

Trends und Extremereignisse aus Sicht einer statistischen Analyse der Beobachtungsdaten

Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese,
Institut für Atmosphäre und Umwelt, J.W. Goethe-Universität, Frankfurt a. M.

Thema: Analyse der Klimaveränderungen in Hessen für den Zeitraum 1901-2003

Projektbeteiligte: Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese, Dr. Tim Staeger, Heiko Steiner

Projektlaufzeit: September 2004 bis Mai 2005, Abschlussbericht zum 31.07.2005

Ergänzungsthema: Auftreten und Andauer extremer Witterungsereignisse in Hessen (1951-2000)

Projektbeteiligte: Prof. Dr. Christian-D. Schönwiese, Dr. Tim Staeger, Dipl.-Met. Martin Jonas

Projektlaufzeit: Oktober 2005 bis November 2005, Abschlussbericht zum 31.03.2006

Beschreibung

Der globale Klimawandel im Industriezeitalter, d. h. in den letzten ungefähr ein bis zwei Jahrhunderten, ist eine Beobachtungstatsache. Und es besteht weitgehender wissenschaftlicher Konsens darüber, dass dabei der Klimafaktor Mensch in zunehmenden Ausmaß beteiligt ist, und zwar vor allem durch die Emission klimawirksamer Spurengase (Kohlendioxid usw.) aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Gas, einschließlich Verkehr; anthropogener „Treibhauseffekt“). Insbesondere der Anstieg der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur („Global Warming“) in den letzten Jahrzehnten wird mit großer Wahrscheinlichkeit darauf zurückgeführt.

Vor diesem Hintergrund ist anhand von Beobachtungsdaten der Temperatur und des Niederschlags untersucht worden, welche Erkenntnisse sich über die Klimaveränderungen in Hessen gewinnen lassen. Es ist nämlich ebenfalls offenbar, dass sich das Klima regional bzw. jahreszeitlich gesehen sehr unterschiedlich ändert. Zu diesem Zweck sind für die Zeit 1951-2000 und die Region 49° bis 52° Nord / 7° bis 11° Ost – das ist Hessen mit Teilbereichen der angrenzenden Bundesländer – folgende Daten betrachtet worden: Temperatur an 53 Stationen und Niederschlag an 674 Stationen. Die Zeit ab 1901 ist leider weniger gut abgedeckt. Immerhin konnten für diese Zeit aber die Temperaturdaten von 4 Stationen und die Niederschlagsdaten von 10 Stationen genutzt werden. Ausgehend von den Klimadaten werden nun folgende Fragen beantwortet:

- Wie groß waren in dieser Zeit die Temperatur- und Niederschlagstrends? Gibt es dabei jahreszeitliche/monatliche und regionale Unterschiede?
- Gibt es auffällige Fluktuationen, die diesen Trends überlagert sind?
- Hat sich die Häufigkeit von extremen Temperaturen und Niederschlägen systematisch geändert?
- Zeigt sich dies auch in der Anzahl extrem warmer bzw. extrem kalter Tage sowie der Anzahl von Trocken- bzw. Starkniederschlagstagen?
- Was lässt sich über die zeitliche Abfolge solcher extremer Tage sagen, beispielsweise über die Andauer von Trockenperioden und die Erhaltungsneigung allgemein?

- Lassen sich auch in einer so kleinen Region wie Hessen Hinweise auf Ursachen finden, die beim globalen Klimawandel eine Rolle spielen?
- Liefern die bisher beobachteten Klimatrends Ansätze für die Abschätzung der künftigen Entwicklung?

Die Antworten auf diese Fragen sind in zwei ausführlichen Projektberichten zusammengestellt worden. Die wichtigsten dieser Ergebnisse werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Ergebnisse

Temperaturtrends

Im Flächenmittel und im Mittel über alle Jahreszeiten hat sich Hessen in der Zeit 1951-2000 um 0,9 °C erwärmt, siehe Tab. 1. Das entspricht fast genau der Erwärmung, wie sie auch für das Flächenmittel Deutschland gefunden worden ist. Der größte Beitrag dazu kommt vom Winter mit 1,6 °C, der geringste vom Herbst mit 0,2 °C. Monatlich gesehen ist jedoch der August mit 1,8 °C Erwärmung der Spitzenreiter, gefolgt von Januar, Februar (jeweils 1,7 °C), März (1,6 °C) und Mai (1,4 °C). Dagegen hat sich der November abgekühlt, jedoch mit -0,1 °C nur äußerst gering.

Tab. 1: Übersicht der in Hessen (Flächenmittel) beobachteten Temperaturtrends 1951-2000.

Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
1,1 °C	1,0 °C	0,2 °C	1,6 °C	0,9 °C

Hinweis: Der Jahrestrend ist aus mehreren Gründen nicht gleich dem Mittelwert der jahreszeitlichen Trends. Zum einen beeinflussen die den Trends stets überlagerten Fluktuationen und Anomalien die Trendwerte in sehr unterschiedlicher Weise; dies kann sich bei der Zusammenfassung zu Jahreswerten mehr oder weniger aufheben bzw. anders gestalten. Weiterhin enthält der Winterwert jeweils auch die Dezember-Daten des Vorjahres.

Bei der Analyse der räumlichen Strukturen der Temperaturänderungen in Hessen zeigt sich folgendes Bild: Relativ gleichmäßig über Hessen verteilte Erwärmungen findet man im Januar bis März, Mai, Juli, August und Dezember, mit einem deutlichen Maximum im August. Im April, September und Oktober überwiegt zwar die Erwärmung, aber teilweise treten auch Abkühlungen in Erscheinung. Im November überwiegen diese Abkühlungen, die Regionen Frankfurt-Darmstadt und Fulda ausgenommen, und im Juni ergibt sich eine Zweiteilung: Abkühlung in Nord- und teilweise auch Mittelhessen, Erwärmung in Südhessen.

Fasst man die Temperaturdaten (1951-2000) jahreszeitlich zusammen (Winter: Dezember des Vorjahres, Januar und Februar; Frühling: März-Mai usw.), so ergeben sich die in Abb. 2 gezeigten Trendstrukturen. Wie in Tab. 1 fällt dabei die starke winterliche Erwärmung auf, die im Bereich von ca. 1-2 °C liegt, mit den höchsten Werten in Südhessen. Mit einem Bereich von ca. 0,5-1,5 °C ist die Erwärmung im Frühjahr und Sommer etwas geringer, wobei – im Gegensatz zum Winter – die sommerliche Erwärmung vor allem von einem Monat, nämlich dem August (vgl. oben), getragen wird. Der Herbst weist mit Trends zwischen ca. -0,5 °C und +0,5 °C auch Abkühlungen auf, und zwar in der Region Kassel und weiteren relativ kleinen Regionen in West- und Mittelhessen, während in Südhessen auch in dieser Jahreszeit die Erwärmung dominiert.

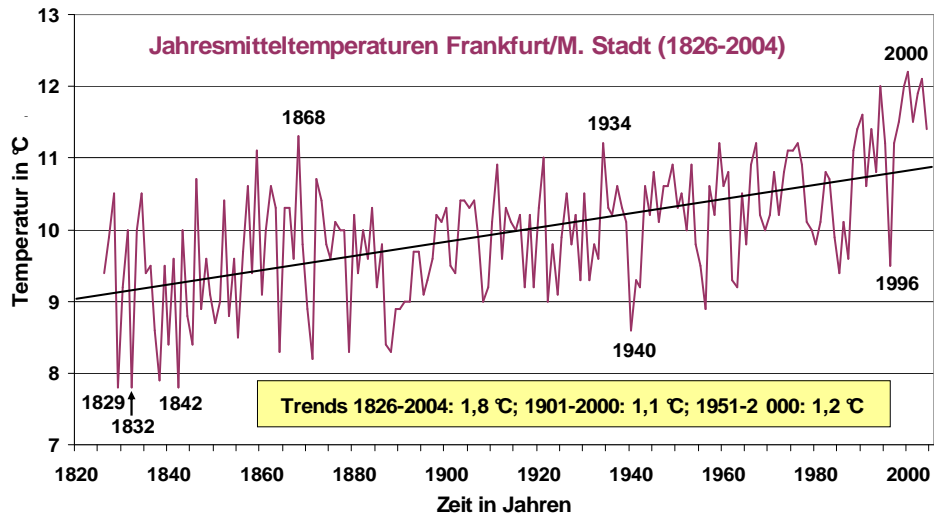


Abb. 1: Jahresmittelwerte 1826-2004 der bodennahen Lufttemperatur in Frankfurt/Main (Stadtgebiet), mit Gesamttrend und Trendwerten für verschiedene Zeitintervalle (Datenquellen: Ziegler und König, 1896; Mollwo, 1958; Giesel, 1988; DWD; bearbeitet).

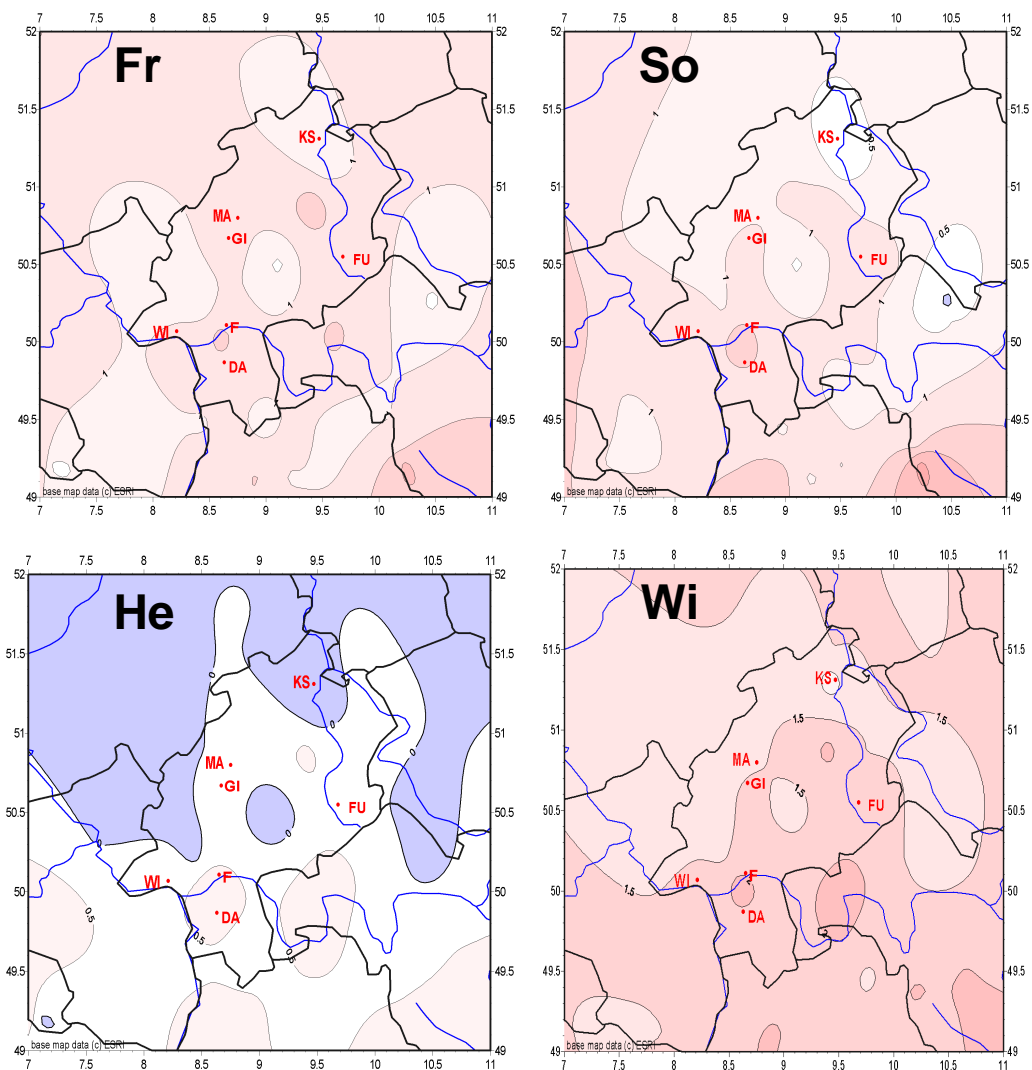


Abb. 2: Räumliche Verteilung der jahreszeitlichen Temperaturtrends 1951-2000 in Hessen in °C (Fr: Frühling, Monate März-Mai; So: Sommer, Juni-August; He: Herbst, September-November; Wi: Winter, Dezember des Vorjahres, Januar und Februar). Erwärmungen sind durch Rot-, Abkühlungen durch Blautöne hervorgehoben.

Niederschlagstrends

Der Niederschlag zeigt ein wesentlich komplizierteres Trendbild. Zunächst, bezogen auf das Flächenmittel Hessen und die Zeit 1951-2000, stehen Niederschlagszunahmen im Herbst, Winter und Frühling mit rund 25 %, 22 % und 20 % sommerlichen Abnahmen um rund 18 % gegenüber, siehe Tab. 2. In der Jahressumme ist eine Zunahme um 8,5 % eingetreten. Monatlich gesehen fallen der März mit einer enormen Zunahme um rund 62 % und der August mit einer Abnahme um 18 % besonders auf, Trends, die in diesen Monaten zeitlich wie auch regional innerhalb Hessens ziemlich stabil sind. In ähnlicher Weise zeigen 1901-2000/2003 alle in Hessen erfassten Stationen Niederschlagszunahmen im Winter, Frühling und Herbst und fast alle Abnahmen im Sommer.

Tab. 2: Übersicht der in Hessen (Flächenmittel) beobachteten Niederschlagstrends 1951-2000 (vgl. auch Hinweise unter Tab. 1).

Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
+ 20,3 %	- 17,8 %	+ 24,9 %	+ 22,2 %	+ 8,5 %

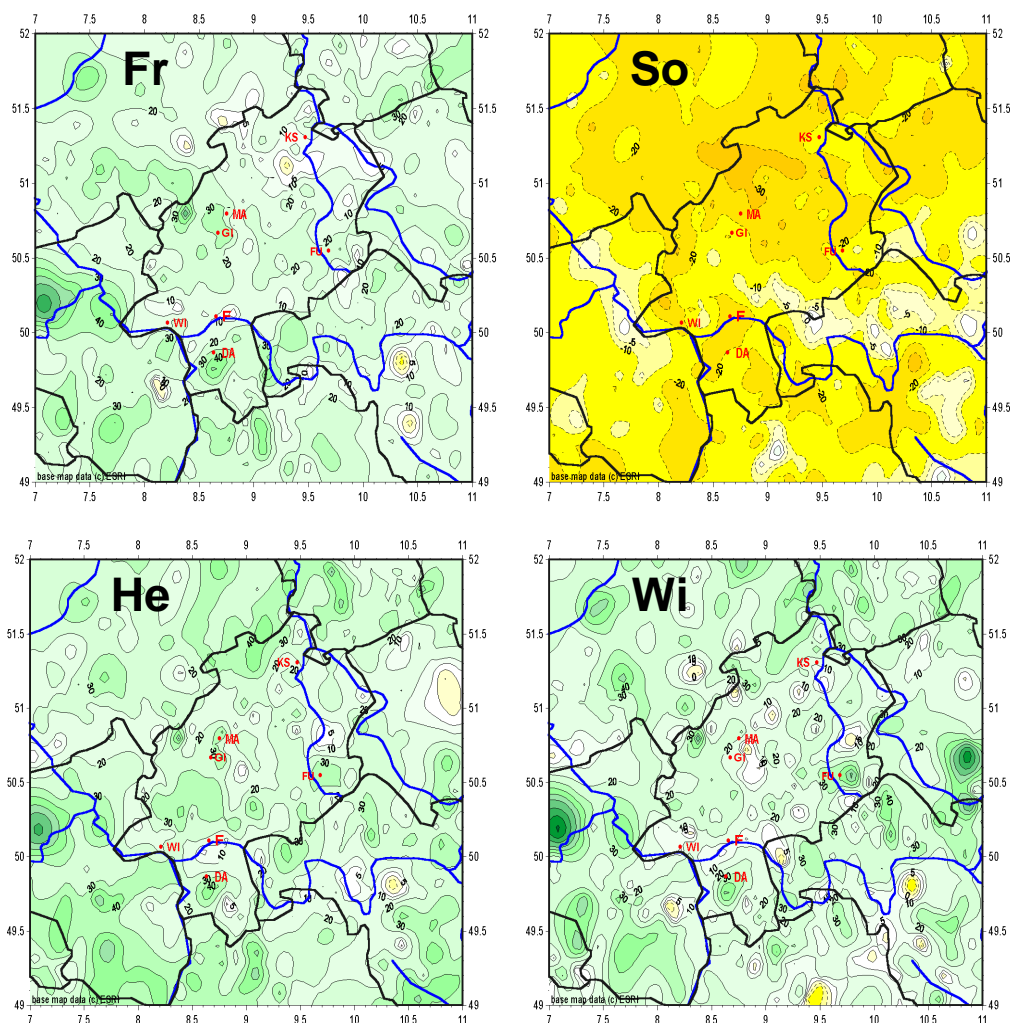


Abb. 3: Räumliche Verteilung der jahreszeitlichen Niederschlagstrends 1951-2000 in Hessen in Prozent. Zunahmen sind durch Grün-, Abnahmen durch Gelbtöne hervorgehoben.

Bei regionalen Differenzierungen ist für die Zeit 1951-2000 eine scharfe Zwei- bzw. Dreiteilung im Juli bemerkenswert: Abnahme bis über 30 % in Nordhessen, starke Zunahme bis über 50 % in Mittelhessen und eher moderate Zunahme (ca. 5-20 %) in Südhessen. Ebenfalls regional unterschiedlich, aber mit unsystematischer Verteilung der Zu- und Abnahme-Bereiche, bei überwiegender Zunahme, zeigen sich die Monate Januar, Februar, April, September und November. Im Mai lassen sich größere Bereiche mit Abnahmen auffinden, wobei im Hessensmittel die Zunahme gerade noch überwiegt, und im Juni ist die Abnahme flächendeckend, ähnlich wie im August, wenn auch nicht so extrem (Juni je nach Station ca. 0-30 %, August bis über 50 %).

Jahreszeitlich zusammengefasst, siehe Abb. 3, fällt wie in Tab. 2 der Sommer mit Niederschlagsabnahmen aus dem Rahmen, die sich regional zwischen ca. 5 % und 30 % bewegen. In den anderen Jahreszeiten treten fast nur Zunahmen in Erscheinung, und zwar zwischen ca. 0 % und 40 %. Bemerkenswert ist dabei die hochkomplizierte räumliche Struktur, die allerdings bei einem Klimaelement mit so ausgeprägter räumlicher Variabilität, wie es der Niederschlag ist, nicht überraschen kann.

Extremwert-Trends

Im Rahmen des Klimawandels sind außer den Trends der Mittelwerte auch Erkenntnisse darüber gefragt, ob diese Trends mit Veränderungen der Häufigkeit und somit Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Extremwerten verknüpft sind. Um dieser Frage nachzugehen, müssen an den einzelnen Stationen die Häufigkeitsverteilungen und ihre zeitlichen Änderungen betrachtet werden. Dank einer beim Auftragnehmer neu entwickelten Methode ist es möglich, solche Veränderungen im zeitlich kontinuierlichen Ablauf zu berechnen und dementsprechend auch die Veränderung der Eintrittswahrscheinlichkeit relativ hoher bzw. relativ niedriger Werte anzugeben. Bei den hier betrachteten Klimaelementen Temperatur und Niederschlag geht es dabei um extreme Kälte bzw. extreme Hitze sowie extreme Stark- bzw. extrem geringe Niederschläge.

In Abb. 4 ist diese Analysetechnik anhand des Beispiels der Jahresmitteltemperaturen 1901-2003 in Kassel veranschaulicht. Diese Daten folgen recht genau einer sog. Normalverteilung, die die Form einer symmetrischen Glockenkurve aufweist. In der Zeit 1901-2003 hat sie sich ohne signifikante Änderung der Streuung (anschaulich: Breite der Verteilung) systematisch zu wärmeren Werten hin verschoben (vgl. schwarze und grüne Kurve in Abb. 4). Da die Fläche unter der gesamten Kurve jeweils gleich 1 bzw. 100 % ist (Normierung), gibt die Fläche oberhalb beliebiger Werteintervalle an, mit welcher Wahrscheinlichkeit diese Werte zu erwarten sind. Für das in Abb. 4 gezeigte Beispiel Kassel bedeutet das, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Jahresmittelwerte unter 8 °C eintreten, von 23,6 % auf 3,9 % abgesunken, dagegen die Wahrscheinlichkeit der Werte oberhalb 10 °C von 1,8 % auf 14,5 % angestiegen ist.

Für ganz Hessen lässt sich in groben Zügen sagen, dass sich bei der Temperatur – da sich in diesem Fall, zumindest bei den Monatsdaten, die Streuung nicht systematisch geändert hat – im Extremverhalten die Trends widerspiegeln. Das heißt: Extrem kalte Jahreszeiten bzw. Monate werden seltener, extrem warme häufiger. Das gilt weitgehend für Frühling und Sommer. Im Winter ist das Verhalten insofern etwas anders, als bei den Tagesdaten die Eintrittswahrscheinlichkeit extrem kalter Tage nicht in dem Maß abgenommen wie sie für extrem warme Tage zugenommen hat. Der Herbst zeigt, vergleichbar den Trends, kaum eine Neigung zu Häufigkeitsänderungen von Extremereignissen.

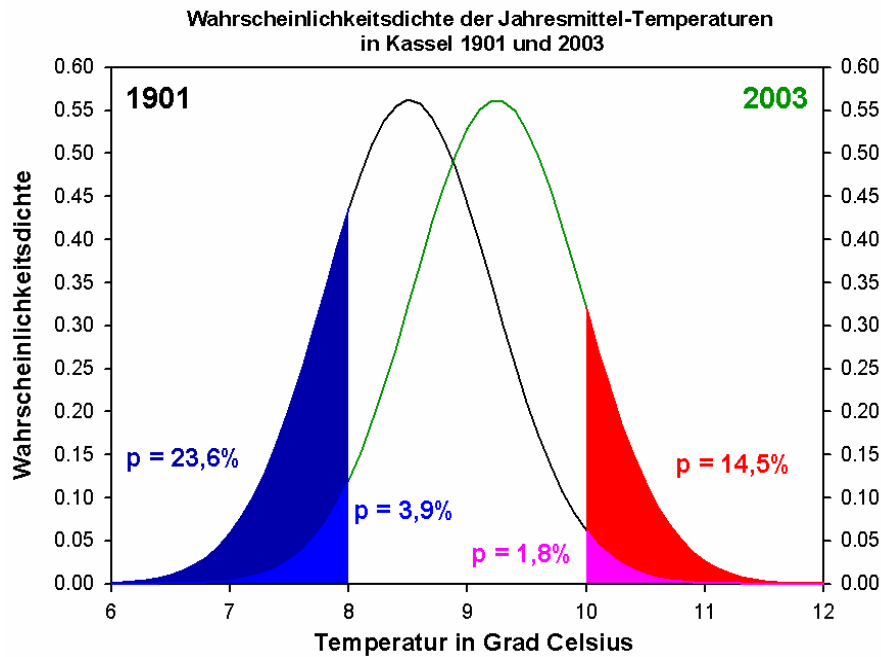


Abb. 4: Veränderung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens relativ hoher bzw. niedriger Werte der Jahresmitteltemperatur in Kassel in der Zeit zwischen 1901, schwarze Kurve, und 2003, grüne Kurve. Diese Kurve ist idealisierend (hier sog. Normalverteilung) an die Häufigkeitsverteilung der Beobachtungsdaten angepasst und gibt in normierter Form (d.h. die Fläche unter der gesamten Kurve beträgt 1 oder 100 %) an, mit welcher Wahrscheinlichkeit Daten in bestimmten Wertebereichen zu erwarten sind. Daher wird sie auch Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion genannt. Im vorliegenden Fall ist die Wahrscheinlichkeit, dass Jahresmittelwerte unter 8 °C eintreten, von 23,6 % (dunkelblaue Fläche) auf 3,9 % (hellblaue Fläche) abgesunken, dagegen die Wahrscheinlichkeit, dass Jahresmittelwerte über 10 °C eintreten, von 1,8 % (lila Fläche) auf 14,5 % (rote Fläche) angestiegen.

Abb. 5 bringt insofern ein Gegenbeispiel zu Abb. 4, als sich in diesem Fall zwar auch der Mittelwert, aber gleichzeitig außerdem die Streuung erhöht hat. Es handelt sich um die bei Limburg im Lahn-Einzugsgebiet an der Grenze zu Hessen gelegene Station Eppenrod, deren Winterniederschläge analysiert worden sind. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten sozusagen mittlerer Niederschläge abgenommen, für das Eintreten sowohl extrem hoher als auch extrem niedriger Niederschläge jedoch zugenommen hat. In diesem Beispiel ist die Wahrscheinlichkeit für Winterniederschläge von mehr als 300 mm von 1,1 % auf 24,6 % und somit enorm angestiegen, aber auch die Wahrscheinlichkeit für weniger als 100 mm, und zwar von 0,8 % auf 3,7 %. Es handelt sich somit um ein eklatantes Beispiel für ein in beiderlei Hinsicht extremer werdendes Klima.

Für ganz Hessen sind die Abnahme extrem feuchter Monate im Sommer und die Zunahme extrem feuchter Tage im Herbst und Winter am auffälligsten. Dabei neigt wie in Abb. 5 der Winter allgemein zu stärkerer Streuung, so dass die Wahrscheinlichkeit sowohl extrem trockener als auch extrem feuchter Tage bzw. Monate zunimmt, jeweils auf Kosten mittlerer Gegebenheiten. Im Sommer ist dagegen eher das Gegenteil feststellbar, das heißt, mittlere Gegebenheiten werden häufiger, aber zugleich auch extrem viel Niederschlag wesentlich seltener und extrem wenig Niederschlag etwas häufiger. Immer wieder fällt dabei der Monat August ins Auge, der auf dem Weg zu einem besonders extrem warm-trockenen Monat ist.

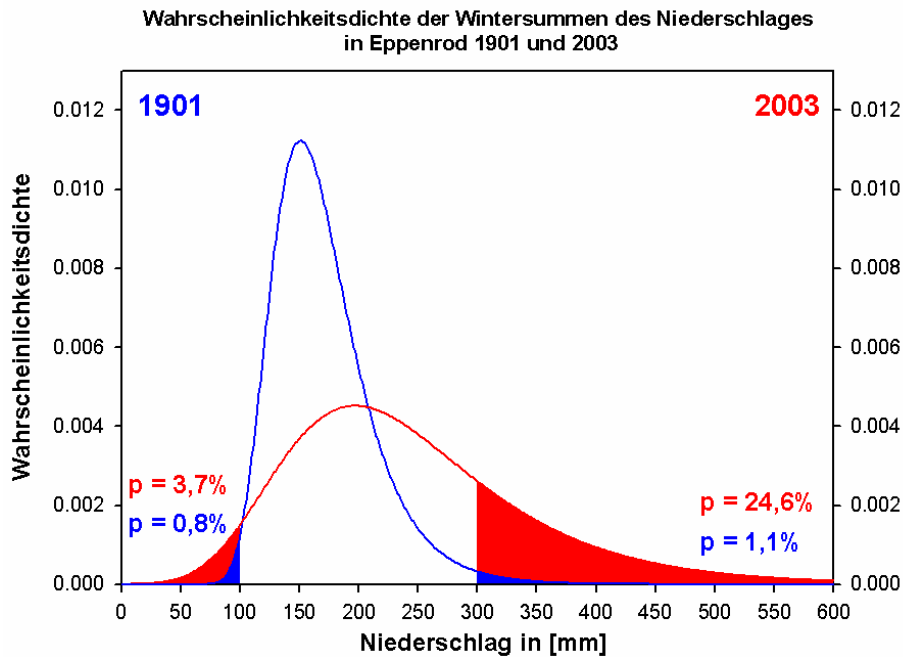


Abb. 5: Veränderung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens relativ hoher bzw. niedriger Werte des Winter-Niederschlags in Eppenrod (bei Limburg) in der Zeit zwischen 1901, blaue Kurve, und 2003, rote Kurve. Im Gegensatz zu Abb. 4 folgen diese Daten einer (asymmetrischen) Gumbel-Verteilung, die sich zwar auch zu höheren Werten hin verschoben hat, aber gleichzeitig „breiter“ geworden ist (Zunahme der Streuung). Daher hat sowohl die Wahrscheinlichkeit extrem hoher als auch extrem niedriger Werte zugenommen, und zwar oberhalb von 300 mm von 1,1 % auf 24,6 % und unterhalb von 100 mm von 0,8 % auf 3,7 %.

Wie drastisch zum Teil die Änderungen des Extremverhaltens sind, mögen zwei Beispiele belegen, die sich jeweils auf die Zeitspanne 1901-2001 beziehen und von einer so genannten Jährlichkeit von 100 Jahren ausgehen. Darunter versteht man Ereignisse, die im statistischen Mittel nur einmal innerhalb von 100 Jahren zu erwarten sind. So ist in Alsfeld (Mittelhessen) die Jährlichkeit für einen extrem feuchten Winter auf 5,6 Jahre zurückgegangen, d. h. nun ist er viel häufiger als zu der Zeit um 1900, nämlich im statistischen Mittel alle 5,6 Jahre, zu erwarten. Die entsprechende Jährlichkeit eines extrem feuchten Sommers in Bad Camberg (Taunus) ist dagegen so stark angestiegen, dass die Wahrscheinlichkeit dafür nun nahe Null ist.

Anzahl extremer Tage

Eine alternative Analyseverfahren, die in einem ergänzenden Projekt angewandt wurde, ist das Auszählen des Auftretens extremer Tage. Solche Tage sind bei der Temperatur beispielsweise Frosttage (Temperaturminimum unter 0 °C), Eistage (Temperaturmaximum unter 0 °C) oder Hitzetage (Temperaturmaximum über 30 °C), beim Niederschlag Trockentage (0 mm) oder Tage mit mehr als 20 oder 30 mm Niederschlag (oder Niederschlag oberhalb eines bestimmten Perzentilwertes).

Die mit dieser Zielsetzung gewonnenen Befunde bestätigen weitgehend die bereits genannten Ergebnisse der Trend- sowie allgemeinen Extremwertanalyse. So findet man im August eine systematische Zunahme der Hitzetage, vgl. dazu Beispiel Abb. 6 (oben), im Juli dagegen kaum und im Juni nur vereinzelt. Hand in Hand damit hat die Anzahl der Frost- und Eistage im Winter und Frühling abgenommen; besonders ausgeprägt ist das bei den Frosttagen im Frühjahr der Fall. Beim Niederschlag hat im Sommer, und dabei wiederum besonders im August, die Anzahl der Trockentage zu- (vgl. Beispiel Abb. 6, unten) und der Starkniederschlagstage abgenommen, während sich in den anderen Jahreszeiten, besonders auffällig im März, die Anzahl der Tage mit extrem viel Niederschlag erhöht hat.

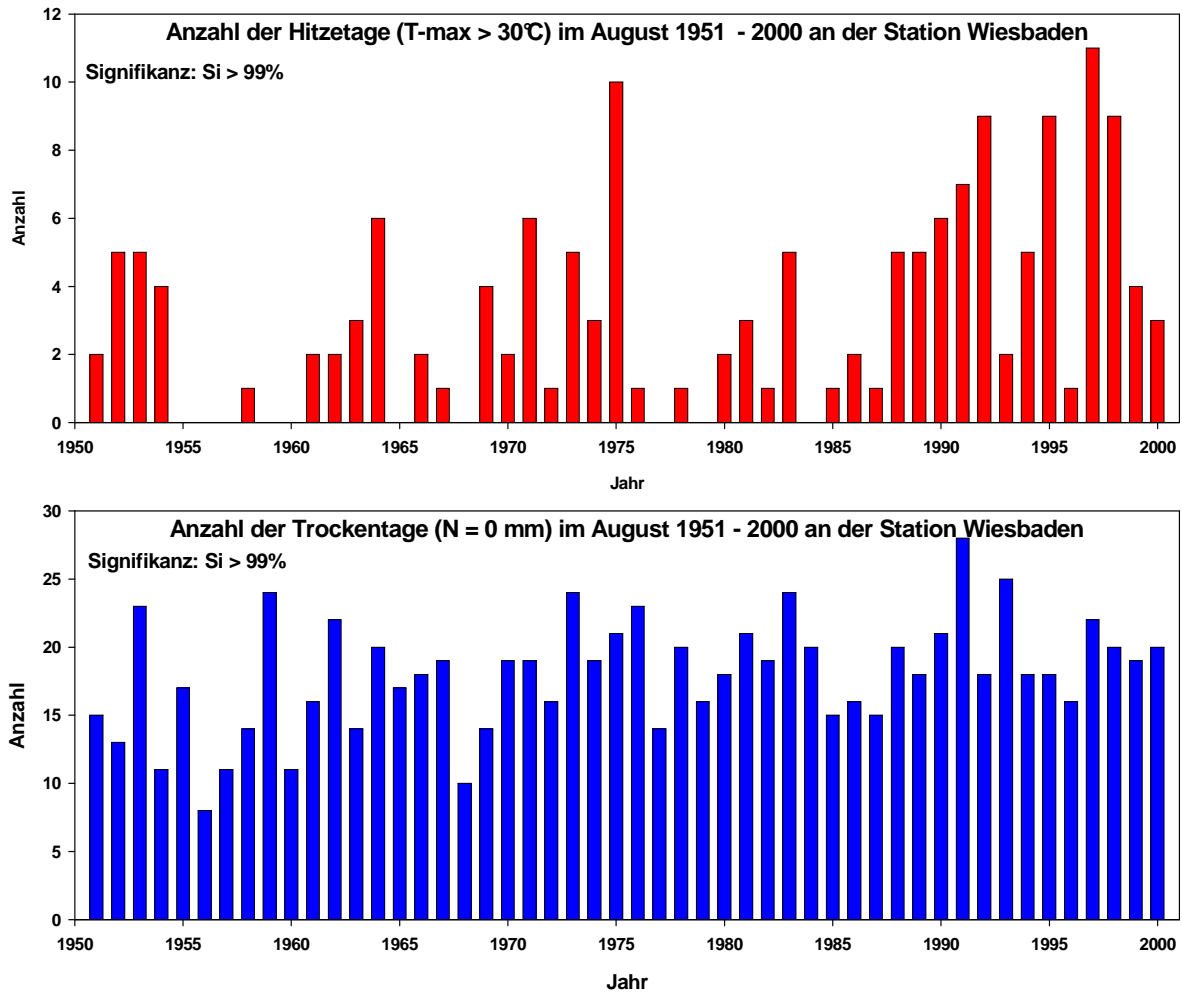


Abb. 6: Oben Anzahl der Hitzetage (Temperaturmaximum über 30 °C) im August 1951-2000 an der Station Wiesbaden, unten entsprechend Anzahl der Trockentage. Man erkennt in beiden Fällen einen ansteigenden Trend, der sich mit einer Signifikanz von über 99 % statistisch besser absichern lässt als es bei der bloßen Betrachtung der Abbildung den Anschein hat.

Gerade hinsichtlich der Auswirkungen ist nun nicht nur das Auftreten solcher extremer Tage von Interesse, sondern auch die zeitliche Abfolge. So sind beispielsweise Trockentage für die Landwirtschaft und den Wald weitaus folgenschwerer, wenn sie in einer relativ langen ununterbrochenen Sequenz auftreten statt mehr oder weniger regelmäßig im Wechsel mit Niederschlagstagen. Ein wichtiges Ergebnis dieser Betrachtung ist nun, dass im Sommer eine Tendenz zur „Clusterung“ der Trockentage besteht, also ein zunehmend gehäuftes Auftreten und dass dabei auch die Länge solcher Trockenperioden zunimmt, insbesondere im August, während in den anderen Jahreszeiten eher das Gegenteil der Fall ist. Eine Zunahme der „Clusterung“ von Starkniederschlagstagen ist vor allem im März, Oktober und Dezember feststellbar.

Das Temperaturverhalten spiegelt weitgehend die bereits geschilderten Effekte der Erwärmung wider. Dabei treten die auffälligsten Abnahmen der „Clusterung“ bei den Frosttagen (Winter) bzw. Eistagen (Januar und Februar) und die auffälligsten Zunahmen bei den sommerlichen Sommertage-Clustern (Maximum-Temperatur über 25 °C) in Erscheinung, im August auch bei den Hitzetagen.

Ursachenanalyse

Analysen zur Verursachung des in Hessen beobachteten Klimawandels sind in diesem Projekt nur sehr randständig durchgeführt worden, weil diesem Problem eher unter globalen Aspekten und mit Hilfe aufwendiger Klimamodelle nachgegangen werden muss, in denen auf physikalischer bzw. physikochemischer Basis die Effekte sowohl natürlicher als auch anthropogener Einflüsse auf das Klima simuliert werden (zum anthropogenen Einfluss vgl. Klima-Prognose der Firma Meteo-Research, Kapitel 2.2.). Zudem hat sich die Arbeitsgruppe des Auftragnehmers in einem umfangreichen, vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten Projekt (Abschlussbericht 2000) mit der Frage beschäftigt, ob es möglich ist, allein aufgrund der Analyse von Beobachtungsdaten natürliche und anthropogene Effekte im Klimageschehen zu trennen und somit den Anteil zu erkennen, der auf den Klimafaktor Mensch zurückgeht. Damit ist vor allem der Ausstoß von klimawirksamen Spurengasen wie CO₂ (primär aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger und Waldrodungen) usw. gemeint (anthropogener „Treibhauseffekt“).

Empirisch, somit rückblickend, und mit Hilfe statistischer Methoden lässt sich nun zeigen, dass zeitliche und räumliche Ähnlichkeiten zwischen potentiellen Einflussgrößen wie Sonnenaktivität, Vulkanismus, Zirkulationsvorgängen wie der für Europa wichtigen Nordatlantik-Oszillation NAO (damit wird die Luftdruckkonstellation über dem Nordatlantik gekennzeichnet, die für die nach Europa gerichtete Strömungskomponente entscheidend ist) und eben auch dem anthropogenen „Treibhauseffekt“ einerseits sowie Klimaelementen wie insbesondere der Lufttemperatur andererseits Abschätzungen darüber erlauben, in welchem Ausmaß diese Einflüsse bisher das Klima gesteuert haben (Korrelations- und Regressionsrechnungen, aber auch aufwendigere Techniken). Im oben genannten UBA-Projekt konnte gezeigt werden, dass dies am besten mit Blick auf die globale gemittelte Lufttemperatur gelingt, wobei 80 % der beobachteten Temperaturvarianz durch solche Einflüsse erklärbar sind, davon 60 % durch den anthropogenen „Treibhauseffekt“. Dieser anthropogene Anteil ist durch eine langfristige Trendstruktur charakterisiert. Generell werden die erklärbaren Varianzanteile umso geringer, je kleinräumiger die Betrachtungen sind, und verschwinden fast völlig beim Niederschlag.

Trotzdem lag es nahe, diese empirisch-statistische Analysetechnik zumindest auch auf einige in Hessen beobachtete lange Temperaturreihen anzuwenden, so beispielsweise auch auf die Reihe der Frankfurter Temperaturjahresmittelwerte 1885-2003. Als Resultat ergibt sich, dass darin der anthropogene „Treibhauseffekt“ mit einem Variationsanteil von rund 39 % entdeckbar ist, während es alle natürlichen Einflüsse zusammen auf rund 32 % bringen. Die Abb. 7 zeigt den zeitlichen Verlauf der zugehörigen Signale, d. h. der Temperatureffekte, die sich aufgrund der jeweils erklärten Varianz bestimmten einzelnen Einflussfaktoren zuordnen lassen. Offenbar ist die durch die Treibhausgase (engl. greenhouse gases, GHG) erklärte Varianz, ähnlich wie bei der globalen Mitteltemperatur, praktisch allein in einem Erwärmungstrend realisiert, der rund 1,5 °C beträgt.

Der tatsächlich beobachtete Trend ist deswegen etwas geringer, weil zeitweise auch eine anthropogene Abkühlung durch Sulfatpartikel eingetreten ist, die auf Schwefeldioxid-Emissionen zurückgeht, und auch die Frankfurter „städtische Wärmeinsel“ nicht vernachlässigt werden darf, die einen Trendbeitrag von ungefähr 0,2-0,3 °C geliefert haben dürfte. Obwohl die im Detail weitaus kompliziertere Problematik hier nur angedeutet werden kann, lässt sich doch sagen, dass zumindest in der Temperaturentwicklung von Hessen somit auch ein erheblicher globaler Anteil enthalten ist, der sich dem Klimafaktor Mensch zuschreiben lässt.

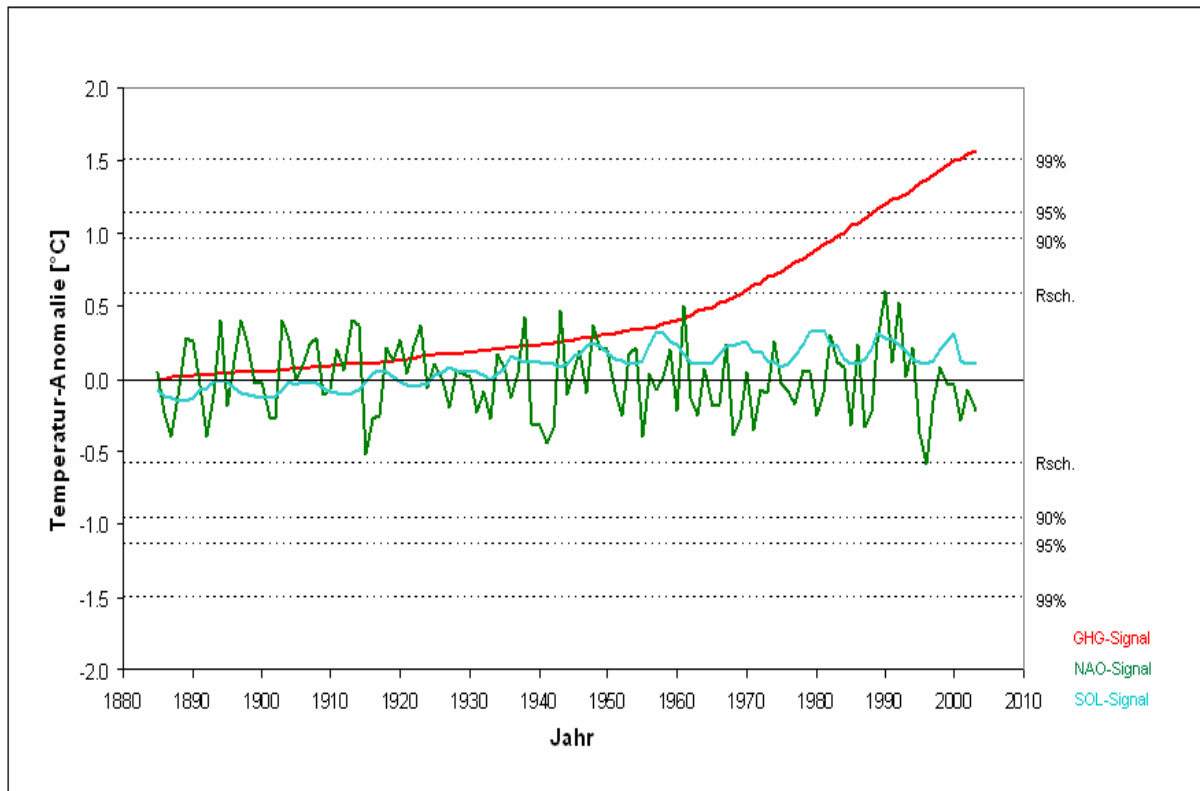


Abb. 7: Temperaturvariationen, sog. Signale, der Frankfurter Temperaturreihe 1885-2003 (vgl. Abb. 1), die sich aufgrund einer statistischen Analyse auf die Einflussgrößen Sonnenaktivität (SOL, hellblau), Nordatlantik-Oszillation (NAO, grün) und den anthropogenen „Treibhauseffekt“ (greenhouse gases, GHG, rot) zurückführen lassen. Die gestrichelten Linien markieren die Signifikanzgrenzen gegenüber zufälliger Variabilität (sog. Zufallsrauschen). Demnach ist der anthropogen bedingte Temperaturanstieg (rote Kurve) seit etwa 1980 mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % und neuerdings sogar mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % realistisch und kein zufälliger Artefakt der statistischen Analyse.

Vergleich von Klimanalyse und Klimaprognose

Vergleicht man unter dieser Prämisse, das heißt, dass in den Beobachtungsdaten der Vergangenheit bereits ein erheblicher Anteil menschlicher Beeinflussung realisiert ist, die daraus abgeleiteten Trends mit Modellprojektionen in die Zukunft (gemeint ist hier wiederum das oben zitierte Projekt der Firma Meteo-Research), die aufgrund von Szenarien genau von einem solchen Einfluss ausgehen (allerdings nur von diesem Einfluss, was die Vergleichbarkeit wieder einschränkt), so lässt sich sagen: Bei der Temperatur ist auf Jahreszeitenbasis die Übereinstimmung sehr gut, so dass auch in Zukunft die stärkste Erwärmung im Winter und die geringste im Herbst erwartet werden kann. Ähnliches gilt für die winterliche Niederschlagszunahme, während die sommerliche Niederschlagsabnahme mit Blick auf die Beobachtungen der Vergangenheit noch deutlich stärker ausfallen könnte als derzeit aufgrund von Klimamodellrechnungen und daraus abgeleiteten Regionalprognosen erwartet wird. Dagegen stehen sich im Frühling und Herbst in Modellprojektionen erwartete Niederschlagsabnahmen und in den Beobachtungen der Vergangenheit festgestellte Zunahmen gegenüber. Daher besteht bei der künftigen Niederschlagsentwicklung in diesen Übergangsjahreszeiten eine besondere Unsicherheit.

Ausblick

Die bisher beobachteten Klimaänderungen, die im Gegensatz zu Zukunftsprojektionen immerhin gesicherte Fakten sind, können dazu dienen, sowohl die Auswirkungen dieser Änderungen eingehender zu untersuchen als auch sich bei Anpassungsstrategien daran zu orientieren. Im Vergleich mit Zukunftsprojektionen, die möglichst auf unterschiedlichen Szenarien und unterschiedlichen Klimamodellrechnungen beruhen sollten, lässt sich – wenn auch mit einiger Vorsicht – abschätzen, welche dieser Projektionen und in welchen Teilbereichen relativ zuverlässig sind bzw. wo besondere Unsicherheiten bestehen. Aus Sicht der Klimamodellrechnungen sollten sich solche Unsicherheiten durch die Nutzung alternativer Szenarien der Emission von Treibhausgasen und verschiedener Modellvarianten abbauen lassen. Zudem sollte ein ständiges und genaues Klima-Monitoring, d. h. eine laufend aktualisierte Erfassung und Analyse der Klima-Beobachtungsdaten, zu weiterem Erkenntnisgewinn verhelfen.