

Klimaveränderung in Bayern



Gesundheitliche Folgen und Perspektiven

Bayerisches Landesamt
für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

überarbeitete Version Juli 2006

Inhaltsangabe

Inhaltsangabe	2
Einleitung	3
Der Klimawandel in Bayern	4
<i>Allgemeines</i>	4
<i>Regionale Klimadiagnose</i>	4
<i>Regionales Klimaszenario (Klimaprojektion)</i>	7
<i>Zusammenfassende Bewertung</i>	9
Hitze- und kälteabhängige Erhöhung der Sterblichkeit bei Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen	11
Einfluss der Klimaerwärmung auf reiseassoziierte und endemische Infektionskrankheiten	16
<i>Malaria</i>	16
<i>Dengue</i>	17
<i>Gefährdungsabschätzung</i>	18
<i>Endemische vektorassoziierte Krankheitserreger</i>	19
<i>Hanta</i>	19
<i>Frühsommermeningoenzephalitis</i>	21
<i>Lyme-Borreliose</i>	23
<i>Expertenmangel</i>	23
<i>Nichtklimatische Einflussfaktoren</i>	24
Einfluss des Klimawandels auf biologisch aktive Partikel	24
UV-Belastung und Hautkrebs	25
Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Lebensmittelproduktion	27
Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Lebensmittelsicherheit	27
Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserversorgung	29
Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Hygiene der Trinkwasserversorgung und Trinkwasserqualität	31
<i>Zur erhöhten Verunreinigung von Außen für das Trinkwasser</i>	31
<i>Unangenehme hygienische Effekte durch die Temperaturerhöhung des Trinkwassers</i>	36
Auswirkungen auf die Badewasserqualität	38
Zusammenfassung und künftige Perspektiven	40
Anhang	42
Quellen	46

Autoren:

M. Kohlhuber¹, F. Burckhardt¹, P. Schindler¹, C. Höller¹, H. Beck², H. Weber², H. Fromme¹

¹Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

²Bayerisches Landesamt für Umwelt

Dieser Bericht erschien erstmalig im April 2005 und wurde in dieser Version um die statistische Auswertung der Tagessterblichkeiten bei Herz-Kreislaufkrankungen und die neuesten Infektionsschutz-Melddaten für 2005 ergänzt.

Einleitung

Im internationalen Rahmen sind sich Klimaexperten und Wissenschaftsgremien¹, wie etwa das „Intergovernmental Panel on Climate Change“, seit längerem einig, dass die globale Durchschnittstemperatur noch in diesem Jahrhundert durch anthropogene Einflüsse um 1,4 bis 5,8 Grad ansteigen wird. Zusätzlich wird eine Häufung extremer Wetterereignisse erwartet. Daraus ergeben sich verschiedene Konsequenzen für die menschliche Gesundheit. In Bezug auf die globale Krankheitslast wird davon ausgegangen, dass die Menschen der Schwellen- und Entwicklungsländer unter den anthropogenen Einflüssen der westlichen Industriegesellschaft am meisten zu leiden haben, sei es durch Ausbreitung vektorbasierter Infektionskrankheiten, Zunahme an Naturkatastrophen in Gebieten mangelnder Infrastruktur bis hin zur Verschiebung verfügbarer Anbauregionen für Feldfrüchte und Weideflächen.

In diesem Dokument sollen nur diejenigen Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Gesundheit näher betrachtet werden, welche für die bayerische Bevölkerung als Teil westlicher Industriegesellschaften in gemäßigten Breiten relevant sind.

Dazu gehören insbesondere:

- die hitze- und kälteabhängige Erhöhung der Mortalität bei Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems
- der Einfluss von Klimaänderungen auf reiseassoziierte und endemische Krankheitserreger
- die UV-Belastung und Hautkrebs
- der Einfluss auf biologisch aktive Partikel in der Atemluft
- Auswirkungen auf die Lebensmittelproduktion
- Einflüsse auf die Lebensmittelsicherheit
- Auswirkung auf Trinkwasserqualität und Wasserversorgung

Die Auswirkungen dieser Problemfelder auf die Gesundheit lassen sich bayernweit nur in einer fachübergreifenden Kooperation gemeinsam mit Beteiligten der unterschiedlichen Fachbehörden, Forschungsinstitutionen und regionaler Behörden abschätzen. Dieses Dokument möchte Perspektiven einer zukünftigen interdisziplinäre Zusammenarbeit der Beteiligten aufzeigen, deren Umsetzung von den verschiedenen Handlungsbeitragenden gemeinsam diskutiert werden muss.

Der Klimawandel in Bayern

Allgemeines

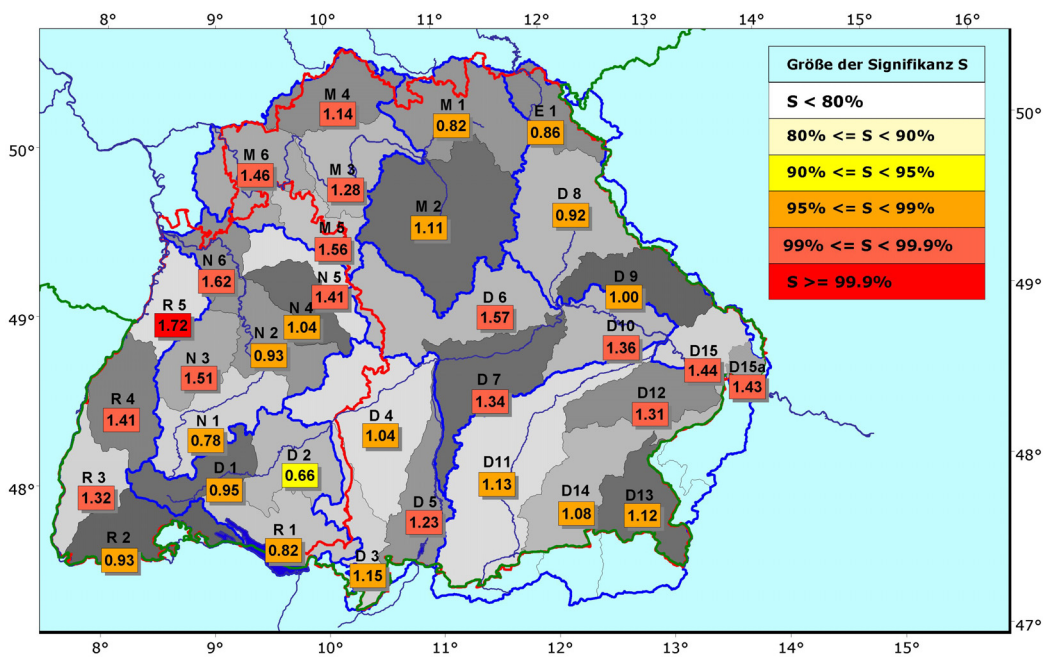
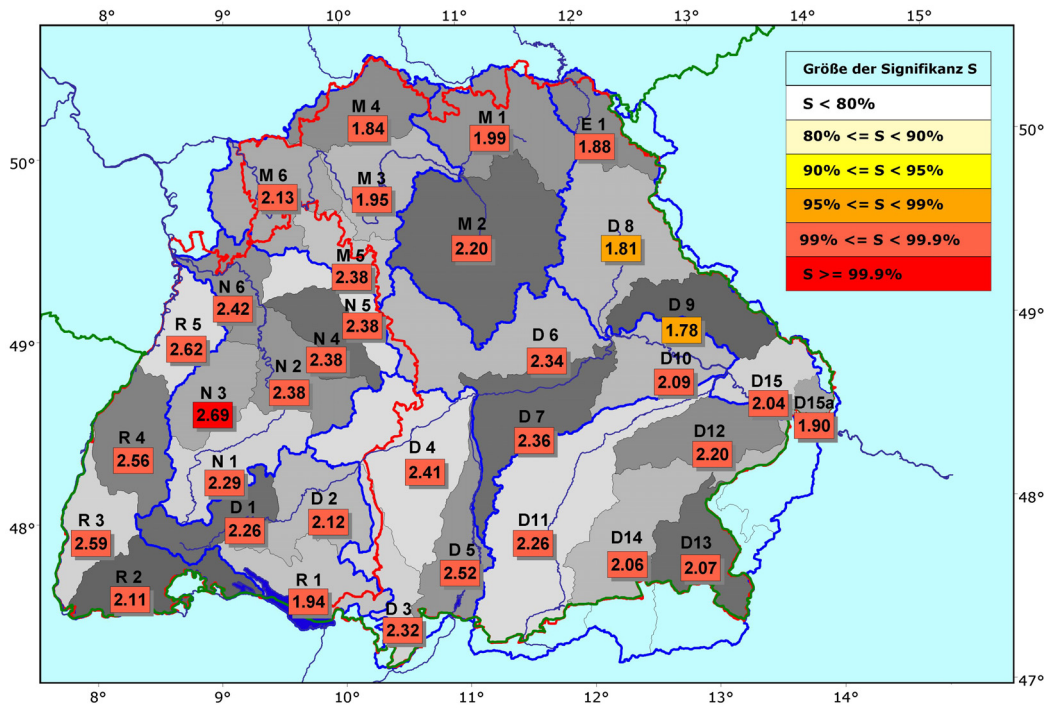
Unter den Klimaforschern ist es weltweit mittlerweile unstrittig, dass die beobachtete globale Temperaturerhöhung nicht nur den natürlichen Klimaeinflüssen und Klimaschwankungen zuzuschreiben, sondern wesentlich als Folge des anthropogenen ‚Treibhauseffekts‘ einzustufen ist. Um die Entwicklung des weltweiten und des regionalen Klimas einzuschätzen, rechnen die Klimaforscher Klimaszenarien mit immer leistungsfähigeren Klimamodellen. Alle diese Klimamodelle sagen eine globale Erwärmung voraus und können mit entsprechenden Emissionsszenarien den Temperaturverlauf der letzten 100 Jahre recht gut nachbilden. Die prognostizierte globale Temperaturzunahme der kommenden 50 bis 100 Jahre schwankt je nach Klimamodell und Emissionsszenario zwischen 1,4°C und 5,8°C¹. Es ist zu erwarten, dass in Folge der zur Verfügung stehenden höheren Wärmeenergie auch der globale Wasserkreislauf intensiviert wird.

Erkenntnisse über die regionalen Auswirkungen des Klimawandels in Süddeutschland wurden im Rahmen des Kooperationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ gewonnen, das von den Ländern Baden-Württemberg und Bayern gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) durchgeführt wird. Ziel des Vorhabens KLIWA war es bis jetzt, für die nächsten Jahrzehnte (bis 2050) Aussagen über die möglichen Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt und die davon abhängigen bzw. beeinflussten Systeme zu erhalten, um auf dieser Basis geeignete Anpassungsstrategien entwickeln zu können.

Regionale Klimadiagnose

Zur regionalen Klimaentwicklung wurden zunächst lange Messzeitreihen von Tageswerten hydrometeorologischer und hydrologischer Größen (in der Regel mehr als 70 Jahre) untersucht. Diese Ergebnisse geben Aufschluss über die bisher beobachteten natürlichen Schwankungsbreiten und evtl. erkennbare systematische Veränderungen (Trends). Entsprechende flächenrepräsentative Karten langjähriger Zeitreihen liegen für Süddeutschland vor.

Klimaveränderung und Gesundheit in Bayern



Untersuchungsgebiete:

D Donau

- D 1 Quelle bis Lauchert
- D 2 uh. Lauchert bis oh. Iller
- D 3 Iller
- D 4 Donau, uh. Iller bis oh. Wörnitz und Lech
- D 5 Lech
- D 6 Wörnitz, Altmühl und Schw. Laber
- D 7 Donau, uh. Lech bis oh. Naab
- D 8 Naab
- D 9 Regen
- D 10 Donau, uh. Naab bis oh. Isar
- D 11 Isar
- D 12 Vils und Rott
- D 13 Alz und Salzach
- D 14 Inn
- D 15 Donau, uh. Isar bis Landesgrenze
- D 15a Donau, uh. Isar, oh. Pegel Achleiten

N Neckar

- N 1 Quelle bis oh. Fils
- N 2 Fils bis oh. Kocher (ohne Enz)
- N 3 Enz
- N 4 Kocher
- N 5 Jagst
- N 6 uh. Jagst bis Mündung

R Rhein

- R 1 Bodensee
- R 2 Bodensee bis Wiese
- R 3 uh. Wiese bis oh. Kinzig
- R 4 Kinzig bis Murg
- R 5 uh. Murg bis oh. Neckar

E 1 Elbe

M Main

- M 1 Main bis oh. Regnitz
- M 2 Regnitz
- M 3 Main, uh. Regnitz bis oh. Fränk. Saale
- M 4 Fränk. Saale
- M 5 Tauber
- M 6 Main, uh. Fränk. Saale bis Landesgrenze

Landesgrenzen

Abbildung 1: Trend (in K/70 Jahre) mit Signifikanz der Monatsmitteltemperaturen Dezember (oben) und August (unten)

Die insbesondere in den 90er Jahren des letzten Jahrhundert festgestellte Zunahme der **Jahresmitteltemperatur** ist regional verschieden und zeigt in Süddeutschland Werte zwischen 0,5°C und 1,2°C (Zeitreihe 1931-2000, 354 Stationen). Auffällig sind die jahreszeitlichen und regionalspezifischen Besonderheiten: Die höchste Zunahme der Monatsmitteltemperatur ergibt sich in den Wintermonaten und dort im Dezember (Abbildung 1). Darüber hinaus ist festzustellen, dass die winterlichen Temperaturzunahmen in den unteren Höhenlagen sowie im Westen von Süddeutschland besonders deutlich ausgeprägt sind. In den Sommermonaten zeigt die Monatsmitteltemperatur im August signifikante Trends, die aber vom Trendbetrag nicht so hoch sind wie in den Wintermonaten².

Auf Grund der Temperaturerhöhung im Winter tritt der feste Niederschlag mit einer geschlossenen **Schneedecke** gegenüber dem Schneeregen oder Regen zurück. Die Untersuchungen in Süddeutschland zum Langzeitverhalten der Schneedeckendauer zeigen einen Trend zu schneeärmeren Wintern mit weniger dauerhaften Schneedecken. In den tiefen (< 300 m ü. NN) und mittleren Höhenlagen geht die Schneedeckendauer deutlich zurück. Dieser Rückgang tritt auch hier in den westlichen Gebietsteilen von Süddeutschland stärker in Erscheinung als in den östlichen. In höher gelegenen Gebieten (> 800 m ü. NN) ergibt sich nur eine geringe Abnahme der Schneedeckendauer bzw. teilweise sogar eine leichte Zunahme, besonders in östlichen Teil von Süddeutschland².

Hochwasserabflüsse entstehen durch **Starkniederschläge** mit oder ohne Schneeschmelze. Dabei wird mit Starkniederschlag ein Niederschlagsereignis bezeichnet, das im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweist und daher selten auftritt, z. B. im statistischen Mittel höchstens einmal jährlich. Starkniederschlagshöhen sind damit an den einzelnen Niederschlagsstationen über die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens definiert. In der KLIWA-Untersuchung werden die jeweiligen Höchstwerte einer Zeitspanne (Jahr, Sommer und Winter) verwendet.

Während im Winterhalbjahr die Starkniederschläge in Süddeutschland entsprechend den Ergebnissen aus KLIWA deutlich – wenn auch regional unterschiedlich – zunehmen, sind im Sommer keine markanten Veränderungen festzustellen. Ursache des Anstiegs der winterlichen Starkniederschlagshöhen ist das häufigere Auftreten von Westwetterlagen mit Zufuhr warmer, feuchter Luftmassen, die gleichzeitig zur Schneeschmelze führen können und damit eine Abnahme der mittleren Schneedeckendauer bewirken. Diese Veränderungen lassen auch auf Auswirkungen in den Hochwasserabflüssen schließen³.

Bei Betrachtung der jährlichen **Höchstabflüsse** sehr langer Zeitreihen (zwischen 70 und 150 Jahre) sind beim überwiegenden Teil der Pegel keine signifikanten Veränderungen festzustellen. Ab den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts sind jedoch zunehmende Trends sowohl bei den Höchstabflüssen als auch der Häufigkeit von Winterhochwasser zu verzeichnen; ebenso sind die monatlichen Hochwasserabflüsse im Winterhalbjahr höher als in der Zeit davor⁴.

Regionales Klimaszenario (Klimaprojektion)

Für die Abschätzung einer künftig möglichen Klimaveränderung in Süddeutschland sind im Rahmen von KLIWA geeignete regionale Klimaszenarien unter Annahme eines realitätsnahen Emissionsszenario (SRES B2, ECHAM4) erstellt worden. Diese Szenarien werden dann als Eingangsgrößen für verfügbare Wasserhaushaltsmodelle (WHM) verwendet, um Aussagen über die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserhaushalt treffen zu können.

Eine Grundsatzstudie der ETH Zürich zog das Fazit, dass es derzeit noch kein optimales Verfahren für die Erstellung regionaler Klimaszenarien aus den globalen Klimamodellen gibt, da Unsicherheiten in beiden Modellgruppen vorhanden sind. Die KLIWA-Partner beschlossen daher drei unterschiedliche Verfahren anzuwenden, um eine Bandbreite möglicher Entwicklungen zu erhalten, wobei weitgehend identische Randbedingungen vorgegeben wurden, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Aus den drei regionalen Klimaszenarien wurde das Szenario von Meteor-Research (Dr. Enke) als besonders geeignet für die weitere Analyse ausgewählt. Die

Lufttemperatur bestimmt die Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf in einer Luftmasse und spielt daher auch für die Niederschlagsbildung eine wesentliche Rolle. Sie kann zudem in den Klimamodellen zur Ermittlung der zukünftigen Klimaentwicklung am besten simuliert werden. Die Lufttemperatur wird in Bayern auch in der Zukunft weiter deutlich zunehmen. Im Sommerhalbjahr wird die mittlere Tagestemperatur ca. 15°C betragen, im Winter ca. 3,5°C. Die Zunahmen fallen im hydrologischen Winter mit ca. 2°C stärker aus als im hydrologischen Sommer mit ca. 1,4°C. Die Temperaturerhöhung ist auch bei den einzelnen Monaten zu erkennen, und zwar nicht nur bei den mittleren, sondern auch bei den maximalen und minimalen Tagestemperaturen; sie ist in den Monaten Dezember bis Februar am höchsten. Diese erwartete Temperaturzunahme im Winter ist von besonderer Bedeutung, da die Temperatur großen Einfluss auf die Zwischenspeicherung von Niederschlag als Schnee hat und somit entscheidend für das zukünftig zu erwartende Abflussregime sein kann. Die Anzahl der Sommertage (Tage mit $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) steigt in Bayern im Mittel von 32 auf knapp 50 Tage. Auch die Anzahl der heißen Tage (Tage mit $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$) nimmt im Mittel um fast 100% zu (Abbildung 2).

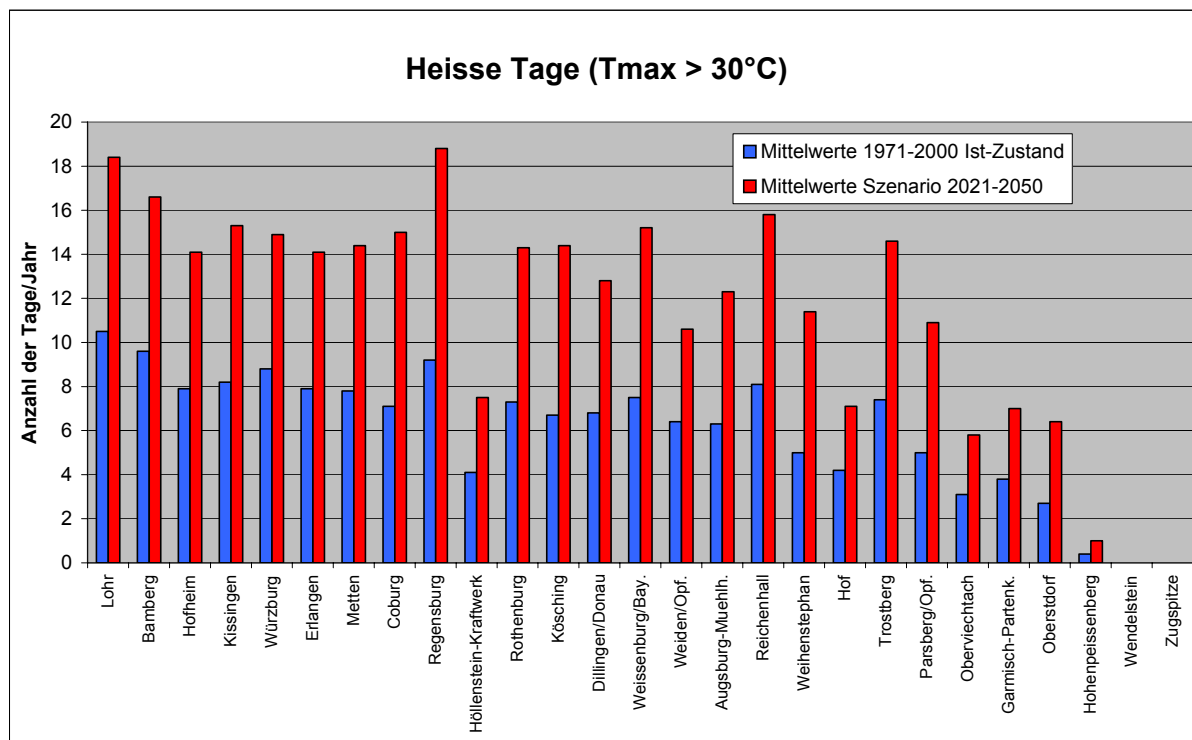


Abbildung 2: Anzahl der bisherigen und künftigen heißen Tage ($T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) pro Jahr in Bayern

Entsprechend wird sich die Anzahl der Frosttage (Tage mit $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) im Mittel um rund 25% gegenüber dem derzeitigen Klima reduzieren. Die Anzahl der Eistage (Tage mit $T_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) wird demnach noch deutlicher mit durchschnittlich 50% abnehmen. Spätfröste im Frühjahr können je nach Zeitpunkt große Schäden in der Landwirtschaft verursachen. Auf Grund der erwarteten Erwärmung wird der letzte Frost im Frühjahr im Mittel früher auftreten als derzeit, so dass sich für die Landwirtschaft die Gefahr von Frostschäden verringert. Gleichzeitig schiebt sich der Tag mit dem ersten Frühfrost im Jahr nach hinten, so dass die frostsichere Zeit in der Vegetationsperiode zunimmt.

Der **Niederschlag** zeigt im Sommerhalbjahr betragsmäßig landesweit nur geringe Änderungen, im Südosten finden sich regional allerdings etwas deutlichere Abnahmen. Im Winterhalbjahr lässt sich dagegen eine landesweite, deutliche Zunahme erkennen. Je nach Flussgebietsregion beträgt die unterschiedlich stark ausgeprägte Zunahme dabei bis zu 35%. Trotz der räumlichen Unschärfe des Szenarios sind regionale Unterschiede beim Niederschlag erkennbar und daher Aussagen dazu zulässig. Auch die Anzahl der Tage mit hohen Niederschlägen (größer 25 mm) wird künftig im Winter steigen, während im Sommer kaum Änderungen stattfinden. Bei den Trockentagen (Niederschlag weniger als 1 mm) zeigt sich eine saisonale Differenzierung: im Winter nehmen die Trockentage von 114 auf 107 Tage ab, während sie in den für die Vegetation wichtigen Sommer zunehmen (von 111 auf künftig 117 Tage). Diese Tendenz zur innerjährlichen Verschiebung zwischen Sommer- und Winterhalbjahr wurde für die letzten Jahrzehnten bereits in einer statistischen Untersuchung zum Langzeitverhalten der Gebietsniederschläge festgestellt.

Im Winter werden die Häufigkeit und Dauer der für die Hochwasserbildung bedeutsamen Westwetterlagen, insbesondere die so genannte „Westlage zyklonal (WZ)“, zunehmen. Im Sommer sind keine größeren Änderungen zu erwarten.

Die Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien werden als Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsmodelle genutzt, um den Einfluss der Klimaveränderung auf die Abflüsse mit Hilfe von statistischen Berechnungen (Extremwertstatistik) abzuschätzen. Die bisherigen Auswertungen im Rahmen von KLIWA zeigten, dass die **Hochwasserabflüsse** zunehmen werden. Bei der Bemessung neuer wasserwirtschaftlicher Anlagen ist es daher aus heutiger Sicht im Sinne des Vorsorgegedankens notwendig, den Auswirkungen des Klimawandels durch einen „Lastfall Klimaveränderung“ Rechnung zu tragen, in dem ein „Klimaänderungsfaktor“ berücksichtigt wird. Dies geschieht durch einen Zuschlag auf den Hochwasserabfluss einer bestimmten Auftretenswahrscheinlichkeit in Höhe des Klimaänderungsfaktors, um den Bemessungsabfluss entsprechend anzupassen. Als pauschaler Zuschlag wurde in Bayern für das HQ100 zunächst ein Klimaänderungsfaktor von 15% festgelegt (also $1,15 \cdot \text{HQ100}$); dabei ist HQ100 der Hochwasserabfluss, der statistisch betrachtet, im Durchschnitt alle 100 Jahre einmal auftritt und derzeit in der Regel den Bemessungswert für die Auslegung von Hochwasserschutzanlagen darstellt.

Zusammenfassende Bewertung

Insgesamt ist bei kritischer Würdigung der bisherigen Ergebnisse für das Zieljahr 2050 festzuhalten:

- Die Erwärmung geht weiter. Die mittlere Lufttemperatur wird insbesondere im Winter weiter zunehmen.
- Die Niederschläge werden im Winterhalbjahr deutlich zunehmen, während im Sommerhalbjahr geringere Veränderungen zu erwarten sind.
- Auch bei der Dauer und Häufigkeit von Westwetterlagen ist im Winter mit einer Zunahme zu rechnen.
- Von diesen Veränderungen ist auch der Wasserkreislauf, insbesondere der Abfluss in den Gewässern, betroffen.

In Bayern werden die Wasserhaushaltsmodellierungen für weitere Flussgebiete fortgeführt. Für diese Gebiete sollen darauf aufbauend mit pragmatischen Ansätzen ebenfalls Auswertungen zu den Klimafaktoren erfolgen und der pauschale Klimaänderungsfaktor eventuell regional angepasst werden. Die bisherigen Klimaszenarien werden entsprechend den Fortschritten in der Klimaforschung derzeit auch angepasst.

Die Unsicherheiten in Form von Unterschieden bei den Ergebnissen aus der Modellkette Globale Klimamodelle – Regionale Klimamodelle – Wasserhaushaltsmodelle und der anschließenden Extremwertstatistik sind zwar noch groß. Dennoch lassen die bisherigen Ergebnisse der

Simulationsrechnungen insbesondere eine Zunahme der mittleren Hochwasser, aber auch der extremen Abflüsse erwarten. Eine Hochwasserverschärfung durch die Klimaveränderung erscheint für das Zieljahr 2050 somit wahrscheinlich, so dass entsprechende Anpassungen aus Vorsorgegesichtspunkten bereits jetzt geboten sind.

Hitze- und kälteabhängige Erhöhung der Sterblichkeit bei Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen

Viele nationale und internationale Studien⁵⁻⁸ zeigen, dass Hitzewellen im Sommer und Kältewellen im Winter die Sterblichkeit über die saisonal üblichen erwarteten Werte hinaus erhöhen. Als physiologische Ursache hierfür werden die Störung der körpereigenen Temperaturregulation und die damit einhergehenden Korrekturen wie gesteigerte Transpiration (Flüssigkeits- und Elektrolytverlust) oder Belastung des Herz-Kreislaufsystems diskutiert. In der wissenschaftlichen Literatur liegt insbesondere von der Hitzewelle August 2003 in Frankreich robustes Zahlenmaterial zur veränderten Mortalität vor⁹. Demnach betrug die erhöhte Sterblichkeit zwischen dem 1. und 20. August im Vergleich zur täglichen Durchschnittsterblichkeit 14.802 Fälle. Menschen in Gebieten mit hoher Luftverschmutzung und insbesondere ältere Menschen waren am schwersten betroffen. Einem Fachgutachten¹⁰ für das Land Baden-Württemberg zufolge waren im Jahr 2003 auf Landesebene 2.000 Todesfälle der Hitzebelastung zuzuordnen, wobei 2/3 auf den Monat August fielen. Die Sterblichkeit wurde mit der „gefühlten Temperatur“, einem Klimaindex, verglichen. Die Hitzewelle forderte vor allem bei den über 75-jährigen viele Todesopfer. Der Bericht betont jedoch auch, dass die Daten auf kleinen Grundgesamtheiten beruhen und daher aufgrund statistischer Unsicherheiten lediglich Tendenzen sichtbar machen.

Eine weitere Studie für den Raum Frankfurt berechnete eine Erhöhung der mittleren Mortalität aus den Totenscheinen im Jahr 2003 von 14 Menschen pro Tag im Juni-Juli auf 20 im August¹¹, wobei hier die Evidenz aus methodischen Gründen angreifbar ist.

Am LGL wurden für Bayern für die Jahre von 2000 bis 2003 die nach ICD-10 kodierten alters- und geschlechtsstratifizierten Todesfälle pro 100.000 Einwohner durch Erkrankungen der Atemwege pro Monat und des Herzkreislaufsystems pro Tag aufgearbeitet und unter Hinzunahme der Klimadaten modelliert. Für Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems lagen tagesgenaue Daten von Januar 2001 bis Dezember 2003 vor, die mittels Poisson Regression modelliert wurden (siehe Anhang). Die Erkrankungen der Atemwege konnten aus Datenschutzgründen nur monatsweise deskriptiv analysiert werden.

Abbildung 3 vergleicht stellvertretend für Bayern die geschlechtsspezifischen Gesundheitsdaten der Stadt München mit den lokalen Klimadaten für diesen Zeitraum. Die Zahlen für München sind mit den bayernweiten Daten vergleichbar. Die Mittelwerte der Sterblichkeit mit 95% Konfidenzintervall sind in Abbildung 4 (Herz-Kreislauf-Erkrankungen) und Abbildung 5 (Atemwegserkrankungen) dargestellt. Atemwegserkrankungen wurden in drei Temperaturgruppen eingeteilt: „kalte“ Monate (unteres Temperaturquartil, bis 9°C), „normale“

Monate (mittlere beide Temperaturquartile 9°C-22°C) und „heiße“ Monate (oberes Temperaturquartil, ab 22°C). Durch die wesentlich feineren Tagesdaten der Herz-Kreislaufsterblichkeit konnte deren Temperaturgradient in Grad-Celsius Schritten dargestellt werden. Es zeigt sich für beide Erkrankungen ein deutlicher Temperaturgradient von kalten Monaten mit hoher Sterblichkeit zu warmen/heißen Monaten mit *niedriger* Sterblichkeit. In den kalten Monaten starben im Mittel 27 Frauen und 36 Männer an Atemwegserkrankungen und 216 Frauen und 212 Männer an Herz-Kreislaferkrankungen. In warmen/heißen Monaten hingegen starben im Mittel 20 Frauen und 29 Männer an Atemwegserkrankungen und 180 Frauen und 172 Männer an Herz-Kreislaferkrankungen. Abbildung 4 zeigt bei Männern eine kontinuierliche Abnahme der Herz-Kreislaufsterblichkeit von etwa 8 Toten pro Tag bei -5°C bis auf etwa 6 Tote pro Tag bei 30°C. Bei Frauen ist diese Abnahme ebenfalls in der Grundtendenz sichtbar, allerdings weniger stark ausgeprägt. Bei Herz-Kreislaferkrankungen gibt es keine auffälligen Unterschiede zwischen den Geschlechtern, hingegen ist bei den Atemwegserkrankungen ein deutlicher Geschlechtergradient sichtbar: Männer haben fast immer statistisch signifikant höhere Mortalitätsraten als Frauen. Ursächlich hierfür ist höchstwahrscheinlich das geschlechtsspezifische Rauchverhalten der 65+ Generation.

Der wechselseitige Einfluss der Klimaparameter auf die Tagesmortalität von Herz-Kreislaferkrankungen wurde für Männer und Frauen getrennt in einer Poissonregression analysiert. Die statistischen Details befinden sich im Anhang (Tabelle 4, Tabelle 5, Tabelle 6). Es zeigte sich, dass bei Männern über 65 steigende Temperaturen mit einer Verzögerung von 4 Tagen die Tagessterblichkeit bei Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems reduzieren. Die Reduktion bezogen auf die Januarsterblichkeit fällt am stärksten in der Kategorie „15°C bis 20°C“ aus und ist sogar tendenziell noch in der Gruppe „30°C bis 37°C“ sichtbar. Bei Frauen über 65 haben die Klimavariablen Temperatur und Druck zumindest in der statistischen Auswertung keinen Einfluss. Hier wirken noch unbekannte saisonale Effekte.

Unabhängig von Extremereignissen ist die Sterblichkeit in Kälteperioden erhöht, was sich sowohl in der Literatur wieder findet ¹², als auch in unseren Analysen (Abbildung 3, Abbildung 4). Wir können für Bayern außerdem eine leichte Abnahme des Mortalitätstrends von 2000 bis 2003 beobachten. Unerwartet war jedoch das Ausmaß der niedrigeren Sterberaten in warmen/heißen Monaten. Eventuell wirken Kälteperioden über eine längere Exposition im Wochen- und Monatsbereich auf die Gesundheit und werden wahrscheinlich zusätzlich von nur indirekt klimaabhängigen Faktoren wie Krankheitserregerdruck überlagert. Hitzewellen könnten demgegenüber durch ihre rasche Temperaturänderung auf die Gesundheit negativ einwirken.

Klimaveränderung und Gesundheit in Bayern

Herz-Kreislaufmortalität pro 100.000, Männer und Frauen in München, Monatsmittelwerte von Temperaturmaximum und -minimum

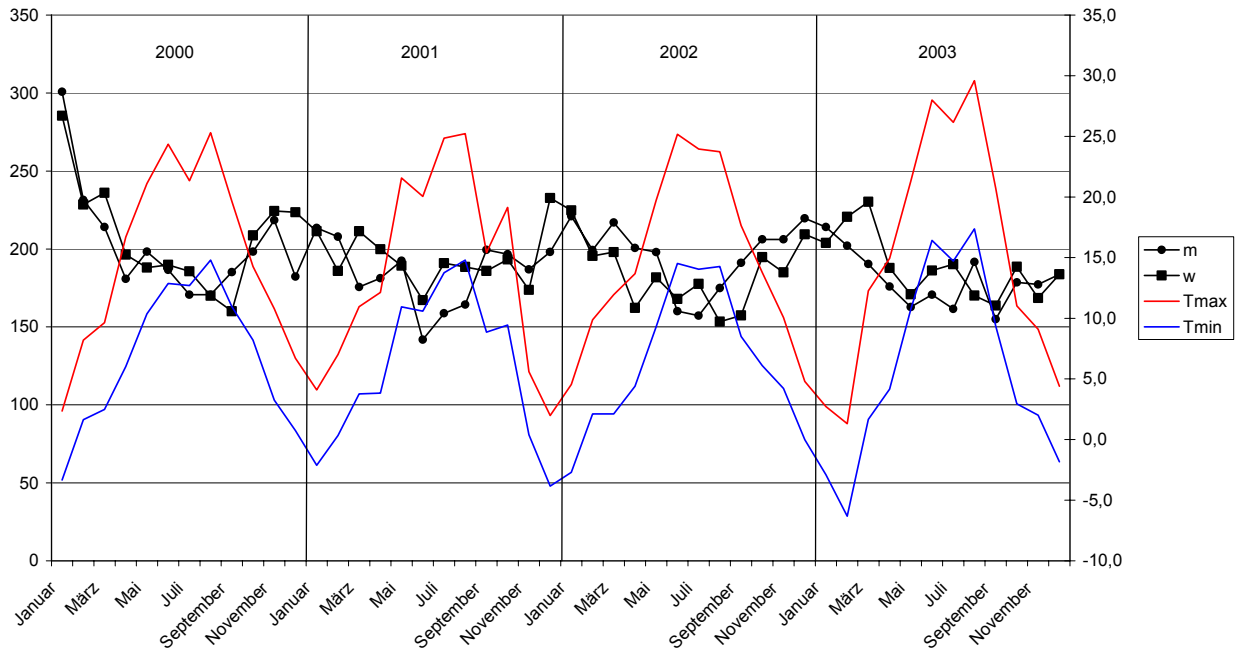


Abbildung 3: Mittlere Herz-Kreislauf-Mortalität pro Monat in München pro 100.000 der 65 jährigen und älteren Männer und Frauen (linke Skala) für die Jahre 2000-2003 im Vergleich zur mittleren Höchst- und Tiefsttemperatur pro Monat (rechte Skala).

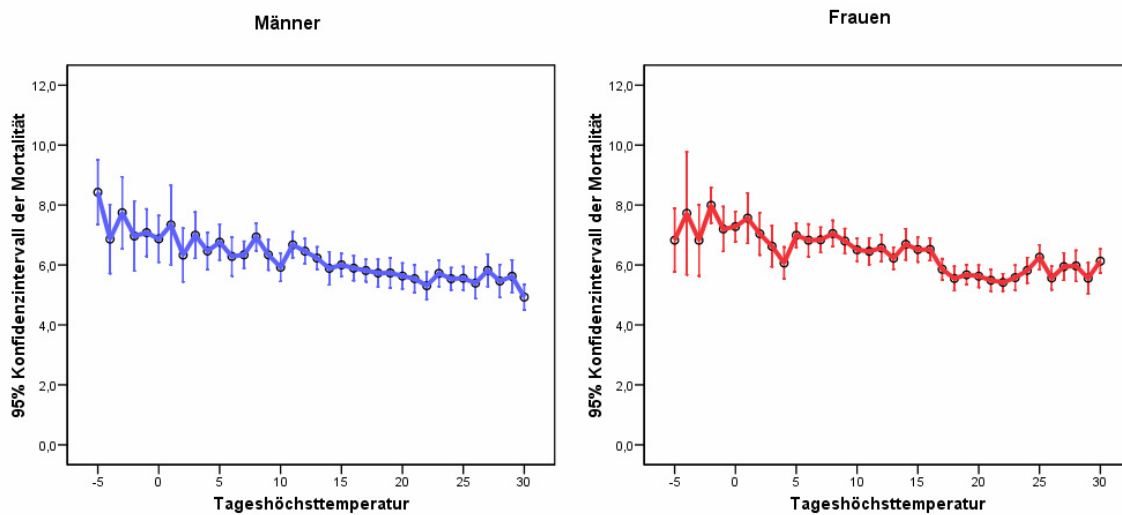


Abbildung 4: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle der Todesfälle pro 100.000 an Herz-Kreislaufkrankungen in München, 65 Jahre und älter

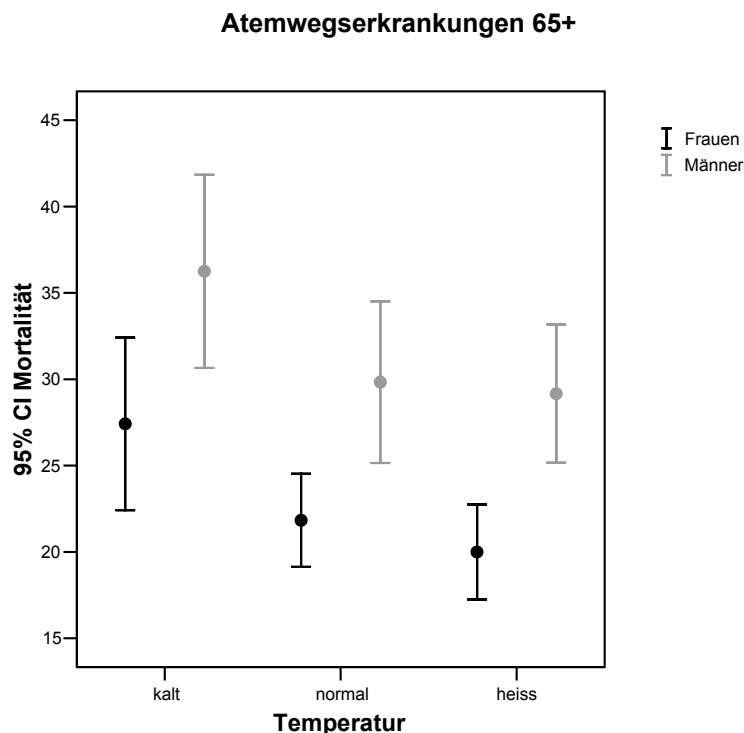


Abbildung 5: Mittelwerte und 95% Konfidenzintervalle der Todesfälle pro 100.000 an Atemwegserkrankungen in München, 65 Jahre und älter

Europaweite Studien finden ebenfalls eine Erhöhung der temperaturbedingten Todesfälle, wobei allerdings die Zahl der kälteassoziierten Todesfälle die der hitzeassoziierten um den Faktor 4-8 übersteigt¹². Zusammen mit der temperaturbedingten Übersterblichkeit wird ein „harvesting“ Effekt (harvest: engl. Ernte) diskutiert, speziell für die Risikogruppe der alten und pflegebedürftigen Menschen¹³. Demnach sterben durch Kälte- und Hitzewellen zwar akut mehr Menschen, ihr Tod wird aber durch das auslösende Ereignis (Hitze, Kälte) lediglich um wenige Monate vorgezogen und die Sterblichkeit der Folgemonate liegt dann wieder unter dem Durchschnitt. Dieser Effekt ist auch an den bayerischen Daten beobachtbar.

Es kann vermutet werden, dass im Rahmen eines Klimawandels mit Temperaturanstieg die Reduktion der kälteassoziierten Todesfälle durch die milderen Winter die Erhöhung der Todesfälle im Sommer ausgleicht und so zu einer Verringerung der Gesamtsterblichkeit durch temperaturbedingte Umweltfaktoren führt¹⁴. Umgekehrt könnte die Hypothese aufgestellt werden, dass kurzfristige witterungsbedingte Temperaturschwankungen zunehmen und dadurch zu einem vermehrten Adaptationsstress des Organismus führen. Diese Effekte wären jedoch allenfalls über einen langen Zeitraum nachweisbar und müssten sorgfältig von anderen Einflüssen auf die Mortalitätsentwicklung unterschieden werden.

Modelle zur gesundheitlichen Auswirkung von Klimaveränderungen sind ähnlich wie Modelle zur Klimaveränderung selbst durch ein hohes Maß an Komplexität gekennzeichnet. Zum derzeitigen Stand sind sie der Grundlagenforschung zuzuordnen. Wetterindizes wie die „gefühlte

Temperatur“ integrieren verschiedene klimatische Parameter (Temperatur, Strahlungsbedingungen, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit) auf einmal, um die Auswirkungen des Klimas auf den Menschen besser zu beschreiben. Referenz ist ein „Modell-Mensch, der sich mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h in der Ebene bewegt und sich vernünftig über Variationen seiner Bekleidung zwischen Sommerkleidung und mitteleuropäischer Winterkleidung anpasst, um thermische Behaglichkeit zu erreichen. Weitere Referenzbedingungen sind: Windstille, relative Luftfeuchte = 50%; mittlere Strahlungstemperatur gleich Lufttemperatur (näherungsweise Schatten)“¹⁵. Ein weiterer Wetterindex ist der „Humidex“-Wert¹⁶ oder auch die mit ihm verwandte „apparent temperature“¹⁷ und speziell in der angelsächsischen Welt weite Verbreitung findet. Diese Größe ist unserer Einschätzung nach für das bayerische Klima nicht relevant, da zu selten die Spitzenwerte über 27°C und über 40% Luftfeuchte erreicht werden, ab denen die Verwendung empfohlen wird (siehe auch Anhang). Bayern liegt hier bioklimatisch möglicherweise günstiger als das benachbarte Baden-Württemberg, welches gerade im Hitzesommer 2003 stark betroffen war¹⁰. Für die Zukunft wäre eine Adaption der Klimaindizes auf die besonderen Verhältnisse der Risikopopulation der älteren und pflegebedürftigen Menschen unter Berücksichtigung neuerer biometeorologischer Erkenntnisse dennoch zu diskutieren. Gegebenenfalls könnte für derartige Forschungsvorhaben die Kooperation mit universitären Einrichtungen bzw. Großforschungseinrichtungen wie der GSF gesucht werden.

Perspektive 1:

Forschungsförderung an universitären und außeruniversitären Einrichtungen zur Entwicklung von Modellen zu gesundheitlichen Auswirkungen von Klimaveränderungen. Ausbau der Analyse und Modellierung der temperaturbedingten Übersterblichkeit anhand eines kleinräumigen Modells, um bessere Vorhersagemodelle zu generieren. Projektpartnerschaft mit ausgewiesenen Experten der medizinischen Meteorologie.

Perspektive 2:

Ursachenforschung der erhöhten Sterblichkeit im Winter und in Hitzewellen, um darauf aufbauend Präventionsmaßnahmen der Risikogruppen ableiten zu können.

Einfluss der Klimaerwärmung auf reiseassoziierte und endemische Infektionskrankheiten

Infektionskrankheiten sind die zweithäufigste Todesursache weltweit¹⁸. Vektorgebundene Infektionskrankheiten reagieren am stärksten auf Umweltänderungen. Es wird erwartet, dass sich deren geographische Verbreitung ausdehnt. Besonders relevant sind hier Erreger mit epidemischem Potential oder mit besonders schweren Verläufen. Dazu gehören vor allem Malaria (Stechmücke), Dengue (Stechmücke) und zu einem geringeren Teil Hanta (Nagetiere) und Frühsommermeningoenzephalitis (FSME) und Lyme-Borreliose (Zecken). Mit Ausnahme der Lyme-Borreliose werden die genannten Krankheiten nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG) ab 2001 von den Gesundheitsämtern als klinischer Fall und/oder Labornachweis gemäß Referenzdefinition¹⁹ an die Landesgesundheitsämter und von dort weiter an das Robert Koch Institut (RKI) gemeldet. Meldedaten sind frei zugänglich über ein Online-Portal des RKI²⁰ oder die Landesgesundheitsämter.

Malaria

Die Malaria ist eine vektorgebundene Infektionskrankheit. Erreger sind *Plasmodien*, die über die Blutmahlzeit der *Anopheles* Stechmücke in die Gefäße des Wirtes gelangen, sich dort in den roten Blutkörperchen vom Hämoglobin ernähren und durch Zerstörung der befallenen Blutkörperchen zur Anämie führen. Je nach Erreger verläuft die Erkrankung unterschiedlich schwer. Die schwerste Form ist die Malaria tropica, welche von *P. falciparum* ausgelöst wird. Laut WHO²¹ erkranken weltweit jährlich 350-500 Millionen Menschen an Malaria, etwa 3000 Kinder sterben täglich an Folgen der Malaria. Durch die Erwärmung werden Mortalitätszunahmen von mehreren Hundert Millionen prognostiziert²². Malariafälle werden nicht an das LGL gemeldet, sondern nicht-namentlich von den Laboren direkt an das RKI. In Abbildung 6 wird die seit 2001 anhaltende stetige Abnahme der importierten Malariafälle in Bayern von 1,5 pro 100.000 (2001) auf 0,9 pro 100.000 (2005) deutlich.

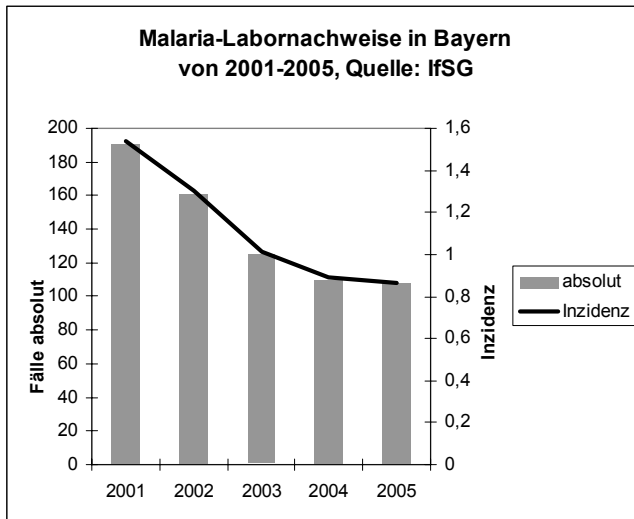


Abbildung 6: Gemeldete Malaria Fälle nach IfSG in Bayern von 2001 bis 2005, Quelle: Survstat RKI

Dengue

Denguefieber wird durch Dengueviren ausgelöst, welche durch die *Aedes* Stechmücke übertragen werden. Im Gegensatz zu Malaria gibt es bei Dengue keine spezifische Therapie. Dengueviren kommen in vier Serotypen vor und insbesondere eine Zweitinfektion mit einem anderen Serotyp kann zu schwerwiegenden Verläufen bis hin zu hämorrhagischem Fieber führen. Die Viren haben ein Temperaturoptimum von über 30 Grad für ihre Vermehrung im Vektor, ihr Lebenszyklus wird unter 20 Grad unterbrochen. Die in Bayern an das LGL gemeldeten Denguefälle sind importiert und blieben 2002-2004 auf konstantem Niveau von etwa 0,2 Fällen pro 100.000. Allerdings kam es in 2005 zu einer deutlichen Zunahme um 50% (Abbildung 7), was die Notwendigkeit einer sorgfältigen Surveillance, gerade auch von Fernreisenden unterstreicht.

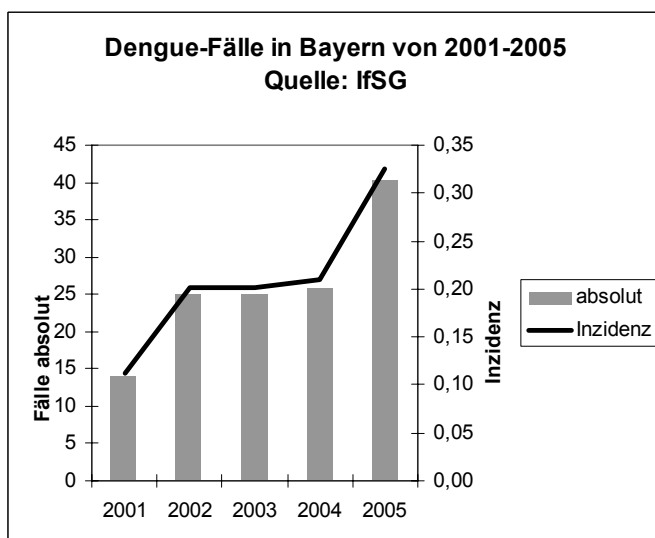


Abbildung 7: Gemeldete Dengue Fälle nach IfSG in Bayern von 2001 bis 2005, Quelle: SurvNet LGL Bayern/RKI

Gefährdungsabschätzung

Die in den öffentlichen Medien diskutierte Malaria- und Dengue-Verbreitung durch Klimaerwärmung trifft auf unsere mitteleuropäische Situation nicht zu, höchstens durch indirekte Mechanismen. Die Habitatverbreiterung der Mückenvektoren durch klimatische Veränderungen in Temperatur (Verschiebung der Isothermen), Luftfeuchtigkeit, Niederschläge oder Einfluss durch El-Niño betrifft nach bisherigem Wissen nicht unsere mitteleuropäischen gemäßigten Breiten²², sondern höchsten südeuropäische Länder. Zwar war in den warmgemäßigten Zonen Europas bis in das 19. Jahrhundert die Malaria von Bedeutung (*M. tertiana*, *M. quartana*), die räumliche Trennung von Mensch und Tier (keine gemischten Blutmahlzeiten der zoophilen Vektoren mehr), die Trockenlegung der Sümpfe und der Einsatz von DDT führten aber sukzessive zur Ausrottung der relevanten Vektoren²³.

Laborexperimente zeigen außerdem¹⁸, dass die übrigen europäischen Anopheles Mückenarten den Erreger der gefährlichen Malaria tropica, *P. falciparum*, nicht übertragen können, wobei allerdings eine evolutionäre Adaption für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden kann. Elementare Voraussetzung für eine endemische Etablierung der Malaria tropica wäre eine ganzjährige Aktivität der entsprechenden adaptierten oder immigrierten Anophelesspecies. Dies gilt nicht für die Malaria tertiana, da hier der Erreger im unbehandelten Menschen in Form von Hypnozoiten in der Leber überwintern kann. Offen ist, in wie weit Klimaveränderungen zu langfristigen Landschaftsveränderungen in Bayern führen, welche günstige Brutbedingungen für die relevanten Vektoren bieten könnten. Für eine erfolgreiche Etablierung einer vektorübertragenen Erkrankung ist aber neben der ökologischen Nische für den Vektor auch ein steter Import von Erregern notwendig. Deutschland und damit auch Bayern grenzt an kein Endemiegebiet an und eine konstante Zunahme großer Mengen an Malariaerregern oder ihrer Vektoren ist nicht zu beobachten, so dass auch bei langfristig potentiell geeigneten Temperaturen eine endemische Etablierung der Malaria unwahrscheinlich ist.

Bei Denguefieber verhält sich die Situation ähnlich. Deutschland grenzt an kein Endemiegebiet an und unsere Winter wären trotz mittelfristiger Temperaturerhöhung immer noch zu kalt für die Etablierung der *Aedes*mücke. Allerdings könnten die Dengueviren evtl. auf andere Vektoren ausweichen und/oder sich in südeuropäischen Urlaubsregionen etablieren¹⁸. Gegenwärtig wird das Forschungsnetzwerk „EDEN“ im Rahmen des sechsten EU-Rahmenprogrammes etabliert²⁴, um die Gefahr der Ausbreitung von alten und neuen Krankheitsvektoren, Parasiten und anderer Pathogene durch die Klimaänderung innerhalb Europas zu untersuchen. Das „Institut für vergleichende Tropenmedizin und Parasitologie“ der veterinärmedizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität ist „Eden“-Gründungsmitglied.

Perspektive 3:

Bestimmung und Surveillance endemischer Vektoren, die als potentielle Überträger von Malaria, Dengue und anderen Erregern mit epidemischem Potential in Frage kommen.

Perspektive 4:

Ausbau der Kontakte zu den europaweiten tropenmedizinischen Netzwerken.
Surveillanceprogramme unter Einbeziehung von Fernreisenden, um eine regionale Etablierung der Erreger mit gezielten Eradikationsmaßnahmen zu verhindern. Unterstützung internationaler Vektorkontrollprogramme.

Endemische vektorassoziierte Krankheitserreger

Für alle heimischen vektorassoziierten Infektionen gilt, dass durch mildere Winter mehr Vektoren überleben und so das neue Jahr mit einer höheren Populationsstärke beginnen können¹⁵. Die durch Zecken übertragene Frühsommermeningoenzephalitis (FSME) und die durch Nagetiere übertragenen Hantaviren gehören zu den heimischen (endemischen) vektorassoziierten Infektionskrankheiten mit potentiell schwerwiegendem Verlauf. Beide Vektoren sind direkt und indirekt vom Klima beeinflusst, allerdings auch in zunehmendem Maße durch das menschliche Freizeitverhalten. Hanta und FSME sind seit Inkrafttreten des Infektionsschutzgesetzes 2001 meldepflichtig, die jährlichen Fälle von 2001 bis 2004 sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 aufgetragen und werden im Folgenden kurz diskutiert. Die ebenfalls durch Zecken übertragene, häufigere Lyme-Borreliose, die zu schwerwiegenden Krankheitsverläufen führen kann, ist in den alten Bundesländern und somit auch in Bayern nicht meldepflichtig. Aufgrund der noch unzureichenden Nachweisverfahren für akute Erkrankungen können derzeit keine verlässlichen Daten erhoben werden. Allerdings dürften bei der Übertragung ähnliche Faktoren eine Rolle spielen wie bei der FSME.

Hanta

Infektionen mit Hantaviren führen zu Fieber, Nierenfunktionsstörungen und grippeähnlichen Symptomen. In seltenen Fällen kann es zu hämorrhagischem Fieber kommen, wobei dieser aggressive Verlauf bisher auf die außereuropäischen Serovare beschränkt war.

Im Jahr 2004 kam es zu einem Anstieg von Hantavirusinfektionen in Bayern auf eine Inzidenz von 0,5 pro 100.000 (Abbildung 8), wobei das östliche Niederbayern besonders betroffen war²⁵.

Die Klimaänderung ist nicht alleiniger Einflussfaktor auf die potentielle Zunahme von Hantaviren, es spielt vielmehr eine Vielzahl komplexer ökologischer Zyklen eine wichtige Rolle. In einem Arbeitstreffen von Epidemiologen, Ärzten, Veterinärmedizinern, Virologen und Zoologen im Winter 2004 an der Sanitätsakademie der Bundeswehr wurden mehrere mögliche Ursachen diskutiert. Der in Bayern übliche Serotyp „Pumaala“ hat vor allem in der Rötelmaus ein natürliches Reservoir, welche sich ihrerseits fast ausschließlich von Bucheckern ernährt. In Jahren guter Buchenmast ist daher mit einer starken Zunahme der Rötelmauspopulation zu rechnen. In den Folgejahren kann es dann durch Nahrungsmangel innerhalb bestehender Populationen zu verstärkten Migrationen kommen, in deren Folge der Kontakt zu Mäusen oder Mauskot zunimmt, und damit auch das Risiko der Hantaübertragung auf den Menschen. Überlagert wird dies außerdem durch die mehrjährigen Populationszyklen der Nagetiere, die sich zudem noch von Region zu Region unterscheiden²⁶.

Das Klima spielt hier nur indirekt eine Rolle über seine Wirkung auf die Veränderung der Vegetationsperioden und damit das Nahrungsangebot der Vektoren. Durch eine schnellere Folge von Haupt- und Nebenmasten der vektorspezifischen Nahrungspflanzen kann es langfristig zu einer Zunahme von Krankheitsfällen kommen. Dieser Effekt bleibt mit aller Wahrscheinlichkeit aber regional beschränkt und kann durch eine ausreichende medizinische gesundheitliche Versorgung aufgefangen werden.

Perspektive 5:

Aggregieren regionaler und historischer forstwirtschaftlicher Daten der Mast potentieller Nahrungsbäume der Nagetiervektoren und deren Verknüpfung mit Nagetierpopulationsdaten zur Modellbildung und Vorhersage. Etablieren einer Hantavirussurveillance der Vektoren durch intensivierete Zusammenarbeit der bayerischen Forstbehörden mit einem auf Hanta spezialisierten Fachlabor in Bayern.

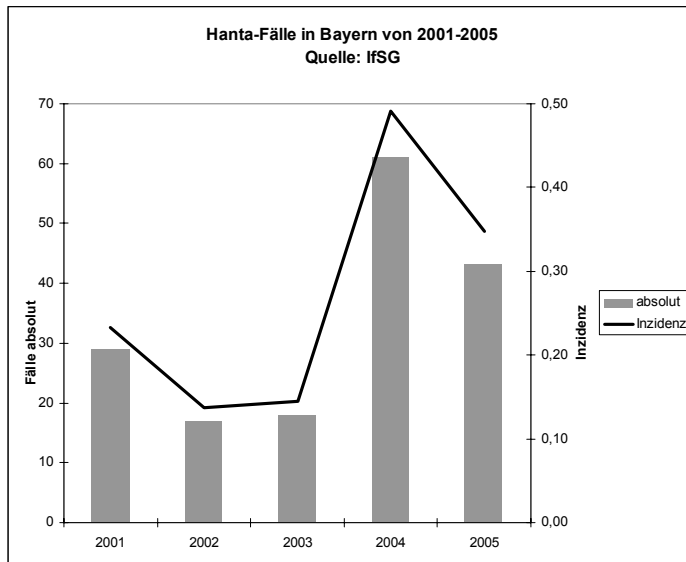


Abbildung 8: Hantafälle und Inzidenzen nach IfSG in Bayern, 2001-2005, Quelle SurvNet LGL/RKI

Frühsommermeningoenzephalitis

Die FSME wird durch Zecken der Gattung *Ixodes* übertragen, die sich bevorzugt in Wäldern in nicht zu trockenen Lagen in hohem Gras und Gebüsch aufhält. Nach der impfpräventablen Infektion kommt es zunächst zu grippeähnlichen Symptomen mit Kopfschmerzen, Erbrechen, Schwindelgefühl. Bei etwa 10% der Infizierten kann sich eine Meningoenzephalitis und eine Myelitis entwickeln²⁷. In Bayern betrug die FSME-Inzidenz zwischen 0,7 und 1,7 Fälle pro 100.000 (Abbildung 9) wobei es allerdings regionale Unterschiede gibt (Tabelle 1). Gegenüber dem Beobachtungszeitraum 2001-2004 kam es im Jahr 2005 zu unterschiedlichen Zunahmen, wobei Niederbayern mit 215%, Oberbayern mit 156% und Mittelfranken mit 147% besonders betroffen waren.

Das LGL führte in Zusammenarbeit mit dem Land Baden-Württemberg im Jahr 2004 und 2005 die Seroprävalenzstudie „Fieber nach Zeckenstich“ zur FSME-Belastung in der Bevölkerung durch. Hier wurden niedergelassene Ärzte gebeten, Patienten mit Fieber und kürzlich zurückliegendem Zeckenbiss eine Blutprobe zu nehmen und diese zur kostenlosen serologischen Untersuchung an das LGL zu schicken. Ergebnisse liegen noch nicht vor. Die Stichprobe stellt eine stark selektierte Untergruppe der Bevölkerung dar und ist nicht auf FSME-Prävalenzen der Allgemeinheit extrapolierbar. Diese könnte man in Zukunft durch zusätzliche Serologiestudien an Spenderblut in den betroffenen Landkreisen ergänzen. Die Abteilung „Umweltmedizin“ des LGLs unter der Leitung von Herrn PD Dr. Fromme hat durch vergangene Kooperationen gute Kontakte zum Roten Kreuz.

Die Wechselwirkung des Vektors Zecke mit dem Klima ist komplex. Zum einen überleben mehr Zecken einen wärmeren Winter, zum anderen reagieren die Larven sehr empfindlich auf Trockenheit²⁸, so dass ein heißer, trockener Sommer die Übertragungsraten senken sollte. Die Abhängigkeit der FSME vom Klima wird jedoch besonders stark vom menschlichen

Freizeitverhalten und den Präventionsmaßnahmen (Impfung, lange Hosen, Repellents, Zeckenkontrolle) überlagert. Sie wird mit dem gegenwärtigen Datenmaterial nur schwierig zu modellieren sein, da es zur Zeit nur den vom Arzt nach IfSG gemeldeten Erkrankungszustand der Bevölkerung ungeachtet des Impfstatus abbildet. Wünschenswert wäre eine Risikokartierung anhand der Erregerlast der Zecken oder regelmäßige, repräsentative Seroprävalenzstudien in den Risikogebieten.

Tabelle 1: Regionale jährliche mittlere FSME-Inzidenz für den Beobachtungszeitraum 2001-2005, Zunahme in 2005 in Prozent bezogen auf den Mittelwert 2001-2004 darunter, Quelle SurvNet LGL/RKI

Mittelfranken	Niederbayern	Oberbayern	Oberfranken	Oberpfalz	Schwaben	Unterfranken
1,16 +147%	1,99 +215%	0,58 +156%	1,12 +60%	1,81 +50%	0,14 +100%	1,04 +14%

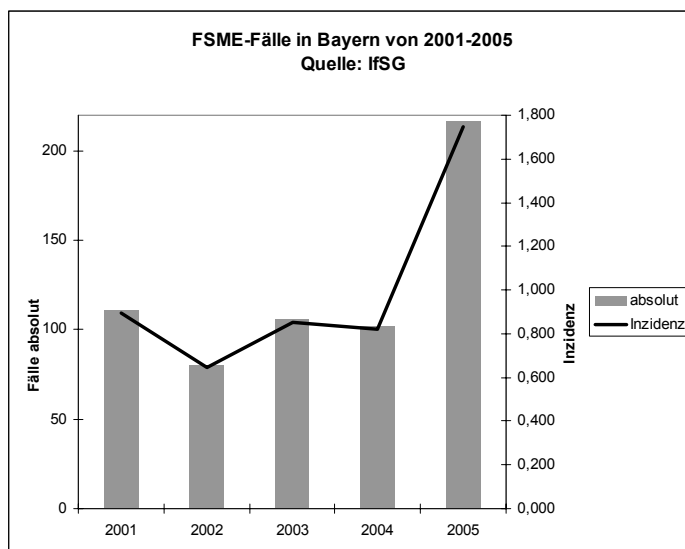


Abbildung 9: FSME-Fälle und Inzidenzen nach IfSG in Bayern, 2001-2005, Quelle SurvNet RKI

Perspektive 6:

Ausbau der Zeckensurveillance in Naherholungsgebieten und verstärkte Aufklärung der Bevölkerung zu Präventionsmaßnahmen. Das Fortführen und die Ausweitung von Serosurveillance-Studien werden empfohlen.

Lyme-Borreliose

Die Lyme-Borreliose ist in Bayern nicht meldepflichtig und es liegen daher auch keine qualitativ hochwertigen, regelmäßigen Daten vor, die unter dem Gesichtspunkt der Klimaerwärmung ausgewertet werden können. In diesem Zusammenhang sei das UMS vom 5.2.2004 Nr. 3.3/8390-133/100/04 „Maßnahmen zur Borreliosebekämpfung“²⁹ verwiesen. Demnach ist es durch Probleme in der Labordiagnostik und aufwendiger, klinischer Differentialdiagnostik schwierig, belastbare und valide Zahlen über die Erkrankungshäufigkeit zu bekommen. Durch das Fehlen eines Impfstoffes hätte eine Borreliose-Meldepflicht, im Gegensatz zur existierenden FSME Meldepflicht, keine unmittelbaren prophylaktischen Konsequenzen.

Durch repräsentative Feststellung der Durchseuchungsrate der Zecken mit Borrelien kann das Risiko für die Bevölkerung kartiert werden. Das StMUGV förderte 2003 und 2004 ein Forschungsprojekt „Epidemiologische Aspekte zeckenübertragener Erkrankungen in Bayern: Lyme-Borreliose“ des Nationalen Referenzzentrums für Borrelien im Max-von-Pettenkofer-Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München³⁰.

Perspektive 7:

Entwicklung valider Laborschnelltests für akute Lyme-Borreliose. Ausbau der Zeckensurveillance in Naherholungsgebieten und verstärkte Aufklärung der Bevölkerung zu Präventionsmaßnahmen. Förderung der praxisorientierten, angewandten Forschung im Bereich zeckenübertragbarer Krankheiten

Expertenmangel

Einige Literaturquellen beklagen einen Mangel an Experten der zoologischen Systematik¹⁸. Problematisch ist, dass durch die Priorisierung der Molekularbiologie zu Lasten anderer biologischer Disziplinen wie zoologische Systematik in den letzten 15-20 Jahre ein schleichender Kompetenzverlust zu beobachten ist, der sich nur langsam wieder ausgleichen lässt. Um die Vektordichte zu bestimmen, muss erst der Vektor korrekt bestimmt werden können – ein Aufgabengebiet der zoologischen Systematik. Hier ist das verfügbare Datenmaterial zur Verbreitung potentieller Krankheitsvektoren fast immer älteren Datums. Die vom RKI herausgegebenen Karten der Risikogebiete beruhen auf humanen Infektionsdaten und nicht auf der tatsächlichen Erregerlast der Vektoren.

Perspektive 8:

Förderung der systematisch-zoologischen Kompetenz an bayerischen Hochschulen durch langfristige Forschungsprojekte (z.B. durch regelmäßige Kartierung der Vektorenverbreitung in Bayern).

Nichtklimatische Einflussfaktoren

Neben klimatischen Faktoren spielen auch sozioökonomische Faktoren eine Rolle. Gesellschaften mit einem funktionierenden öffentlichen Gesundheitswesen werden robuster auf einen verstärkten Infektionsdruck reagieren können als solche mit einem wenig entwickelten Gemeinwesen. So hat zwar die geographische Verbreitung der Malaria kontinuierlich abgenommen, allerdings nahm gleichzeitig die Prävalenz in den verbliebenen Endemiegebieten aufgrund demografischer und sozioökonomischer, nicht klimatischer Faktoren zu. Bei mindestens gleichbleibender oder steigender Qualität des Gesundheitswesens würde die Sterblichkeit durch vektorübertragene Erkrankungen in Bayern vermutlich nicht zunehmen. Eine Etablierung importierter temperaturadaptierter Erreger könnte durch rechtzeitige Eradikationsmaßnahmen mit großer Wahrscheinlichkeit verhindert werden.

Einfluss des Klimawandels auf biologisch aktive Partikel

Verschiedene Studien haben ergeben, dass der Klimawandel auf unterschiedliche Weise Einfluss auf Aeroallergene haben kann³¹⁻³³. Zum einen ist der pflanzliche Jahreszyklus neben der Tageslänge auch von der Temperatur abhängig, zum anderen ist die pflanzliche Biomasseproduktion (z.B. Pollen) direkt abhängig von der Photosyntheseleistung und den dazu zur Verfügung stehenden Rohstoffen CO₂ und Wasser. Vor der Industrialisierung betrug die atmosphärische CO₂-Konzentration seit mehreren tausend Jahren ca. 280 ppm (Konzentrationsangabe, Engl.: „parts per million“). Seit der Industrialisierung stieg dieser Wert auf über 370 ppm im Jahr 2002. Bis zum Jahr 2050 wird eine Verdopplung des CO₂- Gehalts prognostiziert³⁴. Eine erhöhte CO₂-Konzentration führt zu mehr Biomasse, dadurch kommt es natürlicherweise auch zu einer erhöhten Produktion von Pollen. Eine amerikanische Studie zeigt in Modellversuchen im Gewächshaus, dass sich bei einer Verdopplung des CO₂- Gehalts in der Luft die Produktion von Pollen beim Traubenkraut um 61% erhöht³². Auch eine erhöhte Temperatur stimuliert das Pflanzenwachstum und die Pollenproduktion³³. In Städten sind Temperatur und CO₂-Konzentration höher als auf dem Land. Deswegen ist die Pollenbelastung

der städtischen Bevölkerung größer als die der ländlichen Bevölkerung³⁵. Diese Ergebnisse lassen sich auch auf Bayern übertragen.

Durch die Temperaturerhöhung kommt es auch zu Änderungen in Beginn und Dauer der Pollenflugsaison. Verschiedene europäische Studien kommen zum Ergebnis, dass die Pollenflugsaison in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts aufgrund des Klimawandels früher begonnen hat und teilweise auch länger andauert³¹. Bei früh blühenden Pflanzen verschiebt sich die Blühzeit eher nach vorne, während sich bei später, im Sommer blühende Pflanzen die Dauer der Pollenproduktion eher ausdehnt.

Mit der globalen Temperaturerhöhung wird auch eine Verschiebung der Arten von Süden nach Norden erwartet. Inwieweit dies auch Auswirkungen auf Bayern hat, kann nicht abgeschätzt werden, bisher gibt es nur für Europa insgesamt Vermutungen.

Eine weitere These ist, dass sich die Allergenität der Pollen durch den Klimawandel erhöht. Dazu gibt es aber bisher zu wenige Untersuchungen, um sichere Aussagen treffen zu können³¹.

Perspektive 9:

Erforschung der Pollenflugphasen und –dauer und insbesondere der Allergenität verschiedener Pflanzenarten mit allergenem Potential.

UV-Belastung und Hautkrebs

Unter dem Begriff Hautkrebs werden verschiedene bösartige Neubildungen zusammengefasst, die aus unterschiedlichen Zelltypen der Haut entstehen. Am bekanntesten ist das maligne Melanom, das auch schon bei jüngeren Menschen häufig auftreten kann, Metastasen bilden und tödlich verlaufen kann. Zwei weitere, weitaus häufiger auftretende Formen des Hautkrebses sind das Basalzellkarzinom und das Plattenepithelkarzinom, die vor allem Menschen über 60 Jahren betreffen und nur selten tödlich verlaufen. Die Inzidenz von Hautkrebs hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen. Die Inzidenz des malignen Melanoms stieg nach Schätzungen des Robert-Koch-Instituts deutschlandweit zwischen 1990 und 2000 von 7,7 auf 10,9 pro 100000 bei den Männern, bei den Frauen von 9,2 auf 11,5 pro 100000³⁶. Die Hauptursache dafür liegt in der stärkeren Belastung durch UV-Strahlung vor allem ausgelöst durch verändertes Freizeitverhalten und verstärkte Nutzung von Solarien. Die Sterberaten blieben im Gegensatz zu den Neuerkrankungsraten weitgehend stabil, was auf eine verbesserte Früherkennung und frühe Therapie schließen lässt.

Die UV-Strahlungsmenge und –intensität ändert sich auch durch den Klimawandel. UV-B-Strahlung ist abhängig von der Dicke der Ozonschicht, UV-A-Strahlung, die ebenfalls im Verdacht steht bei der Bildung von Hautkrebs beteiligt zu sein, wird nicht durch die Ozonschicht gefiltert. Das heißt, dass sich durch den Abbau der Ozonschicht die Belastung der Bevölkerung durch UV-B-Strahlung erhöhen wird³⁷. Die Dicke der Ozonschicht wird auch durch den Klimawandel beeinflusst. Je kälter die Stratosphäre desto schneller und stärker wird Ozon abgebaut. Der Treibhauseffekt erwärmt die Troposphäre und kühlt parallel die Stratosphäre ab. Auch Kohlendioxid kühlt die Stratosphäre ab. Durch Zirkulation in der Atmosphäre könnte der Ozonabbau über der Arktis auch Mitteleuropa betreffen. Zudem kann der Treibhauseffekt durch Umstellung von Zirkulationssystemen in der Atmosphäre im Sommer zu einer Zunahme von wolkenarmen Ostwetterlagen in Bayern führen. Sowohl bezüglich UV-A und UV-B-Strahlung ist daher mit einer Zunahme der Strahlungsbelastung für die Bevölkerung zu rechnen. Eine Erholung der Ozonschicht in Zukunft wird durch den Rückgang der Bewölkung überkompensiert und führt zu einer Zunahme der UV-Strahlung³⁸.

In Bayern ist eine besondere Gefährdungslage möglich, da es Besiedelung in höheren Lagen bis in den alpinen Bereich gibt und sich durch landschaftliche Besonderheiten wie Seen und Gebirge mit hohem Freizeitwert die Strahlungsbelastung für die Menschen deutlich erhöhen kann³⁹.

Grundsätzlich zeigt sich in den letzten 30 Jahren eine steigende Tendenz der UV-Strahlung in Bayern, allerdings beruhen die Daten auf Modellierungen³⁸. Der UV-Jahresbericht des Bundesamtes für Strahlenschutz und des Umweltbundesamtes zeigt gemessene Daten zwischen 1995 und 2000 und kommt zu dem Schluss, dass kein genereller Anstieg der UV-Belastung aus den Daten abzuleiten ist, dass jedoch wiederholt starke Erhöhungen der Belastung im Frühjahr und Frühsommer zu sehen sind⁴⁰.

Perspektive 10:

Eine effektive Maßnahme gegen Hautkrebs durch UV-Strahlung ist die Aufklärung der Bevölkerung über Sonnenschutz. Dazu hat das Staatsministerium die Aktion „Sonne(n) mit Verstand statt Sonnenbrand“ ins Leben gerufen. Zusätzlich könnte angeregt werden, dass im Wetterbericht in Fernsehen und Radio die Vorhersage des UV-Indexes mit einbezogen wird.

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Lebensmittelproduktion

Das LGL handelt den Themenbereich „Lebensmittelproduktion und Klimaveränderung“ aus folgenden Gründen am Rande ab:

- In Bayern besteht wie in anderen mitteleuropäischen Ländern aufgrund der wirtschaftlichen Verflechtungen kein direkter Zusammenhang zwischen dem entstehenden Produktionsausfall (z.B. landwirtschaftliche Ernterträge, Produktivitätsminderung der Fischerei) und versorgungsbedingten Schäden der menschlichen Gesundheit.
- Das LGL hat keine Zuständigkeit.

Die nachfolgenden Informationen stammen aus Literaturangaben. Klimaänderungen wirken sich grundsätzlich auf die landwirtschaftliche Produktivität aus. Folgende Einflussfaktoren, die Produktivität positiv oder negativ beeinflussen können, werden wissenschaftlich diskutiert:

- Anstieg der Temperatur,
- Änderung der Bodenfeuchte,
- Verschiebung im Verteilungsmuster von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten,
- Veränderungen der CO₂-Düngung¹².

Im Jahr 2003 wurde vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft⁴¹ in der Pressemitteilung 34/35 vom 29. August 2003 von starken Ertragseinbussen durch Dürre berichtet. So lag die Getreideernte 2003 um 13,1% unter dem Durchschnitt der vorhergegangenen Jahre. Die Verluste für Bayern wurden mit über 15% beziffert. Angaben zur Schädlingssituation in der Landwirtschaft im Sommer 2003 liegen dem LGL nicht vor. Allerdings wird im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Trockenheit im Bereich Forstwirtschaft über Zunahmen von Forstschädlingen wie Borkenkäfer berichtet⁴².

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Lebensmittelsicherheit

Bei der Thematik Klimaveränderung und Lebensmittelhygiene müssen weniger die Produktionsstätten betrachtet werden, sondern der Weg zum Verbraucher (z.B. Transport, Lagerung im Einzelhandel) und der Umgang des Verbrauchers mit den Lebensmitteln; die meisten Lebensmittel verderben erst, wenn sie den Produktionsort verlassen haben. Dieses Verderben wird in der Regel durch Bakterien, Hefen oder Schimmelpilze hervorgerufen, die sich bei warmen Temperaturen wesentlich schneller vermehren als in kühler Umgebung. Da alle Lebensmittel natürlicherweise mit diesen Mikroorganismen kontaminiert sind - manche können

zusätzlich auch krankmachende Keime wie z.B. Salmonellen enthalten - üben jahreszeitlich bedingte Hitzewellen Einfluss auf die Lebensmittelhygiene aus.

Viele Lebensmittel sind leichtverderblich und daher kühlpflichtig. Eine Unterbrechung der Kühlkette bei sehr hohen Umgebungstemperaturen, wie sie z. B. im Sommer 2003 beobachtet wurden, ist für die Vermehrung von Mikroorganismen förderlicher als in einer kühlen Jahreszeit. Auch sorgloses Verbraucherverhalten wie längerer ungekühlter Transport von leicht verderblichen Lebensmitteln vom Lebensmittelgeschäft zum Privathaushalt kann die Kühlkette unterbrechen.

Perspektive 11:

Aufklärung des Einzelhandels über die Unerlässlichkeit der Basishygiene. Verstärkung qualitätsgesichert durchgeführter betriebseigener oder unabhängiger Kontrollen im Einzelhandel.

Während Hitzewellen verändert sich auch das Verzehrverhalten der Menschen. Es werden zum Beispiel mehr Salate verzehrt, es wird öfter gegrillt. Gerade diese Lebensmittel befinden sich vor der Zubereitung oft längere Zeit bei Umgebungstemperaturen in der Küche, im Garten oder auf dem Grillplatz und spielen in typischen Lebensmittelausbruchsszenarien oft eine zentrale Rolle. Die Nahrungsmittelkeime *Campylobacter spp.* und *Salmonella spp.* würden bei leicht erhöhten Temperaturen (2-3 Grad) deutlich schneller wachsen und somit die kritische Infektionsdosis früher erreichen. So konnte in einigen Studien ein kausaler Zusammenhang zwischen steigenden Temperaturen und der Häufung von Salmonellenfällen gezeigt werden²². Salmonellen gehören zu den typischen Durchfallerregern. Durchfallerkrankungen sind weltweit ein Problem. Nach Schätzung der WHO sind ca. 2,4% dieser Erkrankungen auf die Klimaänderungen der letzten Jahrzehnte zurückzuführen⁴³, betroffen sind vor allem Länder mit schlechter Basishygienestandards. In Deutschland gehören sie zu den am häufigsten gemeldeten Infektionskrankheiten seit Bestehen des Infektionsschutzgesetzes 2001 und machen über 60% der Gesamtmeldungen aus²⁰. Im Jahr 2003 konnte trotz der Hitzewelle keine Erhöhung der Salmolleninfektionen in Bayern im Vergleich zu den Vorjahren festgestellt werden (Abbildung 10). Diese Beobachtung passt zum bundesweiten und seit Einführung des Infektionsschutzgesetzes kontinuierlich rückläufigen Trend der Salmonelleninfektionen. Weitere Verbesserungen der Lebensmittelsicherheit werden durch die EU-weite Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln und die Einführung der „Zentralen Erfassung von Ausbrüchen lebensmittelbedingter Infektionen und Intoxikationen“ (ZEVALI) erreicht⁴⁴. Aus den vorgenannten Gründen sind die Perspektiven 11 – 13 als Daueraufgaben und insofern als unabhängig von zu erwartenden Klimaveränderungen zu sehen.

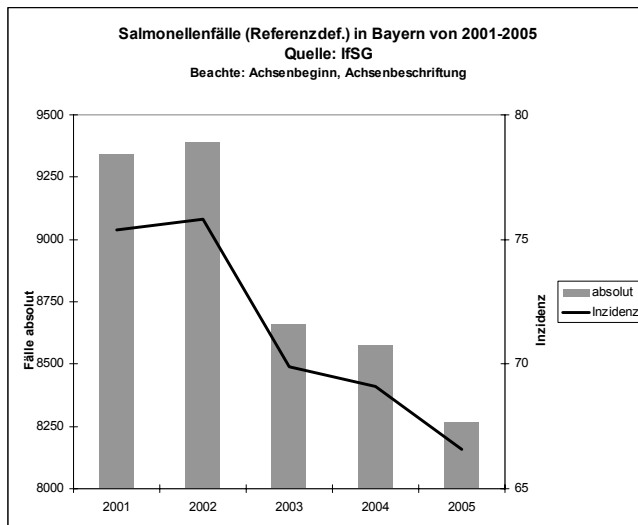


Abbildung 10: Salmonellenfälle und Inzidenzen nach IfSG in Bayern, 2001-2005, Quelle SurvNet RKI

Perspektive 12:

Intensivierung der Hygieneaufklärung des Endverbrauchers

Perspektive 13:

Kontinuierliche Verbesserung der Reaktionskapazität des öffentlichen Gesundheitswesens bei Lebensmittelausbrüchen. Verstärkte Zusammenarbeit zwischen Lebensmittelüberwachung und Gesundheitsamt. Ausbau der Rückverfolgbarkeit und Dokumentation der Produktionsketten bei Lebensmitteln.

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserversorgung

Den Aussagen liegt wesentlich ein Bericht und das Schreiben des Landesamtes für Wasserwirtschaft (LfW) vom 21.04.05 Nr. 24-4532 zugrunde. In Bayern besteht die, auch mit Blick auf Notsituationen, außergewöhnlich gute Situation, dass die Trinkwasserversorgung sich auf über 3.600 Wasserversorgungsanlagen, ca. 10.000 Brunnen und Quellen und Talsperren stützen kann und in der Regel ortsnah erfolgt. Diese Vielfalt stellt mengenmäßig die

Versorgung der Bevölkerung mit auch hygienisch einwandfreiem Wassere sicher. Problemgebiete sind Franken und die Oberpfalz, in denen wegen der geringen Jahresniederschläge und/oder der geologischen Situation nicht genügend Wasser vor Ort gewonnen werden kann. In diesen Bereichen und auch bei allen Kleinanlagen, deren Wassergewinnung sich auf extrem kleine Einzugsgebiete stützt, wirken sich länger anhaltende Trockenperioden besonders ungünstig aus. Für das nordbayerische Wassermangelgebiet, insbesondere den Ballungsraum Nürnberg und die größeren Städte in Franken, gibt es leistungsfähige Versorgungsachsen und Fernwasserverbünde. Dies trifft auch für das Wassermangelgebiet im Bayerischen Wald zu. Neben diesem großen überörtlichen Verbund gibt es auch auf örtlicher Ebene zahlreiche Verbundleitungen zwischen Gemeinden und Zweckverbänden, die sich gegenseitig aushelfen können.

Insgesamt wurden im Jahr 2003 nur 70% der langjährigen mittleren Niederschlagsmengen erreicht. Die entsprechend geringe Grundwasserneubildung und längere Trockenperioden wie im Jahr 2003 bereiten überwiegend bei Quellwassernutzungen Probleme, da es sich meistens um relativ kleine Quellwassereinzugsgebiete mit geringer Pufferwirkung handelt. Betroffen sind daher überwiegend kleinere Gemeinden in den Mittelgebirgslagen, die sich über Quellen mit sehr kleinen Einzugsgebieten versorgen.

Wasserversorgungsanlagen, die sich auf Brunnen zur Trinkwassergewinnung stützen, sind gegenüber Quellwassernutzungen wesentlich besser vor trockenheitsbedingten Ausfällen geschützt. Der Grundwasserkörper wirkt wie ein Langzeitspeicher, der über seine Pufferwirkung auch längere Trockenperioden ausgleichen kann. In der Trockenperiode bis Ende August 2003 lagen in vielen Fällen die Grundwasserstände sogar noch im Bereich der langjährigen Mittelwerte.

Auch die Trinkwassertalsperren waren Ende August 2003 noch mit mehr als 70 % ihres Speichervolumens gut gefüllt. Auch bei weiter anhaltender extremer Trockenheit wären daher keine Engpässe zu erwarten gewesen. Bisherige Messungen an Grundwassermessstellen des Messnetzes, in dem alle wichtigen Grundwasserleiter untersucht werden, geben keine Hinweise auf klimaveränderungsbedingte Grundwasserneubildungsraten.

Bayern und Baden-Württemberg haben außerdem gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst das Kooperationsvorhaben KLIWA zur „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ geschlossen⁴⁵.

Fazit:

Die Mischstruktur der Trinkwasserversorgung in Bayern mit den zahlreichen ortsnahen Versorgungen, den bestehenden Verbindungen über Verbundleitungen und Verbandsanlagen, sowie hierzu unterstützend die überregionalen Fernwasserversorgungen zur Sicherstellung der Wasserversorgung in den Wassermangelgebieten Nordbayerns, hat sich nach Aussagen des

LfW auch in der Trockenperiode 2003 bewährt. Dabei hat sich gezeigt, dass die im Sinne der Versorgungssicherheit verfolgte Strategie der Redundanz von Wassergewinnungsanlagen ein absolutes Muss ist um auch in der Zukunft eine einwandfreie und ausreichende Trinkwasserversorgung in ganz Bayern sicherzustellen.

Der Freistaat Bayern hat zur generellen Zukunftsvorsorge Grundwasserreserven, die über das ganze Land verteilt sind, erkundet. Derzeit stehen Reserven in Höhe von rd. 160 Mio. m³/a, das entspricht knapp 20% unseres derzeitigen Trinkwasserbedarfs, zur Verfügung. Diese Gebiete sind für den Bedarf künftiger Generationen und für den Notfall mit Wasserschutzgebieten gesichert. Bei einer anhaltenden Entwicklung hin zu längeren Trockenperioden wären diese Gebiete relativ kurzfristig für die Wasserversorgung aktivierbar, so dass Bayern insgesamt auch für diese Situation gerüstet sind.

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Hygiene der Trinkwasserversorgung und Trinkwasserqualität

Trinkwasser ist in mikrobiologischer Hinsicht kein Sterilprodukt. Auch bei der Förderung aus einem von anthropogenen Einflüssen unberührten Untergrund befinden sich naturgegeben zahlreiche Mikroben im Wasser. Zusätzlich können bei einer ungenügenden Bodenbarriere weitere Mikroorganismen-Arten und auch eukaryotische Organismen vermehrt ins Wasser gelangen, darunter auch Krankheitserreger von und für Mensch und Tier. Ein derartiges Eindringen kann auch sekundär an Stellen im Rahmen der direkten Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung geschehen, soweit hier Schwachstellen vorhanden sind.

In dieser Hinsicht ist der Einfluss der Klimaerwärmung hinsichtlich der Folgen auf die Trinkwasserbeschaffenheit zu behandeln, d. h. welche Beeinflussungen sind möglicherweise zu erwarten, die zu einer erhöhten Verunreinigung von außen für das Trinkwasser führen und die über eine Temperaturerhöhung des Trinkwassers zu unangenehmen hygienischen Effekten beitragen.

Zur erhöhten Verunreinigung von Außen für das Trinkwasser

Trinkwasser kann mit akzeptabler hygienischer Qualität in mikrobiologischer Hinsicht nur dann gewonnen werden, wenn es aufgrund seiner Untergrundpassage von eventuell eingebrachten Krankheitserregern wieder frei ist, und wenn es darüber hinaus aufgrund einer angemessenen Filtrationsschicht von oben oder von seitwärts nicht verunreinigt werden kann. Bei einer Bodenüberdeckung mit guter Filterwirkung (z.B. Sand im Gegensatz zu Kies oder Gestein) kann man davon ausgehen, dass Grundwasser bei ungestörtem Profil aus mehr als 6 m Tiefe bakteriologisch einwandfrei ist⁴⁶. Zudem muss ein angemessenes Schutzgebiet eingerichtet

werden. Neben dem Fassungsbereich ist hier in Hinblick auf Krankheitserreger insbesondere die Engere Schutzzone oder Zone II wichtig. So wird die Fläche bezeichnet, in der das Grundwasser von der äußeren Begrenzung eine Mindestfließzeit von 50 Tagen bis zur Wasserfassung hat. Die in mikrobiologischer Hinsicht wesentlichen Hinweise im DVGW-Arbeitsblatt W 101 sind wie folgt angegeben⁴⁷:

DVGW – Arbeitsblatt W 101; Februar 1995: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete;

I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser

2.2. Engere Schutzzone (Zone II)

Die Zone II soll dem Schutz vor Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen (z.B. Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier) sowie vor sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten, die bei geringer Fließdauer und –strecke zur Trinkwassergewinnungsanlage gefährlich sind.

3.4. Engere Schutzzone (Zone II)

Die Zone II soll bis zu einer Linie reichen, von der aus das genutzte Grundwasser eine Verweildauer von mindestens 50 Tagen bis zum Eintreffen in der Trinkwassergewinnungsanlage hat. Diese Mindestverweildauer gewährleistet in der Regel, dass pathogene Mikroorganismen zurückgehalten werden.

4.2. Engere Schutzzone (Zone II)

.....In der Zone II stellen Gefährdungen dar und sind in der Regel nicht tragbar:

4.2.7. Anwendung von Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche, Festmist) und Silagesickersaft

4.2.8. Beweidung

4.2.9 Errichtung und Erweiterung von Jauche- und Güllebehältern, von Dungstätten oder Gärfuttersilos

Hierzu ist anzumerken, dass eine mangelhafte Bodendeckschicht hauptverantwortlich für das Eindringen von Keimen von oben nach unten ist. Bisher kam es bereits in den Sommermonaten zu einer Schwächung der Bodenbarriere durch Austrocknung und Rissebildung. Die Rissebildung kann sich dabei metertief in den Boden fortsetzen, so dass es dann bei Regenfällen zu tiefgründigen Einschwemmungen kommt. Auf diese Art können Keime aus Fäkalien, darunter möglicherweise Krankheitserreger, von der Bodenoberfläche aus erleichtert die für die Abtötung wichtigste Filterschicht überwinden. Insbesondere in der Humusschicht findet eine Inaktivierung und Eliminierung durch dort massenhaft vorhandene Einzeller über Fressvorgänge sowie über antagonistische Effekte der natürlich vorhandenen Bodenmikroorganismen statt. Dies zeigte sich beispielsweise bisher schon in den Beanstandungsraten bei Trinkwasserproben aus Südbayern, wobei Keime wie *Escherichia coli* als Anzeiger für Warmblüterfäkalien deutlich erhöht in den Sommermonaten nachweisbar waren (Abbildung 11).

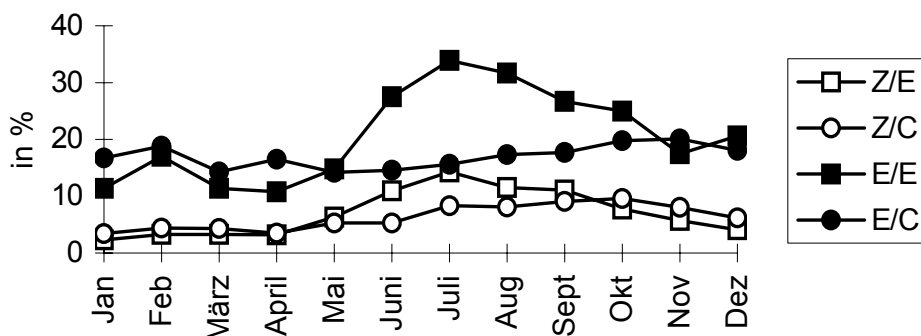


Abbildung 11: Monatliche Nachweisraten von *Escherichia coli* in Zentralwasserversorgungen (Z/E) und in Einzelwasserversorgungen (E/E) sowie von sonstigen Coliformen in Zentralwasserversorgungen (Z/C) und in Einzelwasserversorgungen (E/C) in Südbayern (erfasster Zeitraum: Jan. 1977 bis Dezember 1982)

Auch bei der summarischen Erfassung von Grenzwertüberschreitungen über mikrobiologische Verunreinigungsparameter nach der TrinkwV 2001 ergibt sich ein vergleichbares Bild (Abbildung 12).

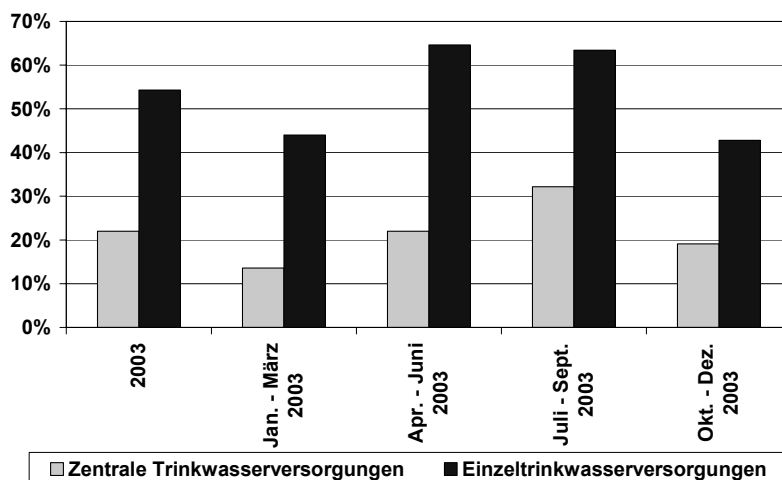


Abbildung 12: Prozentwerte der mikrobiologisch zu beanstandenden Trinkwasserproben im Jahr 2003 für Zentral- und Einzelwasserversorgungen aus Südbayern (insgesamt und quartalsweise)

Bei einer Klimaerwärmung muss daher angenommen werden, dass Hitzeperioden zu einer fortschreitenden Bodenfilterschwächung führen und somit Verunreinigungen häufiger und schwerwiegender bis ins Grundwasser gelangen, insbesondere dann, wenn es im gleichen Zeitraum vermehrt zu Regengüssen durch mögliche Gewitterhäufung kommen sollte. Somit ist anzunehmen, dass nicht nur zusätzlich weitere bislang als einwandfrei geschützt angesehene Versorgungsnetze betroffen werden, sondern dass darüber hinaus das Auftreten von

Verunreinigungen bereits jahreszeitlich früher stattfindet und zusätzlich weiter in die Herbstmonate hinein verschoben ist. Insofern bleibt festzuhalten, dass der zu befürchtenden erhöhten Kontaminationsrate durch Einschränkung der Bodenfilterbarriere dadurch begegnet werden muss, dass eine vermehrte Vorsorge in Schutzgebieten zu treffen ist, dass die mangelnde Bodenfiltration durch Maßnahmen wie eine künstliche Filtration (beispielsweise Ultrafiltration⁴⁸ oder Partikelfiltration mit Desinfektion⁴⁹ zusätzlich verstärkt werden muss und dass Schwachstellen im Rohrnetz beseitigt werden müssen.

Ähnliche Auswirkungen wären auch bei Uferfiltratwässern erwartbar, sofern es über die Klimaerwärmung zu größeren Schwankungen im Wasserpegelstand der Oberflächenwässer (Flüsse, Seen) kommen sollte. Dies ist bei Austrocknung oder plötzlichem Anstieg durch starke Regenfälle oder Gletscherabschmelzungen vorstellbar. Größere Schwankungen könnten die Bodenfilterbarriere in horizontaler Richtung oben durch Porenbeeinflussung, z. B. wegen Austrocknung bei Absenkung, beeinträchtigen, so dass dann bei Anstieg des Wasserstandes ein erleichtertes Eindringen durch die obere Schicht erfolgen kann.

Eher spekulativ wäre zu vermuten, dass die mit der Klimaerwärmung einhergehenden milden Winter insbesondere bei Indikatorkeimen wie bei den Coliformen, die sich in organisch reichhaltigen Materialien in der Umwelt halten und vermehren können, dazu führen, dass die bisher übliche starke Reduktion bei diesen Keimen in den Wintermonaten abgeschwächt und die Wiederverkeimung in den Sommermonaten unterstützt wird.

In diesem Zusammenhang fällt auch, dass längerfristig in der Umwelt persistierende pathogene Wurmstadien und –eier in Frostperioden unter - 5 °C schnell inaktiviert werden. Andererseits könnten mildere Winter aber auch dazu beitragen, dass die Bodenfilterschicht weniger über Eisbildung und Tautvorgänge in ihrer Struktur verändert wird, so dass dann Verunreinigungen besser abfiltriert werden, und die natürliche Bodenflora mit ihrer Einwirkung auf Fäkalkeime gefördert wird. Der bisherige Effekt, gerade zu diesen Zeiten wegen der stärkeren Reduktion von Fäkalkeimen trotz eingeschränkter Filtration jahreszeitlich am wenigsten mikrobiologische Beanstandungen nachweisen zu können, könnte sich somit in jede Richtung verändern.

Perspektive 14:

Eine engmaschige Überwachung der Trinkwasserqualität in Risikozeiten ist vonnöten. Trinkwasserschutzzonen sind in ihrer Leistungsfähigkeit zu stärken, beispielsweise durch Verbesserung der Humusschicht und vermehrte Beschattung. Eine mangelhafte Bodenfiltration ist unter Schaffung und Berücksichtigung des Multibarrieresystems z. B. durch Maßnahmen wie eine künstliche Filtration zu unterstützen. Schwankende Grundwasserstände können zu erweiterten Einzugsbereichen führen und erfordern dann eine Neufestsetzung der Schutzzonen.

Da davon auszugehen ist, dass Krankheitserreger (Viren, Bakterien, Einzeller) erleichtert Zugang ins Trinkwasser erhalten und zudem Keime, die auch über Trinkwasser ein gewisses Seuchenpotential haben, also beispielsweise Shigatoxin-bildende *Escherichia coli*-Stämme (EHEC, VTEC)⁵⁰, thermophile *Campylobacter*-Arten, pathogene Einzeller wie Cryptosporiden in der Umwelt immer mehr anzutreffen sind, muss auch in sogen. Industrieländern wieder mit einem erhöhten Gefährdungspotential über Trinkwasser gerechnet werden. In Tabelle 2 sind Nachweisraten von Shigatoxin-bildenden *E. coli* im Trinkwasser in Südbayern angegeben.

Tabelle 2: EHEC-Nachweise bei mit *Escherichia coli* belasteten Trinkwasserproben

Probenherkunft	Jahr	Anzahl unters. Proben	<i>E. coli</i> -positive Proben*	davon EHEC positiv**	insg. EHEC positiv***
Trinkwasser aus Einzelwasser- versorgungen	1998	814	150 (18,4 %)	2 (1,3 %)	2 (0,25 %)
	1999	715	159 (22,2 %)	9 (5,7 %)	9 (1,26 %)
	2000	555	137 (24,7 %)	18 (13,1 %)	18 (3,24 %)
	2001	584	110 (18,8 %)	14 (12,7 %)	14 (2,4 %)
	2002	703	151 (21,5 %)	13 (8,6 %)	13 (1,85 %)
Gesamt		3371	707 (21 %)	56 (7,9 %)	56 (1,66 %)
Trinkwasser aus Zentralwasser- versorgungen	1998	3914	85 (2,2 %)	0	0
	1999	4473	108 (2,4 %)	2 (1,9 %)	2 (0,045 %)
	2000	4040	66 (1,6 %)	3 (4,5 %)	3 (0,074 %)
	2001	4638	99 (2,1 %)	5 (5,1 %)	5 (0,108 %)
	2002	4488	155 (3,5 %)	6 (4 %)	6 (0,134 %)
Gesamt		28295	513 (2,4 %)	16 (3,1 %)	16 (0,074 %)

*) Anzahl positiver Proben mit *E. coli* an der Gesamtanzahl der untersuchten Proben

***) Anzahl EHEC-positiver Proben (Shiga-Toxin-Gen-Nachweis positiv) gemessen an der Anzahl *E. coli*-haltiger Proben

****) Anzahl EHEC-positiver Proben gemessen an der Gesamtanzahl der untersuchten Proben

Perspektive 15:

Die Einbringung von Krankheitserregern in die Umwelt und damit auch möglicherweise ins Trinkwasser (und in Badegewässer) ist zu vermindern, beispielsweise durch Förderung von Hygienisierungsverfahren für Wirtschaftsdünger.

Unangenehme hygienische Effekte durch die Temperaturerhöhung des Trinkwassers

Bei einer allgemeinen Klimaerwärmung ist davon auszugehen, dass sowohl oberflächennahe Grundwässer als auch Trinkwässer in Leitungssystemen mit oberflächennaher Verlegung einer Temperaturerhöhung unterliegen. Hierbei wäre vorstellbar, dass ein erleichtertes Aufkeimen von ansonsten harmlosen Mikroorganismen im Bodenuntergrund mit der Gefährdung erhöhter Bildung von geruchs- und farbbeeinträchtigenden Stoffwechselprodukten sowie in der Leitung mit der zusätzlich erleichterten Wuchsbelagsbildung auftreten könnte. Biofilmbildung in Leitungssystemen kann zu einer vermehrten Korrosion bis hin zur Lochfraßbildung führen. Dies bedeutet nicht nur Wasserverlust, sondern kann auch bei hoher Leitungsdurchströmung (Effekt der Wasserstrahlpumpe) zu einer Ansaugung von Schadstoffen und evtl. Krankheitserregern von

außen führen. Ferner wären aufgrund der Chlorzehrung durch Biofilme notwendige Chlorungen zur Abwehr von Seuchengefährdungen nur mehr stark eingeschränkt möglich.

Zusätzlich ist zu bedenken, dass sich die Legionellenproblematik ins „Kaltwasser“ der Gemeinden verlagern könnte⁵¹. Legionellen sind Krankheitserreger aus der Umwelt (Oberflächenwasser und Boden) und befinden sich daher in sehr geringen Anzahlen üblicherweise auch schon im Grundwasser und damit im gelieferten Trinkwasser. Eine Vermehrung zu krankheitsrelevanten Anzahlen findet nach allgemeiner Anschauung erst ab Wassertemperaturen über 20 °C bis etwa 50 °C statt. Von daher gilt als Hauptgefährdungsquelle die mit Niedrigwarmwassertemperatur betriebene Warmwasserversorgung. 2003 stellte es sich heraus, dass eine Klinik in Nordbayern über eine sog. Stichleitung seitens der Gemeinde bereits höher verkeimtes Kaltwasser erhielt.

Dementsprechende Nachfragen bei einem Gesundheitsamt in Südbayern ergaben, dass 2003 bei etlichen Gemeinden bereits im Hauptstrang Temperaturen von 17 – 19 °C waren und die Gemeinden zu wenig spülten, da sie befürchteten, dass nicht genügend Wasser aufgrund der (möglichen?) Grundwasserabsenkung gefördert werden könnte. Auch hier wäre zumindest zu vermuten, dass es dann in Stichleitungen, noch dazu bei solchen, die unter Asphalt verlegt sind, durch stärkere Aufheizung zu Legionellenaufkeimungen kommt. Vergleichbares könnte aber auch in Kaltwasserhausinstallationen stattfinden. Ist das gelieferte Kaltwasser bereits vorgewärmt, so könnte bei nicht entsprechender Abisolierung in Stagnationszonen über die Warmwasserleitung, evtl. auch über die wärmere Umgebung (Hauswand u. ä.) erleichtert Temperaturen auftreten, die eine Legionellenaufkeimung begünstigen. Analog kann auch eine erhöhte Verkeimungsrate mit *Pseudomonas aeruginosa*, meist retrograd über Spritzwasser vom Gullybereich zum Hahn stattfindend, erwartet werden.

Perspektive 16:

Seitens des Betreibers der Versorgung muss Wert darauf gelegt werden, dass das Wasser im Rohrnetz kalt bleibt. Dies erfordert vermehrt Spülungen, Vermeidung von Stichleitungen und Tieferlegung von Leitungen in den Boden.

Auswirkungen auf die Badewasserqualität

Natürliche Badegewässer können durch vielfältige Faktoren in ihrer Qualität beeinträchtigt werden. Einleitung von Abwässern, Abschwemmung von Flächen oder Koteintrag von Tieren können ein Gewässer mikrobiologisch verunreinigen. Durch erhöhten Nährstoffgehalt können sich toxische Cyanobakterien (Blualgen) vermehren und zu Krankheitserscheinungen bei Menschen und Tieren führen. Vermehrter Wasservogelbesatz führt außer zu Fäkalieneintrag auch zu einer Gefahr der Übertragung von Zerkarien auf den Menschen. Allergische Hautreaktionen können dann vermehrt beobachtet werden.

Die allgemeine Badegewässerqualität in Bayern ist sehr gut. Von den 230 EU-Badestellen, die während der Badesaison regelmäßig mikrobiologisch untersucht werden, entsprachen im Jahr 2004 lediglich drei wegen Grenzwertüberschreitungen für Fäkalbakterien nicht den Vorgaben der EU-Badegewässerrichtlinie 76/160/EEC. Bei einer Klimaveränderung sind jedoch zwei Varianten einer negativen Entwicklung denkbar. Bei vermehrter Sonneneinstrahlung kommt es zu einer Erwärmung der Wassertemperatur. Unter geeigneten Bedingungen, z.B. richtiges Nährstoffangebot und erhöhte Temperaturen, können sich natürlicherweise im Wasser vorkommende Mikroorganismen und Einzeller, wie z.B. Aeromonaden oder *Naegleria fowleri*, vermehren und zu schwerwiegenden Infektionen des Menschen führen. Die natürliche UV-Strahlung, die der bakteriellen Vermehrung entgegen wirkt, kann nur bei klaren Gewässern ihre volle Wirksamkeit entfalten. Bei gleichzeitig zunehmender Trübung durch temperatur- und nährstoffbedingtes vermehrtes Algenwachstum ist mit einer Abnahme der bakteriziden Wirkung des UV-Lichtes zu rechnen. Dass es sehr schnell zu solchen Algenmassenblüten kommen kann, ist seit langem bekannt. Bereits im warmen Sommer 2003 wurden während der Badesaison vermehrt Cyanobakterienblüten festgestellt (Tabelle 3). Cyanobakterien produzieren auch für den Menschen schädliche Toxine, u. a. das Microcystin, auf das Badegewässer bei entsprechendem Verdacht untersucht werden. Bei Konzentrationen ab 10 µg / l sind gesundheitliche Auswirkungen nicht ausgeschlossen.

Tabelle 3: Microcystingehalte in bayerischen Badegewässerproben im Jahr 2003

Zahl der untersuchten Proben (in %)	Microcystingehalt 0 – 10 µg / l	Microcystingehalt 10 – 50 µg / l	Microcystingehalt 50 – 100 µg / l	Microcystingehalt > 100 µg / l
111 (100,0)	74 (66,7)	19 (17,1)	8 (7,2)	10 (9,0) *

* max. Microcystingehalt: 8200 µg / l

In aller Regel dauern bei der jetzigen Klimasituation solche Blüten nicht lange an und die Bürger können durch kurzfristig ausgesprochene Badewarnungen vor den Risiken geschützt werden. Bei längerdauernden Wärmeperioden kann sich die Situation möglicherweise deutlich verschärfen.

Handelt es sich bei den Folgen einer Klimaveränderung nicht lediglich um sehr sonnige sondern um feucht-warme Sommer mit häufigen Regenfällen, ist mit vermehrten Abschwemmungen und Fäkaleinträgen zu rechnen. Wegen der gleichzeitig erwärmten Wassertemperatur ist mit einer Vermehrung z.B. coliformer Bakterien zu rechnen. Zu dieser Bakteriengruppe gehören zwar keine obligaten Krankheitserreger und sie kommen nicht nur in Fäkalien sondern auch in der Umwelt vor, doch können sie durchaus auch zahlreiche Infektionen hervorrufen. Schon jetzt werden punktuell höhere Konzentrationen nachgewiesen. Mit einer Vermehrung z.B. von *E. coli*, einem klassischen Fäkalbakterium mit je nach Spezies pathogener Potenz, ist bei den jetzigen Temperaturen in der Umwelt nicht zu rechnen. Vor kurzem wurde jedoch in tropischen und subtropischen Bereichen ein Aufwachsen in küstennahen Bereichen nachgewiesen⁵².

Perspektive 17

Verstärkte Untersuchungsprogramme auf Cyanobakterien und Krankheitserreger, z.B. Aeromonaden, Vibrionen, Naeglerien, deren Lebensraum das Wasser ist. Verstärkte Aufklärung der Bevölkerung über Krankheitsrisiken. Beseitigung additiver negativer Einflussfaktoren wie Nährstoff- und Bakterieneintrag über Abschwemmungen von Feldern durch extensive Bewirtschaftung ausreichend breiter Uferrandstreifen sowie über Abwassereinleitungen durch weitergehende Abwasserreinigung (Nährstoffelimination). In speziellen Fällen (Badegewässer) auch völlige Abwasserfernhaltung (Ringkanalisation bei Seen) oder Abwasserdesinfektion (bei Fließgewässerstrecken).

Zusammenfassung und künftige Perspektiven

Nahezu alle negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die menschliche Gesundheit lassen sich durch geeignete Präventionsmaßnahmen mildern und oft auch ganz verhindern. Diese Präventionsmaßnahmen könnten die klimabedingten Mortalität sogar überkompensieren und die Gesundheit der Gesamtbevölkerung durch informiertes Handeln dauerhaft verbessern.

Die möglichen Handlungsfelder im Bereich Klimaveränderung und Gesundheit sind jedoch vielschichtig, bedürfen politischer Grundsatzentscheidungen und müssen Akteure aus Forschung, Behörden, Verbänden und Gesellschaft umfassen, die in überregionalen Netzwerken planen und agieren.

Die angesprochenen Problemfelder und Perspektiven lassen sich anhand verschiedener Kriterien priorisieren:

- Beitrag zur Reduktion der Mortalität und Morbidität
- nach den Handlungsbeitragenden und der Zuständigkeit für Maßnahmen
- nach der Möglichkeit den Gestaltungsprozess zu beeinflussen.
- nach dem Zeitrahmen der Umsetzbarkeit

An erster Stelle sollten daher Maßnahmen stehen, die die Gesundheit am meisten fördern und Sterblichkeit am besten reduzieren, die zur originären Verantwortung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes gehören und die möglichst zeitnah realisiert werden können. Hier hat der Schutz der verwundbarsten Risikogruppe, ältere Menschen zu Hause und in Pflegeheimen, oberste Priorität (Perspektive 2). Auch wenn hier noch nicht abschließend alle Einflussfaktoren der Kälte- und Hitzewellen auf die menschliche Gesundheit qualitativ und quantitativ bekannt sind, müssen entsprechende Präventionsmaßnahmen im Rahmen der vorausschauenden Gesundheitsfürsorge implementiert werden. Hier sind insbesondere die Heimaufsichten unter Mithilfe des LGL gefordert, geeignete Richtlinien zu formulieren und zu implementieren. Mit Schreiben vom 28.1.05 an das Referat 34 des StMUGV wurde zu einem Hitzewarnsystem Stellung genommen, entsprechende Ausarbeitungen seitens des LGL sind in Vorbereitung. Parallel dazu sollte die Wissensbasis erweitert und analysiert werden und in Form von evidenzbasierten Verbesserungen in das Präventionssystem zurückfließen.

Dazu sind umfangreiche Literatur- und Methodikrecherchen nötig, sowie Kooperationen mit akademischen Einrichtungen, ebenso wie tagesaktuelle Sterbedaten (Perspektive 1), die bisher aus Datenschutzbedenken nicht zur Verfügung gestellt wurden.

An zweiter Stelle steht die Intensivierung von Aufklärungsmaßnahmen zu Fragen im Bereich Infektionsschutz, bei der Prävention von Hautkrebs, im Bereich Lebensmittel- und

Trinkwasserhygiene (Perspektive 6, Perspektive 12, Perspektive 11). Auch wenn die Auswirkungen des Klimawandels aufgrund ihrer Komplexität nicht endgültig abgesehen werden können, sind Präventionsmaßnahmen sinnvoll.

Die langfristig angelegten existierenden Fachprojekte³⁰ und Forschungsnetzwerke^{24 30}, die Grundlagenforschung zur klimabedingter Ausbreitungen von Infektionskrankheiten leisten, sollten auch weiterhin unterstützt werden. Aus Sicht des LGL sollten künftig gemeinsame Projekte mit universitären und außeruniversitären Institutionen verstärkt werden. Dies könnte dazu beitragen, dass für Bayern praxisbezogenere Erkenntnisse generiert werden, die Grundlage für konkrete Präventionsmaßnahmen liefern können.

Auch im Rahmen von gezielten Fachkonferenzen können Akteure unterschiedlicher Fachgebiete vernetzt werden.

Basis der informierten Entscheidung ist eine möglichst breite Wissensbasis. Die Menge an Klima- und Gesundheitsdaten und deren Komplexität nimmt stetig zu und ohne elektronische Datenverarbeitung ist ein Wissensmanagement heutzutage nicht mehr möglich. Aus dem Grund ist es von besonderer Bedeutung, die Klima- und Gesundheitsdaten in geokodierter Form zusammenzubringen (Perspektive 18) und zu katalogisieren. Ein umfassender Datenkörper ist Voraussetzung sowohl für aktuelle als auch zukünftige Auswertungen.

Perspektive 18:

Etablierung einer umfassenden Quellen- und Datensammlung, um für die Zukunft Gefährdungsvorhersagen modellieren zu können. Verknüpfung von historischen Klimadaten, Informationen über Landnutzungs- und Vegetationstypen, Verteilung der Vektorpopulationen und Erkrankungshäufigkeit über ein geographisches Informationssystem (GIS), um eine bessere Datengrundlage für die Risikomodellierung zu schaffen. Gleichzeitig muss die Austauschbarkeit und Kompatibilität der Daten für zukünftige nationale und internationale Kooperationen sichergestellt werden.

Anhang

Modell: Hitze- und kälteabhängige Erhöhung der Sterblichkeit bei Herz-Kreislaufkrankungen

Als Modellregion wurde die Stadt München gewählt. Diese Studie orientiert sich am Konzept der ökologischen Studie aggregierten Daten („ecological study“), die in erster Linie explorativ ausgewertet und Hypothesen generiert und eher schwache Evidenz hat. Die Datensätze „Herz-Kreislaufsterblichkeit“ und „Klimadaten“ werden über ihre räumliche (München) und zeitliche (Tagesdaten Januar 2000 – Dezember 2003) Gemeinsamkeit miteinander verknüpft und ausgewertet. Der Tagessterblichkeit wurde ein Poisson Prozess zu Grunde gelegt und mit dem Open-Source Statistikpaket „R“ modelliert⁵³. Es wurde nach Geschlecht stratifiziert. Ziel der statistischen Modellrechnung war es, den Einfluss der verschiedenen Variablen Jahr, Monat, Temperatur und Luftdruck auf die Sterblichkeit zu berechnen. Das Jahr steht hier für einen langfristigen Trend, während die Monatsvariable saisonale Trends abbildet. Beide Trends möchte man von den Auswirkungen der Klimavariablen auf die Sterblichkeit „abziehen“. Die in der Literatur häufig verwendeten Klimavariablen „Taupunkt“ und „apparent temperature“¹⁶ haben wir nicht verwendet, da sie sehr stark mit der Variable Temperatur korrelieren: Taupunkt mit Pearson- $p=0,93$ und „apparent temperature“ mit Pearson- $p=0,99$. Gerade letzterer Parameter brachte für die Münchner Temperaturwerte in nur 1% der Fälle eine Temperaturerhöhung von mehr als 4,8°C. Die aus der Luftfeuchte und Temperatur zusammengesetzte Größe „apparent temperature“ ist unserer Einschätzung nach für das bayerische Klima nicht relevant, da zu selten die Spitzenwerte über 27°C und über 40% Luftfeuchte erreicht werden, ab denen die Verwendung empfohlen wird.

Da gerade Klimafaktoren mit Verzögerung wirken, wurde die Temperaturvariable mit verschiedenen zeitlichen Verzögerungen modelliert. Der Einfluss der Temperatur ist nicht linear kontinuierlich, sondern in Abhängigkeit von der Temperatur. So würde sich eine Temperaturzunahme bei Minusgraden positiv auf die menschliche Gesundheit auswirken, eine Temperaturzunahme bei über 35°C eher negativ. Daher wurden zusätzlich die Temperaturen in 6 Kategorien eingeteilt, um der evtl. unterschiedlichen Auswirkung bei unterschiedlichen Temperaturen Rechnung zu tragen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Temperaturkategorien in der Poisson Regression

Kategorie	Temperaturspanne der Tageshöchsttemperatur	Anteil an Gesamtdaten
A	2,5°C und kälter	10%
B	ab >2,5°C bis 10°C	22%
C	ab >10°C bis 15°C	19%
D	ab >15 °C bis 20°C	17%
E	ab >20°C bis 25°C	16%
F	ab > 25°C bis 30°C	12%
G	heißer als 30°C	4%

Bei 1461 Datenpunkten (4 Jahre Tagesdaten) können aus rein mathematischen Gründen bereits geringe Unterschiede statistisch signifikant werden. Ein signifikanter Effekt muß daher noch auf seine biologische Plausibilität geprüft werden. Es wurden je vier verschiedene Untermodelle gerechnet, für Männer (Tabelle 5) und Frauen (Tabelle 6).

Modell 1: Jahr, Monat, aktuelle maximale Tagestemperatur, Luftdruckdifferenz

Modell 2: Jahr, Monat, aktuelle Temperaturkategorie, Luftdruckdifferenz

Modell 3: Jahr, Monat, Temperaturkategorie vor 4 Tagen, Luftdruckdifferenz

Modell 4: Jahr, Monat, Temperaturkategorie vor 4 Tagen, Luftdruckdifferenz vor 4 Tagen

Bezugskategorien waren bei Jahr: „2000“, bei Monat: „Januar“, bei Temperaturkategorie: „Kategorie A: 2,5°C und kälter“

Tabelle 5: Poisson Regression der Herz-Kreislauf Sterblichkeit bei Männern über 65

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
Konstante	1,70 ***	1,72 ***	1,77 ***	1,80 ***
Februar	-0,03 ns	-0,03 ns	0,02 ns	0,02 ns
März	-0,17 **	-0,16 **	-0,07 ns	-0,07 ns
April	-0,22 ***	-0,21 **	-0,09 ns	-0,10 ns
Mai	-0,23 **	-0,24 ***	-0,08 ns	-0,09 ns
Juni	-0,32 ***	-0,35 ***	-0,19 *	-0,20 *
Juli	-0,37 ***	-0,40 ***	-0,23 **	-0,24 **
August	-0,29 ***	-0,31 ***	-0,15 kns	-0,17 *
September	-0,22 **	-0,22 **	-0,08 ns	-0,09 ns
Oktober	-0,20 **	-0,19 **	-0,07 ns	-0,07 ns
November	-0,16 **	-0,15 *	-0,06 ns	-0,06 ns
Dezember	-0,19 ***	-0,19 **	-0,15 **	-0,15 **
Jahr 2001	-0,06 kns	-0,06 kns	-0,07 *	-0,07 *
Jahr 2002	0,03 ns	0,03 ns	0,04 ns	0,03 ns
Jahr 2003	-0,02 ns	-0,02 ns	-0,03 ns	-0,03 ns
Tageshöchsttemperatur linear	0,00 ns	-	-	-
Temperaturkategorie aktuell				
2,5°-10°	-	-0,04 ns	-	-
10°-15°	-	-0,01 ns	-	-
15°-20°	-	-0,04 ns	-	-
20°-25°	-	0,01 ns	-	-
25°-30°	-	0,03 ns	-	-
30°+	-	0,01 ns	-	-
Temperaturkategorie, Verzögerung um 4 Tage				
2,5°-10°	-	-	-0,15 **	-0,15 **
10°-15°	-	-	-0,20 ***	-0,20 ***
15°-20°	-	-	-0,22 ***	-0,22 ***
20°-25°	-	-	-0,21 **	-0,20 **
25°-30°	-	-	-0,22 **	-0,22 **
30°-37°	-	-	-0,13 ns	-0,13 ns
Luftdruckdifferenz	0,01 ns	0,01 ns	0,01 ns	-
Luftdruckdifferenz, Verzögerung um 4 Tage	-	-	-	0,00 ns
AIC-Kriterium	6281	6288	6260	6262

ns: nicht signifikant; kns: knapp nicht signifikant: $0,05 < p < 0,1$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,0001$

Tabelle 6: Poisson Regression der Herz-Kreislauf Sterblichkeit bei Frauen über 65

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
Konstante	2,27 ***	2,28 ***	2,29 ***	2,30 ***
Februar	-0,02 ns	-0,01 ns	0,00 ns	0,00 ns
März	-0,06 ns	-0,03 ns	-0,03 ns	-0,03 ns
April	-0,19 ***	-0,15 **	-0,16 **	-0,16 **
Mai	-0,25 ***	-0,20 ***	-0,22 ***	-0,23 ***
Juni	-0,24 ***	-0,22 ***	-0,24 ***	-0,25 ***
Juli	-0,23 ***	-0,20 ***	-0,22 ***	-0,22 ***
August	-0,31 ***	-0,29 ***	-0,33 ***	-0,34 ***
September	-0,30 ***	-0,25 ***	-0,28 ***	-0,28 ***
Oktober	-0,17 ***	-0,13 *	-0,15 **	-0,15 **
November	-0,18 ***	-0,16 ***	-0,16 ***	-0,16 **
Dezember	-0,09 *	-0,09 *	-0,07 kns	-0,07 kns
Jahr 2001	-0,06 *	-0,06 *	-0,06 *	-0,06 *
Jahr 2002	-0,10 ***	-0,10 ***	-0,10 ***	-0,10 ***
Jahr 2003	-0,07 **	-0,08 **	-0,08 **	-0,08 **
Tageshöchsttemperatur linear	0,00 ns	-	-	-
Temperaturkategorie aktuell				
>2,5°-10°	-	-0,01 ns	-	-
>10°-15°	-	-0,05 ns	-	-
>15°-20°	-	-0,06 ns	-	-
>20°-25°	-	-0,06 ns	-	-
>25°-30°	-	0,00 ns	-	-
>30°-37°	-	0,03 ns	-	-
Temperaturkategorie, Verzögerung um 4 Tage				
>2,5°-10°	-	-	-0,06 ns	-0,06 ns
>10°-15°	-	-	-0,03 ns	-0,03 ns
>15°-20°	-	-	-0,04 ns	-0,04 ns
>20°-25°	-	-	-0,05 ns	-0,05 ns
>25°-30°	-	-	-0,01 ns	-0,01 ns
>30°-37°	-	-	0,13 kns	0,13 kns
Luftdruckdifferenz	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	-
Luftdruckdifferenz, Verzögerung 4 Tage	-	-	-	0,00 ns
AIC-Kriterium	7221	7225	7204	7204

ns: nicht signifikant; kns: knapp nicht signifikant: $0,05 < p < 0,1$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,0001$

In Modell 1 und 2 ohne Temperaturverzögerung haben Luftdruck und Temperatur keinen signifikanten Einfluss auf die Sterblichkeit bei Männern oder Frauen, sämtliche Variation über den Zufall hinaus wird durch die signifikante Saisonvariable „Monat“ erklärt. Der Einfluss der Monate auf die Reduktion der Sterblichkeit nimmt vom Februar bis zum Juli/August zu und fällt dann wieder bis Dezember ab. Ein langfristiger Trend zwischen den Jahren ist bei Männern nicht zu erkennen, auch die signifikanten Unterschiede in 2001 in Modell 3 und 4 beschränken sich auf die zweite Nachkommastelle hinter der Null. Bei Frauen hingegen war zwar kein Jahrestrend, wohl aber ein signifikanter und über die Modelle hinweg gleich bleibender Einfluss der Jahresvariable erkennbar.

Während bei Frauen die um 4 Tage verschobene Temperaturkategorie keine Wirkung zeigt, hebt sie in Modell 3 und 4 hingegen bei Männern den signifikanten Einfluss der Saisonvariable „Monat“ fast vollständig auf, lediglich die Monate Juni, Juli und Dezember können noch einen statistisch signifikanten und im Vergleich zu Modell 1 und 2 um mehr als die Hälfte reduzierten

Einfluss auf die Sterblichkeit geltend machen. Die Luftdruckdifferenz blieb in allen 4 Modellen bei beiden Geschlechtern mit und ohne zeitliche Verschiebung ohne Einfluss auf die Sterblichkeit. Im Vergleich zur Bezugskategorie der Temperaturspanne „2,5°C und darunter“ führten bei Männern alle anderen verschobenen Temperaturkategorien zu einer Senkung der Sterblichkeit. Der Einfluss der höchsten Temperaturkategorie „30°C bis 37°C“ war zwar nicht signifikant, in ihrer Tendenz jedoch bewirkte auch sie eine Senkung der Sterblichkeit.

Zusammenfassung

Wenn man von einer biologisch durchaus plausiblen verzögerten Nachwirkung der Temperatur auf den menschlichen Organismus ausgeht, kann man sagen, dass bei Männern über 65 steigende Temperaturen mit einer Verzögerung von 4 Tagen die Tagessterblichkeit bei Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems reduzieren. Die Reduktion fällt am stärksten in der Kategorie „15°C bis 20°C“ aus und ist sogar tendenziell noch in der Gruppe „30°C bis 37°C“ sichtbar. Ferner tragen über einen noch unbekanntem Mechanismus bei Männern noch die Monate Juni, Juli und der Dezember zur Senkung der Tagessterblichkeit bei.

Bei Frauen haben die Klimavariablen Temperatur und Druck zumindest in der statistischen Auswertung als lineare, kategoriale und kategoriale verschobene Variable keinen Einfluss. Hier wirken noch unbekanntes saisonale Effekte.

Quellen

1. Watson RT. *Climate Change 2001: Synthesis Report, A contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
2. KLIWA. Der Klimawandel in Bayern für den Zeitraum 2021-2050. KLIWA Kurzbericht 2005.
3. Günther T. Langzeitverhalten hydrometeorologischer Größen. In: KLIWA-Symposium 2004. KLIWA 2004.
4. Straub H. Langzeitverhalten von hydrologischen Größen. In: KLIWA-Symposium 2004. KLIWA 2004.
5. Keatinge WR, Donaldson GC. The impact of global warming on health and mortality. *South Med J* 2004;97(11):1093-9.
6. Keatinge WR, Donaldson GC. Winter mortality in elderly people in Britain: action on outdoor cold stress is needed to reduce winter mortality. *Bmj* 2004;329(7472):976; author reply 977.
7. Wilkinson P, Pattenden S, Armstrong B, Fletcher A, Kovats RS, Mangtani P, et al. Vulnerability to winter mortality in elderly people in Britain: population based study. *Bmj* 2004;329(7467):647.
8. Koppe C, Jendritzky G, Pfaff G. Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. In: Bundesministeriums für Verkehr B-uW, editor. *Klimastatusbericht 1998 unter www.dwd.de*: Deutscher Wetterdienst, 2003:152-162.
9. Institute de Vielle Sanitaire I. Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 en France: Institute de Vielle Sanitaire, 2003:162.
10. Koppe CJ, G. Die Auswirkungen der Hitzewellen 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg. In: Baden-Württemberg. S, editor: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2004:1-81.
11. Heudorf U MC. Gesundheitliche Auswirkungen extremer Hitze - am Beispiel der Hitzewelle und der Mortalität in Frankfurt am Main im August 2003. *Gesundheitswesen* 2005;in press.
12. Keatinge WR, Donaldson GC, Cordioli E, Martinelli M, Kunst AE, Mackenbach JP, et al. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *Bmj* 2000;321(7262):670-3.
13. Pfaff G. Hitzefolgekrankheiten: Herausforderung für das Gesundheitswesen. *Epidemiologisches Bulletin* 2004;25:200.
14. Keatinge WR, Donaldson GC, Bucher K, Jendritzky G, Cordioli E, Martinelli M, et al. Winter mortality in relation to climate. *Int J Circumpolar Health* 2000;59(3-4):154-9.
15. Jendritzky G. Einwirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen in Mitteleuropa. In: Bundesministeriums für Verkehr B-uW, editor. *Klimastatusbericht 1998 unter www.dwd.de*: Deutscher Wetterdienst, 1998.
16. Steadman RG. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteor.* 1979;18:861-873.
17. O'Neill MS, Zanobetti A, Schwartz J. Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities. *Am J Epidemiol* 2003;157(12):1074-82.
18. Ebert BF, B. Globale Erwärmung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 2005;48(1):55-62.
19. RKI RKI. *Falldefinitionen des Robert Koch Instituts zur Übermittlung von Erkrankungen- oder Todesfällen und Nachweisen von Krankheitserregern*. Berlin: RKI, 2004.
20. Robert Koch Institut R. SurvStat@RKI: RKI, 2005.
21. WHO. Roll Back Malaria Department, 2005:Homepage Roll Back Malaria.
22. McMichael A.J. C-LDH, Corvalán C.F., Ebi K.L., Githeko A., Scheraga J.D., Woodward A. *Climate change and human health - risks and responses*: WHO, 2003.
23. de Zulueta J. Malaria and ecosystems: from prehistory to posteradication. *Parassitologia* 1994;36(1-2):7-15.
24. Agenda. EDEN Kick Off Meeting; 2005; Agropolis international, Montpellier.
25. Hautmann W, Essbauer, S., Ulrich, R. Gehäuftes Auftreten von klinisch apparenten Hantavirus-Infektionen in Niederbayern im Jahr 2004. *Epidemiologisches Bulletin* 2005;10:84.
26. Bäumler W, Lehrstuhl f. Tierökologie TU München. Hanta Projekttreffen Sanitätsakademie. In: Burckhardt F, editor. München, 2004.
27. RKI RKI. Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) RKI-Ratgeber Infektionskrankheiten – Merkblätter für Ärzte, 2004.
28. Köhler W. EHJ, Fleischer B. *Medizinische Mikrobiologie*: URBAN & FISCHER BEI ELSEVIER, 2001.
29. UMS_3.3/8390-133/100/04. Maßnahmen zur Borreliosebekämpfung. In: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt GuV, editor: Referat 3.3g, 2004:5.
30. Fingerle V. Epidemiologische Aspekte zeckenübertragener Erkrankungen in Bayern: Lyme-Borreliose. München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, 2003.
31. Beggs PJ. Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 2004;34(10):1507-13.

32. Wayne P FS, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P. Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO₂-enriched atmospheres. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 2002;88:279-282.
33. Wan S YT, Bowdish S, Wallace L, Russell SD, Luo Y. Response of an allergenic species, ambrosia *Psilostachya* (Asteraceae), to experimental warming and clipping: implications for public health. *American Journal of Botany* 2002;89:1843-1846.
34. Nießner R. Gase und Aerosole. In: (BayFORKLIM) BK, editor. *Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlußbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes*. München, 1999.
35. Ziska LH GD, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol* 2003;111:290-295.
36. Breitbart EW WA, Mohr P, Greiner R, Volkmer B. Hautkrebs: Robert-Koch Institut, 2004.
37. Klimawandel geht unter die Haut Erhöhte UV-Strahlung - ein nach wie vor aktuelles Problem. Abayfor: Zukunft im Brennpunkt 2003.; 2003.
38. Wissenschaften BAd. Erhöhte UV-Strahlung: Folgen und Maßnahmen. *Rundgespräche der Kommission für Ökologie* 27 2004.
39. Przybilla B. UV-B und Mensch. In: (BayFORKLIM) BK, editor. *Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlußbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes*. München, 1999.
40. Steinmetz M. Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland 2000. *Jahresbericht über das solare UV-MESSNETZ von BfS/UBA*. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz und Umweltbundesamt, 2000.
41. Künast R. Ernte 2003- Starke Ertragseinbußen durch Dürre, aber gute Brotgetreidequalitäten und Getreidepreise. In: Bundesministeriums für Verbraucherschutz EuL, editor: BMVEL-Pressestelle, 2003.
42. Lobinger G. Der "Käfersommer" 2003. *LWF Aktuell* 2004;43(1):26.
43. Höppe P. Malaria und Gelbfieber in Deutschland? – Gesundheitliche Risiken der Klimaänderung. *Klimawandel und wetterextreme*. München: Münchener Rückversicherungsgesellschaft, 2005.
44. RKI B. Studienhandbuch „Zentralen Erfassung von Ausbrüchen lebensmittelbedingter Infektionen und Intoxikationen“ (ZEVALI), 2004:29.
45. Baden-Württemberg B, Deutscher Wetterdienst. Kliwa: Klimaveränderung und Wasserwirtschaft, 1998.
46. Borneff J. *Hygiene - Ein Leitfaden für Studenten und Ärzte.*: Georg Thieme Verlag, 1974.
47. DVGW. Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser. *DVGW-Arbeitsblatt W 101*, 1995.
48. Günthert FWua. Einsatz der Ultrafiltration zur Trinkwasseraufbereitung von trübstoffhaltigen und mikrobiologisch belasteten Karst-, Kluft- und Quellwässern. *Mitteilungen* 2002(76).
49. Herb S. Trinkwasserversorgung auf Berghütten. *Der Hygieneinspektor* 2004;6:19-25.
50. Schindler PRG, D. Elmer-Englhard, H.-Ch. Huber. Überwachung der Badegewässer in Südbayern unter Berücksichtigung aktueller Krankheitserreger. *Münchn. Beitr. Abw.- Fisch- u. Flussbiol.* 2003;55:41-60.
51. Schindler P. Legionellen im Trinkwasser. In: Wasser - Reservoir des Lebens. Aktuelle Fragen zu Wasserversorgung und -hygiene. *Seminarband FLUGS/GSF-Bericht 01*, 2004:65-77.
52. Desmarais TR S-GH, Palmer CJ. Influence of soil on fecal indicator organisms in a tidally influenced subtropical environment. *Appl Environ Microbiol.* 2002;68(3):1165-72.
53. R_Development_Core_Team. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2005.