

StartClim

Anpassung an den Klimawandel:

Gletscherrückgang und
Permafrostveränderung in hochalpinen
Tourismusdestinationen



**BUNDESMINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND**

1010 Wien | Stubenring 1 | www.bmwfj.gv.at

IMPRESSUM

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Sektion Tourismus und Historische Objekte, Abteilung 3
1010 Wien, Stubenring 1

Layout: Alexandra Eigner, III/3 Tourismus-Servicestelle

Satz und Druck: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Wien 2011

Website: www.bmwfj.gv.at

Foto Umschlag: © Dr. Lieb, Uni Graz

Inhaltsverzeichnis

Heft I

**StartClim2009
Anpassung an den Klimawandel in Österreich
Endbericht**

Heft II

**Abschätzungen des derzeitigen und zukünftigen
Gefährdungspotentials für Apintouristinnen/
-touristen und Infrastruktur bedingt durch
Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im
Großglockner-Pasterzengebiet
(Hohe Tauern, Österreich)**

Anpassung an den Klimawandel: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich

Endbericht

November 2010



lebensministerium.at

BM.W.F^a

bm w fi

Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend

Die Österreichische
Hagelversicherung *HV*



 **BUNDESMINISTERIUM
FÜR GESUNDHEIT**

 **Verbund**
Austrian Hydro Power


OESTERREICHISCHE
NATIONALBANK

umweltbundesamt^U

StartClim2009

Anpassung an den Klimawandel: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich

Endbericht

Projektleitung

Institut für Meteorologie
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien
Univ.-Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb

Auftraggeber

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Bundesministerium für Gesundheit
Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend
Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung
Österreichische Bundesforste
Österreichische Nationalbank
Österreichische Hagelversicherung
Umweltbundesamt
Verbund AHP

Administrative Projektkoordination

Umweltbundesamt

Wien, November 2010

StartClim2009

„Anpassung an den Klimawandel: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich“

Projektleitung: Institut für Meteorologie
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)
Peter Jordan Straße 82, 1190 Wien
URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>
<http://www.wau.boku.ac.at/met.html>

Redaktion

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

Wien, November 2010

Beiträge aus StartClim2009

StartClim2009.A: Klimatisch beeinflusste Vegetationsentwicklung und Nutzungsintensivierung von Fettwiesen im österreichischen Berggebiet. Eine Fallstudie aus dem Kerngebiet der österreichischen Grünlandwirtschaft

Institut für Botanik, BOKU: Gabriele Bassler, Gerhard Karrer,
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer
LFZ-Raumberg-Gumpenstein Andreas Schaumberger, Andreas Bohner,
Walter Starz
Bio Ernte Steiermark: Wolfgang Angeringer

StartClim2009.B: Klima-Response von Fichtenherkünften im Alpenraum – Eine Adaptionsmöglichkeit für die österreichische Forstwirtschaft

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und
Landschaft: Silvio Schüler, Stefan Kapeller,
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Johann Hiebl

StartClim2009.C: Analyse von Vulnerabilität und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Biosphärenpark Wienerwald

Institut für Waldbau, BOKU: Stefan Schörghuber, Werner Rammer, Rupert
Seidl, Manfred J. Lexer

StartClim2009.D: Humusbilanzierung als praxisgerechtes Tool für Landwirte zur Unterstützung einer CO₂-speichernden Landwirtschaft

Bio Forschung Austria: Wilfried Hartl, Eva Erhart

StartClim2009.E: Adapting office buildings to climate change: Optimization of thermal comfort and Energy demand

Danube University Krems: Tania Berger, Peter Pundy

StartClim2009.F: AlpinRiskGP - Abschätzung des derzeitigen und zukünftigen Gefährdungspotentials für Alpentouristinnen/-touristen und Infrastruktur bedingt durch Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im Großglockner-Pasterzengebiet (Hohe Tauern, Österreich)

Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz:
Gerhard Karl Lieb, Katharina Kern, Gernot Seier,
Andreas Kellerer-Pirklbauer-Eulenstein, Ulrich Strasser,

Wissenschaftliche Leitung und Koordination

Institut für Meteorologie, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien
Univ. Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb, Mag. Ingeborg Schwarzl

Wissenschaftlicher Beirat

Dr. Gerhard Berz, ehem. Münchener Rückversicherung
Dr. Jill Jäger, Sustainable Europe Research Institute (SERI)
Prof. Dr. Hartmut Graßl, Max-Planck-Institut für Meteorologie/Universität Hamburg

Koordinierungsgremium

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Elfriede Fuhrmann, Helmut Hojesky, Birgit Kaiserreiner,
Barbara Kronberger-Kießwetter, Florian Rudolf-Miklau, Heinz Stiefelmeyer,
Stefan Vetter

Bundesministerium für Gesundheit

Ulrich Herzog, Fritz Wagner, Robert Schlögel

Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung

Christian Smoliner, Ingrid Elue

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend

Eva Dolak, Herwig Dürr, Monika Wallergraber

Österreichische Bundesforste

Norbert Putzgruber

Österreichische Hagelversicherung

Kurt Weinberger, Josef Rohregger

Österreichische Nationalbank

Johann Jachs

Umweltbundesamt

Karl Kienzl, Maria Balas, Sabine McCallum

Verbund AHP

Otto Pirker, Michael Tauber

Administrative Projektkoordination

Umweltbundesamt
Maria Balas, Karl Kienzl, Sabine McCallum

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
1 Das Forschungsprogramm StartClim	11
2 StartClim2009.A: Klimatisch beeinflusste Vegetationsentwicklung und Nutzungsintensivierung von Fettwiesen im österreichischen Berggebiet. Eine Fallstudie aus dem Kerngebiet der österreichischen Grünlandwirtschaft	12
3 StartClim2009.B: Klima-Response von Fichtenherkünften im Alpenraum – Eine Adaptionmöglichkeit für die österreichische Forstwirtschaft	15
4 StartClim2009.C: Analyse von Vulnerabilität und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Biosphärenpark Wienerwald	17
5 StartClim2009.D: Humusbilanzierung als praxisgerechtes Tool für Landwirte zur Unterstützung einer CO ₂ -speichernden Landwirtschaft	20
6 StartClim2009.E: Optimierung des thermischen Innenraumkomforts in Wiener Büros zur Anpassung an erhöhte Sommertemperaturen in Gefolge des Klimawandels	23
7 StartClim2009.F: AlpinRiskGP – Abschätzung des derzeitigen und zukünftigen Gefährdungspotentials für Alpentouristinnen/Alpentouristen und Infrastruktur bedingt durch Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im Großglockner-Pasterzengebiet (Hohe Tauern, Österreich)	26
Literaturverzeichnis	28
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	43
Anhang	45

Kurzfassung

Analysen der Auswirkungen des Klimawandels und entsprechende Minderungsmaßnahmen sind in vielen Bereichen bereits etabliert und als notwendige Maßnahmen anerkannt. Das Wissen um die Notwendigkeit der Anpassung an den Klimawandel ist jedoch noch nicht so verbreitet und anerkannt. Anpassung muss im Gegensatz zu Minderungsmaßnahmen dezentraler und oft auf lokaler Ebene gelöst werden. Es gibt dazu noch eine Fülle offener Forschungsfragen und es sind sicher noch nicht alle Fragen zur Anpassung gestellt.

StartClim2009 widmet sich daher neuerlich dem Thema „Anpassung an den Klimawandel“ und liefert vielfältige fundierte Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich.

In der Grünlandwirtschaft hat sich in den letzten Jahren die Bewirtschaftung hinsichtlich Zeitpunkt und Zahl der Schnitte sowie Art der Düngung verändert, wobei neben wirtschaftlichem Druck vermutlich auch klimatische Veränderungen eine Rolle als Treiber gespielt haben. Systematische Feldversuche im mittleren Steirischen Ennstal im Zeitraum von 1997 bis 2010 zeigen auf, dass die Artenvielfalt im Wirtschaftsgrünland zurück geht - weniger aufgrund von Anpassungen an klimatische Veränderungen, wohl aber als Folge der Veränderungen in der Bewirtschaftungsintensität.

Der Klimawandel manifestiert sich in dieser Region u.a. durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode: von 1987 bis 1994 um ca. drei Wochen, verursacht zu $\frac{2}{3}$ durch eine schnellere Erwärmung im Frühjahr und zu $\frac{1}{3}$ durch einen späteren Wintereinbruch. Dies ermöglicht nach Modellberechnungen im Talraum potenziell vier und in den Bergregionen drei Schnitte pro Jahr, während früher nur zwei bis drei (selten vier) möglich bzw. üblich waren.

In den letzten 13 Jahren schritt auch die Grünlandintensivierung im Untersuchungsgebiet voran, was sich in erhöhten Schnittfrequenzen, Umstieg von Festmist auf Gülledüngung und Vorverlegung des Termins des 1. Schnittes manifestierte. Derzeit nutzen einige Landwirte die wegen der thermischen Bedingungen potenziell mögliche Schnitthäufigkeit bereits aus. Ob die natürliche Wiesenvegetation, heute durchmischt mit Übersaaten moderner Gras- und Kleesorten, der Intensivierung standgehalten hat, war dabei Teil der Untersuchung.

Auf Basis von Zeigerwertberechnungen wurden keine Vegetationsänderung beobachtet, die auf Erwärmung zurückzuführen ist. Eine Erhöhung der Schnittfrequenz und der Umstieg von Festmist auf Gülledüngung bewirkte allerdings signifikante Änderungen der Vegetation, die sich v. a. in Artenverlust niederschlägt. Eine Verarmung an Arten war auch in Dreischnittwiesen mit unveränderter Bewirtschaftung zu verzeichnen. Der Artenverlust ging z. T. auf Kosten von ruderalen Arten, die im Jahr 1997 sehr häufig waren; z. T. weiters wurden Arten, die in traditionell genutzten Zweischnittwiesen häufig sind, seltener. Im Jahr 2010 breiteten sich zudem Arten mit starker vegetativer Vermehrung (*Poa trivialis*, *Trifolium repens*) in den intensiv genutzten Dreischnittsystemen weiter aus als bei der Erstaufnahme.

Da die dokumentierte Erwärmung (Jahresmitteltemperatur) noch unter 1 °C liegt, sind die direkten Auswirkungen des Klimawandels in geschlossenen Vegetationsbeständen kaum nachweisbar. Mögliche Effekte der Klimaerwärmung auf die montanen Wiesenökosystemen werden derzeit offensichtlich durch den Einfluss der geänderten Bewirtschaftungsformen überlagert. Die Verlängerung der Vegetationsperiode wirkt sich jedoch indirekt über die in der Grünlandwirtschaft immer häufigeren frühen Nutzungstermine und die Zunahme der Schnittzahl auf die Wiesen in Form einer Verringerung der Artenvielfalt und einer Zunahme von wenig geschätzten Unkräutern aus. Nicht zuletzt verschwindet mit dieser Entwicklung auch die beliebte bunte Blumenwiese.

Das Untersuchungsgebiet liegt zwar in einem repräsentativen Zentrum der österreichischen montanen Grünlandwirtschaft, man kann jedoch nicht alle Ergebnisse sofort verallgemeinern. Es bedürfte zumindest noch zwei oder drei weiterer repräsentativer Fallstudiengebiete (Waldviertel, Nordtirol, Kärnten) um die Ergebnisse abzusichern.

Für den Schutz natürlicher Ressourcen wie Wasser und Boden und für die Aufrechterhaltung von Biodiversität und Naturschutz kommt den heimischen Wäldern unter den Bedingungen des Klimawandels eine überragende Bedeutung zu. Die einzelnen, das jeweilige Waldökosystem bestimmenden Baumarten, sind von den sich rasch ändernden Klimabedingungen allerdings direkt betroffen, denn die Geschwindigkeit der Veränderungen macht eine evolutionäre Anpassung unmöglich. Allerdings besitzen alle Baumarten eine hohe Toleranz gegenüber verschiedenen Klimabedingungen, denn die natürliche Verbreitung der meisten Baumarten umfasst große Teile Europas und damit verschiedene Klimazonen. Diese innerartliche Variation wird von der Forstwirtschaft seit langem genutzt, um ausgehend von Herkunftsversuchen die wüchsigsten und qualitativ hochwertigsten Samenherkünfte auszuwählen. Gleichzeitig eröffnet die innerartliche Variation in der Reaktion auf Klimaänderungen eine Möglichkeit die heutigen Wälder an das Klima von Morgen anzupassen, ohne dabei wesentliche Ökosystemfunktionen zu zerstören. Dies kann beispielsweise durch Verwendung von Saatgut trockenoleranter und weniger hitzeempfindlicher Herkünfte erfolgen. Die innerartliche Variation der Fichte (*Picea abies*), der wichtigsten österreichischen Waldbaumart, wurde auf Basis von Daten eines österreichischen Herkunftsversuchs mit 540 Herkünften auf 44 Versuchsflächen untersucht.

Im Schnitt sind die Fichten innerhalb von 15 Jahren bei 8°C Jahresmitteltemperatur etwa 400 cm groß geworden, während sie bei 4°C nur 100-150cm erreichten. Je größer die Temperaturzunahme zwischen Herkunftsgebiet und Anbaugbiet, desto kleiner waren jedoch die Bäume. Daraus lässt sich ableiten, dass der Klimawandel zu einer Steigerung der Produktionsleistung der Fichte in Österreich führen wird, allerdings nicht für alle Fichtenherkünfte im gleichen Ausmaß. Auch ist keine unbegrenzte Steigerung der Baumhöhen zu erwarten. An besonders trockenen Standorten sind die Grenzen der Produktionsleistung der Fichte bereits erkennbar. Diese Standorte werden durch eine Klimaerwärmung kaum profitieren können, im Gegenteil, es ist hier wohl vermehrt mit Trockenstress, Dürre und Schädlingsbefall zu rechnen

Im Biosphärenpark Wienerwald wurde die Verletzlichkeit von Ökosystemleistungen im Klimawandel abgeschätzt und der Effekt von waldbaulichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu analysiert. .

Für repräsentative Standorts-Bestandeskombinationen auf den Flächen der Österreichischen Bundesforste (ÖBf) im Biosphärenpark Wienerwald (BPWW) wurde mit Hilfe des Waldökosystemmodells PICUS 1.4 über einen Zeitraum von 100 Jahren (2001-2100) die Entwicklung des Waldes analysiert. Dabei wurden Simulationen für ein Referenzklima (entspricht der Messperiode 1961-90) und drei Klimaänderungsszenarien durchgeführt. Bei den Beständen handelt es sich um Buchenbestände verschiedenen Alters. Um den Effekt von verschiedenen Bewirtschaftungsvarianten zu untersuchen, wurden das „Business as usual“ (BAU) Konzept sowie ein adaptives Bewirtschaftungskonzept (AM) simuliert. Im AM wird im Vergleich zum BAU stärker durchforstet und die in beiden Fällen durch Lichtungshiebe und anschließender Räumung etablierte Naturverjüngung wird durch Eichenpflanzen ergänzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass im zeitlichen Verlauf die Produktivität im Klimawandel in der ersten Hälfte des Jahrhunderts ungefähr auf dem Niveau des Referenzklimas bleibt, während in der zweiten Hälfte moderate Produktivitätsrückgänge auftreten. Generell liegt die Produktivität des AM Bewirtschaftungskonzeptes unter heutigem Klima niedriger als im BAU Management, erweist sich aber unter allen Klimaänderungsszenarien als stabil und dem BAU Management als ebenbürtig. Andere Vulnerabilitätsindikatoren wie Vorrat oder Kohlenstoffspeicherung weisen geringere Veränderungen als die Produktivität auf und werden durch das Bewirtschaftungskonzept stärker beeinflusst als durch den Klimawandel. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch Anpassung der Bewirtschaftungsform die erwünschten Ökosystemleistungen im Biosphärenpark Wienerwald unter den analysierten Klimawandelbedingungen aufrecht erhalten werden können.

Dem Humusgehalt des Bodens kommt im Zusammenhang mit dem Klimawandel eine herausragende Rolle zu. Bei steigendem Bodenhumusgehalt wird Kohlenstoff mittelfristig im Boden gebunden und damit von der Atmosphäre ferngehalten. Ein Boden mit hohem Hu-

musgehalt kann mehr Wasser speichern und damit die Kulturpflanzen unter trockenen Bedingungen besser versorgen, aber auch Starkregen besser infiltrieren, und Erosion vermindern. Eine Verbesserung des Humusgehaltes des Bodens hat auch eine Erhöhung der Kationenaustauschkapazität und damit der Nährstoffspeicherung zur Folge.

Die (Bio-)Bauern wurden in den vergangenen Jahren für den Wert des Bodenhumus sensibilisiert. Anhand von Humusbilanzen können Bauern sehen, welche Auswirkungen ihre Fruchtfolge und Bewirtschaftung auf den Humusgehalt ihres Ackerbodens haben. Die derzeit eingesetzte einfache Berechnungsmethode berücksichtigt jedoch regionale Fruchtfolge- und Ertragsverhältnisse sowie auch bestimmte Bewirtschaftungsfaktoren wie z.B. Begrünungen nicht ausreichend.

Es sollte eine Humusbilanzmethode gefunden werden, die rasch und mit für Bauern vertretbarem Aufwand an Input-Daten zu berechnen ist, und die Humusentwicklung auf landwirtschaftlichen Betrieben des Weinviertels hinreichend genau abbildet. Damit soll den Bauern ein Werkzeug in die Hand gegeben werden, mit dessen Hilfe eine CO₂-speichernde Landwirtschaft für sie planbar und umsetzbar wird.

Anhand des langjährigen Exaktversuches ‚STIKO‘ der Bio Forschung Austria (BFA) wurden fünf Humusbilanzierungsmethoden mit den gemessenen Humus-C-Gehalten im Boden der kompostgedüngten Varianten nach zwölfjähriger Bewirtschaftung verglichen. Der Vergleich der Ergebnisse ergab zum Teil recht große Unterschiede in der Prognosegenauigkeit. Während die HE-Methode (REPRO), die Methode der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Bayer. LfL) und die Methode Kolbe mit Abweichungen von -8, +12 und -13 % vom gemessenen Wert die Entwicklung des C-Gehaltes des Bodens recht zutreffend einschätzten, überschätzten die VDLUFA- und die ROS-Methode mit Abweichungen von +69 und +94 % vom gemessenen Wert die bei der gegebenen Bewirtschaftung resultierenden C-Gehalte deutlich.

Nach Diskussion mit Bauern fiel die Wahl unter Berücksichtigung der in der Praxis vorhandenen Daten und des zeitlichen und finanziellen Aufwandes auf die Methode Kolbe. Die Erprobung der ausgewählten Methode an Daten von Praxisbetrieben verlief positiv. Diese Methode wird daher zukünftig in den regelmäßig stattfindenden Workshops von BFA mit Bauern aus anderen Regionen verwendet werden.

Ein Vergleich der mit Humusaufbau in landwirtschaftlichen Böden erzielbaren C-Speicherung mit den Kohlendioxidemissionen in Österreich und den Reduktionsverpflichtungen Österreichs zeigt, dass diese einen nennenswerten Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen leisten kann, der auch rasch erzielbar wäre, da die Techniken bekannt sind. Zur Kompensation der gesamten Kohlendioxidemissionen aus fossilen Brennstoffen reicht der in der Praxis erzielbare Humusaufbau bei weitem nicht aus. In jedem Fall aber verbessert der gespeicherte Kohlenstoff die Bodenfunktionen, wie das Wasserspeichervermögen, und ist deshalb – insbesondere für die Klimawandelanpassung – sehr positiv zu bewerten.

Natürliche Prozesse im Hochgebirge (z. B. Felsstürze) werden sich als Folge des Klimawandels verstärken und können somit eine Gefahr für Personen und Infrastruktur darstellen. Während für Siedlungen, Verkehrswege und touristisch intensiv genutzte Flächen (z. B. Skipisten) ein ausgeklügeltes System an permanenten und temporären Schutzmaßnahmen existiert, stellt sich zunehmend die Frage nach der Gewährleistung der Sicherheit für Personen, die sich abseits dieser geschützten Areale auf Bergwegen und Routen bewegen. In einer der meistbesuchten Hochgebirgslandschaften Österreichs, worin vor allem Gletscherschwund und auftauender Permafrost die Ursache für potenziell gefährliche Prozesse sind, wurden Sturz- und flächenhafte Abtragungsprozesse untersucht und modelliert. Daraus konnte eine Gefährdungskarte abgeleitet werden, die das untersuchte Gebiet flächenhaft in vier Gefährdungsklassen gliedert. Mit Hilfe von Daten aus Klimamodellen wurden die Bedingungen für ein Szenario 2030 abgeschätzt und auch für dieses Jahr eine Gefährdungskarte erstellt. Durch Überlagerung mit dem Wege- und Routennetz wurden Karten der Verletzlichkeit einzelner Wegabschnitte erstellt, welche von Kundigen der Region begutachtet und in Hinblick auf mögliche Maßnahmen bewertet wurden. Die vorgeschlagenen Maßnahmen

reicht von konkreten Wegsicherungsarbeiten bis zu neuen Organisationsformen in der Weg-erhaltung. Die entwickelte Methodik ist auf andere Gebiete übertragbar.

Die Minimierung des Kühlenergiebedarfs in Bürogebäuden bei gleichzeitiger Gewährleistung von ausreichendem thermischem Innenraumkomfort gewinnt mit fortschreitender Erwärmung im Zuge des Klimawandels und mit der bevorstehenden Energieverknappung zunehmend an Bedeutung. Mittels Modellberechnungen wurde die Wirksamkeit verschiedener Kühlstrategien verglichen.

Effizientere elektronische Geräte und energiesparende Beleuchtung können den durch den Klimawandel zu erwartenden Anstieg des Kühlbedarfes mehr als kompensieren. Verschiebungen des Zeitfensters, in dem Nutzer anwesend sind und auch ihre Geräte benutzen weg von den heißesten Stunden des Tages oder eine verminderte Anwesenheit durch Teleworking können den Kühlbedarf reduzieren, sind aber in ihrer praktischen und sozialen Umsetzbarkeit zu diskutieren.

In natürlich belüfteten Büros kann nächtliche Fensterlüftung tendenziell Komfortverbesserungen bewirken; zur Bewertung dieser Kühloption fehlen noch verlässliche Rechenwerkzeuge zur Berechnung der Strömungsverhältnisse im Inneren in Abhängigkeit von den lokale Außenwindverhältnissen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Zunahme von warmen Nächten die Wirksamkeit der nächtlichen Kühlung reduziert.

Untersucht wurden weiters innovative Kühltechnologien: Radiative Systeme nutzen Wärmeabstrahlung gegen den kalten Nachthimmel zur Kühlenergieerzeugung, evaporative Systeme entziehen der Raumluft Wärme durch die Verdunstung von Wasser. Die Kombination aus radiativen und evaporativen Systemen als Ergänzung zu herkömmlichen Kühltechnologien hat sich zur Abdeckung des Kühlleistungsbedarfs für Bürobauten als wirksamste Lösung erwiesen.

1 Das Forschungsprogramm StartClim

Das Forschungsprogramm StartClim, ist ein flexibles Instrument, das durch die kurze Laufzeit der Projekte und die jährliche Vergabe von Projekten rasch aktuelle Themen im Bereich Klimawandel aufgreifen kann. Es wird von einem Geldgeberkonsortium finanziert, das neun Institutionen umfasst:

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009)
- Bundesministerium für Gesundheit und Frauen (2005, 2006, 2007)
- Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (2003, 2006, 2007, 2008, 2009)
- Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009)
- Österreichische Bundesforste (2008, 2009)
- Österreichische Nationalbank (2003, 2004)
- Österreichische Hagelversicherung (2003, 2004, 2006, 2007, 2008)
- Umweltbundesamt (2003)
- Verbund AHP (2004, 2007)

Analysen der Auswirkungen des Klimawandels und entsprechende Minderungsmaßnahmen sind in vielen Bereichen bereits etabliert und als notwendige Maßnahmen anerkannt. Das Wissen um die Notwendigkeit der Anpassung an den Klimawandel ist aber noch nicht so verbreitet und anerkannt. Anpassung muss im Gegensatz zu Minderungsmaßnahmen dezentraler und oft auf lokaler Ebene gelöst werden. Es gibt dazu noch eine Fülle offener Forschungsfragen und es sind sicher noch nicht alle Fragen zur Anpassung gestellt.

StartClim2009 widmet sich daher neuerlich dem Thema „Anpassung an den Klimawandel“ und liefert vielfältige fundierte Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich.

Die Projekte in StartClim2009 befassen sich sowohl mit Themen aus der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft als auch mit Gefahren im alpinen Bereich und der Anpassung im Bereich der Gebäudetechnik.

In einem zusammenfassenden Kurzbericht (vorliegender Bericht) werden die Ergebnisse aller Teilprojekte kurz und allgemein verständlich beschrieben. Dieser Bericht erscheint auch in englischer Sprache. Die ausführlichen Berichte der einzelnen Teilprojekte sind in einem eigenen Sammelband zusammengefasst, der ebenso wie die Teilprojekte auf der Start-Clim-Webpage (www.austroclim.at/startclim/) elektronisch erhältlich ist. Zusätzlich wird eine CD-ROM mit allen StartClim-Berichten und ein Folder mit einer Kurzzusammenfassung der Ergebnisse in beschränkter Auflage erstellt.

2 StartClim2009.A: Klimatisch beeinflusste Vegetationsentwicklung und Nutzungsintensivierung von Fettwiesen im österreichischen Berggebiet. Eine Fallstudie aus dem Kerngebiet der österreichischen Grünlandwirtschaft

In der Grünlandwirtschaft hat sich in den letzten Jahren die Bewirtschaftung hinsichtlich Zeitpunkt und Zahl der Schnitte sowie Art der Düngung verändert. Als Treiber spielen neben den wirtschaftlichen Zwängen sehr wahrscheinlich auch klimatische Veränderungen eine Rolle. Ziel des Projektes war die Untersuchung der Vegetationsentwicklung von Wirtschaftswiesen im mittleren Steirischen Ennstal im Zeitraum von 1997 bis 2010 vor dem Hintergrund dieser Veränderungen.

Die untersuchten Wiesenflächen befinden in Seehöhen von 640 bis 1200 m zwischen Tauplitz (Nördliche Kalkalpen) über Stainach, Irdning (Ennstal) bis nach Oppenberg (Niedere Tauern). 49 Vegetationsaufnahmen repräsentieren einerseits Probeflächen, die eine Erhöhung der jährlichen Schnittfrequenz zwischen 1997 und 2010 oder einen Wechsel der Düngerart (von Festmist/Jauche zu Gülle) erfuhren. Zum anderen wurden auch Flächen ausgewählt, auf denen keine Änderung in der Bewirtschaftung angegeben wurde (Bewirtschaftungsvarianten, siehe Tab. 1). Neben der Zusammensetzung der Vegetationsdecke wurde auf den Versuchsflächen auch die Veränderung des Ertrags zum 1. Schnitttermin und ausgewählte bodenchemische Parameter erhoben.

Tab. 1: Bewirtschaftungsvarianten

Variante	Schnittanzahl 1997	Schnittanzahl 2010	Düngung 1997	Düngung 2010
1	2	2	Mist	Mist
2	2	2	Gülle	Gülle
3	2	2	Mist	Gülle
4	2	3	Mist	Mist
5	2	3	Gülle	Gülle
6	3	3	Mist	Mist
7	3	3	Gülle	Gülle
8	3	4	Mist	Gülle

Klimatologische Daten der letzten Jahrzehnte zeigen eine Verlängerung der Vegetationsperiode um ca. drei Wochen, vor allem im Zeitraum von 1987 bis 1994 (siehe Abb. 1). Die Verlängerung ist zu $\frac{2}{3}$ durch schnellere Erwärmung im Frühjahr und zu $\frac{1}{3}$ durch späteren Wintereinbruch bedingt. Nach einem auf den derzeitigen Temperaturverhältnissen basierenden Modell, sind im Talraum potenziell vier und in den Bergregionen drei Schnitte möglich.

In den letzten 13 Jahren schritt die Nutzungsintensivierung im Grünland des Untersuchungsgebietes voran, was sich in erhöhten Schnittfrequenzen, Umstieg von Festmist auf Gülledüngung und Vorverlegung des Termins des 1. Schnittes manifestierte. Derzeit nutzen einige Landwirte die thermisch potenziell mögliche Schnitthäufigkeit bereits aus.

Auf Basis von Zeigerwertberechnungen wurde keine Vegetationsänderung beobachtet, die auf Erwärmung zurückzuführen ist, d.h. der Anteil der wärmeliebenden Pflanzen hat nicht zugenommen. Eine Änderung der Vegetation durch die Vorverlegung des Termins des ersten Schnitts war tendenziell vorhanden, aber nicht signifikant. Im Gegensatz dazu bewirkte eine Erhöhung der Schnittfrequenz und Umstieg von Festmist auf Gülledüngung signifikante Änderungen der Vegetation (höhere Soerensen-Indices der Aufnahmenpaare von 1997 und 2001), die sich vor allem in Artenverlust niederschlug (siehe Abb. 2). Dabei fanden sich in den Wiederholungsaufnahmen jener Dreischnittwiesen, die 1997 noch zweimal jährlich gemäht wurden, im Mittel um 9,1 Arten, in den Dreischnittwiesen mit unveränderter Nutzungs-

häufigkeit um 4,8 und in Wiesen mit Wechsel von Drei- auf Vierschnittnutzung um 5,8 Arten weniger als im Jahr 1997. Eine Änderung der Vegetation durch die Vorverlegung des Termins des ersten Schnitts war tendenziell vorhanden, aber nicht signifikant.

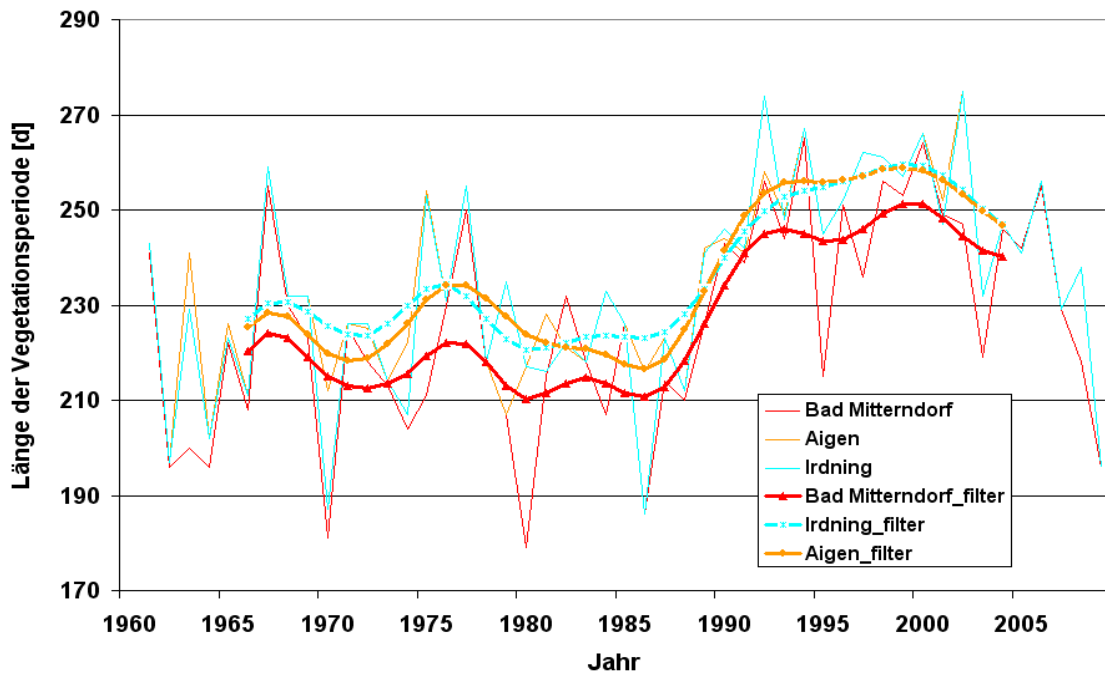


Abb. 1 : Länge der Vegetationsperiode (in Tagen) an drei Stationen im mittleren steirischen Ennstal von 1960 bis 2009 (Einzeljahre und Gaußfilter 11j).

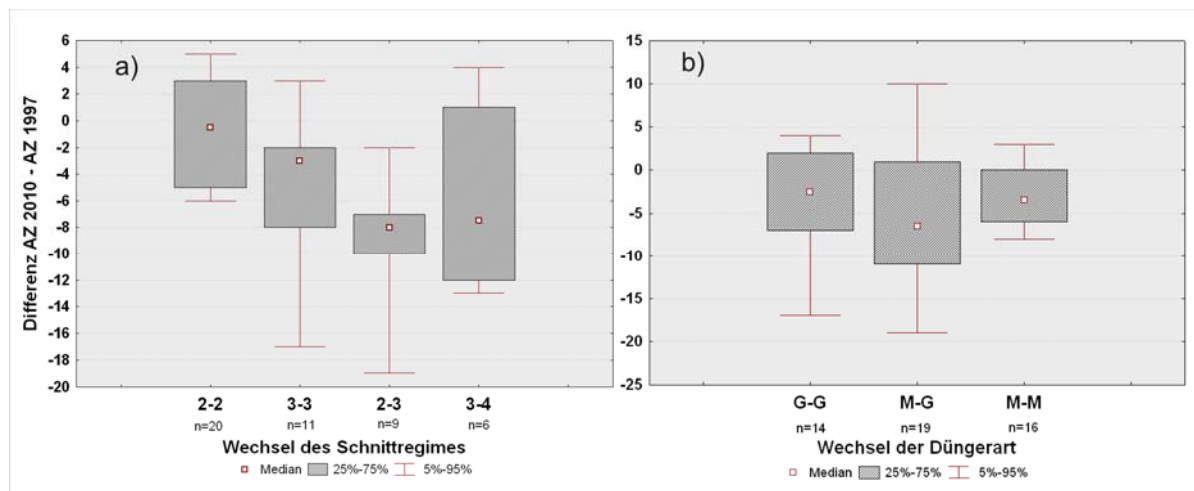


Abb. 2 : Änderung der Artenzahlen (AZ) zwischen Aufnahmen 1997 und 2010 bei veränderten Bewirtschaftungsfaktoren. a) Wechsel des Schnittregimes, b) Wechsel der Düngerart. (Einjährige Arten wurden nicht berücksichtigt)

Eine Verarmung an Arten war auch in Dreischnittwiesen mit unveränderter Bewirtschaftung zu verzeichnen. Der Artenverlust ging z. T. auf Kosten von Lückenbüßer-Arten (z. B. Hirtenfäschel, Breitwegerich), die temporär im Jahr 1997 sehr häufig waren; weiters wurden Arten, die in traditionell genutzten Zweischnittwiesen häufig sind (z.B. Wiesen-Flockenblume, Margerite), seltener. Im Jahr 2010 nahmen konkurrenzkräftige Arten mit hohem Ausbreitungsbzw. Vermehrungspotenzial (Gemeines Rispengras, Weißklee) in den intensiv genutzten Dreischnittsystemen größere Abundanz-Dominanzwerte an als bei der Erstaufnahme. Der

Wechsel der Düngerart ergab geringe Artenverluste; am stärksten, aber nicht signifikant war der Effekt beim Wechsel von Festmist auf Gülle in Dreischnittwiesen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die Artenzusammensetzung im Grünland noch nicht nachweisbar sind, da die Erwärmung (Jahresmitteltemperatur) noch unter 1 °C liegt. Mögliche Effekte der Klimaerwärmung auf die montanen Wiesenökosysteme werden derzeit durch den Einfluss der geänderten Bewirtschaftungsformen überlagert. Die Verlängerung der Vegetationsperiode wirkt sich jedoch indirekt über die in der Grünlandwirtschaft immer häufigeren frühen Nutzungstermine und die Zunahme der Schnitzzahl auf die Wiesen in Form einer Verringerung der Artenvielfalt und einer Zunahme von wenig geschätzten Unkräutern aus. Nicht zuletzt verschwindet mit dieser Entwicklung auch die beliebte bunte Blumenwiese (Abb. 3).



Abb. 3 : Bunte Blumenwiesen (links) werden im wirtschaftlich genutzten Grünland des Ennstales (rechts) seltener, weil der Klimawandel früheres und häufigeres Mähen ermöglicht.

Auch wenn das Untersuchungsgebiet in einem repräsentativen Zentrum der österreichischen montanen Grünlandwirtschaft liegt, kann man nicht alle Ergebnisse sofort verallgemeinern. Es bedürfte zumindest noch zwei oder drei weiterer repräsentativer Fallstudiengebiete (Waldviertel, Nordtirol, Kärnten) um die Ergebnisse abzusichern.

3 StartClim2009.B: Klima-Response von Fichtenherkünften im Alpenraum – Eine Adaptionmöglichkeit für die österreichische Forstwirtschaft

Für die Aufrechterhaltung von Biodiversität kommt den heimischen Wäldern eine überragende Bedeutung zu. Die einzelnen, das jeweilige Waldökosystem bestimmenden Baumarten sind von den sich rasch ändernden Klimabedingungen direkt betroffen, denn die Geschwindigkeit der Veränderungen macht eine evolutionäre Anpassung unmöglich. Allerdings besitzen alle Baumarten eine hohe Toleranz gegenüber verschiedenen Klimabedingungen, denn die natürliche Verbreitung der meisten Baumarten umfasst große Teile Europas und damit verschiedene Klimazonen. Somit sind Baumpopulationen derselben Art an unterschiedliche Klimate angepasst und reagieren unterschiedlich auf Klimaveränderungen. Diese Vielfalt ist maßgeblich für die natürliche Anpassungsfähigkeit von Arten gegenüber Umweltveränderungen.

Von der Forstwirtschaft wird die innerartliche Diversität seit langem genutzt, um ausgehend von Herkunftsversuchen die wüchsigsten und qualitativ hochwertigsten Samenherkünfte auszuwählen. Gleichzeitig eröffnen die Unterschiede in der Reaktion auf Klimaveränderung eine Möglichkeit die heutigen Wälder an das Klima von morgen anzupassen, ohne dass dabei die wesentlichen Ökosystemfunktionen zerstört werden.

Im vorliegenden Projekt wurde die innerartliche Variation der Fichte (*Picea abies*), der wichtigsten österreichischen Waldbaumart, auf Basis von Höhenmessungen 15 jähriger Fichten von insgesamt 379 Herkünften auf 29 österreichischen Versuchsfeldern untersucht. Die Ergebnisse dieses Großversuches wurden zusammengetragen und in einer Datenbank erfasst. Zusammen mit Klimadaten aller Herkunfts- und Versuchsorte konnte nun erstmals eine Gesamtanalyse dieses Versuchs durchgeführt werden.

Auf jeder einzelnen Versuchsfeld gab es große Höhenunterschiede unter den getesteten Herkünften. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Ergebnisse für den Versuchsstandort St. Stephan (Stmk.).

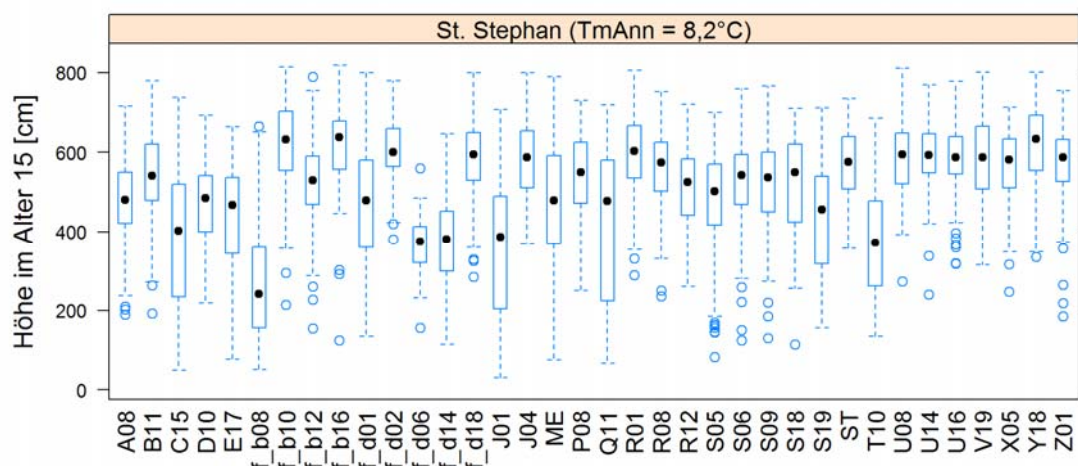


Abb. 4 : Baumhöhen der getesteten Herkünfte auf der Versuchsfeld St. Stephan (Stmk.). Jeder Boxplot zeigt den Median und Streuung der Höhen einer Herkunft auf Basis von Einzelbaummessungen.

In Kombination mit den Klimadaten konnten Klima-Response (Abb. 5, links) und Klima-Transfer Funktionen (Abb. 5, rechts) ermittelt werden. Klima-Response Funktionen zeigen für einzelne Herkünfte die Korrelation zwischen Höhe und Klimaparameter der Anbauflä-

chen. Klima-Transfer Funktionen zeigen für einzelne Versuchsflächen die Korrelation zwischen Höhe und klimatischer Differenz (hier Temperaturunterschied) zwischen Versuchsort und Herkunftsort.

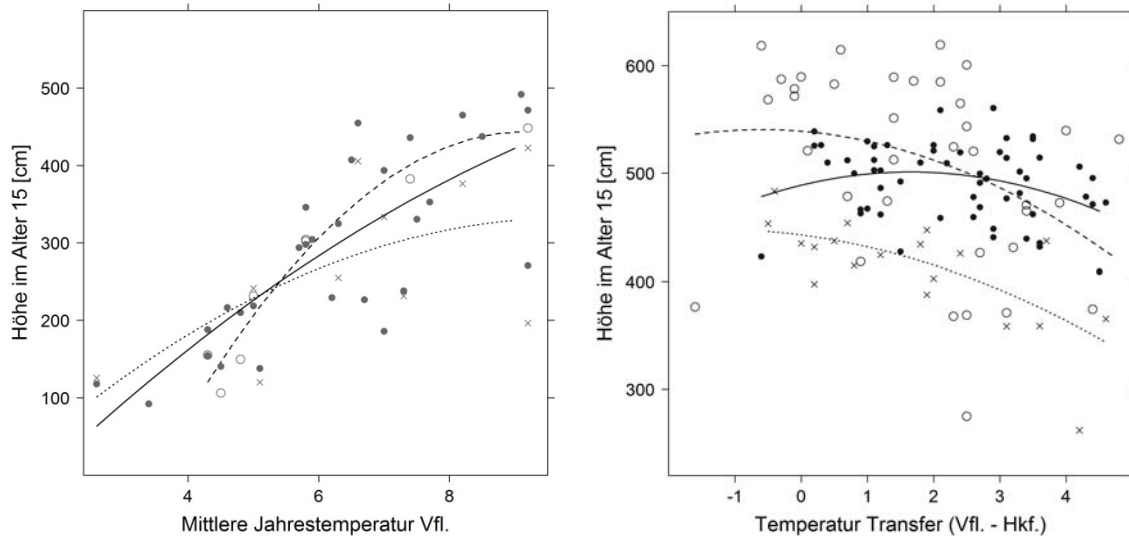


Abb. 5 : Links: Klima-Response Funktionen dreier Herkünfte (Murau - durchgehende Linie, Liezen - gestrichelt, Tschepelare (Bulgarien) - gepunktet) zeigen, dass generell mit zunehmenden Temperaturen mit einer Steigerung der Baumhöhen zu rechnen ist. Die Datenpunkte sind mittlere Höhen an den Versuchsorten (Vfl.). Die Herkünfte unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf Klimaerwärmung. Rechts: Klima-Transfer Funktionen dreier Versuchsflächen (Schönborn – durchgehende Linie, St.Stephan - gestrichelt, Wieselburg - gepunktet) zeigen den Einfluss des Temperaturunterschiedes zwischen Versuchsfläche (Vfl.) und Herkunftsort (Hkf.). Dieser Einfluss variiert je nach Lage des Versuchsortes. Die Datenpunkte sind hier die mittleren Höhen der getesteten Herkünfte.

Diese Funktionen können genutzt werden, um das Potential einzelner Herkünfte darzustellen und die Anpassungsfähigkeit unter veränderten Klimabedingungen abschätzen zu können.

Es zeigt sich, dass sich die mittlere Jahrestemperatur, oder mit ihr korrelierte Klimaparameter wie die Dauer der Vegetationsperiode, gut eignen, um die Höhe der Bäume zu erklären.

Die Baumhöhen nehmen mit steigender Temperatur am Anbauort zu: Bei Jahresmitteltemperaturen von 8°C erreichten die Bäume innerhalb von 15 Jahren im Schnitt Höhen von etwa 400 cm, während sie bei 4°C Mitteltemperatur nur 100-150 cm hoch wurden. Die Streuungen sind allerdings sehr groß (Abb. 5, links). Dadurch ist im Hinblick auf den bevorstehenden Klimawandel eine Steigerung der Produktionsleistung der Fichte in Österreich zu erwarten. Allerdings werden Fichten aus unterschiedlichen Herkunftsgebieten nicht im gleichen Ausmaß vom Klimawandel profitieren. Zum einen da sich die Reaktionen auf Klimaveränderung bei Fichten aus verschiedenen Herkunftsgebieten unterscheiden (Abb. 5, links). Dies hängt vor allem mit den Klimaverhältnissen der Herkunftsorte zusammen. Zum anderen unterscheiden sich die Auswirkungen des zu erwartenden Temperaturanstiegs auch von Standort zu Standort (Abb. 5, rechts). An sehr trockenen und sehr warmen Standorten sind die Grenzen der Produktionsleistung der Fichte bereits erkennbar (Abb. 5, rechts, durchgehende Linie). Diese Standorte werden durch eine Klimaerwärmung kaum profitieren können, im Gegenteil, es ist hier wohl vermehrt mit Trockenstress, Dürre und Schädlingsbefall zu rechnen. Da mit dem Klimawandel immer mehr Gebiete in diesen Grenzbereich geraten werden, müssen die Auswirkungen dieser klimatischen Bedingungen noch besser untersucht werden.

Mit den hier beschriebenen Untersuchungen ist das Potential des Fichtenherkunftsversuchs 1978 noch nicht ausgeschöpft. Die Analysen werden im Rahmen des INTERREG-Projekts MANFRED unter Einbindung internationaler Herkunftsversuche fortgesetzt.

4 StartClim2009.C: Analyse von Vulnerabilität und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Biosphärenpark Wienerwald

Ziel der Studie ist es, die Verletzlichkeit erwünschter Ökosystemleistungen im Biosphärenpark Wienerwald unter dem derzeitigen Bewirtschaftungskonzept im Klimawandel abzuschätzen, und darauf aufbauend mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu analysieren.

Das Projektgebiet umfasst die Flächen der Österreichischen Bundesforste (ÖBf) im Biosphärenpark Wienerwald (BPWW) (Abb. 6).

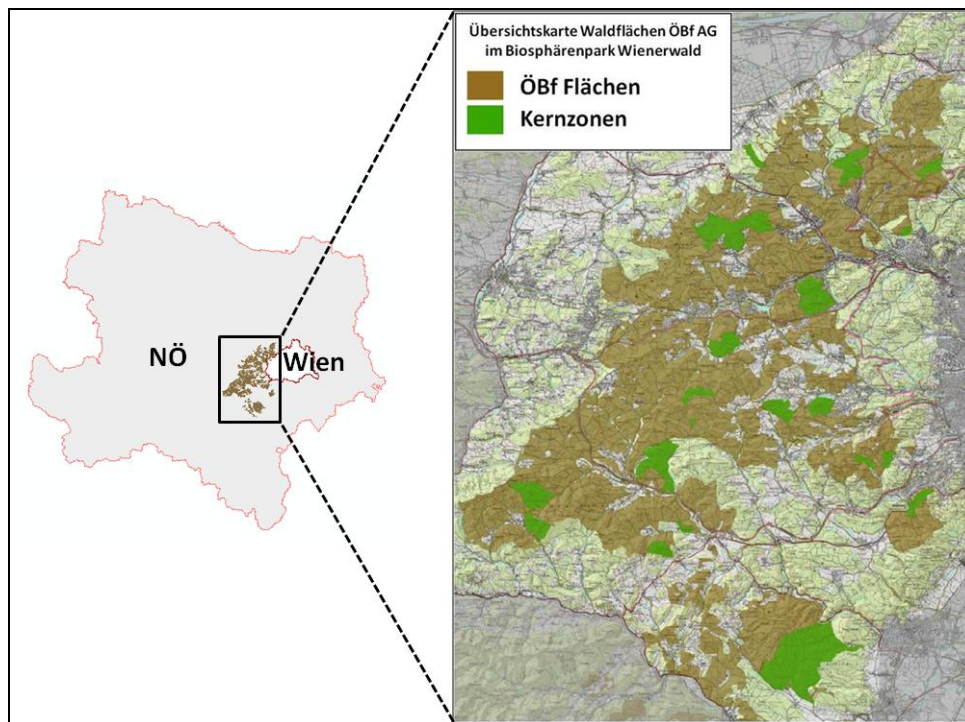


Abb. 6 : Übersichtskarte Biosphärenpark Wienerwald. braun= Flächen der Österreichischen Bundesforste (ÖBf) im Biosphärenpark Wienerwald. grün= Kernzonen

Repräsentative Standorts-Bestandeskombinationen wurden mit Hilfe des Waldökosystemmodells PICUS 1.4 über einen Zeitraum von 100 Jahren (2001-2100) analysiert. Das Modell beschreibt die Entwicklung von Waldbeständen auf der Basis von Einzelbäumen und berücksichtigt Verjüngung, Wachstum und Mortalität in dynamischer Wechselwirkung. In den Analysen wurden drei von einem regionalen Klimamodell generierte Klimaänderungsszenarien für den Zeitraum 2000-2100 verwendet. Diese entsprechen den „business-as-usual“ Emissionsszenarien A1B und A2 sowie dem umweltorientierten Szenarium B1. Zusätzlich wurde als Referenzklima für die vergleichende Analyse eine Klimazeitreihe basierend auf der Messperiode 1961-1990 verwendet. In Abbildung 7 sind die Änderungen von Temperatur und Niederschlag der drei Klimaänderungsszenarien im Vergleich zum Referenzklima im Gebiet des Biosphärenparks dargestellt.

Für die vorliegende Studie wurden die beiden am häufigsten vorkommenden Standortgruppen ausgewählt („Mittelgründige Karbonatstandorte“, „Frische bis sehr frische Hangstandorte“), die auch gut die Bandbreite der ökologischen Rahmenbedingungen im Biosphärenpark repräsentieren. Für den Biosphärenpark Wienerwald typische Buchenbestände verschiedener Altersklassen wurden ausgewählt und unterschiedliche Bewirtschaftungsvarianten, das derzeitige „Business as usual“ Bewirtschaftungskonzept (BAU) sowie ein adaptives Bewirtschaftungsszenario (AM), mit dem Waldökosystemmodell simuliert. Das BAU Szenario ist

ein traditionelles Buchenbewirtschaftungskonzept, das von Niederdurchforstungseingriffen (geringe Entnahmen) geprägt ist. Die angestrebte Naturverjüngung wird durch einen Lichtungshieb mit nachfolgender baldiger Räumung des Altbestandes erreicht. Im AM Konzept wird stärker durchforstet (Auslesedurchforstung) und nach einem Lichtungshieb und der anschließenden Räumung des Altbestandes ein Anteil Eiche mittels Pflanzung in die Buchenaturverjüngung eingebracht. Die vergleichende Analyse der verschiedenen Standorte, Bewirtschaftungskonzepte, Altersklassen und Klimaszenarien erfolgte hinsichtlich der sechs Vulnerabilitätsindikatoren „Produktivität“, „Schäden“, „Vorrat“, „Biodiversität“, „Kohlenstoffspeicherung“ und „Kostenintensität“.

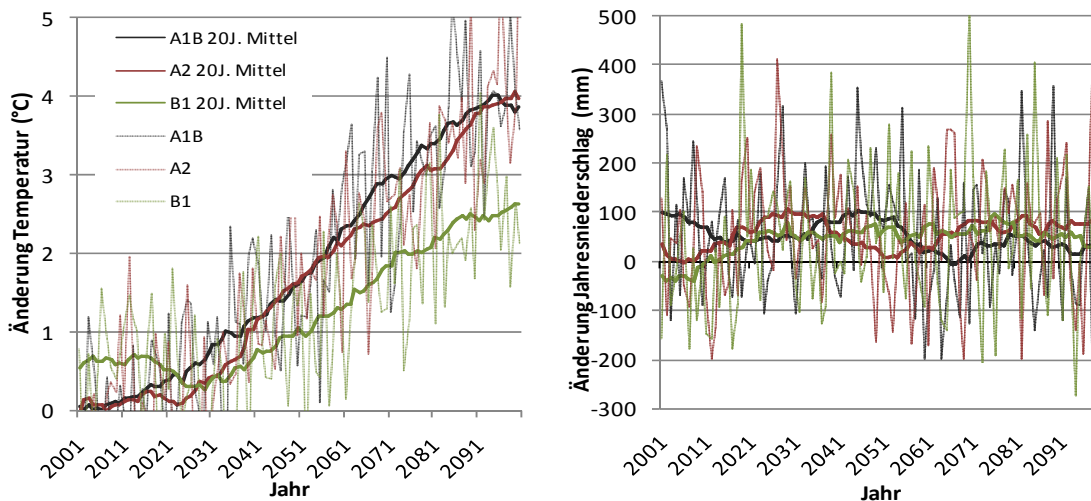


Abb. 7 : Abweichung von Temperatur und Niederschlag in den Klimaänderungsszenarien A1B, A2 und B1 vom Referenzklima. Dargestellt sind die Mittelwerte über 66 Trakte der österreichischen Waldinventur (ÖWI) im Bereich des Biosphärenparks Wienerwald.

Es zeigte sich, dass im zeitlichen Verlauf die Produktivität im Klimawandel in der ersten Hälfte des Jahrhunderts ungefähr auf dem Niveau des Referenzklimas bleibt, während in der zweiten Hälfte moderate Produktivitätsrückgänge auftreten. Beispielhaft sind in Abbildung 8 die Indikatoren für eine jüngere Altersklasse auf einem frischen bis sehr frischen Hangstandorte für die Periode 2051-2100 dargestellt. Betrachtet man die Unterschiede in den einzelnen Klimaänderungsszenarien, so fällt auf, dass die Produktivitätseinbußen unter BAU Management im A1B Szenario am größten sind. Ein möglicher Grund dafür ist die starke Niederschlagsabnahme ab 2050 bei gleichzeitig hohen Temperaturen und der damit verbundene Trockenstress (vgl. Abb. 7). Generell liegt die Produktivität des AM Bewirtschaftungskonzeptes unter heutigem Klima (Baseline) niedriger als im BAU Management, erweist sich aber unter allen Klimaänderungsszenarien als stabil und dem BAU Management als ebenbürtig. In Bezug auf den Indikator „Schäden“ unterscheiden sich die beiden Bewirtschaftungskonzepte nicht. Dazu erfolgt für den dargestellten Bestandestyp die Verjüngung im Analysezeitraum zu spät. Der eingebrachte Eichenanteil in der Verjüngungsschicht spielt in Bezug auf den Biomasseaufbau des Bestandes und die Prädisposition gegenüber Sturm und Schneebruch noch keine Rolle. Dasselbe gilt sinngemäß für den Indikator Biodiversität. Die Vorratshaltung unter dem AM Konzept ist durch die stärkeren Durchforstungseingriffe niedriger als im BAU Konzept. Dieser Unterschied verringert sich etwas durch die unter den Klimaänderungsszenarien ebenfalls geringer werdenden Zuwachsdifferenzen zwischen BAU und AM.

Über alle analysierten Kombinationen von Standort, Alter und Analyseperiode weisen die Indikatoren Vorrat und Kohlenstoffspeicherung einen starken Effekt des Bewirtschaftungskonzeptes auf. Die Indikatoren Schäden, Biodiversität und Kostenintensität weisen in den analysierten Kombinationen von Standort, Bestand, Bewirtschaftung und Klimaänderungsszenario aufgrund der Einteilung in Klassen geringe oder keine Sensitivität auf. In allen Fällen gibt es nur Änderungen innerhalb der Klassengrenzen. Der Schadprädispositionsindika-

tor und die Kostenintensität bleiben „mittel“ (Klasse 2) und die Biodiversität bleibt „gering“ (Klasse 1). Würden beim AM Konzept zusätzliche Kosten aufgrund von Wildschutzmaßnahmen eingerechnet werden, würde dies den Kostenindikator um eine Klasse verschlechtern.

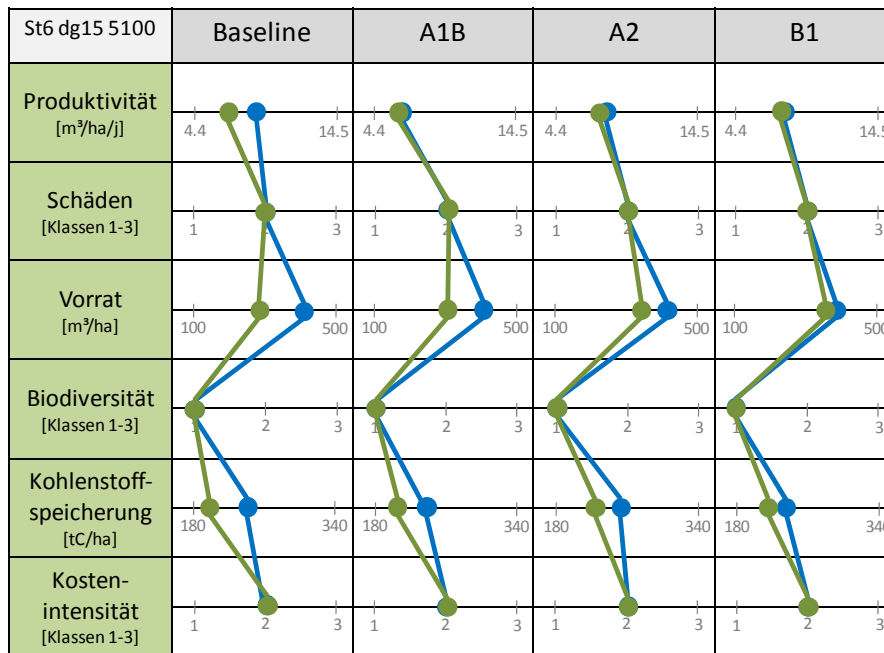


Abb. 8 : Profil von BAU und AM Bewirtschaftung für eine Kombination aus Standort, Alter und Analyseperiode (Frischer bis sehr frische Hangstandort; mittlerer Stammdurchmesser 15cm, Analyseperiode 2051-2100) im Referenzklima (Baseline), sowie in den Klimaänderungsszenarien A1B, A2 und B1. Blaue Line/Punkte = Business as usual (BAU) - Bewirtschaftung; Grüne Line/Punkte = Adaptives Management (AM) – Konzept.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch moderate Anpassungsmaßnahmen (Eichenbeimischung) die nachhaltige Erbringung erwünschter Ökosystemleistungen im Biosphärenpark Wienerwald unter den analysierten Klimawandelbedingungen möglich ist. Das dargestellte AM Konzept würde ohne Klimawandel Produktivitätsverluste zeigen, stellt also in Bezug auf diesen Naturalindikator keine eindeutige Win-Win-Option dar. Die Klimasensitivität der Biomasseproduktion wird jedoch deutlich reduziert. Es muss auch zusätzlich berücksichtigt werden, dass unter ökonomischen Gesichtspunkten der Eichenanteil durch gute Holzqualitäten den Unterschied in der Volumenproduktivität annähernd ausgleichen könnte, natürlich in Abhängigkeit der Holzpreisrelationen zwischen Buche und Eiche. Dies sowie die zukünftigen Holzqualitäten sind langfristig nicht vorherzusagen und wurden daher im Rahmen der vorliegenden Analysen nicht berücksichtigt.

5 StartClim2009.D: Humusbilanzierung als praxisgerechtes Tool für Landwirte zur Unterstützung einer CO₂-speichernden Landwirtschaft

Dem Humusgehalt des Bodens kommt als Beitrag zur Minderung des Treibhauseffekts und bei der Anpassung der Landwirtschaft an veränderte Klimabedingungen eine herausragende Rolle zu. Bei gleichbleibendem bzw. steigendem Bodenumusgehalt wird Kohlenstoff (C) mittelfristig im Boden gebunden und damit von der Atmosphäre ferngehalten. Ein Boden mit standortangepaßt hohem Humusgehalt kann mehr Wasser speichern und damit die Kulturpflanzen unter trockenen Bedingungen besser versorgen, aber auch Starkregen besser infiltrieren, und Erosion vermindern. Eine Verbesserung des Humusgehaltes des Bodens hat auch eine Erhöhung der Kationenaustauschkapazität und damit der Nährstoffspeicherung zur Folge.

Die Bodenpraktiker-Ausbildung, die von Bio Forschung Austria (BFA) gemeinsam mit Distelverein und Bio Austria entwickelt wurde, und die im Weinviertel schon zum 3. Mal durchgeführt wird, sensibilisiert (Bio-)Bauern für den Wert des Bodenumus. Anhand von Humusbilanzen können Bauern sehen, welche Auswirkungen ihre Fruchtfolge und Bewirtschaftung auf den Humusgehalt ihres Ackerbodens haben. Die derzeit von BFA für die Berechnung der Humusbilanzen in diesem Rahmen angewendete einfache Methode berücksichtigt jedoch regionale Fruchtfolge- und Ertragsverhältnisse sowie auch bestimmte Bewirtschaftungsfaktoren wie z.B. Begrünungen nicht ausreichend.

Das Ziel des vorliegenden Projektes war es, eine Humusbilanzmethode zu finden, die einerseits relativ rasch und mit für die Bauern vertretbarem Aufwand an Input-Daten zu berechnen ist, andererseits aber unter Weinviertler Verhältnissen die Humusentwicklung auf den landwirtschaftlichen Betrieben hinreichend genau abbildet, um den Bauern ein Werkzeug in die Hand zu geben, mit dessen Hilfe eine CO₂-speichernde Landwirtschaft für sie begreifbar, aber vor allem auch planbar und umsetzbar wird.

Anhand des umfangreichen Datenmaterials aus dem langjährigen Exaktversuch ‚STIKO‘ der Bioforschung Österreich (BFA) wurden fünf Humusbilanzierungsmethoden mit den gemessenen Humus-Kohlenstoff-Gehalten im Boden nach zwölfjähriger Bewirtschaftung verglichen. Drei Varianten mit Kompostdüngung (mit 9, 16 und 24 t Kompost/ha/J) wurden als Modell für eine humusmehrende Bewirtschaftungsweise herangezogen.

Die getesteten Humusbilanzierungsmethoden waren:

- die Humuseinheiten-Methode (HE-Methode) nach Leithold et al. 1997, angewendet in ihrer dynamischen Form mit Hilfe des Bilanzierungsprogramms REPRO (Hülsbergen, 2002)
- die Humusbilanzmethode der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Bayer. LfL; www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/12458/)
- die Humusbilanzmethode nach Kolbe (Kolbe, 2007)
- die VDLUFA-Humusbilanzmethode, gerechnet mit den ‚oberen Werten‘ (VDLUFA, 2004)
- die ROS (Reproduktionswirksame organische Substanz) – Methode (Autorenkollektiv, 1977).

Der Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Humusbilanzierungsmethoden mit den nach 12 Versuchsjahren gemessenen Veränderungen im C-Gehalt des Bodens der kompostgedüngten Varianten ergab zum Teil recht große Unterschiede in der Prognosegenauigkeit. Während die HE-Methode (REPRO), die Methode der Bayerischen LfL und die Methode Kolbe mit Abweichungen von -8, +12 und -13 % vom gemessenen Wert die Entwicklung des C-Gehaltes des Bodens recht zutreffend einschätzten, überschätzten die VDLUFA- und die ROS-Methode mit Abweichungen von +69 und +94 % vom gemessenen Wert die bei der gegebenen Bewirtschaftung resultierenden C-Gehalte deutlich (Abb. 9).

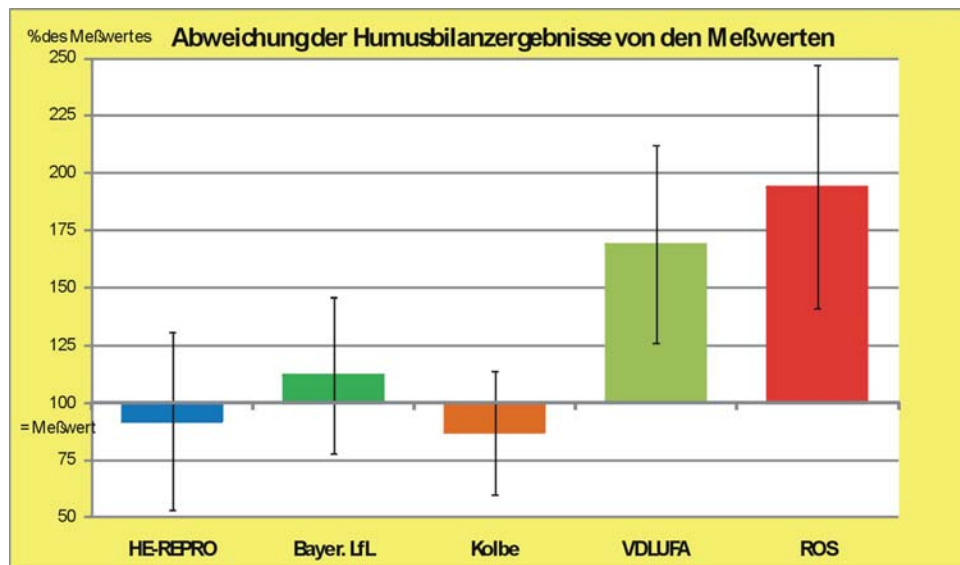


Abb. 9 : Abweichung der mittels fünf Humusbilanzmethoden für den Versuch ‚STIKO‘ errechneten Salden von Humus-C nach 12 Bewirtschaftungsjahren von den im Boden der kompostgedüngten Varianten gemessenen C-Werten.

Die Ergebnisse dieses Vergleiches wurden mit Weinviertler Bauern diskutiert. Dabei wurde mit den Bauern auch abgestimmt, welche Bewirtschaftungs- und Erntedaten sie in welcher Detailliertheit und Genauigkeit für die Humusbilanzierung zur Verfügung stellen können. Unter Berücksichtigung der seitens der Landwirtschaftsbetriebe vorhandenen Daten und des zumutbaren zeitlichen und finanziellen Aufwandes für die Humusbilanzierung fiel die Wahl auf die Methode Kolbe. Diese ist einerseits mit nicht zu großem Aufwand berechenbar, bietet aber andererseits eine Differenzierung nach Bodentypen und eine Abstufung der Wirksamkeit der organischen Düngung nach der Menge.



Abb. 10 : Bodenprofil mit ausgeprägt humosem A-Horizont und Begrünung. Profilgrube mit Wurzelfreilegung von Bio Forschung Austria.

Berechnungen zur Empfindlichkeit der Humusbilanzen auf ungenaue bzw. fehlerhafte Einschätzungen beim Strohgewicht und beim Gewicht der Begrünungsbiomasse ergaben einen Fehler von bis zu 120 kg C/ha bei einer Fehleinschätzung der Strohmenge um bis zu einer Tonne, während bei der Fehleinschätzung der Begrünungsbiomasse der resultierende Fehler mit bis zu 20 kg C/ha wesentlich geringer war. Da für die Begrünungen seitens der Landwirte typischerweise keine Daten für das Gewicht des Aufwuchses vorhanden sind, kann angesichts dieses Ergebnisses die Biomasse der Begrünungen unter Zuhilfenahme von vorhandenen Vergleichsdaten aus mehrjährigen Begrünungsversuchen der BFA für die praktische Anwendung der Methode geschätzt werden.

Die Erprobung der ausgewählten Methode an Daten von Praxisbetrieben verlief positiv. Die Methode wird daher zukünftig auch in den regelmäßig stattfindenden Workshops von BFA mit Bauern aus anderen Regionen verwendet werden.

Die im Projekt errechneten Humusgehaltsänderungen lagen zwischen +370 und +1100 kg C/ha /J im Feldversuch mit Kompostdüngung und zwischen -300 und +480 kg C/ha /J auf Praxisschlägen. Der Wert von +480 kg C wurde mit Feldfutterbau, Kompostdüngung und Begrünungen erzielt.

Unter der optimistischen Annahme, dass durch die Forcierung von humusmehrenden Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der gesamten österreichischen Ackerfläche (1,39 Mio. ha) jeweils 500 kg C/ha/J gespeichert würden, wären das in Summe 0,7 Mio. t C/J, entsprechend 2,55 Mio. t CO₂/J. Die gesamten CO₂-Emissionen in Österreich betragen im Jahr 2008 73,6 Mio. t, die gesamten Treibhausgasemissionen lagen bei 86,6 Mio. t CO₂-Äquivalente. Zur Erreichung seiner Kyoto-Verpflichtung muss Österreich diese Emissionen um 17,8 Mio. t CO₂-Äquivalente /Jahr reduzieren.

Der Vergleich zeigt, dass die C-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden einen gemessen an den völkerrechtlichen und EU-Verpflichtungen merklichen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen leisten kann. Da die erforderlichen Techniken bekannt und relativ leicht umsetzbar sind, wäre dieser Beitrag auch rasch zu verwirklichen. Jedoch können die aus der Verbrennung fossiler Energie stammenden CO₂-Emissionen durch C-Sequestrierung in landwirtschaftlichen Böden bei weitem nicht kompensiert werden.

In jedem Fall aber verbessert der gespeicherte Kohlenstoff die Bodenfunktionen und ist deshalb – insbesondere auch für die Klimawandelanpassung – sehr positiv zu bewerten.

6 StartClim2009.E: Optimierung des thermischen Innenraumkomforts in Wiener Büros zur Anpassung an erhöhte Sommertemperaturen in Gefolge des Klimawandels

Die Minimierung des Kühlenergiebedarfs in Bürogebäuden bei gleichzeitiger Gewährleistung von ausreichendem thermischem Innenraumkomfort gewinnt mit fortschreitender Erwärmung im Zuge des Klimawandels und mit der bevorstehenden Energieverknappung zunehmend an Bedeutung. Im vorliegenden Projekt wurden Optimierungstrategien am und im Gebäude mit Hilfe von Modellen zur Berechnung der Wärmebilanzen von Gebäuden untersucht sowie innovative Kühltechnologien hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bewertet.

Verbesserte Energieeffizienz elektronischer Geräte und künstlicher Beleuchtung führt zu wesentlich geringeren internen Wärmelasten und damit einer deutlichen Senkung des Kühlbedarfs. Die erzielbaren, jährlichen Einsparungen bewegen sich in der Größenordnung der durch den Klimawandel zu erwartenden Mehrbedarfe.

Es ist zu erwarten, dass die hier angenommene Verbesserung der Energieeffizienz von Arbeitshilfen in den kommenden Jahren tatsächlich erzielt wird, da sich Mehrkosten für effizientere Geräte zunehmend verringern. Allerdings muss Sorge getragen werden, dass derartige Effizienzgewinne nicht durch den Betrieb zusätzlicher Geräte kompensiert werden. Verminderte interne Wärmelasten führen vor allem in schlecht gedämmten Gebäuden im Winter zu höherem Heizwärmebedarf. In solchen Gebäuden empfiehlt sich eine Verbesserung der Wärmedämmung der Gebäudehülle.

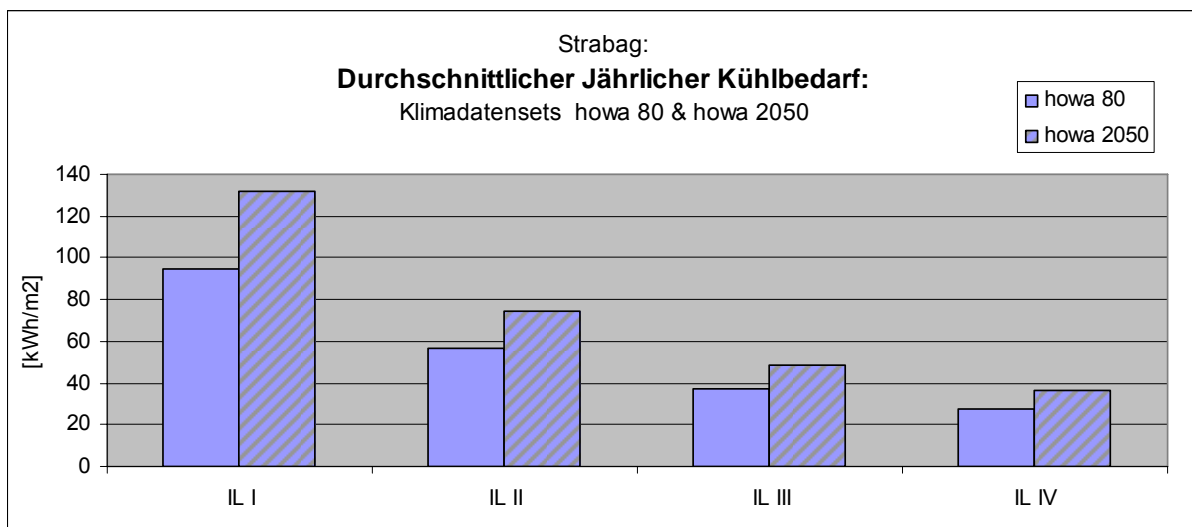


Abb. 11 : Jährlicher Kühlenergiebedarf eines Büroraums für derzeitige („howa 80“) und zukünftige („howa 2050“) Klimasituation bei Einsatz unterschiedlich effizienter elektronischer Geräte und Beleuchtung: IL I entspricht einem worst case, IL IV zeigt die Wirkung der effizientesten derzeit am Markt verfügbaren Geräte.

Änderungen der zeitlichen Nutzung von Räumen können ebenfalls Wärmelasten in Bürogebäuden verändern, da mit der Anwesenheit von Nutzern nicht nur deren eigene Wärmeleistung sondern auch die der von ihnen benutzten Geräte und Beleuchtungskörper verbunden ist. Daher ist es aus Sicht der Minderung von Kühlbedarf sinnvoll, die Nutzeranwesenheit tendenziell aus den heißesten Stunden des Tages in kühlere Stunden zu verlegen. Ähnliche Einsparungen lassen sich auch über die verminderte Nutzeranwesenheit durch Teleworking erzielen. Da derartige Maßnahmen generell stark in den Arbeitsablauf der Mitarbeiter eingreifen, ist hier allerdings eine breitere Diskussion erforderlich, die über rein thermisch - energetische Aspekte hinausgeht.

Im Rahmen der Studie wurde gezeigt, dass durch Fensterlüftung in natürlich belüfteten Gebäuden Komfortverbesserungen in beschränktem Umfang realisierbar sind. Das genaue Ausmaß der Verbesserung ist jedoch stark von der vorherrschenden Windsituation und deren spezifischer Ausprägung bei dem betrachteten Gebäude abhängig. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Zunahme von warmen Nächten die Wirksamkeit nächtlicher Kühlung reduziert.

Untersucht wurde auch die Möglichkeit, Luftströmung zur Verbesserung der Komfortsituation von außen einzuleiten bzw. Kühlung durch Ventilatoren auf Schreibtischen sicherzustellen. Beides ist möglich und oft auch sinnvoll: im ersten Fall müssten aber belastbare Berechnungswerkzeuge für die erzielbaren Strömungen im Inneren in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und -richtung außen erst entwickelt werden.

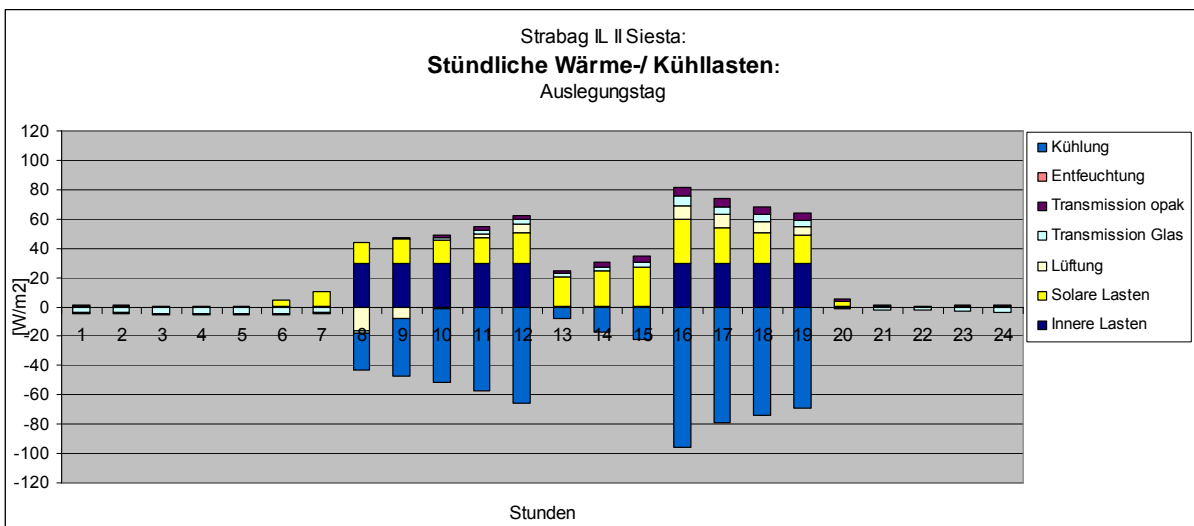
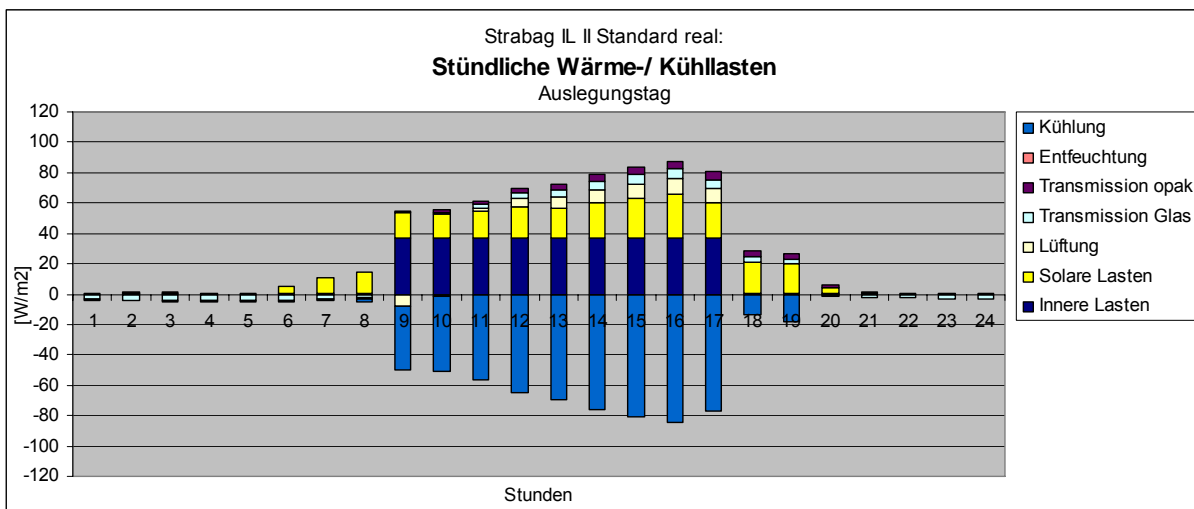


Abb. 12 Vergleich zwischen einem Standard – Auslegungstag (oben) und einem Siesta – Arbeitszeitmodell (untern) anhand der stündlichen Wärmegewinne und –verluste in einem Büroraum: durch die Nutzerabwesenheit in der Siesta wird der Kühlbedarf in diesem Zeitraum stark minimiert.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden weiters innovative, größtenteils noch nicht am Markt verfügbare Kühltechnologien hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Eignung für Bürogebäude untersucht. Radiative Systeme nutzen Wärmeabstrahlung gegen den kalten Nachthimmel zur Kühlenergieerzeugung, evaporative Systeme entziehen der Raumluft Wärme durch die Verdunstung von Wasser.

Die Kombination aus radiativen und evaporativen Systemen als Ergänzung zu herkömmlichen Kühltechnologien hat sich zur Abdeckung des Kühlleistungsbedarfs für Bürobauten als wirksamste Lösung erwiesen. Die Einbindung von Speichern zur Überbrückung von „Angebot“ (größtenteils in der Nacht) und „Nachfrage“ (tagsüber) - sei es in Form von Speichermassen des Gebäudes oder als Wasserspeicher - ist zweckmäßig und teilweise notwendig.

7 StartClim2009.F: AlpinRiskGP – Abschätzung des derzeitigen und zukünftigen Gefährdungspotentials für Alpentouristinnen/Alpentouristen und Infrastruktur bedingt durch Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im Großglockner-Pasterzengebiet (Hohe Tauern, Österreich)

Zahlreiche natürliche Prozesse im Hochgebirge verstärken sich als Folge des Klimawandels. Insbesondere sind dies Vorgänge, die die Geländeoberfläche durch Abtragung, Transport und Ablagerung von Gestein umgestalten, z. B. Felsstürze, Steinschlag oder Muren. Solche hochgebirgstypischen Prozesse stellen schon immer eine Gefahr für anwesende Personen und/oder Infrastruktur dar. Wenn sich Häufigkeit, Größe und Reichweite dieser Ereignisse durch den Klimawandel verstärken und sich gleichzeitig tendenziell mehr Personen in deren Einflussbereich aufhalten, ist in Zukunft zumindest regional von einer Zunahme des Gefährdungspotentials auszugehen.

Für Siedlungen und Verkehrswege wurde bereits seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert und für touristisch intensiv genutzte Flächen (z. B. Skipisten) in den letzten Jahrzehnten ein ausgeklügeltes System an permanenten und temporären bzw. aktiven und passiven Schutzmaßnahmen, eingebettet in ein integrales Risikomanagement, entwickelt und in Österreich beinahe lückenlos umgesetzt. Für die alpinen (markierten) Bergwege und die hochalpinen (unmarkierten) Routen ist dies jedoch in der Regel nicht der Fall. Aus diesem Grund beschäftigen sich immer mehr Personen mit der Frage nach der Gewährleistung der Sicherheit für Personen, die sich auf Bergwegen und Routen bewegen. AlpinRiskGP verfolgt das Ziel ein Werkzeug zu entwickeln, das Gefahrenstellen genau, flächenhaft und nachvollziehbar identifiziert und somit das Setzen gezielter Maßnahmen erleichtert.

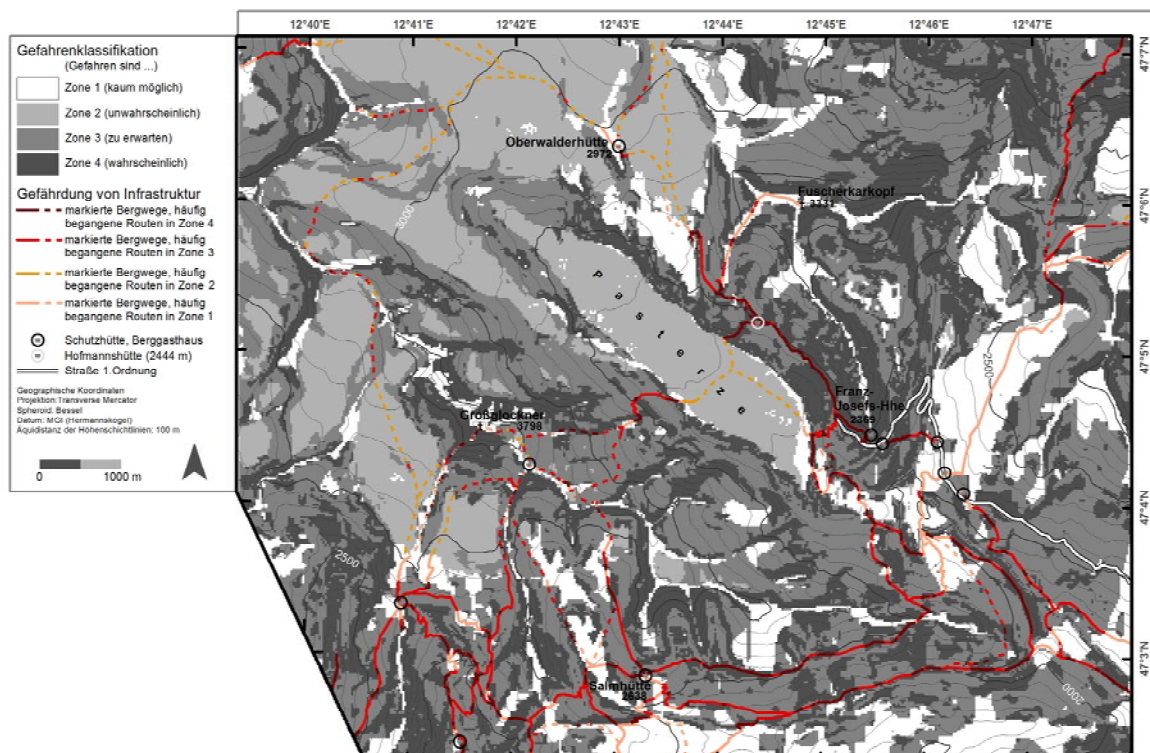


Abb. 13 : Vulnerabilitätskarte 2010

Als Untersuchungsgebiet diente eine der meistbesuchten Hochgebirgslandschaften Österreichs, wo vor allem Gletscherschwund und auftauender Permafrost potenziell gefährliche

Prozesse auslösen. Im Projekt wurden zum einen Sturz- und zum anderen flächenhafte Abtragungsprozesse modelliert. Der erste Schritt hierfür war die Modellierung der Disposition, d. h. der Anfälligkeit einer Fläche zur Bildung und Auslösung von Prozessen. Diese wurde aus der Kombination unterschiedlicher Informationen (z. B. Hangneigung, geologischer Untergrund) gewonnen. Der zweite Schritt war die Prozessmodellierung, wodurch Abtragung, Transport und Ablagerung von Gestein flächenmäßig festgelegt werden konnten. Schließlich erfolgte eine Bewertung dieser Prozesse als Grundlage zur Erstellung einer Gefährdungskarte, die das untersuchte Gebiet in vier Gefährdungsklassen gliedert. Dieser Vorgang wurde mit Hilfe von Daten aus Klimamodellen für ein Szenario im Jahr 2030 ein zweites Mal durchgeführt und somit eine zweite Gefährdungskarte erstellt.

Diese Gefährdungskarten wurden schließlich durch Überlagerung mit dem Wege- und Routennetz zu Vulnerabilitätskarten (siehe Abbildungen 13 und 14) umgestaltet, worin nun visuell leicht erfassbar zu erkennen ist, wie stark die einzelnen Weg- oder Routenabschnitte von gefährlichen Prozessen betroffen sind. Die Ergebnisse zeigen klar, dass sowohl der Anteil der Flächen als auch der Anteil der Wege und Routen in den höheren Gefährdungsklassen bis 2030 zunehmen werden, das Gefährdungspotential sich also tatsächlich erhöht.

Die Vulnerabilitätskarten wurden zuletzt von regionalen Akteurinnen und Akteuren begutachtet, auf ihre Richtigkeit überprüft und in Hinblick auf mögliche Maßnahmen bewertet. Zu diesen gehören lokale (z. B. Auffassung oder Neuanlage von Wegen) und organisatorische Maßnahmen (z. B. Einrichtung eines Wege-Informationssystems) sowie eine verbesserte Ausbildung von Personen, die im Hochgebirge ihre Freizeit verbringen. Die hier dargestellte Methodik ist auf andere Gebiete übertragbar.

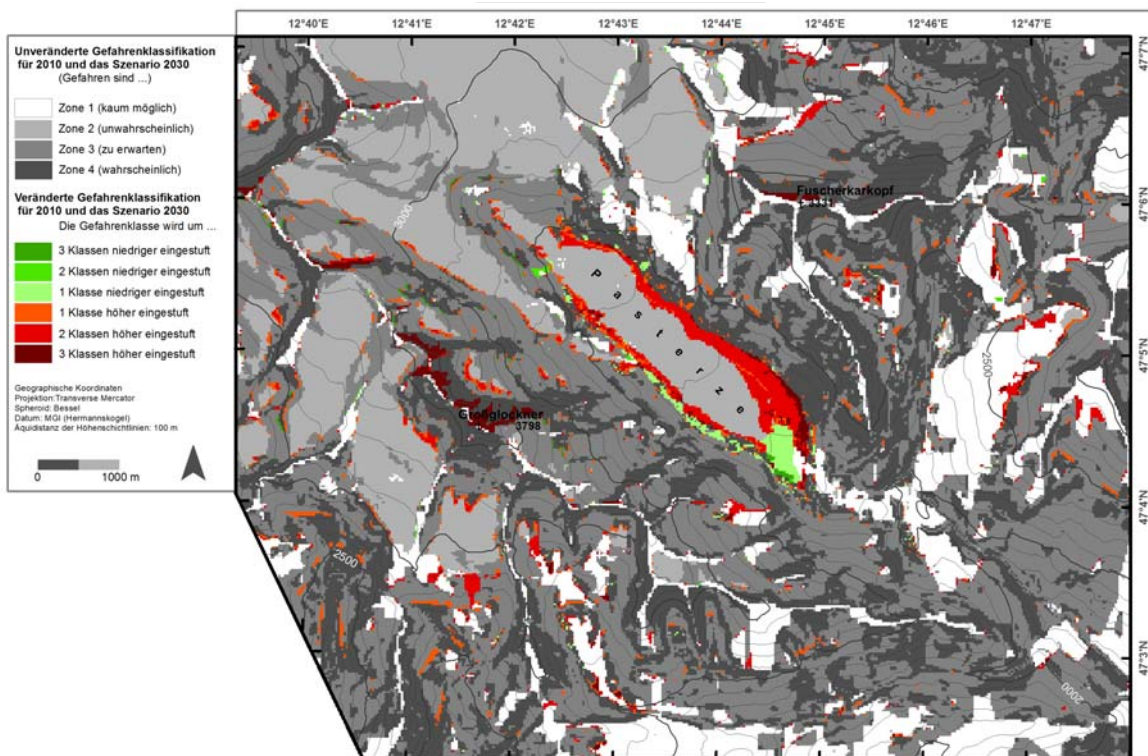


Abb. 14 : Differenzkarte der Gefahrenstufen 2010-2030

Obwohl dem Projekt AlpinRiskGP nur ein schwaches Erwärmungsszenario für den kurzen, überschaubaren Zeitrahmen von zwei Jahrzehnten (Szenario 2030) zu Grunde gelegt wurde, ist auf dem überwiegenden Teil der sich bezüglich der Gefahrenklasse verändernden Flächen eine Erhöhung der Gefahr festzustellen (orange bis dunkelrot), während die Herabsetzung des Gefahrenpotenzials nur punktuell vorkommt (grün).

Literaturverzeichnis

StartClim2009.A

Adler, W., Oswald, K. & R. Fischer, 1994. Exkursionsflora von Österreich, Ulmer Verlag, Stuttgart.

Angeringer, W. & G. Karrer, 2007. Preserving species richness in hay meadows of Vienna's nature conservation area Lainzer Tiergarten. Biocultural Diversity – a global issue. Conference Proceedings, BOKU, Vienna.

Bassler, G., Lichtenecker, A. & G. Karrer, 2000. Gliederung der extensiven Grünlandtypen im Transekt von Oppenberg bis Tauplitz. In: MaB-Forschungsbericht. Landschaft und Landwirtschaft im Wandel – Das Grünland im Berggebiet Österreichs, Akademie der Wissenschaften, Wien, 51-98.

Bassler, G., Lichtenecker, L. & G. Karrer, 2003. Klassifikation des Extensivgrünlandes (Feuchtwiesen, Moore, Bürstlingrasen und Halbtrockenrasen) im Zentralraum des Waldviertels, Wiss. Mitt. Niederösterreich. Landesmuseum, 15: 7-48, St. Pölten.

Bassler, G., Karrer, G. & A. Lichtenecker, 1998. Grünlandtypen im Transekt von Oppenberg bis Tauplitz. Unveröff. Endbericht zum MAB-Pilotprojekt: Das Grünland im Berggebiet Österreichs, Wien.

Billeter, R., Liira, J., Bailey, D. et al., 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* 45: 141-150.

Bohner, A. & M. Sobotik, 2000. Das Wirtschaftsgrünland im Mittleren Steirischen Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. In: MaB-Forschungsbericht. Landschaft und Landwirtschaft im Wandel – Das Grünland im Berggebiet Österreichs, Akademie der Wissenschaften, Wien, 15 – 508.

Bohner, A., 2010. Zeigerpflanzen für die Beurteilung des Bodenzustandes im Wirtschaftsgrünland. 2. Umweltökologisches Symposium, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Tagungsband 111-120.

Braun-Blanquet, J., 1964. Pflanzensoziologie. G. Fischer Vlg. Wien.

Bruelheide, H., 2003. Translocation of a montane meadow to simulate the potential impact of climate change. *Applied Vegetation Science* 6: 23-34.

Buchgraber, K., 2007. Die Gemeine Risse – Ein Problem in der intensiven Grünlandwirtschaft. Österreichische Grünland- und Viehwirtschaftstage für Gunstlagen "Die Wiese als Basis zum Erfolg". St. Georgen im Attergau.

Buchgraber, K., 2000. Ertragspotentiale und Artenvielfalt auf Grünlandstandorten im Berggebiet. In: MAB-Forschungsbericht: Landschaft und Landwirtschaft im Wandel. Akademie der Wissenschaften. 22-23.09.2000, Wien, 181-189.

Buchgraber, K. & G. Gindl, 2004. Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung (2. Aufl.). Leopold Stocker Verlag Graz, S. 52-55.

Buckland, D. S.M., Thompson, K., Hodgson, J.G. & H.P. Grime, 2001. Grassland invasions: effects of manipulations of climate and management. *Journal of Applied Ecology* 38: 301-309.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BMLFUW, 2006. Richtlinien für die sachgerechte Düngung (6. A), pp. 79.

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BMLFUW, 2010. Bericht über die Lage der österreichischen Landwirtschaft 2009 (51. Grüner Bericht), Wien.
- Danner, M., 2008. Wirtschaftsdünger im Biolandbau – Aufbereitung und Einsatz. Der fortschrittliche Landwirt, Sonderbeilage.
- Dierschke, H. & G. Briemle, 2002. Kulturgrasland - Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. Reihe Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, pp. 239.
- Dietl, W. & J. Lehmann, 2004. Ökologischer Wiesenbau. Av Buch, pp. 144.
- Dirnböck, T., Dullinger, S. & G. Grabherr, 2003. A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. *Journal of Biogeography* 30: 401-417.
- Duckworth, J. C., R. G. H. Bunce, et al. (2000). Vegetation gradients in Atlantic Europe: the use of existing phytosociological data in preliminary investigations on the potential effects of climate change on British vegetation. *Global Ecology & Biogeography* 9: 187-199.
- Ehrendorfer F., 1973. Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Eitzinger, J., 2007. Einfluss des Klimawandels auf die Produktionsrisiken in der österreichischen Landwirtschaft und mögliche Anpassungsstrategien. Ländlicher Raum (on-line) - www.laendlicher-raum.at.
- Ellenberg, H., 1979. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas (2. Auflage), *Scripta Geobot.*, 9: 1-122.
- Englisch, M., Karrer, G., & H. Wagner, 1991. Bericht über den Zustand des Waldbodens in Niederösterreich. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien und Amt d. Niederösterr. Landesregierung, Wien, 110 pp.
- Flügel, H. W. & F. Neubauer, 1984. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen, Steiermark, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Formayer, H., Haas P. & al. 2004. Untersuchung regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. Endbericht von StartClim2004.B in StartClim2004: Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, BMWFJ. 30 pp.
- Grabherr, G., Gottfried, M. & H. Pauli, 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369: 448.
- Grabner, S., Silberberger, I. & W. Hofbauer, 2001. Auswahl der Untersuchungsgemeinde im Bezirk Kufstein und Kitzbühel für das MaB Projekt „Grünland im Berggebiet“. Unveröffentl. Bericht, Innsbruck und Wien.
- Grime, H.P., 2001. *Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties*. Second Edition, John Wiley & Sons, Chichester.
- Grime, H.P., J.G. Hodgson & R. Hunt, 1988. *Comparative Plant Ecology. A functional approach to common British species*. London, Unwin Hyman Inc. 742 pp.
- Grünbacher, E., Hann, P., Trska, C., Kromp, B. & H. Formayer, 2007. Auswirkung des Klimawandels auf die Ausbreitung der Engerlingsschäden (Scarabaeidae; Coleoptera) im österreichischen Grünland, Endbericht von StartClim2006.C in StartClim2006: Klimawandel und Gesundheit, Tourismus, Energie. BMLFUW, BMGFJ, BMWA, BMWF
- Harmens, H., Williams, P.D., Peters, S. L., Bambrick, M. T., Hopkins, A. & T.W. Ashenden, 2004. Impacts of elevated atmospheric CO₂ and temperature on plant community structure of a temperate grassland are modulated by cutting frequency. *Grass and Forage Science* 59: 144-156.

- HBFLA Raumberg –Gumpenstein, 2006. Bericht über das 2. Klimaseminar. ISSN: 1026-6267, ISBN: 3-901980-87-3 pp 255.
- Hofer, H.R., 1992. Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 59: 39-54.
- Hydrographischer Dienst in Österreich, 1994. Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 1990. Band: 98. Zentralbüro des Hydrographischen Dienstes, Wien.
- Karrer, G., 1992. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Teil VII: Vegetationsökologische Analysen. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, 168: 193-242.
- Karrer, G. & W. Kilian, 1990. Standorte und Waldgesellschaften im Leithagebirge Revier Sommerein. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 165: 1-244.
- Klanderud, K. & H.J.B. Birks, 2003. Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plant. *Holocen* 13/1: 1-6.
- Lichtenecker, A., Bassler, G. & G. Karrer, 2003. Klassifikation der Wirtschaftswiesen (Fettwiesen der Arrhenatheretalia) im Zentralraum des Waldviertels. *Wiss. Mitt. Niederösterreich. Landesmuseum* 15: 49-84.
- Liira, J. et al., 2008. Plant functional group composition and large scale species richness in European agricultural landscapes. *Journal of Vegetation Science* 19: 3-14.
- McCune, B., 2005: PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 5. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Muller, S., Dutoit, T., Alard, D. & F. Grevilliot, 1998. Restoration and rehabilitation of species-rich grassland ecosystems in France: a review. *Restoration Ecology* 6/1: 94-101.
- Nippert, J.B., Knapp, A.K. & J.M. Briggs, 2006. Intra-annual rainfall variability and grassland productivity: can the past predict the future? *Plant Ecology* 184: 65-74.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C. & G. Grabherr, 2007. Signals of range expansions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the Gloria master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13: 147-156.
- Pöllinger, A. & E. M. Pötsch, 1998. Wirtschaftsdüngerbehandlung – so veredeln sie ihren Hofdünger! *Der fortschrittliche Landwirt. Sonderbeilage Heft 15.*
- Pötsch, E., 2010a. Grünland und Almwirtschaft. *In: Grüner Bericht 2010, Lage der österreichischen Land- und Forstwirtschaft 2009*, BMLFUW, Wien.
- Pötsch, E., 2010b. Multifunktionalität und Bewirtschaftungsvielfalt im österreichischen Grünland. 16. Alpenländisches Expertenforum LFZ Raumberg-Gumpenstein, Tagungsband 1-10.
- Pötsch, E. & A. Baumgarten, 2010. Phosphorproblematik im Grünland. *Der fortschrittliche Landwirt* 18/2010: 30-31.
- Pötsch, E., Graschi, A., Graiss, W. & B. Krautzer, 2008. Alternative Grünlanderneuerung mittels Selbstversamung. 14. Alpenländisches Expertenforum, 2. April 2008, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning.
- Price, M.V. & N.W. Waser, 2000. Responses of subalpine meadow vegetation to four years of experimental warming. *Ecological Applications* 10/3: 811-823.
- Rounsevell, M.D.A., Brignall, A.P. & P.A. Siddons, 1996. Potential climate change effects on the distribution of agricultural grassland in England and Wales. *Soil Use and Management* 12: 44-51.
- Schaumberger, A., 2005. Ertragsanalyse im österreichischen Grünland mittels GIS unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. *Veröffentlichungen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning, Heft 42*, 66 pp.

- Schmitt, R., 1995. Horstgräser: Lebensdauer, Ertrag, Vermehrungspotential. *Agrarforschung* 2 (3): 108-111.
- Schreiber, K-F., 1997. Sukzessionen - eine Bilanz der Grünlandbracheversuche in Baden-Württemberg. Ber. Landesanstalt f. Umweltschutz Baden- Württemberg, Karlsruhe. 9, 153-162
- Schreiber, K.-F., Brauckmann, H.-J., Broll, G. et al. 2009. Artenreiches Grünland in der Kulturlandschaft – 35 Jahre Offenhaltungsversuche Baden-Württemberg. Verlag Regionalkultur Heidelberg. 421 pp.
- Stampfli, A. & M. Zeiter, 2001. Species responses to climatic variation and land use change in grasslands of Southern Switzerland. *In: Burga, C.A. & Kratochwil, A. (eds.) Biomonitoring. General and applied aspects and global scales.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Theurillat J-P. & A. Guisan. 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review. *Climatic change* 50: 77-109.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Gruszczynski, G. et al., 2006. A simple statistical model for predicting herbage production from permanent grassland. *Grass Forage Sci.*, 61 (3), 253-271.
- Vittoz, P., Randin, C., Dutoit, A., Bonnet, F. & O. Hegg, 2009. Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps. *Global Change Biology* 15: 209-220.
- Weigelt, A., Wawer, W.W., Buchmann, N. & M. Scherer-Lorenzen, 2009. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences Discuss.* 6: 3187-3214.
- Willems, J.H., 1985. Growth form spectra and species diversity in permanent grassland plots with different management. *Münstersche Geographische Arbeiten* 20: 35-43.
- Willems, J.H., 2001. Problems, approaches, and results in restoration of Dutch calcareous grassland during the last 30 years. *Restoration Ecology* 9/2: 147-154.
- Wytrzens, H.K. & C. Mayer, 1999. Multiple Use of Alpine Grassland in Austria and the Implications for Agricultural Policy. *Die Bodenkultur*, 50, 4, 251-261.

(<http://gis.lebensministerium.at/eBOD/>)

(<http://www.ufz.de/biolflor/index.jsp>)

StartClim2009.B

- Alcamo, J., Moreno, J. M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R. J. N, Giannakopoulos, C., Martin E. , Olesen, J. E., Shvidenko, A. 2007. Europe. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Hrsg. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
- Cade, B.S. & Noon, B. 2003. A gentle introduction to quantile regression for ecologists. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 412-420
- European Environment Agency 2008. Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. *EEA Report* 4: 246.
- Falster, D. 2003. Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 337-343.
- Furnival, G., & Wilson, R. 1974. Regression by Leaps and Bounds. *Technometrics* 16: 499-511.

- Koenker, R. 1978. Regression quantiles. *Econometrica* **46**: 33-50.
- Kölling, C. 2007. Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **62**: 1242-1245.
- König, A. 2005. Provenance research: evaluating the spatial pattern of genetic variation. *Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe*: 275–333.
- Konnert, M. 2007. Herausforderung für die Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung. *AFZ - Der Wald* **16**: 866 - 867.
- Langlet, O. 1971. Two hundred years genecology. *Taxon* **20**: 653–721.
- Lexer, M., & Seidl, R. 2007. Der österreichische Wald im Klimawandel–Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung. *Ländlicher Raum - Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft*.
- Nather, J., & Holzer, K. 1979. Über die Bedeutung und die Anlage von Kontrollflächen zur Prüfung von anerkanntem Fichtenpflanzgut. *Informationsdienst Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien* **181**.
- Rehfeldt, G. E., Tchebakova, N. M., Parfenova, Y. I., Wykoff, W. R., Kuzmina, N. a., & Milyutin, L. I. 2002. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology* **8**: 912-929.
- Savolainen, O., Bokma, F., Knürr, T., Kärkkäinen, K., Pyhäjärvi, T., & Wachowiak, W. 2007. Adaptation of forest trees to climate change. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. Bioversity International, Rome, Italy*: 19–30.
- Schmidt-Vogt, H. 1972. Studien zur morphologischen Variabilität der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) – 2. Untersuchungen zur morphologischen Variabilität der Fichte im europäischen Verbreitungsgebiet. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **143**: 177-186.
- Schröder, H., Andersen, H., & Kiehl, K. 2005. Rejecting the mean: Estimating the response of fen plant species to environmental factors by non-linear quantile regression. *Journal of Vegetation Science* **16**: 373–382.
- Thomson, J., Weiblen, G., Thomson, B., Alfaro, S., & P. 1996. Untangling multiple factors in spatial distributions: lilies, gophers, and rocks. *Ecology* **77**: 1698-1715.
- Wang, T., Hamann, A., Yanchuk, A., O'Neill, G. A., & Aitken, S. N. 2006. Use of response functions in selecting lodgepole pine populations for future climates. *Global Change Biology* **12**: 2404-2416.
- Zimmermann, N., Bolliger, J., Gehrig-Fasel, J., Guisan, A., Kienast, F., Lischke, H., Rickebusch, S., & Wohlgemuth, T. 2006. Wo wachsen die Bäume in 100 Jahren. In *Wald und Klimawandel. Forum für Wissen 2006*: 63–71.

StartClim2009.C

- Currie, W.S., Nadelhoffer, K.J., 1999. Dynamic redistribution of isotopically labeled cohorts of nitrogen inputs in two temperate forests. *Ecosystems* **2**, 4-18.
- Currie, W.S., Nadelhoffer, K.J., Aber, J.D., 1999. Soil detrital processes controlling the movement of ¹⁵N tracers to forest vegetation. *Ecological Applications* **9**, 87-102.
- Formayer H., Haas P., 2010. Klimaszenarien. In: Endbericht „KlimAdapt“ – Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel. Wien
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P., Sieck, K. 2008 Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Umweltbundesamt.

Kilian, W., Müller, F., Starlinger, F., 1994. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. Wien: Forstliche Bundesversuchsanstalt.

Landsberg, J. J., Waring, R. H. 1997. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*. 95, 209–228.

Lexer, M. J., Hönninger, K. 2001. A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. *Forest Ecology and Management*. 144, 43–65.

Lexer, M. J., Hönninger, K., Scheifinger, H., Matulla, Ch., Groll, N., Kromp-Kolb, H., Schadauer, K., Starlinger, F., Englisch, M. 2002. The sensitivity of Austrian forests to scenarios of climate change: a large scale risk assessment based on a modified gap model and forest inventory data. *Forest Ecology and Management*. 162, 53-72.

Lexer, M. J., Seidl, R. 2009. Addressing biodiversity in a stakeholder –driven climate change vulnerability assessment of forest management. *Forest Ecology and Management*.

R Development Core Team, 2007. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Seidl, R., Lexer, M.J., Jäger, D., Hönninger, K. 2005. Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model. *Tree Physiology*. 25, 939-951.

Seidl, R., Rammer, W., Jäger, D. & Lexer, M.J. 2008. Impact of bark beetle (*Ips typographus* L.) disturbance on timber production and carbon sequestration in different management strategies under climate change. *Forest Ecology and Management*. 256, 209–220.

Seidl, R., Rammer, W., Lexer, M.J. 2009. Schätzung von Bodenmerkmalen und Modellparametern für die Waldökosystemsimulation auf Basis einer Großrauminventur. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 180, 35-44.

Seidl, R., 2009b. Anpassung an den Klimawandel. *Österreichische Forstzeitung*. 7-2009

Seidl, R., Rammer, W. and Lexer, M.J. 2010. Climate change vulnerability of sustainable forest management in the Eastern Alps. *Clim. Change*, in press DOI 10.1007/s10584-010-9899-1.

Weinfurter P (2004) *Waldbauhandbuch. Eine Orientierungshilfe für die Praxis*. Österreichische Bundesforste AG, Purkersdorf

StartClim2009.D

AUTORENKOLLEKTIV (1977): Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Hrsg.: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften d. DDR. Agrabuch, Leipzig 6.

CAPRIEL P., RIPPEL R. (2007): Humusbilanz für Beratung in Bayern. <http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/12458/>

DIN ISO 11272 (2001): Bestimmung der Trockenrohddichte. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

ERHART E., FEICHTINGER F., HARTL W. (2007): Nitrogen leaching losses under crops fertilized with biowaste compost compared with mineral fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 170, 608-614.

- ERHART E., HARTL W., PUTZ B. (2005): Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. *Europ. J. Agron.* 23, 305-314.
- HARTL W., ERHART E. (2005): Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 781-788.
- HUDSON B. D. (1994): Soil organic matter and available water capacity. *J. Soil and Water Cons.* 49, 189-194.
- HÜLSBERGEN K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag, Aachen.
- HÜLSBERGEN K.-J. (2009): Möglichkeiten der C-Sequestrierung landwirtschaftlich genutzter Böden. In: Ökoregion Kaindorf (Hrsg.): Tagungsband Humus Symposium 2009. 23.-24. 9. 2009, Ökoregion Kaindorf, Stmk.
- KOLBE H. (2007): Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. In: ZIKELI S., CLAUPEIN W., DABBERT S., KAUFMANN B., MÜLLER T., VALLE ZÁRATE A. (Hrsg.): Zwischen Tradition und Globalisierung. Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. pp. 5-8. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- LAL R. (2004): Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- LAL R. (2008): Carbon sequestration. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363, 815-830.
- LEITHOLD G., HÜLSBERGEN K.-J., MICHEL D., SCHÖNMEIER H. (1997): Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT: Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Initiativen zum Umweltschutz 5, pp. 43-54. Zeller Verlag, Osnabrück.
- NELSON D., SOMMERS L. (1982): Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE A. L., MILLER R. H., KEENEY D. R. (eds.): *Methods of Soil Analysis. Part 2.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 539-579.
- NELSON R. E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: PAGE A. L., MILLER R. H., KEENEY D. R. (eds.): *Methods of soil analysis. Part 2.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 181-197.
- PIMENTEL D., HEPPELY P., HANSON J., DOUDS D., SEIDEL R. (2005): Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55, 573-582.
- SCHACHTSCHABEL P., BLUME H.-P., BRÜMMER G., HARTGE K. H., SCHWERTMANN U. (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde.* 14. Aufl., Ferd. Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHNUG E., HANEKLAUS S. (2002): Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden – Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. *Landbauforschung Völkenrode* 52, 197-203.
- SHEPHERD M., HARRISON R., WEBB J. (2002): Managing soil organic matter – implications for soil structure on organic farms. *Soil Use and Management* 18, 284-192.
- SMITH P. (2004): Soils as carbon sinks: the global context. *Soil Use Management* 20, 212-218.

UBA (Umweltbundesamt; Hrsg., 2010): Klimaschutzbericht 2010. Reports, Bd. REP-0267. Umweltbundesamt, Wien.

VDLUFA (Hrsg., 2004): Standpunkt Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Verlag, Bonn.

StartClim2009.E

Climate data sets

Brunner, Conrad U.; Steinemann, Urs; Jürg, Nipkow (Jänner 2008): Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Herausgegeben von Bundesamt für Bauten und Logistik.

Christenson, M.; Manz, H.; Gyalistras, D. (2006): Climate warning impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. In: Energy Conversion and Management, H. 47, S. 671–686.

Frank, Andreas; Formayer, Herbert; Seibert, Petra; Krüger, Bernd C.; Kromp-Kolb, Helga (November 2003 - Juni 2004): reclip:more - Projektjahr 1 Projektteil BOKU-Met Validierung – Sensitivitätstests. Arbeitsbericht für den Zeitraum 1.11.2003 – 30.6.2004.

Gill, Susannah (January 2004): Impacts of Climate Change on Urban Environments. Centre for Urban & Regional Ecology.

Holzer, Peter; Hammer, Renate (Jänner 2008): Sommertauglichkeit im Klimawandel. Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems.

Jaros, Marion: Klimawandel - Anpassungsbedarf und Anpassungsstrategien für Großstädte am Beispiel Wien. Auswirkungen des Klimawandels auf thermischen Komfort und Energiebedarf ausgewählter Wiener Gebäude und Integration von Anpassungsstrategien in die Praxis - unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Aspekten des Klimaschutzes. Unter Mitarbeit von Helga Kromp-Kolb, Martin Treberspurg und Andreas Muhar et al.

Krec, Klaus (2009): Das Labeling für passive Sommertauglichkeit. In: Perspektiven, H. 1_2, S. 73–74.

Krec, Klaus (2009): Klimadatengenerator. In: Perspektiven, H. 1_2, S. 65–66.

Kromp-Kolb, Helga; Jaros, Marion (2009): Klimawandelszenarien für Österreich und potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Energieverbrauch von Gebäuden. In: Perspektiven, H. 1_2, S. 70–72.

Loibl, Wolfgang; Beck, Alexander; Dorninger, Manfred; Formayer, Herbert; Gobiet, Andreas; Schöner, Wolfgang (June 2007): reclip:more. Research for Climate Protection: Model Run Evaluation.

Nicol, J. F.; Humphreys, Michael A. (2002): Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. In: Energy and Buildings, H. 34, S. 563–572.

Prettenthaler, Franz: Heizen und Kühlen im Klimawandel. Joanneum Research und Wegener Zentrum; Graz.

Schneider, Andrea (April 2010): Klimawandel zukunftsfähig gestalten. Impact of climate change on thermal comfort in buildings. Veranstaltung vom April 2010, aus der Reihe "Workshop Kassel, Thermal comfort and Urban Design". Kassel, Germany.

Sample Buildings Constructive Configuration & Conditioning

Brunner, Conrad U.; Steinemann, Urs; Jürg, Nipkow (Jänner 2008): Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Herausgegeben von Bundesamt für Bauten und Logistik.

Christenson, M.; Manz, H.; Gyalistras, D. (2006): Climate warning impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. In: Energy Conversion and Management, H. 47, S. 671–686.

Frank, Andreas; Formayer, Herbert; Seibert, Petra; Krüger, Bernd C.; Kromp-Kolb, Helga (November 2003 - Juni 2004): reclip:more - Projektjahr 1 Projektteil BOKU-Met Validierung – Sensitivitätstests. Arbeitsbericht für den Zeitraum 1.11.2003 – 30.6.2004.

Gill, Susannah (January 2004): Impacts of Climate Change on Urban Environments. Centre for Urban & Regional Ecology.

Holzer, Peter; Hammer, Renate (Jänner 2008): Sommertauglichkeit im Klimawandel. Department für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems.

Jaros, Marion: Klimawandel - Anpassungsbedarf und Anpassungsstrategien für Großstädte am Beispiel Wien. Auswirkungen des Klimawandels auf thermischen Komfort und Energiebedarf ausgewählter Wiener Gebäude und Integration von Anpassungsstrategien in die Praxis - unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Aspekten des Klimaschutzes. Unter Mitarbeit von Helga Kromp-Kolb, Martin Treberspurg und Andreas Muhar et al.

Krec, Klaus (2009): Das Labeling für passive Sommertauglichkeit. In: Perspektiven, H. 1_2, S. 73–74.

Krec, Klaus (2009): Klimadatengenerator. In: Perspektiven, H. 1_2, S. 65–66.

Kromp-Kolb, Helga; Jaros, Marion (2009): Klimawandelszenarien für Österreich und potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Energieverbrauch von Gebäuden. In: Perspektiven, H. 1_2, S. 70–72.

Loibl, Wolfgang; Beck, Alexander; Dorninger, Manfred; Formayer, Herbert; Gobiet, Andreas; Schöner, Wolfgang (June 2007): reclip:more. Research for Climate Protection: Model Run Evaluation.

Nicol, J. F.; Humphreys, Michael A. (2002): Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. In: Energy and Buildings, H. 34, S. 563–572.

Prettenthaler, Franz: Heizen und Kühlen im Klimawandel. Joanneum Research und Wegener Zentrum; Graz.

Schneider, Andrea (April 2010): Klimawandel zukunftsfähig gestalten. Impact of climate change on thermal comfort in buildings. Veranstaltung vom April 2010, aus der Reihe "Workshop Kassel, Thermal comfort and Urban Design". Kassel, Germany.

Internal Loads

Biermayr, Peter; Schriefl, Ernst; Baumann, Bernhard; Sturm, Ansbart (Mai 2004): Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden (MARE-SI). Herausgegeben von Innovation und Technologie Bundesministerium für Verkehr. Energie- und Umweltforschung 6.

Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hg.): Tageslicht und künstliche Beleuchtung. Unter Mitarbeit von Fachverband Tageslicht und Rauchschutz. licht.forum 53.

Hofer, G.; Belazzi, Thomas; Dungal, Leopold; Kranzl, Sabine; Lang, Gerhard; Lipp, Bernhard; Stefanson, Astrid (Juli 2006): LCC-ECO - Ganzheitliche ökologische und energetische Sanierung von Dienstleistungsgebäuden. Herausgegeben von Innovation und Technologie Bundesministerium für Verkehr. Energie- und Umweltforschung 53.

Kallmann, Kerstin; Paar, Angelika (Jänner 2007): GREENBUILDING - Technischer Leitfaden für die Gebäudehülle. Das EU-Programm zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Integration erneuerbarer Energieträger in Gebäuden. Austrian Energy Agency. Wien.

Knissel, Jens (Oktober 2002): Energieeffiziente Bürogebäude mit reduzierten internen Wärmequellen und Wärmeschutz auf Passivhausniveau. Betreut von Bartsch und Fitzner. Berlin. Technische Universität Wien, Fakultät III - Prozesswissenschaften.

Lorbek, Maja; Stosch, Gerhild (August 2003): Architekturhistorisch differenzierte, energetische Sanierung. Vergleichende Analyse von Sanierungsmethoden bei Bauten der Nachkriegsmoderne, exemplarisch durchgeführt am Objekt Sonderschule Floridsdorf. Herausgegeben von Innovation und Technologie Bundesministerium für Verkehr, Energie- und Umweltforschung 28.

Lorbek, Maja; Stosch, Gerhild; Größinger, Alice; Nageler-Reidlinger, Astrid; Bittner, Irene (Juni 2005): Katalog der Modernisierung. Fassaden- und Freiflächenmodernisierung mit standardisierten Elementen bei Geschosswohnbauten der fünfziger und sechziger Jahre. Herausgegeben von Innovation und Technologie Bundesministerium für Verkehr, Energie- und Umweltforschung 15.

Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal: Mehr Energieeffizienz für Glasfassaden in der Architektur. Herausgegeben von EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung MA 27.

Petrie, Thomas W.; Atchley, Jerald A.; Childs, Phillip W.; Desjarlais, André O.: Effect of Solar Radiation Control on Energy Costs – A Radiation Control Fact Sheet for Low-Slope Roofs (with post-publication corrections to Table 4 and Figure 4). Buildings Technology Center, Oak Ridge National Laboratory.

Plessner, Stefan (Februar 2009): EnBop - Energetische Betriebsoptimierung. Qualitätssicherung am Beispiel der Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich von Bürogebäuden. Veranstaltung vom Februar 2009, aus der Reihe "World Sustainable Energy Days". Wels, Austria.

Zelger, Thomas; Heisinger, Felix (Mai 2010): Aktueller Stand des ermittelten energieeffizienten Büro-Standards / Passivhausstandards. Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie GmbH.

Usage Profiles

Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) (Hg.). (2003): Mehr Leistung in innovativen Arbeitswelten. Innovationsoffensive OFFICE 21®. Stuttgart.

Horx, Matthias (Oktober 2004): Smart Work! about the work world of the future. Koelnmesse GmbH / ORGATEC.

Voss, K.; Herkel, S.; Löhnert, G.; Wagner, A. (2005): Bürogebäude mit Zukunft. Erfahrungen mit innovativen Bürogebäuden. Wambsgang, M. (Hg.). Köln: TÜV - Verlag.

Natural Ventilation

Allard, Francis; Santamouris, Mat; Alvarez, Servando (2002): Natural ventilation in buildings. A design handbook. Reprint. London: James & James.

Allocca, Camille; Chen, Qingyan; Glicksman, Leon R. (2008): Design analysis of single-sided natural ventilation. In: Energy and Buildings, H. 35, S. 785–795.

Aynsley, R. M.; Melbourne, W.; Vickery, B. J. (1977): Architectural aerodynamics. London.

Barton, Mark; Oke, T. R. (August 2000): Tests of the performance of an algorithmic scheme of the hourly urban heat island. Veranstaltung vom August 2000. Third Symposium on the Urban Environment.

Bastide, Alain; Lucas, Franck; Boyer, Harry (August 2005): Impact of the atmospheric boundary layer profile on the ventilation of a cubic building with two large opposite openings. Veranstaltung vom August 2005. Montreal, Canada. Veranstalter: Ninth International IBPSA Conference.

Cashman, Jason (Juli 2006): Natural Ventilation Proposals for Springfield Special School.

Cavelius, Ralf; Isaksson, Charlotta; Perednis, Eugenijus; Read, Graham: Keep Cool - Technology description - "Night Ventilation (mechanical and natural)". Wien.

Davenport, Alan G.; Grimmond, C. Sue B.; Oke, Tim R.; Wieringa, Jon (2000): Estimating the roughness of cities and sheltered country. Herausgegeben von American Meteorological Society.

Geros, V.; Santamouris, M.; Karatasou, S.; Tsangrassoulis, A.; Papanikolaou, N. (2005): On the cooling potential of night ventilation techniques in the urban environment. In: Energy and Buildings, H. 37, S. 243–257.

Ghiaus, C.; Allard, F.; Santamouris, M.; Georgakis, C. (May 2005): Natural ventilation of urban buildings – summary of URBVENT project. International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, Santorini, Greece.

Ghiaus, Cristian; Allard, Francis (2007): Natural ventilation in the urban environment. Assessment and design. Reprint. London: Earthscan (Buildings, energy, solar technology).

Gids, W. F. de (May 2002): Methods for Vent Sizing in the pre design stage. Results of WG A2. Building and Construction Research.

Heiselberg, Per; Tjelflaat, Per Olaf (1999): Design Procedure for Hybrid Ventilation. Sydney, Australia.

Hunt, G. R.; Linden, P. F. (1999): The fluid mechanics of natural ventilation - displacement ventilation by buoyancy-driven flows assisted by wind. In: Building and Environment, H. 34, S. 707–720.

Jesus, Amando P de: Green architecture in Asia. ASEAN energy efficiency and conservation best practices competition in buildings.

Matzarakis, Andreas (Juli 2001): Die thermischen Komponente des Stadtklimas. Habilitation. Betreut von Helmut Mayer. Freiburg. Universität Freiburg, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg.

Mursch-Radlgruber, Erich; Trimmel, Heideline (April 2009): Studie "Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Temperaturszenarien für Wien und ausgewählte Analysen bezüglich Adaptionsstrategien. "Räumliche Differenzierung der mikroklimatischen Eigenschaften von Wiener Stadtstrukturen und Anpassungsmaßnahmen. Institut für Meteorologie, Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien.

Oke, T. R.: An algorithmic scheme to estimate hourly heat island magnitude. University of British Columbia, Vancouver, Canada. 2nd Urban Environment Symposium.

Pfafferott, Jens; Herkel, Sebastian; Jäschke, Martina (2003): Design of passive cooling by night ventilation: evaluation of a parametric model and building simulation with measurements. In: Energy and Buildings, H. 35, S. 1129–1143.

Richard de Dear (1999): Adaptive Thermal Comfort in Natural and Hybrid Ventilation. Sydney, Australia.

Rowe, David; Dinh, Cong Truc (09/1999): Experience with Occupant Control of Supplementary Cooling in a Naturally Ventilated Environment: Some Preliminary Results from Work in Progress. Sydney, Australia.

Seppänen, Olli; Fisk, William J; Faulkner, David: Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling in office building.

Straw, Matthew Peter: Computation and measurement of wind induced ventilation. Formation of delta-wing vortices over roof with flow skewed to orientation of structure.

Wagner, Andreas (2008): Energieeffiziente Fenster und Verglasungen. Informationspaket. 3., vollst. überarb. Aufl., unveränd. Nachdr. Berlin: Solarpraxis.

StartClim2009.F

Aleotti, P. und Chowdhury R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 58, 21-44.

Auer, I., Böhm, R., Leymüller, M. und Schöner, W. (2002): Das Klima des Sonnblicks. *Österr. Beitr. Z. Meteorologie u. Geophysik* 28, Wien, 304 S.

Auer, I. et al. (2007): HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *Internat. Journal of Climatology* 27, 17-46.

Braun, F. (2009): Sommer-Bergtourismus im Klimawandel: Szenarien und Handlungsbedarf am Beispiel des hochalpinen Wegenetzes. Unpubl. Diss., Univ. f. Bodenkultur, Wien, 142 S.

BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft et al. (Hrsg.) (2001): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten – Empfehlungen 1997. Bern 42 S.

http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01923/01952/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCEdIJ5fmym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- (Zugriff 10/2010)

Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., Estevano, M., Zézere, J., Días de Terán, J., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J. und González, A. (1996): Debris Flow. In: Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. und Ibsen, M.L. (Hrsg.): *Landslide Recognition: Identification, Movement and Courses*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 161-180.

Christensen, O. B. und Christensen, J. H. (2004): Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global Planet Change* 44, 107–117.

Dorren, L.K.A. und Seijmonsbergen, A.C. (2003): Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. *Geomorphology* 56, 49-64.

Evans, S. G. und Clague, J. J. (1994): Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments. *Geomorphology* 10, 107–128.

Felgentreff, C. und Glade, T. (Hrsg.) (2008): *Naturrisiken und Sozialkatastrophen*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, Heidelberg, 454 S.

Fey, C. (2010): Modellierung von Steinschlag, Blockschlag und Felsstürzen auf alpinen Bergwegen – Kalibrierung und Anwendung von Sturzmodellierungsprogrammen zur sichereren Gestaltung des Hüttenzustiegweges zur Winnebachseehütte in Tirol. Unpubl. Diplomarbeit am Institut für Geographie, Universität Heidelberg, 125 S.

Frauenfelder, R., Haeberli, W., Hoelzle, M. und Maisch, M. (2001): Using relict rockglaciers in GIS-based modelling to reconstruct younger dryas permafrost distribution patterns in the Err-Julier area, Swiss Alps. *Norwegian Journal of Geography* 55/4, 195–202.

Gamma, P (2000): Dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. *Geographica Bernensia* 66, Univ. Bern, Bern, 144 S.

Gärtner, H., Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M. und Monbaron, M. (2003): Debris flow frequency derived from tree-ring analyses and geomorphic mapping, Valais, Switzerland. In: Chen, R. (Hrg): *Debris flow hazards mitigation*. Millpress, Rotterdam, 207–217.

Geitner, C. et al. (2010): Flachgründiger Abtrag auf Wiesen- und Weideflächen in den Alpen (Blaiken) – Wissensstand, Datenbasis und Forschungsbedarf. *Mitteilung der Österr. Gesellschaft*, 152 (in Druck).

Gobiet, A. und Truhetz, H. (2008): Klimamodelle, Klimaszenarien und ihre Bedeutung für Österreich. – In: Böhm, R., Godina, R., Nachtnebel, H.P. Pirker, O. (Hrsg.): Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Wien, 71-82.

Gruber, S., Peter, M., Hoelzle, M., Woodhatch, I. und Haeberli, W. (2003): Surface temperatures in steep alpine rock faces – a strategy for regional-scale measurement and modelling. In: Phillips, M., Springman, S. und Arenson, L. (Hrsg.): 8th International Conference on Permafrost, Zurich 2003, Proceedings, 325-330.

Gruber, S., King, L., Kohl, T., Herz, T., Haeberli, W. und Hoelzle, M. (2004): Interpretation of geothermal profiles perturbed by topography: the Alpine permafrost boreholes at Stockhorn Plateau, Switzerland. *Permafrost and Periglacial Processes* 15/4, 349-357.

Gruber, S. (2007): A mass-conserving fast algorithm to parameterize gravitational transport and deposition using digital elevation models. *Water Resour. Res.*, 43, W06412. doi:10.1029/2006WR004868.

Gruner, U. (2008): Klimatische und meteorologische Einflüsse auf Sturzprozesse. INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings, Vol. 2., 147-158.

Harris, C., Arenson, L.U., Christiansen, H.H., Etzelmüller, B., Frauenfelder, R., Gruber, S., Haeberli, W., Hauck, C., Hölzle, M., Humlum, O., Isaksen, K., Kääh, A., Kern-Lütschg, M.A., Lehning, M., Matsuoka, N., Murton, J.B., Nötzli, J., Phillips, M., Ross, N., Seppälä, M., Springman, S.M. und Mühl, D.V. (2009): Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. – *Earth-Science Reviews* 92, 117-171.

IPCC (2007)^a: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2007)^b: *Climate Change 2007: Synthesis Report.* 52 S. IPCC: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (Zugriff 10/2010).

Jäger, S. (1997): Fallstudien zur Bewertung von Massenbewegungen als geomorphologische Naturgefahr. *Heidelberger Geographische Arbeiten* 108, 151 S.

Jomelli, V., Brunstein, D., Grancher, D. und Pech, P. (2007): Is the response of hill slope debris flows to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps). *Climate Change* 85, 119-137.

Keller, F. (1992): Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the Geographical Information System ARC/INFO. *Permafrost and Periglacial Processes* 3, 133-138.

Kellerer-Pirklbauer, A. (2001): GIS-gestützte Analyse der Murgangdisposition im Einzugsgebiet des Ennslingbaches bei Haus im Ennstal. Unpubl. Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, 156 S.

Kellerer-Pirklbauer A. und Mitglieder des PermaNET Teams (2009): Assessment of the thermal and dynamic reaction scenarios of different permafrost typologies in the European Alps: A PermaNET initiative. *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-7990-1.

Leser, H. (2009): Geomorphologie. Das Geographische Seminar, Westermann, Braunschweig, 400 S.

Lieb, G.K. (1998): High-mountain permafrost in the Austrian Alps (Europe). Proceedings of the 7th International Conference on Permafrost, Yellowknife, Canada, 663-668.

Lieb, G.K. (2007): Vom Klimawandel beeinflusste Naturprozesse im Hochgebirge als potenzielle Gefahren für Freizeitaktivitäten – qualitative Überlegungen mit Beispielen aus den Hohen Tauern. Geographischer Jahresbericht aus Österreich LXII/LXIII, 79-94.

Lieb, G.K., Kellner-Pirklbauer, A. und Avian, M. (2007): Preliminary Map of Geomorphological Hazards caused by Climate Change in the Großglockner Mountains (Austria). Geomorphology for the Future – Conference Proceedings, Innsbruck University Press, Innsbruck, 137-144.

Loye, A., Jaboyedoff, M. und Pedrazzini A. (2009): Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis. Natural Hazards and Earth System Sciences 9, 1643-1653.

Mark, R. K. und Ellen, S. D. (1995): Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard. In: Carrara, A. und Guzzetti, F. (Hrsg.): Geographical Information System in Assessing Natural Hazards 5, 93-106.

Marquinez, J., Menéndez Duarte, R., Farias, P., und Juménez Sánchez, M. (2003): Predictive GIS-based Model of Rockfall Activity in Mountain Cliffs. Natural Hazards 30, 341-360.

Meißl, G. (1998): Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem bayrischen und Tiroler Alpenraum. Selbstverlag d. Inst. für Geographie d. Univ. Innsbruck, Innsbrucker Geographische Studien 28, 249 S.

Nötzli, J., Gruber, S. und Hölzle, M. (2004): Permafrost und Felsstürze im Hitzesommer 2003. GEOForum aktuell 20, 11-14.

Patula, S. (2009): Erweiterte Gefahrenhinweiskarte und Risikohinweiskarte für Steinschlag am Beispiel des Landkreises Miesbach und Erstellung einer Georisiko-Toolbox zur Automatisierung des Workflows. Master Thesis am Zentrum für GeoInformatik, Universität Salzburg, 113 S.

Prager, C., Zangerl, C., Patzelt, G. und Brandner, R. (2008): Age distribution of fossil landslides in the Tyrol (Austria) and its surrounding areas. Natural Hazards and Earth System Sciences 8/2, 377-407.

Pröbstl, U., Damm, B., Rid, W., Mau, P., Felber, A., Swoa, M. und Pichler, I. (2009): Wahrnehmung und Bewertung von Naturgefahren als Folge von Gletscherschwund und Permafrostdegradation in Tourismusdestinationen am Beispiel des Tuxer Tals (Zillertaler Alpen/Österreich). Endbericht von StartClim2008.F in StartClim2008: Anpassung an den Klimawandel in Österreich: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, BMWFJ, ÖBF, 51 S. <http://www.austroclim.at/startclim/>

Posch-Trözmüller, G. (2010): Hazard Mapping – Geological hazards. Literature survey regarding methods of hazard mapping and evaluation of danger by landslides and rock fall. – GBA, AdaptAlp WP 5.1, Final report, 278 S.

Amt der Kärntner Landesregierung, Zugriff 10/2010: http://www.ktn.gv.at/197395_DE-.pdf

Rickenmann, D. (1991): Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering* 117/11, 1419–1439.

Rieger, D. (1999): Bewertung der naturräumlichen Rahmenbedingungen für die Entstehung von Hangmuren. Möglichkeiten zur Modellierung des Murpotentials. *Münchner Geographische Abhandlungen* 51, 149 S.

Ruff, M. (2005): GIS-gestützte Risikoanalyse für Rutschungen und Felsstürze in den Ostalpen (Vorarlberg, Österreich). *Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe*, 148 S.

Stahr, A. und Hartmann, T. (1999): *Landschaftsformen und Landschaftselemente im Hochgebirge*. Springer, Berlin, Heidelberg, 398 S.

Stoffel, M. und Beniston, M. (2006): On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: a case study from the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters* 33, L16404.

Strasser, U. (2008): Die Modellierung der Gebirgsschneedecke im Nationalpark Berchtesgaden. *Modelling of the mountain snow cover in the Berchtesgaden National Park, Berchtesgaden National Park Research Report* 55, 184 S.

Taucher, W. (2010): Climatic conditions of six selected sites in the Hohe and Niedere Tauern Range 1961-2006. Unpubl. Diplomarbeit, Universität Graz, 156 S.

Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J. M. und Meehl, G. A. (2006): Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climate Change* 79, 185–211.

Umweltdachverband (Hrsg.) (2006): *Auswirkungen der Klima- und Gletscheränderung auf den Alpinismus*. text.um 1/06, Wien, 96 S.

Wakonigg, H. und Lieb, G. K. (1996): Die Pasterze und ihre Erforschung im Rahmen der Gletschermessungen. *Kärntner Nationalpark-Schriften* 8, Großkirchheim, 99-115.

Whalley, W. B. (1984): Rockfalls. In: Brunsden, D. und Prior, D. B. (Hrsg.): *Slope Instability*. Wiley, Chichester, 217-256.

Wichmann, V. (2006): Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet. Abgrenzung und Klassifikation der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS. *Profil Verlag, München/Wien, Eichstätter Geographische Arbeiten* 15, 231 S.

Zangerl, C., Prager C., Brandner, R., Brückl, E., Eder, S., Fellin, W., Tentschert, E., Poscher, G. und Schönlaub, H. (2008): *Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen*. *Geo.Alp* 5, 1-51.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) (2010): *Excel-Tabellen mit Bohrlochmessdaten*. Persönliche Korrespondenz (Juni, 2010).

Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O. und Hunziker, G. (1997): *Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz*. Zürich, vdf, Hochsch.-Verlag an der ETH, 161 S.

Zimmermann, M. und Haerberli, W. (1992): Climatic Change and Debris Flow Activity in High-Mountain Areas - A Case Study in the Swiss Alps, *Catena Suppl.* 22, 59–72.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

- Abb. 1 : Länge der Vegetationsperiode (in Tagen) an drei Stationen im mittleren steirischen Ennstal von 1960 bis 2009 (Einzeljahre und Gaußfilter 11j). ----- 13
- Abb. 2 : Änderung der Artenzahlen (AZ) zwischen Aufnahmen 1997 und 2010 bei veränderten Bewirtschaftungsfaktoren. a) Wechsel des Schnittregimes, b) Wechsel der Düngerart. (Einjährige Arten wurden nicht berücksichtigt) ----- 13
- Abb. 3 : Bunte Blumenwiesen (links) werden im wirtschaftlich genutzten Grünland des Ennstales (rechts) seltener, weil der Klimawandel früheres und häufigeres Mähen ermöglicht. ----- 14
- Abb. 4 : Baumhöhen der getesteten Herkünfte auf der Versuchsfläche St. Stephan (Stmk.). Jeder Boxplot zeigt den Median und Streuung der Höhen einer Herkunft auf Basis von Einzelbaummessungen. ----- 15
- Abb. 5 : Links: Klima-Response Funktionen dreier Herkünfte (Murau - durchgehende Linie, Liezen - gestrichelt, Tschepelare (Bulgarien) - gepunktet) zeigen, dass generell mit zunehmenden Temperaturen mit einer Steigerung der Baumhöhen zu rechnen ist. Die Datenpunkte sind mittlere Höhen an den Versuchsorten (Vfl.). Die Herkünfte unterscheiden sich in ihrer Reaktion auf Klimaerwärmung. Rechts: Klima-Transfer Funktionen dreier Versuchsflächen (Schönborn – durchgehende Linie, St.Stephan - gestrichelt, Wieselburg - gepunktet) zeigen den Einfluss des Temperaturunterschiedes zwischen Versuchsfläche (Vfl.) und Herkunftsort (Hkf.). Dieser Einfluss variiert je nach Lage des Versuchsortes. Die Datenpunkte sind hier die mittleren Höhen der getesteten Herkünfte. ----- 16
- Abb. 6 : Übersichtskarte Biosphärenpark Wienerwald. braun= Flächen der Österreichischen Bundesforste (ÖBf) im Biosphärenpark Wienerwald. grün= Kernzonen ----- 17
- Abb. 7 : Abweichung von Temperatur und Niederschlag in den Klimaänderungsszenarien A1B, A2 und B1 vom Referenzklima. Dargestellt sind die Mittelwerte über 66 Trakte der österreichischen Waldinventur (ÖWI) im Bereich des Biosphärenparks Wienerwald. ----- 18
- Abb. 8 : Profil von BAU und AM Bewirtschaftung für eine Kombination aus Standort, Alter und Analyseperiode (mittelgründiger Karbonatstandort; mittlerer Stammdurchmesser 15cm, Analyseperiode 2051-2100) im Referenzklima (Baseline), sowie in den Klimaänderungsszenarien A1B, A2 und B1. Blaue Line/Punkte = Busi-ness as usual (BAU) - Bewirtschaftung; Grüne Line/Punkte = Adaptives Management (AM) – Konzept. ----- 19
- Abb. 9 : Abweichung der mittels fünf Humusbilanzmethoden für den Versuch ‚STIKO‘ errechneten Salden von Humus-C nach 12 Bewirtschaftungsjahren von den im Boden der kompostgedüngten Varianten gemessenen C-Werten. ----- 21
- Abb. 10 : Bodenprofil mit ausgeprägt humosem A-Horizont und Begrünung. Profilgrube mit Wurzelfreilegung von Bio Forschung Austria.----- 21

Abb. 11 : Jährlicher Kühlenergiebedarf eines Büroraums für derzeitige („howa 80“) und zukünftige („howa 2050“) Klimasituation bei Einsatz unterschiedlich effizienter elektronischer Geräte und Beleuchtung: IL I entspricht einem worst case, IL IV zeigt die Wirkung der effizientesten derzeit am Markt verfügbaren Geräte. ----- 23

Abb. 12 Vergleich zwischen einem Standard – Auslegungstag (oben) und einem Siesta – Arbeitszeitmodell (untern) anhand der stündlichen Wärmegewinne und –verluste in einem Büroraum: durch die Nutzerabwesenheit in der Siesta wird der Kühlbedarf in diesem Zeitraum stark minimiert. ----- 24

Abb. 13 : Vulnerabilitätskarte 2010 ----- 26

Abb. 14 : Differenzkarte der Gefahrenstufen 2010-2030----- 27

Tabellen

Tab. 1: Bewirtschaftungsvarianten 12

Anhang

Alle folgenden Projekte wurden in StartClim2003 bis StartClim2008 bearbeitet. Die Berichte sind sowohl auf der StartClim2009-CD-ROM als auch auf der StartClim-Hompage (www.austroclim.at/startclim/) verfügbar

Projekte aus StartClim2003

- 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 Klimadatenätze 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

Projekte aus StartClim2004

- StartClim2004.A: Analyse von Hitze und Dürreperioden in Österreich; Ausweitung des täglichen StartClim Datensatzes um das Element Dampfdruck**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Ingeborg Auer, Eva Korus, Reinhard Böhm, Wolfgang Schöner
- StartClim2004.B: Untersuchung regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer, Petra Seibert, Andreas Frank, Christoph Matulla, Patrick Haas
- StartClim2004.C: Analyse der Auswirkungen der Trockenheit 2003 in der Landwirtschaft Österreichs – Vergleich verschiedener Methoden**
ARC Seibersdorf research; Gerhard Soja, Anna-Maria Soja
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Josef Eitzinger, Grzegorz Gruszczynski, Mirek Trnka, Gerhard Kubu, Herbert Formayer
Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur; Werner Schneider, Franz Suppan, Tatjana Koukal
- StartClim2004.F: Weiterführung und Ausbau von MEDEA (Meteorological extreme Event Data information system for the Eastern Alpine region)**
Umweltbundesamt; Martin König, Herbert Schentz, Katharina Schleidt
IIASA; Matthias Jonas, Tatiana Ermolieva
- StartClim2004.G: „Hängen Hitze und Leistungsfähigkeit zusammen?“
Ein Projekt an der Schnittstelle Wissenschaft und Bildung**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Ingeborg Schwarzl, Elisabeth Lang, Erich Mursch-Radgruber

Projekte aus StartClim2005

- StartClim2005.A1a: Einflüsse der Temperatur auf Mortalität und Morbidität in Wien**
Medizinische Universität Wien, ZPH, Institut für Umwelthygiene
Hanns Moshhammer, Hans-Peter Hutter
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Andreas Frank, Thomas Gerersdorfer
Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
Anton Hlava, Günter Sprinzl
Statistik Austria, Barbara Leitner
- StartClim2005.A1b: Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Thomas Gerersdorfer, Andreas Frank, Herbert Formayer, Patrick Haas
Medizinische Universität Wien, ZPH, Institut für Umwelthygiene
Hanns Moshhammer
Statistik Austria, Barbara Leitner

- StartClim2005.A4: Auswirkungen von Extremereignissen auf die Sicherheit der Trinkwasserversorgung in Österreich**
Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz; Reinhard Perfler, Mario Unterwainig
Institut f. Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer
- StartClim2005.C2: Untersuchung zur Verbreitung der Tularämie unter dem Aspekt des Klimawandels**
Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum – Greßmann & Deutz OEG
Armin Deutz
HBLFA Raumberg-Gumpenstein Institut für artgerechte Tierhaltung und Tiergesundheit; Thomas Guggeberger
- StartClim2005.C3a: Einflüsse des Klimawandels auf landwirtschaftliche Schädlinge und Nützlinge im Biologischen Landbau Ostösterreichs**
Bio Forschung Austria; Bernhard Kromp, Eva Maria Grünbacher, Patrick Hann
Institut f. Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer,
- StartClim2005.C3b: Abschätzung des Risikos einer dauerhaften Festsetzung von Gewächshausschädlingen im Freiland als Folge des Klimawandels am Beispiel des Kalifornischen Blütenthripes (Frankliniella occidentalis)**
AGES, Institut für Pflanzengesundheit; Andreas Kahrer
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur; Herbert Formayer,
- StartClim2005.C5: Ein allergener Neophyt und seine potentielle Ausbreitung in Österreich – Arealynamik der Ambrosie (Ambrosia artemisiifolia) unter dem Einfluss des Klimawandels**
VINCA – Institut für Naturschutzforschung und Ökologie GmbH
Ingrid Kleinbauer, Stefan Dullinger
Umweltbundesamt Ges.m.b.H.; Franz Essl, Johannes Peterseil
- StartClim2005.F: GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung**
Joanneum Research; Heinz Gallaun, Jakob Schaumberger, Mathias Schardt
HBLFA Raumberg-Gumpenstein; Thomas Guggeberger, Andreas Schaumberger, Johann Gasteiner;
Gsellschaft für Wildtier und Lebensraum - Greßmann & Deutz OEG
Armin Deutz, Gunter Greßmann

Beiträge aus StartClim2006

- StartClim2006.A: Feinstaub und Klimawandel - Gibt es Zusammenhänge in Nordostösterreich?**
Institut für Meteorologie, BOKU; Bernd C. Krüger, Irene Schicker, Herbert Formayer
Meduni Wien, ZPH, Institut für Umwelthygiene; Hanns Moshhammer
- StartClim2006.B: Risiko-Profil für das autochthone Auftreten von Viszeraler Leishmaniose in Österreich**
Abteilung für Medizinische Parasitologie, Klinisches Institut für Hygiene und Medizinische Mikrobiologie, Medizinische Universität Wien
Horst Aspöck, Julia Walochnik
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Thomas Gerersdorfer, Herbert Formayer
- StartClim2006.C: Auswirkung des Klimawandels auf die Ausbreitung der Engerlingschäden (Scarabaeidae; Coleoptera) im österreichischen Grünland**
Bio Forschung Austria
Eva Maria Grünbacher, Patrick Hann, Claus Trska, Bernhard Kromp
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer
- StartClim2006.D1: Die Sensitivität des Sommertourismus in Österreich auf den Klimawandel**
Institut für touristische Raumplanung: Volker Fleischhacker
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur
Herbert Formayer
- StartClim2006.D2: Auswirkungen des Klimawandels auf das klimatische Tourismuspotenzial**
Meteorologisches Institut, Universität Freiburg
Andreas Matzarakis, Christina Endler, Robert Neumcke
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
Elisabeth Koch, Ernest Rudel
- StartClim2006.D3: See-Vision: Einfluss von klimawandelbedingten Wasserschwankungen im Neusiedler See auf die Wahrnehmung und das Verhalten von Besucherinnen und Besuchern**
Institut für Landschaftsentwicklung, Naturschutz und Erholung, BOKU
Ulrike Pröbstl, Alexandra Jiricka, Thomas Schuppenlehner
Simon Fraser University, Burnaby, Canada
Wolfgang Haider
- StartClim2006.F: Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich**
Institut für Technologie- und Regionalpolitik, Joanneum Research (1);
Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz (2);
Institut für Geophysik, Astrophysik und Meteorologie, Universität Graz (3);
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien (4)
Institut für Energieforschung, Joanneum Research (5)
Franz Pretenthaler^{1,2}, Andreas Gobiet^{2,3}
Clemens Habsburg-Lothringen¹, Reinhold Steinacker⁴
Christoph Töglhofer², Andreas Türk^{2,5}

Beiträge aus StartClim2007

- StartClim2007.A: Erweiterung und Vervollständigung des StartClim Datensatzes für das Element tägliche Schneehöhe. Aktualisierung des existierenden StartClim Datensatzes (Lufttemperatur, Niederschlag und Dampfdruck) bis 2007 04**
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Ingeborg Auer, Anita Jurković, Reinhard Böhm, Wolfgang Schöner, Wolfgang Lipa
- StartClim2007.B: Gesundheitsrisiken für die Österreichische Bevölkerung durch die Abnahme des stratosphärischen Ozons**
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur Wien: Stana Simic
Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien: Alois W. Schmalwieser
Institut für Umwelthygiene, Zentrum für Public Health, Medizinische Universität Wien: Hanns Moshhammer
- StartClim2007.C: Anpassungen der Schadinsektenfauna an den Klimawandel im ostösterreichischen Ackerbau: Konzepterstellung für ein Langfrist-Monitoringsystem**
Bio Forschung Austria: Eva-Maria Grünbacher, Patrick Hann, Bernhard Kromp
Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur Wien: Herbert Formayer
- StartClim2007.D: Auswirkung der klimabedingten Verschiebung der Waldgrenze auf die Freisetzung von Treibhausgasen - Umsetzung von Kohlenstoff und Stickstoff im Boden**
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Robert Jandl, Andreas Schindlbacher, Sophie Zechmeister-Boltenstern, Michael Pfeffer
Dept. Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien:
Klaus Katzensteiner
Umweltbundesamt: Sabine Göttlicher
Universität Wien: Hannah Katzensteiner
Tiroler Landesforstdirektion: Dieter Stöhr
- StartClim2007.E: Auswirkung von Klimaänderungen auf das Abflussverhalten von vergletscherten Einzugsgebieten im Hinblick auf Speicherkraftwerke**
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck:
Michael Kuhn, Marc Olefs, Andrea Fischer
- StartClim2007.F: ALSO WIKI – Alpiner Sommertourismus in Österreich und mögliche Wirkungen des Klimawandels**
Österreichisches Institut für Raumplanung: Cornelia Krajasits, Gregori Stanzer, Adolf Andel, Wolfgang Neugebauer, Iris Wach
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Wolfgang Schöner, Christine Kroisleitner

StartClim2007.G: Integrierte Modellierung von Wirtschaft und Klimaänderung in Umlegung des STERN-Reports
Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz:
Olivia Koland, Karl Steininger, Andreas Gobiet, Georg Heinrich, Claudia Kettner, Alexandra Pack, Matthias Themeßl, Christoph Töglhofer, Andreas Türk, Thomas Trink
Joanneum Research, Institut für Technologie- und Regionalpolitik:
Raimund Kurzmann
Universität für Bodenkultur Wien: Erwin Schmid

StartClim2008.F: Wahrnehmung und Bewertung von Naturgefahren als Folge von Gletscherschwund und Permafrostdegradation in Tourismus-Destinationen am Beispiel des Tuxer Tals (Zillertaler Alpen/Österreich)
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- u. Naturschutzplanung, BOKU: Ulrike Pröbstl
Universität Regensburg, Universität Eichstätt-Ingolstadt: Bodo Damm

StartClim2008.G: Anpassung von Waldböden an sich ändernde Klimabedingungen
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft: Barbara Kitzler, Verena Stingl, Sophie Zechmeister-Boltenstern
Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen: Arjan De Brujin, Ralf Kiese, Klaus Butterbach-Bahl

Beiträge aus StartClim2008

StartClim2008.A: Einfluss von Adaptationsmaßnahmen auf das akute Sterberisiko in Wien durch Temperaturextreme
Institut für Umwelthygiene, MUW: Hanns Moshhammer, Hans-Peter Hutter
Institut für Meteorologie, BOKU: Thomas Gerersdorfer

StartClim2008.B: Welche Anpassungen der derzeitigen Erosionsschutzmaßnahmen sind unter den Bedingungen des Klimawandels zu empfehlen?
Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, BOKU:
Andreas Klik, Warakorn Rattanaarekul
Institut für Meteorologie, BOKU: Josef Eitzinger
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, BOKU: Peter Liebhard

StartClim2008.C: Praxiserprobung des Monitoringkonzepts "Anpassungen der Schadinsektenfauna an den Klimawandel" (StartClim2007.C) anhand der Erhebung von aktuellen Erdräupenschäden (*Agrotis segetum*, *Schiff.*; *Fam. Noctuidae*) unter Berücksichtigung von Standortfaktoren und Klima
Bio Forschung Austria: Patrick Hann, Claus Trska, Eva Maria Frauenschuh, Bernhard Kromp
Institut für Meteorologie, BOKU: Herbert Formayer

StartClim2008.D: Bio-Berglandwirtschaft in Tirol – Beitrag zur „Klimaentlastung“ und Anpassungsstrategien
Institut für Ökologischen Landbau, BOKU: Dorninger Michael, Bernhard Freyer

StartClim2008.E: Entwicklung und ökonomische Abschätzung unterschiedlicher Landschaftsstrukturen auf Ackerflächen zur Verringerung der Evapotranspiration vor dem Hintergrund eines Klimawandels unter besonderer Berücksichtigung einer Biomasseproduktion
Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- u. Naturschutzplanung, BOKU: Christiane Brandenburg, Sonja Völler, Brigitte Alex, Bernhard Ferner
Institut für Meteorologie, BOKU: Josef Eitzinger, Thomas Gerersdorfer
Institut für Ökologischen Landbau, BOKU: Bernhard Freyer, Andreas Surböck, Agnes Schweinzer, Markus Heinzinger
Institut für Agrar- und Forstökonomie, BOKU: Enno Bahrs

StartClim2009.F

AlpinRiskGP

Abschätzung des derzeitigen und zukünftigen Gefährdungspotentials für Alpentouristinnen/-touristen und Infrastruktur bedingt durch Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im Großglockner-Pasterzengebiet (Hohe Tauern, Österreich)

**Karl-Franzens-Universität Graz
Institut für Geographie und
Raumforschung**



**Universität Regensburg
Universität Eichstätt-Ingolstadt**

ProjektmitarbeiterInnen und AutorInnen des Berichts:

Projektleitung:

Ao.Univ.-Prof. Mag. Dr. Gerhard Karl Lieb

Unter Mitwirkung von:

Mag. Katharina Kern

Mag. Gernot Seier

Mit fachlicher Beratung von:

Mag. Mag. Dr. Andreas Kellerer-Pirklbauer-Eulenstein

Univ.-Prof. Dr. Ulrich Strasser

Institut für Geographie und Raumforschung

Karl-Franzens-Universität Graz

Graz, im November 2010

StartClim2009.F

Teilprojekt von StartClim2009

Projektleitung von StartClim2009:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2009 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF, des BMWFJ und der ÖBf gefördert.

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Lieb, G.K., Kern, K., Seier, G. (2010): AlpinRiskGP - Abschätzung des derzeitigen und zukünftigen Gefährdungspotentials für Alpentouristen und Infrastruktur bedingt durch Gletscherrückgang und Permafrostveränderung im Großglockner-Pasterzengebiet (Hohe Tauern, Österreich). Endbericht von StartClim2009.F in StartClim2009: Anpassung an den Klimawandel: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, BMWFJ, ÖBF

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	5
F-1 Problemstellung, Zielsetzung	6
F-2 Aktueller Wissensstand	8
F-3 Begründung der Auswahl der Naturprozesse	12
F-4 Methodik	15
F-5 Dispositionsmodellierung	16
F-5.1 Disposition Sturzprozesse	16
<i>F-5.1.1 Definition, Disposition und Auslösung von Steinschlag und Felsstürzen</i>	<i>16</i>
<i>F-5.1.2 Stand der Forschung – Sturzprozesse</i>	<i>18</i>
<i>F-5.1.3 Erstellung des Dispositionsmodelles – Sturzprozesse</i>	<i>18</i>
F-5.2 Disposition zu sonstigen denudativen Prozessen	21
<i>F-5.2.1 Definition, Disposition und Auslösung von sonstigen denudativen Prozessen</i>	<i>21</i>
<i>F-5.2.2 Stand der Forschung – Sonstige denudative Prozesse</i>	<i>22</i>
<i>F-5.2.3 Erstellung des Dispositionsmodelles – Sonstige denudative Prozesse</i>	<i>22</i>
F-5.3 Zukünftiges Szenario 2030	23
<i>F-5.3.1 Massenprozesse und Klimawandel</i>	<i>23</i>
<i>F-5.3.2 Erstellung des Dispositionsmodells</i>	<i>24</i>
F-6 Prozessmodellierung	26
F-6.1 Abschätzung der Mächtigkeit mobilisierbarer Massen	26
F-6.2 Das Prozessmodell	27
F-6.3 Ergebnisse der Prozessmodellierung	29
F-7 Gefährdungsklassen und Gefahrenhinweiskarten	32
F-8 Vulnerabilitätskarten	35
F-9 Handlungsempfehlungen	38
F-10 Anleitung zur Übertragung der Methodik	40
F-11 Ausblick zur Zukunft des Hochgebirgstourismus	41

Literaturverzeichnis-----	44
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -----	49

Kurzfassung

Natürliche Prozesse im Hochgebirge (z. B. Felsstürze) werden sich als Folge des Klimawandels verstärken und können somit eine Gefahr für Personen und Infrastruktur darstellen. Während für Siedlungen, Verkehrswege und touristisch intensiv genutzte Flächen (z. B. Skipisten) ein ausgeklügeltes System an permanenten und temporären Schutzmaßnahmen existiert, stellt sich zunehmend die Frage nach der Gewährleistung der Sicherheit für Personen, die sich abseits dieser geschützten Areale auf Bergwegen und Routen bewegen. In einer der meistbesuchten Hochgebirgslandschaften Österreichs, worin vor allem Gletscherschwund und auftauender Permafrost die Ursache für potenziell gefährliche Prozesse sind, wurden Sturz- und flächenhafte Abtragungsprozesse untersucht und modelliert. Daraus konnte eine Gefährdungskarte abgeleitet werden, die das untersuchte Gebiet flächenhaft in vier Gefährungsklassen gliedert. Mit Hilfe von Daten aus Klimamodellen wurden die Bedingungen für ein Szenario 2030 abgeschätzt und auch für dieses Jahr eine Gefährdungskarte erstellt. Durch Überlagerung mit dem Wege- und Routennetz wurden Karten der Verletzlichkeit einzelner Wegabschnitte erstellt, welche von Kundigen der Region begutachtet und in Hinblick auf mögliche Maßnahmen bewertet wurden. Die vorgeschlagenen Maßnahmen reichen von konkreten Wegsicherungsarbeiten bis zu neuen Organisationsformen in der Weg-erhaltung. Die entwickelte Methodik ist auf andere Gebiete übertragbar.

Abstract

As a result of climate change, natural processes in high mountains (e.g. rockfall) are increasing and hence can become a hazard for people and infrastructure. While an elaborate system of permanent and temporary protective measures exists for settlements, transport routes and touristic intensively used areas (e.g. ski slopes), safety for persons moving outside these protected areas on trails and routes cannot be ensured. Therefore, rock fall and other denudation processes, mainly caused by glacier retreat and permafrost degradation, were studied and modelled in one of the most visited high mountain areas in Austria. From the modelling results, geomorphological hazard maps that subdivide the study area into four hazard zones were derived. In addition, data from climate models was used to estimate the conditions for a scenario 2030 and to produce a geomorphological hazard map 2030. By overlaying the hazard maps with trail- and routenetwork information, vulnerability maps were created. Local stakeholders then reviewed these maps and evaluated them with regard to possible measures. The proposed measures range from concrete trail protection works to new organisational forms of trail maintenance. The developed method is easily transferable to other study sites.

F-1 Problemstellung, Zielsetzung

Das Hochgebirge ist wegen seines Steilreliefs und der großen Höhenunterschiede Schauplatz häufiger und großer Naturprozesse, die die Erdoberfläche gestalten. Solche geomorphologischen Prozesse (wie z. B. Rutschungen, Felsstürze, Steinschlag oder Muren) können dadurch, dass sie Menschen oder Infrastruktur betreffen, zu Naturgefahren werden. Da die in Rede stehenden Prozesse allesamt klimagesteuert sind (z. B. stehen Steinschlag mit dem Frost- und Muren mit dem Niederschlagsgeschehen in Zusammenhang), muss auch der Klimawandel einen Einfluss auf sie haben. Theoretische Überlegungen hierzu haben ebenso wie die Erfahrungen der letzten rund zwei Jahrzehnte die Erkenntnis erbracht, dass sich die meisten der Prozesse intensivieren und somit auch Flächen betreffen können, auf denen solche Ereignisse zuvor noch nicht beobachtet wurden.

Darüber hinaus sind die Alpen von der globalen Erwärmung stärker betroffen als die Vorländer, was die ohnehin hohe Anfälligkeit zu von der Schwerkraft induzierten (gravitativen) Prozessen erhöht. Dazu kommen in den höchsten Lagen der österreichischen Alpen noch zwei unmittelbare Wirkungen des Klimawandels, die die Situation verschärfen. Es sind dies zum einen der seit den 1990er Jahren drastische Rückgang der Gletscher und zum anderen der – zumindest visuell – weniger dramatische Rückgang des Permafrostes (Permafrost-Degradation). Beide Prozesse resultieren mittelbar darin, dass für gravitative Prozesse mehr Material als früher zur Verfügung steht. All dies erklärt die regional bereits beobachtbare und in Zukunft weiterhin erwartete Zunahme der Häufigkeit (Frequenz) und Größe (Magnitude) der betreffenden Ereignisse.

Diese im Hochgebirge an sich ganz „normalen“ Prozesse werden erst dadurch zu Gefahren, dass sie Menschen oder Infrastruktur (Bauwerke, Verkehrs- und Sportanlagen; im Folgenden wird besonderes Augenmerk auf die Wege gelegt) betreffen können. Dies gilt unabhängig davon, ob die Prozesse im Einzelnen wirklich als Klimawandelfolgen zu deuten sind (was keineswegs immer der Fall ist) und ob ihre Frequenz und Magnitude wirklich zugenommen haben (was in Ermangelung kontinuierlicher Beobachtungen meist unbekannt ist). Faktum ist indes, dass auch im Hochgebirge – ja wegen seines hohen Freizeitwertes vielfach gerade dort – sich die Dichte der Infrastruktur ebenso wie die Zahl der Besucherinnen und Besucher zumindest im Zeitmaßstab mehrerer Jahrzehnte nachweislich vergrößert haben (Lieb 2007).

Zunehmende Intensität der Prozesse im Verein mit erhöhter Exposition von Infrastruktur und vergrößerter Anwesenheitswahrscheinlichkeit von Personen sind die Grundlage dafür, dass die Öffentlichkeit ein ausgeprägtes Problembewusstsein und eine starke Sensibilität für die (auch vermeintlichen) Folgen des Klimawandels im Hochgebirge entwickelt hat. Hierzu kommt ein erhöhtes Sicherheitsbedürfnis in der modernen Gesellschaft, das den Ruf nach dem Schutz vor Naturgefahren immer lauter werden lassen. Solche Schutzmaßnahmen haben im Bereich von Siedlungen, Verkehrswegen und Schipisten (sowie anderen Sportflächen) eine schon auf das 19. Jh. zurückgehende Tradition – wobei in Österreich sowohl der permanente Schutz durch (aktive) baulich-technische und (passive) raumplanerische Maßnahmen als auch ein ganzes Bündel temporärer Maßnahmen, eingebettet in ein vielfach erprobtes integrales Risikomanagement, hoch entwickelt und bestens etabliert ist. Abseits der genannten Areale hingegen fehlt ein solches „Sicherheitsnetz“, was im Besonderen für das in der Regel von alpinen Vereinen erhaltene alpine Wegenetz und die nicht speziell instand gehaltenen, aber häufig begangenen hochalpinen Routen gilt. Viele von ihnen mussten schon saniert und verlegt werden, was immense Kosten verursacht, weshalb auch schon eine Diskussion über die (partielle) Auflassung dieser Infrastruktur in Gang gekommen ist. Dies allerdings würde einen „Lebensnerv“ des österreichischen Tourismus treffen, er-

schließen doch gerade diese Wege und Routen viele der attraktivsten Ziele in den alpinen Tourismusregionen.

Das Projekt AlpinRiskGP zielt mitten in dieses Spannungsfeld, indem es durch die flächenhafte Erfassung potenziell gefährlicher Prozesse und die Bewertung der Gefährdung der Wege und Routen in einer der meistbesuchten Hochgebirgslandschaften der österreichischen Alpen einen wesentlichen Beitrag für den laufenden Diskurs bietet, wie die Sicherheit für Personen, die sich im hochalpinen Gelände aufhalten, trotz der sich durch den Klimawandel verschärfenden Rahmenbedingungen beibehalten bzw. nachhaltig verbessert werden kann. Die Ziele des Projektes sind dabei im Einzelnen:

- Abschätzung der mobilisierbaren Massen, die sich durch Sturz und andere Abtragungsprozesse bewegen können,
- Ausweisung von Anriss-, Transport- und Ablagerungsbereichen von bewegten Massen und deren Bewertung,
- Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte für Sturz- und andere Abtragungsprozesse mit Dispositions- und Prozessmodellen für die gegenwärtige Situation mit definierten Gefährdungsklassen,
- Abschätzung der Auswirkung des Klimawandels auf die Prozesse auf Basis von regionalen Klimamodell-Berechnungen unter Berücksichtigung eines Szenarios der Entgletscherung und Permafrost-Degradation für das Jahr 2030,
- Erstellung von Vulnerabilitätskarten für die gegenwärtigen sowie zukünftigen Klimabedingungen im Szenario 2030,
- Formulierung von Handlungsoptionen bzw. Empfehlung von konkreten Maßnahmen auf verschiedenen räumlichen Ebenen und für unterschiedliche Akteursgruppen sowie
- Erstellung eines „Handbuches“ zur Anwendung der entwickelten Methodik auf andere Hochgebirgsräume.

F-2 Aktueller Wissensstand

Die für die vorliegende Fragestellung in Betracht kommenden geomorphologischen Prozesse, welche durch die räumliche Überlagerung mit Infrastruktur oder menschlichem Aktionsraum zur Naturgefahr werden können, sind als solche gut bekannt und auch in monographischer Standardliteratur hinreichend beschrieben (z. B. Stahr u. Hartmann 1999). Solche Massenbewegungen werden räumlich in Herkunftsgebiet (Abbruchzone, Einzugsgebiet), Bewegungs- bzw. Transport- (worin ebenfalls Material aufgeschürft wird) und Ablagerungsbereich gegliedert, welche alle drei auch potentielle Gefahrenbereiche darstellen.

Die Anfälligkeit zur Auslösung solcher Massenbewegungen wird als Disposition bezeichnet, die von hydrologischen, morphologischen und geologischen Eigenschaften sowie klimatischen Rahmenbedingungen abhängig ist. Hierbei werden zwei Arten der Disposition unterschieden, die Grund- und die variable Disposition (Zimmermann et al. 1997). Die Grunddisposition ist über Jahrzehnte bis Jahrhunderte relativ konstant und bestimmt das räumliche Auftreten von Massenbewegungen und deren Größe (Magnitudo). Die variable Disposition ist mittelfristig über Tage bis Jahrzehnte variabel und bestimmt das zeitliche Auftreten und die Wiederkehr von Ereignissen (Frequenz). Schließlich müssen auch noch bestimmte Faktoren beachtet werden, die jene Ereignisse auslösen, welche den durch die Disposition definierten Schwellenwert überschreiten. Bei hoher Disposition ist der Schwellenwert für ein auslösendes Ereignis niedrig, bei niedriger Disposition hingegen hoch.

In Abb. F- 1 werden diese Zusammenhänge graphisch veranschaulicht: Kommt es zu einer Systembelastung von außen (blaue Stäbe oben; im Hochgebirge häufig durch plötzlich hohes Wasserdargebot auf Grund von Starkniederschlägen und/oder Schneeschmelze), die so stark ist, dass sie den durch die Disposition definierten Schwellenwert überschreitet, kommt es zur Auslösung des Prozesses (in Abb. F- 1 in drei Fällen).

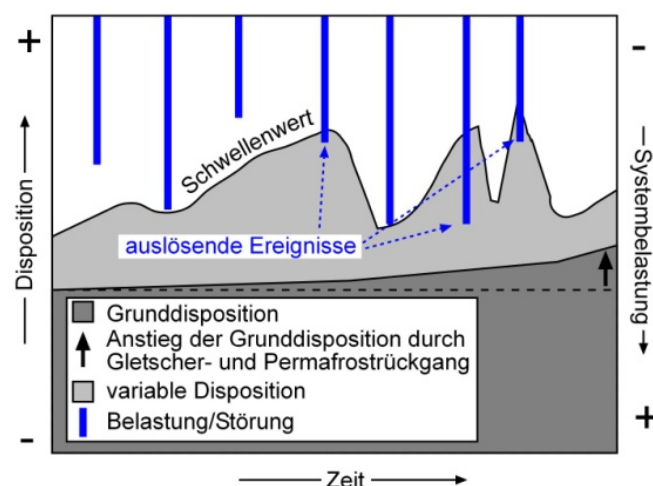


Abb. F- 1: Grunddisposition, variable Disposition und auslösende Ereignisse

Alle Angaben sind hier dimensionslos dargestellt (Grafik in Anlehnung an Zimmermann et al. 1997).

Trotz dieses grundsätzlich guten Verständnisses der Prozesse und ihrer Rahmenbedingungen bleiben für deren konkrete Bearbeitung im Rahmen eines auf Modellierungen basierenden Projekts wie AlpinRiskGP doch auch viele Einzelfragen offen. Hierzu gehören etwa die Quantifizierung der mobilisierbaren Massen, welche ohne aufwändige Ge-

ländearbeit (die in diesem Projekt, wie im methodischen Teil diskutiert, nicht möglich war) nur relativ grob abgeschätzt werden können. Ähnliches gilt für die Festlegung von Schwellenwerten der Hangneigungen zur Abgrenzung von Sturz- und Ablagerungsgebieten, wofür noch zu wenige empirische Angaben aus der Literatur zur Verfügung stehen (vgl. die Ausführungen zur Prozessmodellierung).

Gletscher gelten schon seit langem, Permafrost hingegen erst seit wenigen Jahrzehnten als wissenschaftliche Schlüsselindikatoren für die Auswirkungen der globalen Klimaveränderungen auf die Alpen (und andere Hochgebirge sowie Polarregionen). Gletscherrückgang und Veränderung des Permafrostmilieus, denen – wie bereits erwähnt – in den höchst gelegenen Teilen der österreichischen Alpen wegen ihrer dort flächenmäßig weiten Verbreitung besondere Bedeutung zukommt, sind der Grunddisposition zuzuordnen und somit bestimmend für räumliches Auftreten (neue Anrissgebiete) und Magnitude (z. B. größere Felsstürze als bisher bekannt). Der Gletscherrückgang ist durch standardisierte Monitoring-Programme in allen Alpenländern und somit auch in Österreich ausgezeichnet dokumentiert, das Projektteam ist seit Jahren mit den entsprechenden Aktivitäten im Untersuchungsgebiet Großglockner-Pasterze betraut (z. B. Wakonigg und Lieb 1996). Die Veränderungen im Permafrost-Milieu werden zwar noch weniger systematisch untersucht, doch sind auch hierzu ausreichend exakte Informationen verfügbar (z. B. Kellerer-Pirklbauer et al. 2009)

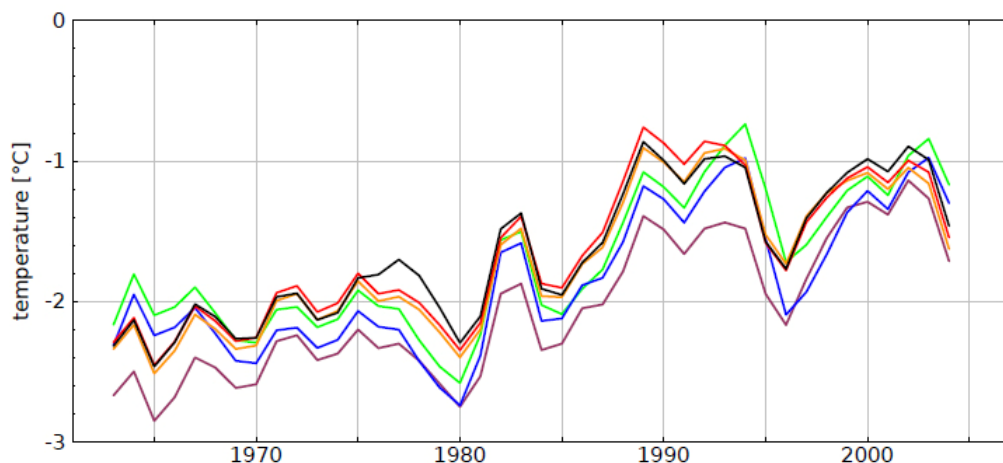


Abb. F- 2: Gleitende 5-jahres Temperaturmittel (Gauss Filter) für sechs ausgewählte Messgebiete, bezogen auf 2500m Seehöhe 1961-2006 (Taucher 2010).

Pasterze (schwarz), Schareck-Fallbichl (rot), zentrale Schobergruppe (orange), Dösental (blau), Hintereggeral (grün) und Hochreichart (violett).

Über den Klimawandel selbst ist der Kenntnisstand besonders gut, wenn auch die Ableitung regionaler Aussagen aus grob aufgelösten globalen Klimamodellen immer noch Gegenstand aktueller Forschungen ist. Sowohl für den gesamten Alpenraum (Auer et al. 2007) als auch für die Hohen Tauern und somit das Untersuchungsgebiet (z. B. Auer et al. 2002, Taucher 2010) ist die Klimaentwicklung der jüngeren Vergangenheit sehr gut bekannt (Abb. F- 2), wobei der seit 1886 durchgehenden Klimareihe des der Glocknergruppe benachbarten Sonnblick-Observatoriums eine besondere Bedeutung zukommt. All diese Daten lassen klar erkennen, dass die Alpen vom Klimawandel stärker als die außeralpinen Gebiete (und auch stärker als im globalen Mittel) betroffen waren, was auch weiterhin der Fall sein dürfte. Als Merkmale des zukünftig zu erwartenden Klimas werden mildere Winter, ein höherer Anteil von flüssigem Niederschlag sowie die Zunahme von Starkniederschlagsereignissen (IPCC 2007^a; Näheres in Kap. F- 5.3.1)

angegeben – diese Faktoren gehören zur variablen Disposition und nehmen somit wesentlichen Einfluss auf die Frequenz von Massenbewegungen, während die allgemein fortschreitende Erwärmung ein Andauern des herrschenden Gletscherschwundes und der Permafrost-Degradation bewirken wird.

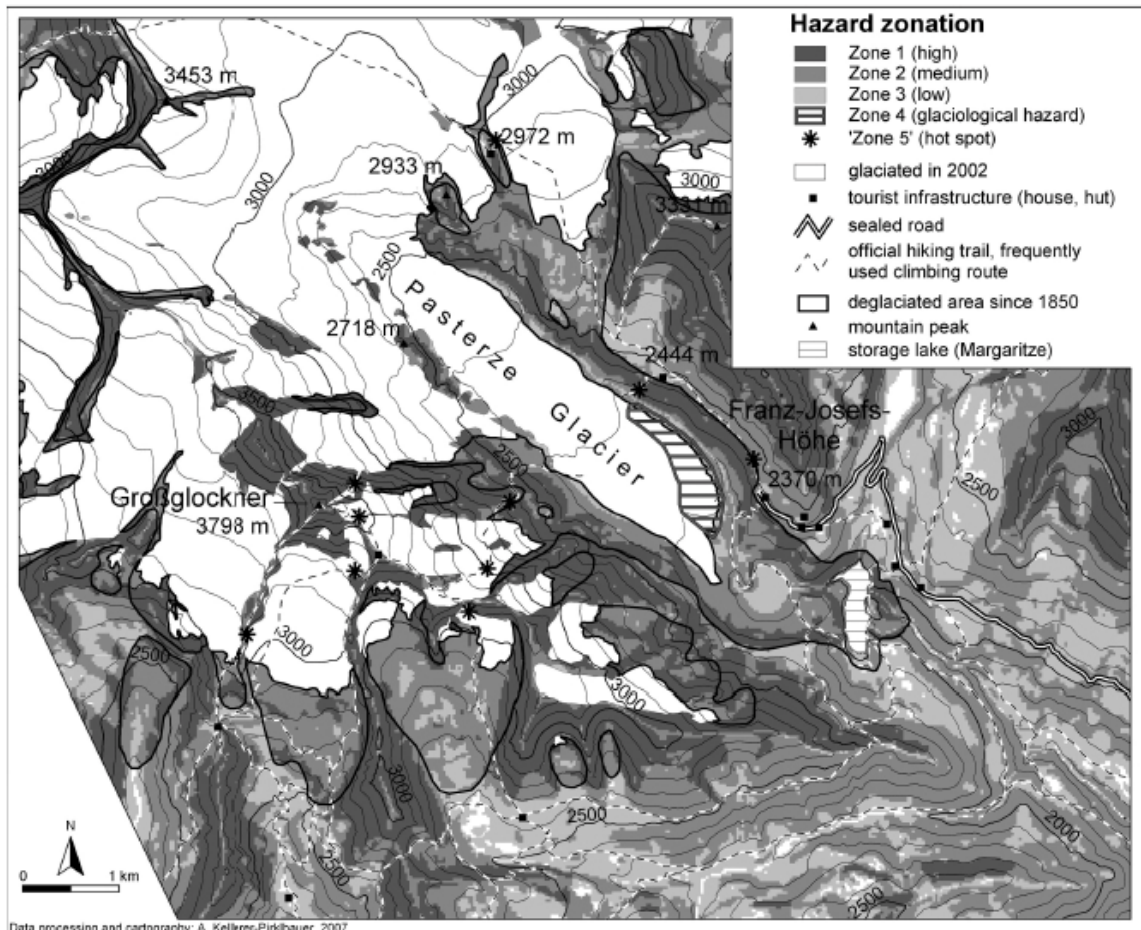


Abb. F- 3: Vorläufige geomorphologische Gefahrenhinweiskarte des Gebietes Großglockner-Pasterze (Lieb et al. 2007).

Auch die Interaktion zwischen den vom Klimawandel gesteuerten Naturprozessen im Hochgebirge und menschlichen Aktivitäten unter dem Aspekt von Gefahr, Risiko und Vulnerabilität (zu den Begriffen vgl. Felgentreff und Glade 2008) ist in den letzten Jahren von vielen Forscherinnen und Forschern aufgegriffen worden. Beispielhaft hierfür seien die vier folgenden Arbeiten, die jeweils wie AlpinRiskGP auf Bergsteigerinnen und Bergsteiger fokussieren und auch für das Glockner-Pasterzen-Gebiet relevant sind, genannt. In einer Studie des Umweltdachverbandes (2006) kam durch umfangreiche Befragungen von Akteurinnen und Akteuren ein außerordentlich hohes Problembewusstsein bei diesen für alpine Naturgefahren zum Ausdruck, eine Auseinandersetzung mit den gefährlichen Prozessen findet sich in dieser Arbeit jedoch nur exemplarisch. Ein StartClim Projekt des Vorjahres beschäftigte sich mit der Wahrnehmung und Bewertung von Naturgefahren durch Bergsteigerinnen und Bergsteiger im Tuxer Tal. In diesem Projekt werden bereits einige Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen, auf die aufgebaut werden kann (Pröbstl et al. 2009). Die monographische Arbeit von Braun (2009) lässt beinahe keine Facette im Umfeld des gegenständlichen Problemkreises unbeachtet und liefert für das Untersuchungsgebiet u. a. gute Karten potentieller Gefahrenstellen an

Wegen und Routen (jedoch keine flächenhafte Information!) sowie Meinungen von regionalen Fachleuten. Als unmittelbarer Vorläufer von AlpinRiskGP kann (gemäß den Ausführungen im Projektantrag) die Arbeit von Lieb et al. 2007 gelten, die eine „vorläufige Gefahrenkarte“ (Abb. F- 3) enthält, welcher jedoch noch keine Modellierung der Prozesse zu Grunde liegt.

Zur Bestimmung des flächenhaften Gefährdungspotentials muss neben einem Dispositionsmodell, welches die potentiellen Ursprungsgebiete bestimmt, auch ein Prozessmodell eingesetzt werden, womit die Reichweite und Ausbreitung von zuvor definierten Massenbewegungsarten – im vorliegenden Projekt zum einen Felsstürze und zum anderen sonstige flächenhafte Abtragungsprozesse (z.B. Abspülung, Muren) – modelliert wird. Eine Bewertung der solcherart modellierten Prozesse – im vorliegenden Fall in vier Klassen – erlaubt schließlich die Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte mit Ausweisung gegenwärtiger Gefährdungsflächen. Auf Basis regionaler Klimamodelle können schließlich zukünftige Szenarien abgeleitet werden – in AlpinRiskGP ein Szenario für das Jahr 2030 – für welche die Dispositions- und Prozessmodellierung erneut durchgeführt wird und zu merklich veränderten Ergebnissen führt. Verschneidet man diese Ergebnisse mit Rauminformationen menschlicher Aktivitäten – im konkreten Fall besonders Wege und Routen –, so erhält man Vulnerabilitätskarten, die zeigen, welche Objekte bzw. Weg- und Routenabschnitte zum jeweiligen Zeitpunkt welchen Gefährdungsgrad aufweisen.



Abb. F- 4: Impressionen unterschiedlicher geomorphologischer Prozessbereiche im Untersuchungsgebiet Großglockner-Pasterze.

F-3 Begründung der Auswahl der Naturprozesse

AlpinRiskGP kann sich auf Grund des vorgegebenen Projektrahmens nicht mit allen potenziell gefährlichen Naturprozessen im Hochgebirge auseinandersetzen. Schon in der Projekt-Antragsphase wurde der gesamte Bereich der meteorologisch-hydrologischen Prozesse ausgeschlossen, zu denen etwa Stürme, Gewitter, Starkregen, Hochwässer oder Lawinen gehören. Besonders die zuletzt genannten stellen zwar eine „klassische“ alpine Naturgefahr dar, diese wurde jedoch schon sehr umfangreich bearbeitet und verfügt durch die Lawinenwarndienste der Bundesländer (www.lawine.at) über ein etabliertes und bewährtes Kommunikations- und Warnsystem. Der Forschungsbedarf erscheint somit geringer, zumal sich auch Frequenz und Magnitude von Lawinen bezüglich des Klimawandels indifferent verhalten dürften. Hinzu kommt, dass Lawinen das alpine Wegenetz, das im Zentrum des Interesses von AlpinRiskGP steht, weniger beeinflussen als gravitative Massenbewegungen von Gesteinsmaterial. Die Projektergebnisse sind somit (wie auch die Arbeit von Braun 2009) nur für den Sommer-Alpintourismus relevant.



Abb. F- 5: Felsstürze als potenzielle Naturgefahren – ein kleines Ereignis am 1.8.2009 oberhalb des Dösenner Blockgletschers (Ankogelgruppe, Hohe Tauern) (Foto: T. Marke).

Aus der Vielfalt an geomorphologischen Naturprozessen, die im Hochgebirge wirksam sind und seine Oberfläche ständig umgestalten, wurden zwei herausgegriffen:

- Felsstürze und Steinschlag: Diese Prozesse gelten als rein gravitativ verursacht, d. h. sie finden meist ohne die Beteiligung von anderen Transportmedien (Wasser, Eis) rein der Schwerkraft folgend statt (Abb. F- 5). Herkunftsgebiete sind grundsätzlich Felswände, worin der Fels vor den betreffenden Ereignissen gelockert werden muss, was z. B. durch Frostverwitterung oder Permafrost-Degradation geschehen kann. Steinschlag ist dabei ein eher kontinuierlicher Prozess (hohe Frequenz, geringe Magnitude), Felsstürze haben den Charakter von Einzelereignissen (geringe Frequenz, hohe Magnitude).

- Unter sonstigen denudativen Abtragungsprozessen werden in AlpinRiskGP all jene verstanden, die nicht aus Felswänden, sondern aus in der Regel schuttreichen Hangbereichen stammen. Diese Prozesse haben zwar auch eine stark gravitative Komponente, doch ist hierbei vielfach auch das Medium Wasser stark beteiligt. Hierbei kommt der flächenhaften Abspülung von an der Oberfläche und im oberflächennahen Untergrund lagerndem Lockermaterial eine hohe Bedeutung zu – hangabwärts ist der Übergang zu Muren und somit Erosionsprozessen mit linearer Zerschneidung fließend. In diese bewusst recht offen definierte Prozessgruppe können auch seichtgründige Gleitprozesse in der Art von Blaiken (Geitner et al. 2010) fallen.

Als Argument für diese Auswahl kann – neben der Verfügbarkeit geeigneter Algorithmen für die Prozessmodellierung (siehe Kap. F- 6) – zum einen angeführt werden, dass sie sich als besonders signifikante Folgewirkungen von Gletscherschwund und Permafrost-Degradation einstellen, und zum anderen, dass es gerade diese gravitativen Prozesse sind, die für die Gefährdung von Touristinnen und Touristen auf alpinen Wegen und Routen relevant sind (vgl. auch Lieb 2007).

- Gravitative Prozesse können Menschen, die sich im Herkunfts-, Transport- oder Ablagerungsbereich eines Ereignisses aufhalten, unmittelbar gefährden, was bei langsamen Massenbewegungen (z. B. Kriechprozessen) im Allgemeinen nicht der Fall ist. Dies gilt speziell für hochfrequenten Steinschlag, während bei den sehr seltenen Felsstürzen die Anwesenheitswahrscheinlichkeit von Personen außerordentlich gering ist. Ähnliches gilt auch für die sonstigen Abtragungsvorgänge, die größere (und somit potenziell gefährliche) Magnituden nur bei Witterungsbedingungen erreichen, unter denen ein Aufenthalt im Freien ohnehin kaum mehr möglich ist.
- Insgesamt wohl noch bedeutender ist jedoch der Effekt der Verschlechterung der Begehrbarkeit des Geländes im Allgemeinen und der Wege und Routen im Besonderen (ausführlich hierzu Braun 2009, 5). So etwa kann eine seichtgründige Rutschung einen Steig erfassen und an seiner Stelle nur mehr abschüssiges Lockermaterial im Steilgelände zurücklassen. Eine andere Möglichkeit wäre die Verschüttung eines Weges durch Felsblöcke im Ablagerungsgebiet eines Felssturzes. In beiden Beispielen – für diese und für viele weitere gibt es unzählige Belegstellen – müssen als spontane Maßnahme die betreffenden Passagen durch untrassiertes Gelände umgangen (was eine zusätzliche Gefahrenquelle für die betroffenen Personen darstellt) bzw. in weiterer Folge aufwändig saniert werden (Abb. F-6). Eine Verschlechterung der Wegverhältnisse kann auch ohne das Auftreten gravitativer Prozesse besonders durch den Gletscherschwund eintreten (Näheres hierzu bei Lieb 2007).

Schließlich sei an dieser Stelle auch noch die Unterscheidung von Wegen und Routen erläutert (Braun 2009): Unter Wegen werden in AlpinRiskGP markierte und gewartete Wander- oder Bergwege verstanden, die in der Regel von alpinen Vereinen unterhalten werden. Routen hingegen sind nicht markiert und gewartet, jedoch häufig begangen und somit im Gelände auch durch Tritts Spuren, eventuell auch durch Steinmänner o. ä. Orientierungsmarken erkennbar. Routen stellen höhere Anforderung an ihre Begeherinnen und Begeher, sind aber in vielen Fällen die einzige Möglichkeit, die höchsten Gipfel (auch den Großglockner) zu erreichen.



Abb. F- 6: Beispiel einer aufwändigen Wegsanierung durch Einbau einer Hangbrücke nach flächenhaftem Abgleiten des ursprünglichen Hanges auf Grund dessen Unterschneidung durch das im Vordergrund sichtbare Gerinne (Ridnauntal, Stubaier Alpen) (Foto: G. K. Lieb, 15.7.2010).

F-4Methodik

Dieses Kapitel beschreibt nicht alle in AlpinRiskGP angewandten Methoden im Detail – dies geschieht bei den einzelnen Unterkapiteln – sondern gibt nur eine knappe Übersicht, um die methodische Pluralität des Projekts im Kontext seiner Zielsetzungen verständlich zu machen.

- Wohl an erster Stelle zu nennen sind Geographische Informationssysteme (GIS), mit deren Hilfe die gesamte Modellierung auf der Grundlage eines Digitalen Geländemodells (DGM) durchgeführt wurde. Beispielsweise beruhte die im Rahmen der Dispositionsmodellierung durchgeführte Modellierung der potentiellen Permafrost-Verbreitung rein auf empirischen Daten (die unserer Forschungsgruppe aus eigenen Untersuchungen vorliegen) und dem DGM.
- Herzstück des Projektes war die Prozessmodellierung mit einem massenkonservierenden, multiple direction flow propagation-Algorithmus (Gruber 2007). Basierend auf dem DGM werden dabei mobilisierbare Massen entlang von Sturz- und Gleitbahnen modelliert, wobei die Masse einer Rasterzelle – anteilmäßig in Abhängigkeit von der Hangneigung – in alle tiefer liegenden Rasterzellen verteilt wird. Massentransport und -ablagerung werden dabei mit einfachen Parametern dargestellt.
- Literaturrecherche ist für jede wissenschaftliche Arbeit selbstverständlich, in AlpinRiskGP wurden insbesondere die notwendige geologische Hintergrundinformation sowie Erfahrungswerte anderer Autorinnen und Autoren für die Parametrisierung der Prozesse verschiedenen Publikationen entnommen. Eine vollständige Aufarbeitung der prozess- und regionalspezifischen Literatur erschien demgegenüber nicht der Zielerreichung dienlich und unterblieb daher.
- Auch Geländearbeit spielte eine untergeordnete Rolle, wurde jedoch – im Rahmen anderer Forschungsvorhaben sowie der alljährlichen, vom Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz durchgeführten Gletschermessungen – ergänzend durchgeführt. Der Zweck war die exemplarische Überprüfung der Plausibilität der Modellierungsergebnisse an ausgewählten Einzelstellen (für die Sturzprozesse speziell die Felsstürze 2007 und 2008 am Mittleren Burgstall, für die sonstigen Prozesse die orographisch linke Begrenzungsflanke der Gletscherzunge der Pasterze zwischen Hofmannshütte und Franz-Josefs-Höhe).
- Ergänzend zu Literatur- und Geländearbeit wurden auch Methoden der Fernerkundung eingesetzt. Hiermit konnten beispielsweise die zur Abschätzung der Prozessdisposition wichtigen Informationen zur Vegetationsbedeckung verdichtet und die schon vorhandene Kartierung der Gletscherausdehnung beim Hochstand von 1850 reevaluiert werden.
- Neben diesem Set an stark geotechnologisch bzw. naturwissenschaftlich ausgerichteten Methoden kam im letzten Projektteil auch eine Methode der partizipativen, empirischen Sozialforschung zum Einsatz. In einem Workshop mit Stakeholdern bzw. Akteurinnen und Akteuren des Alpentourismus im Glockner-Pasterzen-Gebiet wurden nicht nur die Vulnerabilitätskarten (und somit die Ergebnisse der Modellierung) einer kritischen Prüfung unterzogen, sondern auch Maßnahmen-Empfehlungen erarbeitet.

F-5 Dispositionsmodellierung

Modelle zur Simulation von Naturgefahren können nach Kienholz et al. (1993 zitiert bei Meißl, 1998) in Dispositions- und Prozessmodelle unterteilt werden. Mit Hilfe des Dispositionsmodells bestimmt man die Disposition einer Fläche für einen bestimmten geomorphologischen Prozess. Dispositionsmodelle weisen somit potentielle Ursprungsgebiete von Prozessen aus. Im Gegensatz dazu wird mit dem Prozessmodell die Dynamik eines Prozesses simuliert. Es beschreibt den Prozessablauf sowie dessen Reichweite und Ausbreitung. Durch die Kombination von Dispositions- und Prozessmodell kann nach der Modellierung auch eine räumliche Differenzierung der Wirkungsbereiche der Prozesse in Herkunfts-, Transport- und Ablagerungsgebiet erfolgen.

Unter Disposition versteht man die Bereitschaft oder die Anfälligkeit eines Gebietes zur Bildung und Auslösung von Prozessen (Zimmermann et al. 1997) (siehe Kapitel F-2). In Bezug auf AlpinRiskGP umfassen diese Prozesse einerseits Sturz- und andererseits sonstige flächenhafte Abtragungsprozesse (z. B. flächige Abspülung, Muren). Eine scharfe Trennung zwischen Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis ist in vielen Fällen nicht möglich, aber für die Modellierung von Massenbewegungsprozessen dennoch hilfreich, auch dann, wenn nicht alle Bereiche modelliert werden. Im Rahmen dieses Projektes wird ausschließlich die Grunddisposition abgeschätzt. Die variable Disposition und die auslösenden Ereignisse werden, da ihre Bestimmungen mit großen Unsicherheiten behaftet sind, im Modell nicht berücksichtigt. Somit wird von einem stabilen System ausgegangen, dessen Analysen prinzipiell immer gültig sind, solange sich die Umweltbedingungen nicht ändern.

Die Grunddisposition einer Fläche kann durch eine Analyse unterschiedlicher Naturraumparameter bestimmt werden. Man geht dabei davon aus, dass jene Geofaktoren, die im Untersuchungsgebiet (oder dem Untersuchungsgebiet ähnlichen Naturräumen) bereits in der Vergangenheit zur Auslösung von Massenbewegungsprozessen geführt haben, solche Prozesse auch in Zukunft bestimmen werden. So können (potenzielle) Herkunftsgebiete auch in Bereichen, in denen aktuell die betreffenden Prozesse nicht beobachtet werden, die aber eine entsprechende Kombination der Geofaktoren aufweisen, bestimmt werden (Wichmann 2006).

Dispositions- und Prozessmodelle und daraus abgeleitete Gefahrenbeurteilungen können auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (national, regional, lokal oder punktuell) erstellt werden. Da für das gegenständliche Forschungsprojekt Gefahrenbereiche in einem relativ großen Gebiet lokalisiert und eingeschätzt werden mussten, fanden alle Untersuchungen auf der regionalen Ebene statt. Die Ergebnisse sind daher Gefahrenhinweiskarten in einem Maßstab von 1:50.000. Konkrete Aussagen über die lokale Gefährdung (z. B. von einzelnen Parzellen) können mit Hilfe dieser Gefahrenhinweiskarten nicht getroffen werden.

F-5.1 Disposition Sturzprozesse

F-5.1.1 Definition, Disposition und Auslösung von Steinschlag und Felsstürzen

Zur Gruppe der Sturzprozesse zählen die Phänomene Steinschlag, Blockschlag, Felssturz und Bergsturz. Eine eindeutige Zuordnung der Prozesse ist schwierig, da es unterschiedliche Begriffsdefinition gibt. In der Regel werden Prozesse aber entweder nach dem Volumen der bewegten Masse oder über die Größe der Ablagerungsfläche unterschieden. Für die Belange der Gefahrenbeurteilung werden die Sturzprozesse meist anhand der Bewegungsarten klassifiziert. Steine und/oder Felspakete können sich im freien Fall, springend, rollend oder teilweise gleitend hangabwärts bewegen, wobei die unterschiedlichen Bewegungsarten eng miteinander verbunden sind und sich meist ab-

wechseln. Der gesamte Sturzprozess erfolgt immer schnell – Sekunden oder wenige Minuten – und mit hoher Geschwindigkeit (Zangerl et al. 2008).

Steinschlag, Fels- und Bergstürze können prinzipiell in allen steilhang- bzw. wandbildenden Festgesteinen auftreten. Ausschlaggebend für die Disposition von Stürzen sind vor allem geologische, topographische und klimatische Faktoren, wobei die geologische Situation meist den wichtigsten vorbereitenden Faktor darstellt.

Stürze können entweder direkt aus dem anstehenden Gestein, aus in situ verwittertem Lockermaterial oder aber aus bereits einmal in Bewegung geratenen und in steilen Gebieten wieder abgelagerten Steinen und Blöcken erfolgen. Herkunftsgebiete für Sturzprozesse können demnach nicht nur Fest-, sondern auch sehr steile Lockergesteinsbereiche sein (Wichmann 2006). Außerdem besteht kein Zusammenhang zwischen der Gesteinsart und Häufigkeit des Auftretens von Sturzereignissen. Es gibt lediglich einen Zusammenhang zwischen der Verwitterungsanfälligkeit des Gesteines und dem Volumen der Sturzmassen. So kommt es etwa bei Schiefern und weichen Gesteinen eher zu kleinen Stürzen, wohingegen z. B. bei Graniten in der Regel größere Massen zum Absturz kommen (Whalley 1984). Neben der Lithologie sind auch noch Klüftigkeit, Schichtung und Schieferung des Gesteins sowie dessen tektonische Beanspruchung mitverantwortlich für die Entstehung von Sturzprozessen.

Die wichtigsten topographischen Faktoren, die zur Sturzdisposition beitragen, sind die Hangneigung, die Geländeform, die Oberflächenrauigkeit des Hanges sowie die Höhenlage und die Exposition. Letztere bestimmt beispielsweise das Feuchtigkeits- und Wärmeangebot und hat damit Einfluss auf die Verwitterungsintensität. Der Einfluss der topographischen Faktoren ist aber allgemein sehr schwer eindeutig zu bestimmen, denn topographische Faktoren sind oft auch eng mit anderen Faktoren verknüpft. Ab welcher Hangneigung ein Hang als potentiell instabil angesehen werden kann, hängt z. B. in hohem Maße von dessen lithologischen und geologischen Eigenschaften ab.

Die Rolle der Vegetation als stabilisierender bzw. vorbereitender Faktor bei der Disposition von Steinschlag und Felssturz ist nicht immer eindeutig. Sie kann Sturzprozesse sowohl verhindern als auch mitverursachen. Einerseits erhöht das Wurzelsystem den Zusammenhalt der Hangfläche, andererseits führt das Wurzelwachstum aber zu einer Ausweitung von Klüften und begünstigt die chemische Verwitterung. Die Wirkung der Vegetation betrifft aber vor allem oberflächennahe Gesteinsbereiche und hat für die Ablösung größerer Gesteinspakete keine bis marginale Bedeutung. Viel größer ist der Einfluss der Vegetation auf die Vorgänge in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet (Meißl 1998).

Die zuvor beschriebenen Faktoren bestimmen die Disposition, also die Bereitschaft einer Fläche zur Bildung von Sturzprozessen. Um einen Stein oder ein Felspaket in Bewegung zu bringen, braucht es aber zusätzlich einen Auslöser bzw. ein ganzes Bündel an prozessauslösenden Faktoren. Die wichtigsten Auslöser von Steinschlägen und kleinen Felsstürzen sind Übersteilung des Hanges infolge von Erosion am Hangfuß, Poren- und Kluftwasser, Frost-Tau-Wechsel, Wind, Erschütterungen und Erdbeben sowie längere Niederschlagsperioden oder Starkniederschläge. In jüngerer Zeit haben aber auch sekundäre Auslöser wie die Permafrost-Degradation und der Gletscherrückgang (Kap. F- 2) als Ursachen für Sturzprozesse an Bedeutung gewonnen.

Die Zusammensetzung und die Anzahl der Faktoren, die ein Steinschlag- oder Felssturzereignis auslösen können, sind vielfältig. Auch der Einfluss jedes einzelnen Faktors ist je nach Größe des Ereignisses unterschiedlich und oft schwer zu quantifizieren. Für die Erstellung des Dispositionsmodells müssen daher immer vereinfachte Annahmen getroffen werden. Die am häufigsten zur Abgrenzung von Herkunftsgebieten verwendeten Parameter sind Felsgebiete aus topographischen oder geomorphologischen Karten, Grenzwerte der Hangneigung und die Geologie.

F-5.1.2 Stand der Forschung – Sturzprozesse

Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden mehrere unterschiedliche GIS-basierte Methoden zur Abschätzung von potentiellen Anrissflächen für Felsstürze auf regionaler Ebene entwickelt. Einen beispielhaften Überblick hierzu gibt Tab. F- 1.

Tab. F- 1: Methoden zur Erstellung von Dispositionsmodellen für regionale Modellierungen (verändert nach Meißl 1998 und Wichmann 2006).

Autorin/Autor	Dispositionsmodell
Grunder & Kienholz (1986)	Fels und Gratsteilrelief $\geq 30^\circ$
Toppe (1987)	Hangneigung $\geq 30^\circ$
Van Dijke & Van Westen (1990)	Hangneigung $\geq 60^\circ$ bzw. Flächen aus geomorph. Karten
Mani & Kläy (1992)	Felsbänder aus Übersichtsplan 1:5.000
Krummenacher (1995)	Felsflächen aus der Landeskarte 1:25.000
Meißl (1998)	Grenzneigungswerte bzw. Felsflächen aus Karten (DHM 10m)
Dorren & Seijmonsbergen (2003)	Hangneigung $\geq 40^\circ$ und Festgestein aus der geologischen Karte (DHM 25m)
Marquinez et al. (2003)	Hangneigung, Lithologie, Seehöhe, Rauigkeit, Sonneneinstrahlung (DHM 25m)
Ruff (2005)	Hangneigung $\geq 45^\circ$ und Lithologie (DHM 25m)
Wichmann (2006)	Hangneigung $\geq 40^\circ$ (DHM 5m)
Loye et al. (2009)	Hangneigungsverteilung und homogene morphometrische Flächen aus geologischen und topographischen Karten (DHM 1m)

Einfache Dispositionsmodelle bestimmen potentiell instabile Felshänge ausschließlich über einen Grenzwert der Hangneigung (Toppe 1978, Grunder und Kienholz 1986, Wichmann 2006) oder mit Hilfe von Karteninformation (Mani und Kläy 1992). In ähnlichen Ansätzen wird ein definierter Hangneigungswinkel mit zusätzlicher Information aus topographischen und/oder geomorphologischen Karten kombiniert (Krummenacher 1995, Meißl 1998, von Dijke und van Westen 1990, Dorren und Seijmonsbergen 2003, Ruff 2005). Anspruchsvollere Dispositionsmodelle verknüpfen beispielsweise Hanggeometrien, abgeleitet aus DHM, mit Daten über Lithologie, Exposition, Hangwölbung und Landbedeckung (Marquinez et al. 2003) oder verwenden Informationen zur Hangneigungsverteilung aus hochauflösenden DHM in Kombination mit topographischen und geomorphologischen Karten zur Bestimmung von Anrissstellen (Loye et al. 2009).

Automatisierte (GIS-basierte) Modelle auf regionaler Ebene ermöglichen es sehr schnell einen Überblick über potentielle Dispositionsgebiete zu erhalten. Man muss jedoch berücksichtigen, dass es durch die relativ grobe räumliche Auflösung der Eingangsdaten (5-25 m) und deren Auswahl lokal zu einer Über- oder Unterschätzung von Dispositionsgebieten kommen kann. Nicht alle steilen Hänge sind gleich sturzgefährdet und nicht alle flacheren Hangbereiche sind von Sturzprozessen ausgeschlossen.

F-5.1.3 Erstellung des Dispositionsmodelles – Sturzprozesse

F-5.1.3.1 Eingangsdaten

Um die Übertragbarkeit des Modells auf andere Untersuchungsgebiete zu gewährleisten, benötigt das in diesem Projekt entwickelte Modell nur relativ wenige Eingangsdatensätze, die aber flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet vorhanden

sein müssen. Für die Erstellung des Dispositionsmodells wurden die in Abb. F- 7 gezeigten und im Folgenden näher beschriebenen Daten verwendet.

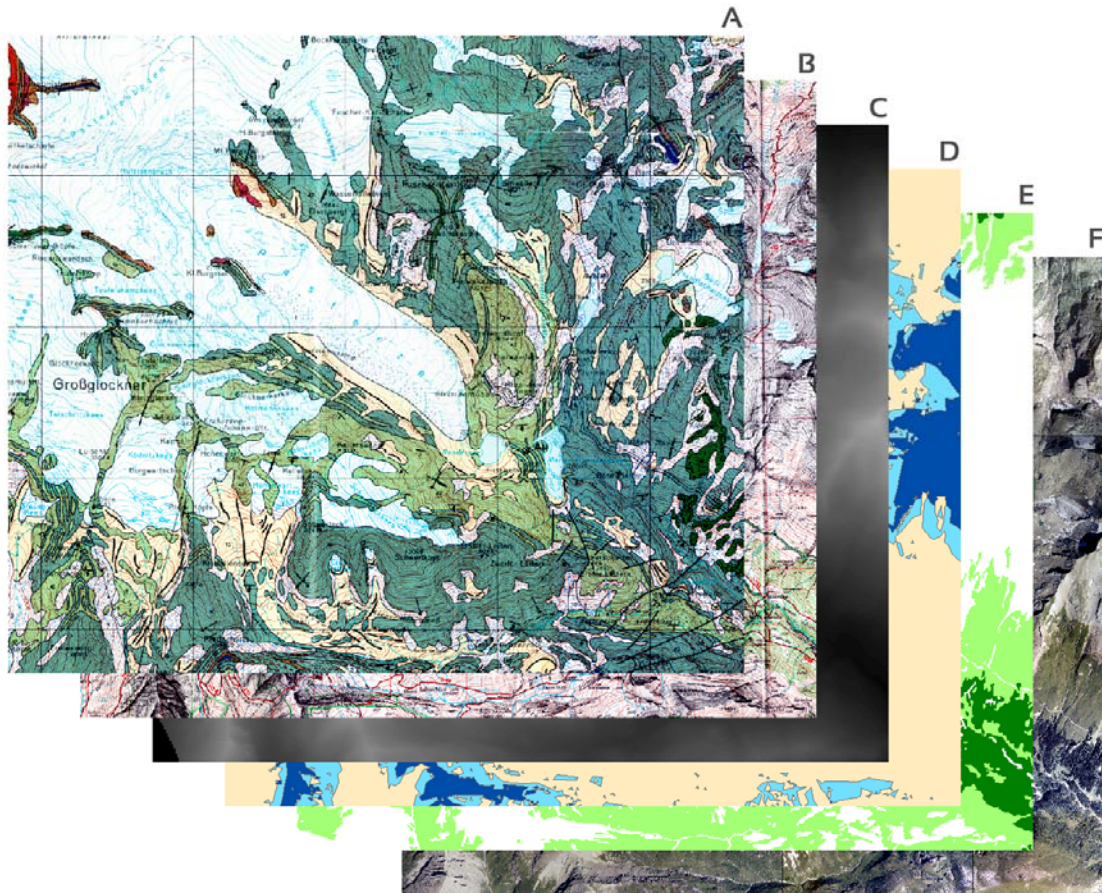


Abb. F- 7: Eingangsdaten für die Dispositionsmodellierung: A (Geologische Karte), B (Alpenvereinskarte), C (Digitales Geländemodell), D (Permafrostmodell), E (Vegetationsklassifikation), F (Orthophotos).

Geologische Karte der Republik Österreich (Blatt 153, Grossglockner, 1:50.000, 1994)

Die geologische Karte wurde im Vektorformat digitalisiert und entsprechend ihrer Legende attribuiert. Für die weiteren Arbeiten war es aber nicht sinnvoll alle in der Karte ausgewiesenen geologischen Klassen für sich zu betrachten. Daher wurden die geologischen Formationen – auf Grund von Geländebeobachtungen – in vier lithologische Klassen (stabiles Festgestein, mäßig stabiles Festgestein, Lockergestein und Sonstiges) zusammengefasst. Da die einzige verfügbare geologische Karte aus dem Jahr 1994 (Topographie Stand 1985) stammt, musste der Gletscherstand aktualisiert werden. Hierfür wurde die Information aus der geologischen Karte mit dem Gletscherstand aus der Alpenvereinskarte verschnitten. Alle Bereiche, die zwischen 1986 und 2002 eisfrei wurden, wurden durch visuelle Interpretation von Orthophotos aus dem Jahr 1998 (Unterscheidung Locker- oder Festgestein) bzw. entsprechend dem anstehenden Gestein in der geologischen Karte einer der vier lithologischen Klassen zugewiesen. Außerdem waren lokal inhaltliche Anpassungen der geologischen Karte notwendig, denn in sehr steilen, mit quartärem Lockermaterial bedeckten Hängen kam es im Laufe der letzten Jahrzehnte zu einem Abrutschen des Lockermaterials und somit zur Freilegung des anstehenden Felsen.

Alpenvereinskarte (Blatt 40, Glocknergruppe, 1:25.000, 2006)

Mit Hilfe der Alpenvereinskarte wurde der aktuelle Gletscherstand (2002) ermittelt. Alle im Untersuchungsgebiet vorhandenen Gletscherflächen wurden im GIS digitalisiert und in einen Rasterdatensatz konvertiert.

Digitales Geländemodell des BEV mit 25 Meter Maschenweite und Ableitungen (Hangneigung, Exposition)

Das Digitale Geländemodell (DGM) ist eines der wichtigsten Instrumente zur Darstellung und Modellierung von Massenbewegungsprozessen (Kap. F- 4). Prinzipiell ist es wünschenswert, Digitale Geländemodelle mit einer geringen Maschenweite zu verwenden, da das Relief so detailgenau wie möglich nachgebildet werden soll. Mit einem 10 m-DGM können reale Sturzbereiche bereits großteils realistisch nachgebildet werden. Eine höhere Auflösung verbessert das Ergebnis nur geringfügig (Wichmann 2006). Da die Maschenweiten bzw. Genauigkeiten des DGM mit dem Aufnahmemaßstab der Abbruchgebiete harmonisieren sollte und die geologische Karte nur im Maßstab 1:50.000 zur Verfügung stand, hätte ein höher als 25 m aufgelöstes DGM die Modellergebnisse kaum verändert. Zudem sind 25 m-Geländemodelle im Gegensatz zu 10 m-Modellen überall in Österreich flächendeckend und kostengünstig verfügbar.

Digitale Farborthophotos, 1998

Die Farborthophotos aus dem Jahr 1998 lagen als Einzelblätter mit einer geometrischen Auflösung von 0,25 m digital vor und wurden mit der Software Erdas Imagine zu einem Orthophotomosaik zusammengefügt. Die Orthophotos dienten einerseits zur visuellen Überprüfung und Anpassung anderer Eingangsdaten (z. B. geologische Karte, Gletscherstand) und andererseits zur Ermittlung der Vegetationsbedeckung im Untersuchungsgebiet. Letzteres erfolgte durch eine automatische Klassifikation der mosaikierten und auf 5 m resampten Orthophotos in vier Klassen: Wald, flächendeckende Vegetation, lückenhafte Vegetation und nicht vegetationsbedeckt.

F-5.1.3.2 Ausweisung der Herkunftsgebiete

Da das verwendete Prozessmodell ausschließlich mit Rasterdaten arbeitet und das DGM über eine Maschenweite von 25 m verfügt, wurde die im Vektorformat vorliegende, bearbeitete geologische Karte in einen Rasterdatensatz mit einer Auflösung von 25 m konvertiert und das Ergebnis der Vegetationsklassifikation ebenfalls auf eine Maschenweite von 25 m resampt. Zudem kommt das Prozessmodell ohne Projektionsinformation aus. Um Lageverschiebungen der Pixel auszuschließen und daraus resultierende Berechnungsfehler zu vermeiden, war es notwendig alle Eingangsdaten auf dieselbe Zeilen- und Spaltenanzahl zuzuschneiden.

Zur Ausscheidung potentieller Anrissgebiete wurde aus dem DGM die Neigung der Fallrichtung abgeleitet und ein einfacher Grenzwert von 40° angesetzt. In weiterer Folge wurde das DGM mit der geologischen Karte und mit der Vegetationsklassifikation (Klasse Wald) verschnitten (Abb. F- 8). Beim gewählten Grenzneigungswinkel von 40° kommen im Untersuchungsgebiet sowohl sehr steile Lockergesteinsbereiche als auch mäßig stabiles und stabiles Festgestein vor. Diese Flächen müssen bei der späteren Abschätzung der mobilisierbaren Massen (siehe Kapitel F-6.1) unterschiedlich gehandhabt werden. Um Zufälligkeiten bei der Modellierung auszuschließen, wurden in der Disposition nur potenzielle Anbruchstellen, die mindestens die Größe von zwei Pixeln erreichen, berücksichtigt. Alle Flächen kleiner als zwei Pixel wurden mit Hilfe eines Filters eliminiert.

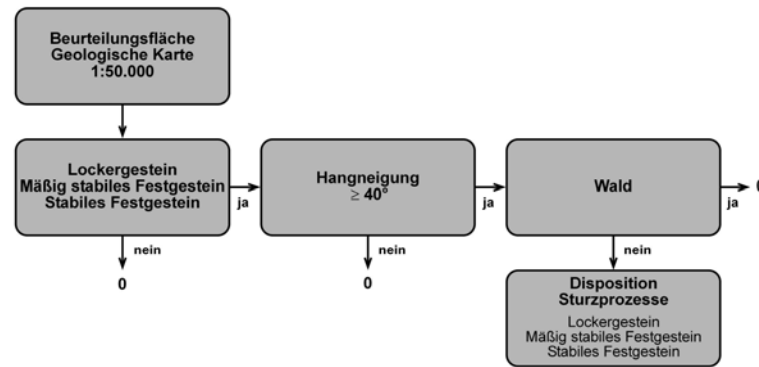


Abb. F- 8: Flussdiagramm zur Bestimmung der Sturzdisposition an der Auslösstelle.

F-5.2 Disposition zu sonstigen denudativen Prozessen

F-5.2.1 Definition, Disposition und Auslösung von sonstigen denudativen Prozessen

Unter dem Begriff sonstige denudative Prozesse fallen im gegenständlichen Projekt Prozesse wie Murgang oder flächenhafte Abspülung (Kap. F- 3). Das durch diese Prozesse bewegte Material stammt großteils aus mächtigen Schutt- und Lockermaterialdecken (z. B. Moränen, Periglazialschutt, rezenter Schutt aus Frostverwitterung), die entweder vegetationslos oder nur mit einer spärlichen Pflanzendecke bedeckt sind.

Bei Muren handelt es sich um ein schnell fließendes Gemisch aus feinem bis grobblockigem Lockermaterial, Luft und einem variablen Anteil an Wasser, das sich in Form eines schlammigen Breies hangabwärts bewegt (Corominas et al. 1996) und meist en bloc und relativ ruckartig zum Stillstand kommt (Wichmann 2006). Die Fließeigenschaften dieses Gemisches aus Feststoffen und Wasser unterscheiden sich aber sowohl von jenen reinen Wassers als auch von jenen trockenen Schuttmaterialien (Rickenmann 1991). Initiiert werden Muren häufig in Dellen, Rinnen und Tälchen von Schutthängen. Durch die Vereinigung zahlreicher kleinerer Tiefenlinien kommt es schließlich zum Murgang, der Hindernisse wie Bäume, Häuser oder Infrastruktureinrichtungen wegreißen kann (Leser 2009).

Doch nicht jede destabilisierte, sich hangabwärts bewegende Masse geht in einen Murgang über, sondern es kann auch zu flächenhaften Abschwemmungen, Schuttrutschungen o. ä. kommen. Diese Prozesse sind überall dort möglich, wo ausreichend Lockermaterial, ein erhöhter Wassergehalt im Substrat, deutlich geneigte Hänge und keine bis geringe Vegetationsbedeckung vorhanden sind. Flächenhafte Abschwemmungen und Schuttrutschungen sind vorwiegend flachgründige Prozesse, die auf Hangneigungen von 20°-45° beschränkt sind und ein deutlich geringeres Längen-/Breitenverhältnis als Murgänge aufweisen.

Ausgelöst werden die sonstigen denudativen Prozesse im Hochgebirge durch lang andauernde, ergiebige Niederschläge oder Starkregenereignisse sowie durch eine schnelle Schneeschmelze und Permafrost-Degradation. Wie bei den Sturz- sind auch bei den sonstigen denudativen Prozessen die zur Prozessauslösung führenden physikalischen Mechanismen aufgrund der hohen räumlichen Variabilität der maßgebenden Parameter sehr schwer in ein Modell zur Abschätzung der Grunddisposition zu integrieren und daher und nur mit vereinfachten Annahmen zu modellieren.

F-5.2.2 Stand der Forschung – Sonstige denudative Prozesse

Auf Grund der Komplexität der Prozesse wird bei vielen Dispositionsmodellen versucht, die für verschiedene Parameter benötigten Indikatoren aus einfacher zu gewinnenden Daten abzuleiten. Vor allem für die Dispositionsmodellierung von Muren gibt es in der Literatur unterschiedliche Ansätze. So ermittelt etwa Rieger (1999) die Disposition durch die unterschiedliche Gewichtung von Parametern und Klassen mit Hilfe einer bivariaten Methode. Mark und Ellen (1995) berechnen unter Zuhilfenahme einer logischen Regression Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Murgängen bzw. Jäger (1997) für Rutschungen. Zimmermann et al. (1997) bestimmen potentielle Anrisspunkte von Muren über regelbasierte Verfahren, wobei vier unterschiedliche Anrisstypen unterschieden werden. Ruff (2005) nimmt zur Dispositionsmodellierung von Rutschungen eine Indexmethode, die Parameter wie Hangneigung, Exposition, Lithologie, Vegetation u. a. berücksichtigt. Kellerer-Pirklbauer (2001) verwendet einen ähnlichen Ansatz zur Berechnung der Disposition von Murgängen. Hier werden Eingangsparameter wie Art und Verfügbarkeit der Geschiebequelle, Hangneigung, Lithologie, Hangstabilität, räumliche Lage der Schieferungsflächen, relativer Oberflächenabfluss usw. unterschiedlich gewichtet und miteinander verschnitten. Im Gegensatz dazu verwendet Wichmann (2006) die certainty factor (CF)-Methode, die über die Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten potentielle Dispositionsgebiete ermittelt.

F-5.2.3 Erstellung des Dispositionsmodelles – Sonstige denudative Prozesse

F-5.2.3.1 Eingangsdaten

Neben den bereits für die Sturzdispositionsmodellierung verwendeten Eingangsparametern (geologische Karte, Alpenvereinskarte, Digitales Geländemodell und Vegetationsklassifikation) wurde zur Modellierung der Disposition der sonstigen denudativen Prozesse zusätzlich die Information über die Permafrostverbreitung herangezogen.

Permafrostmodellierung (ALPCHANGE)

Die Permafrostmodellierung wurde im Rahmen des FWF-Projektes ALPCHANGE (Climate Change and Impacts in Southern Austrian Alpine Regions), ein Kooperationsprojekt der Karl-Franzens-Universität Graz und der Technischen Universität Graz, erstellt und für das gegenständliche Projekt zur Verfügung gestellt. Für die Modellierung wurde eine Adaption des empirischen Programms PERMAKART (Keller 1992) verwendet, das eine automatische Unterscheidung von Flächen mit möglichem diskontinuierlichem Permafrost und permafrostfreien Flächen basierend auf Seehöhe, Exposition und topographischer Position ermöglicht. Die Permafrostuntergrenze wurde mit Hilfe der empirischen Daten von Lieb (1998) bestimmt. Dieser Datensatz lag ebenfalls im Vektorformat vor und musste entsprechend der Auflösung des DGM gerastert werden.

F-5.2.3.2 Ausweisung der Herkunftsgebiete

Ein bedeutender Faktor für die Entstehung von sonstigen denudativen Prozessen ist die Zusammensetzung und Verfügbarkeit von Lockermaterial. Daher wurden in der geologischen Karte nur jene Bereiche berücksichtigt, die zuvor der lithologischen Klasse Lockergestein zugewiesen wurden. Nach Corominas et al. (1996) und Ruff (2005) liegen Dispositionsgebiete von Muren und Rutschungen üblicherweise in Bereichen zwischen 20° und 40°. Folglich wurden im nächsten Schritt alle Lockergesteinsbereiche, die eine Hangneigung von weniger als 20° oder mehr als 40° aufwiesen, als potentielle Startgebiete eliminiert. In Bereichen mit diskontinuierlichem Permafrost ist das dort vorhandene Lockermaterial großteils gefroren und somit im Dispositionsmodell als Startpunkt für denudative Prozesse ausgeschlossen. Eine intakte Vegetationsdecke schützt vor Denu-

dition, doch kann selbst dichter Bewuchs die Entstehung von Muren nur teilweise verhindern. Die höchste Disposition besteht aber auf vegetationsfreien Flächen. Alle Flächen, die in der Vegetationsklassifikation keine lückenlose Vegetationsbedeckung aufwiesen, wurden somit als potentielle Dispositionsgebiete berücksichtigt. Eine schematische Darstellung des Ablaufes der Dispositionsmodellierung der sonstigen denudativen Prozesse bietet Abb. F- 9.

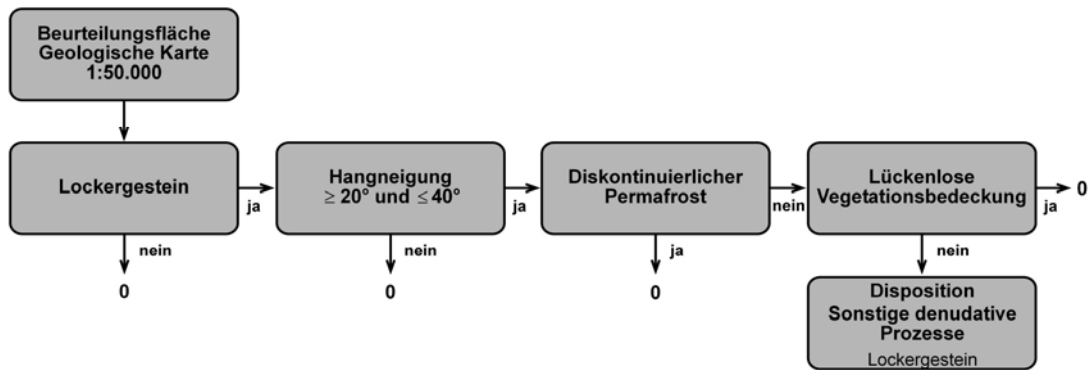


Abb. F- 9: Flussdiagramm zur Bestimmung der Disposition der sonstigen denudativen Prozesse an der Auslösungsstelle.

Zur Disposition von sonstigen denudativen Prozessen tragen natürlich noch viele weitere Faktoren wie etwa Exposition, Einzugsgebietsgröße, Entfernung zu den Hauptgerinnen oder Abstand zu Störungen bei. Um die Übertragbarkeit des Modells zu gewährleisten, wurden Faktoren, die nicht eindeutig einer Erhöhung oder Verringerung der Disposition zugeordnet werden konnten, nicht zur Modellbildung herangezogen.

F-5.3 Zukünftiges Szenario 2030

F-5.3.1 Massenprozesse und Klimawandel

Gravitative Massenbewegungen treten prinzipiell in jeder Klimaphase auf, denn die Auslösung von Steinschlag, Bergsturz, Muren u. a. ist nicht nur klimaabhängig (siehe Kapitel F-5.1.1 und F-5.2.1). Die gegenwärtigen und zukünftig zu erwartenden Klimaänderungen (IPCC 2007^b) führen aber möglicherweise zu deutlichen Änderungen von Frequenz und Magnitude von Massenbewegungen in Hochgebirgsregionen (Evans und Clague 1994), wobei der Einfluss klimabedingter Auslöser bei kleineren Ereignissen deutlich stärker ist als bei großen. Die Reaktion der Hänge auf den Klimawandel ist aber nicht überall in den Alpen gleich, denn die Materialverfügbarkeit und die Niederschlags- und Temperaturentwicklung sind lokal sehr unterschiedlich (Jomelli et al. 2007). Die im Laufe der letzten beiden Jahrzehnte generierten Regionalen Klimamodelle (RCM) sind sich aber einig, dass es zu einer allgemeinen Zunahme der Temperatur sowie zu Veränderungen des Jahresgangs des Niederschlages und zu höheren jährlichen Schwankungen durch die Zunahme von Starkniederschlägen im Alpenraum kommt (Gobiet und Truhetz 2008, Christensen und Christensen 2004, Tebaldi et al. 2006).

Mehrere Studien zeigen, dass es in den Alpen einen Zusammenhang zwischen der Frequenz von Murgängen und dem Klimawandel gibt (Zimmermann und Haeberli 1992, Gärtner 2003, Stoffel und Beniston 2006), denn sommerliche Murgänge werden häufig von Starkregenereignissen ausgelöst. Anders als bei Murgängen werden sommerliche Sturzprozesse kaum von Starkregenereignissen beeinflusst, da sich die Klüfte bei wärmeren Temperaturen im Sommer wieder schließen. Niederschläge führen im Frühjahr,

aber vor allem im Spätsommer und Herbst zu einer Häufung von Sturzaktivitäten. Im Frühjahr kommt es eher zu kleineren bis mittleren Stürzen, die durch Frost-Tau-Wechsel, Schneeschmelze und erste Frühjahrsniederschläge ausgelöst werden. Im Herbst können starke und langanhaltende Niederschläge zu einem erhöhten Bergwasserdruck führen, der sich destabilisierend auf Felswände auswirkt und größere Sturzprozesse in Gang setzen kann (Gruner 2008).

In den Hochlagen sind vor allem indirekt von Klimawandel abhängige Veränderungen wie die Permafrost-Degradation für das Auftreten von Sturzprozessen von Bedeutung. Stürze, welche auf Permafrost-Degradation zurückzuführen sind, haben vor allem in Jahren mit außerordentlich heißen Sommern (z. B. 2003) zugenommen (Nötzli et al. 2004), denn die Stabilität von eisgefüllten Klüften nimmt mit steigenden Eis- und Fels-temperaturen ab. Da in Zukunft deutlich mehr extreme Hitzesommer zu erwarten sind, wird es sehr wahrscheinlich auch zu einem höheren Auftreten von Sturzprozessen kommen, denn durch die schnellen, oberflächennahen thermischen Reaktionen von Felswänden kommt es zu größeren Auftautiefen des Permafrosts und somit zu einer erhöhten Hanginstabilität (Harris et al. 2009).

Neben der Vergrößerung der Auftautiefe des Permafrosts bzw. dessen Degradation ist auch der Gletscherrückgang mitverantwortlich für das häufiger werdende Auftreten von gravitativen Massenbewegungen. Durch den Gletscherrückgang kommt es zu erheblichen morphologischen Veränderungen des Reliefs wie Hangversteilung und glaziale Entlastung. Dies führt zu veränderten Spannungsverhältnissen und zum Wachstum neuer sowie der Vernetzung bestehender Klüfte. Diese Faktoren führen zu einer wachsenden Hanginstabilität (Prager et al. 2008).

F-5.3.2 Erstellung des Dispositionsmodells

Die Erstellung der Dispositionsmodelle 2030, jeweils eines für Sturzprozesse und eines für sonstige denudative Prozesse, erfolgte nach dem gleichen Schema wie jene für die aktuelle Disposition. Lediglich die Eingangsparameter mussten an die zukünftigen Klimabedingungen angepasst, d.h. der zu erwartende Gletscherrückgang und der Anstieg der Permafrostuntergrenze modelliert werden.

Die Modellierung des Szenario 2030 basiert auf Temperaturwerten aus einem regionalisierten Klimamodell für den Alpenraum von Gobiet und Truhetz (2008). Dieses Modell geht von einem Temperaturanstieg in den Sommermonaten zwischen den 1980er und den 2040er Jahren von 2,3 K aus. Für die Modellierung des Gletscherrückganges wurde daher davon ausgegangen, dass die Gletscher im Untersuchungsgebiet in den nächsten 20 Jahren in etwa gleich schnell zurückschmelzen wie im vergangenen Jahrzehnt. Als Basis für die Berechnung dienten die Ergebnisse der jährlich vom Institut für Geographie und Raumforschung der Universität Graz durchgeführten Gletschermessungen an der Pasterze sowie am Wasserfallwinkel- und Freiwandkees (siehe Tab. F- 2 und Tab. F- 3). Die durchschnittlichen jährlichen Längenänderungs- und Einsinkraten (nur für die Pasterze vorhanden) dieser drei Gletscher im Zeitraum 1999-2009 wurden für das Szenario 2030 linear fortgeschrieben, wobei der Gletscherstand aus der Alpenvereinkarte 2006 (Gletscherstand 2002) als Ausgangswert fungierte. Der Gletscherrückgang aller anderen Gletscher im Untersuchungsgebiet wurde anhand der Differenz der Gletscherstände aus der geologischen Karte (Gletscherstand 1985) und der Alpenvereinkarte (Gletscherstand 2002) und unter Einbezug der Exposition ermittelt. Alle Bereiche, die durch den angenommenen Gletscherrückgang eisfrei werden, wurden zuletzt in der geologischen Karte entsprechend der an die Gletscher anschließenden lithologischen Einheiten klassifiziert.

Viele Anrissstellen von Bergstürzen liegen nahe der Untergrenze der Permafrostverteilung (Nötzli et al. 2004) und auch für die Entstehung anderer denudativer Prozesse ist die Permafrostverteilung von Bedeutung. Von 1850 bis heute stieg die Untergrenze des

Permafrosts in den Schweizer Alpen durchschnittlich um 1-2 m pro Jahr an (Frauenfelder et al. 2001). Unter Berücksichtigung des verwendeten regionalen Klimamodells für das Szenario 2030 wurde im Gebiet Großglockner-Pasterze ein Anstieg der Permafrost-Untergrenze von 2 m pro Jahr angenommen.

Tab. F- 2: Durchschnittlicher und angenommener zukünftiger Längerrückgang der Pasterze, des Wasserfallwinkel- und des Freiwandkeeses.

	Ø jährlicher Längerrückgang 1999-2009	Längerrückgang 2002-2030
Pasterze (eisfrei)	- 36,3m	- 1016,4m
Pasterze (schuttbedeckt)	- 7,0m	- 196,0m
Pasterze gesamt	- 21,7m	- 607,6m
Wasserfallwinkelkees	- 7,1m	- 198,8m
Freiwandkees	- 5,9 m	- 165,2m

Tab. F- 3: Durchschnittliche und angenommene zukünftige Einsinkraten sowie Breitenrückgang der Pasterze.

	Ø jährliche Einsinkraten 1999-2009	Einsinkrate 2002-2030	Breitenrückgang bei einer Ø Hangneigung von 35°
Seelandlinie	- 4,5m	- 126,0m	- 179,9m
Burgstalllinie	- 3,2m	- 89,6m	- 128,0m

Neben der Modellierung des Gletscherrückganges und des Anstiegs der Permafrostuntergrenze musste auch das DGM an die zukünftigen Bedingungen angepasst werden, wobei Veränderungen des Reliefs durch mögliche Massenbewegungen im Zeitraum 2010-2030 unberücksichtigt blieben. Im DGM angepasst wurden lediglich jene Bereiche, die durch den angenommenen Gletscherrückgang eisfrei werden.

Die Veränderungen von Gletschern und Permafrost werden sich im Einzelfall nicht genau so entwickeln, wie es im Szenario 2030 angenommen wurde. Gletscher reagieren je nach Typ, Form und Lage unterschiedlich auf veränderte Klimabedingungen. Auch die Permafrostverteilung und deren Anstieg basiert auf allgemeinen Annahmen. Entscheidend für die Dispositionsmodellierung 2030 ist lediglich die Darstellung eines möglichst realistischen Gesamtbildes der zukünftigen Situation im Untersuchungsgebiet, um eine Abschätzung des Gefährdungspotentials zu ermöglichen.

F-6 Prozessmodellierung

F-6.1 Abschätzung der Mächtigkeit mobilisierbarer Massen

Ausgehend von der Überlegung, dass die Auftauschicht über dem Permafrostkörper maßgebend für die Mächtigkeiten mobilisierbarer Massen ist, wurden dementsprechende Messwerte für das untersuchte Gebiet oder dessen nähere Umgebung benötigt. Hierfür stand der Hohe Sonnblick (3106 m) zur Verfügung, wo 3 Bohrlöcher an einem südexponierten Standort Temperatur-Messwerte liefern. Die maximale Mächtigkeit der Auftauschicht betrug dort in den Sommern 2008 und 2009 im Mittel 0,8 m (ZAMG 2010). In weiterer Folge wurde eine Differenzierung der Mächtigkeit in Abhängigkeit von der Exposition durchgeführt. Nach Messungen in Felswänden (Gruber et al. 2003) beträgt der Temperaturunterschied im Untergrund zwischen N- und S-Hängen 5-8 K, wobei aufgrund der vorherrschend geringeren Hangneigungen 4,5 K als Temperaturunterschied in Anlehnung an Gruber et al. (2004, 354) für das Untersuchungsgebiet angenommen wurden. Demnach ergaben sich für 5 Expositionsklassen die folgenden Auftautiefen in 3106 m Höhe: SSE-SSW 0,8 m, SSE-ESE und SSW-WSW 0,625 m, ESE-ENE und WSW-WNW 0,45 m, ENE-NNE und WNW-NNW 0,275 m sowie NNE-NNW 0,1 m.

Die Berechnung der Mächtigkeit der Auftauschicht für verschiedene Seehöhen erfolgte unter Berücksichtigung des vertikalen Gradienten der Lufttemperatur, der mit $-0,55$ K/100 m angenommen wurde (Gruber et al. 2004, 353). Die Umsetzung dieses Betrages zu Mächtigkeiten beruhte auf den expositionsbedingten Unterschieden: Ein Temperaturunterschied von 4,5 K zwischen N- und S-Hängen entspricht einem Mächtigkeitsunterschied von 0,7 m (siehe oben); demzufolge ergibt sich beim genannten Temperaturgradienten eine Änderung der Mächtigkeit von 8,5 cm/100m. Aufgrund der im Arbeitsprozess verwendeten geometrischen Auflösung von 25 m wurden, ausgehend von der Höhe 3106 m, für Höhenunterschiede von 25 m jeweils 2,1 cm an Mächtigkeit hinzu- bzw. abgerechnet. Diese Berechnungsweise wurde auch unterhalb der Untergrenze des diskontinuierlichen Permafrosts (im Mittel rund 2500 m) angewandt. Dem liegt die Überlegung zu Grunde, dass in vegetationsarmen Arealen unterhalb der Permafrost-Untergrenze grundsätzlich bedeutende Mengen an mobilisierbarem Material zur Verfügung stehen, da der Permafrost als stabilisierender Faktor im Untergrund völlig wegfällt. Die Berechnung wurde wie folgt umgesetzt:

$$\frac{0,7[m] \times 0,0055 [^{\circ}C m^{-1}]}{4,5 [^{\circ}C]} = 0,00085$$

$$0,00085 \times 25[m] \approx 0,021[m]$$

Die Umsetzung in ERDAS Imagine erfolgte in folgenden Arbeitsschritten:

1. Ausgehend von 800 mm für 3106 m Seehöhe wurden in Höhendifferenzen von jeweils 25 m 21 mm hinzu- bzw. abgerechnet.
2. Das Aspectfile wurde in 5 Expositionsklassen unterteilt.
3. Für 4 dieser 5 Klassen (Ausnahme S) wurden 175, 350, 525 sowie 700 mm als Mächtigkeiten vergeben (siehe oben) und von den Mächtigkeiten des im 1. Arbeitsschritt erhaltenen Files abgezogen.
4. Dieses (die Exposition und Höhenlage berücksichtigende und Mächtigkeiten darstellende) File bezieht sich auf das gesamte Untersuchungsgebiet: Die potentiellen Disposi-

tionsareale wurden davon (getrennt für die beiden Arten der Massenbewegungen) ausgeschnitten.

5. Die unterschiedlichen Lithologien wurden innerhalb der Sturzprozesse wie folgt berücksichtigt: Festgestein 100 %, mäßig stabiles Festgestein 75 % und labiles Festgestein/Lockermaterial 50 % der jeweils berechneten Mächtigkeit.

Dem Szenario 2030 wurden Temperaturwerte aus einer regionalisierten Klimamodellierung für den Alpenraum (Gobiet und Truhetz 2008) zu Grunde gelegt. Bei einer Maschenweite des Modells von 10 km beträgt der Temperaturanstieg in den Sommermonaten zwischen den 1980er und den 2040er Jahren 2,3 K (0,38 K pro Jahrzehnt). Bei der Einbeziehung dieses Wertes in die Abschätzung der Mächtigkeit der Auftauschicht wird wieder der Temperaturunterschied zwischen S- und N-Hängen berücksichtigt. Dieser beträgt an Felshängen 4,5 K, was einem Mächtigkeitsunterschied von 0,7 m entspricht (siehe oben): +1 K ergibt demnach eine Mächtigkeitsänderung von +0,15 m. Somit ergibt ein Temperaturanstieg von 0,76 K für 2010-2030 eine Zunahme der Mächtigkeit der Auftauschicht von 12,2 cm, die auf die Dispositionsareale des gesamten Untersuchungsgebietes aufaddiert wurden. Die Berechnung erfolgte folgendermaßen:

$$0,7 [m] \div 4,5 [^{\circ}C] = 0,15 [m^{\circ}C^{-1}]$$
$$0,76 [^{\circ}C] \times 0,15 [m^{\circ}C^{-1}] \approx 0,122 [m]$$

F-6.2 Das Prozessmodell

So komplex, wie sich die genannten Prozesse darstellen (Kap. F- 5.1 und 5.2), so schwierig ist auch deren Modellierung. Verschiedenste Faktoren sind für eine annähernde Prozesswiedergabe zu beachten, wie z. B. die Materialzusammensetzung oder auch die Oberflächenrauigkeit. Die Herausforderung besteht nun darin, die entscheidenden Kriterien zu bestimmen. Hier stellt sich also die Frage nach der Art des zu verwendenden Modells. Dazu im Folgenden Wichmann (2006, 14 ff.): „White-box“-Ansätze versuchen, die kleinsten zu identifizierenden Systemelemente unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkungen zusammenzusetzen und haben den Nachteil, dass selbst die kleinsten Systemelemente für sich „black-box“-Modelle bleiben. Diese repräsentieren das System als Ganzes und teilen es in relative grobe Komponenten, die zusammen mit ihren Wechselwirkungen beschrieben werden.

Die „Black-box“-Verfahren finden als empirische Modelle deshalb oftmals Anwendung, weil sich die Prozesse nicht bis ins letzte Detail erfassen lassen. Zwar orientieren sich empirische Modelle an physikalischen Gegebenheiten, sie basieren allerdings auf Erfahrungswerten oder auch Modellversuchen. Als Vorteile prozessorientierter Modelle (white-box) sind eine höhere potentielle Genauigkeit und die Realitätsnähe der Prozesswiedergabe zu nennen. Der entscheidende Nachteil ist allerdings die Erhebung der vielen Parameter. Je mehr Parameter ein Modell als Input benötigt, desto größer werden auch die Unsicherheiten, desto komplizierter gestaltet sich die Handhabung des Modells und desto schwieriger ist die Kalibrierung (Fey 2010, 22 f.). Auch ist das Ergebnis der komplexen Ansätze nicht unbedingt besser als das der empirischen.

Es gibt demnach unterschiedliche Ansätze um Sturzprozesse und sonstige denudative Prozesse wiederzugeben. Bei der Wahl des geeigneten Modells sind neben der Zielsetzung u.a. die Verfügbarkeit von Datengrundlagen, der Zeitaufwand i. S. des Rechenganges und die Maßstabsfrage zu berücksichtigen. Im Zuge der Prozessmodellierung werden folgende Komponenten ausgewiesen: Grunddisposition (Dispositionsmodell), Prozesswege (Trajektorienmodell) und Reichweite (Reibungsmodell). Zur Modellierung der Prozesswege sind verschiedene Methoden möglich (Wichmann 2006, Gruber 2007): Als Gemeinsamkeit der Algorithmen ist zu nennen, dass die Höhenunterschiede be-

nachbarter Rasterzellen in digitalen Geländemodellen (DGM) mögliche Transportwege für Stoff- und Energieflüsse beinhalten. Beim single-neighbor-Ansatz wird Masse von einer Ausgangs- in nur eine einzige Zielrastrerzelle verfrachtet. Der single-direction multiple-neighbor-Ansatz lässt hingegen Transport in zwei Nachbarzellen zu, sofern die Zellen dieselbe Richtung aufweisen. Weiters gibt es auch Methoden, die eine divergente Aufteilung der Flüsse auf mehrere Nachfolger erlauben (multiple flow direction). Als weiterer Ansatz kann ein random walk zur Bestimmung der Prozesswege verwendet werden. Dabei geht es aber nicht wie bei den bisher genannten Verfahren darum, einen Materiestrom aufzuteilen, sondern vielmehr darum, mögliche Sprungkandidaten unter den Nachbarzellen zu finden (Gamma 2000, 52). Der größte Unterschied liegt folglich darin, dass mehrere Prozessläufe mit veränderten topographischen Verhältnissen simuliert werden können.

Im vorliegenden Fall wurden die Prozesse mit einem massenkonservierenden, multiple direction flow propagation-Algorithmus (Gruber 2007) mithilfe der Software IDL parametrisiert. Basierend auf dem DGM werden dabei mobilisierbare Massen entlang von Sturz- und Gleitbahnen modelliert, wobei die Masse einer Rasterzelle – anteilmäßig in Abhängigkeit von der Hangneigung – in alle tiefer liegenden Rasterzellen verteilt wird. Massentransport und -ablagerung werden mithilfe einfacher Parameter wiedergegeben, d. h. die physikalischen Parameter des jeweiligen Transport- und Ablagerungsprozesses bleiben im Modell unberücksichtigt, wodurch auch die Unterschiedlichkeit der Prozesse unbeachtet bleibt. Als weitere Einschränkung ist zu nennen, dass eine Prozessmodellierung an horizontalen Flächen bzw. hangaufwärts nicht möglich ist. Grund dafür ist, dass nur der Höhenunterschied (potentielle Energie) zwischen zwei Rasterzellen ausschlaggebend ist und die Bewegungsgeschwindigkeit unberücksichtigt bleibt. Als Vorteil ist erwähnenswert, dass – i. S. eines massenkonservierenden Ansatzes – hydrologisch korrekte Massenumsätze erzeugt werden können (Strasser 2008). Die Tatsache, dass beim verwendeten Ansatz jede tieferliegende Rasterzelle Masse erhalten kann, ist grundsätzlich als weiterer Vorteil anzusehen – nachteilig ist jedoch, dass dies obligatorisch der Fall ist. Bei der Ergebnisdarstellung musste dies berücksichtigt werden, weshalb ein Mindestwert an erhaltener Massenmächtigkeit (1 cm) definiert wurde.

Im Konkreten werden als Eingabedaten reguläre Grids der Höhe (DGM), der Dispositionsgebiete sowie der (parametrisierten) Maximalablagerung je Rasterzelle D_{max} verwendet. D_{max} wird im Zuge des Rechenvorganges wie folgt berechnet (Gruber 2007):

$$D_{max} = \begin{cases} \left(1 - \frac{\beta}{\beta_{lim}}\right)^{\gamma_s} \times D_{lim} & \text{if } \beta \leq \beta_{lim} \\ 0 & \text{if } \beta > \beta_{lim} \end{cases}$$

Das Hangneigungslimit β_{lim} gibt die maximale Hangneigung an, an der es zu Ablagerung kommt. Das Depositionslimit D_{lim} ist die maximale Ablagerung an horizontalen Flächen. Die Angabe von γ_s (shape exponent) definiert, ob D_{max} linear oder exponentiell bei veringertem Hangneigungslimit zunimmt. In Abb. F- 10 sind die Auswirkungen veränderter Parameter dargestellt. Ein erhöhter Wert des D_{lim} (A) führt zu mächtigerer Akkumulation in hangoberen Bereichen. Bei gleichem D_{lim} und β_{lim} , aber größerer Massenmächtigkeit der Dispositionsgebiete (B) ergibt sich dieselbe Ablagerung in den oberen Bereichen, die Ablagerung reicht jedoch weiter hangabwärts. Ähnliche Auswirkungen wie bei (A) und (B) ergeben sich durch veränderte Werte des β_{lim} (C). Ein verringerter Wert ergibt dabei geringer mächtige Ablagerungen in weiter hangabwärts reichenden Bereichen, wobei γ_s maßgebend ist. Für die Modellierung im Rahmen des gegenständlichen Projektes (Abb. F- 11-14) wurden folgende Werte verwendet: $D_{lim} = 2000$ mm, $\beta_{lim} = 19^\circ$,

der Input kann aufgrund der Berechnungsweise bei jeder Rasterzelle variieren (Wertebereich: 0,002-2,079 m), $\gamma_s = 2$.

Für die Aussagekraft der Prozessmodellierung ist entscheidend, dass die genannten Prozesse getrennt voneinander bearbeitet wurden, d. h. es gab je einen voneinander unabhängigen Rechenvorgang für die Dispositionsgebiete der Sturzprozesse sowie sonstigen denudativen Prozesse.

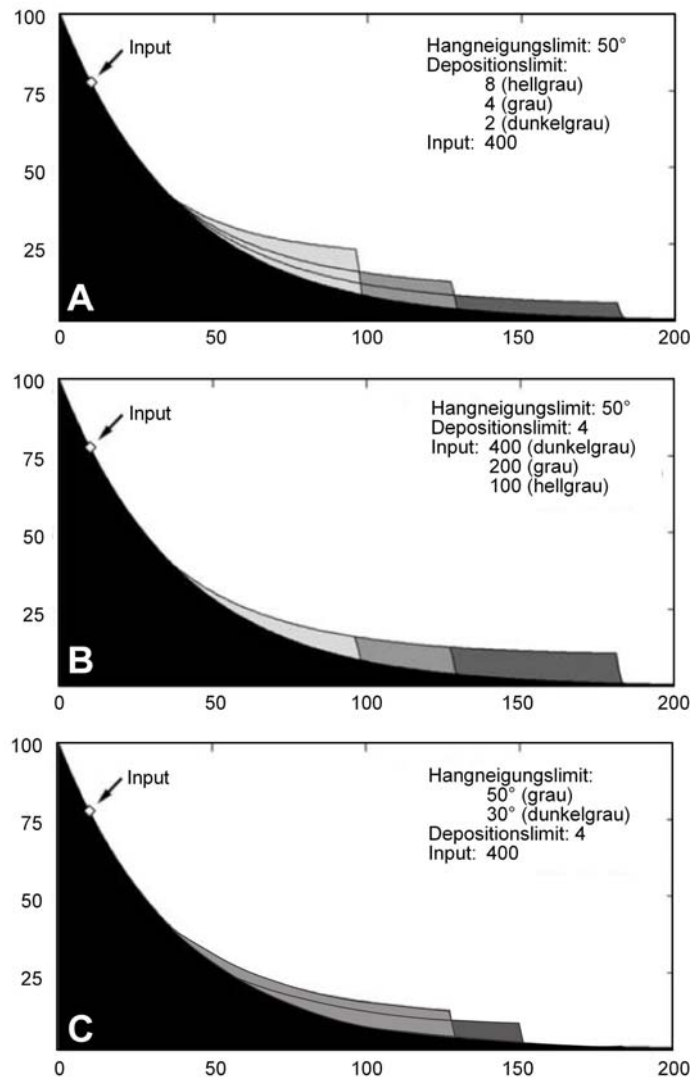


Abb. F- 10: Die Ablagerung wird gesteuert durch Depositionslimit (A), Input (B) sowie Hangneigungslimit (C). Erläuterungen im Text. Nach Gruber (2007), verändert.

F-6.3 Ergebnisse der Prozessmodellierung

Die Abbildungen Abb. F- 11-14 geben die Resultate der Prozessmodellierung in kartographischer Form wieder. In jeder dieser Karten ist eine Prozessraumzonierung i. S. der Unterscheidung von Herkunfts-, Transport- und Ablagerungsgebiet vollzogen worden. Die Darstellung erfolgt – entsprechend der Modellierung – getrennt nach dem jeweiligen Prozess sowie nach dem betreffenden Jahr (2010 bzw. Szenario 2030). Wie der Vergleich der Abb. F- 11 und Abb. F- 12 bzw. Abb. F- 13 und Abb. F- 14 zeigt, konzentrieren sich die Unterschiede der rezenten Situation zum Szenario 2030 – innerhalb einer Prozessart – auf die Pasterze bzw. ihre unmittelbare Umgebung. Der Vergleich der beiden Prozessarten lässt deutliche Unterschiede der jeweils betroffenen Areale erkennen. Während Sturzprozesse in allen topographischen Bereichen und Höhenlagen vorkom-

men, konzentrieren sich die sonstigen denudativen Prozesse – entsprechend der Lage der Dispositionsgebiete – auf die mittleren bis unteren Hanglagen.

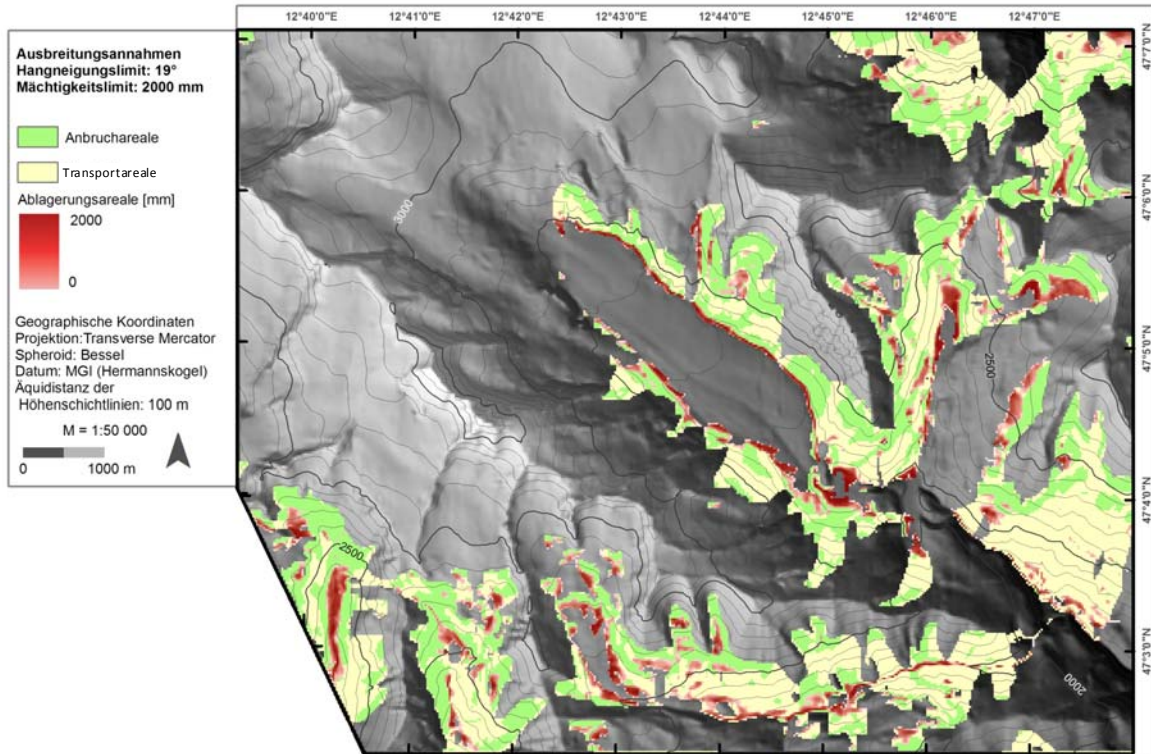


Abb. F- 11: Ausbreitungsmodellierung für sonstige denudative Prozesse 2010.

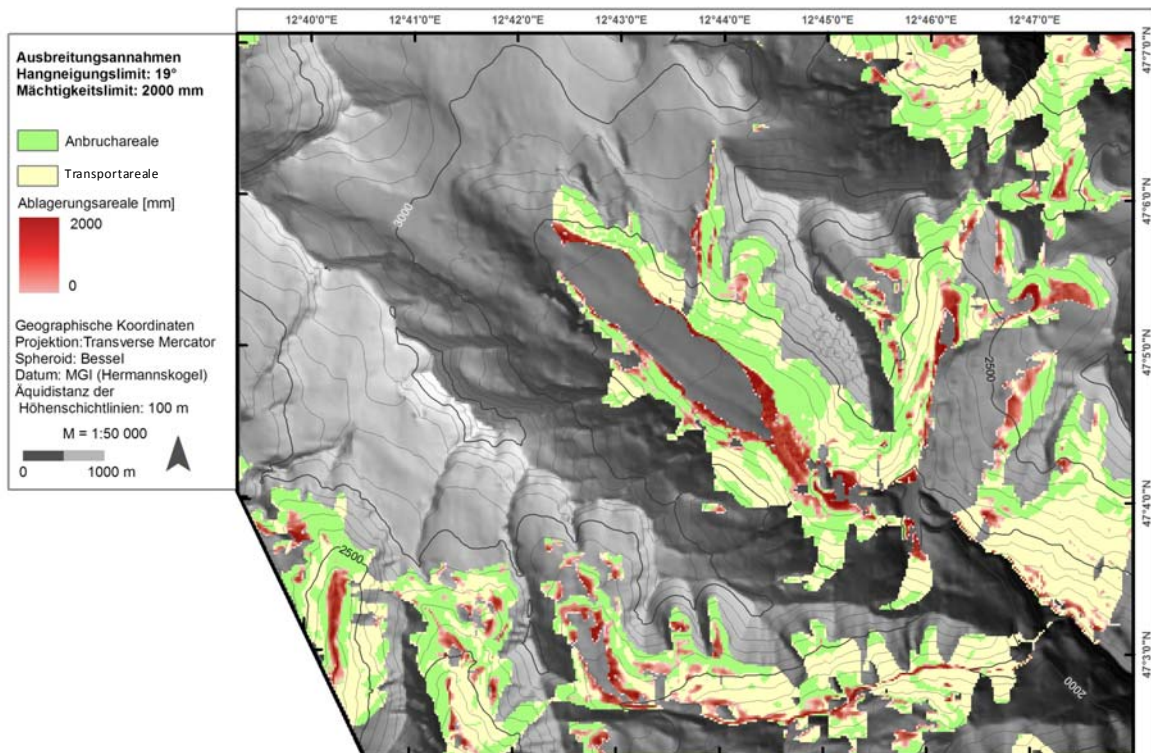


Abb. F- 12: Ausbreitungsmodellierung für sonstige denudative Prozesse im Szenario 2030.

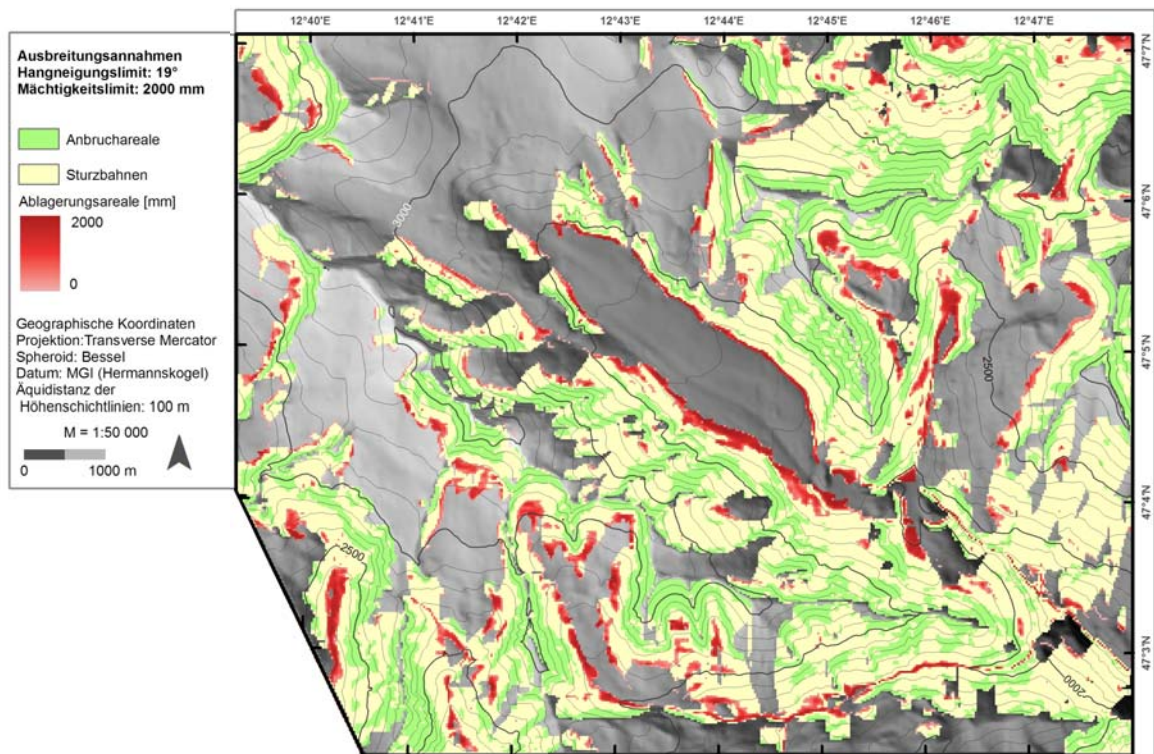


Abb. F- 13: Ausbreitungsmodellierung für Sturzprozesse 2010.

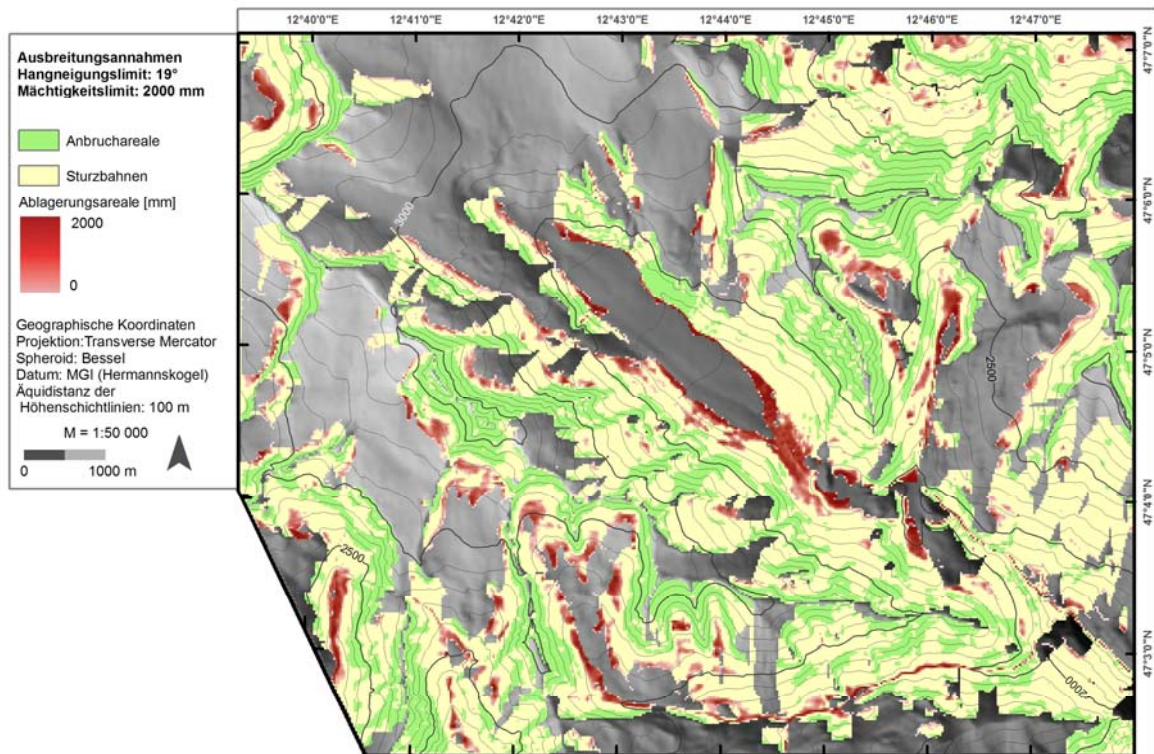


Abb. F- 14: Ausbreitungsmodellierung für Sturzprozesse im Szenario 2030.

F-7 Gefährdungsklassen und Gefahrenhinweiskarten

In Österreich sind Konzepte zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für sämtliche Hangbewegungen in Arbeit. Auch von Seiten der Bundesländer und Universitäten gibt es einige Vorschläge zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten, wie z. B. die „Georiskokarte Vorarlberg“ (Ruff 2005). Bundesweit gültige Vorgaben gibt es bisher allerdings noch nicht. Im Projekt AdaptAlp (Posch-Trözmüller 2010) sollen basierend auf einer Literaturstudie Vorschläge hierzu gemacht werden.

Hier kann z. B. das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BUWAL 2001, 19) zitiert werden: „Eine Gefahrenhinweiskarte gibt eine erste Übersicht über die Gefährdungssituation. Sie enthält Angaben zur Gefahrenart, jedoch nicht zum Grad der Gefährdung, d.h. sie enthält keine Angaben zu Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit. Die Erstellung sollte objektunabhängig erfolgen, d.h. ohne Rücksicht auf potentiell betroffene Objekte und bereits bestehende Schutzmaßnahmen. Der Maßstab liegt zwischen 1:10.000 und 1:50.000, womit keine parzellenscharfen Abgrenzungen von Gefahrenbereichen möglich sind. Sie ... soll Interessenkonflikte zwischen Nutzung und Gefahr aufzeigen. Eine Gefahrenkarte gibt im Gegensatz dazu eine detaillierte Übersicht über die Gefährdungssituation und basiert auf einer Detailuntersuchung. Sie enthält genaue Angaben zur Gefahrenart, zur räumlichen Ausdehnung und dem Grad der Gefährdung in mehreren Stufen. Der Grad der Gefährdung enthält dabei Aussagen über Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit der Gefahr. Der Maßstab liegt zwischen 1:2.000 und 1:10.000.“

Demgegenüber ist Schweigl (2009, in Posch-Trözmüller 2010, 86) anderer Auffassung: „Unter Gefahrenhinweiskarten versteht man Karten, die Zonen zeigen, wo in Zukunft Massenbewegungen (eines bestimmten Typs) auftreten können. Für jede Massenbewegungszone geben sie auch den Grad der Anfälligkeit (Prädisposition) oder der Wahrscheinlichkeit für eine Massenbewegung an. Gefährdungskarten (= Suszeptibilitätskarten) treffen räumliche Vorhersagen über das Auftreten von Massenbewegungen; die Gefährdung eines Bereiches durch Massenbewegungen kann dabei als die Wahrscheinlichkeit definiert werden, mit der ein potentiell gefährliches Ereignis zeitlich („hazard“) oder räumlich („susceptibility“) eintritt.“

Wie die genannten Begriffe zu definieren sind, bleibt somit umstritten. Würden wir uns der ersten Definition zuwenden, so müssten unsere Karten „erweiterte Gefahrenhinweiskarten“ darstellen, die zwar die strengen Voraussetzungen einer Gefahrenkarte nicht erfüllen, aber dennoch zusätzliche Aussagen treffen (Patula 2009, 12). In der vorliegenden Arbeit beinhalten die Gefahrenhinweiskarten auch eine graduelle Klassifizierung der Gefährdung.

Die Intensität der Prozesse wurde dabei für die Gefährdungsbeurteilung als entscheidendes Kriterium herangezogen. Problematisch dabei ist jedoch, dass es kein allgemein gültiges Maß gibt, um die Intensität von Massenbewegungen zu beschreiben. Aufgrund der Wirkungsmechanismen der verschiedenen Prozesse können hingegen Werte festgelegt werden, die eine Einordnung in Klassen mit starker, mittlerer und schwacher Intensität erlauben (Tab. F- 4). Die dazu verwendeten Kriterien beziehen sich auf das vom jeweiligen Prozess betroffene bzw. gefährdete Gebiet.

Um der oben genannten Definition gerecht zu werden soll aber auch die Wahrscheinlichkeit miteinfließen. Da es sich bei Rutschungen (ähnliches gilt auch für Hangmuren) um meist kontinuierliche Prozesse handelt, gibt es eine Eintrittswahrscheinlichkeit im engeren Sinne gar nicht, weshalb dieses Kriterium auch unberücksichtigt blieb. Denn aktive Rutschphasen sind witterungsabhängig und unterliegen daher der Eintrittswahrscheinlichkeit besonderer Witterungsverhältnisse (BUWAL 2001, 27).

Tab. F- 4: Beurteilung der Intensität nach verschiedenen Prozessen.

E = kinetische Energie, M= Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht, h = Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure, v = langfristige durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit (BUWAL 2001, 26).

Prozess	Schwache Intensität	Mittlere Intensität	Starke Intensität
Block-/Steinschlag	E < 30 kJ	30 < E < 300kJ	E < 300kJ
Fels- und Bergsturz	-	-	E < 300kJ
Rutschung	v: ≤ 2cm/Jahr	v: dm/Jahr (> 2cm/Jahr)	starke Differentialbewegungen; v > 0,1m/Tag bei oberflächlichen Rutschungen; Verschiebungen > 1m pro Ereignis
Hangmure potentiell	M < 0.5m	0.5m < M < 2m	M > 2m
Hangmure real	-	h < 1m	h > 1m
Absenkung, Einsturz	-	Dolinen	-

Wie schon erwähnt, wurde die Intensität der Prozesse für die Gefährdungsbeurteilung verwendet, wobei die Hangneigung einerseits und die Massenmächtigkeit andererseits - siehe Tab. F- 4 - Berücksichtigung fanden. Die Bewertung aller flächenhaft dargestellter Informationen (Tab. F- 5) basiert daher auf diesen beiden Faktoren. D. h. den potentiellen Dispositionsgebieten, modellierten Sturzbahnen und Ablagerungsgebieten wurden in Abhängigkeit von der Hangneigung folgende 4 Gefährdungsklassen zugeteilt und gleichzeitig auf den Mittelwert der abgelagerten Massen Bezug genommen: 1 = gravitative Prozesse nicht zu erwarten; 2 = gravitative Prozesse mit geringer Frequenz/Magnitude möglich; 3 = gravitative Prozesse mit hoher Frequenz/Magnitude möglich; 4 = gravitative Prozesse mit hoher Frequenz/Magnitude wahrscheinlich (Tab. F- 5).

Tab. F- 5: Bewertung der Intensität (Frequenz/Magnitude) von Prozessen an den von ihnen betroffenen Flächen.

Die Abkürzung a.M. steht für arithmetisches Mittel; Gebiete mit über dem jeweiligen a.M. gelegenen modellierten Materialmengen werden meist der jeweils höheren Intensitätsklasse zugeordnet.

Hangneigung	Herkunftsgebiete				Sturzbahnen	Ablagerungsgebiete		Gletscherflächen
	Lockermaterial		Festgestein			> a.M.	< a.M.	
	> a.M.	< a.M.	> a.M.	< a.M.				
>40°	4	3	4	4	4	-	-	4
≥20° - ≤40°	4	3	-	-	3	-	-	3
>1° - <20°	-	-	-	-	-	4	3	2
0° - ≤1°	-	-	-	-	-	3	2	1

Da die Gletscher nicht in die Prozessmodellierung miteinbezogen wurden, erfolgte die Bewertung nur anhand der Neigung ihrer Oberfläche. Dem liegt die Überlegung zu Grunde, dass gravitative Prozesse auf Gletscherflächen mit zunehmender Neigung wahrscheinlicher und ihre Begehung gefährlicher wird. Auch wurde bei der Gefährdungsbeurteilung der Dispositionsgebiete zwischen Locker- und Festgestein unterschieden. Durch die Zuordnung der aus der Prozessmodellierung gewonnenen Flächen

zu den Intensitätsklassen gemäß Tab. F- 5 entstand je eine Gefahrenhinweiskarte für den aktuellen Stand (Abb. F- 15) und das Szenario 2030 (Abb. F- 16).

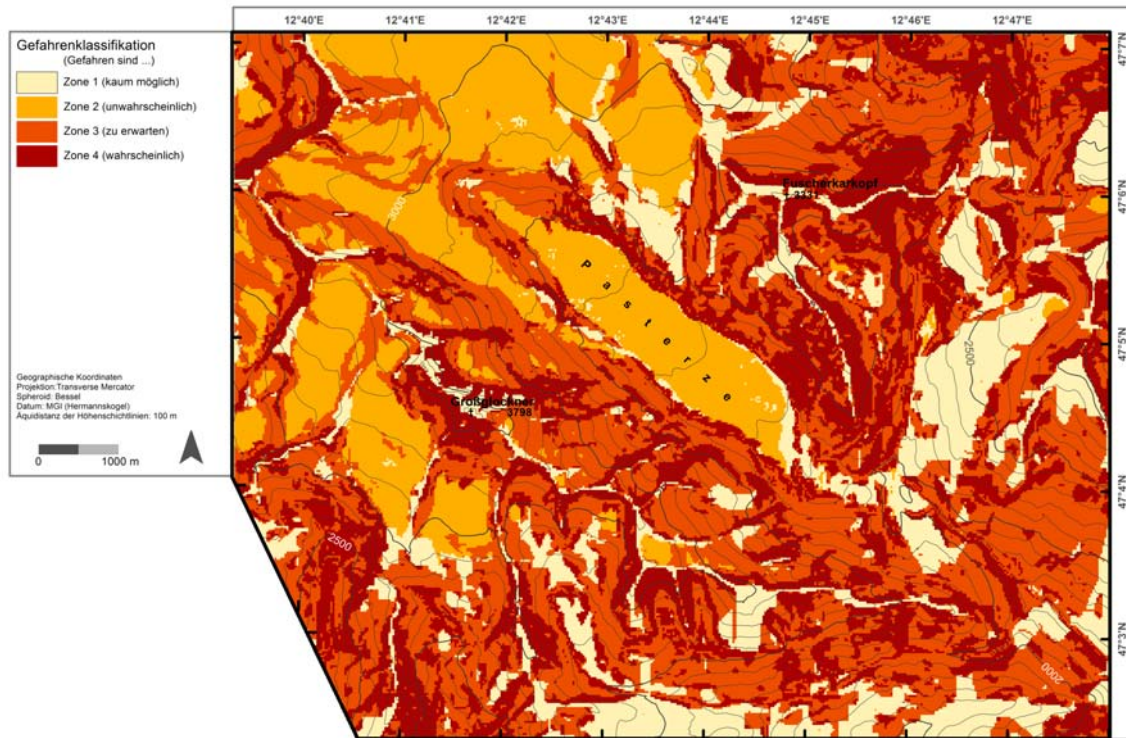


Abb. F- 15: Gefahrenhinweiskarte 2010.

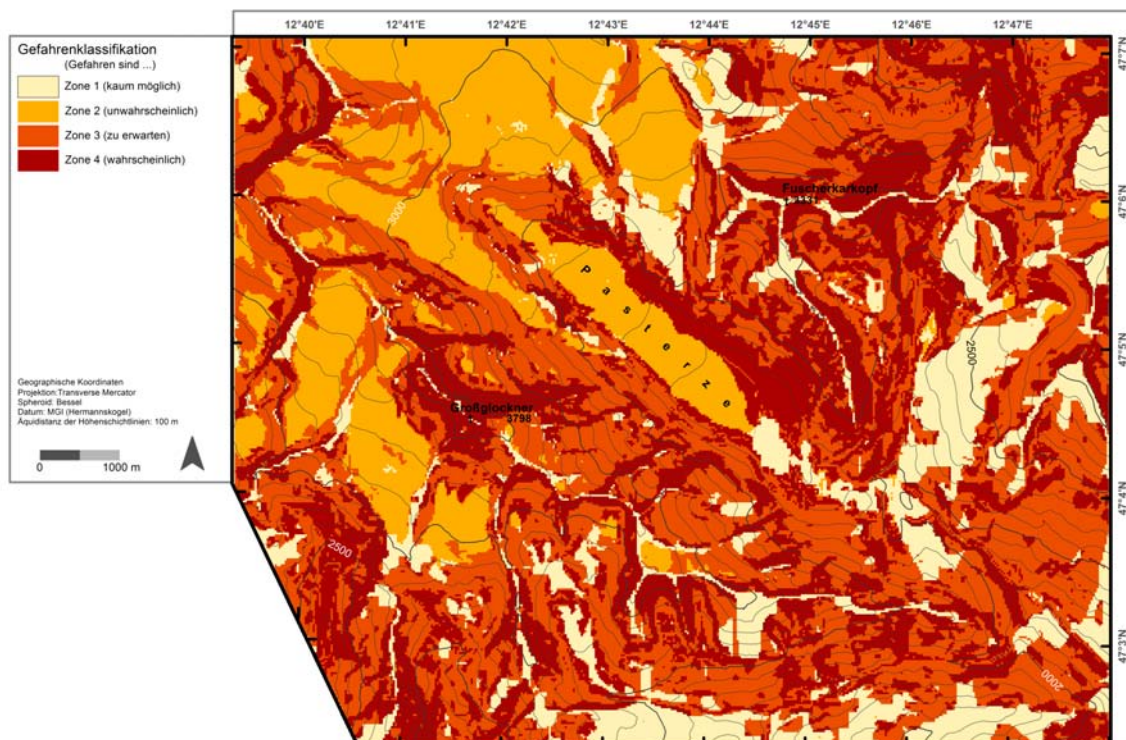


Abb. F- 16: Gefahrenhinweiskarte Szenario 2030.

F-8 Vulnerabilitätskarten

Per Definition (IUGS 1997 in Patula 2009) ist unter Vulnerabilität die Verletzbarkeit eines Objektes, d.h. der zu erwartende Schaden in Relation zu Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit eines bestimmten Ereignisses zu verstehen. Da in dieser Arbeit zwar die Intensität, aber weder die zeitliche noch die räumliche Eintretenswahrscheinlichkeit berücksichtigt wird, muss die Bewertung von Gefahren für Infrastruktur auf eine andere Art erfolgen. Aleotti und Chowdhury (1999) teilen verschiedene Möglichkeiten zu Gefahrenbeurteilungen mit. In deren Sinne beruhen unsere kartographischen Ergebnisse auf den indizierten Faktoren Hangneigung und Massenmächtigkeit. Im letzten Schritt wurde die bestehende Gefahrenbeurteilung auf potentiell gefährdete Objekte angewendet, d.h. die Karten wurden mit der vorhandenen alpentouristischen Infrastruktur überlagert und somit Vulnerabilitätskarten (Abb. F- 17 und Abb. F- 18) generiert, die erkennbar machen, welche Wegabschnitte in welcher Gefährdungsklasse liegen.

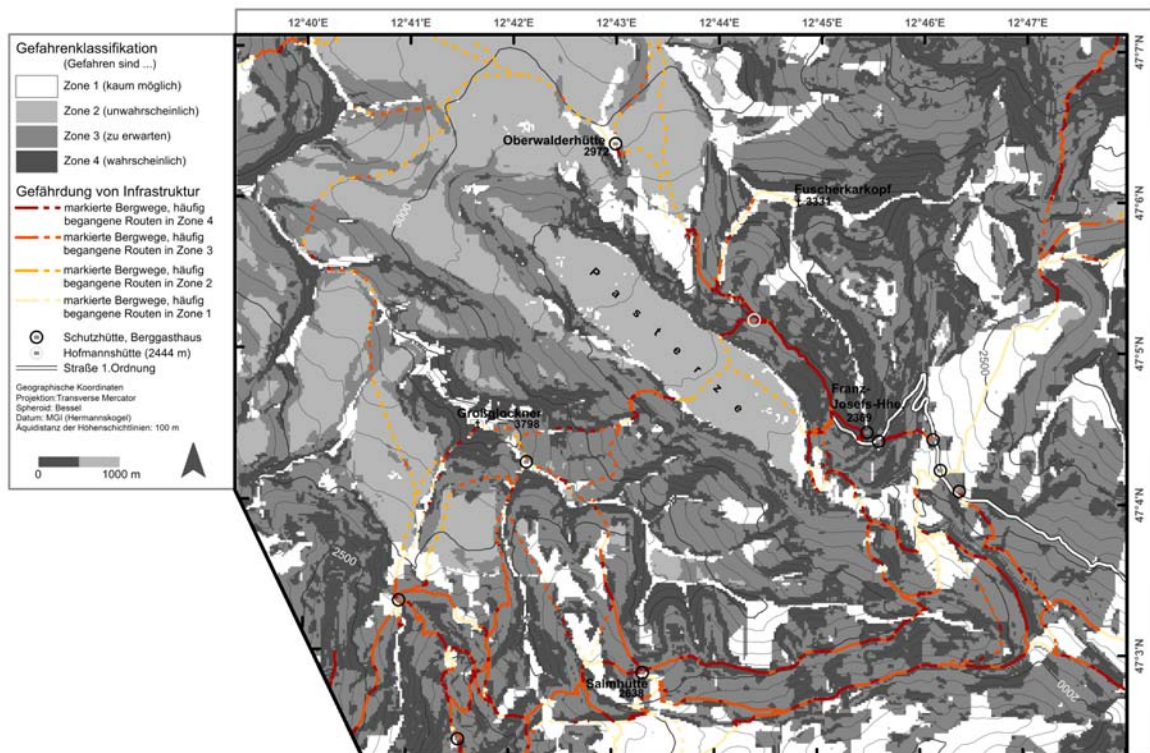


Abb. F- 17: Vulnerabilitätskarte 2010.

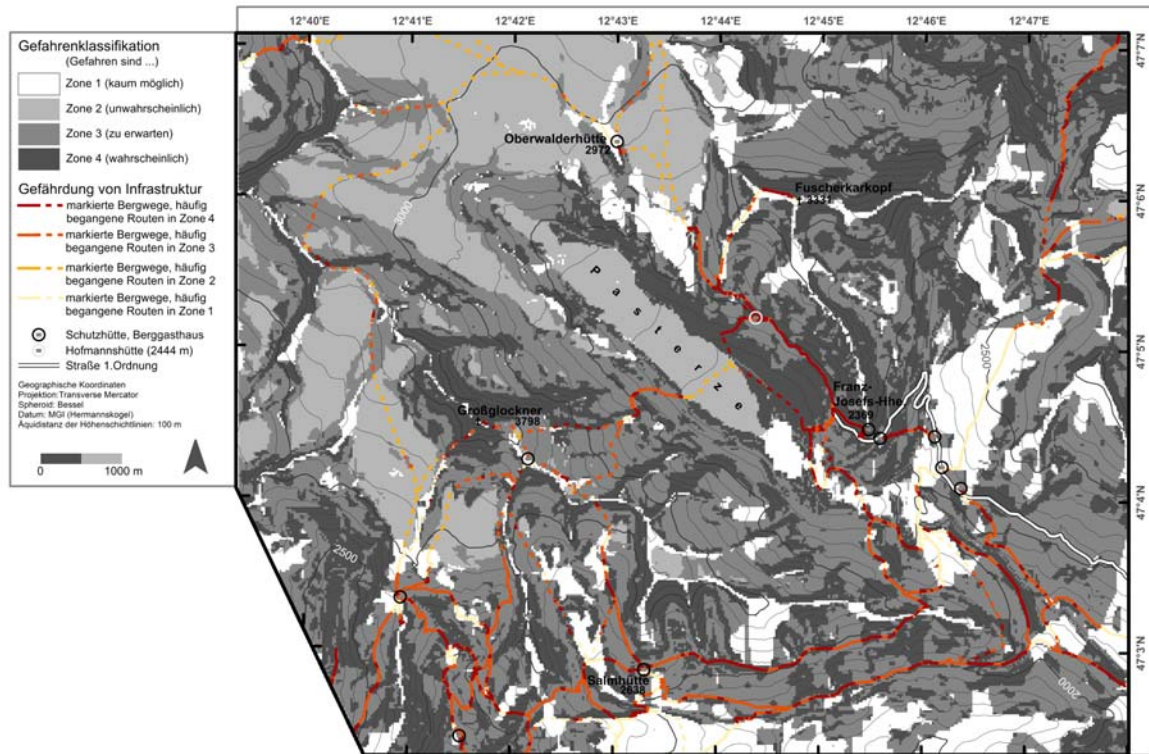


Abb. F- 18: Vulnerabilitätskarte Szenario 2030.

Statistische Auswertung in Bezug auf die Gefahrenklassifikation

Die tabellarische Auflistung der nach Gefährdungsklassen berechneten Flächenanteile macht für die Kartendarstellungen der Situation 2010 (Tab. F- 6) deutlich, dass etwa auf 2/3 der Fläche gravitative Prozesse möglich (Klasse 3) bzw. zu erwarten (Klasse 4) sind. Das restliche Drittel der Fläche teilt sich beinahe gleichmäßig auf die beiden minder gefährdeten Klassen 1 und 2 auf. Im Vergleich zu den Flächenanteilen in den Karten des Szenarios 2030 (Tab. F- 7) sind grundsätzlich nur geringe Änderungen zu bemerken, wobei der Anteil der Klasse 4 auf Kosten der beiden minder gefährdeten Klassen zunimmt. Es ist demnach insgesamt mit einem leichten Anstieg des Gefährdungspotentials zu rechnen.

Tab. F- 6: Flächenanteile der Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2010.

Gefahrenklasse	absolut [ha]	relativ [%]
1	1458	15,5
2	1625	17,3
3	3767	40,1
4	2550	27,1
Σ	9400	100

Tab. F- 7: Flächenanteile der Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2030.

Gefahrenklasse	absolut [ha]	relativ [%]
1	1333	14,2
2	1463	15,6
3	3815	40,6
4	2789	29,7
Σ	9400	100

Wenn man Anteile der Wegabschnitte (Tab. F- 8 und Tab. F- 9) an den jeweiligen Gefährdungsklassen im Untersuchungsgebiet betrachtet, so ergibt sich ein vorerst wohl unerwartetes Bild. Denn gerade die markierten Bergwege liegen zu mehr als 2/3 in den beiden gefährdeteren Bereichen, wohingegen die häufig begangenen Routen zu mehr als der Hälfte auf die beiden minder gefährdeten Bereiche zu liegen kommen (was damit begründet werden kann, dass diese zum überwiegend Teil über relativ gering geneigte Gletscherflächen führen). Der Unterschied zwischen Wegabschnittanteilen der Karten für 2010 und des Szenarios 2030 gibt natürlich die Verhältnisse der Flächenanteile wieder: die Anteile an Klasse 4 nehmen zu Ungunsten jener der Klassen 1 und 2 – mit der größeren Abnahme bei Klasse 1 – zu.

Tab. F- 8: Anteil der Weglängen an den Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2010.

Gefahrenklasse	markierte Bergwege		häufig begangene Routen		Wege und Routen gesamt	
	absolut [m]	relativ [%]	absolut [m]	relativ [%]	absolut [m]	relativ [%]
1	17939	27,0	7447	18,0	25386	23,5
2	161	0,2	16942	40,9	17103	15,9
3	30095	45,4	13178	31,8	43273	40,1
4	18151	27,4	3902	9,4	22053	20,5
Σ	66346	100	41469	100	107815	100

Tab. F- 9: Anteil der Weglängen an den Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2030.

Gefahrenklasse	markierte Bergwege		häufig begangene Routen		Wege und Routen gesamt	
	absolut [m]	relativ [%]	absolut [m]	relativ [%]	absolut [m]	relativ [%]
1	16453	24,8	6910	16,7	23259	21,6
2	173	0,3	15542	37,5	15715	14,6
3	30489	46,0	13315	32,1	43804	40,7
4	19231	29,0	5702	13,8	24933	23,1
Σ	66346	100	41469	100	107815	100

F-9 Handlungsempfehlungen

Die Vulnerabilitätskarten (Kap. F-8) können als zentrale Ergebnisse des Modellierungsteiles in AlpinRiskGP gelten, geben sie doch sowohl flächenhafte Information zur Gefährdung im Gesamtgebiet als auch lineare Information für Wege und Routen mit hohem Detaillierungsgrad. Um diese Informationen auf Plausibilität zu prüfen, d. h. die Modellierungsergebnisse zu validieren, sowie daraus Maßnahmen-Empfehlungen für die Praxis abzuleiten, wurden die Vulnerabilitätskarten im Rahmen eines Workshops mit dem Titel „Werden die Bergwege und Routen am Großglockner gefährlicher?“ am 12.10.2010 im Nationalparkzentrum BIOS in Mallnitz einer Gruppe von Expertinnen und Experten vorgelegt. Dabei waren die wichtigsten, in ihrer Arbeit mit der Gefährdung von Wegen und Routen konfrontierten Organisationen vertreten (Bergrettung – eine Person, Bergführerverein – eine Person, Hüttenwirtsleute – eine Person, alpine Vereine – 4 Personen, Nationalpark Hohe Tauern – 3 Personen). Die Vulnerabilitätskarten wurden von den Expertinnen und Experten in vielen Details geprüft und insgesamt sehr positiv bewertet: Obwohl festgestellt wurde, dass die Gefährdungsklassen lokal das real vorhandene Gefahrenpotential etwas überschätzen, wurde das Vorhandensein der Karten als wertvolle Grundlage für das Management der hochalpinen Wege und Routen begrüßt.

Aus dem Workshop, dessen genauer Ablauf samt vielen Einzelheiten durch einen Bericht im Anhang I der digitalen Version des Dokuments beschrieben ist, können die folgenden Handlungs- bzw. Maßnahmenempfehlungen abgeleitet werden:

- Für Hochgebirgsregionen kann die modellierungsbasierte **Erstellung von Vulnerabilitätskarten gemäß den Anleitungen in Kap. F-8 generell empfohlen** werden, sofern die entsprechenden Eingangsdaten vorhanden sind (was in allen österreichischen Hochgebirgsregionen im Wesentlichen der Fall sein sollte). Die Darstellungen erlauben sowohl einen schnellen regionalen Überblick als auch die exakte Lokalisierung potentieller Gefahrenstellen. Ungeachtet der Tatsache, dass das Wissen lokaler und regionaler Akteurinnen und Akteure in der Weganlage und -erhaltung natürlich auch in Zukunft unentbehrlich bleiben wird, stellen die Karten gerade für diese Gruppe von Personen ebenso wie für Tourenführerinnen und -führer eine ideale Entscheidungs- und Planungsgrundlage dar.
- Die Vulnerabilitätskarten sollen **nicht einer breiten Öffentlichkeit zugänglich** gemacht werden – alpinistische und touristische Organisationen sollten also davon absehen, die Karten in Printmedien oder im Internet zu veröffentlichen. Dies kann damit begründet werden, dass zum einen die Interpretation der Karten für „normale“ Touristinnen und Touristen schwierig ist und diese sich über Gebühr von hohen Gefahrenstufen abschrecken lassen könnten. So etwa sind viele Streckenabschnitte in der Klasse 4 längst durch „lokale Maßnahmen“ (siehe unten) gesichert und somit bei guten sommerlichen Witterungs- und Wegverhältnissen problemlos begehbar. Zum anderen können, etwa auf Grund der z. T. unsicheren Eingangsgrößen sowohl bei der Dispositions- als auch bei der Prozessmodellierung und Bewertung, die ausgewiesenen Gefahrenklassen keineswegs als unumstößliche Sachverhalte gelten, was jedoch eine Publikation an leicht zugänglicher Stelle suggerieren würde. Sehr wohl sollten die Karten jedoch den oben genannten Akteurinnen und Akteuren verfügbar sein.
- Auf der Grundlage der Vulnerabilitätskarten ist die Planung von **lokalen Maßnahmen** der Wegerhaltung erleichtert bzw. kann gezielter erfolgen. Zu diesen Maßnahmen gehören das Abräumen von Schutt und Felsblöcken aus Wänden, die Errichtung permanenter Schutzvorrichtungen, die Errichtung neuer Wegabschnitte (Umleitungen), die völlige Neuanlage von Wegen oder gegebenenfalls auch die Auflassung von Wegen und Routen. So etwa kann die Neutrassierung in bisher nicht durch Wege erschlossenem Gelände (worin somit auch keine oder

kaum Erfahrungen über das Gefahrenpotential vorliegen) mit Hilfe der Karten besser geplant werden, zumal man dabei nicht nur auf intuitive Einschätzungen angewiesen ist, sondern objektiv nachvollziehbare Quantifizierungen als Grundlage hat.

- Im **organisatorischen Bereich sollte eine Professionalisierung der Wegerhaltung und des Wegemanagements** vorangetrieben werden, was auch ein wichtiges Ergebnis der Arbeit von Braun 2009 war. Mögliche Ansätze hierfür wären eine verstärkte Kooperation der für die Wegerhaltung verantwortlichen bzw. davon profitierenden Organisationen und/oder der Aufbau eines Wege-Informationssystems, worin auch die Vulnerabilitätskarten implementiert werden könnten. Schließlich könnten auch professionelle Wegearbeiter-Teams (Bautrupps) auf regionaler Ebene eingerichtet werden, die auf Grund der Gefährdungsklassen von Wegen eine Prioritätenliste bei deren Sanierung erstellen könnten (als Vorbild hierfür könnte z. B. die „Arbeitsgemeinschaft Inneres Ötztal“ dienen, vgl. Braun 2009, 105).
- Relativ schwer in eine Handlungs-Empfehlung zu fassen, aber doch von großer Bedeutung im Gesamtkontext der alpinen Gefahren ist die **subjektive Ebene der Besucherinnen und Besucher**. Da tendenziell eine Gewährleistung höherer Sicherheitsstandards trotz gleichzeitig steigenden Gefahrenpotentials von Seiten der Touristinnen und Touristen erwartet wird, befürchten die Wege erhaltenden Organisationen zunehmend mit Haftungsfragen konfrontiert zu werden. Als Mechanismus der Gegensteuerung ist hierbei eine verstärkte Aufklärung der Besucherinnen und Besucher notwendig, welche wiederum primär über eine fundierte alpine Ausbildung erfolgen müsste. Im vorliegenden Rahmen muss freilich offen bleiben, wie die betroffenen Personen konkret erreicht und ihre Bereitschaft zur Eigenverantwortlichkeit gesteigert werden könnte.

Eine exakte Zuweisung von Handlungs- oder konkreten Maßnahmenempfehlungen zu den Gefahrenklassen erwies sich als nicht möglich. Dennoch soll an dieser Stelle der Versuch unternommen werden, die Gefahrenklassen in ihrer Wirkung auf Begeherinnen und Begeher sowie Wege erhaltende Organisationen grob zu beschreiben (Tab. F- 10).

Tab. F- 10: Wirkungen der Gefahrenklassen.

Gefahrenklasse	Prozessuale Wirkung auf Wege	Wirkung auf Personen, die die Wege begehen	Wirkung auf Wege erhaltende Organisationen
1 gefährliche Prozesse kaum möglich	Wege werden von untersuchten Prozessen nicht beeinflusst	Wege unter „normalen“ Bedingungen gefahrlos begehbar	Keine besonderen Maßnahmen erforderlich
2 gefährliche Prozesse unwahrscheinlich	Wege werden von untersuchten Prozessen kaum beeinflusst	Wege unter „normalen“ Bedingungen gefahrlos begehbar	Lokale Maßnahmen möglicherweise erforderlich
3 gefährliche Prozesse zu erwarten	Lokale Beschädigung der Wege durch untersuchte Prozesse	Verschlechterung der Begehbarkeit ist lokal zu erwarten	Lokale Maßnahmen jedenfalls und immer wieder notwendig
4 gefährliche Prozesse wahrscheinlich	Beschädigung oder Zerstörung ganzer Wegabschnitte nicht auszuschließen	längere Wegabschnitte sind schlechter oder gar nicht mehr begehbar	Aufwändige lokale Maßnahmen bis hin zur Neuanlage von Wegen notwendig

F-10 Anleitung zur Übertragung der Methodik

Prinzipiell ist die in den Kapiteln F-5 bis F-8 im Detail beschriebene Methodik direkt auf andere Untersuchungsgebiete im Hochgebirge übertragbar. Der Datenbedarf für die Modellierung ist gering und die Rechenzeiten daher vergleichsweise kurz, so dass die Modelle gegebenenfalls auch auf größere Areale wie ganze Gebirgsgruppen oder Tourismusregionen angewendet werden können. Für die Anwendung auf andere Untersuchungsgebiete sind aber folgende Punkte zu beachten:

- Alle Eingangsdaten müssen flächendeckend im Rasterformat vorhanden sein und die gleiche Anzahl von Zeilen und Spalten aufweisen.
- Um Fehlkalkulationen zu vermeiden empfiehlt sich eine Co-Registrierung der gesamten Daten zum Untersuchungsgebiet.
- Die Qualität des DHMs hat maßgebenden Einfluss auf die Modellergebnisse. Fehler bzw. Ungenauigkeiten im DHM machen sich bei der Dispositionsmodellierung sowie bei der Prozessmodellierung deutlich bemerkbar. Bei einer Auflösung von 25m x 25m sind kleinere Gerinne oder Geländestufen nur sehr schlecht aufgelöst, obwohl diese in der Realität für die gegenständlichen Prozesse eine beachtliche Rolle spielen können.
- Die geologische Karte stellt die Basis der Dispositionsmodellierung dar. Die Einteilung der geologischen Formationen in lithologische Klassen sollte sorgfältig durchgeführt werden. Viele kleinere Lockergesteinsbereiche (z. B. in situ verwittertes Festgestein) sind in der geologischen Karte nicht erfasst. Es empfiehlt sich daher, die Information aus der geologischen Karte mit Information aus Luftbildern oder Geländearbeiten zu ergänzen, denn besonders für die Entstehung von sonstigen denudativen Prozessen sind diese Bereiche nicht unerheblich.
- Die Grenzwerte der Hangneigung zur Ermittlung der Disposition sind Standardwerte aus der Literatur und müssen gegebenenfalls an die geologischen Situation im Untersuchungsgebiet angepasst werden.
- Es ist möglich das Prozessmodell auf unterschiedliche Reichweiten zu kalibrieren, um so verschiedene Szenarien zu modellieren. Mit Hilfe von bereits bekannten Sturzbahnen kann ermittelt werden, auf welche Reichweiten die Prozesse kalibriert werden sollten bzw. welche Reichweiten als maximal angesehen werden können. Zur Kalibrierung bzw. Validierung des Prozessmodells sollten diese möglichst gut über das Untersuchungsgebiet verteilt sein.
- Bei der Simulation mit dem verwendeten Prozessmodell werden Materialeigenschaften wie Dämpfungseigenschaften des Untergrundes und Hangrauigkeit nicht berücksichtigt. Die Übertragbarkeit des Modells auf Gebiete unter der Waldgrenze ist nicht geprüft und daher nicht zu empfehlen.

Eine detaillierte Anleitung zur Erstellung von Vulnerabilitätskarten nach dem Muster von AlpinRiskGP findet sich im Anhang II der digitalen Version des Berichts.

F-11 Ausblick zur Zukunft des Hochgebirgstourismus

Die Ergebnisse von AlpinRiskGP zeigen zwei Sachverhalte deutlich auf: Zum einen sind große Teile des Hochgebirgsraumes oberhalb der Waldgrenze von Naturprozessen betroffen, welche für die Besucherinnen und Besucher entweder eine unmittelbare Gefahr darstellen oder die Begehbarkeit von Wegen und Routen verschlechtern können. Zum anderen kann kein Zweifel daran bestehen, dass der in Gang befindliche Klimawandel eine klare Tendenz zu einer Verschärfung dieser Situation bewirken wird. Obwohl dem Projekt AlpinRiskGP nur ein schwaches Erwärmungsszenario für den kurzen, überschaubaren Zeitrahmen von zwei Jahrzehnten (Szenario 2030) zu Grunde gelegt wurde, ist auf dem überwiegenden Teil der sich bezüglich der Gefahrenklasse verändernden Flächen eine Erhöhung der Gefahr festzustellen, während die Herabsetzung des Gefahrenpotenzials nur punktuell vorkommt (Abb. F- 19, Tab. F- 11 und Tab. F- 12). Eine solche Verbesserung der Situation wäre im lokalen Scale längerfristig durchaus zu erwarten, denkt man z. B. an die Stabilisierung von Lockergestein durch die in größere Seehöhe vordringende Vegetation oder das Ausschmelzen von flachen Felsbereichen unterhalb von Gletscherzungen. Effekte dieser Art können jedoch mit den der Modellierung zu Grunde liegenden, stark generalisierten Annahmen nicht nachgebildet werden, ganz abgesehen davon, dass hierfür auch der betrachtete Zeitraum zu kurz sein dürfte.

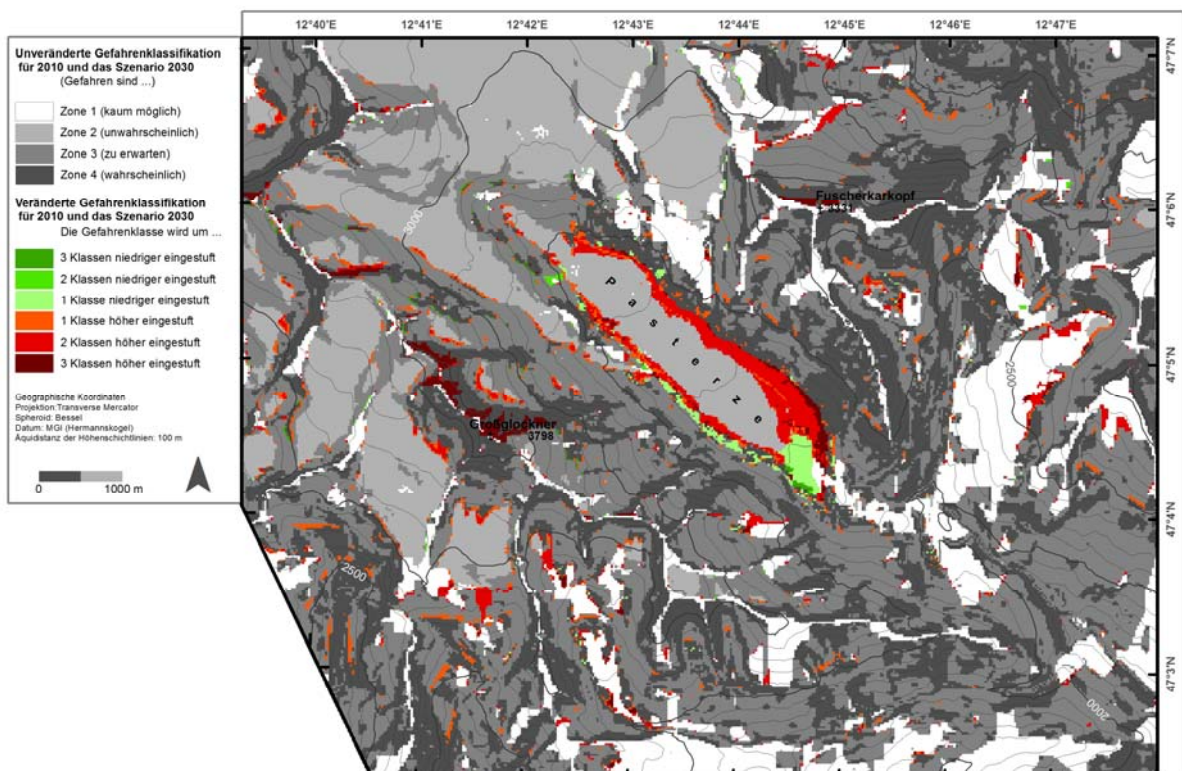


Abb. F- 19: Differenzkarte der Gefahrenstufen 2010-2030.

Tab. F- 11: Flächenanteile der Gefahrenklassen in Bezug auf die veränderte Klassifikation zwischen 2010 und 2030.

Gefahrenklasse	absolut [ha]	relativ [%]
1 (2010) bleibt 2030 unverändert	1293	13,8
2 (2010) bleibt 2030 unverändert	1460	15,5
3 (2010) bleibt 2030 unverändert	3635	38,7
4 (2010) bleibt 2030 unverändert	2504	26,6
wird um 3 Klassen niedriger eingestuft	11	0,1
wird um 2 Klassen niedriger eingestuft	9	0,1
wird um 1 Klasse niedriger eingestuft	57	0,6
wird um 1 Klasse höher eingestuft	168	1,8
wird um 2 Klassen höher eingestuft	198	2,2
wird um 3 Klassen höher eingestuft	65	0,7
Σ	9400	100,0

Tab. F- 12: Anteil der Weglängen an den Gefahrenklassen in Bezug auf die veränderte Klassifikation zwischen 2010 und 2030.

Gefahrenklasse	markierte Bergwege		häufig begang. Routen		Wege und Routen gesamt	
	absolut [m]	relativ [%]	absolut [m]	relativ [%]	absolut [m]	relativ [%]
1 (2010) bleibt 2030 unverändert	16083	24,2	6696	16,1	22779	21,1
2 (2010) bleibt 2030 unverändert	159	0,2	15477	37,3	15636	14,5
3 (2010) bleibt 2030 unverändert	28405	42,8	12652	30,5	41057	38,1
4 (2010) bleibt 2030 unverändert	16975	25,6	3617	8,7	20592	19,1
um 3 Klassen niedriger eingestuft	117	0,2	75	0,2	192	0,2
um 2 Klassen niedriger eingestuft	251	0,4	74	0,2	325	0,3
um 1 Klasse niedriger eingestuft	1064	1,6	332	0,8	1396	1,3
um 1 Klasse höher eingestuft	1447	2,2	656	1,6	2103	2,0
um 2 Klassen höher eingestuft	1025	1,5	1347	3,2	2372	2,2
um 3 Klassen höher eingestuft	820	1,2	543	1,3	1363	1,3
Σ	66346	100,0	41469	100,0	107815	100,0

Es ist jedoch festzuhalten, dass – wie mehrfach betont – die untersuchten Prozesse für das Hochgebirge zum ganz normalen Prozessinventar gehören und die von ihnen geschaffenen Geländeformen nicht nur für das Erscheinungsbild der Hochgebirgslandschaft typisch sind, sondern vielfach ihren spezifischen Reiz ausmachen (z. B. pittoreske Felssturzbereiche). Personen, die sich im Gebirge außerhalb der gesicherten Siedlungs-, Verkehrs- und Wirtschaftsflächen aufhalten, waren seit jeher mit diesen Prozessen als potenziellen Gefahren konfrontiert. So ist etwa die Geschichte des Alpinismus seit der zweiten Hälfte des 19. Jhs. parallel zum seit damals erfolgten Gletscherschwund verlaufen und hat den Bergsteigerinnen und Bergsteigern ebenso wie den hinter diesen Aktivitäten stehenden Organisationen fortwährend Adaptationsstrategien und -maßnahmen abverlangt. Die gegenwärtige Entwicklung fügt sich somit in ein Kontinuum von Veränderungen ein, die nicht nur die Naturprozesse, sondern auch die Vorlieben, Entscheidungen und Handlungen der beteiligten Menschen und sozialen Gruppen betreffen. Wenn hierbei die gegenwärtige Situation als kritisch wahrgenommen wird (Umweltdachverband 2006), so resultiert dies sowohl aus dem dynamischen Wandel

der hochalpinen Umwelt – am besten visualisiert durch den seit den 1990er Jahren beschleunigten Gletscherschwund – als auch aus veränderten Werthaltungen und Ansprüchen der Gesellschaft, speziell in Bezug auf das Freizeitverhalten, wobei u. a. die Suche nach Selbsterfahrung durch authentisches Naturerlebnis mehr Menschen als früher motiviert, das (viel leichter zugänglich gewordene) Hochgebirge zu besuchen.

Unter diesem Aspekt erscheinen die für das Untersuchungsgebiet im Rahmen der vorgenommenen Szenario-Entwicklung für 2030 modellierten Veränderungen der Gefahrenstufen als vergleichsweise moderat, erhöht sich doch etwa der Anteil der Wege und Routen in den Gefahrenklassen 3 und 4 von 2010 auf 2030 nur von 60,6 auf 63,8 % (Tab. F- 8 und Tab. F- 9). Man darf annehmen, dass die Veränderungen in den vergangenen zwei Jahrzehnten ein ähnliches Ausmaß hatten und somit durch die bewährten „lokalen Maßnahmen“ (Kap. 9) zumindest in Bezug auf das in AlpinRiskGP untersuchte Wege- und Routennetz auch in Zukunft beherrschbar sein sollten. Diese Aussage gilt insbesondere dann, wenn auf der Grundlage einer fundierten Gefahrenmodellierung wie im vorliegenden Projekt die entsprechenden Planungen verbessert sowie einige der „organisatorischen Maßnahmen“ umgesetzt werden. Wenn schließlich noch die potenziell gefährlichen Prozesse aufmerksam beobachtet (und auf der Grundlage gut dotierter Grundlagenforschung besser verstanden) werden und es auch gelingt, das Bewusstsein der Eigenverantwortlichkeit bei Besucherinnen und Besuchern besser zu verankern, dann wird das Hochgebirge auch in Zukunft eine der wichtigsten Attraktionen des österreichischen Tourismus bleiben.

Literaturverzeichnis

Aleotti, P. und Chowdhury R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 58, 21-44.

Auer, I., Böhm, R., Leymüller, M. und Schöner, W. (2002): Das Klima des Sonnblicks. *Österr. Beitr. Z. Meteorologie u. Geophysik* 28, Wien, 304 S.

Auer, I. et al. (2007): HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *Internat. Journal of Climatology* 27, 17-46.

Braun, F. (2009): Sommer-Bergtourismus im Klimawandel: Szenarien und Handlungsbedarf am Beispiel des hochalpinen Wegenetzes. Unpubl. Diss., Univ. f. Bodenkultur, Wien, 142 S.

BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft et al. (Hrsg.) (2001): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten – Empfehlungen 1997. Bern 42 S.

http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01923/01952/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCEdIJ5fmym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- (Zugriff 10/2010)

Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., Estevano, M., Zézere, J., Días de Terán, J., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J. und González, A. (1996): Debris Flow. In: Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. und Ibsen, M.L. (Hrsg.): *Landslide Recognition: Identification, Movement and Courses*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 161-180.

Christensen, O. B. und Christensen, J. H. (2004): Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global Planet Change* 44, 107–117.

Dorren, L.K.A. und Seijmonsbergen, A.C. (2003): Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. *Geomorphology* 56, 49-64.

Evans, S. G. und Clague, J. J. (1994): Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments. *Geomorphology* 10, 107–128.

Felgentreff, C. und Glade, T. (Hrsg.) (2008): *Naturrisiken und Sozialkatastrophen*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, Heidelberg, 454 S.

Fey, C. (2010): Modellierung von Steinschlag, Blockschlag und Felsstürzen auf alpinen Bergwegen – Kalibrierung und Anwendung von Sturzmodellierungsprogrammen zur sichereren Gestaltung des Hüttenzustiegweges zur Winnebachseehütte in Tirol. Unpubl. Diplomarbeit am Institut für Geographie, Universität Heidelberg, 125 S.

Frauenfelder, R., Haeberli, W., Hoelzle, M. und Maisch, M. (2001): Using relict rockglaciers in GIS-based modelling to reconstruct younger dryas permafrost distribution patterns in the Err-Julier area, Swiss Alps. *Norwegian Journal of Geography* 55/4, 195–202.

Gamma, P (2000): Dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. *Geographica Bernensia* 66, Univ. Bern, Bern, 144 S.

Gärtner, H., Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M. und Monbaron, M. (2003): Debris flow frequency derived from tree-ring analyses and geomorphic mapping, Valais, Switzerland. In: Chen, R. (Hrg): *Debris flow hazards mitigation*. Millpress, Rotterdam, 207–217.

Geitner, C. et al. (2010): Flachgründiger Abtrag auf Wiesen- und Weideflächen in den Alpen (Blaiken) – Wissensstand, Datenbasis und Forschungsbedarf. Mitteilung der Österr. Gesellschaft, 152 (in Druck).

Gobiet, A. und Truhetz, H. (2008): Klimamodelle, Klimaszenarien und ihre Bedeutung für Österreich. – In: Böhm, R., Godina, R., Nachtnebel, H.P. Pirker, O. (Hrsg.): Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Wien, 71-82.

Gruber, S., Peter, M., Hoelzle, M., Woodhatch, I. und Haerberli, W. (2003): Surface temperatures in steep alpine rock faces – a strategy for regional-scale measurement and modelling. In: Phillips, M., Springman, S. und Arenson, L. (Hrsg.): 8th International Conference on Permafrost, Zurich 2003, Proceedings, 325-330.

Gruber, S., King, L., Kohl, T., Herz, T., Haerberli, W. und Hoelzle, M. (2004): Interpretation of geothermal profiles perturbed by topography: the Alpine permafrost boreholes at Stockhorn Plateau, Switzerland. Permafrost and Periglacial Processes 15/4, 349-357.

Gruber, S. (2007): A mass-conserving fast algorithm to parameterize gravitational transport and deposition using digital elevation models. Water Resour. Res., 43, W06412. doi:10.1029/2006WR004868.

Gruner, U. (2008): Klimatische und meteorologische Einflüsse auf Sturzprozesse. INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings, Vol. 2., 147-158.

Harris, C., Arenson, L.U., Christiansen, H.H., Etzelmüller, B., Frauenfelder, R., Gruber, S., Haerberli, W., Hauck, C., Hölzle, M., Humlum, O., Isaksen, K., Käab, A., Kern-Lütschg, M.A., Lehning, M., Matsuoka, N., Murton, J.B., Nötzli, J., Phillips, M., Ross, N., Seppälä, M., Springman, S.M. und Mühl, D.V. (2009): Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses. – Earth-Science Reviews 92, 117-171.

IPCC (2007)^a: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2007)^b: Climate Change 2007: Synthesis Report. 52 S. IPCC: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (Zugriff 10/2010).

Jäger, S. (1997): Fallstudien zur Bewertung von Massenbewegungen als geomorphologische Naturgefahr. Heidelberger Geographische Arbeiten 108, 151 S.

Jomelli, V., Brunstein, D., Grancher, D. und Pech, P. (2007): Is the response of hill slope debris flows to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps). Climate Change 85, 119-137.

Keller, F. (1992): Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the Geographical Information System ARC/INFO. Permafrost and Periglacial Processes 3, 133-138.

Kellerer-Pirklbauer, A. (2001): GIS-gestützte Analyse der Murgangdisposition im Einzugsgebiet des Ennslingbaches bei Haus im Ennstal. Unpubl. Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, 156 S.

Kellerer-Pirklbauer A. und Mitglieder des PermaNET Teams (2009): Assessment of the thermal and dynamic reaction scenarios of different permafrost typologies in the European Alps: A PermaNET initiative. Geophysical Research Abstracts, 11, EGU2009-7990-1.

Leser, H. (2009): Geomorphologie. Das Geographische Seminar, Westermann, Braunschweig, 400 S.

Lieb, G.K. (1998): High-mountain permafrost in the Austrian Alps (Europe). Proceedings of the 7th International Conference on Permafrost, Yellowknife, Canada, 663-668.

Lieb, G.K. (2007): Vom Klimawandel beeinflusste Naturprozesse im Hochgebirge als potenzielle Gefahren für Freizeitaktivitäten – qualitative Überlegungen mit Beispielen aus den Hohen Tauern. Geographischer Jahresbericht aus Österreich LXII/LXIII, 79-94.

Lieb, G.K., Kellerer-Pirklbauer, A. und Avian, M. (2007): Preliminary Map of Geomorphological Hazards caused by Climate Change in the Großglockner Mountains (Austria). Geomorphology for the Future – Conference Proceedings, Innsbruck University Press, Innsbruck, 137-144.

Loye, A., Jaboyedoff, M. und Pedrazzini A. (2009): Identification of potential rockfall source areas at a regional scale using a DEM-based geomorphometric analysis. Natural Hazards and Earth System Sciences 9, 1643-1653.

Mark, R. K. und Ellen, S. D. (1995): Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard. In: Carrara, A. und Guzzetti, F. (Hrsg.): Geographical Information System in Assessing Natural Hazards 5, 93-106.

Marquinez, J., Menéndez Duarte, R., Farias, P., und Juménez Sánchez, M. (2003): Predictive GIS-based Model of Rockfall Activity in Mountain Cliffs. Natural Hazards 30, 341-360.

Meißl, G. (1998): Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem bayrischen und Tiroler Alpenraum. Selbstverlag d. Inst. für Geographie d. Univ. Innsbruck, Innsbrucker Geographische Studien 28, 249 S.

Nötzli, J., Gruber, S. und Hölzle, M. (2004): Permafrost und Felsstürze im Hitzesommer 2003. GEOForum aktuell 20, 11-14.

Patula, S. (2009): Erweiterte Gefahrenhinweiskarte und Risikohinweiskarte für Steinschlag am Beispiel des Landkreises Miesbach und Erstellung einer Georisiko-Toolbox zur Automatisierung des Workflows. Master Thesis am Zentrum für Geoinformatik, Universität Salzburg, 113 S.

Prager, C., Zangerl, C., Patzelt, G. und Brandner, R. (2008): Age distribution of fossil landslides in the Tyrol (Austria) and its surrounding areas. Natural Hazards and Earth System Sciences 8/2, 377-407.

Pröbstl, U., Damm, B., Rid, W., Mau, P., Felber, A., Swoa, M. und Pichler, I. (2009): Wahrnehmung und Bewertung von Naturgefahren als Folge von Gletscherschwund und Permafrostdegradation in Tourismusdestinationen am Beispiel des Tuxer Tals (Zillertaler Alpen/Österreich). Endbericht von StartClim2008.F in StartClim2008: Anpassung an den Klimawandel in Österreich: Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, BMWFJ, ÖBF, 51 S. <http://www.austroclim.at/startclim/>

Posch-Trözmüller, G. (2010): Hazard Mapping – Geological hazards. Literature survey regarding methods of hazard mapping and evaluation of danger by landslides and rock fall. – GBA, AdaptAlp WP 5.1, Final report, 278 S.

Amt der Kärntner Landesregierung, Zugriff 10/2010: http://www.ktn.gv.at/197395_DE-.pdf

Rickenmann, D. (1991): Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering* 117/11, 1419–1439.

Rieger, D. (1999): Bewertung der naturräumlichen Rahmenbedingungen für die Entstehung von Hangmuren. Möglichkeiten zur Modellierung des Murpotentials. *Münchner Geographische Abhandlungen* 51, 149 S.

Ruff, M. (2005): GIS-gestützte Risikoanalyse für Rutschungen und Felsstürze in den Ostalpen (Vorarlberg, Österreich). Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 148 S.

Stahr, A. und Hartmann, T. (1999): Landschaftsformen und Landschaftselemente im Hochgebirge. Springer, Berlin, Heidelberg, 398 S.

Stoffel, M. und Beniston, M. (2006): On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: a case study from the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters* 33, L16404.

Strasser, U. (2008): Die Modellierung der Gebirgsschneedecke im Nationalpark Berchtesgaden. Modelling of the mountain snow cover in the Berchtesgaden National Park, Berchtesgaden National Park Research Report 55, 184 S.

Taucher, W. (2010): Climatic conditions of six selected sites in the Hohe and Niedere Tauern Range 1961-2006. Unpubl. Diplomarbeit, Universität Graz, 156 S.

Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J. M. und Meehl, G. A. (2006): Going to the extremes: an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climate Change* 79, 185–211.

Umweltdachverband (Hrsg.) (2006): Auswirkungen der Klima- und Gletscheränderung auf den Alpinismus. *text.um* 1/06, Wien, 96 S.

Wakonigg, H. und Lieb, G. K. (1996): Die Pasterze und ihre Erforschung im Rahmen der Gletschermessungen. *Kärntner Nationalpark-Schriften* 8, Großkirchheim, 99-115.

Whalley, W. B. (1984): Rockfalls. In: Brunsden, D. und Prior, D. B. (Hrsg.): *Slope Instability*. Wiley, Chichester, 217-256.

Wichmann, V. (2006): Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet. Abgrenzung und Klassifikation der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS. Profil Verlag, München/Wien, *Eichstätter Geographische Arbeiten* 15, 231 S.

Zangerl, C., Prager C., Brandner, R., Brückl, E., Eder, S., Fellin, W., Tentschert, E., Poscher, G. und Schönlaub, H. (2008): Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen. *Geo.Alp* 5, 1-51.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) (2010): Excel-Tabellen mit Bohrlochmessdaten. Persönliche Korrespondenz (Juni, 2010).

Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O. und Hunziker, G. (1997): Murgangefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. Zürich, vdf, Hochsch.-Verlag an der ETH, 161 S.

Zimmermann, M. und Haeberli, W. (1992): Climatic Change and Debris Flow Activity in High-Mountain Areas - A Case Study in the Swiss Alps, Catena Suppl. 22, 59–72.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. F- 1:	Grunddisposition, variable Disposition und auslösende Ereignisse.....	8
Abb. F- 2:	Gleitende 5-jahres Temperaturmittel (Gauss Filter) für sechs ausgewählte Messgebiete, bezogen auf 2500m Seehöhe 1961-2006 (Taucher 2010).....	9
Abb. F- 3:	Vorläufige geomorphologische Gefahrenhinweiskarte des Gebietes Großglockner-Pasterze (Lieb et al. 2007).....	10
Abb. F- 4:	Impressionen unterschiedlicher geomorphologischer Prozessbereiche im Untersuchungsgebiet Großglockner-Pasterze.....	11
Abb. F- 5:	Felsstürze als potenzielle Naturgefahren – ein kleines Ereignis am 1.8.2009 oberhalb des Dösener Blockgletschers (Ankogelgruppe, Hohe Tauern) (Foto: T. Marke).....	12
Abb. F- 6:	Beispiel einer aufwändigen Wegsanierung durch Einbau einer Hangbrücke nach flächenhaftem Abgleiten des ursprünglichen Hanges auf Grund dessen Unterschneidung durch das im Vordergrund sichtbare Gerinne (Ridnauntal, Stubai Alpen) (Foto: G. K. Lieb, 15.7.2010).....	14
Abb. F- 7:	Eingangsdaten für die Dispositionsmodellierung: A (Geologische Karte), B (Alpenvereinskarte), C (Digitales Geländemodell), D (Permafrostmodell), E (Vegetationsklassifikation), F (Orthophotos).....	19
Abb. F- 8:	Flussdiagramm zur Bestimmung der Sturzdisposition an der Auslösungsstelle.....	21
Abb. F- 9:	Flussdiagramm zur Bestimmung der Disposition der sonstigen denudativen Prozesse an der Auslösungsstelle.....	23
Abb. F- 10:	Die Ablagerung wird gesteuert durch Depositionslimit (A), Input (B) sowie Hangneigungslimit (C). Erläuterungen im Text. Nach Gruber (2007), verändert.....	29
Abb. F- 11:	Ausbreitungsmodellierung für sonstige denudative Prozesse 2010.....	30
Abb. F- 12:	Ausbreitungsmodellierung für sonstige denudative Prozesse im Szenario 2030.....	30
Abb. F- 13:	Ausbreitungsmodellierung für Sturzprozesse 2010.....	31
Abb. F- 14:	Ausbreitungsmodellierung für Sturzprozesse im Szenario 2030.....	31
Abb. F- 15:	Gefahrenhinweiskarte 2010.....	34
Abb. F- 16:	Gefahrenhinweiskarte Szenario 2030.....	34
Abb. F- 17:	Vulnerabilitätskarte 2010.....	35
Abb. F- 18:	Vulnerabilitätskarte Szenario 2030.....	36
Abb. F- 19:	Differenzkarte der Gefahrenstufen 2010-2030.....	41

Tabellen

Tab. F- 1:	Methoden zur Erstellung von Dispositionsmodellen für regionale Modellierungen (verändert nach Meißl 1998 und Wichmann 2006).	18
Tab. F- 2:	Durchschnittlicher und angenommener zukünftiger Längenrückgang der Pasterze, des Wasserfallwinkel- und des Freiwandkeeses.	25
Tab. F- 3:	Durchschnittliche und angenommene zukünftige Einsinkraten sowie Breitenrückgang der Pasterze.....	25
Tab. F- 4:	Beurteilung der Intensität nach verschiedenen Prozessen.	33
Tab. F- 5:	Bewertung der Intensität (Frequenz/Magnitude) von Prozessen an den von ihnen betroffenen Flächen.	33
Tab. F- 6:	Flächenanteile der Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2010.	36
Tab. F- 7:	Flächenanteile der Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2030.	37
Tab. F- 8:	Anteil der Weglängen an den Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2010.	37
Tab. F- 9:	Anteil der Weglängen an den Gefahrenklassen in den klassifizierten Karten 2030.	37
Tab. F- 10:	Wirkungen der Gefahrenklassen.....	39
Tab. F- 11:	Flächenanteile der Gefahrenklassen in Bezug auf die veränderte Klassifikation zwischen 2010 und 2030.	42
Tab. F- 12:	Anteil der Weglängen an den Gefahrenklassen in Bezug auf die veränderte Klassifikation zwischen 2010 und 2030.	42

