 3421-4.
- Young, M. A., P. M. Meaden, L. F. Fogg, E. A. Cherin & C. I. Eastman (1997) Which environmental variables are related to the onset of seasonal affective disorder? . *Journal of Abnormal Psychology*, 106, 554-562.
- Yu, W., Y. Guo, X. Ye, X. Wang, C. Huang, X. Pan & S. Tong (2011) The effect of various temperature indicators on different mortality categories in a subtropical city of Brisbane, Australia. *Sci Total Environ*, 409, 3431-7.
- Yu, W., K. Mengersen, X. Wang, X. Ye, Y. Guo, X. Pan & S. Tong (2012) Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence. *Int J Biometeorol*, 56, 569-581.
- Yusuf, S., G. Piedimonte, A. Auais, G. Demmler, S. Krishnan, P. Van Caesele, R. Singleton, S. Broor, S. Parveen, L. Avendano, J. Parra, S. Chavez-Bueno, T. Murguia De Sierra, E. A. Simoes, S. Shaha & R. Welliver (2007) The relationship of meteorological conditions to the epidemic activity of respiratory syncytial virus. *Epidemiol Infect*, 135, 1077-90.
- Zanobetti, A. & J. Schwartz (2005) The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multicity case-crossover analysis. *Environ Health Perspect*, 113, 978-82.
- Zebenholzer, K., E. Rudel, S. Frantal, W. Brannath, K. Schmidt, C. Wober-Bingol & C. Wober (2011) Migraine and weather: a prospective diary-based analysis. *Cephalalgia*, 31, 391-400.
- Zeka, A., A. Zanobetti & J. Schwartz (2005) Short term effects of particulate matter on cause specific mortality: effects of lags and modification by city characteristics. *Occup Environ Med*, 62, 718-25.
- Zittermann, A. & J. F. Gummert (2010) Sun, vitamin D, and cardiovascular disease. *J Photochem Photobiol B*, 101, 124-9.
- Zivadinov, R., K. Willheim, D. Sepic-Grahovac, A. Jurjevic, M. Bucuk, O. Brnabic-Razmilic, G. Relja & M. Zorzon (2003) Migraine and tension-type headache in Croatia: a population-based survey of precipitating factors. *Cephalalgia*, 23, 336-43.