

Citation: Foelsche, U.: Regionale Entwicklung und Auswirkungen extremer Wetterereignisse am Beispiel Österreich, in: Extreme Wetterereignisse - Auswirkungen und Auswege für betroffene österreichische Wirtschaftssektoren (K. Steininger, C. Steinreiber, C. Ritz, eds.), Springer, Berlin-Heidelberg, 25–39, 2004.

3 Regionale Entwicklung und Auswirkungen extremer Wetterereignisse am Beispiel Österreich

Ulrich Foelsche

Institut für Geophysik, Astrophysik und Meteorologie, Universität Graz

3.1 Einleitung

Eine möglichst breite Definition des Begriffes „Extremereignis“ könnte folgendermaßen aussehen: Extremereignisse sind Ereignisse, die stark vom Durchschnitt abweichen und dadurch außergewöhnlich sind. Es hängt nun von der konkreten Anwendung ab, wie stark diese Abweichung tatsächlich sein muss, um ein Ereignis als extrem einzustufen.

Extreme Wetterereignisse sind von besonderer Bedeutung, da sie große Schäden verursachen können. Theoretische Überlegungen und Ergebnisse von Simulationen mit Klimamodellen lassen befürchten, dass es im Zuge des aktuellen Klimawandels zu einer deutlichen Zunahme von Extremereignissen kommen könnte. Es gibt auch erste Anzeichen dafür, dass es in den letzten Jahrzehnten schon dazu gekommen ist.

Extremereignisse sind aber andererseits ein ungeeigneter Indikator für den Klimawandel. Aufgrund ihres unregelmäßigen Auftretens kann ein Trend erst dann statistisch signifikant nachgewiesen werden, wenn das für die Mittelwerte schon längst der Fall war. Eine zufällige Häufung von Extremereignissen am Beginn oder am Ende der Messreihe kann darüber hinaus einen Trend vortäuschen, den es gar nicht gibt (OcCC 2003).

Dieses Kapitel beschäftigt sich zuerst – ergänzend zum Kap. 2 – mit der Definition von Extremereignissen. Darauf folgen theoretische Überlegungen und eine Bestandsaufnahme bezüglich beobachteter und erwarteter Änderungen von Extremereignissen weltweit bzw. für Österreich.

Der Anhang zeigt – anhand des derzeitigen Aufbaus des Dateninformationssystems MEDEA in Österreich – die Möglichkeit und Notwendigkeit für die Extremwetterforschung, neue Datensicherungs- und Auswertungsmöglichkeiten zu schaffen.

3.2 Extreme Wetter- und Klimaereignisse

Das „Klima“ an einem bestimmten Ort soll, per Definition, den durchschnittlichen Zustand der Atmosphäre und die von diesem zu erwartenden Abweichungen beschreiben. Zur Klima-Klassifikation werden daher in erster Linie statistische Mittelwerte von „Klimaelementen“ wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, oder Niederschlag über einen langen Zeitraum (meist 30 Jahre) herangezogen („effektive Klima-Klassifikation“). Dabei wird davon ausgegangen, dass diese arithmetischen Mittelwerte den typischen Zustand möglichst gut repräsentieren. Bei Niederschlägen, die oft räumlich sehr unregelmäßig verteilt sind, reichen allerdings nicht einmal 30 Jahre Beobachtung aus, um ein vollständig repräsentatives Bild der typischen Verhältnisse zu erlangen.

Neben dem Mittelwert ist auch die natürliche Schwankung der Klimaelemente (ausgedrückt durch die Varianz bzw. die Standardabweichung) eine wichtige Kenngröße, da sie Rückschlüsse darüber erlaubt, wie weit beobachtete Werte unter „normalen“ Bedingungen von diesen Mittelwerten abweichen „dürfen“. Als Bezugspunkt dienen hier meist die 30-jährigen so genannten „Normalperioden“, aktuellere Arbeiten beziehen sich fast immer auf die Normalperiode 1961-1990.

Der Begriff „Klima“ ist dadurch mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung möglicher Wetterereignisse verknüpft. Je mehr die Werte der betreffenden Klimaelemente während eines Wetterereignisses vom Mittelwert abweichen, desto weniger wahrscheinlich ist das Ereignis (s. dazu auch Kap. 2). Die außergewöhnlichsten, d.h. im statistischen Sinne am wenigsten wahrscheinlichen Wetterereignisse bezeichnet man als Wetterextreme. Analoges gilt für Witterungs- und Klimaextreme, die sich auf Ereignisse von zunehmender Dauer beziehen. Häufig wird ein Wetterereignis als extrem bewertet, wenn die Werte des betreffenden Klimaelementes jeweils zumindest so groß wie das 90. Perzentil bzw. zumindest so klein wie das 10. Perzentil sind (z.B. im Glossar des IPCC 2001). Nach dieser eher „schwachen“ Definition wären z.B. bei Betrachtung der Jahresmitteltemperatur die zehn wärmsten und die zehn kältesten Jahre eines Jahrhunderts extreme Ereignisse. In vielen Fällen werden aber auch erst wesentlich seltenere Ereignisse als „extrem“ eingestuft (z.B. 1. bzw. 99. Perzentil).

Verfügt man über längere Zeitreihen von Klimaelementen, so kann damit also die Seltenheit eines Ereignisses quantifiziert werden. Eine häufig verwendete alternative Darstellungsweise ist die „Jährlichkeit“ von Ereignissen. Ein Ereignis, das statistisch betrachtet im Mittel alle 10 Jahre zu erwarten ist, hat eine Jährlichkeit von 10 Jahren. Ein „Jahrtausendereignis“ ist statistisch betrachtet alle 1000 Jahre zu erwarten.

Es ist zu beachten, dass die Charakterisierung als Extremwert immer nur für eine bestimmte Region gilt. Ein Wetterereignis, das in einer Region als extrem eingestuft wird, kann in einer anderen Region ganz normal sein. Der mittlere Jahresniederschlag am Mt. Waialeale auf der Insel Kauai (Hawaii) von über 11 m wäre z.B. an fast allen anderen Stationen der Welt (zumindest) ein Jahrtausendereignis.

3.3 Beobachtete Wetterextreme in Österreich und in der Welt

Österreich liegt in einer Region mit gemäßigttem Klima. Daher sind auch die Wetterextreme, die in Österreich beobachtet werden, selten rekordverdächtig, wenn man sie mit weltweiten Extremen vergleicht. Da sich aber Natur und Gesellschaft jeweils an die regional herrschenden Verhältnisse angepasst haben, sind große Abweichungen von den Mittelwerten oft mit negativen Auswirkungen für Natur und Mensch verknüpft, auch wenn diese Wetterextreme woanders vielleicht gar keine wären.

Für alle, die im (extremen) Sommer 2003 unter den hohen Temperaturen gelitten haben (z.B. in Graz im Mittel 22,2°C), wird es daher nur ein schwacher Trost sein, dass in Dallol (Äthiopien) von 1960 bis 1966 eine Durchschnittstemperatur von 34,6°C gemessen wurde. Wenn auch im Sommer 2003 in Österreich viele Temperaturrekorde gefallen sind, fällt aber andererseits auf, dass einige absolute Maxima schon länger zurückliegen. In Dellach im Drautal wurde beispielsweise am 27. Juli 1983 mit 39,7 °C die bisher höchste Temperatur in Österreich gemessen. In Klagenfurt und Graz stammen die absoluten Temperaturrekorde sogar noch aus dem Jahr 1950.

Auch Dürreperioden in Österreich würden in anderen Weltregionen kaum als solche bezeichnet werden. In Iquique (Chile) fielen z.B. von November 1945 bis Mai 1957 genau 0,0 mm Niederschlag. Aber auch dieser Vergleich hilft betroffenen österreichischen Landwirten natürlich nicht, da die Landwirtschaft in weiten Teilen Österreichs (noch) nicht auf längerfristige zusätzliche Bewässerung eingestellt ist.

Beim maximalen 24h Schneefall kommt Österreich mit 170 cm (in Sillian, am 31. Jänner 1986) sogar nahe an das globale Maximum von 193 cm (in Silverlake, Colorado am 14. April 1921) heran. Auch hier gilt allerdings, wie bei vielen anderen Wetterextremen, dass nicht überall Klimastationen stehen, wo Rekordwerte zu erwarten sind. Als Beispiel hierfür können die Tiefsttemperaturen in Österreich dienen. In Zwettl fielen sie am 11. Februar 1929 auf -36,6°C, am Gipfel des Sonnblicks waren es einmal

$-37,2^{\circ}\text{C}$ (am 1. Jänner 1905). In einer Doline auf der Gstettner Alm bei Lunz (wo es keine permanente Station gibt) wurden dagegen im Spätwinter 1932 sogar $-52,6^{\circ}\text{C}$ gemessen.

3.4 Änderung von Wetterextremen durch Klimaänderung: Theorie

Eine relativ kleine Änderung des Mittelwertes kann zu einer starken Zunahme von Extremen führen. Dies soll – schematisch – anhand von Abb. 3.1 am Beispiel der Temperatur dargestellt werden. Hier sei der Einfachheit halber unterstellt, dass die Verteilung der Temperaturen einer Normalverteilung gehorcht.

Wenn wir davon ausgehen, dass das Klima durch die Verteilung der Temperaturwerte bestimmt wird, dann gibt es drei mögliche Wege der Klimaänderung:

- (1) Verschiebung des Mittelwertes bei gleichbleibender Varianz
- (2) Veränderung der Varianz bei gleichbleibendem Mittelwert
- (3) Verschiebung des Mittelwertes und Veränderung der Varianz

Abb. 3.1a zeigt den Effekt der Zunahme des Mittelwertes bei gleichbleibender Varianz (Breite der Glockenkurve). Im alten Klimazustand gab es eine gewisse Zahl von extrem kalten Tagen (hellgraue Fläche unter dem linken Teil der strichlierten Kurve) und eine (in diesem Fall gleich große) Zahl von extrem heißen Tagen (hellgraue Fläche unter dem rechten Teil der strichlierten Kurve).

Eine Zunahme des Mittelwertes (Verschiebung der Kurve nach rechts) führt dazu, dass die extrem kalten Temperaturen sehr selten werden, während sich die extrem hohen Temperaturen häufen (dunkel- und hellgraue Fläche unter dem rechten Teil der durchgezogenen Linie). Eine Zunahme der Varianz bei gleichbleibendem Mittelwert führt dazu, dass extrem kalte und extrem warme Tage häufiger werden (Abb. 3.1b). Bei einer Zunahme von Mittelwert und Varianz (Abb. 3.1c) ändert sich bei den extrem niedrigen Temperaturen relativ wenig, die extrem hohen Temperaturen werden aber noch häufiger als in den beiden anderen Fällen.

Als Beispiel dazu möchte ich die sog. „Tropentage“ anführen. In mittleren Breiten, wie z.B. in Mitteleuropa, sind sie ein guter Indikator für extrem hohe Temperaturen. Dabei handelt es sich um Tage, an denen ein Temperaturmaximum von mindestens 30°C erreicht wird. In Graz wurden beispielsweise in der Normalperiode 1961-1990 im Mittel 3,7 solche Tropentage pro Jahr beobachtet.

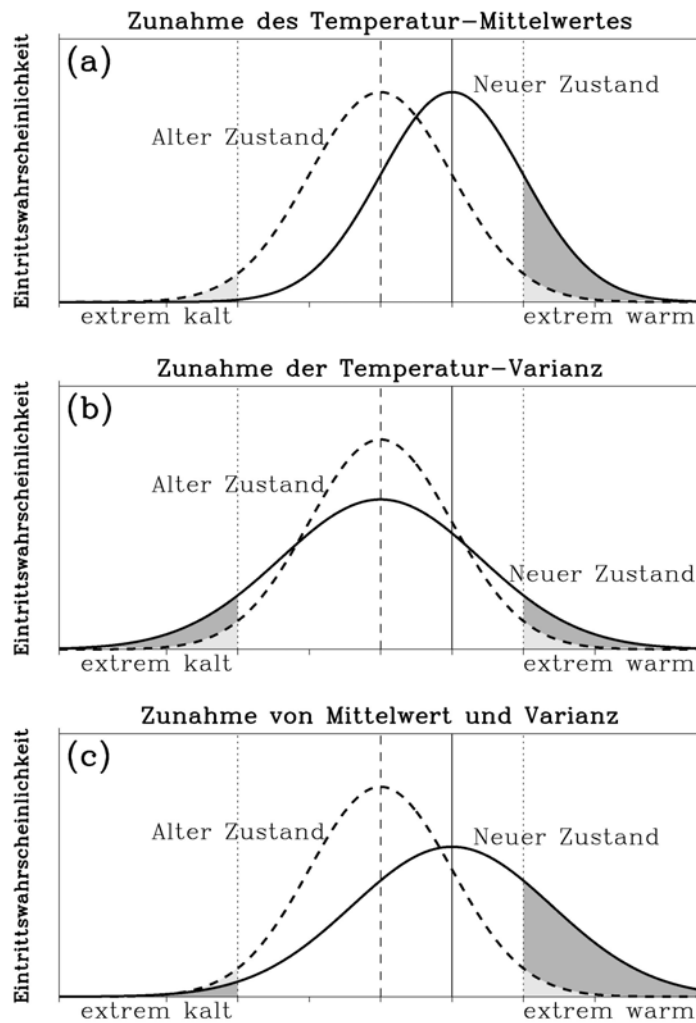


Abb. 3.1. Änderung von Extremwerten einer Verteilung durch: (a) Änderung des Mittelwertes, (b) der Varianz, (c) von Mittelwert und Varianz

Man kann in diesem Fall also von (relativ) seltenen Ereignissen sprechen. Im Jahr 2003 waren es dagegen 41 Tropentage, 38 davon im meteorologischen Sommer (Juni bis August) und drei schon Anfang Mai. Durch die Verschiebung der Verteilung zu höheren Temperaturen hat sich die Anzahl der extrem heißen Tage verzehnfacht.

Aus theoretischen Überlegungen muss in einem heißeren Klima auch (wenigstens prinzipiell) mit heftigeren Niederschlagsereignissen gerechnet

werden, da aufgrund der exponentiellen Zunahme des Sättigungsdampfdrucks mit zunehmender Temperatur mehr Wasserdampf in der Atmosphäre vorhanden ist, der für Niederschläge zur Verfügung stehen kann. Auch im heutigen Klima ist es so, dass in Regionen mit höheren Temperaturen tendenziell mehr Niederschlag in intensiven und extremen Niederschlagsereignissen fällt (Karl u. Trenberth 2003). In Modellrechnungen tritt dieser Sachverhalt auch für das zukünftige Klima bei steigenden Temperaturen deutlich auf (z.B. Semenov u. Bengtsson 2002).

3.5 Beobachtete Änderung von Wetterextremen in Österreich

Die mittleren Temperaturen in Österreich sind seit 1900 um etwa 1,3°C gestiegen (Böhm et al. 2001). Dieser Wert, der auch für den gesamten Alpenraum repräsentativ ist, ist doppelt so groß wie der für den Anstieg der globalen Mitteltemperatur im gleichen Zeitraum (IPCC 2001). Dieser wesentlich höhere Wert ist z. T. darauf zurückzuführen, dass die Temperaturen über den Kontinenten generell stärker gestiegen sind als über den Ozeanen. Darüber hinaus scheinen Bergregionen generell empfindlicher auf Klimaänderungen zu reagieren. Man muss wohl davon ausgehen, dass sich auch prognostizierte Erhöhungen der Weltmitteltemperatur in Österreich entsprechend stärker bemerkbar machen werden.

Im gleichen Zeitraum ist im Süden und Osten Österreichs eine signifikante Abnahme der Jahresniederschläge festzustellen, während im Westen und Norden keine eindeutigen Änderungen nachweisbar sind (Auer et al. 2001).

Bei der Frage nach einer Änderung von Wetterextremen im gleichen Zeitraum stehen wir allerdings vor einem Problem: Das Archiv mit den Tagesdaten fast aller österreichischer Stationen wurde im 2. Weltkrieg zerstört, sodass die täglichen Aufzeichnungen i. A. erst nach 1948 beginnen. Für die Analyse stehen daher nur etwa 50 Jahre zur Verfügung.

Zur Illustration des Problems können die Niederschläge in Graz im August 2003 dienen. In Graz fallen im August im langjährigen Mittel 112 mm Niederschlag. 2003 waren es bis zum 28. August gerade einmal 13 mm. An den letzten drei Augusttagen fielen dann aber genau 100 mm. In Summe also ein ganz normaler August, und genau das würde man ohne Analyse der Tagesdaten sehen. Tatsächlich gab es aber eine längere Trockenperiode und dann heftige Niederschläge innerhalb kurzer Zeit, also Verhältnisse, die z.B. für die Landwirtschaft ausgesprochen ungünstig sind.

In Graz ist der Standort der Klimastation seit 1891 praktisch unverändert. Mit der Ausnahme einiger Wochen im Jahr 1945 gibt es auch für den gesamten Zeitraum tägliche Aufzeichnungen. Anhand des Beispiels der Tropentage (Abb. 3.2) sieht man deutlich, dass es sogar für vergleichsweise häufige Extremereignisse nicht ausreicht, eine Periode von wenigen Jahrzehnten zu untersuchen. Betrachtet man hier die Entwicklung der letzten 50 Jahre, so scheint die Schlussfolgerung eindeutig: Die Zahl der heißen Tage steigt unaufhaltsam. Eine Analyse der (gezielt ausgewählten) Periode 1947 bis 1978 würde ein genau entgegengesetztes Bild liefern. Im Jahr 1950 wurde übrigens mit $37,1^{\circ}\text{C}$ die bisher höchste Temperatur in Graz gemessen. Hier ist außerdem zu beachten, dass zu dieser Zeit der „städtische Wärmeineffekt“ noch schwächer ausgeprägt war als heute.

Auch beim Betrachten der Zeitreihe ab 1891 könnte sich, aufgrund der niedrigen Werte am Beginn, die falsche Vermutung aufdrängen, dass die Temperaturmaxima in der Zeit davor wohl noch niedriger waren. Nur zwei Klimastationen in Österreich (Kremsmünster und Wien) verfügen über verlässliche Zeitreihen, die bis zum Sommer des Jahres 1811 zurückreichen, der bis 2003 der heißeste „seit Beginn der Messungen“ war.

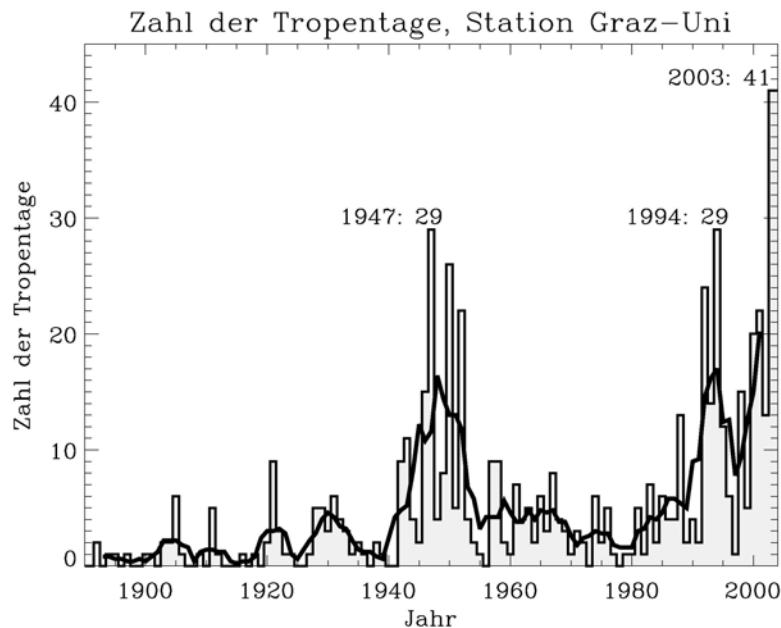


Abb. 3.2. Zahl der Tropentage pro Jahr ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) an der Klimastation Graz-Universität. Graue Balken: Werte für das jeweilige Jahr, dicke Linie: 5-jähriges gleitendes Mittel

Noch wesentlich schwieriger ist die Situation bei extremen Starkniederschlägen, die in Österreich häufig auf Sommergewitter zurückzuführen sind. Diese Ereignisse sind oft lokal so begrenzt, dass sie auch in einem dichten Messnetz häufig nicht ausreichend erfasst werden.

Als (lokales) Beispiel sei hier der Wolkenbruch vom 16. Juli 1913 im Stiftingtal bei Graz erwähnt. Dieser Gewitterregen verursachte innerhalb von etwa drei Stunden starke Schäden, die mit den an der nur wenige Kilometer entfernten Station Graz-Uni gemessenen 78 mm nicht zu erklären waren. Anhand von Fässern und anderen Gefäßen die zufällig im Freien standen, wurde für das Gewitterzentrum eine Niederschlagsmenge von bis zu 670 mm rekonstruiert (Forchheimer 1913). Auch ein ähnlich hoher rekonstruierter Wert vom 10. August 1915 aus Schaueregg am Wechsel (Wakonigg 1978, S. 255f) übersteigt bei weitem die größte 24h Niederschlagsmenge, die je in Österreich an einer Klimastation gemessen wurde: 336 mm, am 31. August 1910 in Dornbirn. Wir können also davon ausgehen, dass die wirklich extremen Niederschlagsereignisse nur mit geringer Wahrscheinlichkeit überhaupt von einer Messstation erfasst werden.

Gerade bei Niederschlägen richtet sich das Augenmerk der Öffentlichkeit oft auf so genannte „Jahrhundertereignisse“. Von einem „Jahrhundertereignis“ darf man erwarten, dass es – bei unverändertem Klima – im Mittel über viele Jahrhunderte einmal pro Jahrhundert eintritt. Wie nun tatsächlich ein „Jahrhundertereignis“ aussieht, kann aufgrund der vergleichsweise kurzen Datenreihen nicht aus den Daten selbst ermittelt werden. Es kann nur basierend auf der Verteilung der weniger seltenen Ereignisse mittels Annahmen über die Form des Schweifs der Verteilung abgeschätzt werden. Es ist daher auch praktisch aussichtslos anhand von „Jahrhundertereignissen“ Klimawandel nachzuweisen (wenn man nicht viele Jahrhunderte beobachtet hat).

Wenn man ausschließlich die ganz seltenen Ereignisse betrachtet, könnte man sogar trotz „Jahrhunderthochwasser“ im Sommer 2002 zu dem Schluss kommen, dass die extremen Niederschlagsereignisse in Österreich seltener geworden sind. Bei der Frage nach einer Zu- oder Abnahme von extremen Niederschlagsereignissen muss man sich daher auf weniger extreme Ereignisse (z.B. mit einer Jährlichkeit von 10 Jahren) konzentrieren, auch wenn diese weniger medienwirksam sind.

Weitere detaillierte Informationen über ausgewählte extreme Wetterereignisse in Österreich findet man auf der Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien (<http://www.zamg.ac.at/>).

3.6 Der Sommer 2003 in Europa als Beispiel für ein extremes Witterungsereignis

In Österreich, und in weiten Teilen Europas, war der Sommer des Jahres 2003 der heißeste seit Beginn der Messungen, die z.B. in Österreich bis ins Jahr 1768 zurückreichen. In Europa, und hier besonders in Frankreich, forderte die Hitzewelle über 20.000 Todesopfer (WMO 2004).

In Graz lagen die mittlere Sommertemperaturen mit $22,2^{\circ}\text{C}$ um $3,6^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Durchschnitt von 1961-1990 ($18,6^{\circ}\text{C}$). Es war also im Schnitt jeder einzelne Tag des Sommers um $3,6^{\circ}\text{C}$ zu warm. Da die natürliche Schwankung der Sommertemperaturen relativ klein ist, entspricht diese Temperaturanomale einer Abweichung von 4,1 Standardabweichungen gegenüber dem langjährigen Mittel. Unter der Annahme einer Normalverteilung würde das bedeuten, dass ein solcher Sommer in Graz eine Jährlichkeit von über 45.000 Jahren hat. Bezieht man die Temperaturanomale allerdings auf die Sommer Mitteltemperatur von 1991-2000, die mit $20,0^{\circ}\text{C}$ schon deutlich höher war, so verringert sich die Jährlichkeit drastisch auf 450 Jahre. Diese Zahlen müssen allerdings mit Vorsicht betrachtet werden, da die Annahme der Normalverteilung, die für Sommertemperaturen in der Nähe des Mittelwertes oft noch erstaunlich gut erfüllt ist (Schär et al. 2004), für extreme Ereignisse nur bedingte Gültigkeit hat. An diesem Beispiel sieht man aber wieder exemplarisch den Sachverhalt, der im Abschnitt 3.4 dargestellt wurde: eine Zunahme der Sommer-Mitteltemperatur um $1,4^{\circ}\text{C}$ erhöht die Eintrittswahrscheinlichkeit eines extremen Sommers um den Faktor ~ 100 .

Obwohl der Sommer 2003 vielfach der heißeste seit Beginn der Messungen war bedeutet das nicht, dass es auch der heißeste Sommer „seit Menschengedenken“ war. Regional hat es in den Jahrhunderten vor Beginn der Thermometermessungen immer wieder extrem heiße Sommer gegeben. In Mitteleuropa war der Sommer des Jahres 1540, das auch häufig als „Sonnenjahr“ bezeichnet wird, mit großer Wahrscheinlichkeit noch heißer und trockener als der Sommer 2003. Aus dieser Zeit gibt es natürlich keine Temperaturmessungen, das Ereignis ist aber das historisch am besten belegte des 16. Jahrhunderts (Pfister 1999). Ein „Klimazeuge“ dieses außergewöhnlichen Sommers ist der „Jahrtausendwein“ des Jahres 1540, für den eigene Prunkfässer gebaut wurden, und von dem heute noch einzelne Flaschen bestens gehütet werden (Glaser 2001, S. 108f). Sobald man aber ganz Europa betrachtet (Luterbacher et al. 2004), so ist der Sommer 2003 mit sehr großer Wahrscheinlichkeit der heißeste des gesamten Untersuchungszeitraumes, der in diesem Fall bis ins Jahr 1500 zurück reicht.

3.7 Beobachtete Änderung von Wetterextremen: weltweit

Hier stütze ich mich auf die Synthese der Ergebnisse des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2001) sowie auf die Arbeit von Easterling et al. (2000). Dabei ist zu beachten, dass sich viele Analysen nur auf die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts beziehen, da für die Zeit davor einfach zu wenig Daten für globale Analysen zur Verfügung stehen. Außerdem ist hervorzuheben, dass drei der vier weltweit wärmsten Jahre seit Beginn globaler Messungen in die Zeit nach Veröffentlichung des letzten IPCC-Berichtes fallen. Die wärmsten Jahre waren (in absteigender Reihenfolge): 1998, 2002, 2003 und 2001 (WMO 2004).

In weiten Teilen der Welt ist eine signifikante Abnahme extrem niedriger Temperaturen festzustellen. Dadurch sind die frostfreie Zeit und auch die Vegetationsperiode in zahlreichen Regionen mittlerer und hoher Breiten länger geworden. Auf der anderen Seite ist es auch zu einer Zunahme in der Häufigkeit von extrem hohen Temperaturen gekommen, interessanterweise aber in einem deutlich geringeren Ausmaß. Einer Zunahme in der Häufigkeit von Hitzewellen in vielen Teilen der Welt steht eine (signifikante) Abnahme in anderen Regionen gegenüber. Im Osten der USA sind auch die extrem heißen Perioden der 30er Jahre noch immer unübertroffen.

Unterschiede sieht man auch bei den Veränderungen der mittleren Minima und Maxima. Die täglichen Minimalwerte der Lufttemperatur sind über der Landoberfläche von 1950 bis 1993 im Mittel um rund $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt angestiegen. Dieser Anstieg ist rund doppelt so groß wie der Anstieg der täglichen Maximalwerte der Lufttemperatur ($0,1^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt). In dem schematischen Bild aus dem Abschnitt 3.4 kann man dieses Verhalten durch eine Zunahme des Mittelwertes bei gleichzeitiger Abnahme der Varianz verstehen.

Die Häufigkeit von schweren Niederschlagsereignissen hat in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre wahrscheinlich um 2 bis 4% zugenommen.

Es gibt Hinweise darauf, dass es auf der Nordhalbkugel zu einer Zunahme, auf der Südhalbkugel jedoch zu einer Abnahme der Aktivität extratropischer Zyklone im Verlauf der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gekommen ist. Derzeit ist noch unklar, ob die beobachteten Trends langperiodische Fluktuationen oder doch Teil einer Langzeitentwicklung sind.

Der Teil der globalen Landoberfläche, der schwerer Trockenheit oder schweren Überflutungen ausgesetzt war, hat im 20. Jahrhundert (1900-1995) nur in relativ geringem Ausmaß zugenommen.

Interessant sind dabei natürlich auch die Parameter, die sich nicht nachweislich geändert haben. Damit ist aber nicht völlig ausgeschlossen, dass

es bei diesen Ereignissen tatsächlich Veränderungen gegeben hat. In vielen Fällen ist einfach die Datengrundlage zu bescheiden, um eindeutige Aussagen treffen zu können.

In den wenigen Gebieten, von denen Untersuchungen vorliegen, konnten keine systematischen Änderungen der Häufigkeit von tropischen Wirbelstürmen, Tornados, Gewittertagen oder Hagelereignissen festgestellt werden (Die – zugegebenermaßen seltenen – Tornados in Österreich scheinen übrigens sogar eher seltener zu werden). Eine interessante Einzelbeobachtung in diesem Zusammenhang ist aber andererseits das erste nachgewiesene Auftreten eines Hurrikans im Südatlantik, im März 2004 (Met Office 2004).

Auch wenn es also in vielen Fällen nicht einmal auf globaler Ebene möglich ist, eine Zunahme der Zahl von Extremereignissen statistisch eindeutig nachzuweisen, so steht außer Frage, dass die Schäden, die weltweit durch Extremereignisse verursacht werden, deutlich zugenommen haben. Informationen dazu findet man z.B. auf der Homepage der Münchener Rückversicherung (<http://www.munichre.com>).

3.8 Erwartete Änderung von Wetterextremen: weltweit

Hier ist man auf die Simulationen künftiger Klimaverhältnisse mittels Klimamodellen angewiesen. Die Ergebnisse hängen im Detail von zukünftigen Treibhausgasemissionen ab, die natürlich nur abgeschätzt werden können. Einige Gemeinsamkeiten kann man aber bei allen Emissionsszenarien feststellen, bei gemäßigteren Szenarien treten sie erst später (signifikant) auf. Mit den im Folgenden genannten Änderungen und deren Folgen wird man mit hoher Wahrscheinlichkeit bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (und auch schon davor) rechnen müssen (IPCC 2001):

- Höhere Maximaltemperaturen, mehr heiße Tage und Hitzewellen über fast allen Landmassen. Dadurch bedingt:
 - Verstärktes Auftreten von Sterbefällen und ernsthafter Erkrankungen bei älteren Altersgruppen und städtischen Armen
 - Verstärkter Hitzestress bei Vieh und Wildtieren
 - Verschiebung von Touristenzielen
 - Zunehmendes Schadensrisiko für eine Anzahl von Nutzpflanzen
- Höhere Minimaltemperaturen, weniger kalte Tage, Frosttage und Kälteperioden über fast allen Landmassen. Dadurch bedingt:
 - Sinkende kältebedingte Krankheits- und Sterberaten

- Sinkendes Risiko von Schäden für eine Anzahl von Nutzpflanzen und steigendes für andere
 - Ausgedehntere Verbreitung und Aktivität von einigen Schädlingen und Krankheitsüberträgern
 - Reduzierter Heizenergiebedarf
- Intensivere Niederschlagsereignisse über vielen Gebieten. Dabei ist zu erwarten, dass die prozentuelle Zunahme in der Wahrscheinlichkeit intensiver Niederschlagsereignisse größer ist als die prozentuelle Zunahme im mittleren totalen Niederschlag. Dadurch bedingt:
- Zunehmende Überschwemmungs-, Erdbeben-, Lawinen- und Murgangschäden
 - Zunehmende Bodenerosion
 - Zunehmender Druck auf staatliche und private Versicherungssysteme und Katastrophenhilfen
- Zunehmende Sommertrockenheit über den meisten innerkontinentalen Flächen in den mittleren Breiten, verbunden mit dem Risiko von Dürren. Dadurch bedingt:
- Sinkende Ernteerträge
 - Sinkende Qualität und Quantität von Wasserressourcen
 - Steigendes Waldbrandrisiko

Es fällt auf, dass einige der angeführten Konsequenzen denen ähneln, die im Sommer 2003 in weiten Teilen Europas zu beobachten waren. Obwohl es verführerisch ist, kann man daraus aber nicht schließen, dass dieser einzelne Sommer schon auf den menschengemachten Klimawandel zurückzuführen ist. Man darf aber erwarten, dass ähnliche Sommer in Zukunft häufiger werden (auch wenn vielleicht schon der nächste kühl und verregnet sein sollte).

3.9 Erwartete Änderung von Wetterextremen: Österreich

Während globale Klimamodelle für groß-skalige Phänomene oft übereinstimmende Ergebnisse liefern, so sind die Unterschiede bei einer regionalen Betrachtung oft beträchtlich. Für langfristige Simulationen können globale Modelle derzeit außerdem nur mit geringer räumlicher Auflösung betrieben werden, typischerweise in „T42“, das entspricht einem Gitterpunktabstand von etwa 300 km am Äquator.

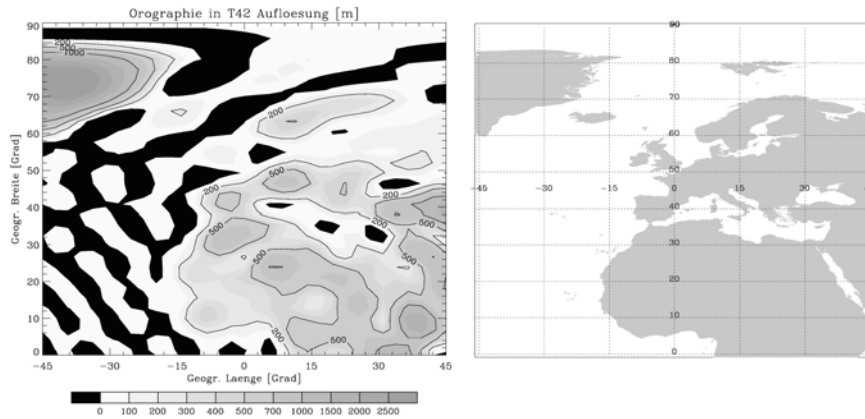


Abb. 3.3. Links: Modell-Orographie in T42-Auflösung (global 128 x 64 Gitterpunkte). Rechts: dargestelltes Gebiet

Abb. 3.3 zeigt die Modell-Oberflächenhöhen (linkes Bild) eines Ausschnittes der Nordhalbkugel (rechtes Bild) in T42-Auflösung. Hier ist zu beachten, dass die Alpen in dieser Auflösung nicht einmal eine Höhe von 1000 m erreichen. Es ist offensichtlich, dass wesentliche Aspekte des Klimas in alpinen Regionen in dieser Auflösung gar nicht erfasst werden können. Auch die meteorologische Situation, die zum Auftreten des Hochwassers im Sommer 2002 führte, kann z.B. von einem solchen Modell prinzipiell nicht wiedergegeben werden. Die „Wellen“ im Atlantik (Höhen unter 0 m schwarz dargestellt) resultieren aus der Darstellung der Welt in Kugelflächenfunktionen.

Mit zunehmender Rechnerkapazität wird die räumliche Auflösung globaler Modelle zwar immer feiner, aber auch in den nächsten Jahren werden damit Aussagen für kleinräumige Gebiete noch nicht mit erwünschter Genauigkeit möglich sein.

Einige der im Abschnitt 3.8 angeführten wahrscheinlichen Konsequenzen in mittleren Breiten werden aber wohl auch in Österreich spürbar sein. Für genauere Abschätzungen ist es aber unumgänglich, regionale Klimamodelle mit weit höherer räumlicher Auflösung zu betreiben, die ihre Randbedingungen aus den globalen Modellen beziehen. Etwas detailliertere Informationen für noch kleinräumigere Gebiete können dann mittels „Downscaling“ gewonnen werden.

Ein Beispiel für eine derartige regionale Modellierung ist die Arbeit von Christensen und Christensen (2003). Hier wurde für Europa ein regionales Modell mit einer horizontalen Auflösung von 50 km verwendet, die Randbedingungen stammen dabei aus einem globalen Modell mit einer horizon-

talen Auflösung wie in Abb. 3.3. Den Simulationen liegt das Emissionszenario „A2“ zugrunde (IPCC 2001), das bei den projizierten Änderungen der globalen Mitteltemperatur für 2100 mit + 3.8°C (gegenüber 1990) im Mittelfeld liegt. Für das letzte Drittel des 21. Jahrhunderts ergibt sich (in der Modellwelt) folgendes Bild: Obwohl die mittleren Sommerniederschläge fast überall in Europa signifikant abnehmen, gibt es in einigen Regionen eine deutliche Zunahme von intensiven Niederschlagsereignissen. Für Österreich ergibt sich in dieser Simulation eine deutliche Zunahme der Sommertrockenheit, Änderungen bei intensiven Niederschlagsereignissen liegen unter der Signifikanzgrenze.

Dieses Beispiel soll auch zeigen, in welche Richtung die Forschung in Österreich (mit noch höher aufgelösten Modellen) gehen sollte. Innerhalb des StartClim Projektes, das nicht zuletzt als Reaktion auf die Überschwemmungen des Sommers 2002 ins Leben gerufen wurde, wurde auch schon mit Forschung in dieser Richtung begonnen (StartClim 2003).

Ergebnisse derartiger regionaler Modellierung für die Schweiz (Schär et al. 2004) zeigen, dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts etwa jeder zweite Sommer so heiß sein könnte wie der des Jahres 2003, obwohl dieser Sommer in der Schweiz mit einer Abweichung von 5,4 Standardabweichungen vom Mittelwert sogar noch ungewöhnlicher war als in Österreich (vgl. Abschn. 3.6).

3.10 Zusammenfassung und Ausblick

Analysen extremer Wetterereignisse der Vergangenheit zeigen bis jetzt nur in einzelnen Fällen eine statistisch signifikante Zunahme in der Zahl dieser Ereignisse. In unserer Gesellschaft, die für extreme Wetterereignisse zunehmend verwundbar ist, steigen aber schon jetzt die volkswirtschaftlichen Schäden, die von solchen Ereignissen Jahr für Jahr verursacht werden.

Theoretische Überlegungen und Ergebnisse von Klimamodellen lassen zudem befürchten, dass wir uns auf ein zukünftiges Klima mit häufigeren Extremereignissen einstellen müssen, und das umso früher, je weniger es uns gelingen wird, die globalen Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Literatur

- Auer I, Böhm R, Schöner W (2001) Austrian long-term climate 1767 – 2000. Österr. Beiträge zu Meteorologie und Geophysik 25

- Böhm R, Auer I, Schöner W, Brunetti M, Maugeri M, Nanni T, Huhle C (2001) Die Langzeit-Variabilität von Temperatur und Niederschlag im Alpenraum. Proc. DACH, 2001
- Christensen JH, Christensen OB (2003) Severe summertime flooding in Europe. Nature 421: 805-806
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO (2000) Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science 289: 2068-2074
- Forchheimer P (1913) Der Wolkenbruch im Grazer Hügelland vom 16. Juli 1913. Sitzungsbericht d. Akad. D. Wiss. Math. – Naturw. Kl. CXXII, Abt. IIa, S. 2099-2109
- Glaser R (2001) Klimageschichte Mitteleuropas. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) Climate change 2001: The scientific basis. Cambridge Univ Press, Cambridge New York
- Luterbach J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science 303: 1499-1503
- Karl TR, Trenberth KE (2003) Modern global climate change. Science 302: 1719-1723
- Met Office (2004) Catarina hits Brazil: South Atlantic Hurricane breaks all the rules. <http://www.met-office.gov.uk/sec2/sec2cyclone/catarina.html>, Stand: Juli 2004
- OcCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (2003) Extremereignisse und Klimaänderung. Bern
- Pfister C (1999) Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Verlag Paul Haupt, Bern
- Schär C, Vidale PL, Lüthi D, Frei C, Häberli C, Liniger MA, Appenzeller C (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature 427: 332-336
- Semenov V, Bengtsson L (2002) Secular trends in daily precipitation characteristics: Greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. Climate Dynamics 19: 123-140
- StartClim (2003) Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen auf Österreich. Endbericht, Wien
- Wakonigg H (1978) Witterung und Klima in der Steiermark. Verlag für die Techn. Universität Graz
- WMO World Meteorological Organization (2004) WMO Statement on the status of the global climate in 2003. Genf

Anhang: Wetterextreme und die Notwendigkeit der Datenintegration

Martin König

Österreichisches Büro für Klimawandel, Umweltbundesamt

Interdisziplinäre Relevanz von extremen Wetterereignissen

Die Bandbreite der Beiträge in diesem Buch zeigt deutlich: extreme Wetterereignisse sind aus wissenschaftlicher Sicht das Spielfeld verschiedener Fachdisziplinen aus dem natur-, wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Bereich. Während sich MeteorologInnen den Eigenschaften von Wetterextremen (z.B. Ursachen, Prognosen) widmen, sind VertreterInnen insbesondere aus Ökologie, Ökonomie, Raumplanung und Soziologie darauf aufbauend an deren Folgen interessiert (s. Abb. 3.4).

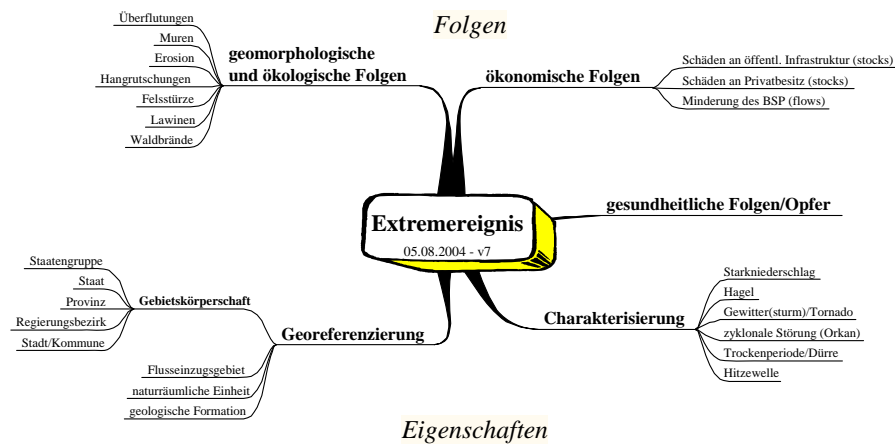


Abb. 3.4. Informationsklassifizierungen eines Extremereignisses

Alle Beteiligten sind wesentlich auf verschiedenste Arten von Daten zu bereits stattgefundenen Extremereignissen angewiesen, um sowohl für ihre tägliche Arbeit als auch für verschiedene Forschungsprojekte möglichst rasch an Informationen zu kommen. Gerade weil Wetterextreme derart vielgestaltige Eigenschaften und Folgen haben, werden sie in verschiedener Weise von ganz unterschiedlichen Institutionen erfasst, verwaltet und

ggf. ausgewertet. Meist sind diese Daten nicht direkt mit einander verknüpfbar.¹

Im Sinne aller im Bereich Extremereignisse/Klimawandel tätiger WissenschaftlerInnen und PraktikerInnen wäre es wünschenswert, ein zentrales Dateninformationssystem für Wetterextreme in Österreich einzuführen. Das Umweltbundesamt baut derzeit in Zusammenarbeit mit dem International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) die Wetterereignisdatenbank MEDEA (Meteorological Extreme event Data information system for the Eastern Alpine region) auf, die zahlreiche Leistungen erfüllen soll.

Leistungen moderner Dateninformationssysteme

Die Erfassung von Daten in einem modernen (zumeist objekt-relational arbeitendem) Dateninformationssystem bietet vielerlei Vorteile:

- langfristige Datensicherung.
- dynamische Anpassung: Etwa können im System problemlos Justierungen vorgenommen werden für die Frage, was ein extremes Wetterereignis ist. Im Zuge des Klimawandels werden sich hier die unter Kap. 3.2 angesprochenen Jährlichkeiten ggf. massiv verschieben.
- logische Verknüpfungen ermöglichen direkte Aussagen über Zusammenhänge die sonst nur unter großen Mühen zusammenzubringen wären.
- Polyhierarchie ermöglicht Zusammenstellungen unter unterschiedlichen Klassifizierungskriterien (z.B. Georeferenzierung, Unsicherheit, Schadensausmaß), d.h. ein Extremereignis kann unter verschiedenen Suchkriterien gefunden werden.

Voraussetzungen für die Umsetzung der Datenbank

Vorausgeschickt sei hier noch einmal die Bemerkung, dass die Forschung an meteorologischen Extremereignissen im Kontext einer wahrscheinlich zunehmenden Bedrohung im Zuge der globalen Klimaveränderungen (s. Abschn. 3.4-3.9) eine Frage von nationalem Interesse in Österreich sein muss. In einigen Staaten hat man bereits darauf reagiert und alle Daten im Zusammenhang mit Klima und Klimawandel für öffentliches Gut erklärt

¹ Z.B. die Wildbachereignisdatenbank des Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (BFW), die zentrale meteorologische Datenbanken der Zentralanstalt für Meteorologie und Geophysik (ZAMG) oder die Hochwasserschadensdatenbank des Zentrums für Naturgefahren und Risikomanagement (ZENAR).

und allgemein zugänglich gemacht. Die entsprechenden Institutionen (wie etwa die nationalen Wetterdienste) werden in diesem Zusammenhang für die Erhebungen entsprechend finanziert (Beispiel Kanada). Diesem Beispiel sollten auch Österreich, die Schweiz und Deutschland folgen.

Technische Voraussetzungen

Der Aufbau eines Dateninformationssystems, welches in der Lage ist, mit unterschiedlichsten Datenqualitäten zu arbeiten – wie dies für Wetterextreme benötigt – ist eine große Herausforderung für die EDV.

Am Umweltbundesamt existiert hierzu bereits Know-how aus dem Bereich der ökologischen Langzeitforschung, welches man sich für den Aufbau von MEDEA zunutze machen konnte. Das schon vorhandene Dateninformationssystem MORIS wurde entsprechend umgebaut und mit meteorologischen Daten bestückt. Die Integration dieser Testdaten, z.B. der ZAMG konnte erfolgreich durchgeführt werden.

Aufbauend darauf müssen nun EDV-technische Lösungen für eine möglichst benutzerfreundliche Bedienung des Dateninformationssystems MEDEA gefunden werden.

Kooperation mit Daten-Providern

Derzeit müssen für den erfolgreichen Aufbau von MEDEA in Österreich Kooperationsabkommen mit den verschiedenen Daten-Providern abgeschlossen werden (z.B. ZAMG, BFW, Statistik Austria), um ein für die NutzerInnen Mehrwert bringendes Dateninformationssystem bieten zu können.

Voraussetzung dafür ist eine breite Akzeptanz aller Beteiligten, dass ein gemeinsam nutzbares Dateninformationssystem gewollt wird und Unterstützung von allen Seiten findet.

Formale Voraussetzungen – Einigung auf Definitionen

Wie in Abschn. 3.2 dargestellt, ist die meteorologische Definition eines Extremereignisses zunächst abhängig von der jeweiligen Klimazone sowie ggf. auch von weiteren Raumausstattungsmerkmalen wie Besiedlung oder Infrastruktur. Ein Tornado in einem menschenleeren Gebiet wird eher weniger als Naturgefahr Eingang in Datenbanken finden als ein Hagelschlag in einem urbanen Raum mit vielen zerstörten Autos und Dächern.

Wir müssen uns für Österreich einigen, was wir unter Extremereignis oder „starkem Ereignis“ verstehen und entsprechende Schwellenwerte

festlegen. Nur so können wir eine Extremereignisdatenbank dann auch mit den entsprechenden Daten befüllen.

Dies muss sowohl für extreme/starke Wetterereignisse (z.B. Niederschlag/Std. > 30mm) als auch für extreme/außergewöhnliche Witterungsperioden durchgeführt werden (z.B. Anzahl aufeinander folgender Tropentage, s. Abb. 3.2).

Trendanalysen und das „Statistik-Problem“

In den Abschn. 3.2 und 3.4 wurde bereits verdeutlicht, wie Extremereignisse allgemein definiert werden können und wie in diesem Bereich mit Wahrscheinlichkeiten gearbeitet wird.

Für Trendanalysen zu meteorologischen Extremereignissen ist es jedoch nötig, nicht nur die jeweils stärksten (und damit seltenen) Extremereignisse in ein Dateninformationssystem zu integrieren, sondern auch Starkereignisse mit höherer Wiederholungshäufigkeit. Erst dann wird die Zahl der Ereignisse so groß, dass sie sinnvolle Korrelations- und Regressionsanalysen zulässt. Dies haben entsprechende Untersuchungen in der Schweiz nochmals deutlich belegt (vgl. OcCC 2003).

Langfristige Ziele

Da Gebirgsregionen eine besondere Empfindlichkeit (engl.: vulnerability) gegenüber Klimaänderungen zeigen und zudem durch die geomorphologische Dynamik vielfältige Massenbewegungen (Muren, Lawinen, Hangrutschungen, Bergstürze) durch Wetterextreme ausgelöst werden können, wäre es ein lohnendes langfristiges Ziel, ein einheitliches Dateninformationssystem für meteorologische Extremereignisse etwa für alle Alpenanrainer aufzubauen.

Eine Verbundforschung etwa gemeinsam mit KollegInnen aus unseren Nachbarländern und Frankreich könnte uns ein gutes Stück voran bringen auf dem Weg zu einem besseren Verständnis der Klimafolgen im Bereich Wetterextreme im Alpenraum und der besonderen Verwundbarkeit von Gebirgsregionen im Zuge des globalen Klimawandels.

Eine gemeinsame Datenbasis wäre die Voraussetzung hierfür.

Literatur

- König M, Schentz H, Weigl J, Ermolieva T, Jonas M (2003): Ereignisdatenbank für meteorologische Extremereignisse. In: StartClim (2003) Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen auf Österreich. Endbericht, Wien
- OcCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung (2003) Extremereignisse und Klimaänderung. Bern