

# **Startprojekt Klimaschutz**

## **Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich**

### **Endbericht**

2. überarbeitete Auflage

### **Projektleitung**

Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur Wien  
Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb.

### **Auftraggeber**

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt  
und Wasserwirtschaft  
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit  
Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur  
Österreichische Nationalbank  
Österreichische Hagelversicherung  
Umweltbundesamt

### **Administrative Projektkoordination**

Umweltbundesamt

Wien, November 2003

**StartClim**

**“Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse  
und ihrer Auswirkungen in Österreich“**

Projektleitung: Institut für Meteorologie und Physik  
der Universität für Bodenkultur Wien  
Türkenschanzstr. 18, A -1180 Wien  
URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

**Redaktion**

Helga Kromp-Kolb und Ingeborg Schwarzl,  
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur

Wien, November 2003

## Beiträge

- StartClim.1: Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tageswertbasis im Hinblick auf Extremwertanalysen**  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
Wolfgang Schöner, Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Sabina Thaler
- StartClim.2: Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatensätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten**  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
Ingeborg Auer, Reinhard Böhm, Eva Korus, Wolfgang Schöner
- StartClim.3a: Extremereignisse: Ereignisbezogene Dokumentation- Prozesse Bergstürze, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen**  
Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen  
Universität für Bodenkultur  
Dieter Rickenmann, Egon Ganahl
- StartClim.3b: Dokumentation von Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die landwirtschaftliche Produktion**  
ARC Seibersdorf research  
Gerhard Soja, Anna-Maria Soja
- StartClim.3c: Ereignisdatenbank für meteorologische Extremereignisse MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region)**  
Umweltbundesamt, Martin König, Herbert Schentz, Johann Weigl  
IIASA, Matthias Jonas, Tatiana Ermolieva
- StartClim.4: Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern**  
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur  
Andreas Frank, Petra Seibert
- StartClim.5: Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich**  
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur  
Herbert Formayer, Christoph Matulla, Patrick Haas  
GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Nikolaus Groll
- StartClim.6: Adaptionsstrategien der von extremen Wetterereignissen betroffenen Wirtschaftssektoren: Ökonomische Bewertung und die Rolle der Politik**  
Austrian Humans Dimensions Programme (HDP-A)  
Institut für Volkswirtschaftslehre Karl-Franzens-Universität Graz  
Karl Steininger, Christian Steinreiber, Constanze Binder, Erik Schaffer  
Eva Tusini, Evelyne Wiesinger
- StartClim.7: Hochwasser-bedingte Veränderungen des gesellschaftlichen Stoffwechsels: Fallstudie einer betroffenen Gemeinde**  
Institut für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung,  
Abteilung Soziale Ökologie  
Willi Haas, Clemens Grünbühel, Brigitt Bodingbauer

- StartClim.8: Risk Management and Public Welfare in the Face of Extreme Weather Events: What is the Optimal Mix of Private Insurance, Public Risk Pooling and Alternative Risk Transfer Mechanisms**  
Institut für Volkswirtschaftslehre Karl-Franzens-Universität Graz  
Walter Hyll, Nadja Veters, Franz Pretenthaler
- StartClim.9: Hochwasser 2002: Datenbasis der Schadensbilanz**  
Zentrum für Naturgefahren (ZENAR), Universität für Bodenkultur  
Helmut Habersack, Helmut Fuchs
- StartClim.10: Ökonomische Aspekte des Hochwassers 2002: Datenanalyse, Vermögensrechnung und gesamtwirtschaftliche Effekte**  
Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung  
Daniela Kletzan, Angela Köppl, Kurt Kratena
- StartClim.11: Kommunikation an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung**  
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur  
Ingeborg Schwarzl  
Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung,  
Abteilung Soziale Ökologie  
Willi Haas
- StartClim.12: Innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit**  
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien  
Simon Tschannett, Barbara Chimani, Reinhold Steinacker
- StartClim.13: Hochaufgelöste Niederschlagsanalysen**  
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien  
Stefan Schneider, Bodo Ahrens, Reinhold Steinacker, Alexander Beck
- StartClim.14: Hochwasser 2002: Prognosegüte meteorologischer Vorhersagemodelle**  
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik  
Thomas Haiden, Alexander Kann
- StartClim.C: Erstellung eines langfristigen Klima-Klimafolgen-Forschungsprogramms für Österreich**  
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur  
Helga Kromp-Kolb, Andreas Türk
- StartClim.Literaturdatenbank:**  
**Aufbau einer umfassenden Literaturdatenbank zur Klima- und Klimafolgenforschung als allgemein zugängliche Basis für weitere Klimaforschungsaktivitäten**  
Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur  
Patrick Haas

### **Wissenschaftlicher Beirat**

Prof. Dr. Martin Beniston, Université Fribourg

Dr. Gerhard Berz, Münchener Rückversicherung

Prof. Dr. Carlo Carraro, Fondazione Eni Enrico Mattei

Dr. Jill Jäger, Initiative on Science and Technology for Sustainability

Prof. Dr. Mojib Latif, Max-Planck-Institut für Meteorologie/Universität Kiel

Dr. Frank Wechsung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

### **Koordinierungsgremium**

#### **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft**

Elfriede Fuhrmann, Helmut Hojesky, Birgit Kaiserreiner,  
Barbara Kronberger-Kieswetter, Renate Mayer, Heinz Stiefelmeyer,  
Stefan Vetter

#### **Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur**

Martin Smejkal

#### **Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit**

Herwig Dürr, Elisabeth Kasal

#### **Österreichische Hagelversicherung**

Sabine Kamraner-Köpf, Alexander Mayr-Harting, Kurt Weinberger

#### **Österreichische Nationalbank**

Johann Jachs, Martin Much

#### **Umweltbundesamt**

Karl Kienzl, Martin König

### **Administrative Projektkoordination**

Umweltbundesamt

Martin König, Karl Kienzl

## **Danksagung**

StartClim wäre ohne den unermüdlichen Einsatz von Univ.-Prof. Dr. Stefan Schleicher nicht zustande gekommen.

Zur Durchführung von StartClim und zur Entstehung des Endberichtes haben maßgeblich beigetragen:

- Ingeborg Schwarzl, als gewissenhafte Koordinations- und Redaktionsassistentin
- Christian Frischauf, als kreativer Layouter und Redaktionsassistent
- Andreas Türk und Andrea Stocker als verlässliche Gestalter und Betreuer der Homepage
- Martin König als wohlwollender administrativer Projektkoordinator und
- Herbert Formayer, Andreas Frank, Thomas Gerersdorfer, Helga Nefzger, Susanne Ostertag und Petra Seibert durch bereitwillige Übernahme zahlreicher Teilaufgaben, Recherchen, Telefonaten, etc.

Ihnen allen sei herzlich gedankt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Vorwort</b> .....	<b>16</b>
1.1 Entstehung von StartClim .....	16
1.2 Gliederung des Berichtes .....	16
1.3 StartClim Statistiken .....	17
1.4 Literaturdatenbank.....	18
<b>2 Zielstellung von StartClim</b> .....	<b>19</b>
<b>3 Evidenz von extremen Wetterereignissen in Österreich</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 Einleitung</b> .....	<b>20</b>
3.2 Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tagesbasis in Hinblick auf Extremwertanalysen (StartClim.1) .....	22
3.3 Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatensätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten (StartClim.2).....	24
3.3.1 <i>Erhebung und Digitalisierung von monatlichen Extremwerten bzw. Werten, die in Hinblick auf Extreme ausgewertet werden können</i> .....	24
3.3.2 <i>Einfluss von Inhomogenitäten auf Analyseergebnisse</i> .....	26
3.3.3 <i>Repräsentativität des Zeitraumes 1951 – 2002 im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten</i> .....	27
3.3.4 <i>Forschungsbedarf</i> .....	27
3.4 Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich (StartClim.5).....	29
3.4.1 <i>Einleitung</i> .....	29
3.4.2 <i>Verwendete Downscalingmethoden</i> .....	29
3.4.3 <i>Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren bezüglich Extremereignisse</i> .....	30
3.4.4 <i>Schlussfolgerung</i> .....	32
3.5 Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern (StartClim.4).....	33
3.5.1 <i>Einleitung</i> .....	33
3.5.2 <i>Methodik</i> .....	33
3.5.3 <i>Ergebnisse</i> .....	33
3.5.4 <i>Ausblick</i> .....	36
3.6 Zusammenfassung der erzielten Fortschritte .....	37
3.7 Forschungsbedarf.....	38
<b>4 Auswirkungen wetterbedingter Extremereignisse: Erfassung, Dokumentation, Analyse und Bewertung für ausgewählte Regionen und Sektoren</b> .....	<b>39</b>

4.1	Einleitung .....	39
4.2	Ereignisbezogenen Dokumentation: Prozesse, Bergstürze, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen .....	39
4.2.1	<i>Ereignisdokumentation: Datenbanken und Chroniken .....</i>	<i>39</i>
4.2.2	<i>Fallbeispiel: Ereignisse in den Bezirken Landeck und Imst.....</i>	<i>41</i>
4.2.3	<i>Ausblick .....</i>	<i>43</i>
4.3	Dokumentation von Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die landwirtschaftliche Produktion .....	43
4.4	Ereignisdatenbank für Meteorologische Extremereignisse. MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region).....	46
4.5	Volkswirtschaftliches Risikomanagement und öffentliche Wohlfahrt angesichts extremer Wetterereignisse (StartClim.8) .....	48
4.6	Adaptionsstrategien der von extremen Wetterereignissen betroffenen Wirtschaftssektoren: ökonomische Bewertung und die Rolle der Politik (StartClim.6) .....	50
4.6.1	<i>Fundamentale Anforderungen für eine umfassende Analyse von extremen Wetterereignissen.....</i>	<i>50</i>
4.6.2	<i>Sektorielle Betrachtungsweise.....</i>	<i>52</i>
4.7	Zusammenfassung der erzielten Fortschritte .....	53
4.8	Forschungsbedarf.....	54
<b>5</b>	<b>Das Hochwasserereignis in Österreich im August 2002 .....</b>	<b>55</b>
5.1	Einleitung .....	55
5.2	Hochaufgelöste Niederschlagsanalysen (StartClim.13) .....	55
5.3	Prognosegüte meteorologischer Vorhersagemodelle (StartClim.14) .....	59
5.3.1	<i>Einleitung.....</i>	<i>59</i>
5.3.2	<i>Einfluss des Beobachtungsdatensatzes.....</i>	<i>59</i>
5.3.3	<i>Einfluss der Gebietsgröße und des Summationszeitraumes.....</i>	<i>60</i>
5.3.4	<i>Nutzen von EPS – Prognosen.....</i>	<i>62</i>
5.4	Ein innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit (StartClim.12).....	63
5.4.1	<i>Einleitung.....</i>	<i>63</i>
5.4.2	<i>Methode.....</i>	<i>63</i>
5.4.3	<i>Ergebnisse.....</i>	<i>63</i>
5.4.4	<i>Ausblick .....</i>	<i>64</i>
5.5	Hochwasser 2002: Datenbasis der Schadensbilanz 2002 (StartClim.9) .....	65
5.5.1	<i>Einleitung.....</i>	<i>65</i>
5.5.2	<i>Datengrundlage Hochwasser 2002: Vorläufige Schadensbilanz.....</i>	<i>65</i>
5.5.3	<i>Erfassung, Darstellung und Analyse künftiger Daten .....</i>	<i>67</i>
5.6	Ökonomische Aspekte des Hochwassers 2002: Datenanalyse, Vermögensrechnung und gesamtwirtschaftliche Effekte (StartClim.10) .....	68



5.7	Hochwasser-bedingte Veränderungen des gesellschaftlichen Stoffwechsels: Fallstudie einer betroffenen Gemeinde (StartClim.7) .....	71
5.8	Zusammenfassung der erzielten Fortschritte .....	73
5.9	Forschungsbedarf.....	74
5.10	Projekte an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung.....	74
<b>6</b>	<b>Langfristiges Klima-Forschungskonzept .....</b>	<b>74</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>77</b>
	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>79</b>



## Kurzfassung

In der Klimaforschung tätige österreichische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bildeten im Jahr 2002 unter dem Namen AustroClim eine Forschungsplattform, die sich in fächerübergreifender Kooperation den Herausforderungen des Klimawandels an die Wissenschaft stellen und die erforderlichen Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und bei jeder einzelnen Person durch Bereitstellung einer wissenschaftlichen Basis unterstützen will. Der Forderung von AustroClim nach koordinierter Klimaforschung folgend, haben auf Initiative des Umweltministers sechs Finanzierungspartner<sup>1</sup> das Startprojekt Klimaschutz: „**StartClim - Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich**“ in Auftrag gegeben. Für die AustroClim Forschungsplattform hat das Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur die wissenschaftliche Leitung übernommen. Die verwaltungstechnische Betreuung lag beim Umweltbundesamt Wien.

Drei Aufgabenstellungen wurden auf Wunsch der Auftraggeber in StartClim von insgesamt rund zwanzig österreichischen Forschungseinrichtungen behandelt:

- A Analyse extremer Wetterereignisse der Vergangenheit, ihrer Auswirkungen und wirtschaftlichen Dimensionen sowie Elemente zukünftiger Szenarien für Österreich
- B Synopsis der das Hochwasser 2002 auslösenden Wetterfaktoren und dessen wirtschaftliche Auswirkungen
- C Erstellung eines Rohkonzeptes für ein langfristiges Klima-Klimafolgen-Forschungsprogramm in Österreich

Voraussetzung für die in **Aufgabenstellung A** geforderte Analyse extremer Wetterereignisse der Vergangenheit ist die Verfügbarkeit hinreichend langer Reihen meteorologischer Daten und weit zurückreichender Chroniken wetterbedingter Schadereignisse, da solche Ereignisse definitionsgemäß nur selten auftreten. Die Übersicht über verfügbare Daten und deren Zugänglichkeit waren daher ein wichtiger Teil von StartClim.

Es konnte erstmals ein qualitätsverbesserter und plausibilitätsgeprüfter Datensatz der Klimaelemente Lufttemperatur (Mittel und Extreme), Niederschlagssumme und Schneehöhe auf Tageswertbasis für 71 österreichische Stationen für die Periode 1948 bis 2002 bereitgestellt werden. Diese etwa 50-jährigen Datenreihen sind zur Analyse mancher meteorologischer Elemente (z.B. Tagsmaximum und -minimum der Temperatur) und deren statistische Maße ausreichend, andere Elemente erfordern zumindest 100 jährige Reihen. Das Archiv meteorologischer Daten vor 1948 ist leider im zweiten Weltkrieg verloren gegangen – die auf Monatsbasis für Extremereignisse relevante Angaben, z.B. monatliche Maximal- und Minimaltemperatur, Anzahl von Eis-, Frost-, Hitze und Tropentagen, maximaler Niederschlag in dem Monat, etc. liegen jedoch vor und wurden für ca. 20 Stationen auf Plausibilität geprüft und ebenfalls verfügbar gemacht. An der Entwicklung von Methoden zur Homogenisierung der durch Stationsverlegungen, Geräteentwicklung etc. verursachten Inhomogenitäten in den Datenreihen wird noch gearbeitet. Der jetzt vorliegende Datensatz ermöglicht aber bereits eine Vielzahl von Untersuchungen verschiedener Disziplinen.

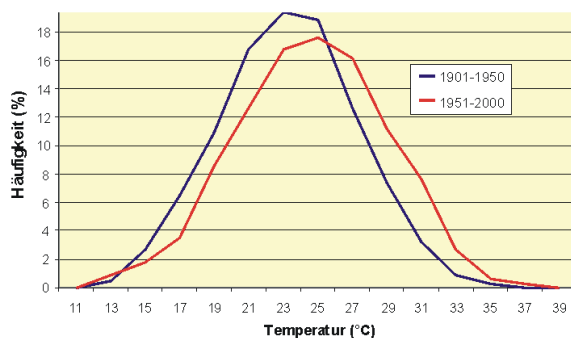
Die Analyse des 50-jährigen Tagesdatensatz zeigt z.B. an der Station Wien Hohe Warte einen markanten Anstieg der extremen Sommertemperaturen in den letzten 50 Jahren (s. Abb.). Die Temperaturminima verschieben sich nicht im selben Ausmaß zu höheren Werten.

---

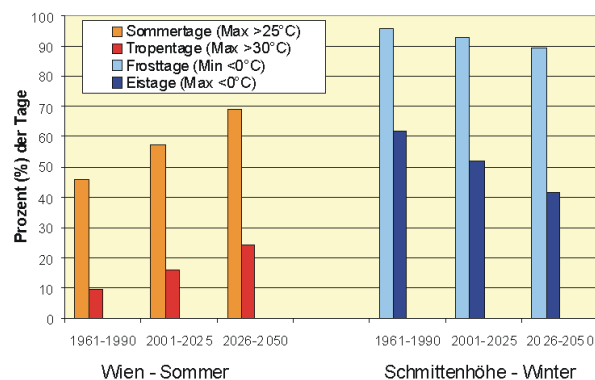
<sup>1</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur  
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit  
- Österreichische Hagelversicherung  
- Österreichische Nationalbank  
- Umweltbundesamt

Um Aussagen über die mögliche zukünftige Entwicklung der Häufigkeit des Auftretens von Extremereignissen machen zu können, wurden zwei Verfahren entwickelt und getestet, die es ermöglichen, aus den mit globalen Klimamodellen (GCM) berechneten Klimaszenarien die Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen in verschiedenen Regionen Österreichs zu ermitteln. Eines dieser Verfahren leitet mit Hilfe eines Clusterungsverfahrens sieben Wetterlagen ab, die für die Starkniederschlagsereignisse in Österreich typisch sind. Sie unterscheiden sich beträchtlich hinsichtlich ihrer Häufigkeit und ihrer regionalen Auswirkungen. Diese neuartige Methode, mit der die zeitliche Entwicklung im Vorfeld von Extremereignissen berücksichtigt werden kann, ist auch für Sturm- und Dürreereignisse vielversprechend. Das zweite Verfahren lehnt sich an klassische statistische Methoden an, die bisher aber nicht auf Extremereignisse angewendet wurden. Mit einer kanonischen Korrelationsanalyse auf Monatsbasis und Analogverfahren auf Tagesbasis ergaben sich auf regionaler Skala für die Temperatur recht robuste Ergebnisse, während die Unsicherheiten beim Niederschlag weit größer sind. Für das gewählte globale Klimaszenarium errechnet sich etwa eine Verdoppelung der Zahl der Tropentage (Höchsttemperaturen über 30° C) in Wien innerhalb der nächsten 25 bis 50 Jahre; auf der Schmittenhöhe (1964 m) ergibt sich infolge der Erwärmung ein Rückgang der Eistage (Höchsttemperatur unter 0°C) um etwa ein Drittel.

**Häufigkeitsverteilung der täglichen Temperaturmaxima; Wien – Sommer (Messergebnisse)**



**Häufigkeit von Sommer- und Tropentagen (Wien) und Frost- und Eistagen (Schmittenhöhe) (Berechnungsergebnisse)**



In engem Zusammenhang mit den Wetterereignissen stehen Folgeereignisse, wie Überschwemmungen, Muren, Lawinen, Dürre, etc.. Diese Ereignisse werden außer durch das Wetter auch durch menschliche Interventionen (Landnutzung, Schutzmaßnahmen, etc.) geprägt. Die Erfassung, Dokumentation, Analyse und Bewertung der Auswirkungen wetterbedingter Extremereignisse für ausgewählte Regionen und Sektoren war ein weiterer Schwerpunkt von StartClim.

Um mittel- und langfristige Daten über meteorologische Extremereignisse in Österreich aus verschiedenen Wissensbereichen zusammenzuführen, wurde die Datenbank MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region) entwickelt und mit ersten Testdaten bestückt. Nur durch die gleichzeitige Verfügbarkeit von meteorologischen Daten bis hin zu sozio-ökonomischen Daten kann ein Gesamtbild von Extremereignissen gewonnen werden, und die gesamte Wirkungskette vom Wetterereignis bis zu wirtschaftlichen Folgeschäden durchgängig mit Informationen unterlegt werden. Durch explizite Einbeziehung der Daten-Unsicherheiten wird ein notwendiger Schritt in Richtung verbesserter Unsicherheits- und Risikoabschätzungen bei der Bewertung von Extremereignissen geleistet.

Zwei Bereiche wurden näher untersucht: Wildbachschäden, seit 1972 in der vom Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (BFW) geführten Wildbachschadens-Datenbank erfasst, können durch Chroniken, die auf Bezirksebene geführt wurden, zeitlich wesentlich erweitert werden (für die Bezirke Landeck und Imst z.B. bis zum Jahr 1274 zurück). Es wurden Methoden vorgeschlagen, wie die Erhebung, Verwaltung und Verarbeitung der Daten dokumen-

tiert werden sollte, um eine möglichst lückenlose Dokumentation zu garantieren. Quantitative Angaben zum Niederschlag oder Abfluss fehlen bei den Chronikereignissen. Die Kubaturen von Feststoffablagerungen oder die Anzahl der Schadensobjekte sind nur teilweise quantitativ erfasst. Die monetäre Bewertung der Schadensobjekte liegt bei den Chronikereignissen vereinzelt als pauschale Schätzung eines Gesamtschadens vor. Die Wildbachschadens-Datenbank enthält abgesehen von den Wiederherstellungskosten von beschädigten/zerstörten Verbauungen ebenfalls keine monetären Angaben zu den Schäden. Die monetäre Erhebung der Schäden erfolgt dezentral durch Behörden und Interessensvertretungen. MEDEA könnte z.B. diese Daten integrieren und die Daten damit für die Kosten-Nutzen-Analysen bei der Planung von Schutzmaßnahmen zur Verfügung stellen.

Der zweite untersuchte Bereich betrifft die Landwirtschaft: Für sieben landwirtschaftliche Kulturpflanzenarten in drei Regionen Österreichs wurde untersucht, welche Art von extremem Wetter Missernten verursacht. Die Datenbasis bestand aus den agrarstatistischen Erhebungen der Flächenerträge sowie den Monatsmitteln der meteorologischen Parameter im Zeitraum 1869 bis 2002. Aus den ermittelten Zusammenhängen sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- Milde Winter ohne Extremtemperaturen, besonders im Februar, sind für Wintergetreide und Wein vorteilhaft.
- Trockene Frühjahrswitterung ist besonders nachteilig für Sommergetreide.
- Trockene Witterung in den Erntemonaten von Getreide vermeidet Verluste bei der Ernteeinbringung.
- Trockene, heiße Sommer sind ungünstig für Zuckerrübe und Mais, in geringerem Ausmaß für Kartoffel.

Versicherungen, die Schutz vor allzu großen wirtschaftlichen Verlusten durch Extremereignisse bieten sollen, werden derzeit in Österreich aufgrund von mangelnden oder kontraproduktiven Staatseingriffen nur in unzureichendem Ausmaß angeboten. Das Hochwasserereignis 2002 und die damit offensichtliche Überforderung des Katastrophenfonds geben Anlass, eine Diskussionsgrundlage für eine etwaige Änderung der bestehenden, verbesserungsbedürftigen Vorkehrungen im Bereich des Risikotransfers in Österreich zu schaffen. In einem Vergleich unterschiedlicher Risikotransfersysteme für Katastrophenereignisse in sechs Ländern wird anhand der jeweils nachahmenswerten und verbesserungswürdigen Elemente aufgezeigt, dass der Nachholbedarf in Österreich beträchtlich ist. Anhand der spezifischen Problemlagen der einzelwirtschaftlichen Akteure und der öffentlichen Hand werden problemorientierte Gestaltungsvorschläge präsentiert, die insbesondere die Schwächen im Bereich Anreizkompatibilität und Effizienz beseitigen helfen und Probleme der sozialen Verträglichkeit einer möglichen Reform diskutieren.

Für fünf Wirtschaftssektoren wurde Expertenwissen zu den spezifischen Auswirkungen unterschiedlicher extremer Wetterereignisse, zur Verfügbarkeit von Datenmaterial für tiefergehende Studien, zur Wahrnehmung des Schadenspotenzials in den Sektoren und zu bisher getroffenen und zukünftig geplanten Anpassungsmaßnahmen erhoben. Es zeigte sich, dass mangelndes Problembewusstsein und Datenmangel oft parallel gehen und dass sich Maßnahmen bisher häufig auf technischen Schutz beschränken. Integrierte Anpassungsstrategien, bestehend aus einem Bündel an technischen, raumplanerischen, organisatorischen, ökonomischen und klima- und bildungspolitischen Maßnahmen stellen die Ausnahme dar. Ein Katalog von Handlungsempfehlungen aus den Sektoren an die Politik umfasst allgemeine politische Maßnahmen (z.B. Förderung des Problembewusstseins der Bevölkerung), fiskalische und ordnungspolitische Maßnahmen (z.B. integrierte Raumplanung) und Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung im Katastrophenfall.

Das zweite große Thema von StartClim (**Aufgabenstellung B**) betraf die meteorologische Situation und die wirtschaftlichen Auswirkungen des Hochwasserereignisses im August 2002 und stellt einen Beitrag zum anlaufenden Forschungsprogramm FloodRisk dar.

Es wurden Möglichkeiten aufgezeigt, durch ein objektives Analyseverfahren (VERA) der Messungen an unregelmäßig verteilten Niederschlagsmessstellen den für hydrologische Modelle wichtigen Flächenniederschlag genauer zu erfassen, um im Krisenfall rasch eine bessere Einschätzung der aktuellen Lage zu ermöglichen. Die wirksame Einbindung von wertvollen Zusatzinformationen, vor allem Radar- und Satellitendaten, könnte zu weiteren Verbesserungen führen.

Für die Entwicklung eines effektiven Hochwasser-Warnsystems ist die detaillierte Validierung meteorologischer Vorhersagemodelle anhand des Hochwasserereignisses 2002 unerlässlich. Im Rahmen von StartClim wurde quantitativ gezeigt, dass die Prognosegüte stark von der räumlichen und zeitlichen Skala, von den verwendeten Beobachtungsdaten und vom betrachteten Gebiet abhängt. Generell sind Vorhersagen für Regionen, die sich in alpinen Staulagen befinden, verlässlicher als für Flachlandregionen, da hier numerisch schwierig zu erfassende konvektive Prozesse maßgeblichen Anteil an Starkniederschlagsereignissen haben. Es kann eine signifikante Reduktion des relativen Fehlers durch Erhöhung des Zeitraumes, für den die Niederschlagssummen angegeben werden, erreicht werden, da sich Prognosefehler im zeitlichen Verlauf des Ereignisses zu einem gewissen Teil kompensieren. Verglichen mit anderen Ereignissen der letzten vier Jahre wurden die Niederschlagsmengen beim ersten Teil des Hochwassers im August 2002 eher schlecht, beim zweiten Teil jedoch relativ gut erfasst. Wahrscheinlichkeitsaussagen mittels sogenannten Ensemble-Prognosen können einen Beitrag in der Früh- oder Vorwarnung leisten, indem Aussagen über die Bandbreite möglicher Niederschlags-Szenarien gemacht werden können.

Eine Verbesserung der Kurzfristprognose extremer Wetterereignisse könnte auch durch Verknüpfung der zeitlichen und räumlichen Dimensionen im Rahmen des Analysesystems VERA erzielt werden, da damit Aussagen über kleinräumige Strömungseigenschaften und Verlagerungsgeschwindigkeiten möglich werden. Abgeleitete Kennzahlen könnten auch eine Bearbeitung klimatologischer Zeitreihen ermöglichen.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Folgen des Hochwassers 2002 wurde eine österreichweit konsistente und auf Plausibilität, Vollständigkeit und innere Konsistenz geprüfte Datenbasis erarbeitet, die in den Landesbehörden eingegangene Schadensmeldungen, sowie weitere Informationen der Landesbehörden, Gemeindeämter, Interessensvertretungen und Ergebnisse eigener Erhebungen enthält. Durch die Überführung der Daten in ein Geoinformationssystem (GIS) wird die Visualisierung und interaktive Abfrage der Daten entsprechend vorgegebener Kriterien und in unterschiedlicher Aggregation ermöglicht. Das Geoinformationssystem (Datenbank + GIS) erlaubt eine problemorientierte Analyse und Darstellung der gesammelten Informationen. Bei genereller Anwendung dieses Systems für Schadensmeldungen nach Hochwasserkatastrophen sollten die Datenerfordernisse aller bisherigen Nutzer – Antragsteller, Gemeinden, Länder, Bund, Hilfsorganisationen etc. – befriedigt werden können. Die rasche Zugänglichkeit und einheitliche Erfassung über die Bezirks- und Landesgrenzen hinweg wäre damit gewährleistet. Zugleich wäre eine Basis für wissenschaftliche Analysen bereit gestellt.

Zur Abschätzung der ökonomischen Effekte des Hochwassers 2002 wurden auf dieser Datenbasis konventionelle Modellberechnungen durchgeführt, die zeigen, dass die makroökonomischen Auswirkungen gering waren und die positiven Effekte der Investitionsnachfrage im Jahr 2002 als transitorischer Schock zu interpretieren sind. Die leicht negativen Konsumeffekte resultieren aus einer Reduktion des verfügbaren Einkommens der betroffenen Haushalte.

Eine adäquate Abbildung ökonomischer Effekte von Extremereignissen müsste konzeptuell über die traditionelle Bewertung in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung hinausgehen. Eine Erweiterung der konventionellen ökonomischen Modellierung, die der zentralen Bedeutung des Wechselspiel zwischen Bestands- und Flussgrößen (z.B. Besitz und Geldfluss) für die Wohlfahrtseffekte gerecht wird, wurde konzipiert.

Am Beispiel einer Kamptalgemeinde wurden die durch das Hochwasser 2002 ausgelösten Störungen des gesellschaftlichen Stoffwechsels sowie die sichtbaren gesellschaftlichen Ant-

wortmuster auf diese Störungen untersucht. Das Ressourcenkonsumniveau stieg um etwa 60% gegenüber einem Referenzort, der Energiekonsum um 11%. Die Chance der Nutzung möglicher Potentiale zur Energieersparnis aufgrund von Restrukturierungsmaßnahmen im Zuge des Wiederaufbaus wurde praktisch nicht genutzt; der Wiederaufbau zielte auf eine reine Wiederherstellung der Ursprungssituation ab. Somit stellen die erhobenen Material- und Energieflüsse eine reine Zusatzbelastung dar, denen keine nennenswerte langfristige Reduktion gegenübersteht.

Das Bewusstsein über die Auswirkung wirtschaftlicher Aktivitäten auf den globalen ökologischen Kreislauf ist nur bei wenigen Befragten ausgeprägt. Obwohl mehr als die Hälfte der Befragten das Eintreten eines weiteren solchen Hochwassers für möglich halten, gibt es nur bei wenigen Haushalten Vorsorgemaßnahmen. Es wären offenbar sowohl Information als auch zusätzliche Anreize notwendig, um die einer derartigen Katastrophe innewohnenden Chancen besser zu nutzen.

Im Rahmen von StartClim wurde auch an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung gearbeitet: Eine Gruppe von Schülern und Schülerinnen führten rund 100 Fragebogeninterviews mit Verwandten und Bekannten zu vergangenen Extremereignissen durch und stellten diese routinemäßig erhobenen Daten meteorologischer Einrichtungen gegenüber. Dieser Prozess ließ die Schüler und Schülerinnen das Thema Datenerfassung und Qualitätskontrolle selbst erleben, gleichzeitig setzten sie sich inhaltlich mit Klima, Klimawandel und Extremereignissen auseinander. Die erhobenen Daten wurden in die Ereignisdatenbank MEDEA aufgenommen und stehen damit der Forschergemeinschaft zur Verfügung.

Eine andere Gruppe von Schülern und Schülerinnen entwickelte eigene Fragebögen zu den Folgen des Hochwassers 2002. Diese Art von Kooperation zwischen Wissenschaft und Bildungseinrichtungen sensibilisiert einen großen generationenübergreifenden Personenkreis und wird im konkreten Fall wertvolle Informationen liefern, wie die Bevölkerung Extremereignisse wahrnimmt und welche Themen sie in diesem Zusammenhang interessieren. Die wissenschaftlichen Daten werden so um die gesamthafte Sicht der von Extremereignissen Betroffenen ergänzt.

Die StartClim Projekte haben eine Vielfalt neuer Daten und Erkenntnisse geliefert, die auch von praktischem Wert sind. Sie haben aber vor allem in mehreren Bereichen Vorarbeit geleistet. Zur Beantwortung von Fragen in Zusammenhang mit dem Auftreten von extremen Wetterereignissen im Klimawandel werden umfangreiche Daten und verschiedenste Methoden benötigt. Die Erkenntnisse, die in StartClim gewonnen wurden, werden bei der Beurteilung der bisherigen Datenlage, -qualität oder der verfügbaren Methoden hilfreich sein. Zusätzlich wurde in StartClim aufgezeigt, wo der zusätzliche Forschungsbedarf liegt.

Diese Vorarbeit war für die **Aufgabenstellung C** von StartClim, die Erstellung eines langfristigen Klimaforschungsprogramms für Österreich, das die nationalen Bedürfnisse und Forschungsentwicklungen berücksichtigt und in die einschlägige nationale und internationale Forschungslandschaft eingebettet ist, wesentlich. In Interaktion mit der Forschungsgemeinde wurde ein Programm erstellt, das von den zu behandelnden Fragestellungen her eher anwendungsorientiert ist, deren Behandlung jedoch auch ein gewisses Maß an Grundlagenforschung erfordert. Die primären Fragestellungen

- Wie wird sich das Klima auf der regionalen Ebene entwickeln und welche Wechselwirkungen mit natürlichen Systemen sind zu erwarten?
- Welche Risiken und Chancen ergeben sich für Wirtschaft und Gesellschaft durch Klimawandel und Klimapolitik?
- Welche in Österreich gewonnenen Erkenntnisse über Alpine Klimate, deren Wandel und Auswirkungen können Ländern in Afrika, Südamerika und Asien zugute kommen?

werden in eine Reihe von Forschungsvorhaben untergliedert, welche die notwendigen Grundlagen zum Klimawandel im engeren Sinne bereitstellen oder einzelne Wirtschaftssektoren hinsichtlich Sensibilität, Vulnerabilität, Mitigations- und Adaptionspotential genauer analysieren.

# 1 Vorwort

## 1.1 Entstehung von StartClim

In der Klimaforschung tätige österreichische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bildeten im Jahr 2002 unter dem Namen „AustroClim“ eine Forschungsplattform, die sich in fächerübergreifender Kooperation den Herausforderungen des Klimawandels an die Wissenschaft stellen und die erforderlichen Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und bei jeder einzelnen Person durch Bereitstellung einer wissenschaftlichen Basis unterstützen will. Der Forderung von AustroClim nach koordinierter Klimaforschung folgend, haben auf Initiative des Umweltministers sechs Finanzierungspartner

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
- Österreichische Hagelversicherung
- Österreichische Nationalbank
- Umweltbundesamt

gemeinsam das

Startprojekt Klimaschutz – StartClim -  
Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen  
in Österreich

in Auftrag gegeben.

Für die Auftraggeber hat das UBA Wien die administrative Koordination des Startprojektes Klimaschutz übernommen.

Auftragnehmer ist – stellvertretend für die AustroClim Forschungsplattform – Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb, Institut für Meteorologie und Physik der BOKU, die gemeinsam mit Univ.-Prof. Dr. Stefan Schleicher, Institut für Volkswirtschaftslehre, Univ. Graz, das wissenschaftliche Programm und die Ausschreibung von 10 Projektthemen ausgearbeitet hat.

Das Gesamtprojekt wurde, dem Wunsch der Auftraggeber entsprechend, in drei Teilbereiche gegliedert:

- Teil A  
Analyse extremer Wetterereignisse der Vergangenheit, ihrer Auswirkungen und wirtschaftlichen Dimensionen sowie Elemente zukünftiger Szenarien für Österreich
- Teil B  
Synopsis der das Hochwasser 2002 auslösenden Wetterfaktoren und dessen wirtschaftliche Auswirkungen
- Teil C  
Erstellung eines Rohkonzeptes für ein langfristiges Klima-Klimafolgen-Forschungsprogramm in Österreich

Die Auswahl aus den 26 innerhalb der gesetzten Frist eingetroffenen Projektentwürfen erfolgte auf der Basis der Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates (externe Experten) und der Koordinatoren für den Hochwasseranalysebericht des BMLFUW in Zusammenarbeit mit dem StartClim Koordinierungsgremium.

## 1.2 Gliederung des Berichtes

Der vorliegende Bericht besteht aus einer Gesamtschau der Ergebnisse in deutsch und englisch und einer (getrennt gebundenen, zweiteiligen) Dokumentation, in welcher die einzelnen Projekte in extenso von den einzelnen Projektteams beschrieben sind.



Im Zuge der Arbeiten haben sich aufgrund der gewachsenen Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Teilprojekten Cluster von Projekten herauskristallisiert, die thematisch verwandt sind. Diese inhaltliche Gruppierung der Teilprojekte hat sich beim letzten Projektworkshop schon bewährt und wird daher (in leicht modifizierter Form) auch in diesem Bericht übernommen.

Für die Zwecke der Gesamtschau wurden die Projekte in vier Themenbereiche zusammengefasst, wobei die ersten beiden Bereiche Teile des Projektteiles A sind:

1. Evidenz meteorologischer Extremereignisse in Österreich: Erfassung und Analyse der Ereignisse der Vergangenheit, sowie Abschätzung der Entwicklung der nächsten Jahrzehnte. Diesem Bereich sind die StartClim Projekte 1, 2, 4 und 5 zuzurechnen.
2. Auswirkungen wetterbedingter Extremereignisse: Erfassung, Dokumentation, Analyse und Bewertung für ausgewählte Regionen und Sektoren. Diesem Bereich sind die StartClim Projekte 3, 6 und 8 zuzurechnen.
3. Das Hochwasserereignis in Österreich im August 2002: Meteorologische Analysen und Schadenserhebungen und Bewertungen. Diesem Bereich sind die StartClim Projekte 7, 9, 10, sowie 12 bis 14 zuzurechnen.
4. Langfristiges Klimaforschungsprogramm

In die Themenbereiche eingegliedert sind zwei Projekte, die an der Schnittstelle zwischen Forschung und Bildung (StartClim.11) angesiedelt sind. Sie werden am Ende des Themenbereiches 3 dargestellt.

Jedem der vier Themenbereiche ist ein Abschnitt gewidmet, der einleitend ein Gesamtbild zeichnet, als Hilfe zur Einordnung der Projekte, und andererseits die einzelnen Projekte kurz darstellt. Jeder Abschnitt endet mit einer Darstellung der im Rahmen von StartClim erzielten Fortschritte und des sich ergebenden Forschungsbedarfes.

### **1.3 StartClim Statistiken**

StartClim besteht aus 16 Teilprojekten bei denen 50 Personen von fast 20 verschiedenen Institutionen insgesamt rund 100 Monate Zeit für wissenschaftliche Arbeit einschließlich Berichterstellung aufgewendet haben. Von den 50 Wissenschaftlern sind 15 weiblich und 21 unter 35 Jahre alt.

Zur Förderung des wissenschaftlichen Austauschs zwischen den einzelnen Teilprojekten fanden zwischen März und November 2003 vier Workshops statt, zu denen alle beteiligten Wissenschaftler eingeladen waren, ihre bisherigen Ergebnisse zu präsentieren und die Verbindungen zwischen den Teilprojekten zu diskutieren. Im Zuge der Projektarbeit entstand zusätzlich zu den Kontakten zwischen den Teilprojekten auch eine Vielzahl von neuen wissenschaftlichen Kontakten außerhalb der StartClim-Community. Besonders der Austausch zwischen Sozio-Ökonomen und Naturwissenschaftlern wurde von den beteiligten Forschern und Forscherinnen als wesentlich und zukunftsweisend empfunden.

Als weitere Mittel zum Informations- und Datenaustausch innerhalb der StartClim-Community wurden am Institut für Meteorologie und Physik der BOKU ein FTP-Bereich/Server und eine Homepage für StartClim (<http://www.austroclim.at/startclim/>) eingerichtet.

Zur Erstellung des langfristigen Klimaforschungsprogramms wurde am 11. April 2003 ein Brainstorming-Workshop in Wien organisiert, an dem die AustroClim Plattform mit rund 70 Forschern und Forscherinnen vertreten war.

Insgesamt ist zu vermerken, dass trotz der gemessen an den bearbeiteten Fragestellungen sehr knappen Projektlaufzeit von StartClim sehr gute Ergebnisse erzielt wurden; dies war möglich, weil die forschenden Institutionen erhebliche zusätzlichen Mittel aus eigenen Ressourcen in die als interessant und notwendig empfundene Arbeit investiert haben.

#### **1.4 Literaturdatenbank**

Im Zuge von StartClim ist eine offene, teilweise kommentierte Literaturdatenbank zum Thema Klimawandel und Extremereignisse angelegt worden, die für alle weiteren, einschlägigen Forschungsprojekte zur Verfügung steht, und mit diesen mitwachsen soll.

Sie ist auf der Basis von Bibtex, einer share-ware Software, erstellt worden und enthält derzeit 400 Einträge zu Klimawandel und Extremereignissen. Die Literaturzitate enthalten zum Teil Kommentare und eine Kurzfassung, sodass der Informationsgehalt über den anderer Datenbanken, die nur das Zitat an sich enthalten, hinausgeht.

Die Datenbank steht zur Zeit am StartClim-FTP-Server und damit allen StartClim-Partnern zur Verfügung; sie soll längerfristig über das Netz für die ganze AustroClim Plattform zugreifbar werden. Dies setzt allerdings noch einige Programmierarbeiten voraus.

## 2 Zielstellung von StartClim

Zielstellung des „Startprojektes“ StartClim ist es, konkrete, umsetzbare Ergebnisse zur Frage des Auftretens von Extremereignissen im Klimawandel und deren wirtschaftliche Dimensionen zu liefern.

Konkret wurden für das Startprojekt drei Schwerpunkte ausgewählt, nach denen auch das Arbeitsprogramm strukturiert war:

- Analyse extremer Wetterereignisse der Vergangenheit, ihrer Auswirkungen und wirtschaftlichen Dimensionen, sowie Elemente zukünftiger Szenarien für Österreich
- Synopsis der das Hochwasser 2002 auslösenden Wetterfaktoren und dessen wirtschaftliche Auswirkungen
- Erstellung eines Rohkonzeptes für ein langfristiges Klima-Klimafolgen-Forschungsprogramm in Österreich

Rationale für die Themenauswahl: Extreme Wetterereignisse, wie sie Österreich im letzten Jahr vermehrt betroffen haben, sind durch den Klimawandel und die sich ausweitende Nutzung der Naturräume durch den Menschen zu einem Risiko geworden, das alle Bereiche unserer Gesellschaft bedroht und zu weitreichenden präventiven Aktivitäten herausfordert.

Die in diesem Zusammenhang erforderliche Forschung setzt eine Forschungsstrategie voraus, die längerfristige Planung und systematische, auch Grundlagenforschung umfassende Schritte, ermöglicht. Eine solche wird für Österreich derzeit erst angedacht und soll im Rahmen dieses Vorhabens vorangetrieben werden (Teil C).

Die konkrete, in Teil B vorgeschlagene Fallstudie kommt den kurzfristigen praktischen Erfordernissen entgegen, die sich aus dem Hochwasserereignis 2002 ergeben haben.

In Teil A sollte versucht werden, darüber hinaus dem Informationsbedürfnis der Gesellschaft und der Politik zur Frage der Extremereignisse entgegenzukommen. In weniger als einem Jahr Forschungsarbeit können natürlich nicht in allen Bereichen konkrete Antworten erwartet werden. Notwendige, aufwendige Forschungsarbeit kann durch StartClim nicht ersetzt werden, aber StartClim kann helfen, die notwendigen Forschungsaufgaben zu definieren und zu bewerten.

Der Teil A besteht aus zwei Themenbereichen: Der Evidenz meteorologischer Extremereignisse in Österreich, in welchem die Erfassung und Analyse der Ereignisse der Vergangenheit, sowie die Abschätzung der Entwicklung der nächsten Jahrzehnte behandelt werden, und den Auswirkungen wetterbedingter Extremereignisse, in welchem es um die Erfassung, Dokumentation, Analyse und Bewertung von bestimmten Extremereignissen für ausgewählte Regionen und Sektoren geht.

### 3 Evidenz von extremen Wetterereignissen in Österreich

#### 3.1 Einleitung

Die Erforschung der extremen meteorologischen Ereignisse im Lichte des Klimawandels steht noch am Beginn, es gibt aber mehrere gute Gründe anzunehmen, dass extreme Wetterereignisse in Zusammenhang mit dem stattfindenden Klimawandel häufiger werden könnten:

- Rein statistische Überlegungen zeigen, dass bei Verschiebungen von Mittelwerten auch bestimmte Extremwerte häufiger werden und dies verstärkt, wenn auch die Varianz der Verteilungen zunimmt. Lediglich bei Reduktion der Varianz würden Extremereignisse gleich oft oder gar seltener auftreten. Es gibt aber derzeit keinen Grund davon auszugehen, dass die Varianz abnimmt.
- In einer wärmeren, energie- und wasserdampfreicheren Atmosphäre können größere Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit anfallen, der Wasserkreislauf kann angeheizt sein.
- Es gibt Hinweise, dass in Phasen des klimatischen Umbruchs auch in früheren Zeiten Extremereignisse vermehrt zu beobachten gewesen sind.

Bisherige Untersuchungen und Modellberechnungen zeigen, dass der alpine Raum besonders sensibel auf den Klimawandel reagiert – so liegt z.B. die Temperaturerhöhung der letzten 140 Jahre in Österreich etwa doppelt so hoch wie im globalen Mittel. Es liegt daher nahe zu prüfen, ob die erhöhte Klimasensitivität auch Auswirkungen auf die Häufigkeit des Auftretens von Extremereignissen im Alpenraum hat.

Meteorologische Extremereignisse in Österreich umfassen so verschiedene Ereignisse wie Starkniederschläge, Dauerniederschläge, Stürme, Hagelereignisse, Hitze-, Kälte-, und Trockenperioden und Tornados. Allen Extremereignissen ist gemeinsam, dass sie

- a) selten auftreten (sonst würden sie nicht als extrem gelten) und
- b) zeitlich von begrenzter Dauer sind.

In vielen Fällen sind Extremereignisse auch räumlich stark eingeschränkt, wie etwa Hagelereignisse oder manche Starkregen.

Dies bedeutet, dass zu ihrer Erfassung zeitlich und häufig auch räumlich hoch aufgelöste Daten erforderlich sind, d.h. dass das Messstellennetz dicht sein muss und – je nach Ereignis – tägliche, stündliche, oder noch höher aufgelöste Messwerte vorliegen müssen.

Die bisherigen Analysen des Klimawandels in Österreich wurden vor allem anhand der in den letzten Jahren systematisch geprüften und homogenisierten langen Reihen von Monatsdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, d.h. Monatsmittelwerte der Temperatur, Monatssummen des Niederschlags, etc., durchgeführt. Diese Daten reichen für die älteste Reihe bis in das Jahr 1767 zurück.

Die sogenannten „Monatsbögen“, denen diese Daten entnommen wurden, enthalten neben den bisher primär untersuchten Monatsmitteltemperaturen, Niederschlagssummen, etc. auch für Extremereignisse relevante Angaben, z.B. monatliche Maximal- und Minimaltemperatur, Anzahl von Eis-, Frost-, Hitze und Tropentagen, maximaler Niederschlag in dem Monat, etc.. Mit diesen Reihen wurden bisher kaum gearbeitet, auch waren sie weder qualitätsgeprüft noch homogenisiert.

Tagesmittelwerte, Tagessummen, tägliche Maxima und Minima – d.h. die Werte auf denen die „Monatsbögen“ beruhen, liegen für die meisten Österreichischen Stationen erst ab 1948 vor, da das Archiv mit den älteren Daten im zweiten Weltkrieg beim Transport nach Berlin bei einem Luftangriff verloren ging.

Zur Analyse von Extremereignissen werden primär die Reihen der Tagesdaten benötigt, obwohl auch die monatlichen Extremwerte wertvolle Hilfe leisten können. Ein wichtiges Ziel von StartClim war es daher, Reihen von Tagesdaten ausgewählter Stationen in Österreich auf Plausibilität hin zu prüfen und so der Auswertung in Hinblick auf Extremereignisse zugänglich zu machen (StartClim.1). Wegen der Kleinräumigkeit mancher Extremereignisse ist natürlich auch die Zahl der verfügbaren Reihen und damit deren räumliche Dichte von großer Bedeutung.

Da diese Reihen, wie erwähnt, mit wenigen Ausnahmen erst ab 1948 verfügbar sind, war es wichtig, anhand der wenigen längeren Reihen und anhand der aus den Monatsbögen entnommenen Daten zu prüfen, wie repräsentativ die Aussagen hinsichtlich Klimawandel sind, die anhand der kurzen Reihen gemacht werden. Dieser Aufgabe widmete sich StartClim.2.

Diese beiden Projekte ermöglichten zugleich – mit Vorbehalten da die Reihen noch nicht homogenisiert werden konnten – Aussagen zu Trends, Änderungen in den Häufigkeitsverteilungen, etc.

Will man nicht nur die Vergangenheit analysieren sondern auch Abschätzungen möglicher zukünftiger Entwicklungen durchführen, muss man auf Szenarienberechnungen der Globalen Klimamodelle (GCM) zurückgreifen.

Bei der Analyse dieser Klimaszenarien in Hinblick auf Extremereignisse schränkt die mangelnde räumliche Auflösung die Möglichkeiten ebenfalls ein. Es gibt eine reichhaltige Literatur über Methoden zur Regionalisierung (downscaling) von Monatsdaten, die Entwicklung ist aber keineswegs abgeschlossen. Dem downscaling von Extremereignissen widmet sich die Wissenschaft erst seit kurzem: wenige Arbeiten wurden dazu bisher publiziert, die Methoden stecken noch in den Kinderschuhen. Zwei StartClim Projekte widmeten sich dieser Frage: In StartClim.5 wurden statistische Regionalisierungsmethoden, auf Monats- und Tagesbasis, übernommen und für das downscaling von Extremereignissen adaptiert. Dazu wurden die Monats- und Tagesdaten der Jahre 1948 bis 2000 statistisch mit den großräumigen meteorologischen Feldern eines GCM (Reanalyse) verknüpft. Auf dieser Basis gelang es auch, erste Trends für Extremereignisse unter geänderten Klimabedingungen zu errechnen. Im zweiten Projekt, StartClim.4, wurde eine aufwendigere Regionalisierungsmethode entwickelt, die der zeitlichen und räumlichen Entwicklung von Wetterlagen besser gerecht wird – ein besonders für Niederschlagsereignisse oder Stürme wichtiger Aspekt.

In Abb. 1 wird der Beitrag der vier Projekte nochmals zusammengefasst: StartClim.1 stellt die Tagesdaten für den Zeitraum 1948 – 2002 bereit und analysiert in Hinblick auf Extremwertstatistik. StartClim.2 bezieht den Zeitraum vor 1948 in die Betrachtungen mit ein, um so einerseits die Relevanz der in StartClim.1 errechneten Trends zu prüfen und andererseits, soweit möglich, die gerade für seltene Ereignisse so wichtige Erweiterung des Zeitraumes zu ermöglichen. StartClim.4 und StartClim.5 benützen die zur Verfügung gestellten Daten um Zusammenhänge mit großräumigeren meteorologischen Strukturen herzustellen, um durch Anwendung dieser Zusammenhänge auf die von Globalen Klimamodellen berechneten Felder zukünftige Trends extremer Ereignisse zu ermitteln.

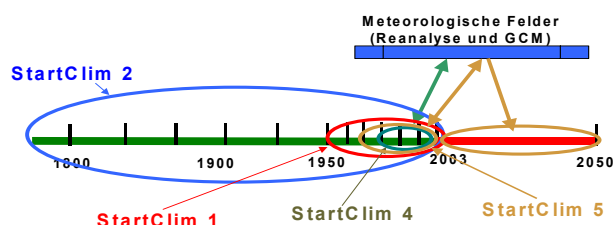


Abb. 1: Schematische Darstellung des Beitrages der einzelnen Projekte und deren Zusammenhang

### 3.2 Qualitätskontrolle und statistische Eigenschaften ausgewählter Klimaparameter auf Tagesbasis in Hinblick auf Extremwertanalysen (StartClim.1)

Im Gesamtverbund des StartClim Projektes sollte StartClim.1 qualitätsverbesserte Tagesdaten für ausgewählte Klimaelemente bereitstellen sowie erste Ansätze einer Extremwertstatistik versuchen und damit die Datenbasis für StartClim aber auch für Folgeprojekte liefern. Tagesdaten von Klimaelementen sind besonders im Hinblick auf Untersuchungen von Änderungen von Klimaextremwerten wichtig. Datenfehler und Inhomogenitäten können jedoch das Klimaänderungssignal teilweise oder vollständig maskieren. Eine Datenprüfung und Datenqualitätsverbesserung ist daher unbedingte Voraussetzung für jede Extremwertstatistik von Klimaparametern.

Die wesentliche Aufgabe von StartClim.1 bestand daher in einer eingehende Qualitätsprüfung und Qualitätsverbesserung der Klimareihen von 71 österreichischen Stationen (s. Abb. 2) für die Klimaelemente Lufttemperatur (Mittel und Extreme), Niederschlagssumme und Schneehöhe für den Zeitraum 1948 bis 2002. Auf Grund des zeitlich begrenzten Rahmens des Projektes konnten nur einfache Methoden der Qualitätsverbesserung entwickelt werden, die im Wesentlichen auf verschiedenen Methoden der Berechnung und Darstellung auffälliger Werte beruhen, die dann einzeln zu überprüfen waren (Vergleich mit Originalklimabögen, Vergleich mit benachbarten Stationen). Fehler in der Datenbank wurden durch die richtigen Werte ersetzt oder mittels Nachbarstationen ergänzt.



Abb. 2: Stationsauswahl StartClim.1

Letzter Schritt der Datenprüfung war eine abschließende Homogenitätsprüfung der Datenreihen mittels einer neu entwickelten Methode basierend auf einer Höhenregression der Klimaelemente Lufttemperatur und Schneehöhe (für die Niederschlagssumme konnte diese Methode nicht verwendet werden). Die Zeitreihen der Residuen einer Station vom Regressionsmodell beziehungsweise die Zeitreihe der kumulierten Residuen konnte dabei für die Prüfung verwendet werden. Die Methode erwies sich als sehr wirkungsvoll, jedoch wird eine weitere Methodenentwicklung besonders für eine anschließende Homogenisierung notwendig sein.

Wie bereits für Monatsreihen bekannt (Auer et al. 2001), zeigte sich, dass, auch für die kürzere Zeitspanne der StartClim.1 Reihen keine Klimareihe als homogen bezeichnet werden kann. Es bestehen auch beträchtliche Unterschiede in der Datenqualität. Die vielfach verwendeten Reihen der Stationen Sonnblick und Wien Hohe Warte sind die homogensten und

hochqualitativsten in Österreichs Klimamessnetz. Mehrere Stationen sind ohne eine weitere Homogenisierung kaum brauchbar. Von viele Stationen können für Klimaänderungsstudien nur homogene Subperioden verwendet werden.

Aufgrund ihrer guten Datenqualität und –homogenität und der weiter als 50 Jahre zurückreichenden Reihe wurden erste deskriptive statistische Analysen mit verteilungsunabhängigen Methoden für die Station Wien Hohe Warte durchgeführt (für andere Stationen wäre erst eine Homogenisierung oder eine Beurteilung des Einflusses der Inhomogenitäten für extremwertstatistische Aussagen durchzuführen). Zeitreihen des 0.1 und des 0.9 Perzentils mittels einer Gleitfenstertechnik zeigen einen deutlichen Anstieg der extremen Sommertemperaturen (Verschiebung des 0.9 Perzentils um ca. 2°C – s. Abb. 3a) sowie kaum eine Änderung der Minimumtemperaturen im Winter (0.1 Perzentil) in der Zeitperiode 1948 bis 2002 (s. Abb. 3b).

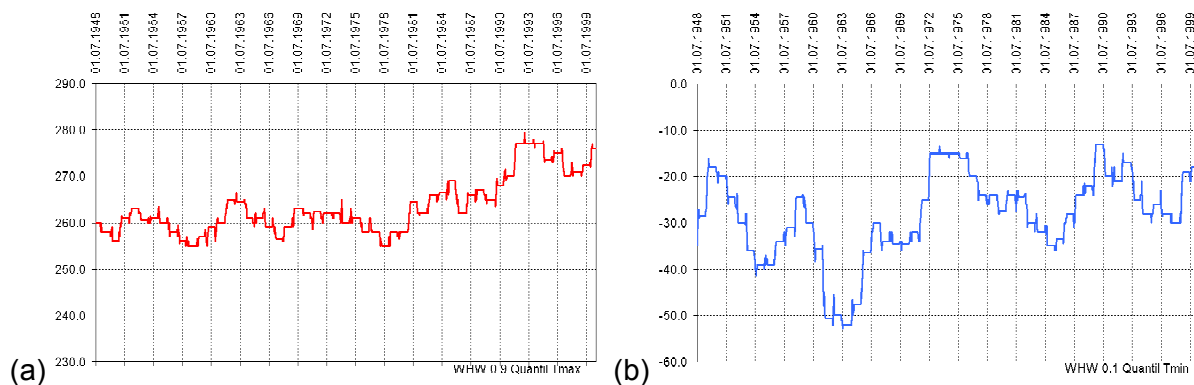


Abb. 3: (a) 0.9 Perzentile für Lufttemperaturmaximum sowie (b) 0.1 Perzentil für Lufttemperaturminimum der Station Wien Hohe Warte (in 1/10°C)

Das bedeutet, dass die höchsten 10% der Tagesmaxima jetzt um 2° höher liegen, als noch vor 50 Jahren, während die extremen Temperaturminima sich nicht wesentlich verändert haben.

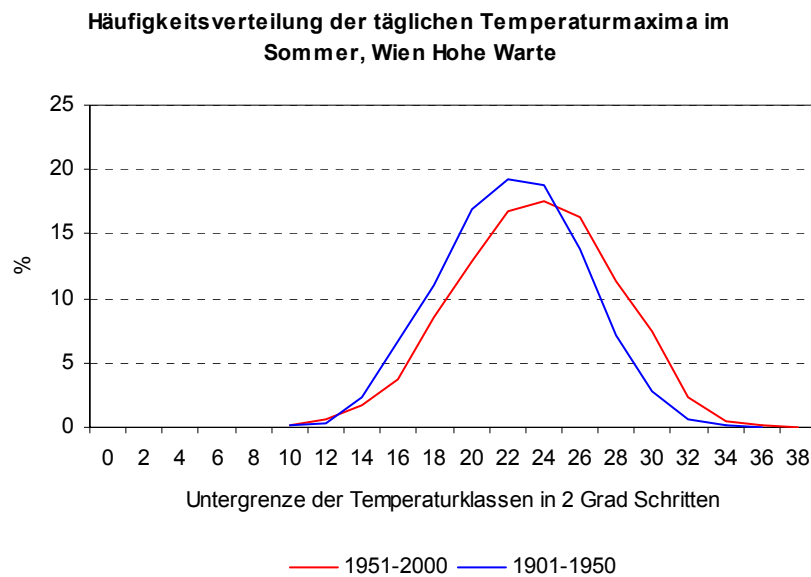


Abb. 4: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen des Lufttemperaturmaximums der Zeitreihen Wien Hohe Warte 1901-1950 und 1951-2000 für den Sommer

Ein Vergleich der Häufigkeitsverteilungen (Abb. 4) beziehungsweise aller Quantile (Abb. 5) der Periode 1901-50 mit der Periode 1951-2000 zeigt die größten Verschiebungen für das Temperaturmaximum im Frühjahr und im Sommer; mit bis zu 2°C Erhöhung der Extremwerte in der Periode 1951-2000. Auch bei der Untersuchung der Quantilsänderungen zeigt sich eine vergleichsweise wesentlich geringere Erwärmung für das Temperaturminimum im Winter (etwas über +1°C für die Periode 1951-2000).

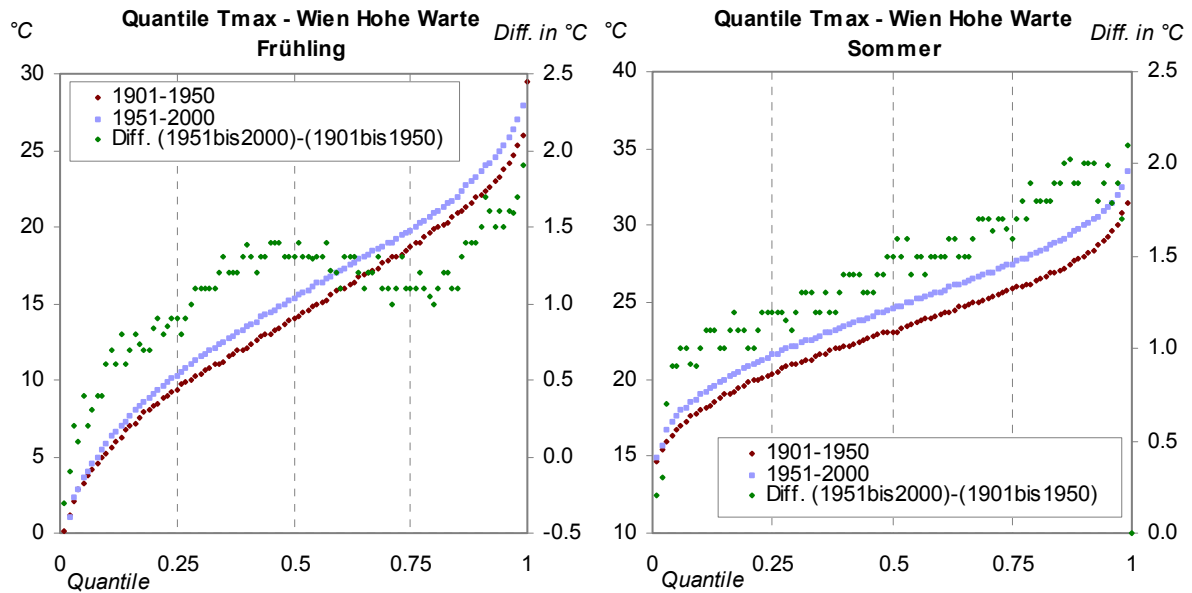


Abb. 5: Vergleich der Zeitreihen Wien Hohe Warte 1901-1950 und 1951-2000: Quantile in 0.01 Schritten sowie deren Differenz – Lufttemperaturmaximum Frühling und Sommer

Eine Peak over threshold (POT) Analyse für die zwei Subperioden für das Temperaturmaximum im Sommer zeigt sowohl einen beachtlichen Anstieg in der Anzahl der Schwellenwertüberschreitungen als auch, dass der mittlere Exzess verschiedener Schwellenwerte bei den niedrigsten und höchsten Werten am größten ist (nahezu 2°C höher für 1951-2000), jedoch für eine Schwellenwert von 34°C ein Minimum aufweist. Die vergleichende POT Analyse für das Temperaturminimum zeigt hingegen keine klaren zeitlichen Änderungen.

Der Niederschlag zeigt für Wien Hohe Warte bei keiner der durchgeführten extremwertstatistischen Analysen eine klare zeitliche Änderung.

### 3.3 Zeitliche Repräsentativitätsanalyse 50jähriger Klimadatenätze im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten (StartClim.2)

#### 3.3.1 Erhebung und Digitalisierung von monatlichen Extremwerten bzw. Werten, die in Hinblick auf Extreme ausgewertet werden können

Aufzeichnungen über instrumentelle Messungen gehen in Österreich bis ins Ende des 18. Jahrhunderts zurück. An der Zentralanstalt für Meteorologie liegen jedoch vielfach nur noch Monatsdaten vor, da die Originalaufzeichnungen während des 2. Weltkrieges bis auf wenige Ausnahmen restlos verbrannten. Dieses Datenpotential auf Monatsbasis war vor StartClim.2 noch nicht vollends ausgeschöpft. Daher wurden zunächst Extremwerte und Werte, die in Hinblick auf Extreme auswertbar sind, mindestens hundertjähriger Zeitreihen auf Monatsbasis auf Grundlage unterschiedlicher Datenquellen (Jahrbücher der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und des Hydrographischen Zentralbüros, sowie unpublizierte Datenzusammenstellungen des Klimadatenarchivs an der Zentralanstalt



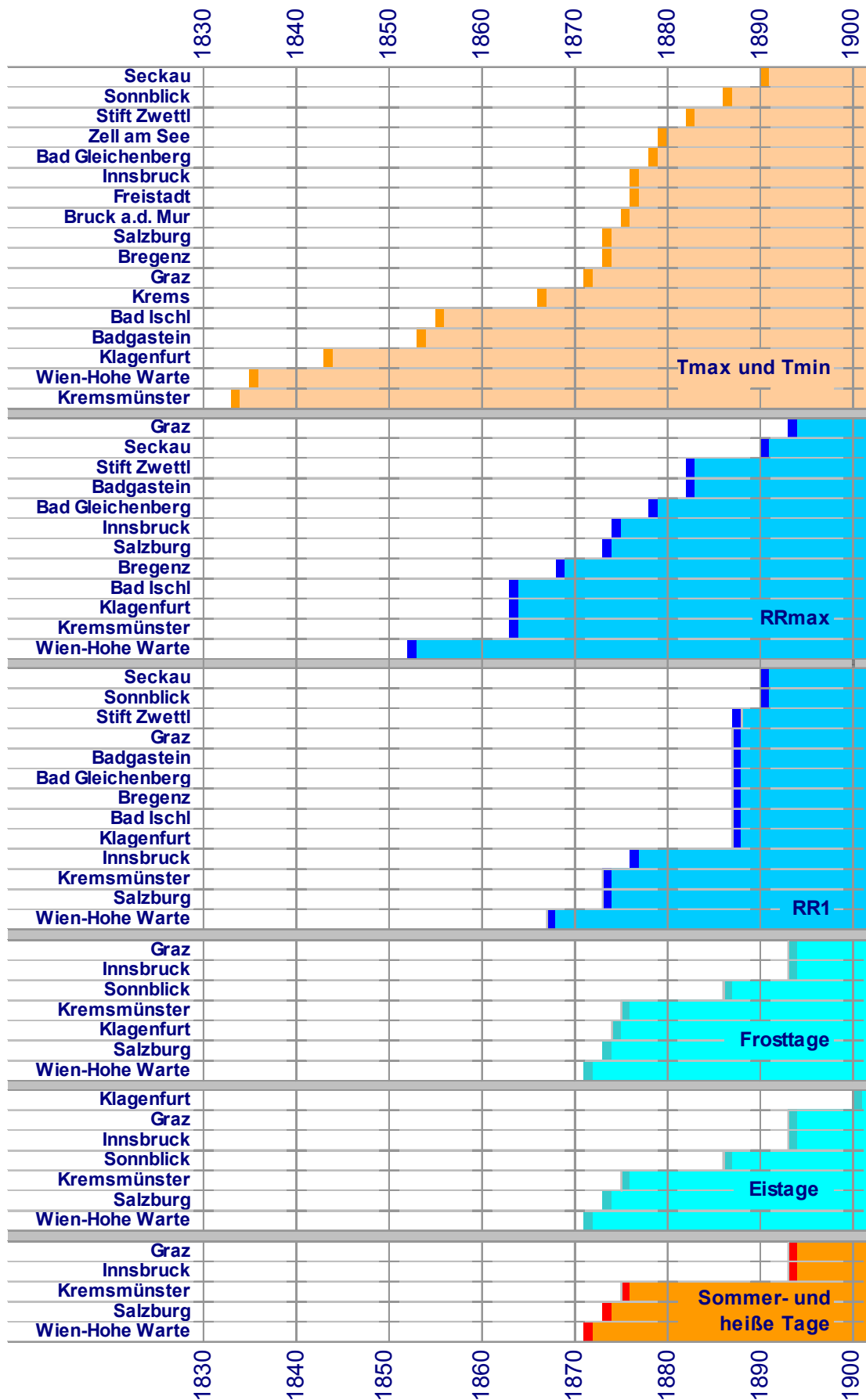


Abb. 6: Vollständige Zeitreihen bis 2002 für alle StartClim.2-Stationen und –Parameter

für Meteorologie und Geodynamik) digitalisiert. Diese neu erhobenen Datensätze waren - mit wenigen Ausnahmen - nicht vollständig, sondern von Datenlücken unterschiedlichen Ausmaßes (bis zu 10% der Gesamtreihe) durchsetzt. Um lückenlose Zeitreihen zu erhalten, wurden element. und stationsspezifische Ergänzungsmethoden verwendet.. Alle Reihen wurden vor der Ergänzung und nach der Ergänzung auf ihre Plausibilität geprüft. Daraus ergibt sich ein nun für die Forschung bereitstehender neuer Datensatz, der in Abbildung 6 dargestellt ist.

### 3.3.2 Einfluss von Inhomogenitäten auf Analyseergebnisse

Inhomogenitäten in den Datenreihen stellen ein großes Problem bei der Analyse der Klimavariabilität dar. Daher wurde zunächst der Frage nachgegangen, inwieweit Inhomogenitäten den in StartClim.1 qualitätsgeprüften Datensatz beeinflussen können. Anhand ausgewählter

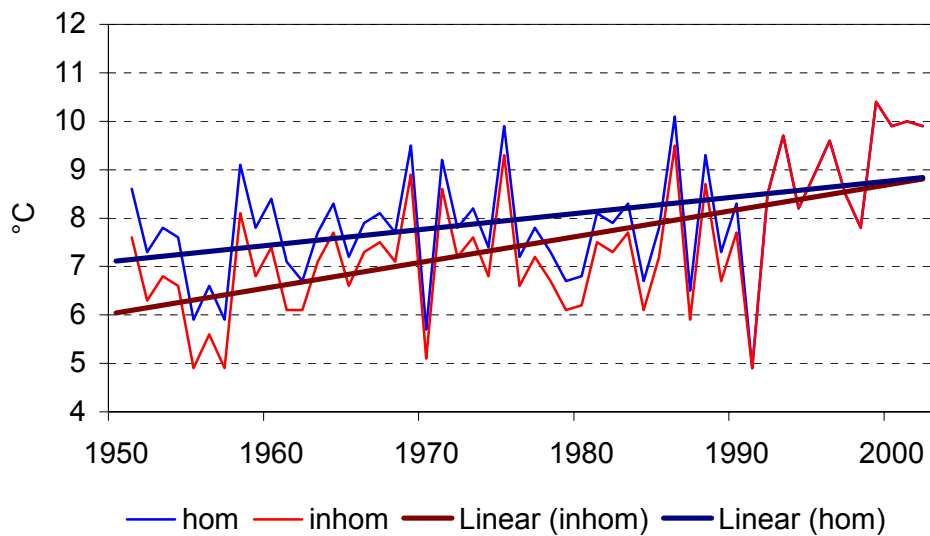


Abb. 7: Zeitreihen und Trends der mittleren täglichen Minima der Lufttemperatur im Mai in Klagenfurt, 1951-2002: - Durch Verwendung von unhomogenisierten Daten würde ein Trend von 2.7°C vorgetäuscht werden, nach der Homogenisierung lag der Trend bei 1.7°C.

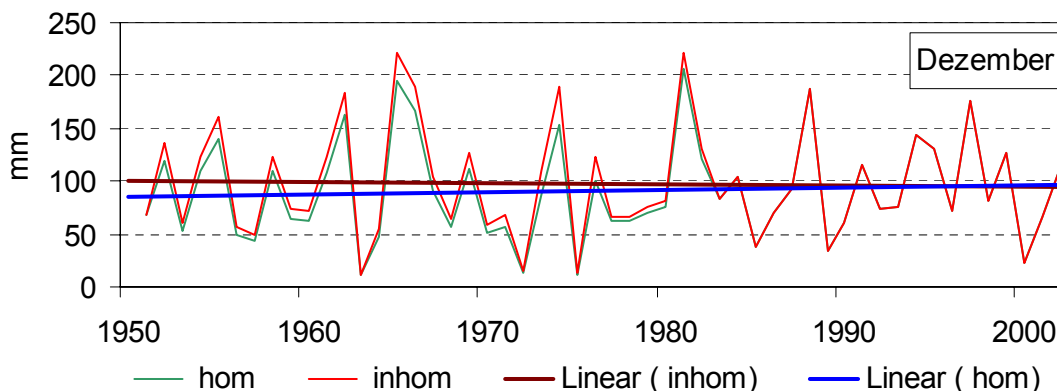


Abb. 8: Zeitreihen und Trends der Niederschlagssummen in Dezember in Bregenz, 1951-2002 - ein ursprünglich leicht negativer Trend wurde zu einem ganz schwach positiven.

Beispiele wurde gezeigt, dass Inhomogenitäten in den Reihen zu Trendverfälschungen (Abmilderung oder Verstärkung wie das Beispiel in Abb. 7 zeigt) bis hin zur Trendumkehr (Abb. 8) führen können. Zusätzlich führen Inhomogenitäten zu Problemen beim klimatologischen Mittelwert und zu Verschiebungen innerhalb der Häufigkeitsverteilungen.

### **3.3.3 Repräsentativität des Zeitraumes 1951 – 2002 im Hinblick auf die Beschreibung der Variabilität von Extremwerten**

Für willkürlich ausgewählte Perioden (10 bis 50 Jahre) der Gesamtzeitreihe wurden sowohl aus Tagesdatensätzen als auch den Monatsdatensätzen Häufigkeitsverteilungen berechnet und daraus gebildete Kenngrößen mit jenen der Gesamtreihe verglichen: Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass je kürzer diese Stichprobe, desto geringer auch die Wahrscheinlichkeit ist, dass damit Extremwerte der Gesamtreihe erfasst werden können. Eine systematische Analyse erlaubt jedoch zu ermitteln, wie lange eine Zeitreihe sein muss, um die Kenngrößen der Gesamtreihe mit einer vorgegebenen Unsicherheit zu reproduzieren. Es muss davon ausgegangen werden, dass neben der Verschiebung von Häufigkeitsverteilungen auch Mittelwerte und Jahresgänge durch zu kurze Datenreihen verfälscht werden.

Für die Stichprobe 1951-2002 gilt, dass sie das Tagsmaximum und –Minimum der Temperatur mit einer Genauigkeit von  $\pm 1^\circ\text{C}$  und die tägliche Niederschlagssumme mit einer Genauigkeit von  $\pm 10\%$  für die Schranken 1%-Perzentil (P1), 50%-Perzentil (P50) und 99%-Perzentil (P99) beschreibt. Weniger gut werden monatliche Extreme wie etwa P10 des absoluten Temperaturmaximums oder auch der Häufigkeit von Frost-, Eis-, Sommer- und heißen Tagen durch den Zeitraum 1951-2002 erfasst. Auch der Jahresgang des Niederschlags ist nicht innerhalb einer 10%-Abweichung der Monatssummen beschreibbar.

Die folgende Tabelle zeigt, wie lang eine Zeitreihe mindestens sein muss, um die Variabilität der Extremwerte innerhalb gewisser Abweichungen zu beschreiben.

Neben der zeitlichen Repräsentanz steht auch die örtliche Repräsentanz der verfügbaren Stationen zur Debatte. Dies betrifft in erster Linie das Element Niederschlag. Mit einer Anzahl von 30 homogenisierten Langzeit-Niederschlagsstationen auf Monatssummenbasis (Böhm et al., 2003) ist das österreichische Bundesgebiet zumindest für das Flachland gut abgedeckt, die Anzahl von 4 Stationen auf Tagesdatenbasis hingegen ist auf keinen Fall ausreichend, da die räumliche Repräsentativität für Tagesniederschläge im Vergleich zu Monatssummen wesentlich geringer ausfällt. Analysen zeigten, dass die mittlere Dekorrelationsdistanz (gemeinsame Varianz zumindest 0.5) im alpinen Bereich für Monatssummen bei 105 km, für Tagesdaten jedoch bei 42 km liegt (Scheifinger et al., 2003). Bezogen auf Extremniederschläge ist sie noch stärker vermindert. Eine Auswertung der Tagesniederschlagssummen von mindestens 30 mm gemessen auf der Hohen Warte zeigte, dass die Korrelation für solche Tage bereits innerhalb des Stadtgebietes auf unter 0.5 abfällt (Böhm, 1979). Für das Hochwasserereignis August 2002 sind Überlegungen dazu in den StartClimprojekten 12 und 13 zu finden.

### **3.3.4 Forschungsbedarf**

Im Rahmen der Aufgabenstellungen innerhalb von StartClim.2 wurden klare Forschungserfordernisse sichtbar:

- Entwicklung von Methoden zur Inhomogenitätsbereinigung von Tagesdatensätzen.
- Räumliche Verdichtung der im Rahmen von StartClim.1 qualitätsgeprüften Tagesdatensätze von Niederschlag und Schnee für die Zeit 1951-2002.
- Räumliche Verdichtung des Datensatzes täglicher langer Reihen (zumindest 100 Jahre) für das Element Niederschlag durch Einbeziehung von Archivdaten der Hydrographischen Dienste.
- Langzeitreihen des Elementes Schnee durch Einbeziehung von Archivdaten der Hydrographischen Dienste.

- Bearbeitung der innerhalb von StartClim nicht berücksichtigten wichtigen Komplexe wie Luftfeuchtigkeit, Strahlung / Bewölkung, Luftdruck und Wind.

Tab. 1: Erforderliche Reihenlänge, um für ein Element eine bestimmte Genauigkeit gegenüber der Gesamtreihe für das 1%-Perzentil (P1), das 50%-Perzentil (P50) und das 99%-Perzentil (P99) zu erreichen (Ergebnisse der Station Wien)

<b>bei Verwendung von Monatsdaten:</b>		<b>Jahre</b>	<b>1953-2002</b>
absolutes Maximum der Lufttemperatur (+/-1 °C)	P 10	100	NR
	P 90	100	R
	P 50	100	R
absolutes Minimum der Lufttemperatur (+/- 1 °C)	P 10	100	R
	P 90	10	R
	P 50	20	R
Frosttage (+/- 10% vom Gesamtmittel)	P 10	100	NR
	P 90	100	NR
	P 50	50	R
Eistage (+/- 10% vom Gesamtmittel)	P 10	50	R
	P 90	>100	NR
	P 50	100	NR
Sommertage (+/- 10% vom Gesamtmittel)	P 10	100	NR
	P 90	100	NR
	P 50	100	NR
heiße Tage (+/- 10% vom Gesamtmittel)	P 10	100	NR
	P 90	>100	NR
	P 50	100	NR
mittl. Niederschlagssumme in monatlicher Auflösung (+/-10%)		100	NR
mittl. Jahresniederschlagssumme (+/-10%)		30	*R
Jahres-Niederschlagssumme (+/- 50 mm)	P95	100	*R
	P5	50	*R
Jahresgang (Erfassung des Jahresganges ohne Berücksichtigung der absoluten Höhe)		50	*R
Extreme jährliche Tagesniederschlagssumme (+/-10 %)	P 10	<50	R
	P 90	<50	R
	P 50	<50	R
jährliche Zahl der Tage mit Niederschlag (+/-10%)	P 10	50	R
	P 90	50	R
	P 50	50	R
<b>bei Verwendung von Tagesdaten:</b>			
Tagesmaximum der Lufttemperatur (+/-1°C)	P1	50	*R
	P99	100	*R
	P50	30	*R
Tagesminimum der Lufttemperatur (+/-1°C)	P1	50	*R
	P99	20	*R
	P50	20	*R
tägliche Niederschlagssumme (+/- 10%)	P1	10	*R
	P99	30	*R
	P50	20	*R
*1951-2000; NR: nicht repräsentativ; R: repräsentativ			

### **3.4 Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich (StartClim.5)**

#### **3.4.1 Einleitung**

Die derzeitigen gekoppelten Globalen Klimamodelle (GCM) sind recht gut in der Lage, das Klima in globaler bis kontinentaler Größenordnung zu reproduzieren. Um zu regionalen Aussagen aus den GCM - Szenarios zu gelangen, werden seit Beginn der 90er Jahre verschiedene Downscaling-Verfahren entwickelt.

Sie stellen geringere Ansprüche an die Infrastruktur als dynamische Verfahren und können relativ einfach an die jeweiligen Ansprüche der Forscher angepasst werden (Hewitson et al., 1996). Bei diesen Verfahren wird ein statistischer Zusammenhang zwischen beobachteten meteorologischen Stationsdaten und großräumigen Verhältnissen (einige GCM Gitterpunktwerte bis hin zu kontinentalen Strukturen) abgeleitet

Der Großteil dieser Verfahren wurde bisher für klimatologische Anwendungen verwendet, wobei sowohl auf regionaler, als auch auf grossskaliger Ebene Monatsmittel als Eingabegrößen verwendet wurden. Hierbei werden in erster Linie Veränderungen der großräumigen Zirkulationsmuster untersucht. Erst neuere Projekte, wie das Projekt STARDEX der Europäischen Kommission, beschäftigen sich direkt mit der Ableitung von Informationen über Extremereignisse aus Klimaänderungsszenarien mittels statistischer Verfahren auf Tagesbasis.

Ziel des vorliegenden Projektes war es zu klären, wie weit verschiedene statistische Downscaling Techniken für die Abbildung von Extremereignissen in Österreich geeignet sind und erste Aussagen über mögliche Änderungen in den Extremereignissen in Österreich aus Klimaänderungsszenarien abzuleiten.

#### **3.4.2 Verwendete Downscalingmethoden**

In diesem Projekt wurden ein Verfahren auf Monatsbasis, beruhend auf der Kanonischen Korrelationsanalyse (CCA) und ein Analogverfahren auf Tagesbasis untersucht, die beide im Rahmen einer früheren Arbeit für Österreich adaptiert worden sind (Matulla und Haas 2003, Groll 2002).

Die kanonische Korrelationsanalyse (CCA) hat weite Verbreitung in der Meteorologie gefunden. Insbesondere in der Klimaforschung wird sie zum Downscaling von klassischen meteorologischen Größen wie Temperatur oder Niederschlag (von Storch et al. 1993) verwendet. Auch im Alpenraum ist dieses Verfahren bereits getestet worden (Gyalistras et al. 1994). Sie wurde von Hotelling (1936) erstmals beschrieben und ist ein lineares Verfahren, das charakteristische Variabilitätsmuster zueinander in Beziehung setzt. Sie ist so konstruiert, dass sie sukzessive jene Muster auswählt, deren Zeitreihen maximal korreliert sind.

In Validierungsexperimenten konnte gezeigt werden, dass für die Temperatur in der Regel sehr hohe Korrelationen ( $R^2 \sim 0.65$ ) zwischen den beobachteten und modellierten Zeitreihen bestehen (Matulla und Haas, 2003). Beim Niederschlag sind die Korrelationen deutlich geringer, wobei sich hierbei auch regionale und jahreszeitliche Unterschiede ergeben. Der Grossteil der Korrelationen ist jedoch mit 95-prozentiger Sicherheit signifikant und die CCA liefert bessere Ergebnisse als z.B. ein multipler linearer Regressionsansatz (Matulla und Haas, 2003).

Wie der Name schon sagt bedient sich die Analogmethode analoger Situationen der Atmosphäre. Die hier angewandte Methode sucht auf Basis der Hauptkomponentenanalyse (PCA) rein statistisch ähnliche Verteilungsmuster in den großräumigen meteorologischen Feldern (Zorita und von Storch 1999). Das ähnlichste Feld wird durch Minimierung der Distanz der PCs definiert und es wird unterstellt, dass bei gleichen (ähnlichsten) großräumigen Bedingungen, auch lokalskalig die selben Wettererscheinungen (Temperatur, Niederschlag) auftreten.

Bei den Validierungsexperimenten ergab sich für die Temperatur ebenfalls eine hohe Korrelation ( $R^2 \sim 0.7$ ). Auch bei dieser Methode zeigen sich deutliche Schwierigkeiten bei der Reproduktion der Niederschläge. Die zeitlichen Korrelationen gehen stark zurück und zusätzlich sind nur mehr wenige Stationen mit 95-prozentiger Sicherheit signifikant.

### 3.4.3 Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren bezüglich Extremereignisse.

Da das CCA-Verfahren auf Monatsdaten (sowohl lokal als auch großskalig) beruht, sind direkte Auswertungen bezüglich Extremereignisse nicht möglich. Dennoch können für die Temperatur Aussagen über „moderate“ Extremereignisse wie Tropentage (Tagesmaximum über 30 °C) oder Eistage (Tagesmaximum unter 0 °C) abgeleitet werden, da ein guter statistischer Zusammenhang zwischen Monatsmitteltemperatur und der Temperaturverteilung innerhalb des Monats besteht. In Abb. 9 ist dieser Zusammenhang für Tropen- und Sommertage (Tagesmaximum über 25 °C) in Wien dargestellt. Überträgt man die statistischen Eigenschaften auf Klimaänderungsszenarien so ergibt sich z.B. dass die Häufigkeit von Sommertagen im Sommer in Wien von 46% in der Periode 1961-1990 auf nahezu 70% in der Periode 2026-2050 ansteigt und die Zahl der Tropentage sich im selben Zeitraum mehr als verdoppelt (Abb. 10). Umgekehrt nimmt die Zahl der Frost- und Eistage an der Station Schmittenhöhe um etwa 6 bzw. 20 % ab.

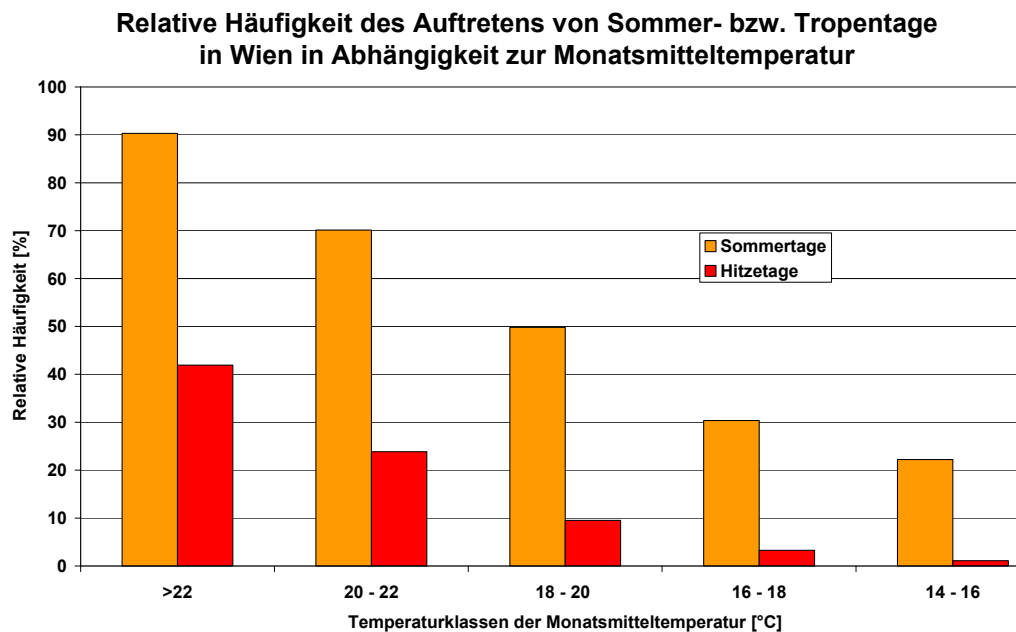


Abb. 9: Relative Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen (Tagesmaximum über 25 °C bzw. 30°C) in Wien in Abhängigkeit zur Monatsmitteltemperatur.

Für den Niederschlag, speziell für Starkniederschläge, können keine solchen Transferfunktionen abgeleitet werden, da sich die Monatsniederschlagssumme aus vielen Niederschlagsereignissen mit geringer Intensität, oder aus wenigen mit hoher Intensität zusammensetzen kann. Lediglich für sehr trockene Perioden kann eine gewisse Aussage getroffen werden, da solche Perioden über einige Wochen anhalten und daher auch in den Monatsfeldern abgebildet werden. In Abb. 11 ist die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen [mm] für die Südregion Österreichs im Frühjahr dargestellt. Man erkennt die deutliche Zunahme von Saisonen mit moderat geringen Niederschlagssummen zwischen 150 und 200 mm von derzeit ~ 36 auf über 50 Prozent und den Rückgang der besonders feuchten Monate.

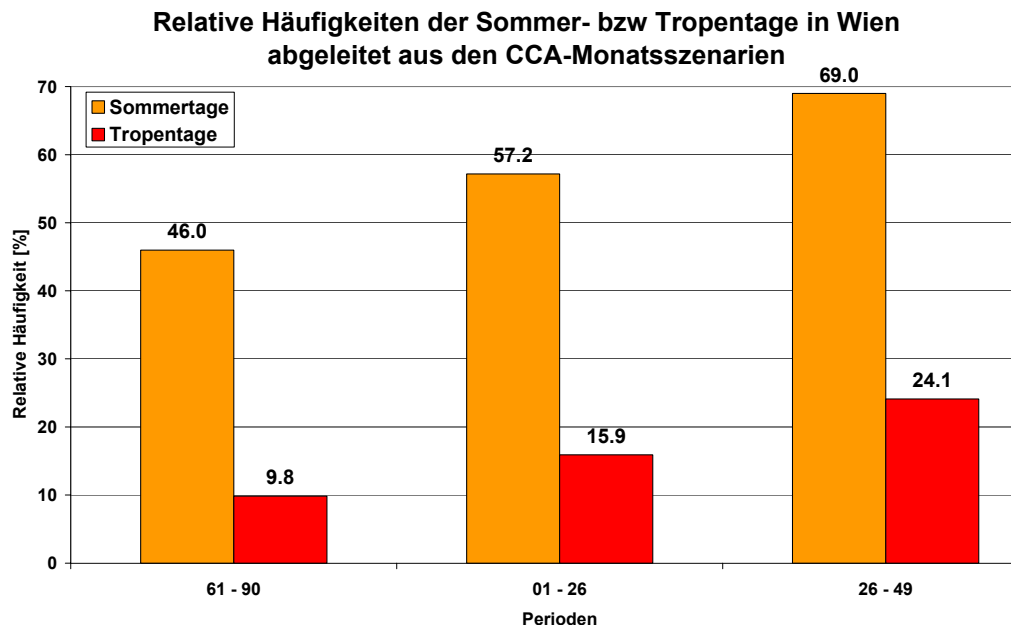


Abb. 10: Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen in Wien während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Abgeleitet aus CCA- Monatsszenarien.

Da das Analogverfahren Ergebnisse auf Tagesdaten liefert, können diese Szenarien direkt für Auswertungen bezüglich Extremereignisse verwendet werden. Weil die zeitliche Korrelation auf Tagesbasis speziell beim Niederschlag aber sehr gering ist, sollten die Ergebnisse nur klimatologisch interpretiert werden. Als Beispiel ist in Abb. 12 die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagstagesummen dargestellt. In diesem Szenario würde die Anzahl der niederschlagsfreien Tage in Wien um rund 6 Prozent zunehmen, wobei dies hauptsächlich durch einer Abnahme der Tage mit Niederschlägen kleiner als 5 mm erreicht wird.

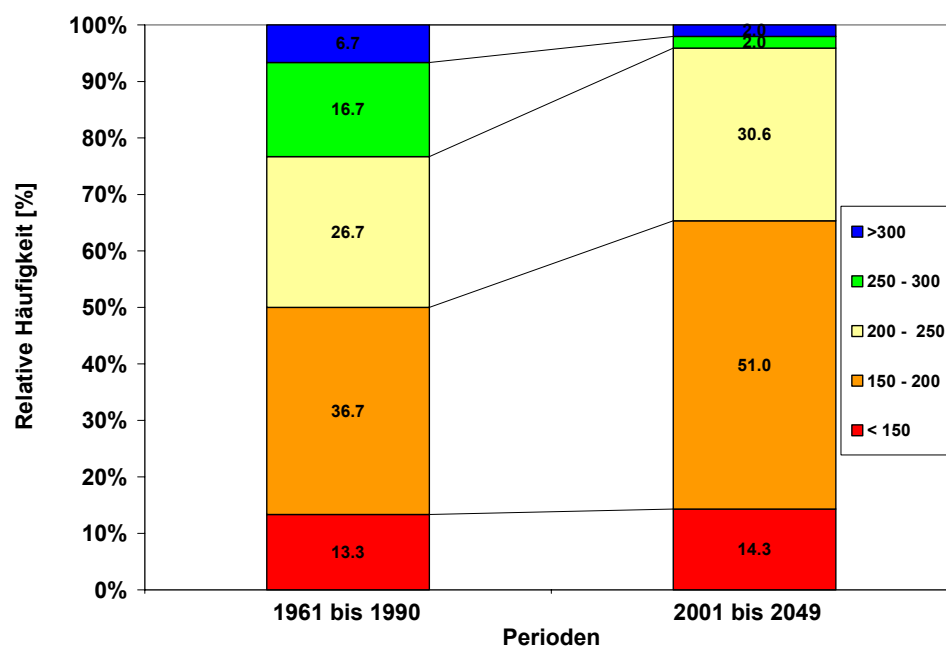


Abb. 11: Relative Häufigkeit von Niederschlagsklassen [mm] für die Südregion Österreichs im Frühjahr. Abgeleitet mittels CCA-Verfahren.

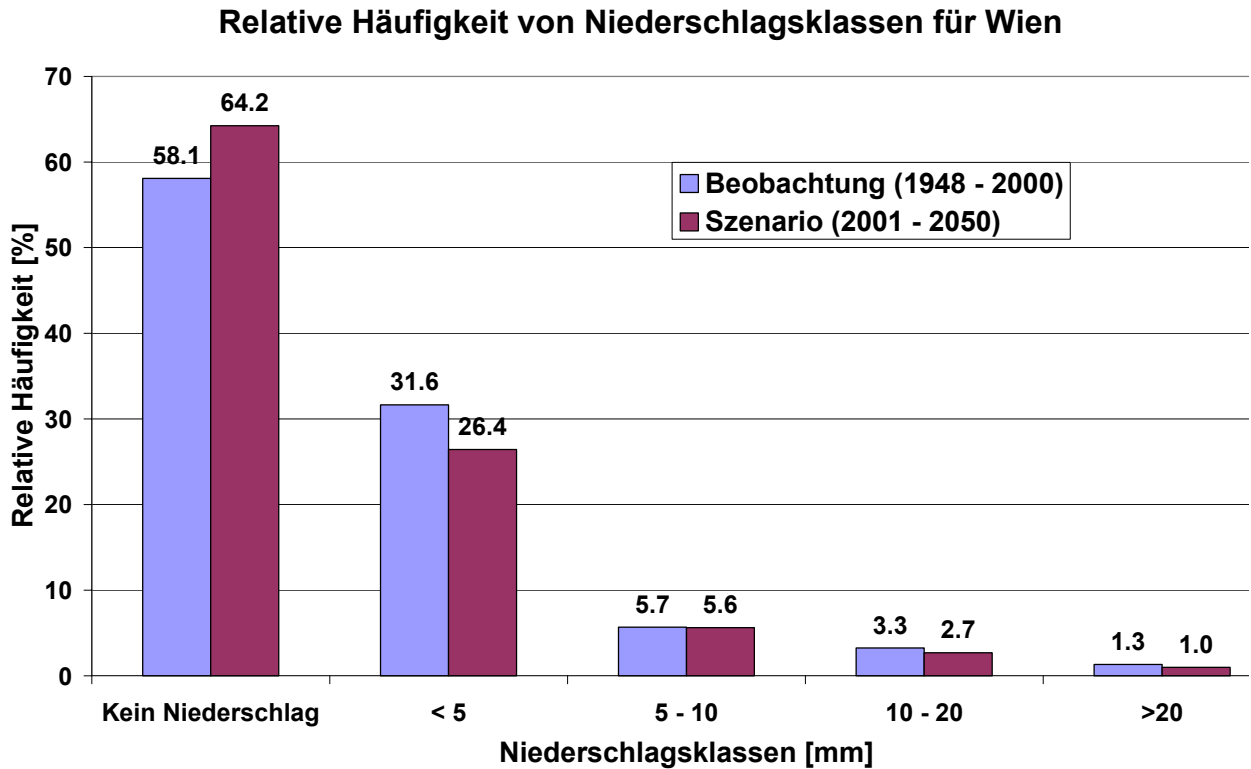


Abb. 12: Relative Häufigkeit der Niederschlagstagesummen [mm] für Wien beobachtet und mittels Analogscenario abgeleitet.

#### 3.4.4 Schlussfolgerung

Generell kann gesagt werden, dass der statistische Zusammenhang zwischen lokaler Witterung und großskaligen meteorologischen Feldern für die Temperatur von beiden Verfahren mit ausreichender Genauigkeit hergestellt wird. Für den Niederschlag wird bei beiden Verfahren dieser Zusammenhang unschärfer. Das Verfahren auf Monatsbasis (CCA) scheint aufgrund des höheren Anteils an signifikanten Korrelationen robustere Aussagen bezüglich des Niederschlages zu liefern. Die zeitlichen Korrelationen für den Niederschlag auf Tagesbasis gehen beim Analogverfahren nahezu auf Null zurück. Dennoch ist das Modell in der Lage, die statistischen Niederschlagseigenschaften wie Niederschlagshäufigkeit, die Verteilungsfunktion des Niederschlages und die Häufigkeit von Trockenperioden richtig zu modellieren.

Informationen über Extremereignisse können aus Szenarien auf Monatsbasis nur indirekt bezüglich der Temperatur abgeleitet werden. Hierfür wären Szenarien auf Tagesbasis wesentlich besser geeignet. Die geringe Korrelation auf dieser Zeitskala erschwert jedoch die Interpretation der Ergebnisse.

Für die Verwendung in der Klimafolgenforschung sollten auf jeden Fall Ensembleszenarien abgeleitet von verschiedenen GCMs verwendet werden, da bei den statistischen Downscalingverfahren auch die dynamischen Veränderungen über Europa berücksichtigt werden, und diese in den GCMs, selbst bei ähnlichen Ergebnissen auf globaler Ebene durchaus verschieden sein können.



### **3.5 Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern (StartClim.4)**

#### **3.5.1 Einleitung**

Inhalt dieses Projekts ist es, eine Methode zu entwickeln, um aus großräumigen, von einem Modell gelieferten meteorologischen Feldern Wetterlagen abzuleiten, die in Österreich starke Niederschläge verursachen können. Konventionelle Wetterlageneinteilungen für den Alpenraum (z.B. Kerschner, 1989) sind für die Verwendung im Rahmen dieser Problemstellung ungeeignet, da ihnen die zeitliche Dimension und die Charakterisierung der Intensität fehlt und sie nicht auf von globalen Klimamodellen errechneten meteorologischen Feldern angewendet werden können. Die Untersuchungen sollen auf einer Zeitskala durchgeführt werden, die synoptische Ereignisse auflöst. Zu diesem Zweck werden kinematische 3-D Rückwärts-Trajektorien (Bahnen von Luftpaketen) berechnet (Stohl et al., 1995). Sie stellen aggregierte meteorologische Information dar und beinhalten auch den zeitlichen Ablauf, der für den Charakter einer Wettersituation oft wichtig ist. In Kombination mit den täglichen Niederschlagssummen an 132 Klimastationen Österreichs wird eine Clusteranalyse durchgeführt, um verwandte Wettersituationen zu finden.

Bei der Entwicklung der Methode wurde auch darauf geachtet, dass sie eine gewisse Unschärfe in der Lage des Extremereignisses zulässt: nicht einmal den aktuellen Wettervorhersagemodellen ist es möglich, den Ort konvektiver Niederschläge gut vorherzusagen; Warnungen für größere Regionen sind aber auch schon wertvoll. Bei der Betrachtung zukünftiger Klimaszenarien kommt dieser Unschärfe noch mehr Bedeutung zu.

#### **3.5.2 Methodik**

Zur Berechnung der Trajektorien wurden historische meteorologische Felder der Jahre 1979 bis 1993 (ERA-15) verwendet. Um zwei Trajektorien (sie beschreiben die Bewegung von Luftpaketen) miteinander zu vergleichen, ist es nötig eine Distanzfunktion zu definieren. Trajektorien wurden für acht verschiedene Ankunftszeitpunkte und in acht vertikalen Niveaus berechnet. Pro Tag erfolgte diese Berechnung für acht unterschiedliche Ankunftszeiten. Als zusätzliche Informationen wurden die spezifische Feuchte und die potentielle Vorticity am Ankunftszeitpunkt der Trajektorie in die Untersuchung mit einbezogen. Zwischen allen zu untersuchenden Terminen kann die horizontale oder vertikale Distanz zwischen den Trajektorien, sowie der Unterschied der Feuchte oder auch der potentiellen Vorticitywerte am Ankunftszeitpunkt berechnet und jeweils in einer Matrix abgespeichert werden. Um verschiedene Parameter vergleichbar zu machen, werden die Distanzen jeweils mit einem typischen Streuungswert normiert. Durch Summation ausgewählter Distanzmatrizen erhält man den meteorologischen Input für den Clusteralgorithmus.

Zur Gruppierung der Starkniederschlagsfälle in einzelne Wetterlagen wird als Basis ein hierarchisches Clusterungsverfahren verwendet (Anderberg 1973). Die Methode wurde dahin erweitert, dass in jedem Schritt Elemente umgeordnet werden können. Die Anzahl der letztendlich verwendeten Cluster richtet sich danach, wie sich die mittlere Distanz der neuen Gruppe verändert.

#### **3.5.3 Ergebnisse**

##### **3.5.3.1 Niederschlagsregionen**

Eine Clusteranalyse der Tagesniederschläge an den Klimastationen Österreichs im Zeitraum von 1979-1993 (mit dem Korrelationskoeffizienten als Ähnlichkeitsmaß) ergab sieben Niederschlagsregionen (schwarze Linien in Abb. 14), welche ähnliches Verhalten bezüglich Niederschlägen aufweisen:

- Westösterreich (Vorarlberg, Großteil Nordtirols),

- Nordstau (Tiroler Unterland, Teile von Salzburg und Oberösterreich),
- Wald- u. Mühlviertel (Teile Ober- und Niederösterreichs),
- Ostregion (Wien, Nordburgenland, Teile Niederösterreichs),
- Ennstal - Semmering (Nordsteiermark und südliches Niederösterreich bis etwa zur Rax),
- Südosten (Südburgenland, mittlere und südliche Steiermark, Unterkärnten) und
- Südstau (Osttirol, Oberkärnten).

Führt man diese Analyse für Sommer und Winter getrennt durch, so ergeben sich einige Verschiebungen. Der Nordteil des Burgenlands wandert, wohl als Folge der vom Wechsel kommenden Gewitter, im Sommer zur Region Ennstal. Auch die Region Wald- und Mühlviertel vergrößert sich im Sommer etwas nach Osten. Im Winterhalbjahr verschiebt sich diese Region fast komplett nach Oberösterreich. Der Westteil des Ennstals passt im Winter besser zur Region Nordstau und auch die Südstauregion legt im Winter an Größe zu. Ein Vergleich mit den im Projekt 14 definierten Flusseinzugsgebieten zeigt, dass jene der Enns und Traisen zusammen etwa der hier definierten Region Ennstal entsprechen. Die Region Mühl- und Waldviertel bildet auch bei den Einzugsgebieten eine eigene Gruppe. Zu den typischen Norstauregionen gehören die Einzugsgebiete der Traun und das Salzkammergut.

Für jede dieser Regionen werden die Extremereignis-Tage untersucht.

### 3.5.3.2 Wetterlagen

Als „Extremereignis“-Tage wurden jene definiert, an denen zumindest in einer der oben definierten Regionen Österreichs der Niederschlag das 98er Perzentil dieser Region überschritt. Die 399 ermittelten Fälle wurden aufgrund der Trajektorieninformation mit Hilfe des Clusteralgorithmus in ähnliche Gruppen unterteilt. Wie umfangreiche Tests zeigten, beeinflusst die Wahl der verwendeten Trajektorieninformationen das Clusterergebnis wesentlich. Trajektorien in zwei unterschiedlichen Niveaus sind wichtig, um eine Drehung des Windes mit der Höhe und damit verbunden Aussagen über die Temperaturadvektion erfassen zu können. Niveau 2 (500 m über Grund) und Niveau 7 (500 hPa, ca. 5 km) liefern die besten Resultate. Die gleichzeitige Verwendung von Trajektorien, die zu unterschiedlichen Tageszeiten ankommen, ist wichtig, um die Geschwindigkeit von Niederschlagssystemen zu erfassen. Weiters wurde die potentielle Vorticity in die Auswertung mit einbezogen.

Die 399 Starkniederschlagstage wurden mit dem Clusteralgorithmus in 7 Wetterlagen unterteilt; sie weisen stark unterschiedliche Häufigkeiten auf. In Abbildung 13 sind jeweils typische Fälle durch eine Boden- und Höhentrajektorie charakterisiert.

- Der Cluster C1 kann als typischer Südstau bezeichnet werden und kommt in 20% der Fälle vor. Er ist charakterisiert durch Südströmung in der Höhe und am Boden. Die Bodentrajektorie zeigt wie die Luft über dem Mittelmeer Feuchte tankt, die dann im Südstau der Alpen ausgeregnet wird.
- Cluster C2 ist ein völlig anderer Typ: Die sehr langsame Bewegung am Boden (innerhalb von vier Tagen verläßt die Trajektorie kaum Österreich), läßt auf eine flache Druckverteilung schließen. In der Höhe herrscht eine gut ausgeprägte Südwestströmung vor. Diese Wetterlage ist überwiegend von Gewittern und Schauern geprägt, die vor heranziehenden Kaltfronten am Ende einer Schönwetterperiode verbreitet auftreten und recht heftig ausfallen können. Diese Ereignisse können in fast ganz Österreich auftreten und die Wetterlage ist relativ häufig (46% der Fälle).
- Wetterlage C3 ist die häufigste der drei vom Algorithmus identifizierten Nordwestwetterlagen (11% aller Fälle). Die Bodentrajektorie zeigt einen langen Aufenthalt der Luft über dem Atlantik, wodurch eine starke Anfeuchtung der Luft ermöglicht wird. Die von Nordwesten kommenden Fronten bringen im Norden Österreichs bis in den Wiener Raum, abgesehen von konvektiven Ereignissen (C2), am häufigsten Starkniederschlagstage.

- Die beiden anderen Nordwestwetterlagen C4 und C5 unterscheiden sich von C3 durch sehr schnelle Trajektorien sowohl am Boden als auch in der Höhe. Beim Cluster C4 (2% der Fälle) kommen die Bodentrajektorien direkt aus Westen, wodurch eine Art Weststau auftritt. Dies sollte im Westen Österreichs für intensive Niederschläge sorgen.
- Die Wetterlage C5 (3% der Fälle) zeigt sowohl am Boden als auch in der Höhe eine NW-Strömung, die vor allem in der Höhe kräftig ist und eine deutliche Nordkomponente aufweist. Vor allem Aufgleiten von Warmluft kann in den Nordstaulagen starke Niederschläge verursachen.
- Bei der Wetterlage C6 (5% der Fälle) spricht man von sogenannten abziehenden Kaltlufttropfen. Ein mächtiges nahezu kreisrundes Höhentief zieht dabei langsam nach Nordosten ab und sorgt an seiner Rückseite für eine kräftige Nordströmung in der Höhe. Diese kalte Höhenströmung labilisiert die Luftschichtung und fördert die Niederschlagsbildung. Im Nordstau der Alpen wird dieser Effekt durch die erzwungene Hebung der Luft verstärkt und führt dort zu hohen Niederschlagsmengen.
- Als siebente Wetterlage identifiziert der Algorithmus die sogenannte Vb-Lage (C7). Bei dieser Wetterlage, die in 12% aller Fälle vorkommt, bildet sich südlich der Alpen ein Tiefdruckgebiet, welches dann langsam nach Nordosten weiterzieht. Durch die intensive Befeuchtung der im Tief aufsteigenden Luft über der Adria sind diese Lagen oft mit massiven Niederschlägen verbunden. Typisch ist die am Boden einströmende kalte Luft aus Norden, weshalb im Osten Österreichs heftige Wintereinbrüche von Fällen dieser Wetterlage verursacht werden können.

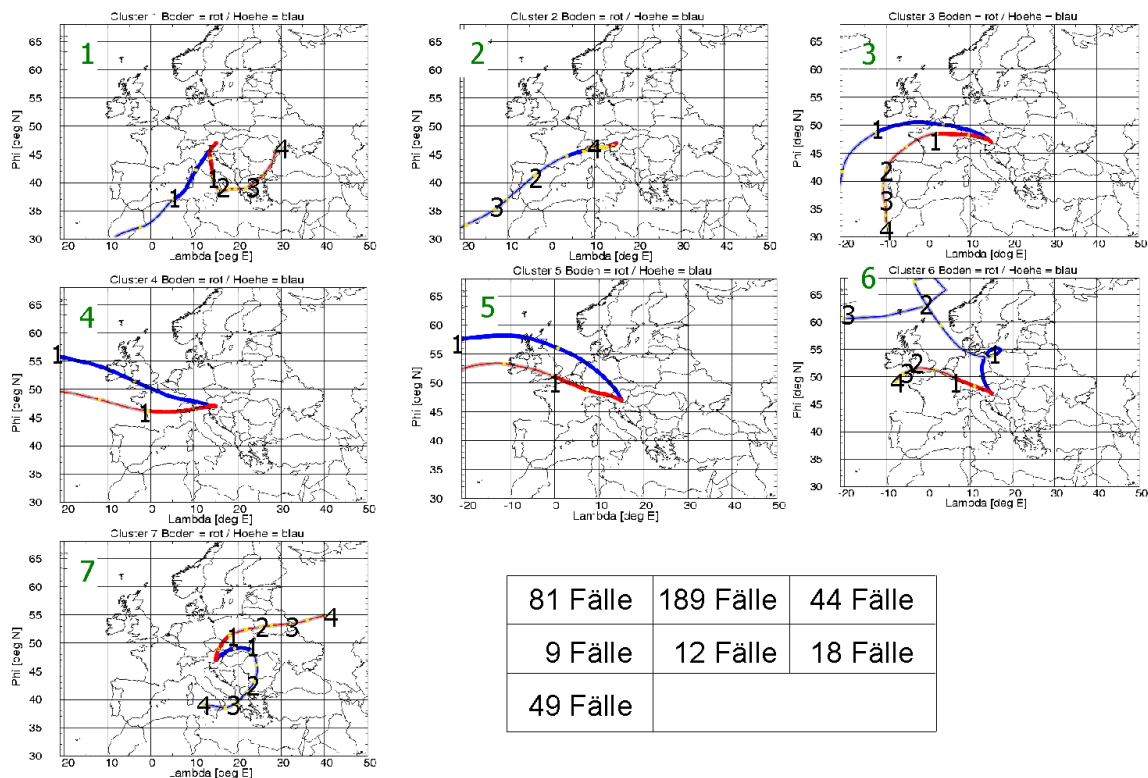


Abb. 13: Starkniederschlags-Wetterlagen, identifiziert durch den Clusteralgorithmus. Dargestellt sind die Zentraltrajektorien der einzelnen Cluster für zwei Ankunfts-niveaus (rot = 500 m über Grund, blau = ca. 5 km über Grund). Die Ziffern entlang der Trajektorie erläutern vor wie vielen Tagen die Luft an den entsprechenden Orten war und geben so die Geschwindigkeit wieder. Die Zentraltrajektorie eines Clusters ist jene, zu der alle anderen Trajektorien des entsprechenden Clusters eine minimale Distanz aufweisen. Rechts unten sind die Anzahl der Fälle aus dem Kollektiv der 399 Extremniederschläge der Jahre 1979-93 für die einzelnen Wetterlagen eingetragen.

Abb. 14 illustriert die geografische Verteilung der Starkniederschläge, charakterisiert durch den Median des Tagesniederschlags für jede der sieben Wetterlagen in Bezug auf die Gesamtzahl der Fälle mit Niederschlag über dem 98er Perzentil in einer der Regionen Österreichs. Die Wetterlage C1 bringt fast ausschließlich in den Südstauregionen starke Niederschläge (in 50% der Fälle treten Tagessummen über 50 mm auf), nördlich der Alpen regnet es dabei wenig oder nicht. Wetterlage C2 kann im ganzen Land starke Niederschläge bringen, wobei die Intensität im Nordosten aber wesentlich geringer ist. Bei der typischen Nordwestwetterlage C3 ist vor allem der Nordstau von hohen Niederschlagsmengen betroffen. Wetterlage C4 zeigt einen Weststauereffekt, was auch am Maximum am Arlberg erkennbar ist. Von der Wetterlage C5 ist wie bei C3 der Nordstau am stärksten betroffen, allerdings mit geringeren Mengen im äußersten Westen und deutlich höheren im Ennstal (Median erreicht 40 mm!). Die Wetterlage C6 (abziehender Kaltlufttropfen) führt in den typischen Nordstauregionen zu den stärksten Niederschlägen. Bei der Vb-Wetterlage (C7) weisen der Nordosten Österreichs und die östlichen Nordstaulagen die meisten Niederschläge auf. Tagesniederschläge mit über 20 mm können in der eher trockenen Ostregion schon als extrem angesehen werden. Neben Wetterlage C2 ist die Vb-Lage auch für die Südsteiermark die wichtigste Starkniederschlagslage. Im Übrigen ist zu beachten, dass der hier dargestellte Median keineswegs die maximal möglichen Tagesmengen repräsentiert, die noch um einen Faktor 2-3 höher sind.

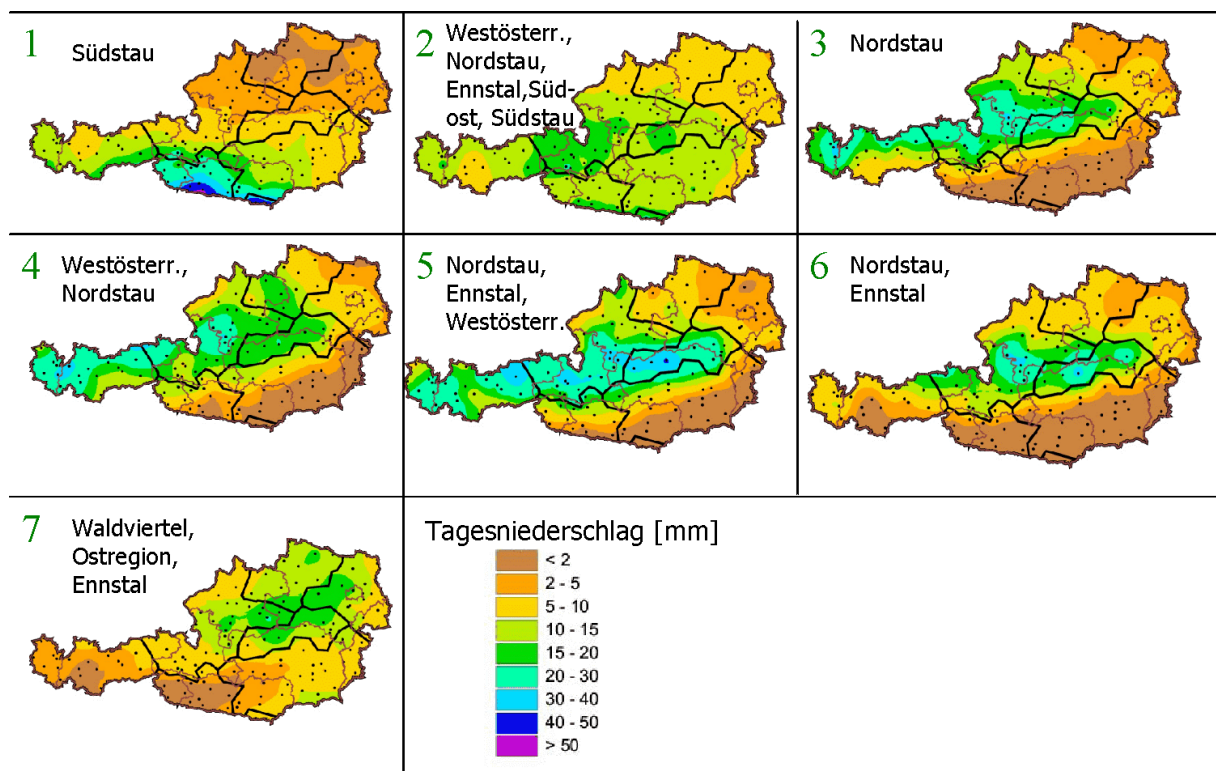


Abb. 14: Median der Tagesniederschläge der einzelnen Cluster (wie in Abb.13 nummeriert). Der Median ist jener Wert, der in 50% aller Fälle der entsprechenden Wetterlage überschritten wird. Zusätzlich eingezeichnet (mit schwarzen Linien) sind die 7 Niederschlagsregionen. Bei jeder Karte sind die am stärksten von dieser Wetterlage betroffenen Regionen angeführt. Die Punkte kennzeichnen die verwendeten Klimastationen.

### 3.5.4 Ausblick

Die Analyseergebnisse lassen sich gut interpretieren und entsprechen der qualitativ vorhandenen Erfahrung. Das ist für eine Fortsetzung dieses neuen Weges ermutigend. Die Eignung

für Downscalingzwecke sollte überprüft werden und könnte auch eine Alternative oder zumindest Unterstützung für den rein statistischen Ansatz von Startclim.5 bieten.

Die vorliegende Studie ist nur ein erster Schritt in eine spannende neue Richtung. Durch eine größere Anzahl von Extremereignissen könnte das Resultat zum einen verbessert, zum anderen abgesichert werden. Aufgrund der Analysen der Projekte Startclim.1 und Startclim.2 sind tägliche Niederschlagswerte der letzten 50 Jahre verfügbar. Historische meteorologische Felder gibt es für die letzten 40 Jahre, was eine zeitliche Ausweitung der Methode ermöglicht. Dies würde auch die Behandlung von extremeren Ereignissen als dem 98er Perzentil erlauben. Untersuchungen wie Jahr-zu-Jahr Variabilitäten, jahreszeitliche Verteilungen und allfällige Trends der Wetterlagen sind möglich. Da die Methode an großräumigen Felder entwickelt wurde, ist eine Anwendung auf Klima-Kontrollläufe und Szenarien (Zeitscheiben-Rechnungen) möglich und sollte, mit dem hier nicht besprochenen und noch zu verbessernden Zuordnungs-Algorithmus, Aussagen über das mögliche zukünftige Auftreten der Wetterlagen erlauben. Auch die Ausweitung der Methode auf weitere Ereignisse wie Sturm oder Extremtemperaturen, aber auch komplexere wie Hochwasser oder Lawinen, ist im Prinzip möglich.

### **3.6 Zusammenfassung der erzielten Fortschritte**

- Plausibilitätsgeprüfte Reihen von Tagesmittelwerten der Temperatur, täglichen Temperaturextremwerten, Tagessummen des Niederschlages, täglicher Schneehöhe für 71 Stationen in Österreich für den Zeitraum 1948 bis 2002.
- Erste statistisch gesicherte Hinweise über Änderung der Extremwerte in Österreich basierend auf dem gegenwärtig besten zur Verfügung stehenden Datensatz
- Plausibilitätsgeprüfte und grob homogenisierte Reihen von Daten aus den Monatsbögen von rund 20 Stationen, die für Extremereignisse von besonderer Relevanz sind. Die Zeiträume, für welche diese Daten vorliegen schwanken zwischen 50 und 100 Jahren.
- Hinweise auf die erforderliche Messperiode zur Ableitung von Trends oder Verschiebungen der Häufigkeitsverteilungen innerhalb vorgegebener Genauigkeitsansprüche. Es zeigt sich, dass manche Parameter recht gut anhand der vorliegenden 50-jährigen Periode analysiert werden können, während andere längere Reihen erfordern würden, um vergleichbar verlässliche Aussagen hinsichtlich Trends, etc. zu erlauben.
- Zwei statistische Methoden zur Verknüpfung lokaler extremer Wetterereignisse mit großräumigem meteorologischen Feldern wurden angewendet.
- Eine Abschätzungen der weiteren Entwicklung der Häufigkeit von Extremereignissen wie Hitze- und Tropentagen bzw. Frost- und Eistagen wurde für einzelne Stationen durchgeführt.
- Ein Hinweis, dass zur Analyse von extremen Niederschlagsereignissen komplexere Ansätze gefunden werden müssen, hat sich ergeben. Die Analogmethode ist sehr einfach, muss aber für weitreichende Aussagen über Extremereignisse weiterentwickelt werden.
- Eine Methode zur Verknüpfung lokaler extremer Wetterereignisse mit dem großräumigen Wettergeschehen als Vorstufe zur Analyse zukünftiger GCM Klimaszenarien hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Häufigkeit des Auftretens und die Intensität von extremen Wetterereignissen. Die Methode ist für Niederschlagsereignisse erprobt, aber grundsätzlich auf andere Extremereignisse, wie z.B. Stürme, übertragbar.
- Eine Analyse der Regionen, welche häufig gleichzeitig von extremen Niederschlagsereignissen betroffen sind, wie z.B. der Südstau oder die sogenannte Ennstalregion. Ein Ergebnis, welches das Katastrophenmanagement in seinen Plänen berücksichtigen könnte.

### 3.7 Forschungsbedarf

- Die Entwicklung einer Methode zur Homogenisierung von Klimadaten auf Tageswertebasis ist dringlich, angesichts des großen Bedarfes an Tagesdatensätzen.
- Ein räumlich hinreichend dichter und mehrere Klimaelemente umfassender Datensatz für Österreich ist nach Vorliegen geeigneter Methoden zu homogenisieren.
- Die statistischen Downscaling Verfahren sollten auf die nun mehr verfügbaren Tagesdatensätze angewandt und auf andere Parameter ausgeweitet werden.
- Die Bemühungen um eine Verbesserung des Niederschlagsdownscaling müssen in Hinblick auf die Bedeutung von Hochwasserereignissen verstärkt werden.
- Durch Untersuchung einer größeren Anzahl von Extremereignissen und Nutzung der nunmehr verfügbaren täglichen Niederschlagswerte der letzten 50 Jahre könnten die downscaling Ergebnisse für den Niederschlag zum einen verbessert, zum andern abgesichert werden.
- Da die Analogmethode bei der Erstellung einer lokalen Klimaprojektion nur auf aus der Vergangenheit beobachtete Werte zurückgreifen kann, ist es wünschenswert die Methode gerade in Hinblick auf Extremereignisse weiterzuentwickeln.
- Für die Verwendung in der Klimafolgenforschung sollten auf jeden Fall Ensembleszenarien abgeleitet von verschiedenen GCMs verwendet werden, da bei den statistischen Downscalingverfahren auch die dynamischen Veränderungen berücksichtigt werden, und diese in den GCMs, selbst bei ähnlichen Ergebnissen auf globaler Ebene durchaus verschieden sein können.
- Untersuchungen wie Jahr-zu-Jahr Variabilitäten, jahreszeitliche Verteilungen und allfällige Trends der Wetterlagen sind mit der Trajektorien-Clustering Methode ebenso möglich, wie die Anwendung auf Klima-Kontrollläufe und Szenarien (Zeitscheiben-Rechnungen), die Aussagen über das mögliche zukünftige Auftreten der Wetterlagen erlauben. Auch die Ausweitung der Methode auf weitere Ereignisse wie Sturm oder Extremtemperaturen, aber auch komplexere wie Hochwasser oder Lawinen, ist im Prinzip möglich.

## **4 Auswirkungen wetterbedingter Extremereignisse: Erfassung, Dokumentation, Analyse und Bewertung für ausgewählte Regionen und Sektoren**

### **4.1 Einleitung**

In engem Zusammenhang mit den Wetterereignissen stehen Folgeereignisse, wie Überschwemmungen, Muren, Lawinen, Dürre, etc.. Diese Ereignisse werden außer durch das Wetter auch von den menschlichen Interventionen (Raumplanung, Landnutzung, etc.) geprägt. Bei der Betrachtung zeitlicher Trends von derartigen Folgeereignissen ist eine klare Trennung dieser beiden Einflusskomplexe in der Regel nicht möglich. Für das Verständnis der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels wäre dies aber notwendig. Sorgfältige Dokumentation der Ereignisse könnte ein Beitrag zu derartigen Analysen sein.

Da es nicht möglich war im Rahmen von StartClim alle Folgeereignisse zu untersuchen, wurde eine Auswahl getroffen: Bergstürze, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen stellen im Alpenraum ein besonderes Problem dar. Dies gilt umso mehr, als der Alpenraum sich auch als besonders empfindlich gegenüber dem Klimawandel erweist. StartClim.3a untersucht daher, welche Informationsquellen hinsichtlich historischer Extremereignisse zur Verfügung stehen und welche Informationen in eine Dokumentation einzubeziehen wären, um das Material in einem interdisziplinären Sinn möglichst nützlich zu machen.

Ein zweiter sehr unmittelbar betroffener Bereich ist die Landwirtschaft. Hier ist es unumgänglich auch zu analysieren, in welchem Ausmaß Ertragsänderungen in der Landwirtschaft tatsächlich auf meteorologische Faktoren zurückzuführen sind (StartClim.3b).

Um das gesammelte Datenmaterial allgemein nutzbar zu machen, wird eine Datenbank benötigt, deren Struktur den sehr unterschiedlichen Datenarten und -quellen Rechnung trägt (StartClim.3c). Im Rahmen von StartClim erhobene Daten werden noch im Rahmen von StartClim in diese Datenbank (MEDEA) eingespeist, sie soll aber im Rahmen zukünftiger Klimaprojekte weitergeführt und ständig ergänzt werden. Der Frage der Datenunsicherheiten und deren Kennzeichnung wird dabei besonderes Augenmerk geschenkt.

Extreme Wetterereignisse haben direkt beobachtbare wirtschaftliche Effekte. Das gilt nicht nur für die Landwirtschaft, sondern z.B. ganz unmittelbar auch für die Versicherungswirtschaft, die im Rahmen von StartClim.8 näher untersucht wird.

Aufgrund der wirtschaftlichen Verflechtungen sind mit unterschiedlichen Intensitäten praktisch alle anderen Wirtschaftssektoren direkt oder indirekt von extremen Wetterereignissen betroffen. StartClim.6 versucht die Relevanz extremer Wetterereignisse für die einzelnen Wirtschaftssektoren zu ermitteln, sowie deren Problembewußtsein und Reaktionsmöglichkeiten zu erfassen.

### **4.2 Ereignisbezogene Dokumentation: Prozesse, Bergstürze, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen**

#### **4.2.1 Ereignisdokumentation: Datenbanken und Chroniken**

Die Möglichkeiten einer ereignisbezogenen Dokumentation von Naturereignissen wurden anhand der Ereignisse Bergstürze, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen in diesem Projekt überblicksmäßig aufgezeigt.

Am umfassendsten, sowohl hinsichtlich der erfassten Ereignisse, als auch hinsichtlich der Informationen pro Ereignis, ist die seit 1972 geführte Wildbach-Schadensdatenbank des Bundesamts und Forschungszentrum für Wald in Wien (BFW) mit österreichweit erfassten Muren- und Hochwasserereignissen. Im Rahmen einer Pilotstudie wurde am Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ver-

messung, Fernerkundung und Landinformation, Bereich Geoinformation sowie mit dem Institut für Waldbau, Bereich Gebirgswaldbau eine ereignisorientierte Lawinendatenbank erstellt, die am Institut für Alpine Naturgefahren verwaltet wird (Fuchs et al, 2001). Mittlerweile sind z.B. sämtliche bekannten Lawinen bis 2002 vom Paznauntal, Pitztal, oder Salzkammergut in der Datenbank aufgenommen. Das BFW erfasste bundesweit Schadenslawinen-Ereignisse im Zeitraum von 1968 bis 1993 in einer Schadenslawinen-Datenbank (Luzian, 2002).

Eine erste Analyse der 4122 in der Datenbank des BFW dokumentierten Ereignissen zeigt, dass in Österreich 36 Prozent der Gemeinden mit einem bundesweiten Flächenanteil von mehr als 55 Prozent von den extremen Wildbachereignissen wie Muren und Hochwasser betroffen waren (Abb. 15). Die Wildbachereignisse betreffen primär kleine Einzugsgebiete. Dies zeigt auch der hohe Anteil von 40 Prozent der Ereignisse in Einzugsgebieten mit einer Fläche unter 10 km<sup>2</sup>, 20 Prozent der Ereignisse wurden sogar in Einzugsgebieten unter 1 km<sup>2</sup> dokumentiert.

Von den Extremereignissen sind vor allem die nord- und südalpinen Randbereiche wie das Salzkammergut, der Bezirk Zell am See oder das Gailtal und weniger die inneralpinen Bereiche wie das Oberinntal betroffen. Besonders ragen die Gemeinden Saalbach Hinterglemm, Bad Goisern und Abtenau heraus, in denen in den 32 Jahren, welche die Datenbank umfasst, mehr als 40 Ereignisse aufgetreten sind.

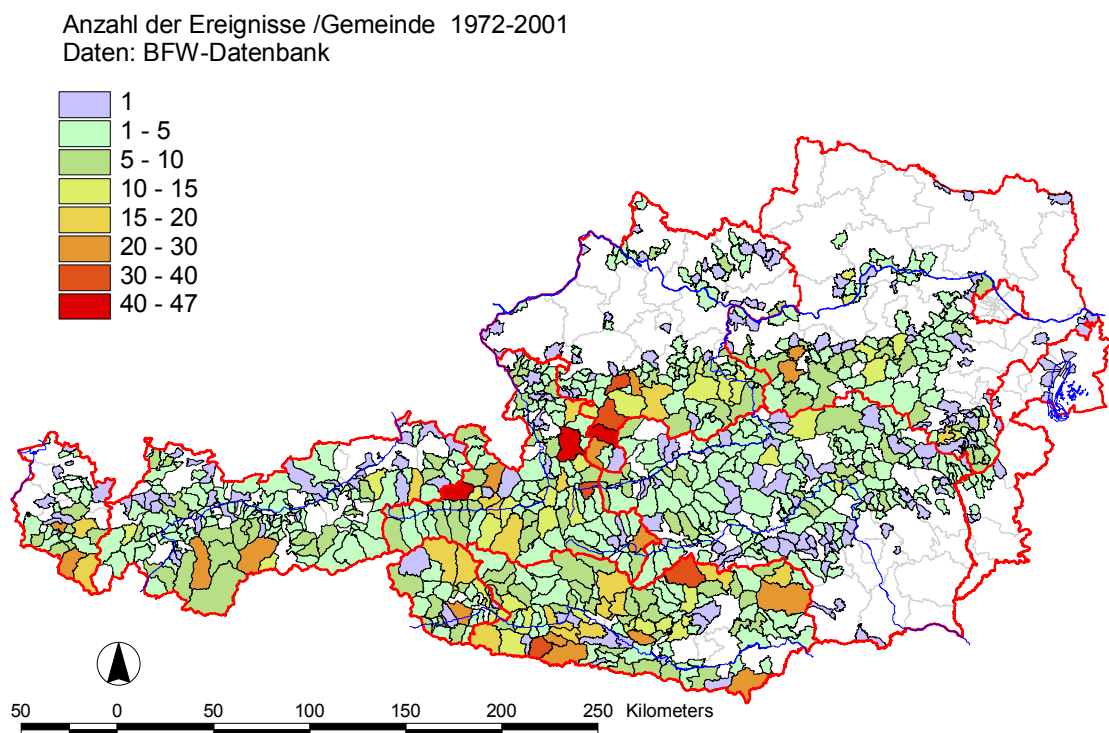


Abb. 15: Ereignisse / Gemeinde in Österreich (1972-2001)

Die Daten der BFW-Datenbank enthalten im Gegensatz zu den unten beschriebenen Chroniken quantitative Angaben zu den Niederschlägen wie Niederschlagshöhe oder Niederschlagsdauer sowie Angaben zu abgelagerte Feststoffkubaturen. Die monetäre Bewertung der Schäden beschränkt sich jedoch auf die Abschätzung der Wiederherstellungskosten von beschädigten Verbauungen. Die durch die Ereignisse verursachten monetären Schäden an Gebäuden, Infrastruktur und Wirtschaftsflächen bewerten Katastrophenbeauftragte von Behörden bzw. Kammern. Diese Daten stehen für Kosten-Nutzen-Analysen für die Planung von Schutzmaßnahmen meist nicht zur Verfügung. Ein Ziel einer interdisziplinären Ereignisdatenbank MEDEA wäre, derartige Informationen über eine integrale Datenbank zusammenzuführen.



In den Chroniken des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) wurden die Ereignisse nach den Kategorien Muren, Hochwasser, Fels- und Bergstürze erfasst. Die Auslösekriterien der Ereignisse wie Niederschlag (Gewitter/kurzer Starkregen oder Dauerregen) wurde ausschließlich nur qualitativ erfasst, die abgelagerten Feststoffe und die Schadensobjekte nur teilweise quantitativ erfasst. Räumliche prozessbezogene Informationen wie Auslauflängen von Muren oder die Ausbreitung von Feststoffablagerungen am Schwemmkegel sind aber weder bei den Daten der BFW-Datenbank noch bei den Chroniken in Form von Kartierungen oder Beschreibungen vorhanden.

Die in den Chroniken verzeichneten Ereignisse wurden z.T. von Angestellten der WLV selbst beobachtet und dokumentiert, andere Ereignisse wiederum gehen auf Recherchen in Archiven der Gemeinden und Pfarren bzw. auf Befragungen von älteren Personen zurück. Die Art der Datenerhebung bzw. die Quellen der Chronikereignisse sind oft nicht bekannt. Die Aufzeichnungen der verwendeten Chroniken sind lückenhaft und die Informationen unvollständiger, je weiter sie in die Vergangenheit zurückreichen, sodass letztlich nur mehr von sehr großen Schadensereignissen berichtet wird. Die Schäden werden oft nur pauschal beschrieben, ohne quantitative Angabe von Schadensobjekten. Das Studium von weiteren historischen Quellen (Fliri, 1998) zeigte jedoch, dass der Informationsgehalt dieser Chroniken verbessert und zahlreiche Ereignisse zusätzlich erfasst werden konnten.

Die Dokumentation von Extremereignissen ist eine wichtige Datengrundlage für die Planung von Schutzmaßnahmen und nicht zuletzt deshalb sind die Anforderungen an die Datenqualität sehr hoch. Die Erhebung, Verwaltung und Verarbeitung der Daten sollte möglichst lückenlos dokumentiert werden und deshalb wurden Daten-Codierungen analog dem Projekt DOMODIS (Hübl, J., Kienholz, H., Loipersberger, A., 2002) für die Erhebung bzw. Dokumentation von Ereignissen im Rahmen der Konzepterstellung von MEDEA vorgeschlagen.

#### **4.2.2 Fallbeispiel: Ereignisse in den Bezirken Landeck und Imst**

Als Ergänzung zu den Datenbanken wurden die Chroniken der Bezirke Landeck und Imst des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) der Gebietsbauleitung Oberes Inntal ausgewertet. Die Aufzeichnungen wurden in generalisierte Kategorien erfasst, die eine punktuelle Verknüpfung dieser Daten mit der BFW-Datenbank erlauben. Dies ermöglicht eine wesentliche Verlängerung der Zeitreihen und damit die bessere Erfassung von seltenen extremen Ereignissen (Abb. 16).

Im Bezirk Landeck wurden z.B. 261 Ereignisse, im Bezirk Imst 378 Ereignisse durch die Chronik der WLV erfasst. Die dokumentierten Schadensereignisse häufen sich Anfang des 19. Jh. und erreichen Mitte des 19. Jh. die höchste Aufzeichnungsdichte, die sich mehr als 100 Jahre später mit einer noch höheren Ereignishäufigkeit wiederholt. Die größten Häufigkeiten treten im Jahr 1965, noch vor den BFW-Aufzeichnungen auf.

In der Gemeinde Umhausen im Bezirk Imst wurden in der Chronik der WLV und der BFW-Datenbank insgesamt 64 Ereignisse erfasst. Die Ereignisse treten in unterschiedlichen Intervallen auf und treffen häufig mit Ereignissen in anderen Einzugsgebieten zusammen (Abb. 17). Wie selten die Ereignisse auftreten zeigt das maximale Intervall beim Acherbach mit 89 Jahren, das um mehr als 30 Jahre über dem maximalen Intervall der Farstrinne liegt. Die Ereignisse in den Einzugsgebieten Farstrinne und Murbach zeigen, dass die maximalen Intervalle im 20. Jh. immer kürzer werden. Die größte Dichte von Ereignissen wurde im Einzugsgebiet Farstrinne zwischen dem Jahr 1850 und 1860 mit 6 Ereignissen in 10 Jahren beobachtet. Im Gegensatz dazu ist die Dichte der Ereignisse in den Einzugsgebieten Acherbach und Murbach im 20. Jh. deutlich höher als im 19. Jh. In der BFW-Datenbank wird darüber hinaus erstmals von einem Schadensereignis im Einzugsgebiet Schreiberbach berichtet.

Wildbachschadensereignisse in den Bezirken Landeck und Imst  
 Daten: Chronik (1274-1973). BFW-Datenbank (1973 – 2002)

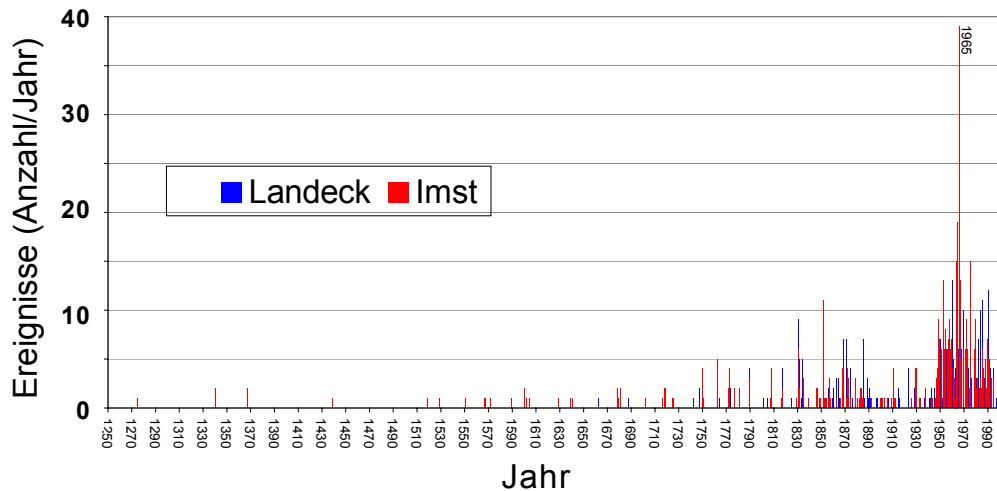


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Wildbachereignisse in den Bezirken Landeck und Imst nach den Angaben der Chronik (1274-1973) und der BFW-Datenbank (1973 – 2002)

Die Ursachen der zeitlichen Korrelationen zwischen den Ereignissen können bei den meteorologischen Auslösekriterien liegen oder topographisch bedingt sein, wie etwa die bekannten Gewitterstraßen im Pinzgau. Die Einzugsgebiete müssten jedoch diesbezüglich detaillierter untersucht und Informationen über das Entstehen und den Verlauf von Ereignisniederschlägen in dieser Region durch Recherchen erfasst werden.

Die Erosionspotentiale bzw. die Grunddisposition der Einzugsgebiete können ein weiterer Faktor sein, der zur Auslösung der Ereignisse führt. Die Disposition der Einzugsgebiete ist nach Zimmermann (1997) für die Entstehung von extremen Ereignissen von Bedeutung. Für die Auslösung müssen nicht nur extreme Niederschläge auftreten, sondern es muss auch ein minimales Geschiebepotential vorhanden sein.

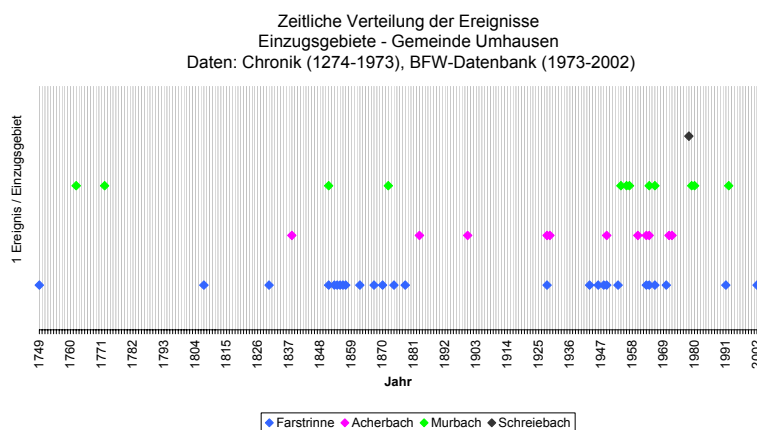


Abb. 17: Zeitliche Verteilung der Ereignisse in den Einzugsgebieten der Gemeinde Umhausen nach den Angaben der Chronik (1274-1973) und der BFW-Datenbank (1973 – 2002)

Die räumliche Erstreckung der auslösenden Ereignisse kann anhand der Chronikereignisse in der Gemeinde Umhausen nicht abgeschätzt werden, da die Chronik keine Informationen zum Erosionspotential enthält.

Die spezifischen Feststoffablagerungen sind bei Murereignissen am höchsten, wie die Untersuchung der spezifischen Feststoffablagerungen von Murereignissen in Österreich (1972-2001) zeigte, die durchschnittlich um mehr als das 4fache über den spezifischen Ablagerungen von Hochwasserereignissen mit starker Geschiebeführung lagen. Die spezifischen Feststoffablagerungen steigen umso stärker, je kleiner die Einzugsgebiete unter 10 km<sup>2</sup> sind, wie die Analyse der BFW-Daten weiter zeigte. In den Bezirken Landeck und Imst wurden Objekte meist durch Murereignisse beschädigt, 77% der dokumentierten Ereignisse in den Bezirken Landeck und Imst sind Murereignisse. Seit 1973 wurden durch Wildbachereignisse keine Gebäude mehr zerstört, während die Chronik von 20 zerstörten Wohngebäuden und von jeweils mehreren zerstörten Wohngebäuden bei 7 Ereignissen berichtet.

Die dokumentierten Ereignisse in den Bezirken Landeck und Imst stammen zu 80 % aus der Chronik der WLV und zu 20 % aus der BFW-Datenbank.

#### **4.2.3 Ausblick**

Die Aufzeichnungen der Chroniken sind erfahrungsgemäß lückenhaft und die Informationen unvollständig. Durch das Studium von weiteren historischen Quellen wie z.B. die Naturchronik von Tirol (Fliri, 1998) kann der Informationsgehalt der Chroniken verbessert und zahlreiche Ereignisse können zusätzlich erfasst werden. Die vorhandenen BFW-Daten und Chroniken sind zu ergänzen und mit weiteren Informationen auch zu homogenisieren.

Detaillierte Untersuchungen der Ereignisse für einzelne Bäche sind Grundlage zur Ableitung von Ereignismustern mit Bezug auf Einzugsgebietscharakteristika analog Zimmermann et al. (1997). Die Entwicklung von Einzugsgebietstypen könnte dazu beitragen, die Wildbachschadensereignisse in Zukunft besser abzuschätzen. Die in der Chronik und der BFW-Datenbank erfassten Daten reichen für diese detaillierten Analysen jedoch nicht aus und deshalb wurde z.B. vorgeschlagen, die Grunddisposition sowie die Auswirkungen des Ereignisses auf das Einzugsgebiet als variable Disposition für zukünftige Dokumentationen zu definieren.

Die Ereignisse treten selbst in den Einzugsgebieten räumlich begrenzt auf, daher sollten die Erosionsprozesse nach Teileinzugsgebieten und/oder Einzugsgebietsbereichen wie Ober-, Unter- oder Mittellauf erfasst werden, um den Verlauf der Ereignisse zu dokumentieren.

Die Kartierung von Feststoffablagerungen analog dem Ereigniskataster Naturgefahren (StorMe) der Eidgenössischen Forstdirektion in der Schweiz (<http://www.wald.gr.ch/aufgaben/1-1-1-3-ereigniskataster.htm>) würde als Bestandteil der Ereignisdokumentation von Murereignissen in Zukunft eine bessere Beurteilung der Ereignis-Intensität ermöglichen. Damit könnte die Verletzlichkeit der Gesellschaft (Vulnerabilität) gegenüber Extremereignissen besser beurteilt werden. MEDEA könnte das zur Archivierung erforderliche Instrumentarium bereit stellen.

Im Rahmen von weiteren Untersuchungen könnten die Schadensobjekte unter Berücksichtigung der Siedlungsentwicklung detaillierter analysiert und damit das Schadenspotential und die Grundlagen für die Risikoabschätzung von Extremereignissen im Sinne der in StartClim.6 beschriebenen Wirkungskette ermittelt werden.

Generell ist eine detailliertere Erfassung der Ereignisse als in der BFW-Datenbank anzustreben. Die Dokumentation „großer“ Ereignisse (großflächig und/oder große Schäden) erfordert aber stets eine separate Ereignisdokumentation.

### **4.3 Dokumentation von Auswirkungen extremer Wetterereignisse auf die landwirtschaftliche Produktion**

Die landwirtschaftliche Produktion ist seit jeher witterungsbedingten Schwankungen unterworfen. Bisher fehlen jedoch systematische Untersuchungen, wie groß dieser Einfluss auf Ertrag und Rentabilität der Hauptkulturen in Österreich ist. Das Ausmaß von Ertragseinbußen durch Extremereignisse ist erst seit relativ kurzer Zeit aufgrund ausgezahlter Versiche-

rungssummen für die versicherten Landwirte bekannt, wobei insbesondere die Mehrgefahrenversicherungen sehr junge Produkte des Versicherungsmarktes sind. Statistische Auswertungen von Trends erfordern jedoch wesentlich längere Datenreihen, als sie von der Versicherungswirtschaft zur Verfügung gestellt werden können. Die Kenntnis des Ausmaßes der Verwundbarkeit landwirtschaftlicher Produktion in der Vergangenheit würde jedoch die Genauigkeit der Wirkungsabschätzung klimatologischer Zukunftsszenarien erhöhen.

Eine Übersicht möglichst lange zurückreichender Datenreihen landwirtschaftlicher Erträge, ihre statistische Auswertung und die Verknüpfung mit den dazugehörigen meteorologischen Bedingungen entwickelten sich zu den Hauptaufgaben dieses Teilprojekts. Mit diesen Verfahren sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie können landwirtschaftlich-technische Einflüsse, z.B. Bewirtschaftungsmaßnahmen, Pflanzenzüchtung und Chemikalieneinsatz, von den Witterungseinflüssen auf die Ertragsbildung unterschieden werden?
- Welche Entwicklungsphasen landwirtschaftlicher Kulturen sind wann gegen welche meteorologischen Parameter besonders empfindlich?
- Wie groß sind die regionalen Unterschiede in diesen Empfindlichkeiten?
- in welchem Ausmaß unterscheiden sich verschiedene Kulturpflanzen in ihren Empfindlichkeiten?

Für die Entwicklung von Lösungsansätzen standen verschiedene Wege zur Auswahl:

- a) Anwendung von Pflanzenwachstumsmodellen mit historischen Witterungsbedingungen als Inputs.
- b) Primäre Auswahl extremer Witterungsbedingungen und sekundäre Verknüpfung mit den Produktionsdaten.
- c) Primäre Auswahl extrem vom Mittel abweichender Pflanzenerträge und sekundäre Verknüpfung mit den Witterungsbedingungen.

Variante a) erschien wegen fehlender Parametrisierungen der Modelle für unterschiedliche Produktionsgebiete Österreichs für die zur Verfügung stehende Projektzeit zu aufwändig. Die Varianten b) und c) können als gleichwertige Bearbeitungsansätze gelten. Nicht zuletzt auf Grund der agrarbiologischen Expertise des Projektteams wurde Variante c) gewählt, da eine kritische Auswahl und Beurteilung historischer landwirtschaftlicher Erträge als essentielle, bisher noch fehlende Basis der Auswertungen angesehen wurde, während für die Selektion meteorologischer Bedingungen bereits wichtige Vorarbeiten durch die ZAMG geleistet worden waren.

Bei sieben landwirtschaftlichen Kulturen (Winterweizen, Sommergerste, Körnermais, Zuckerrübe, Kartoffel, Wein, Apfel) in drei Regionen (Ostösterreich, Südoststeiermark, oberösterreichisches Alpenvorland) wurden auf Bezirks- und Bundeslandebene die Erträge im Zeitraum 1869 – 2002 erhoben. Diese Erträge wurden auf ein gleitendes Mittel normalisiert, um den Änderungen im Saatgut und in den Bearbeitungsmethoden und auch den allmählichen Klimaänderungen Rechnung zu tragen. Relative und absoluten Abweichungen von diesen Mittelwerten unter bzw. über dem 5. bzw. 95. Perzentil wurden zur Identifikation von negativen ("Missjahre") oder positiven Extremjahren ("Superjahre") herangezogen.

Monatsweise Vergleiche der meteorologischen Parameter (Datenbasis: homogenisierte Daten aus ALOCLIM, Auer et al., 2001) in den negativen Extremjahren mit jenen in einer Referenzperiode (1961-1990) kennzeichneten parameter-, kulturarten- und regionsspezifisch jene Monate, welche sich in den Missjahren signifikant von der Referenzperiode unterschieden (vgl. Tab. 2).

- Jahre mit besonders geringem Winterweizenertrag zeichneten sich durch folgende Besonderheiten aus, die in allen drei untersuchten Bundesländern eine Rolle spielten: der Februar war besonders kalt und der Juli besonders feucht. Darüber hinaus hatten nur regional einzelne Parameter Bedeutung: in Oberösterreich waren die

Temperaturen im Mai unterdurchschnittlich, in Oberösterreich und Steiermark waren April und Mai besonders niederschlagsreich.





- Bei Sommergerste war eine relativ große Trockenheitsempfindlichkeit zu erkennen, was verbunden mit überdurchschnittlichen Temperaturen besonders im pannonischen Klimabereich zu Missjahren führte. Nachteilig waren weiters hohe Niederschläge im Erntemonat Juli.
- Auch bei Mais war eine Empfindlichkeit gegen sommerliche Trockenperioden zu erkennen, vor allem im Osten des Bundesgebietes. Für Mais war wie bei den anderen Getreidearten Schlechtwetter im Erntemonat ein signifikanter Risikofaktor, dass sich ein Jahr zu einem negativen Extremjahr entwickelte.
- Im Durchschnitt waren vor allem Jahre mit höheren Niederschlagsmengen schlechte Kartoffeljahre, was auf die große Infektions- und Ausbreitungsgefahr von Pilzkrankheiten bei feuchter Witterung zurückzuführen ist. Doch waren bei allen drei Bundesländern gerade die Missjahre des letzten Jahrzehnts auf zu große Trockenheit zurückzuführen, was auf eine allmähliche Verschiebung der Hauptauslösefaktoren für Missernten hinweist.
- Für Zuckerrübe ist die Witterung im April als Anbaumonat eine sehr sensible Periode, die nicht zu nass sein darf. Die Jugendentwicklung verlangt ausreichend Wärme für ein schnelles Wachstum, im Sommer ist jedoch in allen drei, somit selbst in den feuchteren Regionen Trockenheit stark ertragsreduzierend.
- Ein ertragsmäßig schlechtes Weinjahr wird hauptsächlich durch starken Frost im Februar und kühl-feuchte Witterung im ganzen Sommer (inklusive Blütezeit) hervorgerufen, weniger durch Trockenheit oder Hitze. Da in letzter Zeit eher Episoden mit Trockenheit zunehmen und weniger Frostschäden auftreten, so könnte dadurch der Weinbau zu den Gewinnern klimatischer Veränderungen gehören.
- Risikofaktoren für die Apfelproduktion waren hohe Temperaturen im März und kalte Witterung im Februar und April. Zu viel Niederschlag schadete vor allem im April und Mai (Blütezeit) sowie Juli.
























Wie aus dieser Zusammenstellung offenbar wird, handelt es sich bei den abgeleiteten wetterbedingten Einflüssen nicht ausschließlich um Extremereignisse im üblichen Sinn. Als kleinste Zeiteinheit extremer Ereignisse musste ein Monat verwendet werden, da die für den Untersuchungszeitraum zur Verfügung stehende meteorologische Datenbank nur diese Auflösung anbot. Extreme Monatsmittel stehen jedoch häufig mit dem Auftreten extremer Einzelereignissen in Zusammenhang, welche Verschiebungen von Monatsmitteln dominieren. Die Erfassung kürzerskaliger Extremereignisse ist für den Zeitraum vor dem zweiten Weltkrieg sehr schwierig und überstieg den Bearbeitungsumfang dieses Projekts deutlich. Aus dem Überblick wird aber ersichtlich, von welchen Extremereignissen ein besonders hohes Gefährdungspotential ausgeht, auch wenn sie nur kurzfristig auftreten und einzelne, kleine Gebiete betreffen. Die durchgeführten Arbeiten können daher nur als ein erster Schritt zur Klärung des Einflusses des Faktors "Einwirkungszeit eines suboptimalen Witterungsparameters" betrachtet werden.

Die vorgestellten Auswertungen müssten auf alle wichtigen landwirtschaftlichen Kulturen und Produktionsgebiete ausgedehnt werden und mit den im Rahmen von StartClim erarbeiteten, zeitlich besser aufgelösten meteorologischen Daten verknüpft werden.

Analoge Detailuntersuchungen der meteorologischen Bedingungen, die mitverantwortlich für das Auftreten von Höchststrahlen sind, würde zu einem umfassenderen Bild über Risiken und Chancen durch zukünftige Klimaentwicklungen führen.

Tab. 2: Wetterbedingte Risikofaktoren für Missernten in den Regionen Ostösterreich, Südoststeiermark, oberösterreichisches Alpenvorland für verschiedene Produkte.

Die Symbole bedeuten:  extrem tiefe Temperaturen,  hohe Niederschlagssumme,  Trockenheit,  kühle und feuchte Witterung

Risikofaktoren für Missernten in drei Regionen Österreichs 1869 - 2002							
	Winterweizen	Sommergerste	Mais	Kartoffel	Zuckerrübe	Wein	Apfel
Jänner							
Februar							
März							
April							
Mai							
Juni							
Juli							
August							
September							
Oktober							

Durch Berechnung von Erträgen mittels Pflanzenwachstumsmodellen könnten die erarbeiteten Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Produktion und meteorologischen Bedingungen überprüft werden. Der Vergleich könnte möglicherweise Hinweise auf den Einfluss von Extremereignisse im engeren Sinne liefern.

Auf derartigen Analysen könnten agrarökonomischer Abschätzungen aufsetzen.

#### 4.4 Ereignisdatenbank für Meteorologische Extremereignisse. MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region)

MEDEA soll in erster Linie der mittel- und langfristigen Sicherung und Zusammenführung von Daten aus verschiedenen Wissensbereichen für meteorologische Extremereignisse in Österreich dienen. Nur durch die gleichzeitige Verfügbarkeit von meteorologischen Daten bis hin zu sozio-ökonomischen Daten kann ein Gesamtbild von Extremereignissen gewonnen werden, und die in StarClim.6 geforderte Wirkungskette durchgängig mit Informationen unterlegt werden.

In zweiter Linie soll durch explizite Einbeziehung der Daten-Unsicherheiten ein notwendiger Schritt in Richtung verbesserter Unsicherheits- und Risikoabschätzungen bei der Bewertung von Extremereignissen geleistet werden, der auch zu der vielfach geforderten verstärkten Einbeziehung dieser Fragen in die Klima- und Klimafolgenforschung beitragen kann.

In der mittelfristigen Perspektive soll der österreichischen Klimaforschungsgemeinde mit MEDEA auch die Möglichkeit geboten werden, gezielte Auswertungen direkt aus der Datenbank heraus durchzuführen.

Die Struktur der Ereignisdatenbank MEDEA wurde in Anlehnung an das Dateninformationssystem MORIS des Umweltbundesamtes in Hinblick auf die folgende Anforderungen entwickelt:

1. Erfassbarkeit eines weiten Datenspektrums (z. B. georeferenziert – nicht georeferenziert, „harte“ naturwissenschaftliche (Mess-)daten – „weiche“ sozioökonomische Daten) (vgl. Abb. 18)
2. Erweiterbarkeit bei zusätzlichen Erfordernissen neuer Forschungsprojekte/-programme der österreichischen Klimaforschungsgemeinde (z.B. ProVision)
3. Integration von Unsicherheitsangaben zu den verschiedenen Daten(sätzen)

Eine vorläufige Objektklassifizierung für MEDEA wurde durchgeführt (vgl. Abb. 19).

Nach einer ersten Sichtung und Beurteilung verschiedener (zu erwartender) Datensätze wurden diese klassifiziert in:

- Messdaten (engl. observations)
- modellierte Daten (engl. modelling)
- theoretisch abgeleitete Daten (engl. theory) und
- allgemeine Konsensdaten (engl. consensus)

Um die Unsicherheit innerhalb dieser Klassen künftig entsprechend exakt darstellen zu können, sind jeweils Angaben zu Prozessierung der Daten und zu den dahinter liegenden Rohdaten notwendig.

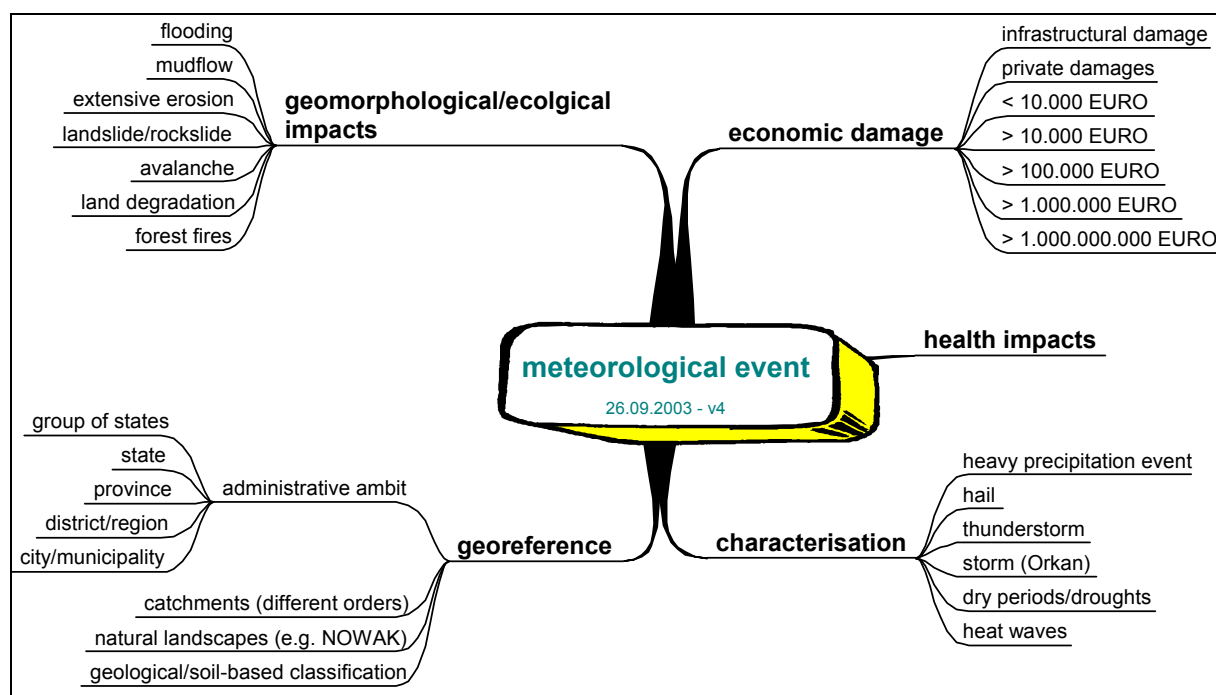


Abb. 18: Zu erfassendes Datenspektrum eines meteorologischen Extremereignisses.

Die ersten StartClim-Daten wurden erfolgreich in MEDEA eingegeben. Sie umfasst derzeit Testdaten verschiedener StartClim-Projekte und darüber hinaus Testdaten aus der Schadensdatenbank für Wildbachereignisse des BFW, sowie die österreichische Tornado-Datenbank von Herrn Alois Holzer. Weitere Datensätze können jederzeit aufgenommen werden – derzeit ist das Einspielen von Daten allerdings lediglich auf client-/server-Basis möglich. Ansprechpartner für die Neuaufnahme von Daten ist Herr Herbert Schentz ([herbert.schentz@umweltbundesamt.at](mailto:herbert.schentz@umweltbundesamt.at)).

Die Ausgabe von Daten ist flexibel – sie kann sowohl im xls- als auch im mdb- oder xlm (und diversen anderen Datenformaten) erfolgen.

Nach Abschluss des StartClim-Projektes werden die Arbeiten an der Datenbank fortgeführt werden müssen, um sie in Österreich langfristig zu etablieren. Eine Ausweitung auf den Alpen Raum einerseits, die europäische Ebene andererseits, ist angedacht.

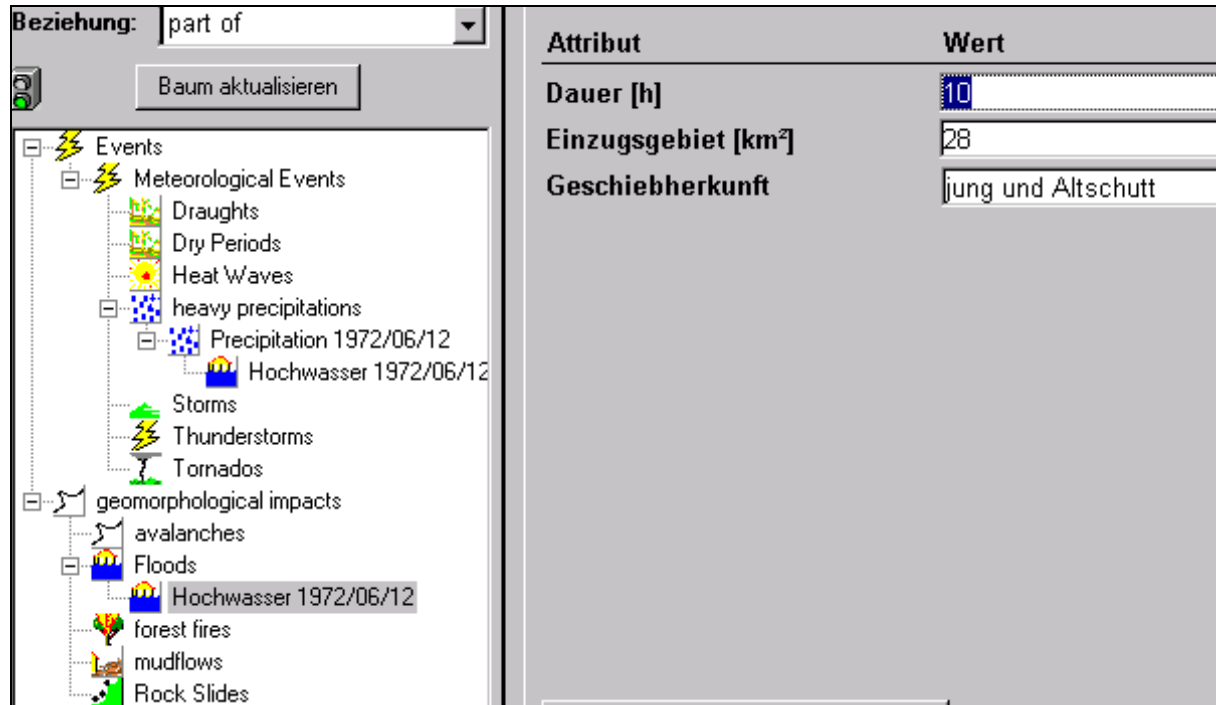


Abb. 19: Ausschnitt aus der Objektklassifizierung in MEDEA.

Innerhalb Österreichs besteht seitens der Betreiber einiger einschlägiger Datenbanken Interesse an Kooperation, da die fachspezifischen Daten dieser Datenbanken mit MEDEA aufgewertet werden. Die Kooperation wird sowohl als Plattform zur Initiierung fachübergreifender wissenschaftlicher Arbeiten gesehen, als auch als Instrument zur Beratung interessierter Wissenschaftler. Aus Gründen der Qualitätssicherung von MEDEA ist an eine Verknüpfung der Datenbanken, eher als eine Übertragung der Daten in MEDEA gedacht. Im Idealfall soll der Benutzer – nachdem er seine speziellen Zugriffsrechte geklärt hat – nicht mehr merken, dass er es mit mehreren Datenbanken zu tun hat.

#### 4.5 Volkswirtschaftliches Risikomanagement und öffentliche Wohlfahrt angesichts extremer Wetterereignisse (StartClim.8)

Spätestens nach dem Hochwasser 2002 in Österreich ist klar geworden, dass das volkswirtschaftliche Risikomanagement in Österreich verbesserungsbedürftig ist. Bestätigt wird dies durch den Vergleich nationaler Risikotransfersystemen für Katastrophenereignisse in anderen Ländern.

Die Auswahl der in den Vergleich einbezogenen Länder erfolgte zum einen aufgrund der Verfügbarkeit von entsprechenden nationalen Darstellungen, aber auch aufgrund der relativen Unterschiedlichkeit der Systeme, sodass ein möglichst breites Spektrum an Politikoptionen sichtbar wird. Von Interesse ist hier auch das System in der Erdbebenversicherung in der Türkei, das erst kürzlich, nach den jüngsten verheerenden Ereignissen, unter Einbeziehung der Expertise der Weltbank neu gestaltet wurde.

Für jedes Land wurde zunächst untersucht, welche Optionen sich einem ökonomischen Akteur bieten, sein Hab und Gut gegen Überschwemmungskatastrophen zu versichern, wobei naturgemäß auch Versicherungen gegen andere Katastrophenereignisse zur Sprache kom-



men. Dann wurden drei wesentliche Details der nationalen Risikotransfermechanismen, die jeweils einer wichtigen Fragestellung von Anreiztheorie (Wie geschieht die Risikoprüfung, um Antiselektion auszuschließen?), sozialer Ausgewogenheit (wie sieht die Prämiengestaltung aus, ist sie auch für Bürger in gefährdeten Gebieten erschwinglich?) und versicherungstechnischer Effizienz (Wie passiert die Risikobegrenzung der Primärversicherer?) zuzuordnen sind, untersucht.

Die Übersicht in Tab. 3 stellt die Unterschiedlichkeit der einzelnen Systeme überblicksartig dar.

Tab. 3: Übersicht über Risikotransfersysteme in ausgewählten Ländern. Je mehr Punkte einem Land zugeordnet sind, desto stärker trifft der entsprechende Sachverhalt zu; Haken deuten das Vorhandensein des entsprechenden Instrumentes an.

Nation	A	D	CH	F	E	USA	TR
Staatlicher Organisationsgrad	•		•••	•••	•••	••	•••
Soziale Verträglichkeit	••	••	•••	•••	•••	•	•••
Minimierung von Moral Hazard (Anreiz zur ind. Risikoverminderung)	•	••	•	••	••	••	••
Anreiz zur kollektiven Risikovermeidung/verminderung	•	•	•••	•••	•	•••	••
Prämienhöhe	•••	••	•	•	•	•••	•
Antiselektionsgefahr	•••	••				•••	
Risikokataster angewandt		✓				✓	✓
Deckung obligatorisch			✓	✓	✓		✓
Kontrahierungszwang			✓	✓	✓	✓	✓
Staatliche Subvention	✓	✓		✓	✓	✓	n.v.
Risikodifferenzierte Prämiengestaltung	✓	✓	✓			✓	✓

Im zweiten Kapitel werden die spezifischen Problemlagen der einzelwirtschaftlichen Akteure und der öffentlichen Hand aufgezeigt. Ausgehend von theoretischen Modellen (der Problemlage) des Einzelindividuums, der Einzelversicherung und der öffentlichen Hand wird auf die jeweilige konkrete Situation in Österreich Bezug genommen. So zeigt sich, dass Anreize zu risikoreichem Verhalten (Moral Hazard) und zu ungünstiger Bestandmischung (Adverse Selection), welche beide wichtige Ursachen für Marktversagen darstellen, bisher von der Politik nicht als Problem erkannt wurden und durch die derzeitigen staatlichen Eingriffe sogar noch verschärft werden. Das theoretische Modell zur Beleuchtung der Problemlage der öffentlichen Hand beschäftigt sich mit den sich teilweise widersprechenden Zielen der Respek-

tierung individueller Freiheitsrechte, ökonomischer Effizienz und sozialer Gerechtigkeit und muss bisweilen auf noch zu tätige Forschungsanstrengungen verweisen.

Im letzten Kapitel werden die folgenden Gestaltungsvorschläge für das Design eines anreizkompatiblen, effizienten und sozial verträglichen Risikotransfermechanismus in Österreich diskutiert, geordnet nach den folgenden als problematisch erkannten Systemmerkmalen:

Problemfeld 1: Regulierungsbedürftiger Markt ist unreguliert und staatlicher Eingriff verstärkt Marktversagen, mit folgenden Einzelproblemen:

- Antiselektion (Lösungsvorschläge: Risikokataster, Paketlösung, Automatische Deckungserweiterung, Kontrahierungszwang/ Abschluss obligatorisch)
- Mangelnde Verfügbarkeit (Lösungsvorschläge: Staatliche Subvention im Bereich der Katastrophenversicherung, Staatlicher Versicherungsträger, Staat als Rückversicherer/ Letztversicherer)
- Steigendes Risiko (Lösungsvorschläge: Hochwasserversicherungspool, Solidargemeinschaft auf europäischer Ebene)

Problemfeld 2: Fehlender Anreiz zur Risikovermeidung

- Fehlender Anreiz für Individuen Risiko zu vermeiden (Moral Hazard) (Lösungsvorschläge: Risikodifferenzierte Prämiengestaltung, Risikodifferenzierung bei der Zeichnung, Deckung beschränkt, Selbstbehalte)
- Fehlender Anreiz für Gebietskörperschaften Risiko zu vermeiden (Lösungsvorschläge: Aufgaben/Mitspracherecht der involvierten Institutionen im Bereich der Prävention, Selbstbehalte für Gebietskörperschaften)

Problemfeld 3: Diffuse Verteilungswirkung

- Geringe soziale Verträglichkeit (Lösungsvorschläge: Solidarlösung, Subventionierte Prämien)

Problemfeld 4: Risiko für Staatshaushalt

- Budgetrisiko (Lösungsvorschläge: Erhöhung der Dotierung des Katastrophenfonds, Rückgriff auf Solidargemeinschaft EU, Versicherung am internationalen Rückversicherungsmarkt oder Verschuldung / Cat Bonds)

## **4.6 Adaptionstrategien der von extremen Wetterereignissen betroffenen Wirtschaftssektoren: ökonomische Bewertung und die Rolle der Politik (StartClim.6)**

### **4.6.1 Fundamentale Anforderungen für eine umfassende Analyse von extremen Wetterereignissen**

Die Erforschung des Zusammenhangs zwischen Klimawandel, extremen Wetterereignissen und deren ökonomischen Auswirkungen ist eine sehr junge Disziplin und es mangelt noch in vielen Bereichen an genauen Kenntnissen. Literaturrecherchen und intensiver Austausch mit ForscherInnen und VertreterInnen der Wirtschaft ergeben den in Abb. 20 dargestellten relativen Intensitätsgrad des Forschungsbedarfes. Dabei wird zwischen den einzelnen Forschungsfeldern und ihren Verbindungen unterschieden.

Um eine umfassende ökonomische Bewertung der Auswirkungen von extremen Wetterereignissen zu erreichen, muss zuerst die Datengrundlage des dargestellten Zusammenhangs von Treibhausgasemissionen und Klimawandel hin zu extremen Wetterereignissen und deren Schadensdimension verbessert werden. Fundamental ist dabei das Problem, dass der Übergang von der meteorologischen Betrachtung von Extremereignissen hin zur ökonomischen wegen des mangelnden Verständnisses hinsichtlich des Bindegliedes – nämlich der menschlichen Eingriffe, die aus Naturereignissen erst Katastrophen machen - noch kaum möglich ist. Extreme Wetterereignisse können, müssen aber nicht zu Naturkatastrophen führen. Aus

der Häufigkeit von extremen Wetterereignissen kann man daher nur schwer auf die Häufigkeit von Unwetterschäden schließen. Ein Denken in Wirkungsketten, wie in Abb. 21 beispielhaft für den Zusammenhang zwischen Niederschlag und Hochwasserschaden dargestellt, ist erforderlich.

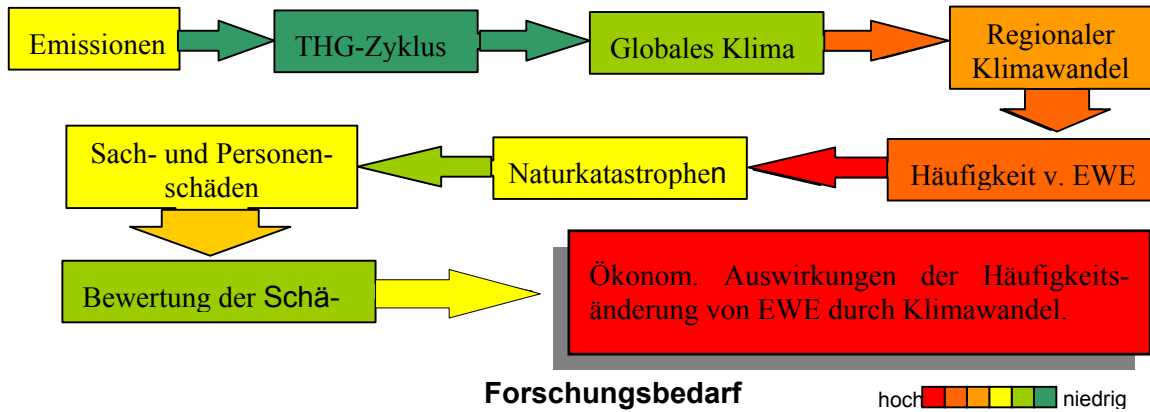


Abb. 20: Forschungsbedarf: Von Treibhausgasemissionen zur Naturkatastrophe

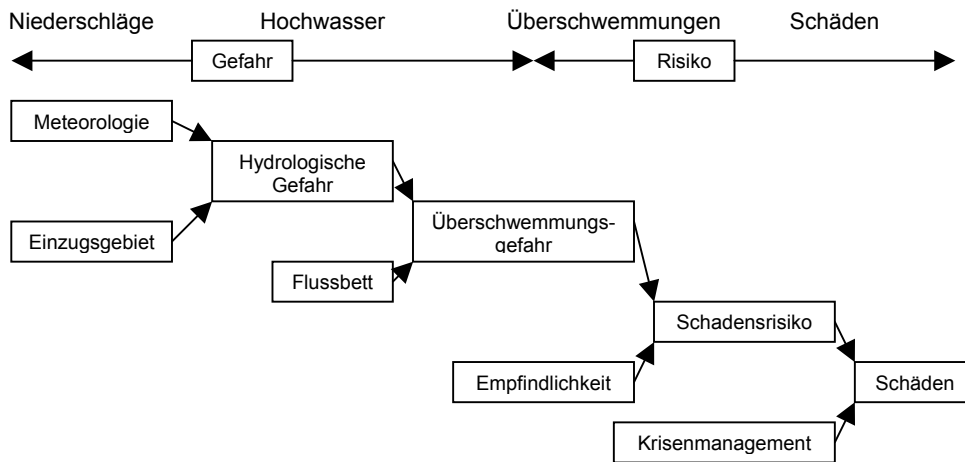


Abb. 21: Wirkungskette bei Hochwasserschäden (OCCC 2003, Seite 35)

Das heutige Wissen über die Wirkungszusammenhänge ist jedenfalls noch nicht ausreichend, um optimale Strategien für die Politik zu erstellen. Vermeidungsstrategien können an verschiedenen Punkten in der Wirkungskette ansetzen und je nach Lösung andere Gruppen (Wirtschaftszweige, Gesellschaften, Individuen) betreffen bzw. Disziplinen (natur-, sozialwissenschaftliche, technologische etc.) fordern. Man erkennt die Notwendigkeit einer langfristigen interdisziplinären Forschung, um diese Zusammenhänge in einer umfassenden Lösungsstrategie zu verarbeiten. Gleichzeitig ist ein verstärkter Dialog zwischen Forschung, Politik und Wirtschaft notwendig.

#### 4.6.2 Sektorielle Betrachtungsweise

Da aufgrund von Datenmangel noch keine umfassende ökonomische Analyse der Auswirkungen von extremen Wetterereignissen möglich ist, wurden einzelne von extremen Wetterereignissen stark betroffene Wirtschaftssektoren ausgewählt, um zumindest für diese partiell die Auswirkungen von extremen Wetterereignissen zu betrachten. Die Analyse wurde anhand eines Dialogs mit VertreterInnen dieser Wirtschaftssektoren umgesetzt, um von den Betroffenen selbst eine Einschätzung über das Schadenspotenzial der einzelnen Ereignisse (Hochwasser, Sturm, Trockenheit etc.) für den jeweiligen Sektor sowie Aussagen über bis dato dazu getroffene und zukünftig geplante Anpassungsmaßnahmen zu erhalten. Die Gesamteinschätzung der Betroffenheit ist in Tab. 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Wirkungsausmaß extremer Wetterereignisse auf die einzelnen Wirtschaftssektoren und zugehörige Datenlage, abgeleitet aus Literaturrecherchen und Experten- bzw. Betroffenenbefragungen

EWE/Sektor	Energie/Wasser	Vers.	LaWi	FoWi	Tour.	Ges.h.
Lawinen	I/ ja	II/ ja	I/ ja	III/ ja	III/ ja	III / ja
Hochwasser	III/ ja	III/ ja	II/ ja	I/ ja	II/ ja	III/ ja
Hagel	0/ nein	III/ ja	III/ nein	0/ nein	0/ nein	I/ nein
Sturm	I/ nein	III/ ja	II/ nein	III/ ja	II/ ja	II/ nein
Sommer-trockenheit	II/ nein	III/ ja	III/ ja	I/ nein	0/ nein	II/ nein
Winter-trockenheit	0/ nein	0/ nein	II/ nein	0/ nein	III/ ja	0/ nein

Klasse	Sensibilität des Sektors je EWE	Abkürzung	Sektor
0	(so gut wie) kein Schaden	Energie/Wasser	Energie- und Wasserwirtschaft
I	vernachlässigbar gering	Vers.	Versicherungswirtschaft
II	Sensibel	LaWi	Landwirtschaft
III	sehr sensibel	FoWi	Forstwirtschaft
ja	Sektordaten zu EWE vorhanden	Tour.	Tourismus
nein	keine Daten, Annahme aufgrund Überlegungen und/oder Literatur	Ges.h	Gesundheitsversorgung

Im Dialog mit den SektorenvertreterInnen zeigte sich ein sehr unterschiedliches Niveau an vorhandenen Daten bzw. darauf aufbauend eine teilweise kaum fundierte Einschätzung des Schadenspotenzials für den eigenen Wirtschaftssektor. Nur dort, wo der Sektor selbst das mögliche Schadenspotenzial und die Notwendigkeit zur Anpassung erkannt hat, gibt es relativ gute Forschung (z.B. in der Versicherungsbranche, Landwirtschaft).

Die von den SektorenvertreterInnen erstellten Forderungen bzw. Handlungsempfehlungen an die Politik lassen sich in drei Kategorien zusammenfassen:

- **Allgemein politische Maßnahmen:**
  - Förderung des Problembewusstseins der Bevölkerung,
  - öffentlicher Zugang zu relevanter Information über extreme Wetterereignisse,
  - Förderung der wissenschaftlichen Forschung als Grundlage politischer Entscheidungen und

- Umsetzung des Kyoto-Protokolls.
- **Konkrete fiskalische und ordnungspolitische Maßnahmen für Vorbeuge maßnahmen:**
  - integrierte Raumplanung (Kompetenzbereinigungen notwendig),
  - Kostenverteilung der Gewässerbetreuung (Kosten für den Schutz vor extremen Wetterereignissen machen Wasserkraftwerke sonst unwirtschaftlich) und
  - Förderung der Eigenvorsorge durch den Abschluss von Versicherungen.
- **Konkrete Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung im Katastrophenfall:**
  - Harmonisierung der Katastrophenhilfsdienstgesetze der Länder,
  - Finanzierung der Krisenintervention durch die öffentliche Hand,
  - Einrichtung eines behördlichen Katastrophenmanagers und
  - Schaffung einer Katastrophenkarenz.

Die Ergebnisse des Dialogs mit den SektorenvertreterInnen wurden im Rahmen eines ExpertInnenworkshops im September 2003 präsentiert. Dabei konnten neue Kontakte zwischen Forschung, Politik und den Wirtschaftssektoren geknüpft werden und so auch ein Beitrag zur transdisziplinären Forschung geleistet werden.

#### **4.7 Zusammenfassung der erzielten Fortschritte**

- Ein Überblick über die vorhandenen Daten zu Bergstürzen, Hochwasser, Muren, Rutschungen und Lawinen wurde erstellt.
- Die Chroniken der Bezirke Landeck und Imst wurden beispielhaft ausgewertet und damit die in der Wildbach-Schadensdatenbank enthaltene Reihe wesentlich verlängert.
- Vorschläge für notwendige und sinnvolle Ergänzungen bei der Dokumentation von Extremereignissen wurden erarbeitet, deren Umsetzung nun mit den zuständigen Behörden und Institutionen zu diskutieren wären.
- Erste systematische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Witterungsbedingungen und Ernteertrag für sieben Feldfrüchte in drei Regionen Österreichs anhand langjähriger Ertragsstatistiken ergaben klare Hinweise auf besonders Witterungsbedingungen, die sich besonders ungünstig auf den Ertrag auswirken.
- Es wurde eine Ereignisdatenbank angelegt, die im Zuge zukünftiger Forschungsarbeiten aufgefüllt werden und zur Verfügung stehen soll.
- Ein System der Berücksichtigung von Unsicherheiten in einer Datenbank mit Daten aus sehr verschiedenen Disziplinen und unterschiedlichen Quellen wurde entwickelt.
- Eine Übersicht über Risikotransfersysteme in ausgewählten Ländern wurde erstellt und anhand dieser die Verbesserungswürdigkeit der Situation in Österreich diskutiert.
- Ein theoretisches Modell zur Beleuchtung der Problemlage der öffentlichen Hand und den sich teilweise widersprechenden Zielen der Respektierung individueller Freiheitsrechte, ökonomischer Effizienz und sozialer Gerechtigkeit von Risikotransfersystemen wurde erstellt.
- Gestaltungsvorschläge für das Design eines anreizkompatiblen, effizienten und sozial verträglichen Risikotransfermechanismus in Österreich wurden erstellt.
- Der durchgeführte ExpertInnenworkshop war die erste Stufe, um trotz schwieriger Rahmenbedingungen (schlechte Datenlage beim Herunterbrechen der Betrachtungsweise auf einzelne Wirtschaftssektoren), durch eine Bedarfsanalyse einen Dialog zwischen der interdisziplinären EWE-Forschung und den einzelnen Wirtschaftssektoren aufzubauen.

#### 4.8 Forschungsbedarf

- Durch das Studium von weiteren historischen Quellen wie z.B. die Naturchronik von Tirol (Fliri, 1998) kann der Informationsgehalt der Chroniken wesentlich verbessert und erweitert werden.
- Die Entwicklung von Einzugsgebietstypen anhand (spärlich) vorhandener Daten könnte dazu beitragen, die Wildbachschadensereignisse in Zukunft besser abzuschätzen.
- Im Rahmen von weiteren Untersuchungen könnten die Schadensobjekte unter Berücksichtigung der Siedlungsentwicklung detaillierter analysiert und damit das Schadenspotential und die Grundlagen für die Risikoabschätzung von Extremereignissen im Sinne der in StartClim.6 beschriebenen Wirkungskette ermittelt werden.
- Die vorgestellten Auswertungen des Zusammenhanges Witterung-landwirtschaftlicher Ertrag müssten auf alle wichtigen landwirtschaftlichen Kulturen und Produktionsgebiete ausgedehnt werden und mit den im Rahmen von StartClim erarbeiteten, zeitlich besser aufgelösten meteorologischen Daten verknüpft werden.
- Analoge Detailuntersuchungen der meteorologischen Bedingungen, die mitverantwortlich für das Auftreten von Höchstertträgen sind, würde zu einem umfassenderen Bild über Risiken und Chancen durch zukünftige Klimaentwicklungen führen.
- Durch Berechnung von Erträgen mittels Pflanzenwachstumsmodellen könnten die erarbeiteten Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Produktion und meteorologischen Bedingungen überprüft werden. Der Vergleich könnte möglicherweise ebenfalls Hinweise auf den Einfluss von Extremereignisse im engeren Sinne liefern.
- Auf derartigen Analysen könnten agrarökonomischer Abschätzungen aufsetzen.
- Die Datenbank MEDEA ist mit bestehenden Datenbanken zu vernetzen und den Nutzern ist längerfristig der Zugang über Internet zu ermöglichen.
- Gewisse Aspekte des theoretischen Risikotransfermodells sollten verbessert werden.
- Notwendigkeit einer langfristigen interdisziplinären Forschung, um diese Zusammenhänge in einer umfassenden Lösungsstrategie zu verarbeiten. Gleichzeitig ist ein verstärkter Dialog zwischen Forschung, Politik und Wirtschaft notwendig.
- Die Abhängigkeit weiterer Wirtschaftssektoren von potentiellen Änderungen der Naturkatastrophenhäufigkeit wäre zu untersuchen – so z.B. die Bauwirtschaft, für die anhand von Fallstudien (z.B. Hochwasser 2002) eine Quantifizierung von Gewinnen und Verlusten anzustreben wäre. Auch der Infrastruktursektor wäre wichtig, da meist ein wesentlicher Teil der Schäden bei Naturkatastrophen die Verkehrsnetze betrifft
- Der Dialog zwischen Forschung und Wirtschaft wäre für konkrete Fallstudien zu einzelnen Extremwetterereignissen und Sektoren zu nutzen (z.B. Hitzesommer 2003 für die steirische Landwirtschaft). Dabei sollte ein Schwerpunkt auf der Erhebung der ökonomischen Schadensdaten liegen.
- Der erstellte Katalog an Adaptionenmaßnahmen sollte für die einzelnen Sektoren ökonomisch vertieft beleuchtet und ergänzt werden.

## 5 Das Hochwasserereignis in Österreich im August 2002

### 5.1 Einleitung

Die Forschungsaktivitäten in diesem Themenbereich sind auch als Beitrag zur Hochwasseranalyse „Floodrisk“ gedacht, die in umfassender Form unter der Federführung des BMLFUW durchgeführt wird.

Aus meteorologischer Sicht geht es zum einen daher um die sorgfältige Analyse der Wetter- und Niederschlagsituation, damit den Analysen der Hydrologen geeignete meteorologische Grundlagen zur Verfügung gestellt werden können, zum anderen aber um eine Verallgemeinerung des Verständnisses der Prozesse, Messungen und Modelle, um durch verbesserte meteorologische und hydrologische Beratung den potentiellen Schaden zu reduzieren. Fortschritte in dieser Hinsicht können

- durch bessere Nutzung der Information aus vorhandenen Messnetzen (StartClim.13),
- durch verbessertes Verständnis der Leistungsfähigkeit vorhandener Modelle (StartClim.14) und
- verbesserte Analysen vorhandener Modelle in Hinblick auf Extremereignisse (StartClim.12)

erzielt werden.

Im Gegensatz zur meteorologischen und hydrologischen Aufbereitung von Hochwasserereignissen ist die wirtschaftliche Analyse solcher Extremereignisse noch relativ unterentwickelt. Es ist naheliegend, die Höhe der registrierten Schäden zu bestimmen - wie dies jedoch erfolgt, kann entscheidend sein für rasche und effiziente Hilfestellung (StartClim.9). Aus Details hinsichtlich der Art der Schäden bei Häusern, Haushalten, Unternehmungen, der Infrastruktur und der land- und forstwirtschaftlichen Flächen lassen sich einerseits Lehren für Raum- und Lebensgestaltung in hochwassergefährdeten Gebieten ableiten und andererseits langfristige Folgeeffekte eines solches Extremereignisses abschätzen (StartClim.7). Dabei geht es z.B. um die lokalen Effekte auf die Verteilung von Einkommen und Vermögen, um die Nachfrage für Ersatzinvestitionen und um die dadurch ausgelösten Wirkungen auf die lokale, regionale und überregionale wirtschaftliche Aktivität.

Für die ökonomische Forschung im engeren Sinne bedeutet das Phänomen von extremen Ereignissen in mindestens dreifacher Hinsicht eine Herausforderung. Erstens, wieweit Instrumente der ökonomischen Datenanalyse und Prognose verwendbar und zu modifizieren sind. Zweitens, wieweit das gegenwärtige Rechnungswesen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ergänzungsbedürftig ist in Richtung einer Vermögensrechnung. Drittens, wie der Erneuerungsprozess des Kapitalstocks abläuft, der nach einem extremen Schadensereignis notwendig wird (StartClim.10).

Analysiert man die erhobenen Daten mit einem klassischen Wirtschaftsmodell, ergibt sich das Paradoxon, dass Katastrophen in der Regel als wirtschaftlicher Vorteil zu Buche schlagen. Erste konzeptionelle Schritte in Richtung auf ein Wirtschaftsmodell, das neben den Geldflüssen auch die Verluste an Werten berücksichtigt, und damit das Paradoxon auflöst, werden gemacht

### 5.2 Hochaufgelöste Niederschlagsanalysen (StartClim.13)

Niederschlagsmessungen sind lückenhaft und decken Untersuchungsgebiete nie gleichmäßig ab. Zur Messnetzplanung, zur Bestimmung von Flächenniederschlägen für hydrologische Modelle, zur Bewertung von extremen Niederschlägen und für viele wissenschaftliche Untersuchungen werden daher Interpolationsverfahren gebraucht.

Je nach verwendetem Interpolationsverfahren ergeben sich, auch bei einem sehr dichten Niederschlagsmessnetz wie in dem von der Hochwasserkatastrophe 2002 betroffenen Raum, unterschiedliche Werte für den Flächenniederschlag, der als Basis für hydrologische Modelle dient. Die Quantifizierung der resultierenden Unsicherheiten des Flächenniederschlages ist ein wichtiger Beitrag zur Quantifizierung der Unsicherheiten hydrologischer Modelle.

Operationelle Echtzeitanalysen des Flächenniederschlages in hoher räumlich-zeitlicher Auflösung inklusive automatischer Datenqualitätskontrolle können einen Beitrag zum verbesserten Krisenmanagement im Falle von extremen Niederschlagsereignissen leisten.

Das am IMG Wien entwickelte objektive Analyseverfahren VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis, Steinacker et.al., 2000) bedient sich eines Variationsansatzes und ist dem Spline-Verfahren verwandt. Im Grunde genommen sucht man eine mathematische Funktion, die durch alle bekannten Messwerte geht, wobei man als Randbedingung vorgibt, dass die Funktion möglichst glatt sein soll. Die Werte der Funktion an den Gitterpunkten stellen das Ergebnis der Analyse dar.

Abb. 22 zeigt das Ergebnis einer solchen Analyse für den 12. August 2002. Die unregelmäßig verteilten Stationen sind als schwarze Punkte, die analysierte Niederschlagsverteilung ist in Farbflächen dargestellt.

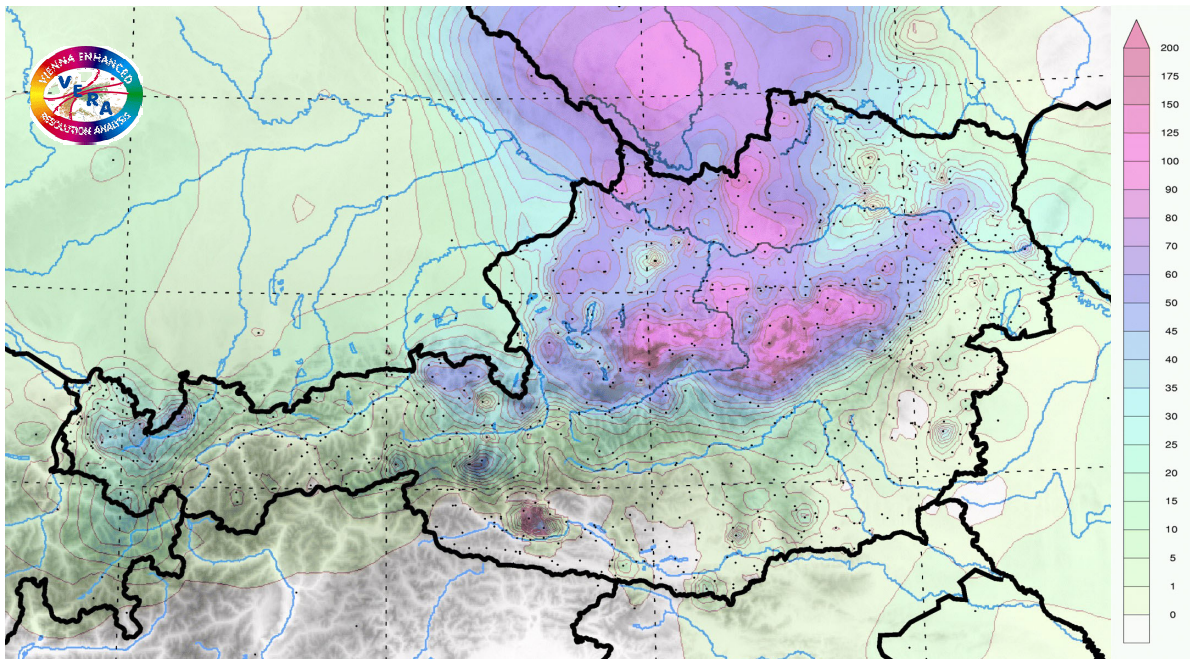


Abb. 22: Niederschlagsverteilung für den 12. August 2002 (12.8.2002 06UTC bis 13.8.2002 06UTC), analysiert mit VERA, Minimierung der 1. und 2. Ableitung, 4km Gitter.

Um die Qualität der VERA-Analysen zu überprüfen, sind für dieselben Termine Analysen mit Kriging, einem statistischen Variationsverfahren, durchgeführt worden und die statistischen Kenngrößen der Analysen verglichen worden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse der beiden unterschiedlichen Verfahren für dieselbe Gittermaschenweite nahezu identisch sind. Weiters konnte gezeigt werden, dass die Verfeinerung des Analysegitters von den für den operationellen Betrieb vorgesehenen 16 km auf 8 km bzw. 4 km bei der in Echtzeit vorhandenen Datenmenge mit durchschnittlich 20 km Stationsabstand keine wesentliche Steigerung der Analysegenauigkeit bewirkt.

Um in Gebieten mit wenigen Messstellen eine sinnvolle Analyse durchführen zu können, erscheint die Verwendung von Zusatzinformation zusätzlich zu den Stationsdaten sinnvoll. Diese Information kann in Form von Radar- oder Satellitenmessungen, in Form meteorologisch begründbaren Annahmen über die Verteilung des Niederschlages (z.B. Korrelation der



Niederschlagsmenge mit der Seehöhe) vorliegen, man kann aber auch eine Modellvorhersage als Vorinformation verwenden. In die Analyse werden diese Daten mit so genannten Fingerprints eingebunden. Abb. 23 zeigt zwei Analysen mit Zusatzinformation.

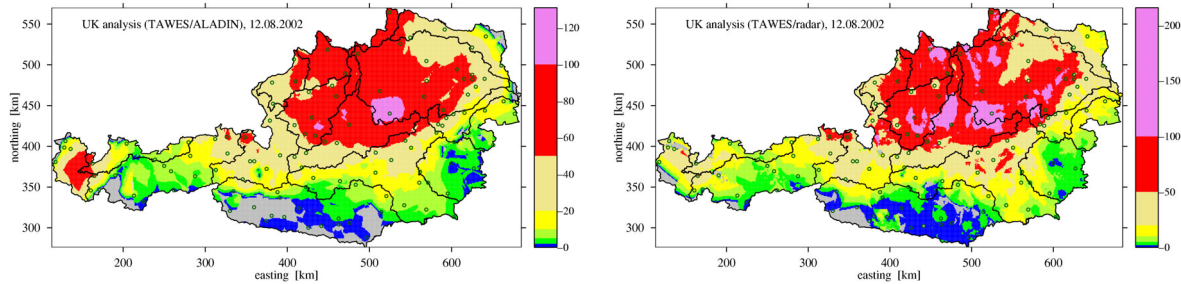


Abb. 23: Analyse für den 12.8.2002 mit den operationell meldenden TAWES-Stationen, ergänzt durch die Modellvorhersage von ALADIN (links) und durch kalibrierte Radar-daten (rechts)

Obwohl die Zusatzinformationen sichtlich zu einer Modifikation des Niederschlagsfeldes führen, haben die im Zuge des Projektes implementierten Zusatzinformationen zu keiner Verbesserung der Analysen geführt. Hier bedarf es noch weiterer Forschung, um das Potential der verfügbaren Radar- und Satellitendaten ausschöpfen zu können.

Nachdem Zusatzinformationen für datenarme Gebiete noch nicht sinnvoll genutzt werden können, ist es wichtig zu verstehen, wie empfindlich das Analyseverfahren auf Ausfälle von einzelnen Stationen reagiert. Zu diesem Zweck ist ein Versuch durchgeführt worden, bei dem die Analyse jeweils mit einer Teilmenge der tatsächlich meldenden Stationen gerechnet worden ist, während mithilfe der übrigen Stationen eine Qualitätsprüfung der Analyse durchgeführt wurde. Abb. 24 zeigt das Ergebnis für 100 solcher Analysen.

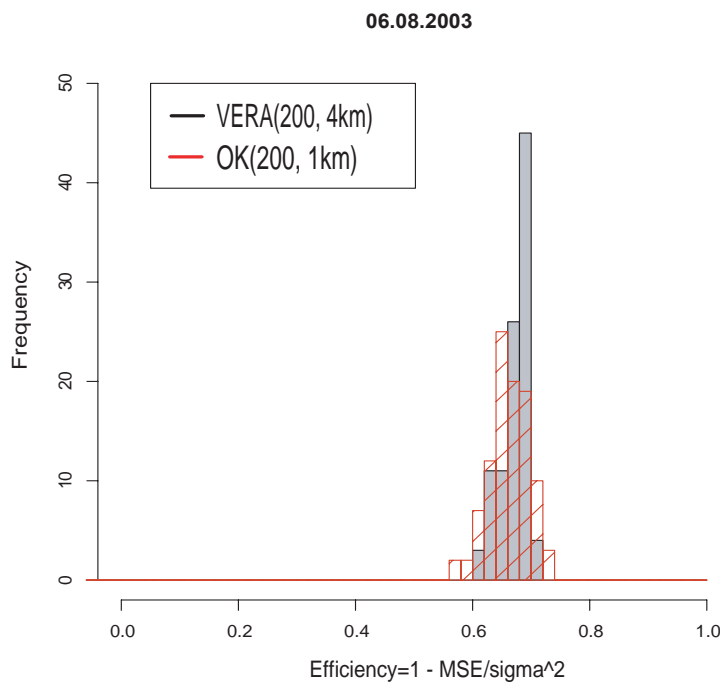


Abb. 24: Efficiency (1 - Mittlerer quadratischer Fehler/Varianz) für je 100 VERA- und Kriging-Analysen mit jeweils 200 Stationsmeldungen in Österreich.

Die geringe Streuung der VERA-Ergebnisse auf der Abszisse zeigt an, dass VERA gegenüber ungünstigen Stationsverteilungen nicht so empfindlich ist, wie das Kriging-Verfahren. Dies ist für den operationellen Betrieb ein großer Vorteil, da im täglichen Betrieb die verfügbare Stationsanzahl gering ist und nicht immer gewährleistet ist, dass alle Stationen Meldungen absetzen.

Schließlich ist noch die Qualität der Messwerte von großem Interesse. Fehlerbehaftete Werte können im operationellen Betrieb immer wieder auftreten und müssen vor der Analyse automatisch aussortiert werden. Dazu wird mit der VERA-Qualitätskontrolle der Messwert jeder Station überprüft, indem eine möglichst glatte Funktion durch die Messwerte der Umgebungsstationen gelegt wird. Entspricht der Funktionswert an den Koordinaten der untersuchten Station dem Messwert, so wird dieser als richtig gekennzeichnet, ansonsten wird ein Korrekturvorschlag berechnet. Wie sich die Korrektur der Messwerte auf das Ergebnis auswirkt, ist in Abb. 25 zu sehen.

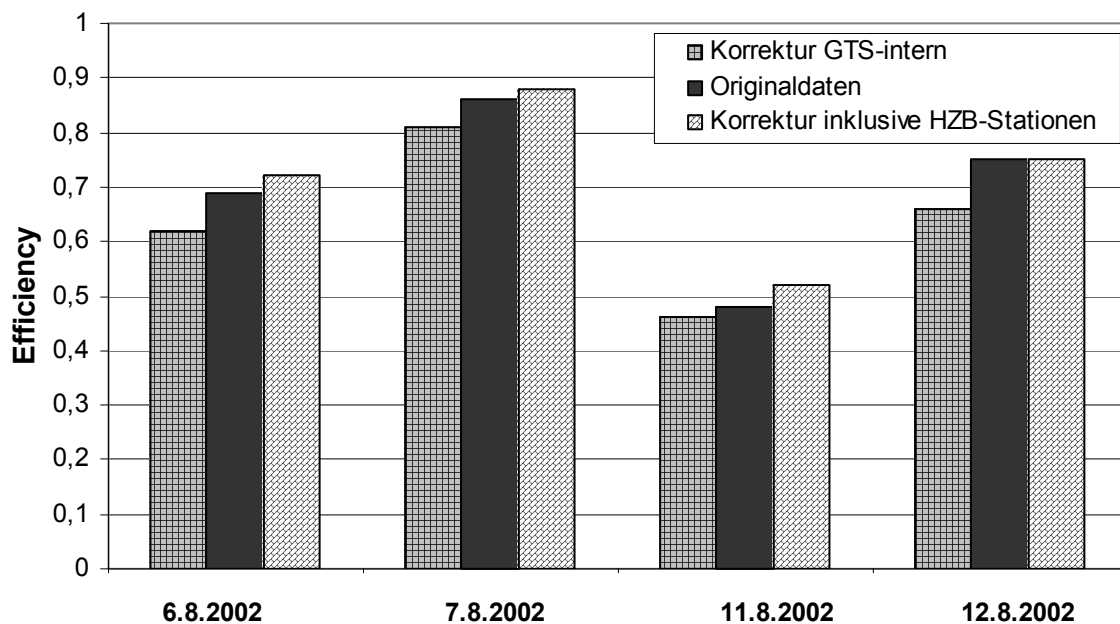


Abb. 25: VERA-Analysen mit korrigierten und unkorrigierten Messdatensätzen für die vier Termine

Die Ergebnisse zeigen, dass die Analyse mit korrigierten Werten nur dann genauer ist als die Analyse mit den Originaldaten, wenn für die Qualitätskontrolle viele Stationen (Abb.25: „Korrektur inklusive HZB-Stationen“) zur Verfügung stehen. Verwendet man nur die operationell vorhandenen Stationen, so werden derzeit zu viele Messwerte als fehlerhaft gekennzeichnet. Hier besteht also noch weiterer Entwicklungsbedarf.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass VERA-Niederschlagsanalysen prinzipiell für den operationellen Betrieb geeignet sind, sowohl was die in Echtzeit verfügbare Datenmenge als auch den Rechenaufwand betrifft. Die Quantifizierung des Analysefehlers bei den verwendeten Interpolationsverfahren hat gezeigt, dass die Genauigkeit der Analysen je nach Wetterlage variiert. Hier muss in Zukunft noch einiges an Forschungsarbeit investiert werden, um zum Beispiel durch die Einbindung von Zusatzinformation die Ergebnisse noch genauer zu machen.

Mit den Analysen ist der Flächenniederschlag einerseits zur Verifikation von numerischen Wettervorhersagemodellen verfügbar, wie sich z.B. in StartClim.14 gezeigt hat, andererseits in Echtzeit zur Verwendung in hydrologischen Modellen, wodurch im Krisenfall eine bessere Einschätzung der aktuellen Lage möglich ist.

### 5.3 Prognosegüte meteorologischer Vorhersagemodelle (StartClim.14)

#### 5.3.1 Einleitung

Eine Analyse der Vorhersagegüte meteorologischer Vorhersagemodelle während des August 2002 Hochwassers (Haiden, 2003) und anderer Starkniederschlagsereignisse aus der jüngeren Vergangenheit kann Aufschluss geben über die Verlässlichkeit der Modelle einerseits und möglichen Verbesserungsbedarf andererseits. In die Analyse wird für die Fallstudie 2002 neben den in Österreich routinemäßig zum Einsatz kommenden Modellen das Lokalmodell des Deutschen Wetterdienstes (LM) sowie das globale Modell des ECMWF einbezogen. Die Vorhersagegüte betrifft die Lage, den Zeitpunkt, die Intensität und die Gesamtmenge des Niederschlages.

An der ZAMG werden seit 1999 Gebietsmittel des Niederschlages für 26 Regionen Österreichs und der Umgebung aus den Messdaten (TAWES-Stationen, Klima-Stationen sowie Stationen des Hydrographischen Zentralbüros) analysiert und mittels des Vorhersagemodells Aladin prognostiziert (Andrade-Leal et al., 2002; Haiden und Stadlbacher, 2002). Gebietsmittel über bestimmte Einzugsgebiete haben sich für hydrologische Anwendungen als sinnvoller herausgestellt, als Werte an einzelnen Gitterpunkten. Dieses Datenmaterial bildet die Basis für die folgenden Betrachtungen.

Generell hat sich gezeigt, dass das Niederschlagsereignis vom 6.8. – 8.8.2002 von allen Modellen unterschätzt wurde, unabhängig von der Ausgangslage. Erst kurz vor Ereignisbeginn war ein Niederschlagssignal im Modell Aladin zu erkennen, jedoch in deutlich abgeschwächtem Ausmaß. Das zweite Ereignis vom 11.8. – 13.8.2002 wurde qualitativ vom operationellen Modelllauf des ECMWF bereits etwa 3 Tage davor angedeutet und von den Modellläufen des Aladin 1 – 2 Tage hernach bestätigt.

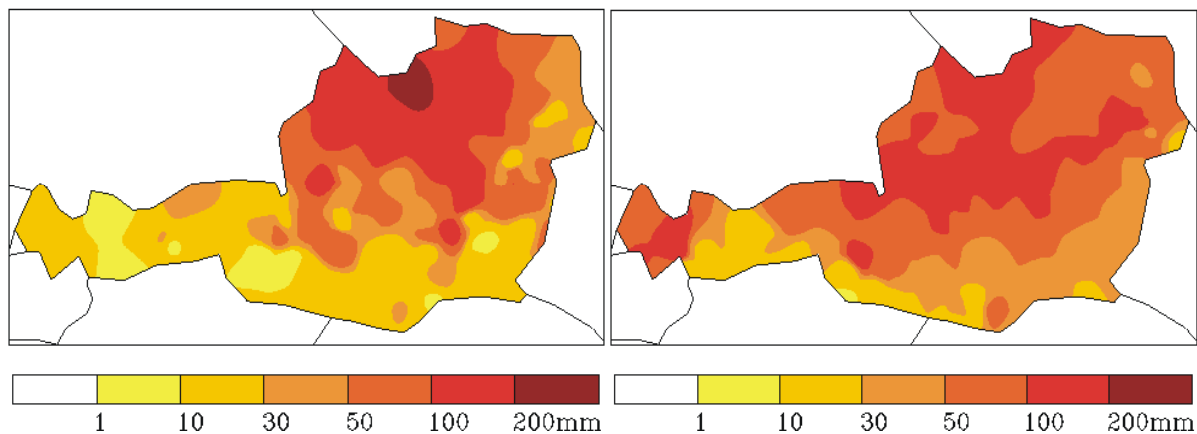


Abb. 26: Niederschlagssumme aus TAWES, interpoliert auf ein 10x10km Gitter. Links: erster Teil des Ereignisses vom 6.8.2002 12UTC – 8.8.2002 12UTC. Rechts: zweiter Teil des Ereignisses vom 11.8.2002 – 13.8.2002.

Trotz der unterschiedlichen Interpolationsmethoden, die in Abb. 26 und jenen Analysefeldern aus StartClim.12 bzw. StartClim.13 Eingang finden, bleibt die großräumige Niederschlagsstruktur erhalten. Dies hat zur Folge, dass Gebietsmittel im wesentlichen unabhängig vom Analyseverfahren ähnliche Werte aufweisen, obwohl einzelne Gitterpunktwerte stark abweichen können.

#### 5.3.2 Einfluss des Beobachtungsdatensatzes

Die ZAMG betreibt etwa 140 TAWES Stationen, die routinemäßig in 10-minütigem Intervall Niederschlagsmessungen durchführen. Das bedeutet, dass im Mittel eine Fläche von etwa

600 km<sup>2</sup> von einer Station abgedeckt wird. Das Hydrographische Zentralbüro (HZB) unterhält etwa 1000 Regenmesser mit einer zeitlichen Auflösung von 24 Stunden.

*Comparison of precipitation analyses for subarea Traisen*

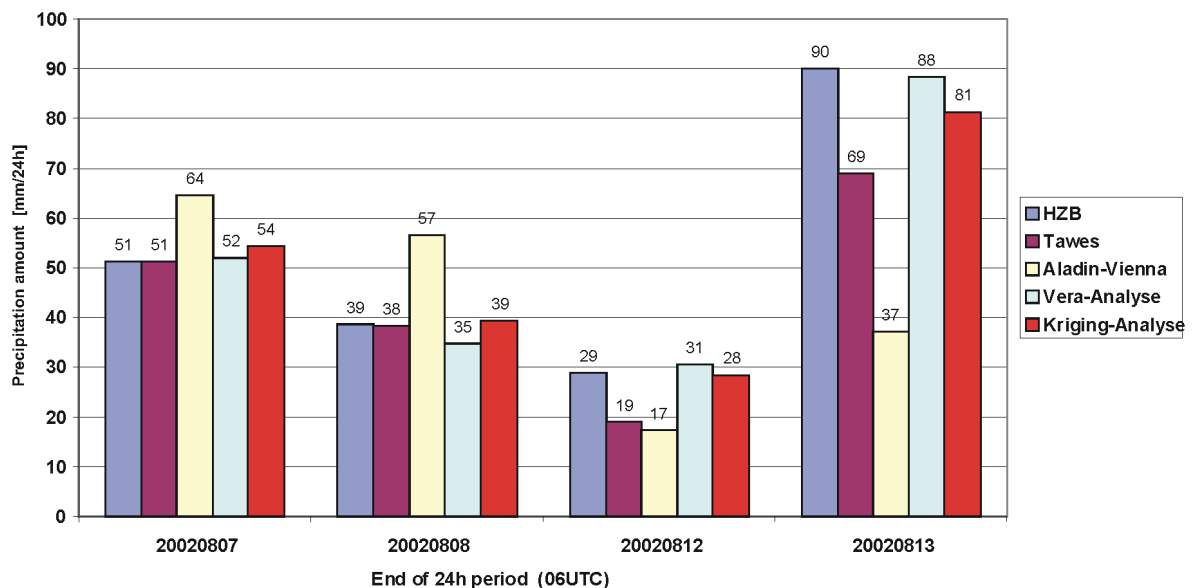


Abb. 27: Vergleich 24-stündiger Niederschlagssummen aus verschiedenen Datenquellen bzw. Analysemethoden für ein Teilgebiet des Einzugsgebietes der Traisen während des Hochwassers 2003. Die Balken „HZB“, „Vera-Analyse“ und „Kriging-Analyse“ basieren auf HZB-Daten. Zusätzlich werden die vorhergesagten Niederschlagssummen von Aladin dargestellt (gelber Balken)

Der erste Teil des August Ereignisses ist im Einzugsgebiet der Traisen durch relativ homogene Niederschlagsverteilungen gekennzeichnet. Dementsprechend weisen die unterschiedlichen Analyse- bzw. Interpolationsverfahren in Abb. 26 für den 6.8. bis 8.8.2002 nur geringfügige Unterschiede auf. Der zweite Teil (11.8.-13.8.2002) war stärker durch kleinräumige Effekte geprägt, wodurch starke Mengenabweichungen (bis zu 20%) zwischen den hochauflösenden HZB – Messungen und jenen der TAWES – Stationen zu verzeichnen sind.

### 5.3.3 Einfluss der Gebietsgröße und des Summationszeitraumes

Je geringer die Gebietsgröße, für die eine Niederschlagsvorhersage erstellt wird, desto größer die Unsicherheit (Abb. 27). Eine Reduktion des Vorhersagegebietes von 5000 km<sup>2</sup> auf 2000 km<sup>2</sup> hat eine Verdopplung des Fehlers zur Folge, eine weitere Verkleinerung des Gebietes auf 100 km<sup>2</sup> (dies entspricht etwa einem einzelnen Gitterpunkt im Aladin-Modell), verdoppelt den Fehler neuerlich. Obwohl diese Abhängigkeit nur für das Gebiet der Traisen untersucht wurde, ist anzunehmen, dass zumindest die Größenordnung dieser Fehlerabhängigkeit auch für andere Gebiete gilt.

Der Vergleich der gemessenen und berechneten Zeitverläufe des Niederschlages zeigt Phasen der Überschätzung und Phasen der Unterschätzung der Niederschlagsintensitäten. In Hinblick auf ein effektives Hochwasserwarnsystem ist die Frage, ob eine Verlängerung des Zeitraumes über welchen der Niederschlag summiert wird (auch als Prognosedauerstufe bezeichnet) zu einer nennenswerten Fehlerkompensation führt, von essentieller Bedeutung. Für alle untersuchten Gebiete kann beim Hochwasserereignis 2002 eine Reduktion des Fehlers von etwa 40-60% auf 20-40% bei Verlängerung des Summationszeitraumes von 6 Stunden auf 48 Stunden festgestellt werden. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt in typischen Staugebieten (z.B. Salzkammergut, Traisen), wo orographische Hebungsvorgänge eine ent-

scheidende Rolle spielen. Im flachen Gelände (z.B. Mühl-/Waldviertel, Traun) ist diese Tendenz zwar ebenfalls erkennbar, jedoch in abgeschwächter Form.

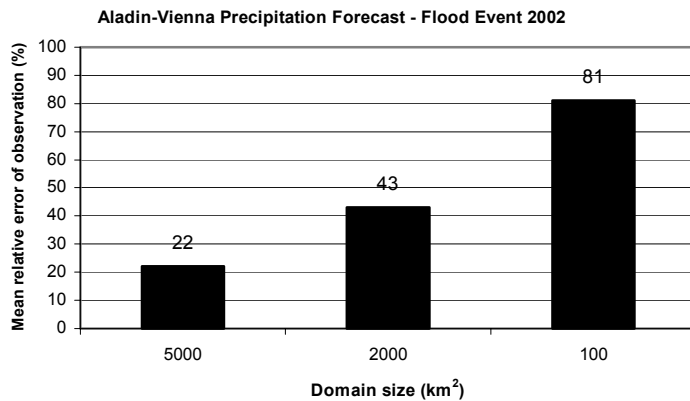


Abb. 28: Mittlerer relativer Fehler der Aladin Niederschlagsvorhersage (= absoluter Fehler normiert mit der Beobachtung), gemittelt über das August 2002 Ereignis (7.8.,8.8.,12.8.,13.8.2002, 24h-Summen) für das Einzugsgebiet der Traisen (~5000 km<sup>2</sup>) und 2 kleinere Teileinzugsgebiete (~2000 km<sup>2</sup> und 100 km<sup>2</sup>). Verifikation mit HZB Daten.

Betrachtet man das Mittel über die Fälle der 3 Jahre davor, so zeigt sich, dass die Fehler mit 60-70% für 6-stündige Vorhersagen für die meisten Regionen höher liegen als im Jahr 2002. Bei längerem Summationszeitraum (48h-Stunden) sinkt der relative Fehler ähnlich wie im Fall 2002 auf 20-50% (Abb. 29).

Einzelne, stündliche Niederschlagsmaxima werden von den Modellen generell unzureichend erfasst, der Zeitpunkt des einsetzenden, sowie des abklingenden Niederschlages jedoch verhältnismäßig gut.

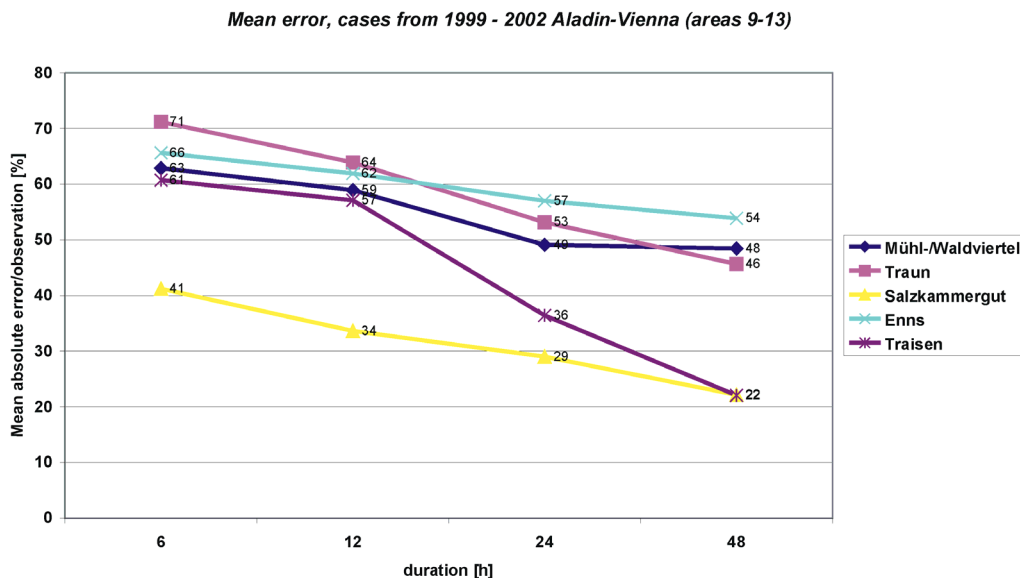


Abb. 29: Mittlerer relativer Fehler der Niederschlagsvorhersage aus Aladin für 5 Gebiete als Funktion der Vorhersagedauer (Periode 1999-2002).

Vergleicht man die für die Verifikation herangezogenen Gebiete mit jenen, die im Teilprojekt StartClim.4 aufgrund ähnlicher Wetterlagen als sinnvoll zusammenfassend erachtet werden, so lassen sich zahlreiche Parallelen feststellen. Die Gebiete Wald- und Mühlviertel las-

sen sich in beiden Teilprojekten als Gebiet mit homogener Niederschlagsverteilung herausarbeiten, auch die Gebiete in Nord- bzw. Südtaulagen können sinnvoll zusammengefasst werden. Unterschiede zeigen sich jedoch beispielsweise für das Gebiet der Traun, welches sich im Gegensatz zu StartClim.4 nicht den Nordstaugebieten zuordnen lässt.

### 5.3.4 Nutzen von EPS – Prognosen

Um die Unsicherheit operationeller Modellläufe abzuschätzen, hat sich die Verwendung des Ensemble Prediction System (EPS) des ECMWF als wertvoll erwiesen. Dieses System besteht aus 51 Modellläufen, welche sich durch systematisch durchgeführte Störungen der Anfangszustände voneinander unterscheiden. Aus den resultierenden Modellergebnissen können Wahrscheinlichkeiten oder Perzentile für das Eintreten bestimmter Niederschlagsmengen abgeleitet werden. Eine Analyse der ECMWF – EPS Prognosen für das Hochwasserereignis 2002 zeigt, dass der Median (= 50% Perzentil) keinen Hinweis auf ein zu erwartendes Starkniederschlagsereignis geliefert hat. Die mittleren Fehler bewegen sich in der

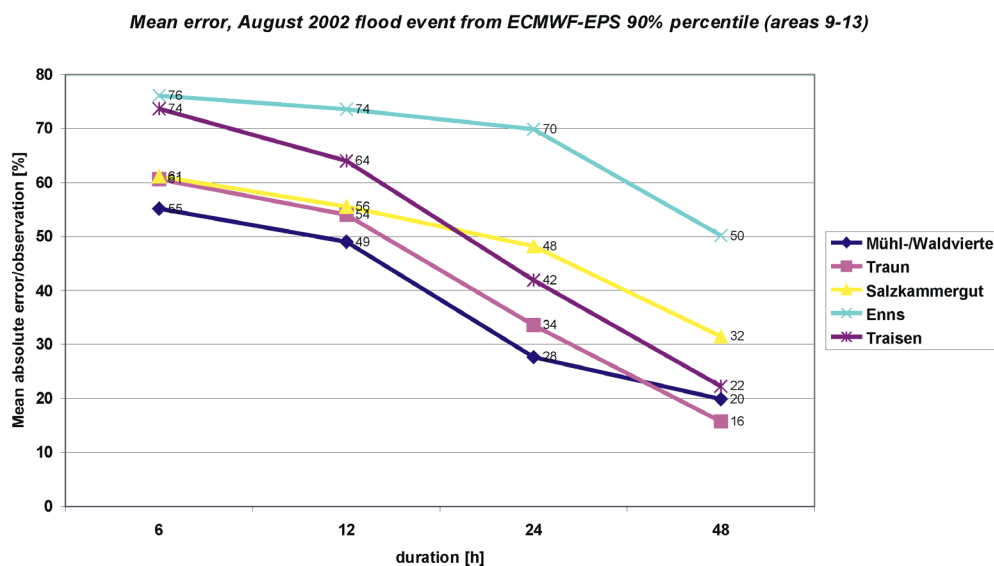


Abb. 30: Mittlerer relativer Fehler der Niederschlagsvorhersage aus ECMWF EPS (90% Perzentile) für 5 Gebiete als Funktion der Vorhersagedauer.

Größenordnung des operationellen Laufes, teilweise ist der Fehler sogar noch höher (besonders bei kurzen Summationszeiträumen). Erst die Verwendung der 90% - Perzentile bietet eine Verbesserung. Vor allem bei langen Summationszeiträumen kann damit der Fehler auf 15 – 30% reduziert werden (Abb. 30). Eine Ausnahme ist die Region Enns, wo eine deutliche Überschätzung der Niederschlagsintensität verursacht wird.

Bezüglich eines Warnsystems ist die unkritische Verwendung der 90% Perzentile zwar problematisch, da dies unweigerlich eine Häufung von Fehlalarmen zur Folge hätte, im Sinne einer Vor-Warnung oder Aufmerksamkeitserhöhung sind diese jedoch durchaus sinnvoll einsetzbar.

## **5.4 Ein innovativer Zugang zur Analyse des Hochwasserereignisses August 2002 im Vergleich zu ähnlichen Extremereignissen der jüngeren Vergangenheit (StartClim.12)**

### **5.4.1 Einleitung**

Für das Verständnis extremer Niederschlagsereignisse (vgl. Abschnitt xxx) ist die Kenntnis der räumlichen und zeitlichen Komponente des Wettergeschehens erforderlich. Deshalb wurde in StartClim.4 versucht, aus großräumigen meteorologischen Feldern und deren zeitlicher Entwicklung Aussagen über Lage und Intensität extremer Niederschläge abzuleiten. Hier geschieht dies durch Betrachtung der kleinräumigeren Mesoskala. Während aber bei der klimatologischen Sicht von StartClim.4 als Randbedingung vorgegeben ist, dass das Verfahren auf GCM-Felder künftiger Klimaszenarien anwendbar sein muss, geht es hier um einen Beitrag zur Verbesserung der lokalen Vorhersage extremer Ereignisse.

Mit Hilfe der für den alpinen Raum entwickelten Analysenmethode VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis, Steinacker et.al., 2000) konnte eine Koppelung der zeitlichen und räumlichen Komponente des Wettergeschehens erreicht werden, die unter anderem Aussagen über kleinräumige Strömungseigenschaften und Verlagerungsgeschwindigkeiten möglich macht. Diese Betrachtungsweise wurde auf einige Extremwetterlagen angewendet. Durch Untersuchung einer Vielzahl unterschiedlicher Wetterlagen, können Kennzahlen gefunden werden, die eine Verbesserung der Kurzfristprognose extremer Wetterereignisse ermöglichen. Weiters ist damit eine Bearbeitung klimatologischer Zeitreihen möglich.

### **5.4.2 Methode**

Mit VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis), einer thin-plate-spline-ähnlichen Analyse-methode (Steinacker et al. 2000), die jedoch mit einer Datenqualitätskontrolle und physikalischen Zusatzinformationen arbeitet, wurden für mehrere Wetterlagen, die Ähnlichkeiten mit der Wettersituation aufweisen, die 2002 zu dem Hochwasser führte, Analysen des Druckes berechnet.

Aus den Druckanalysen sollen mittels objektiver Verfahren Kennzahlen abgeleitet werden, die zur Charakterisierung der niederschlagträchtigen Systeme geeignet sind. Dafür kommen u.a. Ableitungen höherer Ordnung in Frage: Mit Hilfe der zweiten zeitlichen Ableitung der analysierten Gitterpunktsdaten, können z.B. Frontdurchgänge detektiert werden, mit der zweiten räumlichen Ableitung (Laplace Operator) werden Aussagen über die Rotation der Strömung an jedem Punkt möglich und die zeitliche Ableitung des Laplace Operators liefert Informationen über die Änderung der Rotation der Strömung.

### **5.4.3 Ergebnisse**

Bei der Bildung der Ableitungen ist es wichtig, den richtigen Abstand zu wählen, über den man die Ableitung bildet. Wählt man diesen Abstand zu groß, so löst man nur mehr synoptischskalige Systeme auf, wobei die mesoskaligen Strukturen, die mit extremen Wettererscheinungen stärker verbunden sind, übersehen werden. Sind die Abstände zu klein gewählt, so überwiegen kleinräumige Turbulenzen.

Im linken Teilbild von Abb.31 sieht man das Ergebnis eines Ableitungsfeldes bei dem die Distanz, über die die Ableitung gebildet wurde, zu kurz gewählt war. Eine großräumigere Struktur ist zwar schwach angedeutet, kleinräumige Einflüsse überwiegen jedoch. Im rechten Bild sind diese kleinskaligen Störungen nicht mehr erkennbar.

In Abbildung Abb.32 ist der zeitliche Verlauf einer 2. Zeitableitung dargestellt. Man kann deutlich einen Unterschied zwischen schnell und langsam wandernden Systemen feststellen. Das erste System, das am 11.1. 1999 zwischen 9 UTC und 24 UTC Österreich querte, ist an den entsprechenden hohen Spitzenwerten der Ableitungen erkennbar. Deutlich ist die zeitli

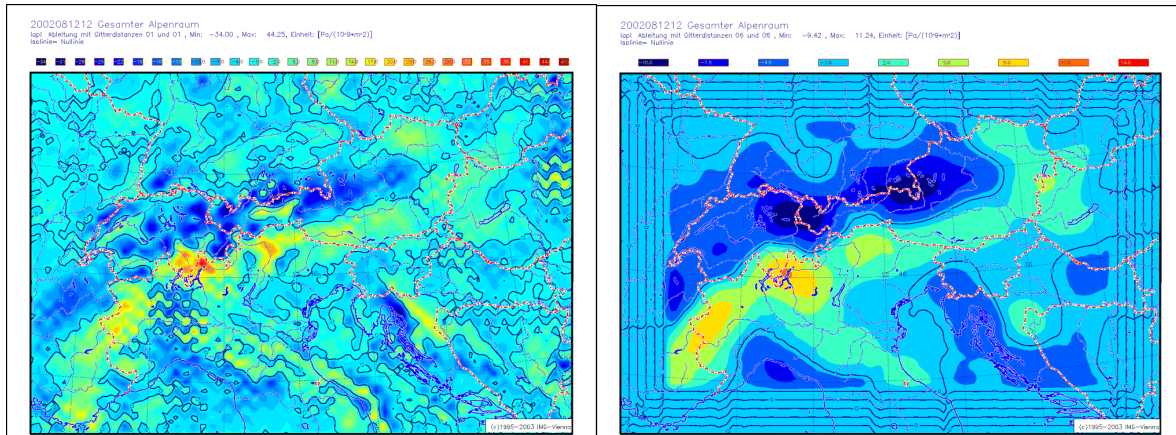


Abb. 31: Laplace-Ableitung für 12.8.2002 12 UTC über (links) einen, (rechts) sechs Gitterpunktabstände

## 2. ZEITABLEITUNG

8.1.1999 00UTC-14.1.1999 00UTC

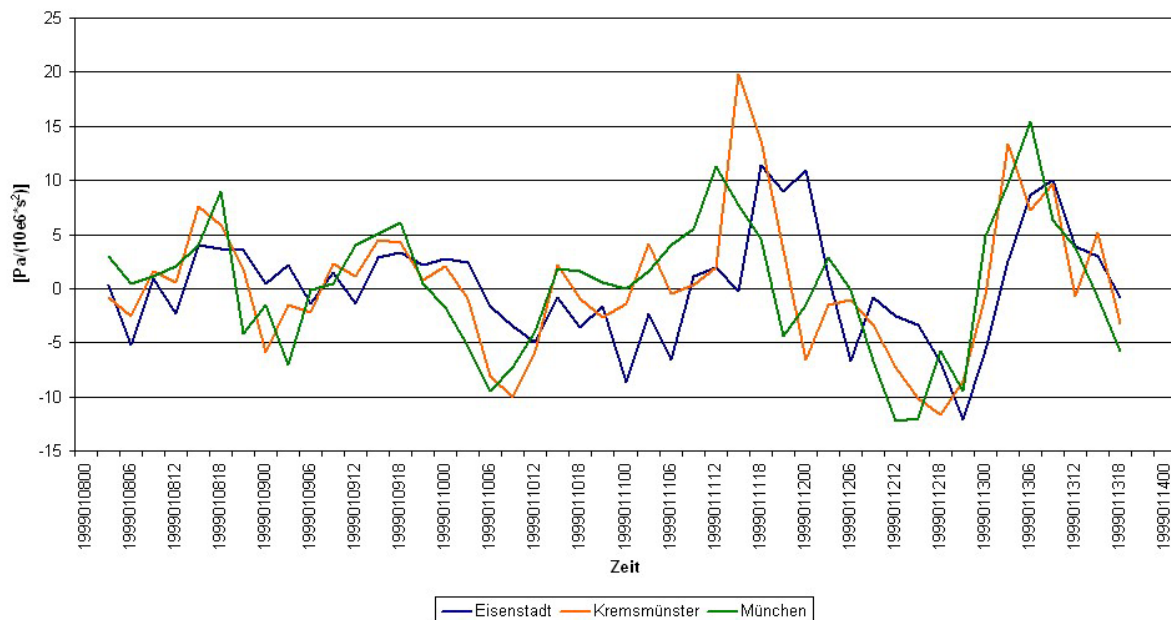


Abb. 32: Zeitlicher Verlauf der 2. Zeitableitung für das Niederschlagsereignis Jänner 1999

che Verlagerung von Westen nach Osten (von München über Kremsmünster nach Eisenstadt) an der Versetzung des Maximalwertes entlang der Zeitachse zu erkennen. Das zweite System, das am 13.1.1999 über Österreich hinweg zog, war um einiges schneller, wie an dem an allen drei Stationen fast gleichzeitig erscheinendem Maximum zu erkennen ist.

### 5.4.4 Ausblick

Die ersten Untersuchungen der Aussagekraft von Druckableitungen zeigen vielversprechende Ergebnisse. Im Weiteren wäre es notwendig, verschiedenste Wetterlagen mit mehreren Ableitungen zu untersuchen, um detaillierte und differenziertere Aussagen über Wettersysteme zu gewinnen. Man darf annehmen, dass die auf diese Weise gewonnenen Kennzahlen je nach betrachtetem Wettersystem unterschiedlich ausfallen. Der aus den Kennzahlen gewonnene mehrdimensionale Vektor könnte anschließend zur Einschätzung der zu erwartenden Stärke und Charakteristik des betrachteten Wetterphänomens herangezogen werden. Dadurch ist nicht nur eine bessere Diagnose, sondern auch eine Verbesserung der kurzfris-



tigen Vorhersagen zu erwarten. Auch aus einer gemeinsamen Betrachtungsweise der Ableitungen mehrerer meteorologischer Parameter, wie etwa Wind und Temperatur, könnten weitere wichtige Merkmale von extremen Wettersystemen erfasst werden.

Mit einer Untersuchung der Korrelation von prognostiziertem Niederschlag und der aus den Ableitungen gewonnenen Skala des entsprechenden Wettersystems könnte eine Verbesserung der Modelle im Bereich der Prognose von Niederschlagsmengen erzielt werden.

Eine Bearbeitung von Zeitreihen, etwa in Verbindung mit dem FWF-Projekt VERACLIM, in dem für einen klimatologischen Zeitraum 3-stündige Felder atmosphärischer Parameter analysiert werden, würde eine objektive, kleinräumige Wetterlagenklassifikation erlauben. Damit könnten aus diesen Daten Aussagen über das Klima und seine Veränderungen in den letzten Jahren gemacht werden, indem zum Beispiel Trendanalysen der Ableitungen berechnet werden. Daraus wäre es auch möglich, Schlüsse über die Entwicklung von Häufung und Ausbildung von Extremwetterlagen zu ziehen.

## **5.5 Hochwasser 2002: Datenbasis der Schadensbilanz 2002 (StartClim.9)**

### **5.5.1 Einleitung**

Die Plattform Hochwasser des Zentrums für Naturgefahren und Risikomanagement (ZENAR) der Universität für Bodenkultur Wien hat unmittelbar nach dem Hochwasser 2002 Informationen über das Hochwasser und seine Auswirkungen zusammengetragen und in einer Dokumentation, an der sich viele verschiedenen Institutionen und Personen beteiligten, publiziert (Habersack & Moser, 2003). Die gesammelten Schadensdaten, insbesondere die in den Landesbehörden eingegangenen Schadensmeldungen, wurden im Rahmen von StartClim auf Plausibilität, Vollständigkeit und Konsistenz geprüft, durch weitere Informationen der Landesbehörden, Gemeindeämter, Interessensvertretungen und eigenen Erhebungen ergänzt, soweit möglich vereinheitlicht und in eine konsistente Datenbasis für die Wirtschaftsbetrachtungen von StartClim.10 übergeführt.

Um künftig viele der Probleme, die bei der Schadenserfassung für das mehrere Bundesländer übergreifende Hochwasser 2002 aufgetreten sind, zu vermeiden, wurde gleichzeitig mit der Bearbeitung der konkreten Schadensdaten 2002 ein System für die Aufnahme künftiger Schadensdaten entwickelt. Der Einsatz eines Geoinformationssystem (GIS) ermöglicht die Visualisierung und interaktive Abfrage der Daten nach vorgegebenen Kriterien, sowie eine Disaggregation und räumliche Zuordnung. Das Geoinformationssystem (Datenbank + GIS) erlaubt eine problemorientierte Analyse und Darstellung der gesammelten Informationen.

### **5.5.2 Datengrundlage Hochwasser 2002: Vorläufige Schadensbilanz**

Die unmittelbaren Schäden an privaten Werten sind für das Hochwasser 2002 weitgehend erhoben. Aber speziell für Schäden der Kategorien Spät- und Folgeschäden wie Um- und Aussiedelungskosten, Wertschöpfungsverluste, Produktionsausfälle etc. liegen zurzeit noch keine detaillierten Daten vor. Die vorliegende Schadensbilanz ist daher lediglich eine vorläufige Lagebestimmung basierend auf vorliegenden Teilschadensdaten. Die folgenden Angaben beziehen sich, auch wenn nicht ausdrücklich wiederholt, auf diese (unvollständigen) Schadensdaten.



Mehr als die Hälfte der zur Zeit erfassten Österreich-weiten Hochwasserschäden entfielen auf das Land Niederösterreich. Auf Rang zwei und drei folgen die Länder Oberösterreich und Salzburg. Das Land Steiermark war von den Auswirkungen des Augusthochwassers 2002 relativ gering betroffen. Im Bundesland Tirol ist die Schadenserhebung ebenfalls zur Zeit noch nicht abgeschlossen.

Die derzeit bekannten Zahlen sind in Tab.5 zusammengefasst: Es handelt sich um Schäden, die durch die Bundesländer abgegolten wurden. Diese angegebenen Summen können jedoch keinesfalls als Endschadenssumme des Augusthochwassers 2002 angesehen werden.

Zu groß sind noch die monetären Lücken in der Schadensenerhebung. Ein aktuelles Thema ist z.B. die Aus- und Umsiedlung von Geschädigten aus stark gefährdeten Hochwasserbereichen: diese Kosten können derzeit noch nicht abgeschätzt werden. Vielfach sind Schadensenerhebungen auch noch im Gange.

Auf Basis von ersten Schätzungen des Wirtschaftsforschungsinstitutes im Auftrag des Bundeskanzleramtes und weitergehenden Berechnungen von Lebensministerium und Wirtschaftsforschungsinstitut lassen sich Schätzwerte für die wichtigsten, derzeit noch nicht verfügbaren Schadenskategorien (monetäre Lücken) zusammenfassen: sie betragen rund 900 Millionen €. In diesen Schätzungen sind Aus- und Umsiedlungskosten, Auswirkungen auf den Tourismus, allgemeine wirtschaftliche Nachteile und andere erst längerfristig wirksam werdende Faktoren noch nicht berücksichtigt.



Tab. 5: Offene Tabelle mit Teilschadenssummen. Konkrete Zahlen werden im Rahmen des Projektes FloodRisk 2004 erwartet (Stand August 2003).

		 NÖ		 OÖ		 SBG		 STMK		 T	
		Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil
<b>Haushalt</b>	Summe					8.580.000	13,4%				
	Investitionsgüter					10.035.600	15,7%				
	<b>Summe</b>	394.064.681	60,66%	110.838.223	23,90%	18.615.600	29,14%	3.444.142	13,30%		
<b>Betriebe</b>	Gebäude					4.209.000	6,59%				
	Investitionsgüter					6.313.500	9,88%				
	Lager					3.507.500	5,49%				
	Produktionsausfälle										
	<b>Summe</b>	137.365.436	21,15%	230.261.744	49,64%	14.030.000	21,97%			2.318.263	19,46%
<b>Land- und Forstwirtschaft</b>	Gebäude										
	Investitionsgüter										
	Produktionsausfälle										
	<b>Summe</b>	28.938.297	4,45%	36.059.843	7,77%	12.227.000	19,14%	3.356.612	12,96%		
<b>Öffentl. Hand</b>	Gebäude	46.500.000	7,16%	37.895.298	8,17%	895.074	1,40%	3.500.000	13,52%		
	Investitionsgüter										
	Infrastruktur	42.500.000	6,54%	48.784.702	10,52%	18.104.926	28,35%	15.594.455	60,22%		
	<b>Summe</b>	89.000.000	13,70%	86.680.000	18,69%	19.000.000	29,75%	19.094.455	73,74%	3.749.153	31,48%
<b>Ohne Kategorie</b>	Sonstiges	240.268	0,04%							5.843.584	49,06%
<b>Landessumme / %-Anteil</b>		<b>649.608.682</b>	<b>53,5%</b>	<b>463.839.810</b>	<b>38,2%</b>	<b>63.872.600</b>	<b>5,3%</b>	<b>25.895.210</b>	<b>2,1%</b>	<b>11.911.000</b>	<b>1,0%</b>
Vorläufige Ländersumme		<b>€ 1.215.127.302</b>									
Folgekosten, Wertschöpfungsverluste, Einsatz-, Entsorgungs-, und Nachbeschaffungskosten (Schätzungen, Stalzer/2003)		<b>ca. € 900.000.000</b>									
Aus- und Umsiedlungskosten, Auswirkungen auf den Tourismus, wirtschaftliche Nachteile...		<b>derzeit noch keine Angaben verfügbar</b>									

Nach Redaktionsschluss wurden mit Stand 14. November 2003 weitere Schadensmeldungen eingebracht (vgl Tab.6):

Laut Innenministerium belaufen sich die Versicherungsschäden auf etwa 400 Mio. €. Ferner kommen bei den Bundesländern nach deren neuesten Meldungen noch etwa 250 Mio. € zusätzlicher Schaden dazu. Für die Infrastruktur des Bundes (Schutzwasserwirtschaft, Wasserstraßendirektion, ÖBB und Bundesstraßen) müssen noch einmal knapp 120 Mio. € veranschlagt werden (Quellen: Bundesministerium für Inneres, Landesregierungen von Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol, Lebensministerium 2003).

Tab. 6: Offene Tabelle zu den neusten Schadensmeldungen, die nach Redaktionsschluss mit Stand 14. November 2003 eingegangen sind (Quellen siehe oben).

		 NO		 OÖ		 SBG		 STMK		 T	
		Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil	Schaden in €	%-Anteil
Haushalt	Summe					8.580.000	7,8%				
	Investitionsgüter					10.035.600	9,2%				
	<b>Summe</b>			178.000.000	26,10%	18.615.600	16,99%	3.224.677	12,45%	4.060.080	42,02%
Betriebe	Gebäude					4.209.000	3,84%				
	Investitionsgüter					6.313.500	5,76%				
	Lager					3.507.500	3,20%				
	Produktionsausfälle					11.000.000	10,04%				
	<b>Summe</b>			280.000.000	41,06%	25.030.000	22,84%			1.200.000	12,42%
Land- und Forstwirtschaft	Gebäude									1.724.300	17,84%
	Investitionsgüter										
	Produktionsausfälle					2.000.000				907.000	9,39%
	<b>Summe</b>	593.800.000	86,01%	50.000.000	7,33%	14.227.000	12,98%	3.356.612	12,96%	2.631.300	27,23%
Öffentl. Hand	Gebäude					895.074	0,82%	3.500.000	13,52%		
	Investitionsgüter										
	Infrastruktur					50.800.000	46,36%	15.594.455	60,22%	1.772.000	18,34%
	<b>Summe Land</b>	42.311.281	6,13%								
	<b>Summe Gemeinden</b>	54.311.000	7,87%								
	<b>Summe</b>	96.622.281	13,99%	174.000.000	25,51%	51.695.074	47,18%	19.094.455	73,74%	1.772.000	18,34%
Ohne Kategorie	Sonstiges										
Landessumme / %-Anteil		<b>690.422.281</b>	<b>45,5%</b>	<b>682.000.000</b>	<b>44,9%</b>	<b>109.567.674</b>	<b>7,2%</b>	<b>25.895.210</b>	<b>1,7%</b>	<b>9.663.380</b>	<b>0,6%</b>
Vorläufige Ländersumme		<b>€ 1.517.548.545</b>									
Folgekosten, Wertschöpfungsverluste, Einsatz-, Entsorgungs-, und Nachbeschaffungskosten (Schätzungen, Stalzer/2003)		<b>ca. € 900.000.000</b>									
Infrastruktur des Bundes		<b>ca. € 119.000.000</b>									
Aus- und Umsiedlungskosten, Auswirkungen auf den Tourismus, wirtschaftliche Nachteile...		<b>derzeit noch keine Angaben verfügbar</b>									

### 5.5.3 Erfassung, Darstellung und Analyse künftiger Daten

Die aus der Analyse der Schadensmeldungen vom August 2002 gewonnenen Erkenntnisse wurden zusammen mit Vorschlägen des WIFO betreffend Disaggregation der Daten in den Aufbau des Datenmodells für ein zukünftiges Schadenserfassungssystem eingebracht. Die Homogenisierung der Daten wird vor allem in den Bereichen

- Art der Schäden
- Zuordnung zu Kategorien
- Raumbezug übergeordnet
- Raumbezug lokal

notwendig, um die Vergleichbarkeit, Aggregation und Verortung der Daten zu gewährleisten.

Die Eingabe der Daten erfolgt dezentral mit einem einfach bedienbaren Datenbank-erfassungswerkzeug, das Plattform-unabhängig im Internet bereitgestellt werden kann. Aus den Erfahrungen der bestehenden Datensätze wurden Richtlinien definiert, welche die Erfassung von Schadensanträgen möglichst fehlerfrei und vor allem ohne Redundanz von Daten gewährleistet. Wichtig dabei ist aus Datenschutzgründen die Beschränkung des Datenzugriffes auf registrierte Benutzer(-gruppen).

Zur Darstellung und späteren Analyse im geographischen Informationssystem ist die Herstellung eines Raumbezuges in der Datenbank notwendig. Dieser wird einerseits durch Einbeziehung der Verwaltungseinheit (z.B. Gemeinde) und andererseits durch die Verortung des Schadensobjektes (z.B. über Adresse) hergestellt.

Bei genereller Anwendung dieses Systems für Schadensmeldungen nach Hochwasserkatastrophen sollten die Datenerfordernisse aller bisherigen Nutzer – Antragsteller, Gemeinden, Länder, Bund, Hilfsorganisationen etc. – befriedigt werden können. Die rasche Zugänglichkeit und einheitliche Erfassung über die Bezirks- und Landesgrenzen hinweg ist damit gewährleistet und zugleich eine Basis auch für wissenschaftliche Analysen bereit gestellt.

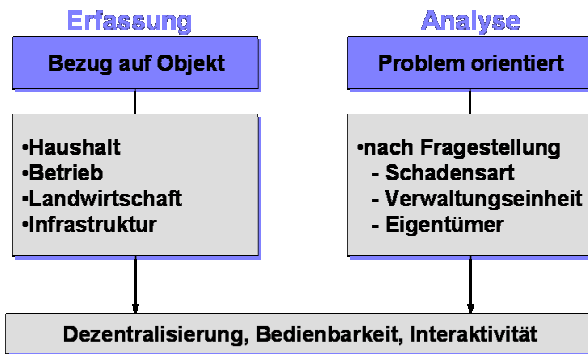


Abb. 33: Methodik für Erfassung und Analyse der Daten (eigene Bearbeitung)

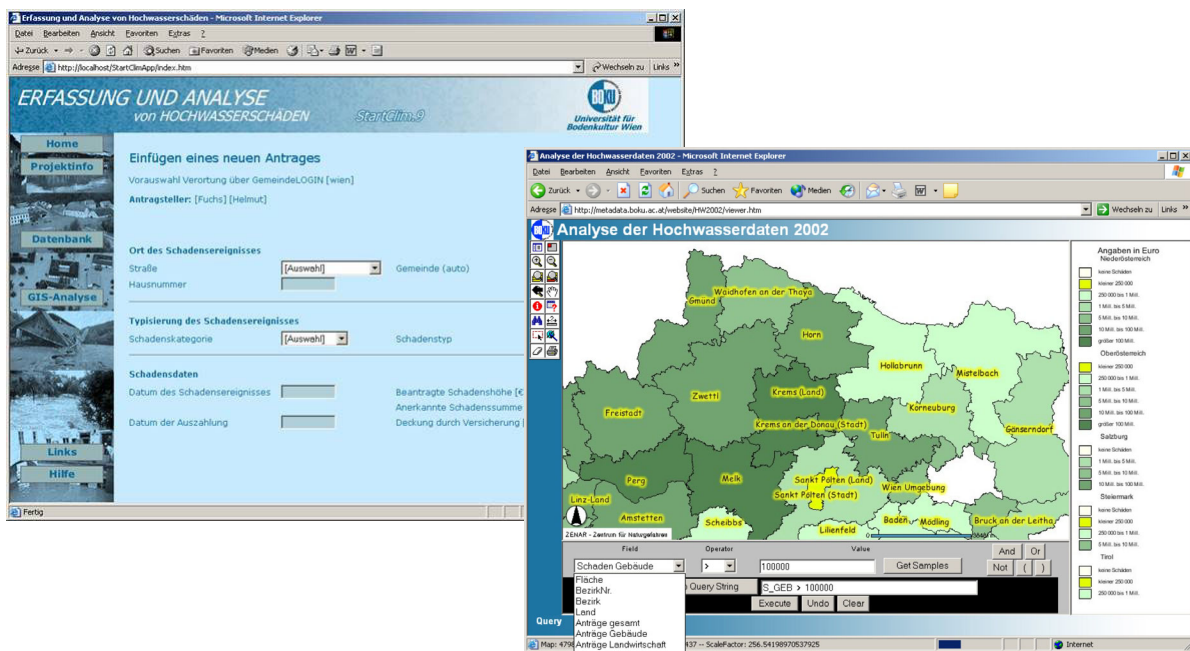


Abb. 34: Datenbank- und GIS Applikation

### 5.6 Ökonomische Aspekte des Hochwassers 2002: Datenanalyse, Vermögensrechnung und gesamtwirtschaftliche Effekte (StartClim.10)

Extreme Wetterereignisse sind in den vergangenen Jahrzehnten durch ihre gestiegene Häufigkeit oder zumindest durch die Zunahme der verursachten ökonomischen Schäden verstärkt in das Interesse der Wirtschaftswissenschaften gerückt. Eine umfassende Bewertung der wirtschaftlichen Auswirkungen inklusive der Effekte auf die gesellschaftliche Wohlfahrt, die über die konventionelle makroökonomische Berechnung in der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) hinausgeht, ist jedoch eine relativ neue Fragestellung.

Zentral erscheint bei einer Erweiterung konventioneller makroökonomischer Ansätze die korrekte Verbuchung der Schäden, die durch Extremereignisse verursacht werden. In der Be-

rechnung des Bruttoinlandsproduktes werden diese lediglich insofern erfasst, als Wiederherstellungsinvestitionen getätigt werden, die jedoch in dieser Systematik einen positiven Beitrag zum Wirtschaftswachstum leisten. Das BIP erfasst lediglich Ströme (Flows) an Gütern und Dienstleistungen einer Wirtschaft, während Bestände (Stocks) an produziertem und natürlichem Kapital nicht berücksichtigt werden. Somit werden weder die verursachten Schäden an sich abgebildet, noch aus dem Verlust resultierende Wohlfahrtseffekte. Geht man etwa davon aus, dass private Haushalte nicht primär Güter nachfragen, sondern Konsumdienstleistungen (z.B. Wohnen in bestimmter Wohnqualität), die mit dem Einsatz von Kapitalstöcken und Gütern "produziert" werden, wird das Wohlfahrtsniveau (indirekt) durch die Stocks determiniert. Im Zusammenhang mit der Bewertung der Effekte extremer Wetterereignisse sind die Interdependenzen von Stocks und Flows relevant.

In Modul 1 von StartClim.10 wurden konzeptuelle Überlegungen zur Entwicklung eines mikro-/makroökonomischen Modellrahmens, der diese Aspekte integriert, angestellt. Eine Implementierung in das bestehende Modell des WIFO (MULTIMAC IV) war im Rahmen dieses Projekts nicht möglich. Die Quantifizierung der gesamtwirtschaftlichen Effekte des Hochwassers 2002 in Teil 2 von StartClim.10 erfolgte daher in einer konventionellen makroökonomischen Systematik.

Das Hochwasserereignis im Sommer 2002 hat beträchtliche Schäden in Form von Vermögensschäden und Produktionsausfällen im privaten und öffentlichen Sektor verursacht. In der ökonomischen Analyse sollen die einzelnen Schadenskategorien nach Art des Schadens sowie nach Art der Betroffenen (private Haushalte, Betriebe, öffentliche Hand, Landwirtschaft) differenziert werden. Vorbedingung dafür ist eine umfassende und konsistente Datengrundlage. Da die Schadenserfassung in den einzelnen Bundesländern nach unterschiedlichen Systematiken vorgenommen wurde, ist die Aggregation der Daten zu einer gesamtösterreichischen Schadenssumme ex post schwierig bzw. ist die Schadenssumme unvollständig und mit Schätzfehlern behaftet.

Die Ergebnisse von StartClim.9, dessen Inhalt die Erstellung einer Schadensdatenbank ist, bilden die Basis für die modellgestützte Evaluierung der ökonomischen Effekte. In Tab. 7 sind die gewünschte Aufgliederung der Schäden sowie die aus der Datenbasis verfügbaren Informationen dargestellt. Relativ gut sind Vermögensschäden (vor allem Gebäude) erfasst, während zu den Schäden, die aus Produktionsausfällen im betrieblichen Sektor resultieren, keine Informationen vorliegen. Auch in Bezug auf öffentliche Förderung für Betriebe sind beträchtliche Lücken vorhanden.

Tab. 7: Datenbasis für die Modellsimulationen (erwünschte und tatsächlich vorhandene Daten)

	Haushalte	Betriebe	Landwirtschaft	Öffentliche Hand
Gebäude (v.a. Bauleistungen)	x ✓	x ✓	x	x ✓
Langlebige Konsumgüter	x ✓		x	x
Anlagegüter		x ✓		
Lager		x ✓		
Produktionsausfälle		x	x ✓	
Infrastruktur				x ✓
Förderung	x ✓	x	x ✓	

Die im Rahmen von StartClim.9 von den 5 am stärksten betroffenen Bundesländern erhobenen Daten addieren sich zu einer Teilschadenssumme von 1,2 Mrd. €. Die Verteilung der

erfassten Teilschäden auf die jeweiligen Kategorien ist in Tab. 8 ausgewiesen. Die Vermögenschäden der Haushalte stellen die bei weitem wichtigste Position dar. Von den betroffenen Bundesländern weist Niederösterreich die höchste Schadenssumme auf (knapp 54%), auf Oberösterreich entfällt ein Anteil von etwa 38%. Für Salzburg beträgt der Anteil 5,3%, für die Steiermark 2,1%, auf Tirol entfallen 0,8%

Die Implementierung der verfügbaren Schadensdaten in das WIFO-Modell setzt an den Sektoren privater Konsum, Sachgütererzeugung und Land- und Forstwirtschaft an. Als Annahme für die Modellsimulationen wird davon ausgegangen, dass der vernichtete Kapitalstock im selben Jahr (also 2002) wieder ersetzt wurde. Die Finanzierung der dafür notwendigen Investitionen erfolgt im Haushaltssektor aus dem laufenden verfügbaren Einkommen, im Produktionssektor werden die Investitionen aus dem Cash-flow finanziert und die öffentlichen Mittel für die Entschädigung der Hochwassergeschädigten bzw. zur Wiederherstellung vernichteter Infrastruktur geht zulasten sonstiger öffentlicher Ausgaben.

Infolge der Ersatzinvestitionen zur Wiederherstellung des vernichteten Kapitalstocks kommt es zu einem positiven makroökonomischen Nachfrageeffekt, der einen transitorischen Schock darstellt. Die Ersatzinvestitionen führen demgegenüber zu einer Verringerung des verfügbaren Einkommens der Haushalte, des Cash-flows der Betriebe bzw. zu einer Reduktion des sonstigen öffentlichen Konsums. Dies wirkt in der Modelldynamik als negativer makroökonomischer Impuls.

Tab. 8: Erfasste Hochwasserschäden in Mio.€ nach StartClim.9, Teilschadenssummen

	Mio. €	Anteile in %
Haushaltssektor		
Gebäude	243	
Investitionsgüter	284	
Insgesamt	527	43,4
Betriebe		
Gebäude	115	
Investitionsgüter	173	
Lager	96	
Insgesamt	384	31,6
Land- und Forstwirtschaft insgesamt	80	6,6
Öffentliche Hand		
Gebäude	88	
Infrastruktur	129	
Insgesamt	218	17,9
Sonstiges insgesamt	6	0,5
Teilschadenssumme insgesamt	1.215	100,0

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte sind in Tab. 9 zusammengefasst. Der BIP-Effekt hat im ersten Jahr ein positives Vorzeichen, die Größenordnung ist jedoch eher unbedeutend. In den Folgejahren weist der BIP-Effekt ein negatives Vorzeichen aus, insgesamt sind die Auswirkungen auf das BIP jedoch vernachlässigbar. Der Gesamtkonsum ist aufgrund der Verringerung des verfügbaren Einkommens im Vergleich zur Basislösung insgesamt leicht rückläufig. Die Ausgaben für Einrichtung liegen in Folge der Hochwasserschäden in allen Jahren deutlich über dem Baseline. Um diese zu finanzieren, muss der Konsum in den anderen Ka-

tegorien eingeschränkt werden. Der im ersten Jahr positive Investitionsimpuls ebbt in den darauf folgenden Jahren wieder ab. Auf die Exporte gibt es keinen Einfluss, hingegen steigen die Importe im ersten Simulationsjahr aufgrund der gestiegenen Investitionsnachfrage leicht.

Tab. 9: Makroökonomische Ergebnisse der Auswirkungen des Hochwassers 2002

	2002	2003	2004	2005
	Differenz zum Baselineszenario in %			
Privater Konsum	-0,11	-0,08	-0,07	-0,05
Brutto-Anlageinvestitionen	0,96	0,04	-0,07	-0,09
Exporte	0,00	0,00	0,00	0,00
Endnachfrage	0,09	-0,03	-0,04	-0,04
Importe	0,17	-0,01	-0,03	-0,02
BIP, real	0,06	-0,03	-0,04	-0,04

### 5.7 Hochwasser-bedingte Veränderungen des gesellschaftlichen Stoffwechsels: Fallstudie einer betroffenen Gemeinde (StartClim.7)

Anhand einer Kamptalgemeinde wurde untersucht, welcher Art die durch das Hochwasser 2002 ausgelösten Störungen des jährlichen gesellschaftlichen Materialdurchsatzes sind und wie sowohl der Schaden als auch zusätzliche materielle Eingänge zu quantifizieren sind. Weiters wurde gefragt, wie die Gesellschaft auf eine Störung, wie eine Hochwasserkatastrophe, reagiert: Führt die Störung zu einer Erhöhung oder zu einer langfristigen Absenkung des gesellschaftlichen Ressourcennutzungsniveaus? Wird im Gefolge des Wiederaufbaus nach der Katastrophe die Chance zu einer Strukturbereinigung genutzt, die eine langfristig positive Auswirkung auf den gesellschaftlichen Material- und Energiekonsum hat?

Das Fallbeispiel soll für viele weitere Gemeinden stehen, die während des August 2002 unter ähnlichen Bedingungen leiden mussten. Es soll aber auch ein Beitrag zu einer gesamtösterreichischen Schadensabschätzung sein und die Möglichkeit aufzeigen, zukünftig das Instrument der Material- und Energieflussanalyse (MEFA) in der Schadensbilanzierung anzuwenden.

Biophysische Schadenabschätzungen mittels Material- und Energieflussanalyse unterliegen im Gegensatz zur klassischen monetären Berechnung nicht schwankenden Werten und ökonomischen Unsicherheiten. Die physische Schadensbilanz spiegelt die enorme materielle und energetische Belastung der Hochwasserkatastrophe und der damit verbundenen gesellschaftlichen Aktivitäten wider. Das Ausmaß der für Aufräumung und Wiederaufbau aufgewendeten Materialien führte zu einer Steigerung des jährlichen Materialverbrauchs um etwa 60% gegenüber der sonst üblichen jährlichen Belastung (siehe Abb. 35).

Im Zusammenhang mit Ressourcennutzung und gesellschaftlichem Beitrag zum Klimawandel ist auch der Zuwachs des Energiekonsums im Gefolge der Katastrophe um 11% relevant. Die aufgewendete Energie (fossile und biotische Brennstoffe, Elektrizität) wirkt sich unmittelbar auf zusätzlich ausgestoßene CO<sub>2</sub>-Mengen aus. Vorleistungen, wie vorgelagerte Produktionsschritte oder Transportwege, verursachen einen zusätzlichen indirekten Energieverbrauch von etwa 80%, verwendet man die Basisdaten des Computermodells GEMIS (Gesamtemissionsmodell integrierter Systeme).

Die Chance der Nutzung möglicher Potentiale zur Energieersparnis aufgrund von Restrukturierungsmaßnahmen im Zuge des Wiederaufbaus wurde, wie aus Abb. 36 ersichtlich wird, nicht genutzt. Erklärbar wird dies dadurch, dass der Wiederaufbau bis auf wenige Ausnahmen auf eine reine Wiederherstellung der Ursprungssituation hinauslief und viele die Chance auf eine ressourcenschonende Erneuerung nicht erkannten. Somit stellen die erhobenen Material- und Energieflüsse eine reine Zusatzbelastung dar, denen keine langfristige positive Tendenz gegenübersteht.

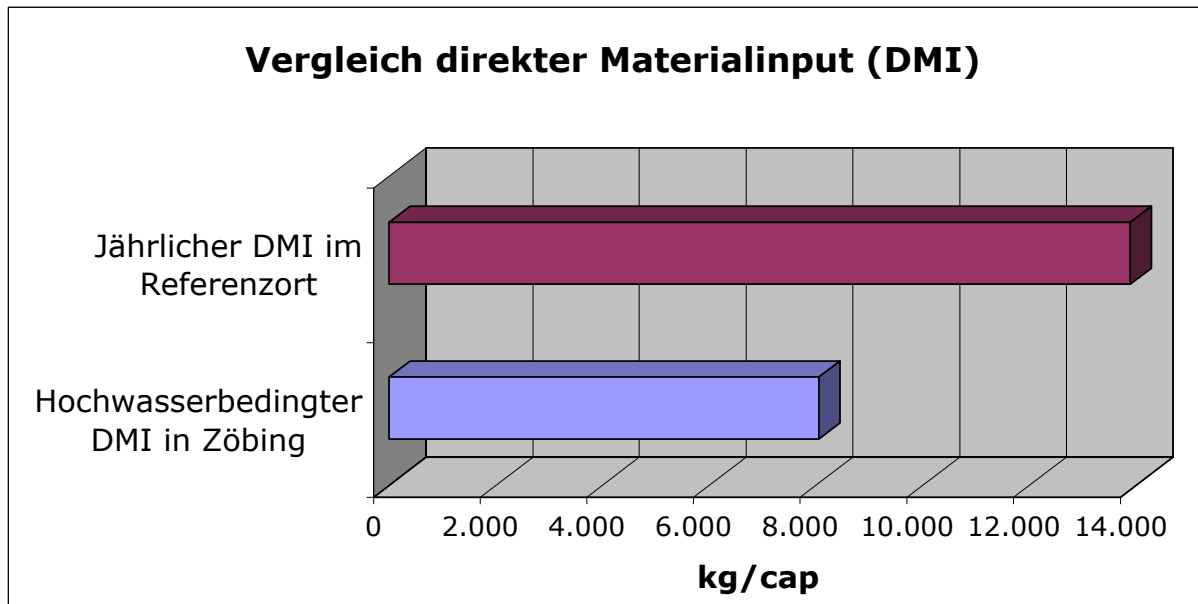


Abb. 35: Ressourcenkonsum aufgrund des Hochwassers 2002 im Vergleich zum durchschnittlichen jährlichen Ressourcenaufkommen (Quelle: Datenerhebung in Zöbing Juli 2003; Haas 2003)

Die Anwendung von MEFA in diesem – durchaus angewandten – Bereich stellt einen ersten Versuch dar, die Methode außerhalb ihrer klassischen Funktion als Bilanzierungsinstrument anzuwenden. Die biophysische Schadenberechnung illustriert, wie die »gesellschaftliche« Reaktion eines Ortes auf eine »natürliche« Katastrophe das Ressourcennutzungs niveau beträchtlich anhebt und somit den Druck auf die Umwelt erhöht. Anstatt die Chance zu Restrukturierungsmaßnahmen zu nutzen, wird nach der Katastrophe versucht, den Vorzustand wiederherzustellen.

Das Bewusstsein über die Auswirkung wirtschaftlicher Aktivitäten auf den globalen ökologischen Kreislauf ist nur bei wenigen Befragten ausgeprägt. Obwohl mehr als die Hälfte der Befragten das neuerliche Eintreten eines solchen Hochwassers für möglich halten, gibt es nur bei wenigen Haushalten Vorsorgemaßnahmen. Die Umstellung von Öl- auf Gasheizung sei hier vielleicht als deutlichste Reaktion genannt. Einige Wenige haben bei der Möbel- und Fußbodengestaltung auf hochwasserresistentere Werkstoffe gesetzt.

Es wären offenbar sowohl Information als auch zusätzliche Anreize notwendig, um die einer derartigen Katastrophe innewohnenden Chancen besser zu nutzen.



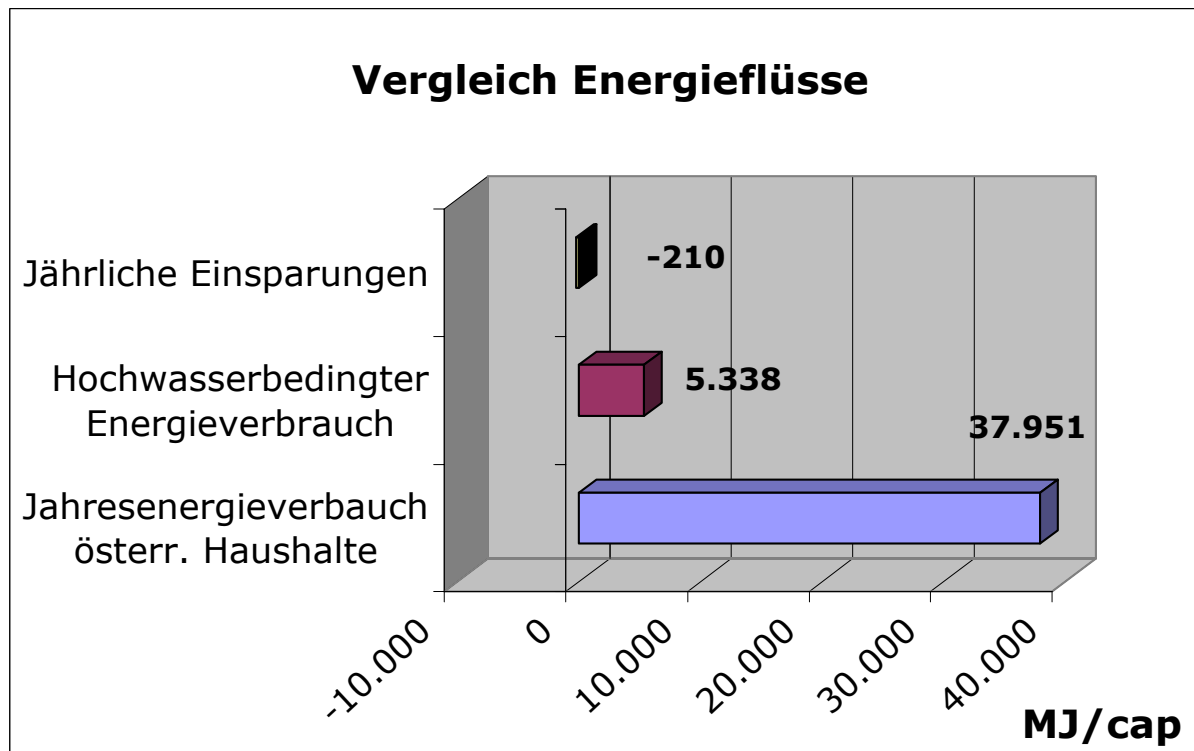


Abb. 36: Langfristige Einsparungen des Energieverbrauchs in erster Linie durch verbesserte Wärmedämmung einiger weniger Haushalte im Vergleich mit dem hochwasserbedingten Energieverbrauch für Aufräumung und Reparatur, sowie dem Energieverbrauch der österreichischen Haushalte 2001 als Referenzwert. Der Haushaltsverbrauch wurde als Referenzwert gewählt, da in Zöbing Wirtschaftssektoren kaum vertreten sind und auch der hochwasserbedingte Energieverbrauch mit 75% von Haushalten dominiert wird. (Quelle: Datenerhebung in Zöbing Juli 2003; Statistik Austria - Energiebilanz)

## 5.8 Zusammenfassung der erzielten Fortschritte

- Niederschlagsanalysen zur Bestimmung des Flächenniederschlags mit der speziell auf den alpinen Raum zugeschnittenen Analysenmethode VERA haben sich als prinzipiell für den operationellen Betrieb geeignet erwiesen. Dadurch ist im Krisenfall eine bessere Einschätzung der aktuellen Lage möglich.
- Die in Wien entwickelte Analysenmethode VERA birgt gute Möglichkeiten wichtige Merkmale von extremen Wettersystemen im alpinen Raum zu erfassen und damit zur Verbesserung der Diagnose und der kurzfristigen Vorhersagen beizutragen.
- Erstmals wurde eine österreichweite Gesamtdarstellung der bei einem extremen Hochwasserereignis aufgetretenen Schäden nach einem einheitlichen Schema vorgenommen.
- Es liegen für das Hochwasserereignis 2002 Daten in Umfang und Qualität vor, die eine gute Basis für unterschiedliche wissenschaftliche Analysen darstellen.
- Für die Erfassung und Visualisierung von zukünftigen Hochwasserschäden wurde ein Prototyp einer Web-GIS Applikation entwickelt, die – wenn sie sich in der Praxis durchsetzt – die Abwicklung der Schadensmeldungen, die Zuteilung von Unterstützungsgeldern und die statistische und fachliche Bearbeitung der Daten sowohl beschleunigen als auch verbessert wird.

- Es wurden konzeptuelle Überlegungen zur Entwicklung eines mikro-/makro-ökonomischen Modellrahmens angestellt, der die Interdependenzen von Stocks und Flows berücksichtigt.
- Der Effekt des Hochwassers auf das Brutto-Inlands-Produkt (BIP) hat - in einer konventionellen makroökonomischen Systematik ermittelt - im ersten Jahr ein positives Vorzeichen, die Größenordnung ist jedoch eher unbedeutend. In den Folgejahren weist der BIP-Effekt ein negatives Vorzeichen aus, insgesamt sind die Auswirkungen auf das BIP jedoch vernachlässigbar.
- Die Methode der Material- und Energieflussanalyse wurde erstmals außerhalb ihrer klassischen Funktion als Bilanzierungsinstrument zur Berechnung von zusätzlichen Ressourcenströmen angewendet.
- Es wurde gezeigt, dass die »gesellschaftliche« Reaktion eines Ortes auf eine »natürliche« Katastrophe das Ressourcennutzungs-niveau beträchtlich anhebt und somit den Druck auf die Umwelt erhöht.
- Anstatt die Chance zu Restrukturierungsmaßnahmen zu nutzen, wurde im untersuchten Fallbeispiel nach der Katastrophe versucht, den Vorzustand wiederherzustellen.

### 5.9 Forschungsbedarf

- Erhöhung der Genauigkeit von Niederschlagsanalysen, zum Beispiel durch geeignete Einbindung von Zusatzinformation (z.B. Radar- oder Satellitendaten).
- Weiterentwicklung der Analysemethoden VERA im aufgezeigten Sinn und Anwendung auf verschiedenste Wetterlagen.
- Untersuchung der Korrelation von prognostiziertem Niederschlag und der aus den Ableitungen gewonnenen Skala des entsprechenden Wettersystems zur Verbesserung der Prognose von Niederschlagsmengen.
- Untersuchung von Zeitreihen 3-stündige Felder atmosphärischer Parameter über einen klimatologischen Zeitraum werden zur Entwicklung einer objektiven, kleinräumigen Wetterlagenklassifikation verwendet. Damit könnten Aussagen über das Klima und seine Veränderungen in den letzten Jahren einschließlich der Extremwetterlagen gemacht werden.
- Weiterführende Forschungsarbeiten, um eine gemeinsame Erfassung, Analyse und Dokumentation der relevanten Prozesse und Schäden zu ermöglichen.
- Weiterentwicklung der Web-GIS Applikation zu einem in der Praxis österreichweit anwendbaren Instrument der Schadenserhebung nach Naturkatastrophen.
- Implementierung der konzeptuelle Überlegungen zur Berücksichtigung der Interdependenzen von Stocks und Flows in das bestehende Modell des WIFO (MULTI-MAC IV).
- Konkrete Möglichkeiten, wie die Rechnung über Materialintensitäten, könnten geprüft werden, um die nationale, derzeit ökonomische Schadensbilanz um die materielle und energetische Dimension zu erweitern. So ein Unterfangen würde im Falle künftiger Hochwasserereignisse die Diskussion über ökologische Folgen gesellschaftlichen Handelns beispielsweise im Lichte von CO<sub>2</sub>-Einsparzielen provozieren.

### 5.10 Projekte an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung

Wie sich zeigte, sind Schulen an Zusammenarbeit mit der Forschung und an der praktischen Auseinandersetzung mit den Themen der Klimaforschung sehr interessiert. Bei der Durchführung von Projekten mit Schulen sollten aber der Rhythmus des Schuljahres (Sommerferien!) und der Unterrichtseinheiten und die damit verbundenen Vorbereitungszeiten berück-

sichtigt werden. Die Bereitstellung eines Sachbudgets außerhalb des schmalen Schulbudgets erleichtert die Umsetzung von konkreten Projekten.

Schülergruppen führten rund 100 Fragebogeninterviews zu Extremereignissen der Vergangenheit. In Gruppenarbeiten stellten die Schüler die gesammelten Informationen Messdaten von Wetterstationen und Hagel-Schadensmeldungen gegenüber. Anschließend wurden die Zusammenhänge zwischen „objektiven“ Aufzeichnungen und Erinnerungen diskutiert:

- Ist das Auftreten des jeweiligen Ereignisses aufgrund der jeweiligen meteorologischen Gegebenheiten plausibel?
- Ist persönliche Wahrnehmung durch Angabe von meteorologischen Schwellenwerten objektivierbar? Wie unterscheiden sich die Aussagen verschiedener Datenerfassungsmethoden?
- Überdecken die Ereignisse der letzten beiden Jahre möglicherweise Erinnerungen an frühere Ereignisse?

Durch das Schulprojekt lernten die Schüler und Schülerinnen den Prozess der Datenerhebung und Qualitätskontrolle kennen und setzten sich intensiv mit den Themen Klimawandel und Extremereignisse auseinander. Die erhobenen Daten wurden in die Ereignisdatenbank (StartClim.3c) eingespielt und stehen somit für die Forschung zur Verfügung.

Eine ältere Schülergruppe erarbeitete nach einem Einführungsvortrag zu Klimawandel und hochwasserbedingten Änderungen im gesellschaftlichen Stoffwechsel Fragen, die sie in Bezug auf das Hochwasser 2002 am meisten interessieren und entwickelten daraus selbständig Fragebögen, die dann zu einer Meinungsumfrage und Experteninterviews herangezogen wurden. Einige der Fragen waren:

- Wie gut ist die Hochwasserprognose? Was sind die Ursachen für Hochwasser? Beeinflussen Kraftwerke Hochwasser?
- Wie viel Öl ist durch das Hochwasser im Bezirk Krems freigesetzt worden?
- Wird das Hochwasser die Denkweisen verändern? Wird Absiedelung erfolgen? Hat Hochwasser soziale Kontakte verändert?
- Wie wurden die Spenden verteilt? Gibt es Auswirkung auf Immobilienpreise?

Die Kooperationen erhöhte das Bewusstsein eines großen Personenkreises verschiedener Altersstufen (Schüler, Lehrer, Eltern, Großeltern, etc.) für Extremereignisse und Themen des Klimawandels. Es entstand ein Bild, wie Extremereignisse in der Bevölkerung wahrgenommen und verarbeitet werden – möglicherweise ein Beitrag zu Fragen des Risiko- und Krisenmanagements, der Versicherungspolitik, etc.. Die Forschung kann die wissenschaftlich erhobenen Daten durch die gesamthafte Sicht der betroffenen Bevölkerung ergänzen und bekommt wertvolle Hinweise darauf, welche Fragen die Gesellschaft an die Forschung hat.

## 6 Langfristiges Klima-Forschungskonzept

Es wird ein Klimaforschungsprogramm für Österreich vorgeschlagen, das die nationalen Bedürfnisse und Forschungsentwicklungen berücksichtigt und in die einschlägige internationale Forschungslandschaft eingebettet ist. Die Vernetzung mit und Abgrenzung von anderen relevanten österreichischen Forschungsvorhaben wird dargestellt (Abb. 37). In Interaktion mit der Forschungsgemeinde wurde ein Programm erstellt, das von den zu behandelnden Fragestellungen her eher anwendungsorientiert ist, deren Behandlung jedoch auch ein gewisses Maß an Grundlagenforschung erfordert. Die primären Fragestellungen

- Wie wird sich das Klima auf der regionalen Ebene entwickeln und welche Wechselwirkungen mit natürlichen Systemen sind zu erwarten?
- Welche Risiken und Chancen ergeben sich für Wirtschaft und Gesellschaft durch Klimawandel und Klimapolitik?
- Welche in Österreich gewonnenen Erkenntnisse über Alpine Klimate, deren Wandel und Auswirkungen können Ländern in Afrika, Südamerika und Asien zugute kommen?

werden in eine Reihe von Forschungsvorhaben untergliedert, welche die notwendige Grundlagen zum Klimawandel im engeren Sinne bereitstellen oder einzelne Wirtschaftssektoren (hinsichtlich Sensibilität, Adaptationspotential, Vulnerabilität und Mitigationspotential genauer analysieren. Mögliche Beiträge Österreichs zur Verbesserung des Verständnisses oder zur Lösung klimabedingter Probleme in den alpinen Regionen der Dritten Welt wird beispielhaft angeführt.

### Klimaforschungsprogramme

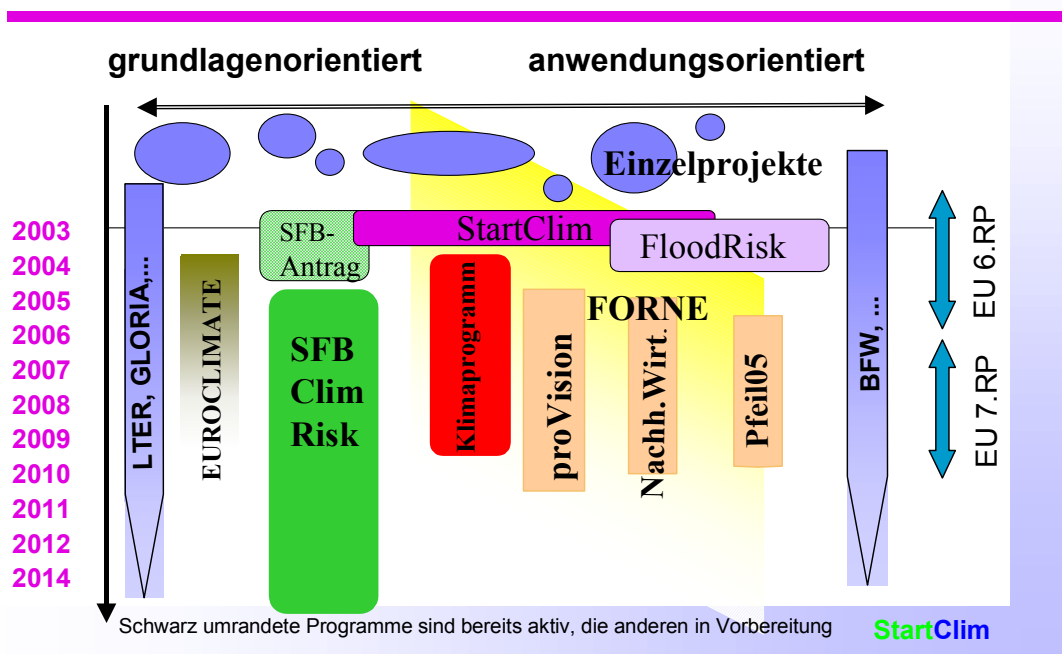


Abb. 37: Schematische Darstellung laufender und geplanter klimarelevanter Forschungsvorhaben und der Einordnung des vorgeschlagenen „Klimaprogrammes“ in die Forschungslandschaft.

## Literaturverzeichnis

- Anderberg, M.R., 1973: *Cluster analysis for applications*. Probability and Mathematical Statistics. Academic Press.
- Andrade-Leal, R. N., M. Bachhiesl, U. Drabek, D. Gutknecht, T. Haiden, H. Holzmann, K. Hebenstreit, R. Kirnbauer, H. P. Nachtnebel und J. Precht, 2002: Hydrologische Vorhersagemodelle im operationellen Betrieb der Wasserkraftwirtschaft. *Österr. Wasser- u. Abfallwirtschaft*, **54**, 129-134.
- Auer, I, R. Böhm and W. Schöner 2001: Austrian long-term climate. Österreichische Beiträge zur Meteorologie und Geophysik. Heft 25.
- Ermoliev, Y., Ermolieva, T., MacDonald, G., Norkin, V., 2000: Stochastic Optimization of Insurance Portfolios for Managing Exposure to Catastrophic Risks, *Annals of Operations Research*, 99, 207-225.
- Ermolieva, T., Ermoliev, Y., Linnerooth-Bayer, J., Galambos, I., 2001: The Role of Financial Instruments in Integrated Catastrophic Flood Management. In the Proceedings of the 8-th Annual Conference of the Multinational Financial Society, Garda, Italy, July 2001.
- Fliri, F. 1998: *Naturchronik von Tirol*, Wagnersche Universitätsbuchhandlung, Innsbruck, ISBN3-7030-0313-8.
- Fuchs et al, 2001: Lawinenkundliche und Waldbauliche Analyse des Katastrophenwinters 1998/99 und Erstellung eines Standardverfahrens zur dynamisierten Ermittlung lawinengefährdeter Bereich, Forschungsbericht im Auftrag des BMLFUW und der BOKU.
- Giles, J. 2002: When doubt is a sure thing. *Nature*, 418, 476–478.
- Gyalistras, D., H. von Storch, A. Fischlin, and M. Beniston, 1994: Linking GCM-simulated climatic changes to ecosystem models: case studies of statistical downscaling in the Alps. *Clim. Res.*, **4**, 167–189.
- Habersack, H., und A. Moser, 2003: Ereignisdokumentation Hochwasser August 2002. ZENAR / Plattform Hochwasser, download unter: <http://zenar.boku.ac.at> 184p.
- Haiden, T. und K. Stadlbacher, 2002: Quantitative Prognose des Flächenniederschlags. *Österr. Wasser- u. Abfallwirtschaft*, **54**, 135-141.
- Haiden, T., 2003: On the performance of ALADIN during the August 2002 floods. *ALADIN Newsletter*, 23, 191-193.
- Hewitson, B., and R. Crane, 1996: Climate downscaling: techniques and application. *Clim. Res.*, **7**, 85–95.
- Hotelling, H., 1936: Relations between two sets of variants. *Biometrika*, **28**, 321–377.
- Jonas, M. and S. Nilsson, 2001: The Austrian Carbon Database (ACDb) Study – Overview. Interim Report, IR-01-064, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Available on the Internet: <http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/acdb.html?sb=14>.
- Jonas, M., S. Nilsson and K. Compton, 2003: Lessons from the Austrian Carbon Database study. *Climatic Change* (forthcoming).
- Kerschner, H., 1989: *Beiträge zur synoptischen Klimatologie der Alpen zwischen Innsbruck und dem Alpenostrand*. Number 17 in Innsbrucker Geographische Studien. Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- Luzian, R., 2002: Die österreichische Schadenslawinen-Datenbank Forschungsanliegen – Aufbau – erste Ergebnisse, Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.

- Matulla, C., and P. Haas, 2003: Praediktorsensitives downscaling gekoppelt mit Wettergeneratoren: saisonale und tägliche CC-Szenarien in komplex strukturiertem Gelände. GKSS report 24, GKSS research center, Max-Planck-Strasse 1, D-21502 Geesthacht, Germany.
- Matulla, C., E.K. Penlap, P. Haas, and H. Formayer, 2003: Multivariate techniques to analyse precipitation in Austria during the 20th century. *Int. J. Climatol.* submitted.
- Moss, R.H. and S.H. Schneider, 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting. In: R. Pachauri, T. Taniguchi and K. Tanaka (eds.) Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), c/o World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 33–51.
- Nobilis, F., T. Haiden und M. Kerschbaum, 1991: Statistical considerations concerning probable maximum precipitation (PMP) in the Alpine country of Austria. *Theor. Appl. Climatol.*, **44**, 89-94.
- OCCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung, 2003: *Extremereignisse und Klimaänderung*, Bern
- Schentz, H., M. Mirtl, 2003: MORIS an universal information system for environmental monitoring. In: G.P. Schimak, D.A. Swayne, N.W.T. Quinn, R. Denzer (eds.) Environmental Knowledge and Information Systems . Environmental Software Systems Volume 5. IFIP Conference Series, 60-68.
- Steinacker R., C. Häberli, and W. Pötschacher, 2000: A Transparent Method for the Analysis and Quality Evaluation of Irregularly Distributed and Noisy Observational Data. *Monthly Weather Review*, **128**, 2303-2316.
- Stohl, A., G. Wotawa, P. Seibert, and H. Kromp-Kolb, 1995: Interpolation errors in wind fields as a function of spatial and temporal resolution and their impact on different types of kinematic trajectories. *J. Appl. Meteor.* **34**, 2149–2165.
- von Storch, H., E. Zorita, and U. Cubasch, 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Climate*, **6**, 1161–1171.
- Zimmermann, M., Mani, P., AND Romang, H. 1997: Magnitude-frequency aspects of Alpine debris flows. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 90(3), 415-420.
- Zorita, E., and H. von Storch, 1999: The analog method - a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J. Climate*, **12**, 2474–2489.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abb. 1: Schematische Darstellung des Beitrages der einzelnen Projekte und deren Zusammenhang .....	21
Abb. 2: Stationsauswahl StartClim.1 .....	22
Abb. 3: (a) 0.9 Perzentile für Lufttemperaturmaximum sowie (b) 0.1 Perzentil für Lufttemperaturminimum der Station Wien Hohe Warte (in 1/10°C) .....	23
Abb. 4: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen des Lufttemperaturmaximums der Zeitreihen Wien Hohe Warte 1901-1950 und 1951-2000 für den Sommer.....	23
Abb. 5: Vergleich der Zeitreihen Wien Hohe Warte 1901-1950 und 1951-2000: Quantile in 0.01 Schritten sowie deren Differenz – Lufttemperaturmaximum Frühling und Sommer	24
Abb. 6: Vollständige Zeitreihen bis 2002 für alle StartClim2-Stationen und –Parameter .....	25
Abb. 7: Zeitreihen und Trends der mittleren täglichen Minima der Lufttemperatur im Mai in Klagenfurt, 1951-2002: - Durch Verwendung von unhomogenisierten Daten würde ein Trend von 2.7°C vorgetäuscht werden, nach der Homogenisierung lag der Trend bei 1.7°C. ....	26
Abb. 8: Zeitreihen und Trends der Niederschlagssummen in Dezember in Bregenz, 1951-2002 - ein ursprünglich leicht negativer Trend wurde zu einem ganz schwach positiven. ....	26
Abb. 9: Relative Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen (Tagesmaximum über 25 °C bzw. 30°C) in Wien in Abhängigkeit zur Monatsmitteltemperatur. ....	30
Abb. 10: Veränderung der relativen Häufigkeit von Sommer- bzw. Tropentagen in Wien während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts. Abgeleitet aus CCA- Monatsszenarien. ....	31
Abb. 11: Relative Häufigkeit von Niederschlagsklassen [mm] für die Südregion Österreichs im Frühjahr. Abgeleitet mittels CCA-Verfahren. ....	31
Abb. 12: Relative Häufigkeit der Niederschlagstagesummen [mm] für Wien beobachtet und mittels Analogscenario abgeleitet. ....	32
Abb. 13: Starkniederschlags-Wetterlagen, identifiziert durch den Clusteralgorithmus. Dargestellt sind die Zentraltrajektorien der einzelnen Cluster für zwei Ankunfts-niveaus (rot = 500 m über Grund, blau = ca. 5 km über Grund). Die Ziffern entlang der Trajektorie erläutern vor wie vielen Tagen die Luft an den entsprechenden Orten war und geben so die Geschwindigkeit wieder. Die Zentraltrajektorie eines Clusters ist jene, zu der alle anderen Trajektorien des entsprechenden Clusters eine minimale Distanz aufweisen. Rechts unten sind die Anzahl der Fälle aus dem Kollektiv der 399 Extremniederschläge der Jahre 1979-93 für die einzelnen Wetterlagen eingetragen. ...	35
Abb. 14: Median der Tagesniederschläge der einzelnen Cluster (wie in Abb.13 nummeriert). Der Median ist jener Wert, der in 50% aller Fälle der entsprechenden Wetterlage überschritten wird. Zusätzlich eingezeichnet (mit schwarzen Linien) sind die 7 Niederschlagsregionen. Bei jeder Karte sind die am stärksten von dieser Wetterlage betroffenen Regionen angeführt. Die Punkte kennzeichnen die verwendeten Klimastationen.....	36
Abb. 15: Ereignisse / Gemeinde in Österreich (1972-2001).....	40
Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Wildbachereignisse in den Bezirken Landeck und Imst nach den Angaben der Chronik (1274-1973) und der BFW-Datenbank (1973 – 2002)..	42

Abb. 17: Zeitliche Verteilung der Ereignisse in den Einzugsgebieten der Gemeinde Umhausen nach den Angaben der Chronik (1274-1973) und der BFW-Datenbank (1973 – 2002).....	42
Abb. 18: Zu erfassendes Datenspektrum eines meteorologischen Extremereignisses. ....	47
Abb. 19: Ausschnitt aus der Objektklassifizierung in MEDEA. ....	48
Abb. 20: Forschungsbedarf: Von Treibhausgasemissionen zur Naturkatastrophe .....	51
Abb. 21: Wirkungskette bei Hochwasserschäden (OCCC 2003, Seite 35).....	51
Abb. 22: Niederschlagsverteilung für den 12. August 2002 (12.8.2002 06UTC bis 13.8.2002 06UTC), analysiert mit VERA, Minimierung der 1. und 2. Ableitung, 4km Gitter. ....	56
Abb. 23: Analyse für den 12.8.2002 mit den operationell meldenden TAWES-Stationen, ergänzt durch die Modellvorhersage von ALADIN (links) und durch kalibrierte Radardaten (rechts) .....	57
Abb. 24: Efficiency (1 - Mittlerer quadratischer Fehler/Varianz) für je 100 VERA- und Kriging-Analysen mit jeweils 200 Stationsmeldungen in Österreich.....	57
Abb. 25: VERA-Analysen mit korrigierten und unkorrigierten Messdatensätzen für die vier Termine .....	58
Abb. 26: Niederschlagssumme aus TAWES, interpoliert auf ein 10x10km Gitter. Links: erster Teil des Ereignisses vom 6.8.2002 12UTC – 8.8.2002 12UTC. Rechts: zweiter Teil des Ereignisses vom 11.8.2002 – 13.8.2002.....	59
Abb. 27: Vergleich 24-stündiger Niederschlagssummen aus verschiedenen Datenquellen bzw. Analysemethoden für ein Teilgebiet des Einzugsgebietes der Traisen während des Hochwassers 2003. Die Balken „HZB“, „Vera-Analyse“ und „Kriging-Analyse“ basieren auf HZB-Daten. Zusätzlich werden die vorhergesagten Niederschlagssummen von Aladin dargestellt (gelber Balken) .....	60
Abb. 28: Mittlerer relativer Fehler der Aladin Niederschlagsvorhersage (= absoluter Fehler normiert mit der Beobachtung), gemittelt über das August 2002 Ereignis (7.8.,8.8.,12.8.,13.8.2002, 24h-Summen) für das Einzugsgebiet der Traisen (~5000 km <sup>2</sup> ) und 2 kleinere Teileinzugsgebiete (~2000 km <sup>2</sup> und 100 km <sup>2</sup> ). Verifikation mit HZB Daten. ....	61
Abb. 29: Mittlerer relativer Fehler der Niederschlagsvorhersage aus Aladin für 5 Gebiete als Funktion der Vorhersagedauer (Periode 1999-2002). ....	61
Abb. 30: Mittlerer relativer Fehler der Niederschlagsvorhersage aus ECMWF EPS (90% Perzentile) für 5 Gebiete als Funktion der Vorhersagedauer.....	62
Abb. 31: Laplace-Ableitung für 12.8.2002 12 UTC über (links) einen, (rechts) sechs Gitterpunktabstände .....	64
Abb. 32: Zeitlicher Verlauf der 2. Zeitableitung für das Niederschlagsereignis Jänner 1999.....	64
Abb. 33: Methodik für Erfassung und Analyse der Daten (eigene Bearbeitung).....	68
Abb. 34: Datenbank- und GIS Applikation.....	68
Abb. 35: Ressourcenkonsum aufgrund des Hochwassers 2002 im Vergleich zum durchschnittlichen jährlichen Ressourcenaufkommen (Quelle: Datenerhebung in Zöbing Juli 2003; Haas 2003) .....	72
Abb. 36: Langfristige Einsparungen des Energieverbrauchs in erster Linie durch verbesserte Wärmedämmung einiger weniger Haushalte im Vergleich mit dem hochwasserbedingten Energieverbrauch für Aufräumung und Reparatur, sowie dem Energieverbrauch der österreichischen Haushalte 2001 als Referenzwert. Der Haushaltsverbrauch wurde als Referenzwert gewählt, da in Zöbing Wirtschaftssektoren kaum vertreten sind und auch	



der hochwasserbedingte Energieverbrauch mit 75% von Haushalten dominiert wird. (Quelle: Datenerhebung in Zöbing Juli 2003; Statistik Austria - Energiebilanz)..... 73

Abb. 37: Schematische Darstellung laufender und geplanter klimarelevanter Forschungsvorhaben und der Einordnung des vorgeschlagenen „Klimaprogrammes“ in die Forschungslandschaft. .... 76

## Tabellen

Tab. 1: Erforderliche Reihenlänge, um für ein Element eine bestimmte Genauigkeit gegenüber der Gesamtreihe für das 1%-Perzentil (P1), das 50%-Perzentil (P50) und das 99%-Perzentil (P99) zu erreichen (Ergebnisse der Station Wien) ..... 28

Tab. 2: Wetterbedingte Risikofaktoren für Missernten in den Regionen Ostösterreich, Südoststeiermark, oberösterreichisches Alpenvorland für verschiedene Produkte. .... 46

Tab. 3: Übersicht über Risikotransfersysteme in ausgewählten Ländern. Je mehr Punkte einem Land zugeordnet sind, desto stärker trifft der entsprechende Sachverhalt zu; Haken deuten das Vorhandensein des entsprechenden Instrumentes an. .... 49

Tab. 4: Wirkungsausmaß extremer Wetterereignisse auf die einzelnen Wirtschaftssektoren und zugehörige Datenlage, abgeleitet aus Literaturrecherchen und Experten- bzw. Betroffenenbefragungen ..... 52

Tab. 5: Offene Tabelle mit Teilschadenssummen. Konkrete Zahlen werden im Rahmen des Projektes FloodRisk 2004 erwartet (Stand August 2003). .... 66

Tab. 6: Offene Tabelle zu den neusten Schadensmeldungen, die nach Redaktionsschluss mit Stand 14. November 2003 eingegangen sind (Quellen siehe oben)..... 67

Tab. 7: Datenbasis für die Modellsimulationen (erwünschte und tatsächlich vorhandene Daten) ..... 69

Tab. 8: Erfasste Hochwasserschäden in Mio. € nach StartClim.9, Teilschadenssummen ..... 70

Tab. 9: Makroökonomische Ergebnisse der Auswirkungen des Hochwassers 2002..... 71

