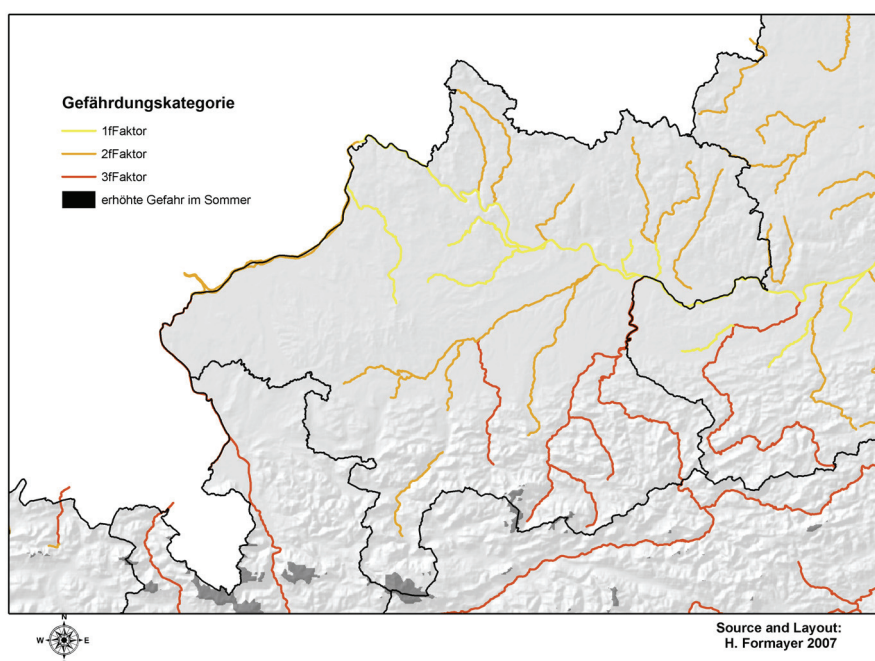


Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich

Herbert Formayer, Helga Kromp-Kolb, Ingeborg Schwarzl



Endbericht

Band 2 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf
Oberösterreich“ im Auftrag des Umweltlandesrates Rudi Anschober,
Land Oberösterreich

Institut für Meteorologie (BOKU-Met)
Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien

September 2009

ISSN 1994-4179 (Print)
ISSN 1994-4187 (Online)

BOKU-Met Report 14

Herbert Formayer, Helga Kromp-Kolb, Ingeborg Schwarzl

Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich

Endbericht

Band 2 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf
Oberösterreich“ im Auftrag des Umweltlandesrates Rudi Anschober,
Land Oberösterreich

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Formayer, H., Kromp-Kolb, H., Schwarzl, I. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich (Endbericht Band 2 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Mai 2007).

BOKU-Met Report 14, ISSN 1994-4179 (Print), ISSN 1994-4187 (Online). Verfügbar unter: http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_14_online.pdf

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Meteorologie, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich

URL: <http://met.boku.ac.at/>



Forschungsreihe:

Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich

Band 2

Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich

Im Auftrag von

Umweltlandesrat Rudi Anschober

Mai 2007

Institut für Meteorologie
Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien
Peter-Jordan-Str. 82
A-1190 Wien, Österreich

Projektleiterin:

Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb
E-Mail: helga.kromp-kolb@boku.ac.at, Tel: +43 1 47654-5601, Fax 47654-5610

ProjektmitarbeiterInnen:

Dr. Herbert Formayer
E-Mail: herbert.formayer@boku.ac.at, Tel: +43 1 47654-5615, Fax 54654-5610

<http://www.wau.boku.ac.at/met.html>

Forschungsreihe:

Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich

Band 2:

**Auswirkungen des Klimawandels auf
Hochwasserereignisse in Oberösterreich**

AutorInnen:

Herbert Formayer und Helga Kromp-Kolb,
Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Redaktionelle Mitarbeit:

Ingeborg Schwarzl, Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

Im Auftrag von Umweltlandesrat Rudi Anschober

Mai 2007

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1. Einleitung	5
2. Hochwasserszenarien aus Sicht der Forschung - Möglichkeiten und Grenzen von Niederschlagsszenarien	6
3. Klimawandel und allgemeine Niederschlagstrends	7
4. Klimatologische Veränderungen.....	10
Auswirkungen der Schneefallgrenze auf Hochwasserereignisse	10
Veränderungen großflächiger Hochwasserereignisse (Vb-Wetterlagen).....	12
Kleinräumige Hochwasserereignisse.....	13
5. Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder und Folgen für Hochwasserereignisse	15
6. Strategien und Maßnahmen	15
Minderungsstrategien und -maßnahmen	16
Anpassungsstrategien und –maßnahmen	16
7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	18
Literatur	22
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	23
Anhang	24

Einleitung

Die vielfältige Landschaft Oberösterreichs – von den Erhebungen der Böhmisches Masse über das Donautal mit seinen städtischen Räumen und das Alpenvorland bis hin zu den alpinen Regionen – beherbergt eine Vielfalt an natürlichen Ökosystemen, Landnutzungen und Wirtschaftssektoren. Auch das Klima ist sehr differenziert, von Nord nach Süd ändert es sich vom „Hochlandklima“ des Mühlviertels zu dem in weiten Bereichen von den Stauwirkungen der Alpen geprägten Alpenvorland, während von West nach Ost zunehmende Kontinentalität mit ausgeprägteren Temperaturextremen und abnehmenden Niederschlagsmengen spürbar ist. Lokal sind diese Klimate von der Seehöhe, der Exposition und zahlreichen anderen kleinräumigen Einflüssen überlagert.

Der in den letzten Jahrzehnten deutlich zutage tretende globale Klimawandel erfährt in dem von stark topographischen Strukturen gekennzeichneten und fein gegliederten Gelände Oberösterreichs unterschiedliche Ausprägungen. Aber selbst wenn der Klimawandel im ganzen Land einheitliche Veränderungen brächte, wäre doch jede Region und jedes Öko-, Wirtschafts- und Gesellschaftssystem aufgrund seiner spezifischen Charakteristika in verschiedener Weise vom Klimawandel betroffen: Wo Niederschlag an sich reichlich ist, wird eine Abnahme um 20% wahrscheinlich noch kein Problem darstellen, während dieselbe Abnahme in niederschlagsarmen Gebieten Katastrophen auslösen kann. Auch die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel ist von System zu System und von Fall zu Fall verschieden. Das führt zu unterschiedlicher Verletzlichkeit.

Das Klimasystem ist ein sehr träges System, es reagiert nur langsam auf Änderungen in den treibenden Kräften. Das hat z.B. dazu geführt, dass die Folgen der übermäßigen Freisetzung von Treibhausgasen durch die Menschen nicht sofort spürbar wurden. Es bedeutet aber auch, dass sich die Erwärmung noch weiter fortsetzt, selbst nachdem die notwendigen, sehr einschneidenden Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen umgesetzt sein werden. Daher ist es notwendig, neben den Minderungsmaßnahmen, auch Anpassungsmaßnahmen zu setzen – beides ist Teil des Klimaschutzes.

Die Anpassungsfähigkeit ist in vielen Fällen höher, wenn mehr Zeit zur Vorbereitung verfügbar ist. Dies gilt insbesondere für Maßnahmen, die einschneidende Veränderungen oder hohe Investitionskosten mit sich bringen. Hochwasserschutz, nachhaltig betrieben, zählt dazu, geht es doch nicht nur darum, den einen oder anderen Damm zu befestigen oder zu erhöhen, sondern um raum- und landschaftsplanerische Maßnahmen in den gesamten Einzugsgebieten. Diese entscheiden oft darüber, welche Wassermengen das Bach- oder Flussbett bewältigen können muss. Die Hochwasser der letzten Jahre zeigen, dass in manchen Tälern Oberösterreichs Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Sinne von Hochwasserschutz schon jetzt notwendig sind. Andere mögen in Zukunft noch dazu kommen.

Es ist daher wichtig zu wissen, wie sich der Klimawandel in einer konkreten Region entwickeln wird, und zwar über den gesamten Zeitraum, für den die Maßnahme gesetzt wird: wird z.B. aufgeforstet, müssen die Bäume, die heute gepflanzt werden, auch für das wärmere und im Sommer trockenere Klima in 100 Jahren geeignet sein. Hochwasserschutzmaßnahmen, die heute errichtet werden, müssen nicht nur die derzeitigen Hochwasser, sondern auch solche, wie sie in 30 oder 50 Jahren auftreten werden, bewältigen können. Leider ist es nicht möglich, das lokale und regionale

Klima in allen Einzelheiten konkret vorherzusagen. Trends und Entwicklungen können aber angegeben werden, und auch diese helfen schon bei der Planung. Die vorliegende Analyse versucht in dem wissenschaftlich sehr schwierigen Bereich extremer Niederschlagsereignisse Überblick zu geben und damit Hilfestellung für anstehende Entscheidungen.

1. Hochwasserszenarien aus Sicht der Forschung - Möglichkeiten und Grenzen von Niederschlagsszenarien

Wenn vom globalen Klimawandel und den regionalen Auswirkungen gesprochen wird, wird meist der Temperaturanstieg und seine Folgen gemeint. Aber natürlich ist eine Veränderung der Niederschlagsmuster wie Menge, Häufigkeit und Intensität mindestens eben so wichtig wie die Temperaturänderung. Im Alpenraum ist die Vegetation auf eine ausreichende Wasserverfügbarkeit während der Vegetationsperiode angewiesen und Veränderungen der Niederschlagsmenge bzw. -intensität beeinflussen direkt das Abflussverhalten unserer Flüsse und damit auch das Hochwasserrisiko.

Ursache für die Zurückhaltung bei Aussagen über die mögliche Veränderung des Niederschlagsverhaltens ist die, verglichen mit der Temperatur, wesentlich größere Unsicherheit bei der Berechnung von Niederschlagsszenarien. Niederschlag kann durch verschiedene Prozesse produziert werden. Der Großteil des Niederschlags wird an Fronten in Tiefdruckgebieten ausgelöst, wobei bei uns im Alpenraum Atlantische Störungen für den Bereich nördlich der Alpen und Mittelmeertiefs für den Raum südlich der Alpen bestimmend sind. Die Alpen selbst beeinflussen das Niederschlagsverhalten durch Aufgleitvorgänge und Stau. Ganz andere Prozesse sind jedoch für sommerliche Gewitter verantwortlich, die gerade in Österreich nicht unwesentlich sind.

Globale Klimamodelle (GCMs) können wegen ihrer groben räumlichen Auflösung von einigen hundert Kilometern wichtige Vorgänge bei der Niederschlagsbildung - wie etwa Wolkenbildung - nicht direkt modellieren und daher müssen diese Prozesse parametrisiert, das heißt indirekt aus berechneten Größen geschätzt werden. Auch sind die Alpen wegen der groben räumlichen Auflösung nur stark abgeflacht in den GCMs enthalten, d.h. die Berge sind weniger hoch, die Täler nicht vorhanden oder weniger tief, und daher ist die räumliche Verteilung der niederschlagsauslösenden Vorgänge in und um den Alpenraum nur sehr grob wiedergegeben. Besonders schwierig sind Wärmegewitter richtig zu erfassen, da diese sich nur über einige Kilometer erstrecken. Daher kommen Gewitter in den GCMs nur parametrisiert vor.

Allgemeine globale Betrachtungen zum Niederschlagsverhalten können nicht ohne weiteres auf die regionalen Veränderungen übertragen werden. Es ist zwar richtig, dass durch den Temperaturanstieg und hier vor allem durch den Anstieg der Meerestemperatur, die Verdunstung global zunehmen wird und natürlich muss diese vermehrte Verdunstung irgendwo wieder als Niederschlag ausfallen - das heißt der hydrologische Zyklus wird beschleunigt. Es ist auch richtig, dass einer wärmeren Atmosphäre mehr Wasserdampf und damit auch mehr Energie zur Verfügung steht. Wo jedoch dieser vermehrte Niederschlag ausfällt, hängt mit der Luftdruck- und Luftmassenverteilung zusammen. Wo und ob sich der höhere Wasserdampf- und Energiegehalt der Atmosphäre durch eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten und Ex-

tremereignisse auswirkt, hängt ebenfalls von den Luftmassengegensätzen und der Druckverteilung ab.

Die Aussagen der Globalen Klimamodelle (GCM) zu den lokalen Veränderungen des Niederschlags im Alpenraum sind daher wenig aussagekräftig. Um die Prognosegenauigkeit zu erhöhen wurden in den letzten Jahren vermehrt Regionale Klimamodelle (RCMs) entwickelt. RCMs werden in die GCMs „genestet“, das heißt die Modelle werden nicht für die gesamte Erde, sondern nur für einen Ausschnitt gerechnet (z.B. Europa). An den Rändern werden die Ergebnisse des GCMs verwendet und im inneren wird mit einer höheren Auflösung gerechnet. Die Modelle des EU-Projektes PRUDENCE (Christensen et. al, 2002) wurden mit einer Auflösung von 50 km und 20 km gerechnet. Derzeit laufende Projekte, auch bei uns in Österreich (z.B. RECLIP 2005), arbeiten bereits mit 10 km Auflösung. Die Ergebnisse dieser RCMs zeigen wesentlich realistischere Niederschlagsergebnisse sowohl hinsichtlich der räumlichen Verteilung, als auch hinsichtlich der Niederschlagsintensitäten als GCMs. Die RCMs können frontale Niederschläge schon sehr realistisch wiedergeben, aber die Wärmegewitter können auch bei der erhöhten Auflösung noch nicht explizit berücksichtigt werden. Die Niederschlagsszenarien der RCMs sind also schon wesentlich plausibler als die der gröberen Modelle, aber die Unterschiede zwischen verschiedenen RCMs sind deutlich größer als bei der Temperatur. Daher kann man auch diese Ergebnisse nur eher qualitativ als quantitativ interpretieren.

Generell kann man mit Klimaänderungsszenarien nur die Veränderung der meteorologischen Bedingungen und eventuell indirekte Effekte auf die Vegetation ableiten. Bei Hochwasserereignissen spielen aber auch nichtmeteorologische Faktoren, wie Landnutzungsänderungen, die das Abflussverhalten des Einzugsgebietes verändern, oder Raumordnungsregelungen, welche die Bebauung regeln, eine wesentliche Rolle. In den letzten Jahren haben sich die beiden Forschungsprogramme Floodrisk (<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/klima/projekte/floodrisk/>) und StartClim (<http://www.austroclim.at/startclim/>) eingehend mit den Komponenten von Hochwasserereignissen in Österreich beschäftigt.

2. Klimawandel und allgemeine Niederschlagstrends

Die Niederschlagsverhältnisse sind in Österreich höchst vielfältig und auch sehr kleinräumig strukturiert. Die Jahresniederschlagssummen reichen von rund 500 mm im Marchfeld und im Weinviertel bis über 2000 mm in den alpinen Stauregionen. Ein wesentliche Rolle bei der Niederschlagsverteilung spielen die Alpen. Durch Luv/Lee Effekte (an der windzugewandten Bergseite (Luv) wird der Niederschlag erhöht, an der windabgewandten (Lee) verringert) können kleinräumige Unterschiede entstehen. So sind im Arlberggebiet Jahresniederschläge über 2000 mm keine Seltenheit und in den nicht weit entfernten inneralpinen Trockentälern wie z.B. dem oberen Inn-tal kommen lediglich Jahressummen von knapp über 600 mm vor. Die Alpen beeinflussen aber auch das Vorkommen von Gewittern. Die größten Gewitterhäufigkeiten kommen in den nördlichen Voralpen und in den Steirischen Randgebirgen vor. Inneralpin nimmt die Gewitterneigung wieder deutlich ab.

Neben dem Einfluss der Alpen zeigt sich in Österreich auch ein West – Ost Gefälle im Niederschlag. Je weiter man nach Osten geht, umso stärker wird der kontinentale Einfluss und umso geringer werden die Niederschläge. Eine Untersuchung dieser verschiedenen Einflüsse auf Starkniederschläge (Seibert et. al., 2006) ergab sieben Niederschlagsregionen für Österreich (siehe Abbildung 1), in denen Starknieder-

schläge typischer Weise gleichzeitig auftreten. Den Regionen können unterschiedliche Wetterlagen zugeordnet werden, welche die Starkniederschläge in den jeweiligen Regionen auslösen. Oberösterreich fällt nach dieser Untersuchung zum Großteil in eine einzige Region. Das bedeutet, dass bei Nordstaulagen, die in dieser Region meist für Starkniederschläge verantwortlich sind, praktisch das ganze Bundesland betroffen sein kann. Nordstaulagen treten bei nordwestlichen und nordnordwestlichen Strömung auf. Das Mühlviertel gehört einer Region an, die bei den gleichen Wetterlagen wie das niederösterreichische Waldviertel unter Starkniederschlägen leiden kann, vor allem bei den sogenannten Vb-Lagen, die später noch beschrieben werden. Auch Westwetterlagen können mit starken Niederschlägen einher gehen. Im Süden des Bundeslandes gehört die Region um das Warschenek bei Spital am Phyrn einer Region an, die als Ennstal-Semmering bezeichnet wurde, und vor allem bei Nordnordwestlagen starke Niederschläge verzeichnet: es handelt sich meistens um eine Kombination von Nordstaulagen mit Gewittertätigkeit, einem Faktor, der im Weiteren noch diskutiert wird.

Wegen der komplexen Niederschlagsverteilung in Österreich kann man auch keinen einheitlichen Trend bei der Niederschlagsentwicklung erwarten. Nur im äußersten Westen Österreichs zeigte sich in den letzten Jahrzehnten eine Niederschlagszunahme und auch eine Zunahme der Niederschlagsintensität. Für den Großteil Österreichs ergibt sich keine Änderung und im Südosten wurde eine leichte Niederschlagsabnahme bei der Jahresniederschlagssumme beobachtet. Im Gegensatz zur Temperatur kann man daher derzeit aus den Beobachtungen für den Niederschlag noch keine klaren Rückschlüsse auf den Klimawandel ziehen.

Regionen in Österreich, an denen gleichzeitig Starkniederschläge auftreten.

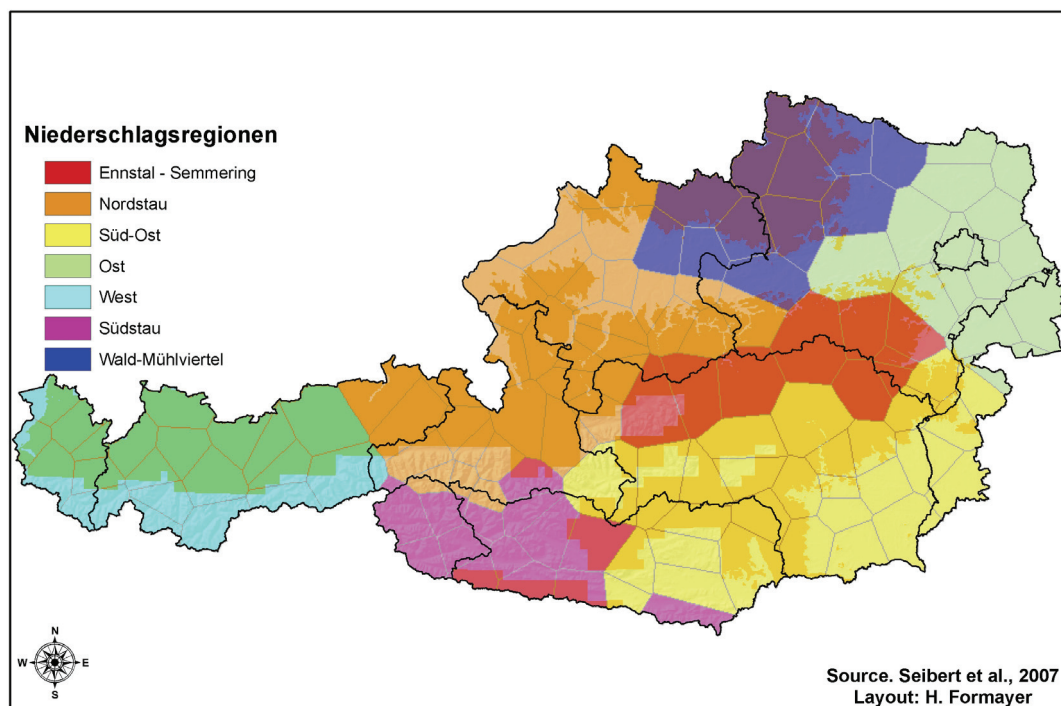


Abb. 1: Regionen Österreichs, in denen gleichzeitig Starkniederschläge auftreten. Modifiziert nach Seibert et. Al., 2007.

Untersucht man die jüngsten regionalen Klimaänderungsszenarien wie etwa im EU-Projekt PRUDENCE, so zeichnet sich für Europa und auch für die Alpen ein doch deutlicher Trend für das 21. Jahrhundert ab. Generell zeigt sich für Europa eine Dipolstruktur bei der Niederschlagsentwicklung. Im ganzen Mittelmeerraum und in Westeuropa einschließlich der Britischen Inseln und Frankreich zeigt sich eine Niederschlagsabnahme, die besonders stark im Sommer ausgeprägt ist. Im Nordosten Europas, also Skandinavien, im Ostseeraum und Russland muss man hingegen mit einer Niederschlagszunahme rechnen. Der Alpenraum liegt dabei sozusagen im Übergangsbereich und daher zeigt sich hier bei der Jahressumme kein deutlicher Trend.

Es ist jedoch eine starke Verschiebung des Niederschlags in den Jahreszeiten festzustellen. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts muss man im Alpenraum mit einer Niederschlagszunahme in den Wintermonaten von etwa 15 bis 40 Prozent rechnen, wobei die Zunahme im Februar am ausgeprägtesten ist. In den Sommermonaten hingegen muss mit Abnahmen des Niederschlages von 10 bis 50 Prozent gerechnet werden, mit einem Höhepunkt der Abnahme im August. In den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst wiederum zeigen sich keine klaren Änderungen.

Neben diesen Monatsniederschlagssummen wurden von Schweizer Wissenschaftlern (Frei et al., 2005) auch die Starkniederschläge für den Alpenraum untersucht. Hierbei zeigte sich bei Starkniederschlägen im Winter, die ja meist über mehrere Tage hinweg anhalten, eine deutliche Zunahme. Im Sommer wiederum nahm die Wahrscheinlichkeit für Einzeltage mit hohen Niederschlagsmengen zu, d.h. im wesentlichen der Gewittertätigkeit, und dies obwohl die Monatssummen abnehmen. Speziell im Sommer ist daher auch mit einer Zunahme der Niederschlagsintensität zu rechnen.

Diese Ergebnisse aus dem Projekt PRUDENCE werden durch die neuesten Resultate des Globalen Klimamodells ECHAM5 bestätigt. Auch in diesem Modell zeigen sich die unterschiedlichen Entwicklungen über Nord- und Südeuropa und für den Alpenraum eine Verschiebung des Niederschlages vom Sommer in den Winter.

Neben der direkten Veränderung des Niederschlags durch den Klimawandel, können aber auch indirekte Effekte das Hochwasserrisiko erhöhen. Als wichtigster indirekter Faktor im Alpenraum ist der Temperaturanstieg zu nennen. Durch die Erwärmung wird in Zukunft ein deutlich geringerer Anteil am Gesamtniederschlag als Schnee fallen. Die Kombination - Anstieg der Schneefallgrenze und Niederschlagszunahme im Winter - erhöht zweifach das Hochwasserrisiko im Tiefland und im Alpenvorland in dieser Jahreszeit. In hochalpinen Einzugsgebieten wirkt sich der Anstieg der Schneefallgrenze selbst im Sommer noch als risikosteigernd aus.

Ein weiterer hochwasserfördernder Effekt könnten Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation sein. Die PRUDENCE Szenarien gehen von einem Temperaturanstieg im Alpenraum im Winter von etwa 3 bis 4,5 °C und im Sommer von 4 bis 7 °C aus. In den Übergangsjahreszeiten dürfte die Erwärmung etwas geringer ausfallen, aber immer noch über 2 °C liegen. Dieser deutliche Temperaturanstieg im Sommer, mit gleichzeitiger Niederschlagsverlagerung aus der Vegetationsperiode in den Winter, wird die alpine Vegetation stark unter Druck setzen und besonders die Wälder können Anpassungsschwierigkeiten haben. Sollte es durch diese kombinierten Effekte zu großräumigen Vegetationsverschiebungen kommen, wird dies das Abflussverhalten speziell alpiner Einzugsgebiete verändern. Zusätzlich könnte auch Erosion durch veränderte Vegetation und Zunahme der Niederschlagsintensität erhöht werden, was nicht nur die Murenabgänge und den Geschiebeanteil bei Hochwassersitu-

ationen erhöht, sondern auch die Wasserspeicherung der Böden nachhaltig reduzieren würde.

Trotz der im Vergleich mit der Temperatur geringeren Robustheit der Niederschlags-szenarien, zeigen sich doch in den Modellberechnungen und aufgrund allgemeiner meteorologischer Überlegungen recht deutliche Tendenzen. Diese erlauben eine qualitative Abschätzung der zu erwartenden Veränderung des Hochwasserrisikos. Durch die zugrunde liegenden Prozesse ist es auch möglich Gebiete auszuweisen, in welchen die jeweiligen Prozesse besonders relevant sind, beziehungsweise wo mehrere Prozesse auftreten können.

3. Klimatologische Veränderungen

Auswirkungen der Schneefallgrenze auf Hochwasserereignisse

Als Faustformel kann man davon ausgehen, dass eine Temperaturerhöhung von 1°C die mittleren Schneeverhältnisse um rund 150 m nach oben verschiebt. Für den in den PRUDENCE Szenarien errechneten Temperaturanstieg folgt daraus eine mittlere Verschiebung der Schneeverhältnisse um etwa 500 m bis 600 m. Dies ist aber nur ein Näherungswert, der sich sowohl aus Schneedeckenaufbau als auch Abschmelzung zusammensetzt.

Diese Verschiebung der Schneeverhältnisse wird das Abflussverhalten der österreichischen Flüsse stark beeinflussen. Der Winterabfluss wird generell zunehmen und die Abfußspitze der Schneeschmelze wird deutlich früher auftreten. In Kombination mit der Zunahme der Winterniederschläge wird sich das Hochwasserrisiko im Winter und Frühjahr deutlich erhöhen. Besonders davon betroffen sind Höhenlagen zwischen 500 m und 2000 m Seehöhe (siehe Abb. 2). Unter 500 m Seehöhe fallen bereits heute mehr als 50 Prozent der Starkniederschläge im Winter als Regen und daher wirkt sich eine weitere Absenkung des Schneeanteiles nicht so stark aus. Über 2000 m Seehöhe wiederum wird es auch gegen Ende dieses Jahrhunderts noch kalt genug sein, dass der Winterniederschlag größtenteils als Schnee fällt. In Oberösterreich betrifft dies z.B. das Abflussverhalten der Mühl im Winter. Für das Auftreten von Hochwasser im Winter und Frühjahr ist jedoch nicht nur die beschriebene Verschiebung der mittleren Verhältnisse relevant. Die Höhe der Schneefallgrenze gehorcht speziell im Gebirge höchst nichtlinearen Gesetzen, d.h. kleine Veränderungen können große Wirkungen haben. Durch das Schmelzen von fallenden Schneeflocken wird die Luft gekühlt. Dies hat zur Folge, dass bei intensivem Schneefall durch das Schmelzen die Luft über mehrere hundert Meter Seehöhe auf 0 °C abgekühlt wird und damit die Schneefallgrenze nach unten gezogen wird. Besonders effizient ist dieser Prozess in Alpentälern, da hier das als Wärmereservoir zur Verfügung stehende Luftvolumen der Atmosphäre durch die Berghänge reduziert ist und diese Abkühlung daher rascher erfolgt. Dies hat zur Folge, dass in den Alpentälern die Schneefallgrenze meist tiefer liegt als im Flachland. Die aktuelle Schneefallgrenze hängt also nicht nur vom allgemeinen Temperaturniveau, sondern auch von der Niederschlagsintensität und der lokalen Topographie ab.

Dieses nichtlineare Verhalten der Schneefallgrenze kann nun im Gebirge besonders dann zu erhöhtem Hochwasserrisiko führen, wenn der in Tälern verstärkte Abkühlungseffekt durch den Klimawandel infolge der Temperaturzunahme verloren geht, d.h. wenn aufgrund der Erwärmung die Grenze zwischen Schneefall und Regen während eines intensiven Niederschlags oberhalb der Seehöhe der Gebirgskämme

zu liegen kommt, und die Schneefallgrenze daher nicht durch den Taleffekt heruntergezogen wird. Ein Temperaturanstieg von 1 °C kann auf diese Weise die Schneefallgrenze um bis zu 1000 m nach oben verschieben und dadurch die Abflussspitzen während des Niederschlagsereignis deutlich erhöhen. Als Beispiel für derartige Phänomene können die großen Alpentäler wie Salzach oder Inntal dienen.

Jedoch nicht nur die Wasserführung der Flüsse im Winter und Frühjahr wird durch die Schneefallgrenze beeinflusst. In hochalpinen Einzugsgebieten spielt sie auch im Sommer eine wichtige Rolle. Ein Beispiel hierfür sind die Hochwasserereignisse im Mai 1999 und im August 2005. Diese beiden Ereignisse brachten fast gleiche Niederschlagssummen, jedoch befand sich im Mai 1999 die Schneefallgrenze bei etwa 2100 m Seehöhe, im August 2005 hingegen um die 3000 m und dies führte speziell in der Schweiz, Vorarlberg und Tirol zu deutlich höheren Abflussspitzen und Hochwasserschäden.

Die Schneefallgrenze im Sommer spielt nur in Seehöhen über 2000 m eine Rolle. Diese Gebiete Österreichs sind in Abbildung 2 grau eingefärbt. 2005 waren von diesem Phänomen vor allem der Lech und die Bregenzer Ache mit ihren Zubringern betroffen.

Regionen in Österreich, wo der Anstieg der Schneefallgrenze relevant ist.

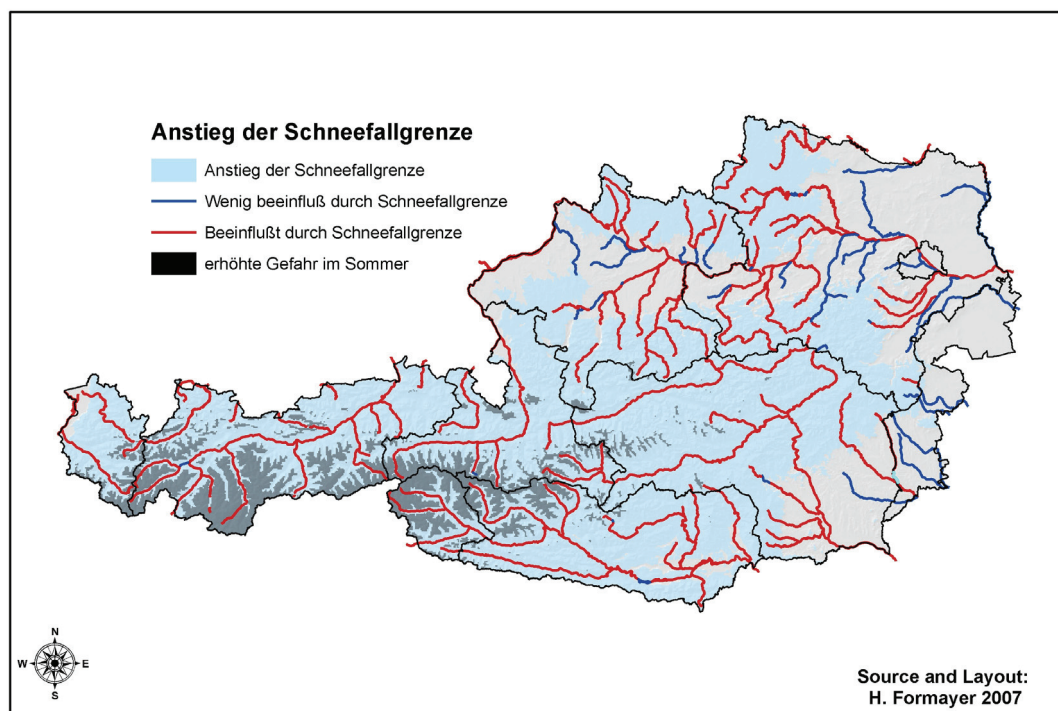


Abb. 2: Regionen, die durch den Anstieg der Schneefallgrenze voraussichtlich am stärksten betroffen sein werden. Die hellblauen Regionen im Winter und Frühjahr, die dunkelblauen Regionen im Sommer.

Wie die Abbildung zeigt, sind zahlreiche Flüsse in Oberösterreich, und zwar sowohl südliche als auch nördliche Zubringer zur Donau von dem Anstieg der Schneegrenze betroffen, nicht nur die oben bereits erwähnte Mühl.

Veränderungen großflächiger Hochwasserereignisse (Vb-Wetterlagen)

Großflächige Hochwasserereignisse in Österreich sind häufig mit sogenannten Vb-Wetterlagen verbunden. Bei Vb- und Vb-ähnlichen Wetterlagen wird durch einen Kaltluftvorstoß in den Golf von Genua eine Tiefdruckentwicklung ausgelöst, wobei der Kern dieses Tiefdruckgebietes mit der Höhenströmung über die nördliche Adria, Slowenien und Ungarn um die Alpen herum nach Polen geführt wird. Bei Vb-ähnlichen Lagen bildet sich ein abgeschlossenes Tiefdruckgebiet in höheren Luftschichten über Norditalien und dem Alpenraum, in der Meteorologie auch Kaltlufttropfen genannt. Vb-Wetterlagen beregnen im Laufe von 2 bis 3 Tagen ganz Österreich wobei die größten Niederschlagsintensitäten zuerst im Süden und Osten auftreten und gegen Schluss auf der Alpennordseite. Je nach genauer Lage des Kerns des Tiefdruckgebietes liegen die Niederschlagsmaxima an der Alpennordseite weiter westlich oder weiter östlich. So war etwa das Niederschlagszentrum beim Hochwasser 2002 in Österreich in Ober- und Niederösterreich, bei den Ereignissen 1999 und 2005 hingegen in Tirol und Vorarlberg (siehe Abb. 3.) Das Oder-Hochwasser 1997 wurde ebenfalls durch eine b-Wetterlage ausgelöst, jedoch ging damals der Tiefdruckkern so weit östlich an Österreich vorbei, dass bei uns keine größeren Schäden aufgetreten sind. In Abbildung 4 sind die am häufigsten durch Vb-Lagen betroffenen Regionen Österreichs zusammengefasst.

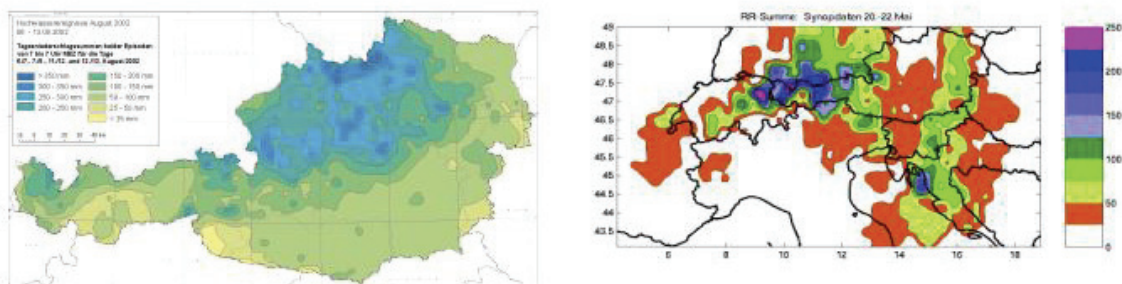


Abb. 3: Niederschlagsverteilung beim Augusthochwasser 2002 (links) und beim Maihochwasser 1999 (rechts). Die Niederschlagsereignisse im Mai 1999 und im August 2002 waren beide durch Vb-ähnliche Wetterlagen verursacht. Datenquelle Habersack et al., 2003 und Formayer et al. 2006.

Die Aussagen hinsichtlich der weiteren Entwicklung der Vb-Lagen in Klimaänderungsszenarien sind nicht ganz eindeutig. Generell zeigen die Szenarien eine Abnahme der Tiefdruckentwicklung im Mittelmeerraum, was auch zu der starken Abnahme des Jahresniederschlags in dieser Region führt. Damit sollte auch die Häufigkeit der Vb-Lagen zurückgehen. Da jedoch bei der Entstehung der Tiefdruckgebiete im Golf von Genua auch die Alpen eine wichtige Rolle spielen und diese in den Globalen Klimamodellen nur sehr grob enthalten sind, darf man dieser Aussage nicht zu viel Gewicht beimessen. Sehr wahrscheinlich wird eine Intensivierung der Niederschläge bei Vb-Wetterlagen auftreten, da sich das Mittelmeer deutlich erwärmen und dadurch die Verdunstung dort ansteigen wird.

Ein plausibles Zukunftsszenarium bezüglich Vb-Lagen und Vb-ähnlichen Lagen ist eine Abnahme der Häufigkeit, derzeit rund 10-15 Ereignisse pro Jahr, aber eine Zu-

nahme der Niederschlagsintensitäten bei diesen Wetterlagen. Damit würde sich aber voraussichtlich das Hochwasserrisiko durch diese Wetterlagen erhöhen.

Besonders niederschlagsintensiv sind Vb-Lagen im Sommer, da hier feuchtwarmer Luftmassen mit enormen Wassermengen zu den Alpen transportiert werden. Die Ereignisse des letzten Jahrzehntes lassen eine Zunahme dieser Vb-Lagen im Sommer befürchten. Sollte sich der Trend des letzten Jahrzehntes mit dem häufigeren Auftreten im Sommer weiter fortsetzen, würde dies das Risiko noch weiter ansteigen lassen.

Prominente Beispiele von Flüssen, die in den letzten Jahren durch derartige Wetterlagen Hochwasser führten sind der Kamp und in weiterer Folge die Donau (2002). Da die Niederschlagsgebiete bei Vb-Lagen räumlich ziemlich ausgedehnt sein können, sowohl weil die Tiefdruckgebiete größere Bereiche überdecken, als auch weil der Regen mehrere Tage anhält und daher durch Verlagerung der Tiefdruckgebiete immer neue Bereiche erfasst werden, sind in diesen Situationen meist auch die großen Flüsse, insbesondere die Donau betroffen, die von vielen hochwasserführenden Zubringern gespeist wird. Deshalb zeigt auch die Karte in Abbildung 4, dass praktisch alle Flüsse in Oberösterreich, einschließlich der Donau betroffen sein können.

Regionen die durch Vb - ähnliche Lagen besonders betroffen sind.

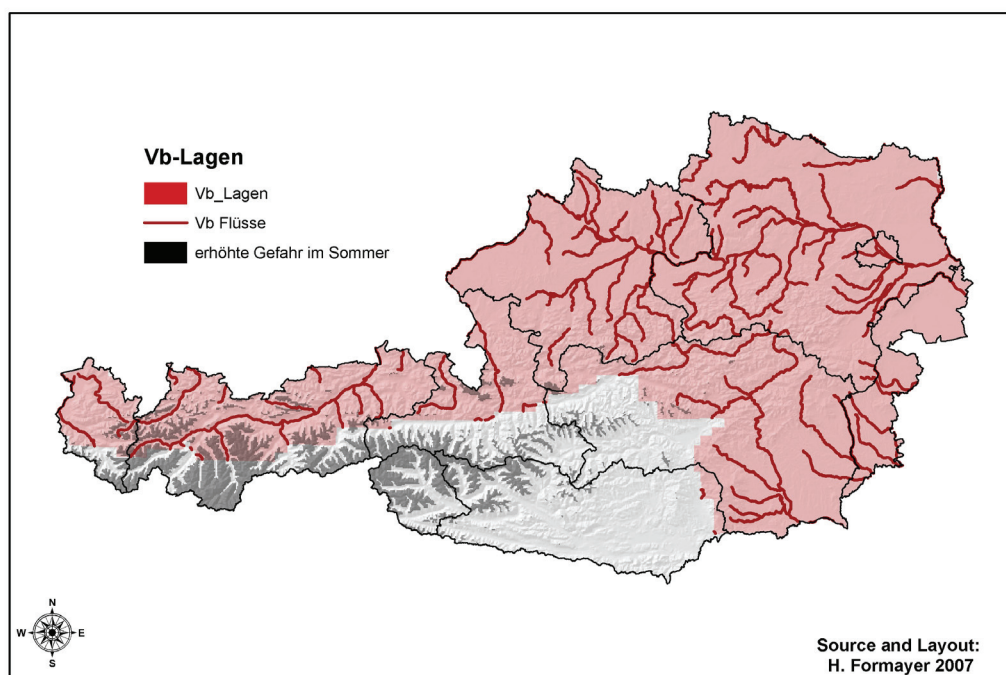


Abb. 4: Regionen, die durch Vb-Lagen und Vb-ähnliche Wetterlagen besonders betroffen sind.

Kleinräumige Hochwasserereignisse

Hochwasserereignisse in kleinen Einzugsgebieten können nicht nur durch die Niederschlagsfelder großräumiger Tiefdruckgebiete ausgelöst werden, sondern auch durch kurze aber intensive Starkniederschläge aus Gewittern. Die Häufigkeit des Auftretens von Gewittern ist in Österreich sehr stark von den Alpen geprägt. Die

größte Wahrscheinlichkeit für Gewitter ist im Alpenvorland gegeben. Die Bergketten des Alpenvorlandes, wie etwa die Vorberge im Südosten Oberösterreichs, dienen hierbei als „Heizflächen“, an denen sich im Sommer bei Sonneneinstrahlung die hangnahe Luft stärker erwärmt als die der freien Atmosphäre und deshalb aufsteigt. Bei labiler Luftschichtung bilden sich hier die typischen Wärmegewitter aus. Die Flächen, die durch derartige Gewitter beregnet werden sind in der Größenordnung von 10 bis 100 km². Daher sind hier besonders Einzugsgebiete von dieser Größe betroffen, bzw. die Oberläufe von größeren Einzugsgebieten. Als typisches Beispiele können die Steyr und ihre Zubringer genannt werden.

In Abbildung 5 sind die Regionen mit besonders hoher Gewittertätigkeit in Österreich gekennzeichnet. Als Basis für diese Karte diente die 10 jährige Blitzklimatologie des österreichischen Blitzortungssystems ALDIS (<http://www.aldis.at>). Mit diesem Messsystem kann jeder Blitz räumlich auf 1 km² genau zugeordnet werden. Die in Abbildung 5 gekennzeichneten Regionen weisen eine Blitzdichte von 4 und mehr Blitzen pro km² und Jahr auf.

Aus den Klimaänderungsszenarien können keine direkten Informationen über die Entwicklung der Gewittertätigkeit gewonnen werden. Aus physikalischen Überlegungen scheint jedoch eine Zunahme zumindest der Niederschlagsintensität bei Gewittern sehr wahrscheinlich. Die Auswertungen der PRUDENCE Szenarien (Frei et al. 2005) scheinen diese Annahmen auch zu bestätigen. Eine derartige Zunahme würde sich natürlich in jenen Regionen am stärksten auswirken, an denen bereits heute besonders viele Gewitter vorkommen.

Besonders gewitterträchtige Regionen in Österreich.

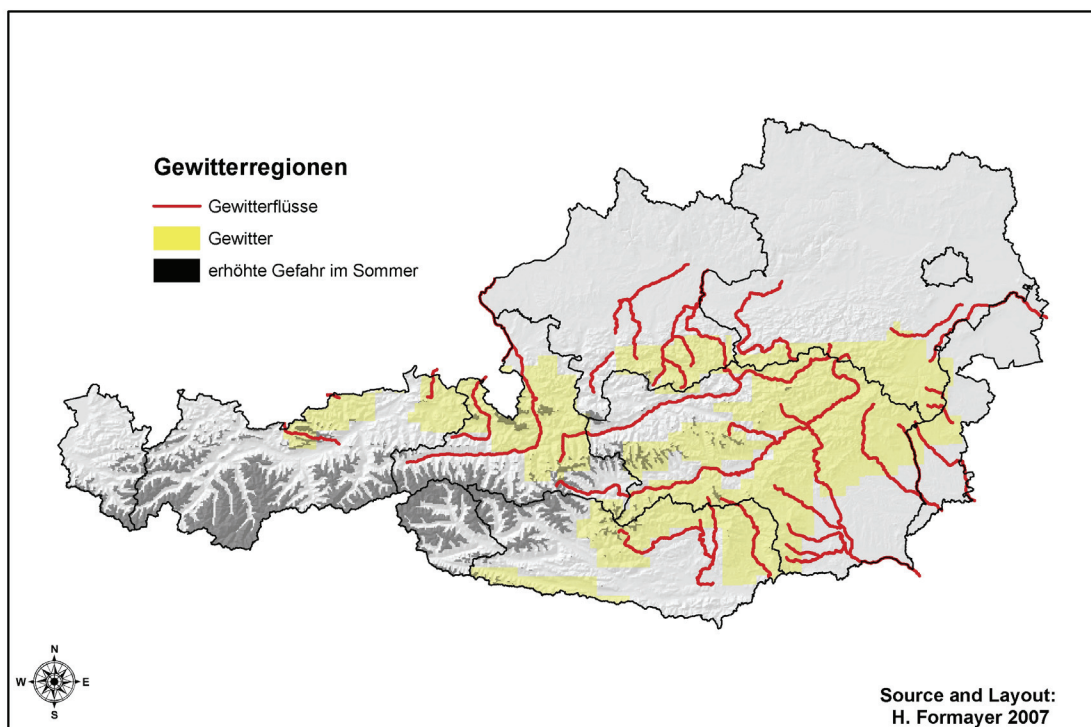


Abb. 5: Besonders gewitterträchtige Regionen in Österreich. Basis 10-jährige Klimatologie der ALDIS – Blitzortung.

4. Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder und Folgen für Hochwasserereignisse

Der Klimawandel beeinflusst das Hochwasserrisiko nicht nur über die Niederschlagsverhältnisse direkt, sondern auch über Veränderungen in der Vegetation und damit über das Abflussverhalten von Einzugsgebieten. Die Vegetation, vor allem der Wald, trägt in zweierlei Hinsicht zum Hochwasserschutz bei. Einerseits wird durch die Interzeption (Benetzung der Blätter und Stämme) der Niederschlag reduziert und die Einsickerungsrate in den Boden erhöht, andererseits schützt die Vegetation den Boden vor Erosion durch Wind und Niederschlag und erhöht damit das Rückhaltevermögen des Einzugsgebietes.

Wälder sind besonders verletzlich durch die Klimaänderung, da aufgrund der langen Lebenszeit der Bäume eine Anpassung nur sehr langsam vor sich gehen kann. Am stärksten betroffen hierbei ist die Fichte. Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung der Fichte wurde diese in den letzten hundert Jahren sehr oft an Standorten gepflanzt, an denen die Klimabedingungen für sie nicht optimal sind. Als Faustformel kann man davon ausgehen, dass an Standorten mit Jahresmitteltemperaturen von mehr als 7°C und Jahresniederschlagssummen unter 800 mm in besonders trockenen Jahren mit Problemen durch Wassermangel und indirekt durch Borkenkäfer zu rechnen ist. Sollte es in Jahren mit extremen Wetterbedingungen zu einem großflächigen Absterben von Fichtenbeständen in Hanglagen kommen, würde dies natürlich auch zu erhöhtem Bodenabtrag durch Erosion führen und damit würde die Wasserspeicherkapazität des Gebietes langfristig reduziert werden.

Nicht nur die Tieflandfichten sind durch den Klimawandel gefährdet. In all jenen Regionen, wo der Jahresniederschlag ähnlich hoch ist, wie die potenzielle Verdunstung, dazu zählen neben dem Flachland im Süden und Osten auch die inneralpinen Trockentäler, ist durch den Anstieg der Verdunstung und der Verschiebung der Niederschläge in den Winter mit Problemen durch Wasserstress zu rechnen.

Aber selbst in einigen Regionen mit anscheinend ausreichenden Niederschlägen sind Probleme bei der Vegetation nicht auszuschließen. Dies hängt mit dem Wasserspeichervermögen verschiedener Böden zusammen. An sehr steilen Hängen, zum Beispiel, fließt ein Grossteil des Regens oberflächlich ab und an sehr seichten Böden ist die Wasserspeicherfähigkeit allein durch das geringe Volumen reduziert. Besonders gefährdet sind hier Standorte auf Kalk, da diese oft nur eine geringe Bodenmächtigkeit aufweisen und das Grundgestein wasserdurchlässig ist. Dadurch könnte es klimabedingt in einigen Gebieten der nördlichen und südlichen Kalkalpen zur Verkarstung kommen, was das Abflussverhalten dieser Regionen deutlich verschlechtern würde.

5. Strategien und Maßnahmen

Es ist zwischen Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen zu unterscheiden, d.h. zwischen Maßnahmen, die dazu dienen, das Ausmaß und die Geschwindigkeit des Klimawandels einzubremsen, und solchen, die dazu verhelfen sollen, mit den Klimaänderungen, die unvermeidlich sind, umzugehen. Minderungsmaßnahmen sind allgemeingültig, d.h. sie sind für alle Arten von Auswirkungen des Klimawandels relevant und sie sind nicht an einen bestimmten Ort gebunden, während Anpassungsmaßnahmen sich jeweils auf eine bestimmte Auswirkung des Klimawandels an ei-

nem bestimmten Ort beziehen. Beide Arten von Maßnahmen müssen gesetzt werden, und in der Praxis ist es ratsam, jeweils beide im Auge zu haben, d.h. bei allen Anpassungsmaßnahmen auch deren Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen zu bedenken und bei Minderungsmaßnahmen, z.B. dem Übergang zu erneuerbaren Energien, sicherzustellen, dass diese auch unter geänderten Klimaverhältnissen noch im erforderlichen Ausmaß zur Verfügung stehen werden.

Minderungsstrategien und -maßnahmen

Die Reduktion der Emissionen ist die einzige aussichtreiche Massnahme zur Minimierung des Klimawandels und seiner Auswirkungen. Die vier grundsätzlich zur Verfügung stehenden Möglichkeiten (Stern 2006) sind:

- a. Senkung des Bedarfes für emissionsintensive Güter und Leistungen
- b. Erhöhung der Effizienz der Nutzung von emissionsintensiven Gütern und Leistungen, insbesondere der Energie
- c. Setzen von Maßnahmen im Bereich der Nicht-Energie Emissionen, wie etwa Übergang zu Biologischer Landwirtschaft oder Aufforstung
- d. Wechsel zu Technologien mit geringeren Kohlenstoffemissionen zur Energie- und Wärmeerzeugung und im Transport

Während der letzten und in vermehrtem Maße auch der zweiten Maßnahme in Österreich zunehmend Beachtung geschenkt wird, werden die anderen beiden, insbesondere die Bedarfssenkung noch kaum diskutiert. Zur Eindämmung des Klimaproblems, insbesondere wenn sich „Peak Oil“ auszuwirken beginnt, wird jedoch in den industrialisierten Staaten die Umsetzung aller Arten von Maßnahmen erforderlich sein, und dies in weit größerem Ausmaß als derzeit von Klimaschutzplänen und –strategien angestrebt wird. Die Möglichkeiten hierzu darzustellen sprengt den Rahmen dieser Analyse.

Anpassungsstrategien und –maßnahmen

In dem Maße, in dem der Klimawandel unvermeidbar geworden ist, müssen sich ökologische, Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme an die veränderten Bedingungen anpassen. Dabei sind zwei Grundprinzipien zu beachten:

1. Die Anpassung muss sich am Klima der Zukunft orientieren, nicht am gegenwärtigen. Das ist insbesondere beim Hochwasserschutz von Bedeutung. Je längerfristig die Anpassungsmaßnahme wirksam bleiben soll, je länger der Zeitraum, für den die Investition gemacht wird, desto längerfristiger muss der Klimawandel betrachtet werden. Für den Klimawandel vorzusorgen bedeutet sozusagen, ein bewegtes Ziel anzupeilen.
2. Exakte Klimaprognosen sind nicht möglich, nicht so sehr weil Modelle immer von der Realität abweichen, sondern vielmehr weil die Menschen selber ihre Zukunft mitbestimmen. Im Falle des Hochwasserschutzes wird die Unsicherheit noch durch Eingriffe des Menschen in die Einzugsgebiete und die Flussläufe verschärft. Zukunftsfähige Systeme, auch Hochwasserschutzsysteme, müssen daher als Teil der Anpassungsstrategie flexibel gestaltet werden, d.h. sie müssen in die Lage versetzt werden, sich den Änderungen dynamisch anzupassen. Auch die Wälder in den Einzugsgebieten sollten z.B. nicht auf eine bestimmte Klimasituation optimiert angepflanzt werden, sondern die Zusammensetzung der Baumarten sollte Spielraum für verschiedene Klimaentwicklungen geben.

Es gibt eine Fülle von Maßnahmen, die zur Anpassung an den Klimawandel im Bereich Hochwasserschutz gesetzt werden können: Das beginnt bei der Verbesserung des Rückhaltevermögens in den Einzugsgebieten, setzt sich bei der Gestaltung der hochwassergefährdeten Flussläufen und ihrer Ausstattung mit Retentionsbecken fort bis hin zu den lokalen, oft technologischen Schutzmaßnahmen. Schließlich muss auch das Katastrophenmanagement in die Überlegungen mit einbezogen werden. Diese Reihenfolge ist auch als Prioritätenfolge zu verstehen, wenn auch - zeitlich gesehen - Maßnahmen in allen Bereichen gleichzeitig gesetzt werden müssen, weil die wichtigeren Maßnahmen im Einzugsgebiet oft längere Umsetzungszeiten haben, als die oft kurzfristig umsetzbaren technologischen Lösungen vor Ort.

Naturnahe, intakte Landschaften, vor allem in den Gebirgslagen, können wesentlich zur Verbesserung des Rückhaltevermögens der betroffenen Einzugsgebiete beitragen. Konkret geht es z.B. um die Förderung von naturnahen Bergwäldern und den Schutz von Feucht- und Mooregebieten. Infrastrukturelle Eingriffe (Skipisten, Verbauungen von Bächen und Flüssen, Wasserkraftanlagen) in empfindliche und gewitteranfällige Regionen sollten vor Genehmigung sorgfältig auf ihre Auswirkungen auf das Abflussverhalten von starken Niederschlägen geprüft werden. Dies gilt im alpinen Bereich ebenso, wie im Bereich des Mühlviertels.

In den besiedelten Gebieten ist darauf zu achten, dass möglichst wenig Fläche versiegelt wird, damit der Niederschlag auch hier in die Böden versickern kann, und nicht oberflächlich und sehr rasch in die Flüsse geleitet wird. In diesem Zusammenhang sind auch Speicher in privaten Haushalten zu begrüßen, die zur Nutzung des Regenwassers angelegt werden. Auch wenn sie mengenmäßig kaum ins Gewicht fallen, haben sie doch einen doppelten Nutzen – die Schonung der Wasserressourcen und die Retention.

Für jene Fälle, in welchen das Rückhaltevermögen nicht ausreicht, und es dennoch zu wesentlich erhöhter Wasserführung der Bäche und Flüsse kommt, müssen Räume geschaffen werden, in denen das Wasser ohne Schaden anzurichten über die Ufer treten kann. Dies bedeutet, dass im Sinne eines ökologischen Hochwasserschutzes die Ufergebiete wo immer möglich rückgebaut werden sollten, ebenso wie die Begradigungen von Flüssen und Bächen, die oft aus einem falsch verstandenen Hochwasserschutz entstanden sind. Ideal wäre es, wenn in großem Stil Flussräume aufgeweitet werden könnten, und den Flüssen neues Land überlassen würde, Auen neugeschaffen würden oder auch ehemaliger Altarme und Seitengewässer wieder eingebunden würden. Die gezielte Schaffung von Retentionsbecken, durch welche die Wasserkapazität der Flussräume erhöht wird steht also in diesem Bereich im Vordergrund. Dies wird vor allem für länger anhaltenden Niederschlägen, etwa in Zusammenhang mit Vb-Lagen, oder bei einer Kombination von Schneeschmelze und Niederschlag von Bedeutung sein.

Technologische Maßnahmen, wie Hochwasserdämme oder Schutzmaßnahmen im Bereich einzelner Häuser, können der Verhinderung oder Eindämmung des direkten Schadens dienen, oder auch Sekundärschäden, wie etwa das Auslaufen von Öltanks in das Wasser, dienen. Die Optionen sind vielfältig und liegen teils in der Verantwortung von Behörden, teils in der Verantwortung der Einzelnen oder des Einzelnen.

Wenn es trotz dieser Maßnahmen zum Hochwasser kommt, können Katastrophenschutzpläne wesentliches zur Minimierung des Schadens beitragen. Retentionsbecken können Hochwasserwellen glätten und die Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser reduzieren, und damit auch den Einsatzkräften im Bereich des Hochwasserschutzes etwas mehr Zeit geben.

Bei allen Anpassungsmaßnahmen ist es wichtig, den regionalen und überregionalen Aspekt zu berücksichtigen. Das Hochwasser 2002 hat an vielen Beispielen deutlich gezeigt, dass unkoordinierte Planung ebenso wie unkoordinierte Präventiv und Katastrophenschutzmaßnahmen den Schaden vergrößern können. Dies gilt auch für größere infrastrukturelle Eingriffe, wie sie etwa jetzt in Zusammenhang mit dem von manchen angestrebten raschen und vollständigem Ausbau der Wasserkraft erfolgen könnten. Die angesetzten Planungszeiträume müssen den Erfordernissen überregionaler Studien Rechnung tragen.

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, dass praktisch alle österreichischen Flüsse durch den einen oder anderen klimasensitiven Prozess betroffen sind, manche auch durch mehrere. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Flüsse die von allen drei diskutierten Prozessen betroffen sind, wurden rot eingezeichnet. Flüsse die durch zwei Prozesse betroffen sind – meist die Überlagerung der Vb-Region mit der Schneegrenzenregion – sind braun eingezeichnet und Flüsse die nur von einem Prozess beeinflusst werden sind gelb dargestellt.

Eine Erhöhung der Niederschlagsintensität bei Gewittern würde in erster Linie kleine Einzugsgebiete betreffen. Dies sind die Oberläufe der in Abbildung 7 eingezeichneten Flüsse, ihre Zubringer und nicht eingezeichnete kleinere Zubringer. Auch die Verschiebung der Schneegrenze betrifft eher kleine Einzugsgebiete und im Sommer nur die hochalpinen Regionen. Nur eine Überlagerung der Schneeschmelze mit intensiven Niederschlägen wirkt sich auch auf große Einzugsgebiete aus. Veränderungen der Vb-Wetterlagen hingegen wirken sich großflächig aus und das kann selbst an der Donau zu Hochwasser führen.

Betrachtet man die Situation in Oberösterreich genauer (Abbildung 7), so sieht man, dass die Zubringer der Steyr und die östlichen Zubringer der Traun im Bereich des Alpenvorlandes von allen drei Faktoren betroffen sind. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Zunahme des Hochwasserrisikos hier am größten ist. In die nächste Kategorie fallen die Flüsse aus dem Hausruck, dem Böhmerwald und dem Weinsberger Wald, die sowohl von den großräumigeren, intensiven Niederschlägen der Vb-Lagen, als auch durch die veränderten Schneegrenzen betroffen sein können. Die Unterläufe und die größeren Flüsse sind schließlich in erster Linie von dem Risiko betroffen, das von den Vb-Lagen ausgeht.

Alle eingezeichneten Flüsse Oberösterreichs sind im Anhang in einer Tabelle zusätzlich aufgelistet und deren Beeinflussung durch die verschiedenen risikoerhöhenden Prozesse angeführt.

Betrachtet man verallgemeinernd Regionen statt einzelner Flüsse (Abbildung 8), so sieht man, dass im Grunde in ganz Österreich die meteorologischen Voraussetzungen für Hochwasser mit dem Klimawandel zunehmen. Diese Risikozunahme ist regional auf unterschiedliche Prozesse zurückzuführen. Wo drei Faktoren eine Zunahme des Hochwasserrisikos verursachen können, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Risikoerhöhung tatsächlich eintritt am größten.

Szenarien flubezogener Auswirkungen des Klimawandels auf zukünftige Hochwasserereignisse in Österreich.

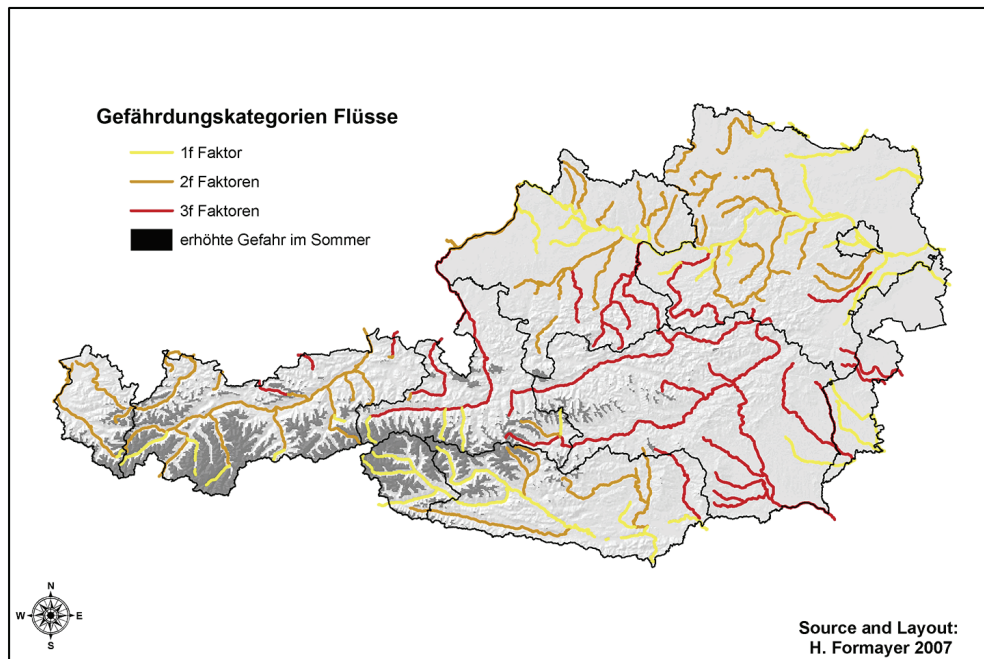


Abb. 6: Flüsse in Österreich mit erhöhtem Hochwasserrisiko infolge des Klimawandels: Rot kennzeichnet Flüsse, die von allen Prozessen betroffen sind, braun die von jeweils zwei Prozessen und gelb die von einem Prozess betroffenen.

Szenarien flubezogener Auswirkungen des Klimawandels auf zukünftige Hochwasserereignisse in Oberösterreich.

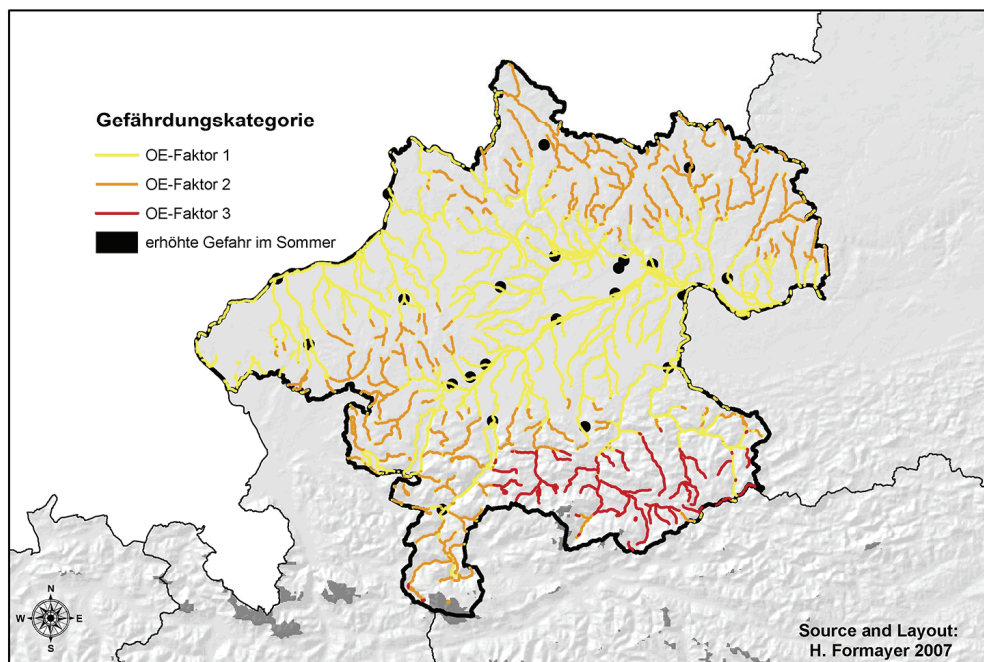


Abb. 7: Flüsse in Oberösterreich mit erhöhtem Hochwasserrisiko infolge des Klimawandels: Rot kennzeichnet Flüsse, die von allen drei erläuterten Prozessen betroffen sind, braun die von jeweils zwei Prozessen und gelb die von einem Prozess betroffenen.

Szenarien regionaler Auswirkungen des Klimawandels auf zukünftige Hochwasserereignisse in Österreich.

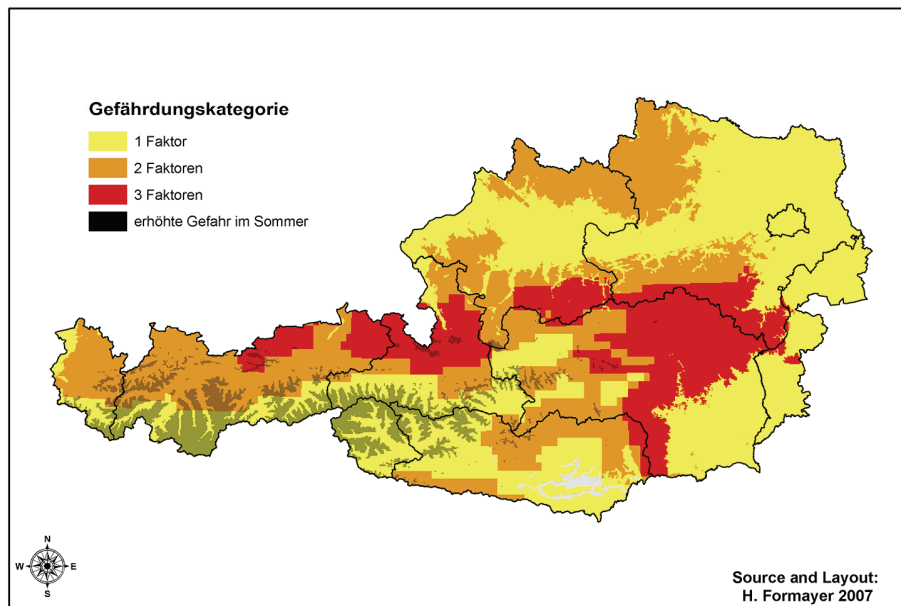


Abb. 8: Regionen, in denen sich das Hochwasserrisiko infolge des Klimawandels erhöht. Rot sind jene Regionen eingefärbt, die von allen drei hier diskutierten Prozessen betroffen sind, braun die von jeweils zwei Prozessen und gelb die von einem der Prozesse betroffenen.

Szenarien regionaler Auswirkungen des Klimawandels auf zukünftige Hochwasserereignisse in Oberösterreich.

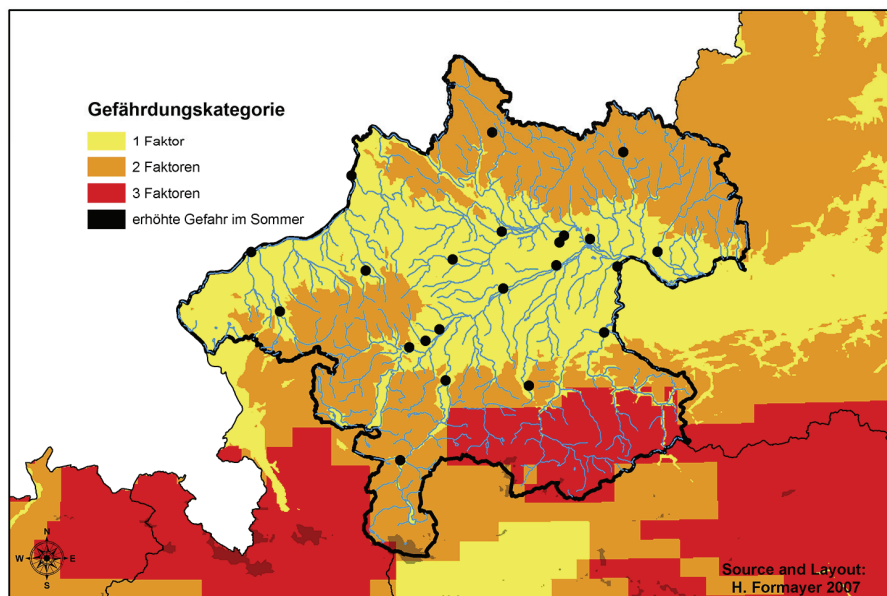


Abb. 9: Wie Abbildung 8 aber zentriert auf Oberösterreich

Das Ausmaß der Risikoerhöhung lässt sich aus diesen Überlegungen und Darstellungen aber nicht ableiten. Aufgrund der wissenschaftlichen Probleme, mit denen die Modellierung des Niederschlages noch immer kämpft, können die Aussagen derzeit nur qualitativer Natur sein. Es ist noch nicht möglich für einen speziellen Fluss genau anzugeben, wie sich die Jährlichkeiten von Hochwasser verschieben werden.

Um quantitativen Aussagen näher zu kommen sind vielfältige Forschungsaktivitäten notwendig. Neben der Weiterentwicklung von globalen und regionalen Klimamodellen müssen vor allem die Interaktionen und Rückkoppelungen des Systems Niederschlag – Vegetation – Boden im alpinen Bereich noch besser verstanden werden.

Dennoch kann schon jetzt das Studium der lokalen Gegebenheiten und die Analyse vergangener Hochwasserereignisse und deren Auslöser im Einzelfall eine genauere Bewertung der möglichen Auswirkungen der Änderungen der drei Einflussfaktoren ermöglichen. Dabei sind kleinräumige hydrologische Modelle, gekoppelt mit Abflussmodellen, sehr hilfreich. Mit derartigen Modellen können auch verschiedenen Klimaszenarien durchgespielt werden, um die Bandbreite der möglichen Änderungen zu erfassen. Wegen des damit verbundenen Aufwandes werden solche Analysen immer nur für konkrete Einzugsgebiete, mit einer diesen Einzugsgebieten entsprechenden räumlichen und zeitlichen Auflösung durchgeführt. Derartige Berechnungen werden etwa im Rahmen der aktuellen Etappe des österreichischen Forschungsprogramms Floodrisk durchgeführt.

Allgemein kann gesagt werden, dass obwohl man nicht quantifizieren kann, wie sich letztlich das Gesamtrisiko für Hochwasser in Oberösterreich durch den Klimawandel verändern wird, auf jeden Fall mit Veränderungen, insbesondere mit saisonalen und regionalen Verschiebungen des Risikos gerechnet werden muss. Diesen Veränderungen in den meteorologischen Auslösern von Hochwasser kann jedoch durch Vorsorgemaßnahmen weitgehend begegnet werden. Das beginnt bei der raum- und landschaftsplanerischen Gestaltung der Einzugsgebiete und Flusssufer und geht hin bis zu technischen Hochwasserschutzeinrichtungen und Katastrophenschutzplänen. Im Sinne der Anpassung an den Klimawandel sollten die Hochwasservorsorgemaßnahmen in Hinblick diese möglichen Änderungen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass der Klimawandel ein progressiver Prozess ist, und die Maßnahmen sich an der zukünftigen, nicht der aktuellen Klimasituation orientieren müssen.

Literatur

- Christensen, J.H., T.R. Carter, and F. Giorgi, 2002: PRUDENCE Employs New Methods to Assess European Climate Change, EOS, AGU, 83, 147.
- Formayer, H. 2006: Analyse der modellierten Niederschläge in den 1999 reclip-Jahresläufen: Reclio:more Workshop Wien 2006.
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., Vidale, P.L., 2005: Future Change of Precipitation in Europe: An Intercomparison of Scenarios from Regional Climate Models. Eingereicht bei J. Geophys. Res.
- Habersack, H., Moser, A. (2003): Ereignisdokumentation Hochwasser August 2002, Plattform Hochwasser. 1, 184 S; ZENAR, Hrsg.: ZENAR, Universität für Bodenkultur Wien; BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- RECLIP 2005: <http://systemsresearch.arcs.ac.at/projects/climate/>
- Seibert, P., Frank, A., Formayer, H., 2006: Synoptic and regional patterns of heavy precipitation in Austria. Theor. Appl. Climatol. 000, 1–15 (2006)
- Stern, (2006): STERN REVIEW: The Economics of Climate Change. http://www.hm-treasury.gov.uk/Independent_Reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.c (Zugriffsdatum: 23.10.2006)

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Regionen Österreichs, in denen gleichzeitig Starkniederschläge auftreten. Modifiziert nach Seibert et. Al., 2007.....	8
Abb. 2: Regionen, die durch den Anstieg der Schneefallgrenze voraussichtlich am stärksten betroffen sein werden. Die hellblauen Regionen im Winter und Frühjahr, die dunkelblauen Regionen im Sommer.	11
Abb. 3: Niederschlagsverteilung beim Augusthochwasser 2002 (links) und beim Maihochwasser 1999 (rechts). Die Niederschlagsereignisse im Mai 1999 und im August 2002 waren beide durch Vb-ähnliche Wetterlagen verursacht. Datenquelle Habersack et al., 2003 und Formayer et al. 2006.	12
Abb. 4: Regionen, die durch Vb-Lagen und Vb-ähnliche Wetterlagen besonders betroffen sind.	13
Abb. 5: Besonders gewitterträchtige Regionen in Österreich. Basis 10-jährige Klimatologie der ALDIS – Blitzortung.	14
Abb. 6: Flüsse in Österreich mit erhöhtem Hochwasserrisiko infolge des Klimawandels: Rot kennzeichnet Flüsse, die von allen Prozessen betroffen sind, braun die von jeweils zwei Prozessen und gelb die von einem Prozess betroffenen.	19
Abb. 7: Flüsse in Oberösterreich mit erhöhtem Hochwasserrisiko infolge des Klimawandels: Rot kennzeichnet Flüsse, die von allen drei erläuterten Prozessen betroffen sind, braun die von jeweils zwei Prozessen und gelb die von einem Prozess betroffenen.	19
Abb. 8: Regionen, in denen sich das Hochwasserrisiko infolge des Klimawandels erhöht. Rot sind jene Regionen eingefärbt, die von allen drei hier diskutierten Prozessen betroffen sind, braun die von jeweils zwei Prozessen und gelb die von einem der Prozesse betroffenen.	20
Abb. 9: Wie Abbildung 8 aber zentriert auf Oberösterreich	20
Tabelle der in der Oberösterreichgraphik dargestellten Flüsse und die Anzahl der Einflussfaktoren die auf den Fluss einwirken.	24

Anhang

Tabelle der in den Oberösterreich- Graphiken (Abbildung 7 und 9) dargestellten Flüsse und die Anzahl der Einflussfaktoren die auf jeden Fluss einwirken.

1 Faktor

Aagbach
Ach
Aeusserer Weissenbach
Ager
Aist
Aist-Muehlbach
Aiterbach
Alm
Almesmuehlbach
Almsee
Altbach
Ampflwanger Bach/Muehlbach
Antiesen
Aschach
Aschach Arm
Astenbach/St.Marienbach
Attersee (Kammersee)
Aubach
Aurach
Bachmuellerbach
Badlbach
Bleicherbach
Breitsach
Brummermuehlbach
Dachsberger Bach
Daglesbach
Dambach
Dammbach
Deiminger Bach
Diesenbach
Diesenleitenbach
Dimbach
Donau
Duerre Ager
Duerre Aurach
Duerre Laudach
Duerrenbach
Edlbach
Egelsee
Eidsbach
Eissee
Ellrechinger Bach
Engelbach
Enknach
Enns
Entenlacke

2 Faktoren

Aagbach
Aeusserer Weissenbach
Aiterbach
Alm
Almesmuehlbach
Almsee
Altbach
Ampflwanger Bach/Muehlbach
Antiesen
Attersee (Kammersee)
Aubach
Aurach
Bachmuellerbach
Bleicherbach
Breitsach
Brummermuehlbach
Daglesbach
Dambach
Dammbach
Diesenbach
Diesenleitenbach
Dimbach
Duerre Ager
Duerre Aurach
Duerre Laudach
Duerrenbach
Edlbach
Egelsee
Eidsbach
Eissee
Enns
Eschelbach
Feichlbach/Kleiner Kesselbach
Feistritz
Felberbach
Feldaist
Fichtbach/Schwaiblach
Fillmannsbach/Steckenbach
Flammbach
Flanitz
Frauenweissenbach
Frenzbach
Freudenthaler Ache
Froscherbach
Fuschler Ache
Gaflenz/Klinglbach

3 Faktoren

Aagbach
Alm
Almsee
Dambach
Duerrenbach
Edlbach
Enns
Frenzbach
Gaflenz/Klinglbach
Gleinkersee
Gosaubach
Grieseneckbach/Steinbach
Grosser Bach
Grosser/Kleiner Oedsee
Grossgschnaidtbach
Hammergrabenbach
Haselbach
Hinterer Gosausee
Hinterer Rettenbach
Hintersteinbach/Pyhrnbach
Krumme Steyr
Krumme Steyrling/Rumpelmayrbach
Laussabach/Rotkreuzbach
Loigisbach
Offensee
Offenseebach
Paltenbach
Pleissabach
Reichraming
Retschitz/Piessling
Rindbach
Schaffenteich
Schindlbach/Schwarzenbach
Schwarzer Bach/Saigerinbach
Sitzenbach
Steyr
Steyrling
Stossbach/Schwarzenbach
Straneggbach
Teichl/Teichlbach
Traun/Koppentraun
unbestimmt
Vorderer Gosausee
Vorderer Rinnbach
Weissenbach
Weisseneggbach

1 Faktor

Eschelbach
 Faule Aschach
 Feichlbach/Kleiner Kesselbach
 Feilbach/Kristeinbach
 Feistritz
 Felberbach
 Feldaist
 Fernbach
 Fichtbach/Schwaiblach
 Fillmannsbach/Steckenbach
 Flambach
 Flanitz
 Frauenweissenbach
 Frenzbach
 Freudenthaler Ache
 Froscherbach
 Fuschler Ache
 Gaflenz/Klinglbach
 Gehnbach
 Giessenbach
 Gimbach/Schwarzenbach
 Gleinkersee
 Gosaubach
 Gosaulacke
 Grabenbach
 Grabensee
 Graslbach
 Grenzbach
 Grieseneckbach/Steinbach
 Grossbach
 Grosse Gusen/Rohrbach
 Grosse Muehl
 Grosse Naarn
 Grosse Rodl
 Grosser Bach
 Grosser Kamp
 Grosser Zlambch/Leislingbach
 Grosser/Kleiner Oedsee
 Grossgschnaidtbach
 Gruenaubach
 Gruenbach
 Gurtenbach
 Gusen
 Haarmuehler Bach
 Hackinger Bach
 Hagleithenbach
 Haidinger Bach
 Hainbach/Muehlbach
 Hammergrabenbach
 Hartbach
 Haselbach
 Heratinger See
 Hinterer Gosausee
 Hinterer Langbathsee
 Hinterer Rettenbach

2 Faktoren

Giessenbach
 Gimbach/Schwarzenbach
 Gleinkersee
 Gosaubach
 Gosaulacke
 Grabenbach
 Grabensee
 Graslbach
 Grenzbach
 Grieseneckbach/Steinbach
 Grosse Gusen/Rohrbach
 Grosse Muehl
 Grosse Naarn
 Grosse Rodl
 Grosser Bach
 Grosser Kamp
 Grosser Zlambch/Leislingbach
 Grosser/Kleiner Oedsee
 Grossgschnaidtbach
 Gruenaubach
 Haarmuehler Bach
 Hainbach/Muehlbach
 Hammergrabenbach
 Hartbach
 Haselbach
 Hinterer Gosausee
 Hinterer Langbathsee
 Hinterer Rettenbach
 Hintersteinbach/Pyhrnbach
 Hirschbach
 Hoellbach
 Irrsee (ZellerSee)
 Ischl
 Jaunitz
 Kaefermuehlbach
 Kafferbach
 Karbach
 Kettenbach
 Kienbach
 Klausbach
 Klausteich
 Kleine Gusen
 Kleine Muehl
 Kleine Naarn
 Kleine Rodl
 Kleine Ysper/Angerbach
 Knallbach/Weissenbach
 Koesslbach
 Kramser Bach
 Krems
 Kronbach
 Krumme Steyr
 Krumme Steyr/ling/Rumpelmayrbach
 Lainaubach
 Langbathbach

3 Faktoren

Wendbach
 Winkler Bach
 unbestimmt
 Vorderer Gosausee
 Vorderer Rinnbach
 Weissenbach
 Weisseneggbach
 Wendbach
 Winkler Bach

1 Faktor

Hintersteinbach/Pyhrnbach
 Hirschbach
 Hoellbach
 Hoellerer See
 Huettinger Altarm
 Inn
 Innbach
 Ipfbach
 Irrsee (ZellerSee)
 Ischl
 Jaunitz
 Kaefermuehlbach
 Kafferbach
 Karbach
 Katzenbach
 Kettenbach
 Kienbach
 Klambach
 Klausbach
 Klausteich
 Kleine Gusen
 Kleine Muehl
 Kleine Naarn
 Kleine Rodl
 Kleine Ysper/Angerbach
 Knallbach/Weissenbach
 Koesslbach
 Kramser Bach
 Krems
 Kretschbach
 Kroissbach/Schwaigerbach
 Kronbach
 Krumme Steyr
 Krumme Steyrling/Rumpelmayrbach
 Lainaubach
 Langbathbach
 Langstoeger Bach
 Laudach
 Laudachsee
 Laussabach/Koglerbach
 Laussabach/Rotkreuzbach
 Leitenbach
 Leitnerbach
 Loigisbach
 Maltsch
 Mattig
 Mattsee (NiedertrumerSee)
 Messenbach
 Mettensdorfer Muehlbach
 Mettmach
 Mirellenbach
 Mittermeissenbach
 Mitterwasser
 Modlerbach/Tobrabach/Tobrakanal
 Moenichsee

2 Faktoren

Laudach
 Laudachsee
 Laussabach/Koglerbach
 Laussabach/Rotkreuzbach
 Leitenbach
 Loigisbach
 Maltsch
 Mattig
 Mattsee (NiedertrumerSee)
 Mirellenbach
 Mittermeissenbach
 Moenichsee
 Mondsee
 Moosbach
 Moosbach/Lochbach
 Naarn
 Natternbach
 Neundlinger Bach
 Neustiftbach/Hundsbach
 Neuwiesbach
 Nussbach
 Nussenbach
 Nussensee
 Oberach
 Oberer Rosenhofer Teich
 Offensee
 Offenseebach
 Osterbach/Grenzbach/Finsterbach
 Paltenbach
 Pechgrabenbach
 Pesenbach
 Pfrillenbach
 Pfudabach
 Pieberbach
 Pleissabach
 Pram
 Rainbach
 Ramingbach/Raming
 Ranitz
 Rannabach/Ranna
 Redlbach
 Reichraming
 Reiterbach
 Retschitz/Piessling
 Rettenbach
 Riedbach/Sipbach
 Rindbach
 Rinnerberger Bach
 Rodlbach
 Ruezingbach
 Sagmuellerbach
 Sandbach
 Sarmingbach
 Schaffenteich
 Schallenbergbach/Distelbach

3 Faktoren

1 Faktor

Mondsee
 Moosach
 Moosbach
 Moosbach/Lochbach
 Muehlbach
 Muehlbach/Grenzbach
 Naarn
 Natternbach
 Neundlinger Bach
 Neustiftbach/Hundsbach
 Neuwiesbach
 Nonsbach
 Nussbach
 Nussenbach
 Nussensee
 Oberach
 Oberer Rosenhofer Teich
 Oberwasserkanal
 Ofenwasser
 Offensee
 Offenseebach
 Oichtenbach
 Osterbach/Grenzbach/Finsterbach
 Osternach
 Paltenbach
 Pechgrabenbach
 Pesenbach
 Pfrillenbach
 Pfudabach
 Piberbach
 Pieberbach
 Pladenbach
 Pleissabach
 Polsenz
 Pram
 Prambach
 Rainbach
 Ramingbach/Raming
 Ranitz
 Rannabach/Ranna
 Redlbach
 Reichenbach
 Reichraming
 Reiterbach
 Retschitz/Piessling
 Rettenbach
 Riedbach/Sipbach
 Rieder Bach
 Rindbach
 Rinnerberger Bach
 Rodlbach
 Rottenbach
 Ruezingbach
 Sagmuellerbach
 Salzach

2 Faktoren

Schaubach
 Schauerbach
 Schindlbach/Schwarzenbach
 Schurzmuehlbach
 Schwarzabach
 Schwarze Aist
 Schwarzensee
 Schwarzer Bach/Saigerinbach
 Schwemmbach
 Schwemmbach/Kammleitenbach
 Seeache
 Seetalsee (Hoelltalsee)
 Senfmuehlbach
 Sengerleitenbach/Sandbach
 Sickingbach/Steinbach
 Sitzenbach
 St.Veiter Bach
 Stampfenbach
 Steinbach
 Steinerne Muehl
 Steyr
 Steyrling
 Stossbach/Schwarzenbach
 Straneggbach
 Sulzbach
 Teichl/Teichlbach
 Trambach
 Trattnach
 Traun/Koppentraun
 unbestimmt
 Unterer Rosenhofer Teich
 Visnitz
 Voeckla
 Vogelsammuehlbach
 Vorderer Gosausee
 Vorderer Langbathsee
 Vorderer Rinnbach
 Waldaist
 Waldbach
 Waldzeller Ach (Pollinger Bach)
 Wangauer Ache
 Weinbach
 Weisse Aist
 Weissenbach
 Weissenbach/Finsterholzbach
 Weisseneggbach
 Wendbach
 Weyregger Bach/Weidensbach
 Winkler Bach
 Wolfgangsee (Abersee)
 Zeller Ache
 Zwettlbach

3 Faktoren

1 Faktor

Sandbach
Sarmingbach
Schaffenteich
Schallenbergbach/Distelbach
Schaubach
Schauerbach
Schindlbach/Schwarzenbach
Schurzmuehlbach
Schwanenbach
Schwarze Aist
Schwarzensee
Schwarzer Bach/Saigerinbach
Schwemmbach
Schwemmbach/Kammleitenbach
Schwemmnaarn
Seeache
Seeleitensee
Seetalsee (Hoelltalsee)
Senfmuehlbach
Sengerleitenbach/Sandbach
Sickingbach/Steinbach
Simsenbergbach/Penkingbach
Sitzenbach
St.Veiter Bach
Stampfenbach
Steinbach
Steinerne Muehl
Steyr
Steyrling
Stillbach
Stossbach/Schwarzenbach
Straneggbach
Sulzbach
Teichl/Teichlbach
Thalbach
Todtmannbach/Hoeribach
Trambach
Trattnach
Traun/Koppentraun
unbestimmt
Unterer Rosenhofer Teich
Visnitz
Voeckla
Vogelsammuehlbach
Vorderer Gosausee
Vorderer Langbathsee
Vorderer Rinnbach
Waldaist
Waldbach
Waldzeller Ach (Pollinger Bach)
Wambach
Wangauer Ache
Weikerlsee
Weinbach
Weisse Aist

2 Faktoren**3 Faktoren**

1 Faktor

Weissenbach
Weissenbach/Finsterholzbach
Weisseneggbach
Wendbach
Werkskanal
Weyregger Bach/Weidensbach
Wimbach
Winkler Bach
Wolfgangsee (Abersee)
Zeller Ache
Zwettlbach

2 Faktoren**3 Faktoren**

Forschungsreihe: „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“

Band 1: Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen

Band 2: Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich

Band 3: Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich

Bisher erschienen in der Reihe BOKU-Met Report:

Berichte von 2003 – 2008

- 1 Eitzinger, J., Kubu, G., Formayer, H., Haas, P., Gerersdorfer, T., Kromp-Kolb, H. (2009): **Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedlersees** (Endbericht im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung vom 15. Juli 2005).
- 2 Frank, A., Seibert, P. (2009): **Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern** (Endbericht StartClim.4, November 2003).
- 3 Formayer, H., Matulla, C., Haas, P., Groll, N. (2009): **Statistische Downscalingverfahren zur Ableitung von Extremereignissen in Österreich aus GCM-Feldern** (Endbericht StartClim.5, November 2003).
- 4 Schwarzl, I., Haas, W. (2009): **Kommunikation an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung** (Endbericht StartClim.11, November 2003).
- 5 Formayer, H., Haas, P., Matulla, C., Frank, A., Seibert, P. (2009): **Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich** (Endbericht StartClim2004.B, November 2003).
- 6 Schwarzl, I., Lang, E. (2009): **"Hängen Hitze und Leistungsfähigkeit zusammen?"** Ein Projekt an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung (Endbericht StartClim2004.G, Jänner 2005).
- 7 Formayer, H., Kromp-Kolb, H. (2009): **Hochwasser und Klimawandel**. Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Österreich (Endbericht WWF 2006).
- 8 Gerersdorfer, T., Frank, A., Formayer, H., Haas, P., Moshhammer, H. (2009): **Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima** (Endbericht StartClim2005.A1b, November 2006).
- 9 Krüger, B. C., Schicker, I., Formayer, H., Moshhammer, H. (2009): **Feinstaub und Klimawandel – Gibt es Zusammenhänge in Nordostösterreich?** (Endbericht StartClim2006.A, Juli 2007).
- 10 Rössler, M., Laube, W., Weihs, P. (2009): **Avoiding bird collisions with glass surfaces**. Experimental investigations of the efficacy of markings on glass panes under natural light conditions in Flight Tunnel II (Final report, March 2007).
- 11 Formayer, H., Hofstätter, M., Haas, P. (2009): **Untersuchung der Schneesicherheit und der potenziellen Beschneigungszeiten in Schladming und Ramsau** (Endbericht STRATEGE, Oktober 2007).
- 12 Kromp-Kolb, H., Formayer, H., Haas, P., Hofstätter, M., Schwarzl, I. (2009): **Beobachtete Veränderung der Hitzeperioden in Oberösterreich und Abschätzung der möglichen zukünftigen Entwicklungen** (Endbericht Band 1 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Februar 2007).
- 13 Moshhammer, H., Gerersdorfer, T., Hutter, H.-P., Formayer, H., Kromp-Kolb, H., Schwarzl, I. (2009): **Abschätzung der Auswirkungen von Hitze auf die Sterblichkeit in Oberösterreich** (Endbericht Band 3 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Juli 2007).
- 14 Formayer, H., Kromp-Kolb, H., Schwarzl, I. (2009): **Auswirkungen des Klimawandels auf Hochwasserereignisse in Oberösterreich** (Endbericht Band 2 der Forschungsreihe „Auswirkungen des Klimawandels auf Oberösterreich“, Mai 2007).

Alle Berichte sind unter <http://www.boku.ac.at/met/report/> online verfügbar.