

Birgit Schwabe, Silke Hertel, Thorsten Peters und Michael Richter

Auswirkungen natürlicher Störungen auf die Pflanzendiversität im Reintal/Wettersteingebirge

mit 8 Abbildungen, 1 Tabelle und 6 Fotos

1 Einleitung

Die besondere Faszination, die von Hochgebirgen und somit auch vom Reintal im Wettersteingebirge ausgeht, wird maßgeblich von ihrer landschaftlichen Vielfalt bestimmt. Entscheidende Vorgaben hierfür liefert die hochvariable Oberflächen-gestalt, die als Träger aller weiteren abiotischen und biotischen Faktoren die enge Kammerung und das Nebeneinander verschiedenster Ökotope auf kleinem Raum bestimmt.

Den übergeordneten Parameter der Vielfalt bildet zunächst der Höhengradient, der vom vertikalen Klimawandel (Temperatur, Niederschlag, Schneedeckendauer, Strahlung usw.) vorgegeben wird und eine mehr oder weniger gleitende Höhenstufung der Vegetation sowie einzelner Bodenmerkmale steuert. In außertropischen Gebirgen wie den Alpen erfolgen die Übergänge innerhalb von relativ engen Grensräumen, den Ökotonen, während sich die dazwischen liegenden eigentlichen Höhenstufen als Kernzonen betrachten lassen (REISIGL/KELLER 1994; RICHTER 2001; VEIT 2002). Umfassende Höhendistanzen mit mehreren Kernzonen und Ökotonen bedingen folglich gegenüber dem Flachland per se eine erhebliche Steigerung der Artenvielfalt.

Hinzu kommen hochgebirgsspezifische Formungsprozesse, die auf die Versteilung sowie allgemein auf eine lebhaftere Reliefenergie zwischen glazial übertieften Taltrögen und den Nunatakkern als höchsten Erhebungen zurückgehen. Hierzu zählen in erster Linie rasch verlaufende Massenbewegungsprozesse wie Stein-schlag, Fels- und Bergstürze, Lawinen und Muren. Indem es sich überwiegend um linienhafte Vorgänge handelt, zerschneiden die entsprechenden Vorgänge die weitgehend horizontal angeordneten Höhenstufen und sorgen hier für Sonderstandorte mit speziellen Ökosystemen. Hierbei handelt es sich durchweg um Habitate, die von vorübergehenden Pflanzengemeinschaften mit verschiedenen Pionier- und Sukzessionsstadien geprägt werden. Diese als Störungsregime bezeichneten Ökosysteme erheblicher Dynamik bzw. reduzierter Konstanz weisen zudem verschiedene räumliche Strukturen auf, je nachdem, ob die Störungsprozesse randlich oder zentral, eng umgrenzt oder weiträumig wirksam werden. Als Folge

kommt es zur Ausbildung eines komplexen Mosaiks von Pflanzengemeinschaften, die in verschiedenen langen Zyklen wechseln (REMMERT 1992) und deren angepasste (Pionier-) Arten zur Steigerung der Artenvielfalt beitragen.

Um diesen Aspekt der störungsbedingten Vielfalt an Gefäßpflanzen geht es in der vorliegenden Arbeit, für den sich das Untersuchungsgebiet infolge seiner extremen Steilheit mit der resultierenden hochgebirgstypischen Morphodynamik hervorragend eignet. Hinzu kommt, dass die häufig auftretenden Massenverlagerungsprozesse im Reintal im Rahmen eines multidisziplinären Forschungsprojekts (SEDAG) intensiv untersucht und bestens dokumentiert sind, so dass für die Fragestellung eine hervorragende Grundlage vorliegt (SCHROTT et al. 2002; HANKAMMER 2002; HOFFMANN/SCHROTT 2002; POPPEL 2003; KRAUTBLATTER 2004; KOCH 2004; HECKMANN 2006; MORCHE et al. 2006; WICHMANN 2006).

2 Arbeitsgebiet und naturräumliche Voraussetzungen

Südwestlich von Garmisch-Partenkirchen bildet das Reintal das rund 3 km breite Haupttal des Wettersteinmassivs und erstreckt sich oberhalb von knapp 1000 m ü.M. über 11 km von Osten nach Westen, wo es in der Zugspitze bei 2962 m ü.M. kulminiert (Abbildung 1). Indem die Gipfflur am Nordrand des Tales von 2000 m auf über 2900 m ü.M. und am Südrand von 2500 m auf über 2700 m ü.M. ansteigt, der Talgrund aber 1100 m bis 1500 Höhenmeter tiefer liegt, ergibt sich zumindest für die unteren zwei Drittel des Tales eine extreme Versteilung seiner Flanken. In diesem Bereich hat sich die Partnach infolge rückwärtsschreitender Erosion tief eingeschnitten, was durch mehrere Gefällsprünge mit kaskadenförmiger Klambildung dokumentiert wird. Auslöser für die beträchtliche Übertiefung, die in der weiteren Umgebung einzigartig ist, sind neben strukturell-tektonischen Vorgängen die beträchtlichen Niederschläge im Untersuchungsgebiet, die von Garmisch-Partenkirchen mit rund 1350 mm/a auf knapp 2000 mm/a auf der Zugspitze ansteigen.

Das obere Drittel des Reintals unterscheidet sich von dem V-förmig eingeschnittenen mittleren und unteren Abschnitt durch einen vergleichsweise breiteren und flacheren Talgrund in Form einer Raxlandschaft (UHLIG 1954; Abbildung 2a), dem Zugspitzplatt, das keinerlei rezente fluviale Überformung aufweist. Vielmehr entspringt die Partnach unterhalb des Gefällsprungs zwischen dem steilen Kerb- und dem flacheren Hochtal mit einer beachtlichen Karstquelle („Partnach-Ursprung“), d.h. dort, wo die hinterste Stufe der rückwärtsschreitenden Flusseintiefung den tieferen jungen vom höheren alten Talboden trennt. Felsleisten bzw. -terrassen, die von dort aus an den Steilhängen des V-Tals entlang wie in den meisten Alpentälern als Fragmente alter Talböden gegen den Talausgang ziehen, fehlen hier infolge einer sehr starken eiszeitlichen Glazialdenudation, die zusätzlich zur Übertiefung des Reintals beigetragen hat.

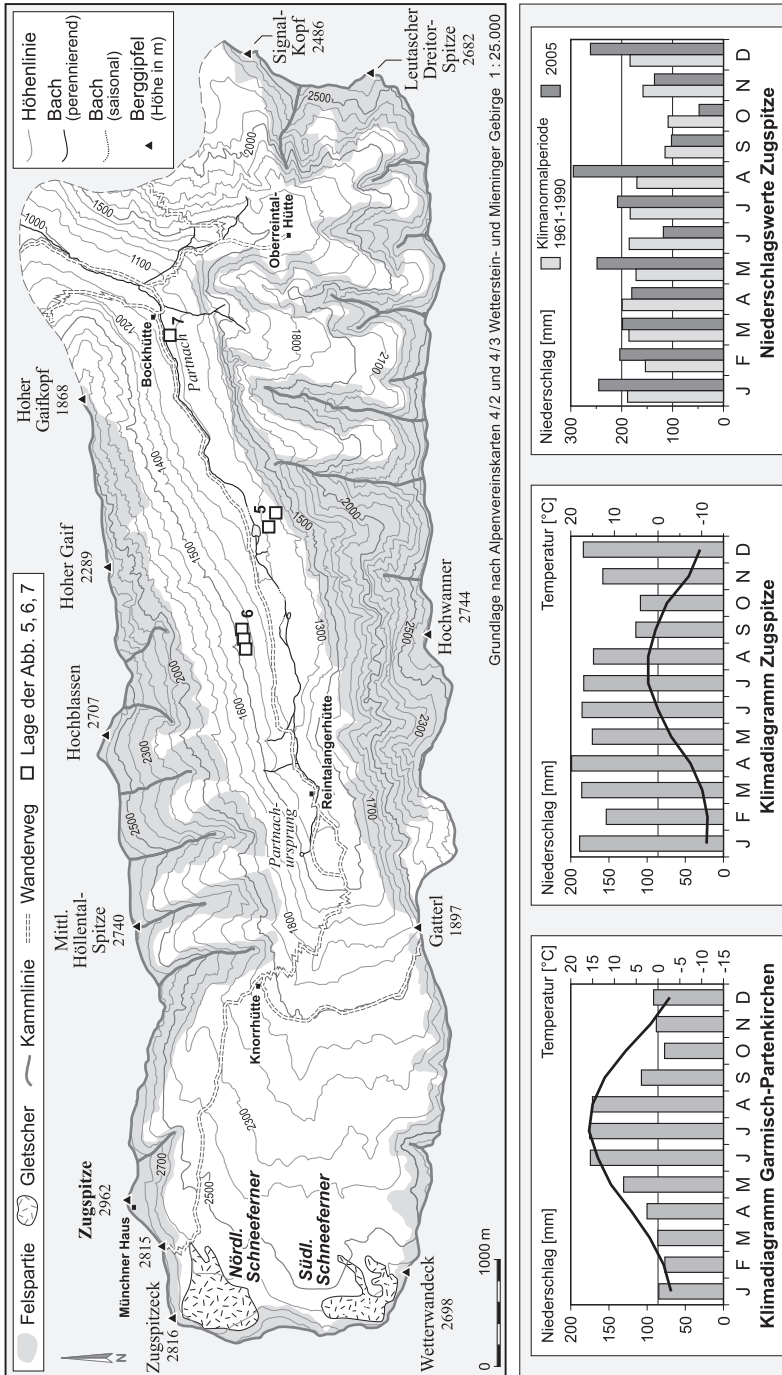


Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes sowie Klimadiagramme von Garmisch-Partenkirchen (719 m ü.M.) und der Zugspitze (2962 m ü.M.) sowie vom regenreichen Jahr 2005 mit verheerenden Starkregeneignissen im August

Indem die nord- und süd-exponierten Hänge fast ausschließlich aus Wettersteinkalk bestehen und somit homogenes Ausgangsgestein vorliegt, erklären sich die geomorphologischen Prozesse weitgehend aus den beschriebenen Reliefenergie-Unterschieden. So wird das Hochtal von Rundhöckerfluren, Dolinen und Endmoränen inmitten von Verwitterungsschutt-Auflagen geprägt (HIRTLREITER 1992), d.h. Formen, die im mittleren und unteren Reintal kaum vertreten sind bzw. fehlen. Dort treten stattdessen vermehrt Hangschutt-Halden und -Kegel, Fels- und Bergsturzmassen sowie Alluvialflächen auf, während die Steilhänge von senkrechten Denudationsterrassen und von zahlreichen Hängetälchen bzw. Hochkaren gekennzeichnet sind, die über Steilstufen in das Haupttal einmünden (KOCH 2004).

Für die Fragestellung der Arbeit ist diese Unterteilung insofern entscheidend, als aus den steilen Talhängen häufige Massenbewegungsprozesse für jene Störungen verantwortlich sind, denen ein erheblicher Teil der Ökosysteme im Talgrundbereich und seinen Flanken ausgesetzt ist (Abbildung 2b). Hierzu gehören nicht nur trockene Massenselbstbewegungen mit Steinschlägen und Felsstürzen, sondern auch Lawinen und Murgänge. Letztere wiederum bilden rasch verlaufende Denudationsprozesse mit Transportmedien, die das abgehende Material weiter in den Talgrund verlagern und dort indirekt zu rezenten Akkumulationen in flacheren Gefällsabschnitten entlang der Partnach führen. Stellenweise belaufen sich hier die Sedimentauffüllungen hinter stauenden Bergsturzhalden auf bis zu 130m Mächtigkeit (SCHROTT et al. 2003, MORCHE et al. 2006). Darüber hinaus sorgen Hochfluten nach außergewöhnlichen Starkregen wie z.B. im August 2005 (siehe Klimadiagramm unten rechts in Abbildung 1) für weitgreifende Uferunterschneidungen und partielle Lauf-Verlagerungen der Partnach (MORCHE et al. 2007), von denen die anrainende Vegetation ebenfalls betroffen wird. Im Gegensatz dazu spielen rasch verlaufende Verlagerungsprozesse im oberen Talbereich eine wesentlich geringere und Hochwasserfluten überhaupt keine Rolle, so dass dieser Abschnitt für die Fragestellung irrelevant ist (und demzufolge in Abbildung 2b ausgespart bleibt).

Während die thermischen und hygrischen Höhengradienten sowie die lokalen Berg-Tal- und Hangwindssysteme dem üblichen Rahmen außertropischer Hochgebirge entsprechen, bilden mehrtägige Staulagen und verstärkte sommerliche Gewitteraktivitäten ein Merkmal, das in den meisten Alpenregionen seltener auftritt und für die gesteigerte Massenbewegung mitverantwortlich ist (KRAUTBLATTER 2004). Die beträchtlichen Schneefälle in der kalten Jahreszeit führen zusammen mit dem Steilrelief in dem Ost-West verlaufenden Tal zu einer weiteren Anomalie: Hier sorgt die außergewöhnliche Horizontabschirmung an den Nordhängen für eine zusätzliche Verzögerung der ohnehin verspäteten Ausaperung im Tal-

Abb. 2: Karte des geomorphologischen Formenschatzes (a) sowie der maßgeblichen Störungsregime (b) im unteren und mittleren Abschnitt des Reintales

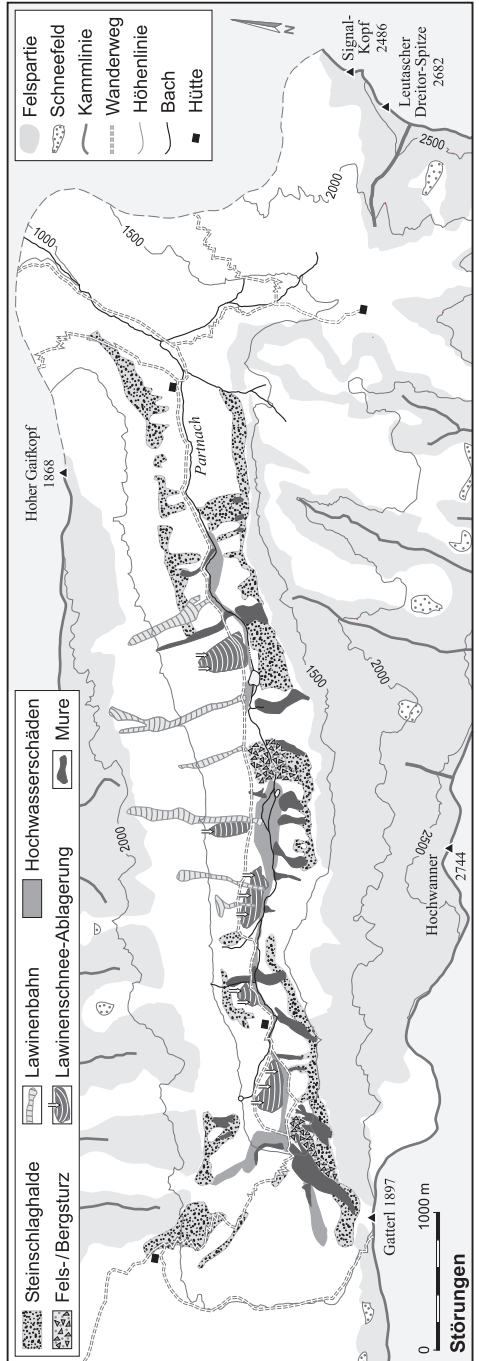
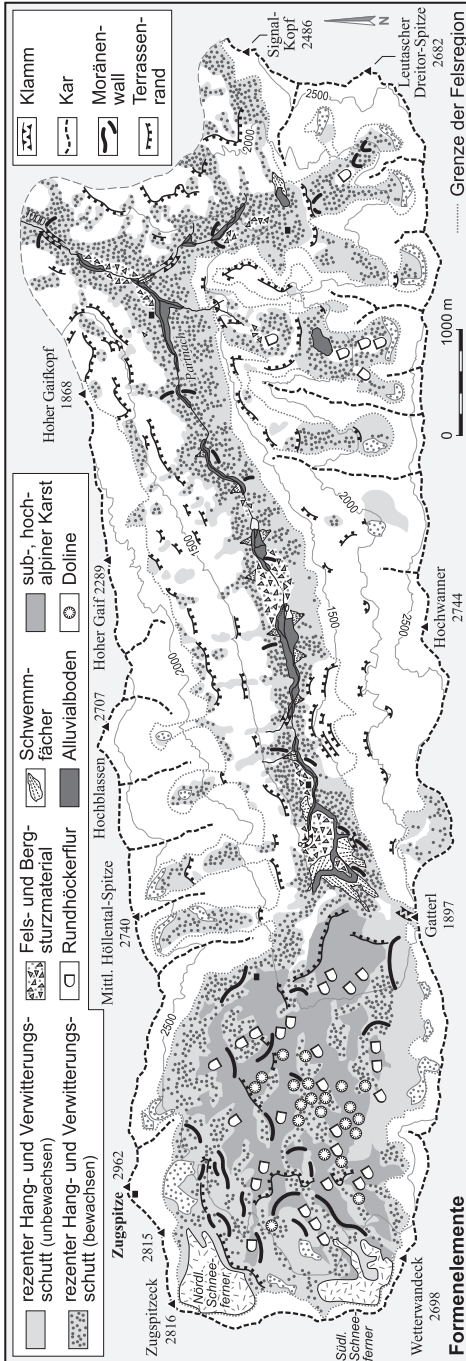
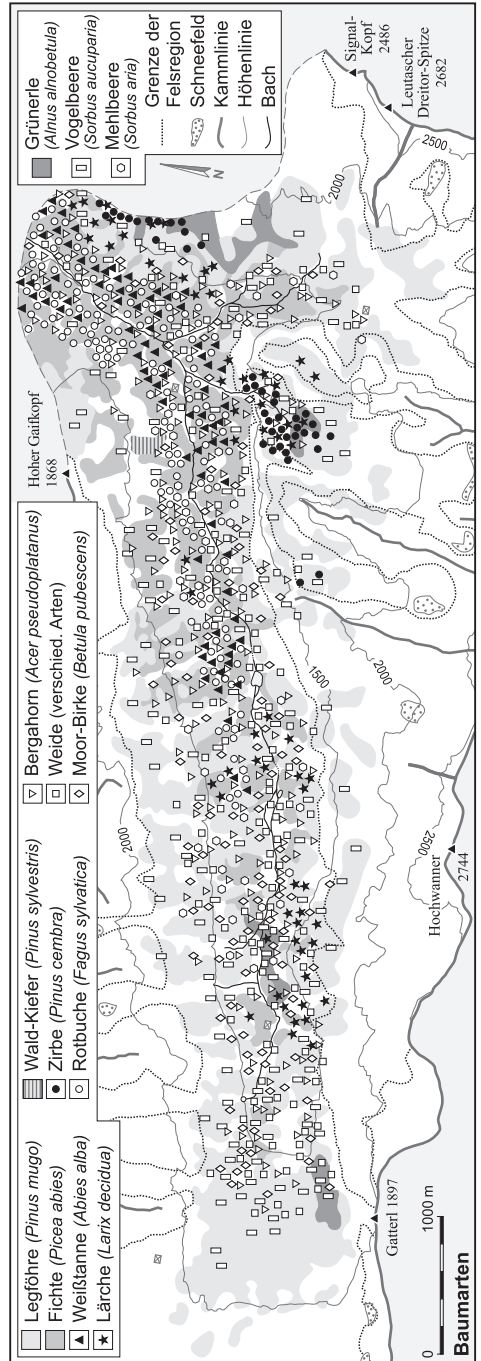
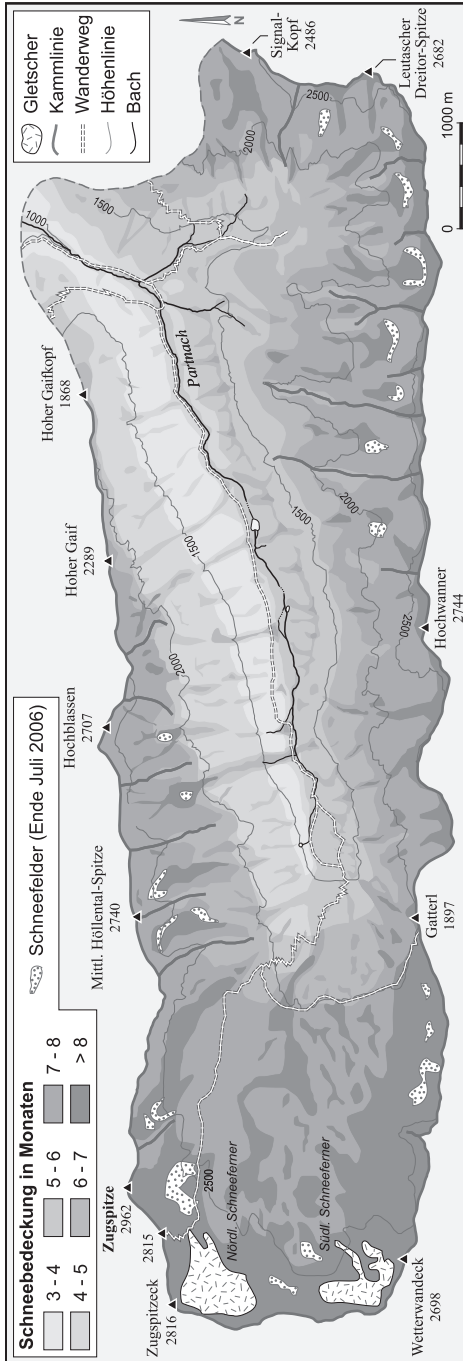




Foto 1: Blick vom Schachen in das Reintal am 30.5.2008 (Blickrichtung E-W). Während der Südhang ausgeapert ist, befinden sich am Nordhang selbst im Talgrund noch Schneefelder (Aufnahme: Michael Richter 2008)

grundbereich, während an den Südhängen eine verstärkte Lawinen-Tätigkeit zu verzeichnen ist. Abbildung 3a verdeutlicht diesen Kontrast mit spät ausapernden, überwiegend flächigen Schneeresten auf der Schattenseite, während der früher ausapernde Sonnenhang vermehrt von langen Lawinenbahnen durchzogen wird. Die Schneebedeckung im Winterhalbjahr 2005/06 belegt naturgemäß für die Höhenlagen, ferner auch für einige Mulden in Karlagen und auf dem Zugspitzplatt Schneefelder, die mehr als acht Monate überdauern. Demgegenüber apert die tiefen Lagen am Südhang bereits nach drei bis vier Monaten aus, während im gleichen Höhenbereich die Nordhänge jenseits der Partnach erst nach fünf bis sechs Monaten schneefrei sind (vgl. auch die Schrägluftaufnahme in Foto 1). Das abgebildete Muster, das sich aus den niveaurorientierten Einschneeverhältnissen im Spätherbst und frühen Winter sowie aus den relieforientierten Ausaperungsverhältnissen im Spätwinter und Frühjahr (bis Frühsommer) ergibt, wiederholt

Abb. 3: Schneedeckenandauer im Winterhalbjahr 2005/06 (a) und Baumarten-Verteilung (b) im Reintal



sich in groben Zügen alljährlich. Interannuäre Unterschiede beschränken sich eher auf die Schneedeckenandauer, so dass die Vegetation sich stärker an dem Muster als an dem Zeitverlauf orientiert.

Auf die Verteilung der Wald- und Baumbestände wirkt sich dieses Phänomen in einer deutlichen Zerschneidung aus, die selbst auf einer relativ kleinmaßstäbigen Karte wie in Abbildung 3b noch zum Ausdruck kommt. Hier reichen die Wälder bzw. Krummholz-Bestände auf den südexponierten Hängen zwar höher hinauf als am Gegenhang, jedoch fällt zugleich deren Fragmentierung aufgrund der linienhaften Zerschneidung durch Lawinen und Murgänge auf. Dies betrifft insbesondere die Fichtenwälder, die auf den steinschlag- und felssturz-gefährdeten sowie spät ausapernden Nordhängen deutlich spärlicher ausgeprägt sind, wo zudem Rotbuchen und Weißtannen weitgehend fehlen. Demgegenüber treten hier vermehrt Lärchen und erstaunlicherweise auch Zirben auf, deren Verbreitungsgebiet sich ansonsten weitgehend auf die deutlich kontinentaleren Zentralalpen beschränkt. Auch die Grünerlen-Vorkommen konzentrieren sich eher auf die schneereichen Schattenlagen und sind hier offensichtlich den Legföhren als weiteren Krummholzbildnern überlegen. Insgesamt belegt aber eine deutlich höhere Baumdichte an den Südhängen deren klimatische Begünstigung.

Die pflanzensoziologischen Erhebungen (vgl. HERTEL 2008) verdeutlichen mit 28 verschiedenen Assoziationen, die in Abbildung 4 aus Platzgründen zu elf Gesellschaften verschiedener Rangstufen zusammengestellt sind, eine ausgeprägte Vegetationsdifferenzierung. Einmal mehr fällt auf, dass die Gesellschaften des fichtenreichen Buchenwaldes im östlichen, weniger überschatteten Talbereich noch auf allen Expositionen auftreten, sich aber weiter talaufwärts auf die Sonnenhänge beschränken. Unter den Kiefern-Gesellschaften dominiert bei weitem das Karbonat-Alpenrosen-Latschengebüsch, während das Rostblättrige-Alpenrosen-Latschengebüsch als azidophile Assoziation sowie der nur an einer kleinen sonnigen Stelle im unteren Talabschnitt vertretene Schneeheide-Kiefernwald deutlich zurücktreten. Ähnlich sporadisch kommen Weiden-Gebüsche entlang des Oberlaufs der Partnach und Grünerlen-Krummhölzer in schattigen und schneereichen Lagen vor. Unter den Rasen-Gesellschaften dominieren bei Weitem drei verschiedene Seggenrasen-Assoziationen mit reichem Blaugras-Besatz, während sich Rau gras-Gesellschaften auf die Südhänge oberhalb der Wälder und windresistente Nacktriedrasen auf die höchsten Kammlagen konzentrieren. Die weitflächigen Felspartien werden von meist sehr schütterten Fingerkrautfluren, Schweizer-Mannsschild- und Blasenfarne-Gesellschaften geprägt. Zu den wichtigsten Schutthalden-Gemeinschaften zählen subalpine Rupprechtsfarne-Gesellschaften in schattigen Lagen des Talgrundes, Alpen-Pestwurz-Fluren auf sonnigeren Schutthalden sowie alpine Täschelkraut-Fluren auf dem sehr locker bewachsenen Verwitterungsschutt in den Hochkaren und auf dem Zugspitzplatt, wo in Muldenlagen Krautweiden-Schneetälchen hinzukommen. Abbildung 4 erlaubt nur einen oberflächlichen Einblick in das enge Vegetationsmosaik, das erste Hinweise für eine beachtliche Vielfalt an Gefäßpflanzen im Untersuchungsgebiet liefert.

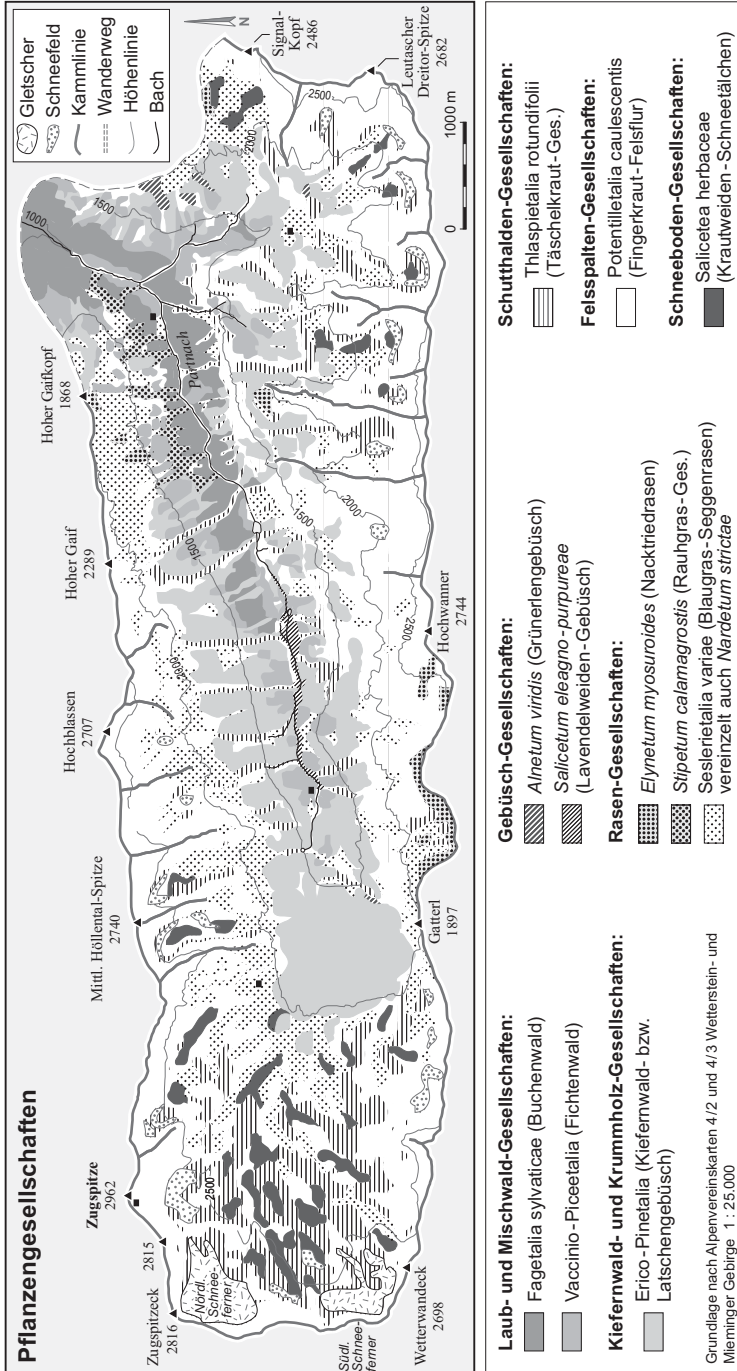


Abb. 4: Verteilung der wichtigsten Pflanzengesellschaften im Reintal. Die auf Klassen- und Ordnungsebene zusammengeordneten Gemeinschaften bestehen tatsächlich aus mehreren Assoziationen, die hier aufgrund ihrer kleinflächigen Verbreitung nicht darstellbar sind. So setzen sich z.B. die *Erico-Pinetalia* weitgehend aus *Gesellschaften der Pinion mugo* zusammen, während eigentliche Kiefernwälder mit *Pinus sylvestris* nur kleinflächig auftreten

3 Störungsbedingte Artenvielfalt

In dynamischen Ökosystemen wird das Überleben bzw. das Pflanzenwachstum oftmals von äußeren Stresseinwirkungen, natürlichen und anthropogenen Störungen sowie Konkurrenzdruck beeinflusst (DICKINSON & MURPHY 1998). Stress stellt in diesem Zusammenhang für die betroffenen Arten eine Belastung dar, die allerdings nicht zwangsläufig tödlich ist (LARCHER 1984), wohingegen Störungen im Allgemeinen zur vorübergehenden Reduktion von Biomasse führen. Eine mögliche Definition des Begriffes stammt von WHITE/PICKET (1985), die von BÖHMER/RICHTER (1997: 627) wie folgt ins Deutsche übersetzt wurde: „Eine Störung ist jedes relativ diskrete Ereignis in der Zeit, welches die momentane Struktur von Ökosystemen, Organismengemeinschaften oder Populationen aufbricht und Ressourcen, Substratverfügbarkeit oder die physikalische Umgebung verändert.“

Folglich wird eine Störung als diskretes Ereignis mit einem Anfang und Ende aufgefasst und durch die Kombination einer bestimmten Ursache mit einer resultierenden Wirkung abgegrenzt. Prozesse, die über lange Zeiträume wirken und eine Abruptheit vermissen lassen oder die Biomasse und abiotischen Voraussetzungen nicht zerstören, unterliegen nicht diesem Störungskonzept. Der eigentliche Störungsvorgang dauert häufig nur Sekunden oder Minuten und ist oft kaum direkt messbar. So ist beispielsweise ein Lawinenkegel das Ergebnis eines Lawinenabgangs, dem eigentlichen Prozess. Messbar ist aber nicht der eigentliche Störungsvorgang, sondern die resultierende Veränderung, das heißt die Differenz vor und nach dem Störungsereignis. Störungsregime werden von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst und müssen im Zusammenhang mit der daraus spezifisch resultierenden Landschaft betrachtet werden. Diese besteht sowohl aus räumlichen als auch zeitlichen Komponenten, zu welchen unter anderem das Relief, der Boden, die Florengeschichte, das Klima und die Interaktionen mit biologischen Vorgängen zu zählen sind.

Ziel der Arbeit ist die Erfassung von typischen Störungsereignissen in einem steilen Hochgebirgstal mit Hilfe von Vegetationserhebungen und die Ermittlung der Auswirkungen auf die Biodiversität des Raumes. Hierbei handelt es sich vornehmlich um Störungsregime, die Hochgebirgen eigen sind und dem Flachland weitgehend fehlen, nämlich Prozesse rasch verlaufender Massenbewegungen mit und ohne Transportagenz, also Sturzereignisse, Lawinen, Muren und Schwallfluten mit hoher Geröllfracht.

3.1 Erfassungsmethoden der Diversität der Gefäßpflanzenarten

Die Datenerhebung erfolgte während der Vegetationsperiode 2005. Basis für die Auswahl der Flächen sind geomorphologische Untersuchungen von HANKAMMER (2002) und POPPEL (2003), welche die geomorphologisch aktivsten Bereiche im Untersuchungsgebiet ausweisen. Zur Erfassung der Gefäßpflanzenvielfalt wurden

insgesamt 100 Flächen eingehend untersucht (vgl. SCHWABE 2006). Die Datenerhebung erfolgte mittels Artenaufnahmen auf 10x10m großen Flächen, so dass gleich bleibende Flächengrößen eine vergleichende Betrachtung der Diversitätsverhältnisse erlauben. Neben einer artengenauen Aufstellung aller am Standort wachsenden Gefäßpflanzen wurde mit Hilfe von Strukturskizzen die räumliche Verteilung der Arten und Lebensformen dokumentiert.

Bei der Untersuchung von ökologischen Fragestellungen sucht man häufig nach charakteristischen Mustern in den Datensätzen. Treten Muster nicht zufällig auf, sondern zeigen sie eine gewisse Regelmäßigkeit, so kann man davon ausgehen, dass sie unter ähnlichen Bedingungen entstanden sind (NENTWIG et al. 2004). Dieses Vorgehen stellt die Hauptkomponente der Arbeit dar. Über die Anordnung der Vegetationsmuster und deren Vergleich können Rückschlüsse auf die Störungsregime gezogen sowie Übergänge erfasst werden. Natürliche Grenzen sind eher unscharf, da sie in erster Linie durch bodenbedingte Veränderungen oder durch Gradienten des Mikroklimas verursacht werden. Scharfe Grenzen entstehen in natürlichen Ökosystemen durch standörtliche Diskontinuitäten wie Gesteinswechsel, können aber auch durch Störungen ausgelöst werden.

Grenzbereiche fanden in der Forschung bisher nur wenig Beachtung. Es liegt offenbar meist viel näher, die innere Struktur von Ökosystemen zu erforschen als deren Übergangszonen und Ränder. Jedoch kann anhand folgender Kriterien ein Raum auch über seine Grenzbereiche charakterisiert werden (NENTWIG et al. 2004):

- Dichte, Länge und Form der Grenzlinien;
- räumliche Entfernung zwischen den Grenzbereichen;
- Verbindungsgrad bzw. Isoliertheit der Grenzbereiche;
- flächenmäßige Erstreckung der Grenzbereiche;
- innere Strukturierung der Grenzbereiche;
- für den Naturraum charakteristische Grenztypen (Standortentsprechung).

Um die Übergänge bzw. Grenzbereiche zwischen gestörten und ungestörten Bereichen zu erfassen und die Muster zu visualisieren, wurden die Strukturskizzen aller Plots ausgewertet. Diese Grenzen zu erkennen ist aufgrund der obigen Kriterien möglich.

Die Vegetationsentwicklung nach Auftreten einer Störung erfolgt meist rasch, da oft eine umfangreiche Samenbank im Umfeld und im Boden selbst vorhanden ist (BÖHMER/RICHTER 1997). Unter entsprechenden Bedingungen läuft die Sukzession überwiegend (aber keinesfalls immer!) nach einem typischen Schema ab. Solch eine für unser gemäßigtes Klima typische Sukzessionsfolge kann wie folgt aussehen:

- Im Allgemeinen siedeln sich rasch Pionierarten im gestörten Habitat an. Oft benötigen die Samen annueller Kräuter ungefiltertes Licht zum Keimen. Frühe Sukzessionspflanzen sind häufig unbeständig, haben jedoch eine hohe Wachstums- und Photosyntheserate. Meist können sie gegen die Konkurrenz später auftretender Arten nicht bestehen.

- Im Gegensatz zu den Pionier-Annuellen können Samen vieler der späteren Sukzessionsarten im Schatten keimen und auch bei niedrigen Lichtintensitäten weiter wachsen. Holzarten lassen sich wiederum in frühzeitige und späte Abfolgeklassen einteilen.
- Viele Sträucher und Bäume der frühen Sukzessionsphase haben ein mehrschichtiges Blattwerk und eine effiziente Samenverbreitung. Letzteres ermöglicht ihnen, binnen kurzem neue Flächen zu besiedeln. Üblicherweise setzt die Fortpflanzung früh ein, und sie können bald wieder Nachkommen auf neuen Siedlungsflächen hinterlassen.
- Im Gegensatz dazu besitzen Bäume der späten Sukzession häufig nur eine Blattschicht und sind im dichten Kronenraum der späten Sukzession effizienter. Die späten Siedler besitzen generell größere Samen, haben lange Juvenilphasen und ihre Ausbreitungsfähigkeit ist geringer.

Methodisch beschreibt die Sukzessionsforschung zwei sich ergänzende Wege. Beim Erfassen von Sukzessionen haben sich hauptsächlich bei den Botanikern direkte Ansätze stärker durchgesetzt. Hierbei werden auf einer konkreten Fläche begrenzte räumliche Einheiten festgelegt, die Entwicklung der Vegetation im Laufe der Zeit beobachtet und in regelmäßigen zeitlichen Abständen erfasst (*Biomonitoring*). Derartige Dauerbeobachtungen auf *permanent plots* liefern umfangreiche Daten über die Populationsdynamik im Verlauf von Vegetationsveränderungen (SCHULZE et al. (Hg.) 2002). Im Rahmen von kurzzeitigen Projekten mit vorgegebenen Ergebnisterminen lässt sich dieser Aufwand allerdings nicht leisten.

Die ältere und in den Geowissenschaften weiter verbreitete Methode beruht dagegen auf einem indirekten Vorgehen. Hierbei beruht das Prinzip darauf, aus dem räumlichen Nebeneinander von Vegetationseinheiten auf deren chronologisches Nacheinander zu schließen (*location for time* bzw. unechte Zeitreihe, RICHTER 1997). Dieser in der vorliegenden Arbeit verwendete Ansatz eines Vergleichs der Ähnlichkeiten der Aufnahmeflächen lässt eine Verallgemeinerung der Einzelaussagen zu. Wegen fehlender bzw. unzureichender Daten zu den einzelnen Störungsereignissen lassen sich allerdings keine quantitativen Aussagen treffen. Die Untersuchungsergebnisse sind somit zwar nur als exemplarisch anzusehen, jedoch werden Trends klar ersichtlich.

3.2 Die Störungsregime des Reintals

Die im Sommer 2005 für das Reintal erstellte Karte von Störungsregimen (Abbildung 2b) zeigt eine Vielzahl sich gleichender Muster, die stets auf eine ähnliche Störungsdynamik zurückzuführen sind. Nur in wenigen Fällen handelt es sich dabei um „endogene“ Ereignisse, die sich weitgehend auf Lücken in Wäldern der montanen Stufe beschränken. Sie hängen ursächlich mit dem altersbedingten Absterben älterer Waldbäume zusammen und zeichnen sich durch eine rasche Ansiedlung Licht liebender Arten aus. Vor allem zu Beginn der Sukzession sorgen

sie für Lichtungen mit einer erhöhten Phytodiversität innerhalb des geschlossenen, eher artenarmen Bestandes und für eine partielle Verjüngung des Waldes.

Diesem altersbedingten Vorgang stehen verschiedene „exogene“ Störungen gegenüber, zu denen etwa Schädlingsbefall (z.B. Borkenkäfer-Plage), Dürren oder auch Sturmwurf zählen. Von solchen Prozessen bleibt zwar auch das Reintal nicht restlos verschont, jedoch belasten hier Massenverlagerungen die Ökosysteme in viel stärkerem Maße, so dass das Tal im besten Sinne einer von HEWITT (2006) für Hochgebirge bezeichnenden „*disturbance regime landscape*“ entspricht. Obwohl auch hier die große Reliefenergie des Gebiets die wichtigste Voraussetzung für gravitative Prozesse bildet, sind die Ereignisse dennoch in den meisten Fällen an bestimmte Wetterereignisse gebunden.

So ist aus raumzeitlicher Sicht Lawinentätigkeit an den Südhängen stärker vertreten, da hier die vermehrte Sonneneinstrahlung zu häufigeren Abgängen in der zweiten Hälfte der kalten Jahreszeit führt als an den Nordhängen. Dort kommt es hingegen, wenn auch in saisonaler Hinsicht weniger fixiert, zu Steinschlägen und deutlich seltener zu Felsstürzen, die neben der Übersteilung dieser Talseite auf eine länger andauernde Kluftwasserspeicherung gegenüber der Sonnenseite zurückgehen dürfte. Dem geomorphologischen Sedimentkaskaden-Modell entsprechend (CHORLEY/KENNEDY 1971; SCHROTT et al. 2003) wird dann das am Felsfuß in Schuttkegeln abgelagerte Material infolge sommerlicher Starkregenerereignisse durch Murgänge weiter hangabwärts transportiert, wie es besonders eindrucksvoll im August 2005 der Fall war (MORCHE/LAUTE 2009). Im Talgrund angelangt, vollzieht sich der weitere Materialtransport über die Partnach, in deren Verlauf es zu erneuten Sedimentverlagerungen und -speicherung kommt, wie beispielsweise mit der schubweise erfolgenden Auffüllung der Vorderen Gumpe (syn. Blaue Gumpe) belegt wurde (MORCHE et al. 2006).

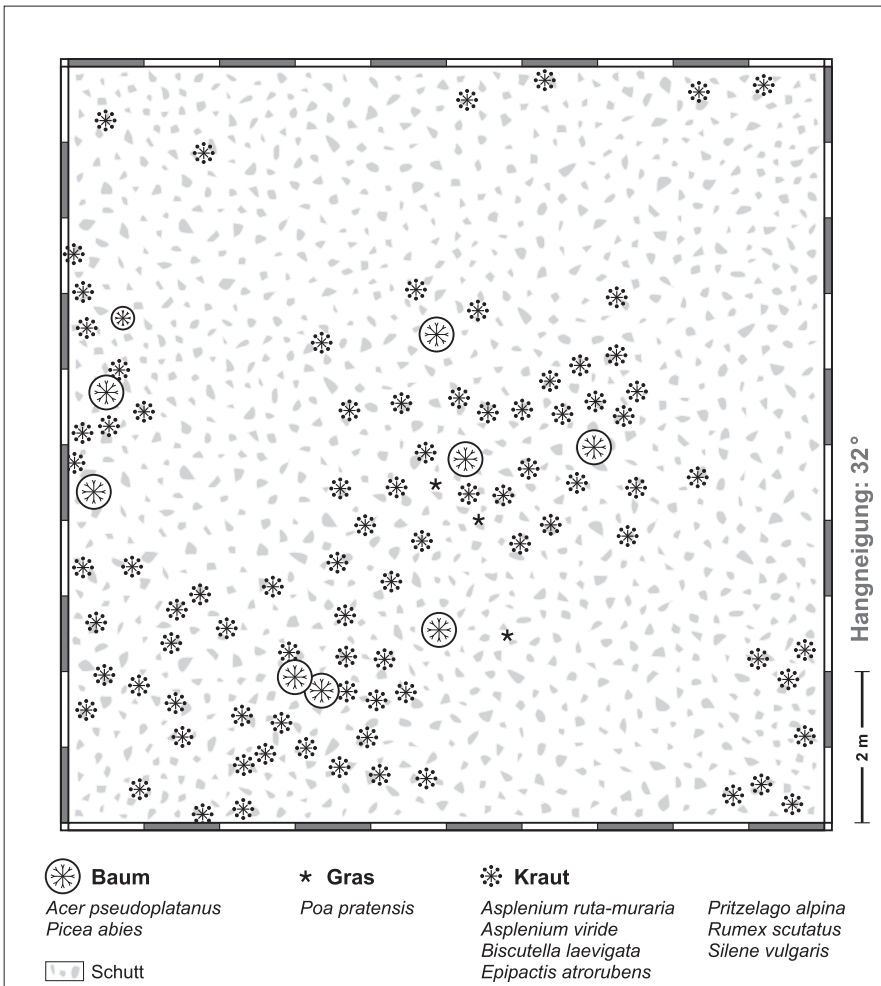
Diesem Kaskadensystem von Schutthalde mit Muren auf der einen und Lawinen auf der anderen Hangseite sowie dem Überschwemmungsbereich im Hauptgerinne werden im Folgenden drei Fallbeispiele der jeweils verschieden strukturierten Störungs-Ökosysteme angeschlossen. Dabei ergibt sich, dass erhebliche floristische Unterschiede zwischen den Vegetationsaufnahmen bestehen. Zwar treten innerhalb eines Standorttypus oftmals die gleichen Gefäßpflanzen auf, die Artenverteilung unterscheidet sich jedoch durchaus beträchtlich. Auf eine detaillierte Darstellung muss hier jedoch aus Platzgründen sowohl bei der Artenauflistung aller 100 Beispiele wie auch in den Abbildungen verzichtet werden, da sich beispielsweise Inventare von bis zu 63 Gefäßpflanzenarten auf einer 10 x 10 m-Fläche bildlich nicht wiedergeben lassen.

3.2.1 Aktive Schutthalde als Störungsökosysteme und ihre Überformung durch Muren

Die im Reintal verbreiteten Kalkschutthalde bestehen aufgrund kurzer Transportwege des einkommenden Materials überwiegend aus eckigen, grobklastischen

Sturzsedimenten und nehmen unterhalb der Steilstufen der Nordhänge ausgedehnte Flächen ein. Eine Vegetationsentwicklung bleibt vor allem am Haldenkopf weitgehend aus, solange Material aus den Wänden nachgeliefert wird. Aktive Kalkschutthalden werden gelegentlich von Muren überformt, die dann im Sinne von KRAUTBLATTER/DIKAU (2007) zu einer sekundären Verlagerung der Sedimente führen (Foto 2). Rezent sind die Halden in einigen Partien nicht mehr aktiv und die

Abb. 5: Aufnahmen auf einer Kalkschutthalde. Die Fläche auf der linken Seite zeigt eine lichte Pflanzenbedeckung unterhalb des häufig von Steinschlag betroffenen Haldenkopfes, in denen neben wenigen Kräutern nur vereinzelt junge Bäumchen aufkommen. Im Bild auf der rechten Seite haben sich hingegen am Haldenfuß neben zahlreichen Kräutern und einigen älteren Bäumen bereits (Zwerg-) Sträucher etabliert



Sukzession hat bereits ein fortgeschrittenes Stadium erreicht. Von den insgesamt acht erfolgten Vegetationsaufnahmen auf Kalkschutthalden wird in Abbildung 5 ein frühes sowie ein späteres Sukzessionsstadium vorgestellt.

Solange die Halden noch aktiv sind, siedeln sich nur wenige Spezialisten an, die durch verschiedenartige Strategien an den von Steinschlägen betroffenen und sekundär über Spüleereignisse weiter bewegten Untergrund angepasst sind. Sie werden von Arten mehrerer Gesellschaften der *Thlaspietalia rotundifolii* gestellt, also der subalpinen bis alpinen Kalkschuttfuren im weiteren Sinne, wobei neben dem namensgebenden rundblättrigen Täschelkraut weitere krautige Schuttkriecher und -wanderer auftreten. Sobald die Haldenaktivität abnimmt, etablieren sich

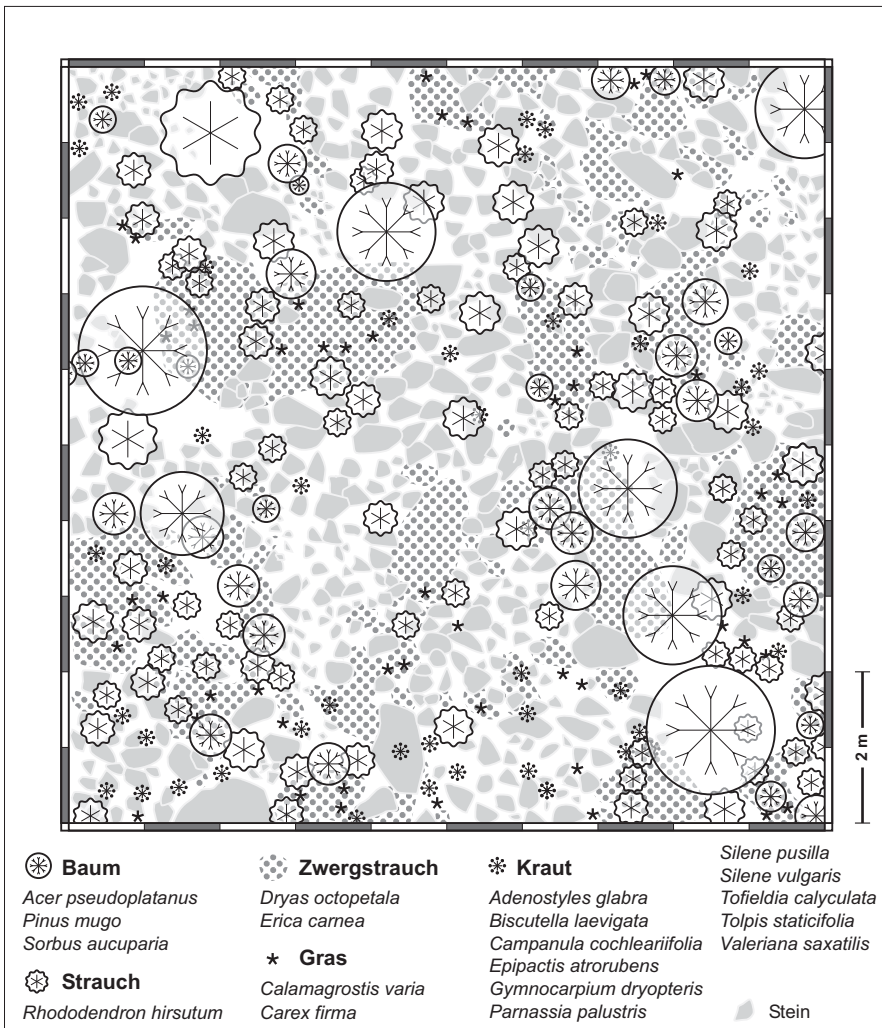




Foto 2: Aktive Kalkschutthalde am Fuß des steilen Nordabhanges im Reintal mit überprägendem Murenabgang in Folge des August-Unwetters 2005. Dasselbe Ereignis verursachte außerdem eine Unterschneidung des Haldenfußes, von wo aus in der Folgezeit Erosionsrinnen und Spülrillen die Schutthalde rückwärts schreitend zerschneiden (Aufnahme: Michael Richter 2009)



Foto 3: Lawinar am Südabhang, in dessen unterem Abschnitt die Pflanzenerfassungen in Abbildung 6 erfolgten (Aufnahme: Michael Richter 2008)

Arten der *Seslerietalia varia*. Das namensgebende Blaugras sowie weitere Gräser und Seggen stabilisieren durch ihr Wurzelwerk den Untergrund. Im Schutz dieser Rasengesellschaften siedeln sich Spaliersträucher wie die Silberwurz an (*Dryas octopetala*). Es kommt nun zu Feinboden- und Humusakkumulationen, die den folgenden Zwergstrauch- und Krummholzgesellschaften mit Alpenrosen (*Rhododendron hirsutum*) und Legföhren (*Pinus mugo*) den Weg bereiten. Stellvertretend für diese Entwicklung stehen die Vegetationsaufnahmen in Abbildung 5.

Im Laufe der Sukzession erhöht sich zwar die Artenzahl zunächst, schwankt dann jedoch in den einzelnen Besiedlungsphasen in Abhängigkeit vom Mikrorrelief erheblich. Denn die Neigung und Oberfläche der Halden ist in den wenigsten Fällen homogen ausgebildet, sondern oftmals von flachen Dämmen oder Wülsten und seichten Mulden oder Rinnen durchsetzt, die die Überformung durch Muren belegen. Steilere Partien erschweren die Ansiedlung von Pflanzen, da sich während eines Starkregenereignisses immer wieder Schutt sowie Feinmaterial aus dem Verband lösen und die Sukzession zurückwerfen. Erst im Schutz von Legföhren und Alpenrosen erfahren weitere Haldenbesiedler eine höhere Sicherheit vor Steinschlag und Schuttverlagerung. Somit treten auf kleinem Raum erhebliche Unterschiede in der Vegetationsentwicklung und damit auch in der Artenzahl sowie im Bedeckungsgrad auf, so dass die lokale Formungsaktivität auf der Halde als entscheidender Bestimmungsfaktor für die jeweilige Artenvielfalt zu erachten ist.

Im Vergleich der verschiedenen Störungsregime erweisen sich Felssturzmassen und Steinschlaghalden als relativ artenarme Standorttypen, während bei den feinerreicheren Muren die Schwankungsbreite je nach Intensität und Umfang der Störung etwas stärker variiert, da im Gegensatz zu den reinen Sturzereignissen bereits eine partielle Verlagerung von Samenbanken erfolgt.

3.2.2 Überformende Lawinen als Störungsregime

Abbildung 1 sowie Foto 1 verdeutlichen die Asymmetrie zwischen dem steileren Nord- und dem etwas flacheren Südhang des unteren und mittleren Reintals, was einen entscheidenden Unterschied in der winterlichen Schneeakkumulation und damit in der Lawinentätigkeit erklärt: Im ersten Fall kann sich Schnee kaum an den Steilwänden halten und zu größeren Massen aufbauen, während sich im zweiten wesentlich mächtigere Schneedecken entwickeln. Abgänge von feinem Neuschnee durch Staublawinen können während winterlicher Schönwetterlagen großflächige Schnee-Akkumulationen in Talgrundnähe verursachen, die in Abbildung 2b als breite Lawinenschnee-Ablagerungen ersichtlich sind. Demgegenüber füllen Nassschneelawinen bei Regenfällen im Spätwinter und Frühjahr zahlreiche langegezogene Lawinare auf, die sich deutlich als Schneisen durch den mit Wald bzw. Latschen bestandenen Hang abheben. Von den insgesamt 31 Aufnahmen an Lawinenbahnen wird hier ein Fallbeispiel aus einer solchen oberhalb der Lokalität „Hintere Gumpe“ vorgestellt, wo bei einem mittleren Neigungswinkel von etwa 30° alljährlich Abgänge über treppenförmige Stufen zu verzeichnen sind (Foto 3).

Der unterschiedlichen mechanischen Belastung vom Anriss-Gebiet über die Fallstrecke bis hinunter in den Akkumulationsbereich entsprechend gliedert sich die Vegetation der Lawenbahnen in verschiedene Höhenbereiche, die zusätzlich von innen nach außen differenziert werden muss. Die Artenvielfalt in diesem komplexen Gefüge von Ökotonen bzw. Ökotonen lässt sich an dieser Stelle nur auszugsweise mit Hilfe eines Querprofils darstellen (Abbildung 6).

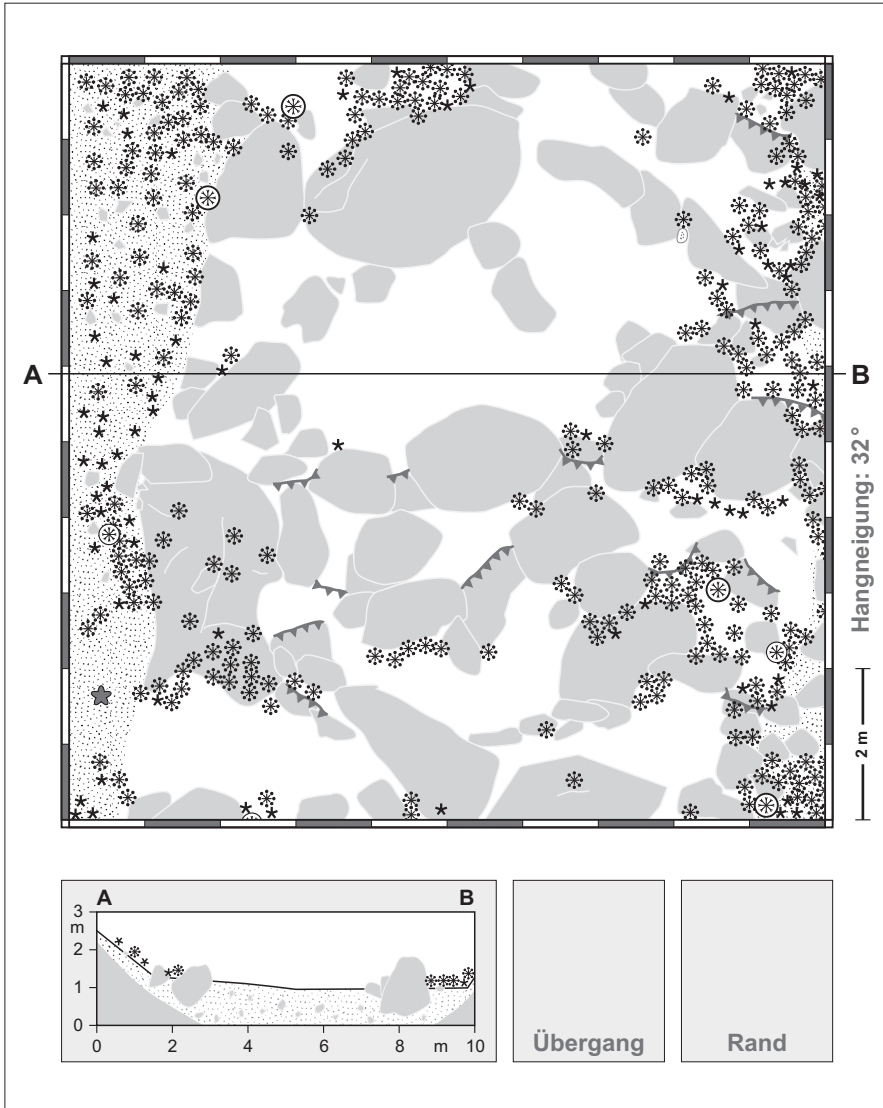
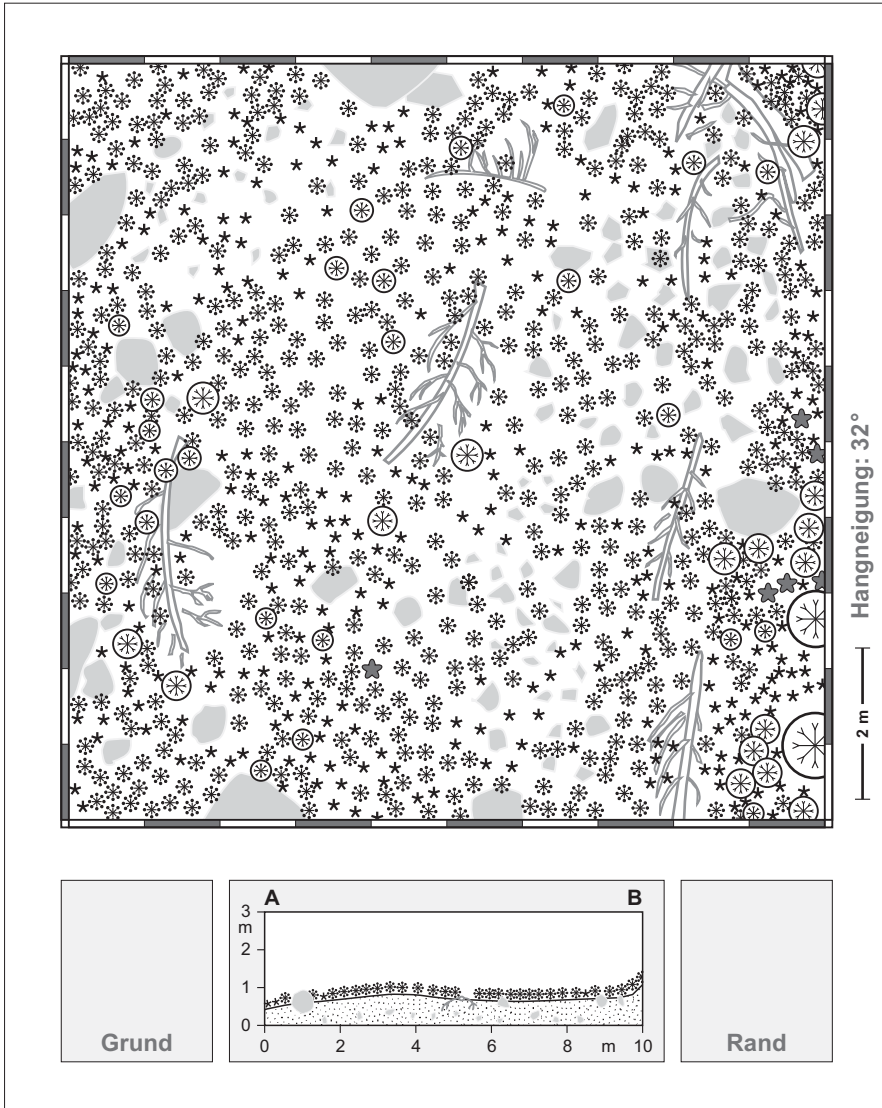
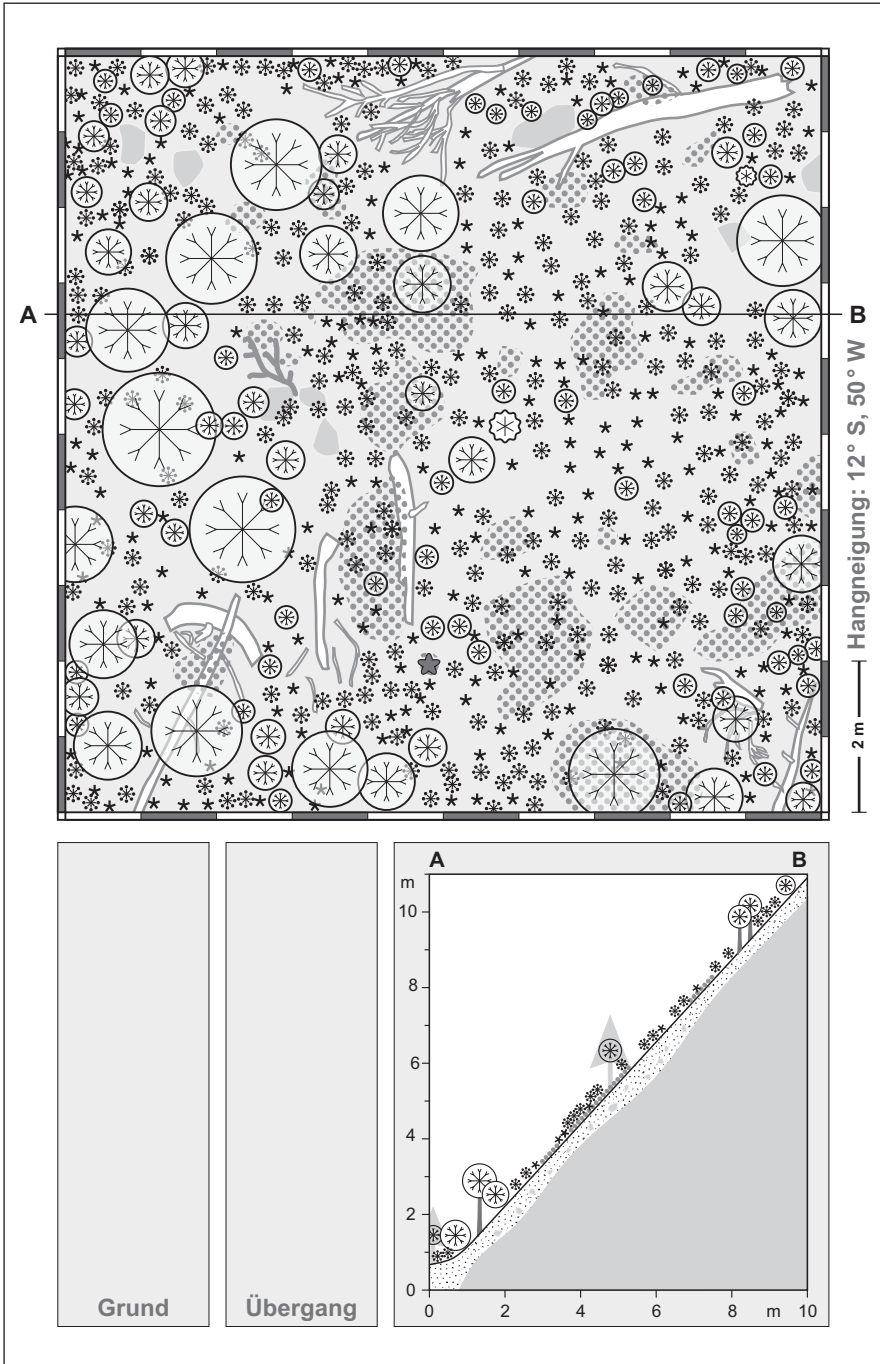


Abb. 6 (vier Seiten): Drei in einer Lawinerinne aneinander anschließende Aufnahme-
flächen (Aufsicht) mit jeweiliger Lage des Standortes in einer Profilansicht (unten) und
Gesamttabelle der vorkommenden Pflanzenarten für alle drei Flächen. Am Grund des
Lawinars deutet die relativ lichte Pflanzenbedeckung auf häufige Stress-Einwirkung
durch lange Schneebedeckungen hin, während der weniger gestörte Außenrand
mehrere Bäume aufweist. Die Fläche zwischen diesen beiden Standorten weist mit
maximalen Artenzahlen (insgesamt 60) auf ihren Ökoton-Charakter zwischen dem
Pionier- und Etablierungsstadium hin (innen 44, außen 54 Pflanzenarten)





Ü G R		Baum	Ü G R		* Kraut	Ü G R		* Kraut
•••	•••	<i>Salix caprea</i>	•••	•••	<i>Achillea atrata</i>	•••	•••	<i>Asplenium viride</i>
•••	•••	<i>Acer pseudoplatanus</i>	•••	•••	<i>Athamantha cretensis</i>	•••	•••	Asteraceae (gelb)
•••	•••	<i>Betula pubescens</i>	•••	•••	cf. <i>Astrantia</i>	•••	•••	<i>Betonica alopecurus</i>
•••	•••	<i>Fagus sylvatica</i>	•••	•••	<i>Cystopteris montana</i>	•••	•••	<i>Biscutella laevigata</i>
•••	•••	<i>Picea abies</i>	•••	•••	<i>Hieracium villosum</i>	•••	•••	<i>Bupththalmum salicifolium</i>
•••	•••	<i>Pinus mugo</i>	•••	•••	<i>Moehringia ciliata</i>	•••	•••	<i>Carduus defloratus</i>
•••	•••	<i>Sorbus aria</i>	•••	•••	<i>Ranunculus alpestris</i>	•••	•••	<i>Mercurialis perennis</i>
•••	•••	<i>Sorbus aucuparia</i>	•••	•••	<i>Aster bellidiastrum</i>	•••	•••	<i>Phyteuma orbiculare</i>
			•••	•••	<i>Campanula cochlearifolia</i>	•••	•••	<i>Polystichum lonchitis</i>
			•••	•••	<i>Campanula scheuchzeri</i>	•••	•••	<i>Primula auricula</i>
			•••	•••	<i>Carlina acaulis</i>	•••	•••	<i>Ranunculus montanus</i>
			•••	•••	<i>Globularia cordifolia</i>	•••	•••	<i>Thymus praecox</i>
			•••	•••	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	•••	•••	<i>Anthericum ramosum</i>
			•••	•••	<i>Polygala alpestris</i>	•••	•••	<i>Fragaria vesca</i>
			•••	•••	<i>Pritzelago alpina</i>	•••	•••	<i>Galium anisophyllum</i>
			•••	•••	<i>Rumex scutatus</i>	•••	•••	<i>Hepatica nobilis</i>
			•••	•••	<i>Silene vulgaris</i>	•••	•••	<i>Hieracium murorum</i>
			•••	•••	<i>Valeriana saxatilis</i>	•••	•••	<i>Potentilla erecta</i>
			•••	•••	<i>Viola biflora</i>	•••	•••	<i>Scabiosa columbaria</i>
			•••	•••	<i>Adenostyles glabra</i>	•••	•••	<i>Thesium alpinum</i>
			•••	•••	<i>Arabis alpina</i>	•••	•••	<i>Vincetoxicum hirsutaria</i>
			•••	•••	<i>Bistorta vivipara</i>	•••	•••	<i>Aconitum vulparia</i>
			•••	•••	<i>Coronilla vaginalis</i>	•••	•••	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
			•••	•••	<i>Pinguicula alpina</i>	•••	•••	<i>Helianthemum nummularium</i>
			•••	•••	<i>Rhinanthus glacialis</i>	•••	•••	<i>Knautia dipsacifolia</i>
			•••	•••	<i>Sesleria albicans</i>	•••	•••	<i>Maianthemum bifolium</i>
			•••	•••	<i>Silene pusilla</i>	•••	•••	<i>Melampyrum sylvaticum</i>
			•••	•••	<i>Taraxacum spec.</i>	•••	•••	<i>Mycelis muralis</i>
			•••	•••	<i>Urtica dioica</i>	•••	•••	<i>Parnassia palustris</i>
			•••	•••	<i>Hieracium lachenalii</i>	•••	•••	<i>Teucrium montanum</i>
			•••	•••	<i>Lotus corniculatus</i>	•••	•••	<i>Valeriana montana</i>
			•••	•••	<i>Acinos alpinus</i>	•••	•••	<i>Veronica urticifolia</i>
			•••	•••	<i>Alchemilla conjuncta</i>	•••	•••	<i>Viola mirabilis</i>
			•••	•••	<i>Androsace chamaejasme</i>			

 Sand	 Lawenbahn: Stufe
 Boden	 Kante
 Fels	 Stein
	 Ameisennest
	 Totholz

G Grund / Ü Übergang / R Rand

Die Kernzone ist üblicherweise am stärksten gestört und wird weitgehend – wenn überhaupt – von kleinwüchsigen Annuellen besiedelt, die als Pionierpflanzen die neuen Lebensräume schnell, aber nur vorübergehend besetzen. Durch den Eintrag des Lawinenschnees werden auch einige alpine Arten bis in die montane Stufe hinabtransportiert. Ebenso wie in den benachbarten Zonen im Lawinar profitiert hier das Pflanzenwachstum zwar von einer erhöhten Feuchtigkeit sowie dem Eintrag an Nährstoffen durch die teils beachtlichen Sedimentablagerungen

(HECKMANN 2006), allerdings verkürzt sich die Vegetationsperiode durch die lange Schneeüberdeckung beträchtlich. Letztere nimmt von innen nach außen ab, so dass in der folgenden Übergangszone schon mehrjährige Gräser und Kräuter gedeihen, die zum Teil über unterirdische Speicherorgane für Wasser und Nährstoffe verfügen. Sie gewährleisten eine Überdauerung der ungünstigen Phasen, so dass der Störungseinfluss weniger verheerend ist. Er ist hier nicht mehr lebensbedrohlich, so dass sich die von Jahr zu Jahr variierenden Ausaperungszeiten in diesem Sektor nun bestenfalls als Stressfaktor bewerten lassen. Dies gilt umso mehr für die Randzone, in der Zwergsträucher und Sträucher hinzutreten, und sich neben Latschen vereinzelt auch Baumarten mit flexiblen und dünnen Stämmen einstellen, die dem Schneedruck widerstehen können.

Im Anschluss an das Transekt geht die Vegetation in subalpinen Fichtenwald (*Homogyne alpinae-Piceetum*) über, jener Pflanzengesellschaft, die für diese Höhenstufe unter ungestörten Verhältnissen charakteristisch ist. Vergleichsweise ist die Flora hier deutlich artenärmer, denn die Lawinare zeichnen sich auf wenigen Quadratmetern durch verschiedenste Habitats aus, in denen die mikroklimatischen und edaphischen Vorgaben, die Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit sowie auch die mechanische Beanspruchung stark variieren. Pflanzen verschiedener Gesellschaften können aufgrund dieser Standortvielfalt in zeitlich verschiedenen Sukzessionsstadien dicht nebeneinander siedeln und werden zusätzlich von kurzlebigen Pionieren ergänzt, woraus sich eine außergewöhnliche Artenvielfalt auf engstem Raum ergibt.

3.2.3 Verheerende Überflutungen und Sedimentauffüllungen als Störungsregime

Seltene unberechenbare Großereignisse, die immense Veränderungen hervorrufen, werden als Verheerungen bezeichnet. Sie sind unkalkulierbar, und die angrenzenden Ökosysteme können sich mit ihren Schlüsselarten nicht an entsprechende Ereignisse anpassen (BÖHMER/RICHTER 1997; ELLENBERG 1996; JENTSCH 2004: 21; WHITE/JENTSCH 2001). Als Fallbeispiel dient ein außergewöhnliches Überschwemmungsereignis unterhalb eines ca. 200 Jahre alten Bergsturzes, der das mittlere Reintal und damit den Partnach-Abfluss versperrte sowie zur Ausbildung eines natürlichen Stausees und dessen allmählicher Sedimentauffüllung führte. Als See-Fragment blieb nur noch die „Vordere Gumppe“ erhalten (Foto 4), bis am 23.08.2005 die Partnach aufgrund eines außerordentlichen Starkregenereignisses und somit extremen Hochwassers den Damm durchbrach und die unterhalb anschließenden Bereiche mittels Schwallfluten und Sedimentverfrachtungen verwüstete (s.o. Kaskadenmodell: Verlagerung von einem in den nächsten Speicher).

Die auslösenden Starkregen waren umso wirksamer, als sie einer Phase ohnehin leicht erhöhter Niederschläge im Juli folgten (Abbildung 1 unten rechts), die bereits zu einer Wassersättigung der Böden geführt hatten. In Garmisch wurde



Foto 4 und 5: Die Sediment-Auffüllung der Vorderen Gumpfe infolge des Starkregeneignisses im August 2005. Während die obere Aufnahme vom 19.07.2005 noch einen Teil des natürlichen Stausees zeigt, belegt die untere aus gleicher Perspektive die Aufschotterung gegen Ende der Regenfälle am 23.08.2005 (Aufnahme oben: Birgit Schwabe, unten: Karl-Friedrich Wetzel)



am 22. August mit 104,8 mm der zweithöchste jemals an dieser Station gemessene Tagesniederschlag verzeichnet, ein Betrag der für den Ort als Jahrhundertereignis gilt. Am Zugspitzgipfel erwies sich dagegen das Ereignis als weniger dramatisch, handelte es sich doch um einen Betrag, der im Durchschnitt zweimal im Jahr überschritten wird. Jedoch belegen zuverlässige Niederschlagsmessungen (mdl. Mitt. Prof. K.-F. Wetzel, Augsburg bzw. München) an einer Station nahe des Partnach-Ursprungs exorbitante Tageswerte bis 169,4mm (!) während des Gesamt-Ereignisses, das vom 16.-25.08.2009 andauerte. Die Morphodynamik des resultierenden Hochwassers veränderte das Bild des Talgrundes komplett, indem es neue Erosions- und Ablagerungsbereiche beträchtlicher Ausmaße hinterließ. Bereits an der Partnachquelle strömte das Karstwasser mit hohem Druck aus, wobei hier der Pegelstand um über 2m erhöht war (mdl. Mitt. Prof. Wetzel). Im Verlauf des Unwetters wurde die „Vordere Gumppe“ aufgefüllt (Foto 5), bis die Krone des natürlichen Bergsturz-Damms durch das nachdrückende Geschiebe brach. Die Wassermassen transportierten ca. 5,3 Mm³ Sedimentmaterial ab, so dass gegen Ende des Ereignisses die Geländeoberfläche der im Verlaufe der letzten 200 Jahre entstandenen Aufschüttungsebene um rund einen Meter abgetragen wurde (MORCHE et al. 2006). Auch wenige hundert Meter unterhalb der Gumppe rissen die Fluten Lockersedimente eines großen Murkörpers an und transportierten weiteres Geschiebe ab.



Foto 6: Schotterfläche oberhalb der Bockhütte mit teilweise abgestorbenem Fichten-Bäumchen im Hintergrund und nur langsam aufkommenden Pionieren vorne (*Adenostyles glabra*) (Aufnahme: Michael Richter 2009)

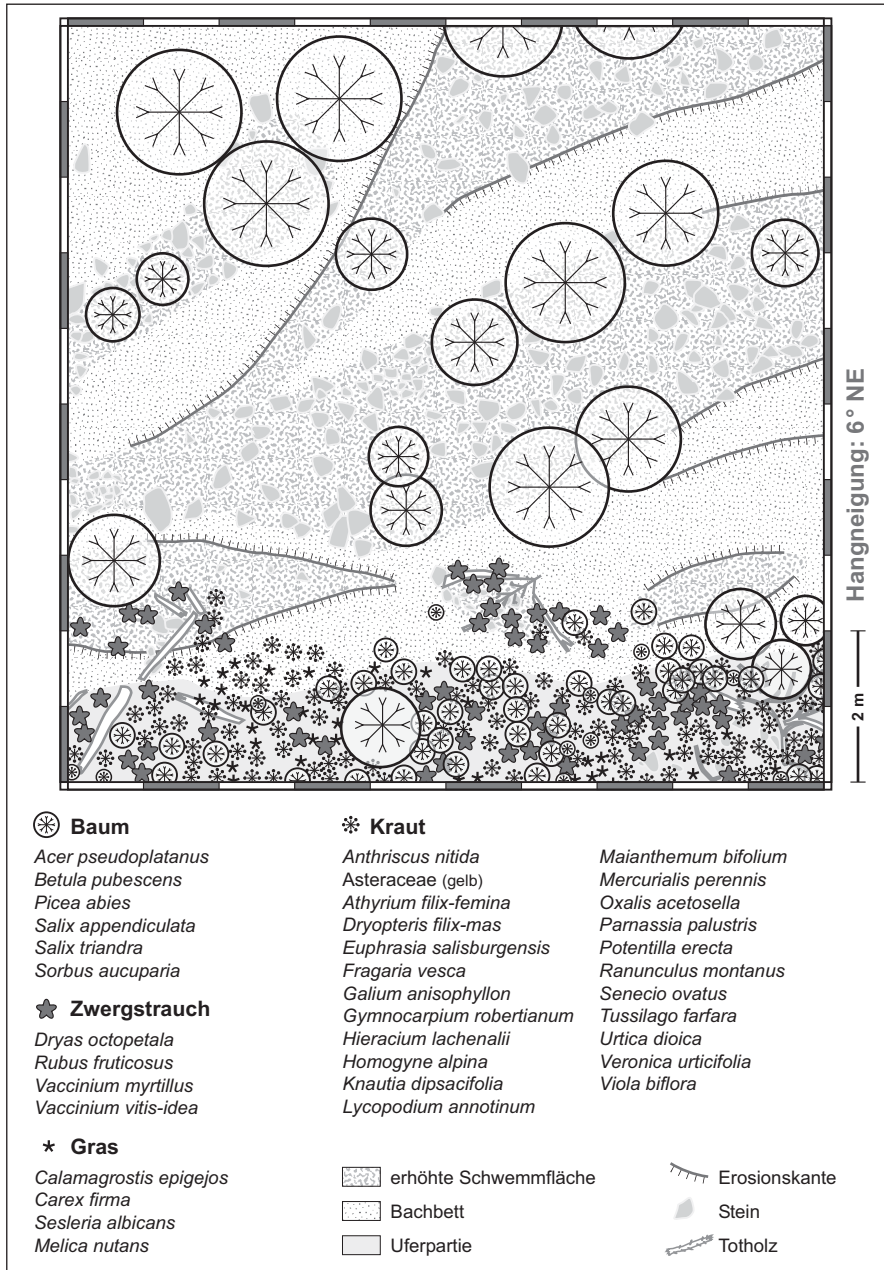


Abb. 7: Aufnahme einer sowohl erodierten als auch aufsedimentierten Fläche, die im August 2005 überflutet wurde. Während der Uferbereich am unteren Rand unverseht blieb, ist ein Teil der Bäume im neuen Schotterbett mittlerweile abgestorben

Strecken geringeren Gefälles fungieren nun als neue Zwischenspeicher, wo nur vereinzelte Fichten mit bis zu zwei Meter hohen Anschüttungen aus den frischen Ablagerungen herausragen. Ein erheblicher Teil der Bäume wurde jedoch entwurzelt oder zersplittert, mittransportiert und wieder abgelagert. Die Aufnahmen der neun Probestellen belegen zwar ähnliche Artenzahlen, jedoch darf dies nicht darüber hinweg täuschen, dass noch immer große Teile der Überflutungsbereiche gänzlich unbewachsen sind und die Spuren der Verheerung weiterhin nicht vernarbt sind (Foto 6). Im engen Übergangsbereich zu den angrenzenden Fichtenwäldern liegen Pflanzen noch wochenlang flach auf dem Boden angedrückt. Erst jenseits der von den Schwallfluten betroffenen Überschwemmungsflächen trifft man auf eine sprunghaft ansteigende Artenvielfalt, die den ehemaligen Zustand dokumentieren. Es zeigt sich also auf sehr kurzer Distanz ein abrupter Übergang von totaler Verheerung zu nahezu intakter, artenreicher Vegetation (s. auch Abbildung 7).

Anders bei den beiden anderen Störungsregimen ist hier weniger von einer schrittweisen Wiederbesiedlung von Pioniergesellschaften über mehrjährige Bestände bis hin zu Gehölzformationen auszugehen. Stattdessen deuten erste Hinweise für die frischen Sedimentablagerungen einen eher zufälligen Eintrag der verfügbaren Arten aus den ungestörten Nachbarstandorten an, wie es bei einer Primärsukzession ohne Samenbank zu erwarten ist.

3.3 Besonderheiten des Modells der „patch dynamics“ im Hochgebirge

Die drei (bzw. vier) Fallbeispiele zeigen in mehrfacher Hinsicht die Heterogenität der Störungssukzessionen und somit auch der zugehörigen Organismen auf. So belegt der direkte Vergleich aller Vegetationsaufnahmen auf 10x10m-Flächen, die im Verlaufe des letzten Jahrzehnts gestört wurden, ganz unterschiedliche Artenzahlen (Tabelle 1):

Grundsätzlich wird deutlich, dass es sich im Fall der erhöhten Artenzahlen auf Muren und vor allem in Lawinaren um Störungsregime handelt, die zum einen eine Samenbank mitführen bzw. bereits (vor allem randlich) aufweisen.

Tab. 1: Artenzahlen auf den Aufnahmeflächen (100m²) verschiedener Störungstypen unterschiedlichen Alters.*

Störungsregime	Aufnahmen	mittlere Artenzahl	Maximum	Minimum
Schuttkegel	8	18	24	14 (0)
Mure	9	36	41	26 (0)
Lawine	31	52	63	38
Überflutung	6	25	37	14 (0)

* Der Nullwert steht für vegetationslose Flächen, die auf den jeweiligen Standorten ebenfalls vorkommen, z.T. sogar überwiegend (frische Überflutungsflächen und Murgänge, Kopf aktiver Schuttkegel).

Dagegen zeichnen sich Teilbereiche von mächtigen Sedimentschüttungen nach Flutereignissen und im oberen Sektor aktiver Schutthalden durch Merkmale einer Primärsukzession aus. Sie wird von einem allmählichen Sameneintrag geprägt, der in den exemplarischen Skizzen in Abbildung 8 durch isolierte Vorkommen von Arten aus verschiedensten Standorten zum Ausdruck kommt und nicht den üblichen Sukzessionsschritten folgt.

Zieht man in Betracht, dass im Reintal neben den erwähnten natürlichen Störungsregimen noch weitere bestehen (z.B. Spüldenudation, Lückenschlagen durch umstürzende Bäume), so wird deutlich, dass die ohnehin komplexe Anordnung pflanzlicher Dauergesellschaften ungestörter Standorte (flächige Signaturen in Abbildung 8) von einem engen Nebeneinander verschiedener Sukzessionsstadien auf Störungsflächen begleitet wird. Dies führt zu einer Koexistenz weitgehend stabiler wie auch vorübergehender Habitats, wobei letztere den Wandel im Erscheinungsbild der Vegetation in besonderem Maße prägen (patch dynamics im Sinne von WHITE/PICKETT 1985; NENTWIG et al. 2004). Dieses Modell der „Flecken-Dynamik“ macht deutlich, weshalb gerade die raumzeitlich veränderlichen Störungsprozesse zu einer Steigerung der Biodiversität beitragen, wie sie im Hochgebirge im besonderen Maße gegeben ist. Denn hier zeichnen sich die ohnehin zahlreichen Sukzessionsschritte verschiedener Störungsregime durch weitere Variationen aus, die von der jeweiligen Höhenlage des Ereignisses, mikroklimatischen Besonderheiten und von den Reliefvorgaben des betroffenen Gebietes gesteuert werden. So verwundert es nicht, dass die große Reliefenergie im West-Ost verlaufenden Reintal mit seinen markanten Expositionsunterschieden von einer gesteigerten α -Diversität begleitet wird. Sie fällt mit insgesamt 224 erfassten Arten sehr hoch aus, zieht man in Betracht, dass es sich um eine Gesamtfläche von nur einem Hektar in einem begrenzten Höhenbereich handelt, der sich auf nicht einmal 500 Meter Vertikaldistanz innerhalb der montan-subalpinen Übergangsstufe beschränkt.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Eine Aufschlüsselung der Artenzugehörigkeit in verschiedene Strategietypen im Sinne von GRIME (1979) zeigt, dass der Anteil an stresstoleranten Pionieren, die für Störungsregime typisch sind, mit ca. 35 Vertretern bzw. einem rund 15 prozentigen Anteil recht hoch liegt. Sie gelten als zusätzliche Arten, die jenen in weitgehend stabilen Dauergesellschaften hinzuzufügen sind, also jenen, die ohne Störungen im Gebiet alleine bestimmend wären.

Im Laufe der Evolution haben sich viele Alpenpflanzen mit unterschiedlichen Strategien an die meist mechanische Schädigung bei Störungen angepasst. Das räumliche und zeitliche Muster von Störungen resultiert aus der Wechselbeziehung von Topographie, Geomorphologie sowie Pflanzenstruktur und -dynamik. Zudem steht die Mehrzahl der einschneidenden Störungen direkt mit dem Klima bzw.

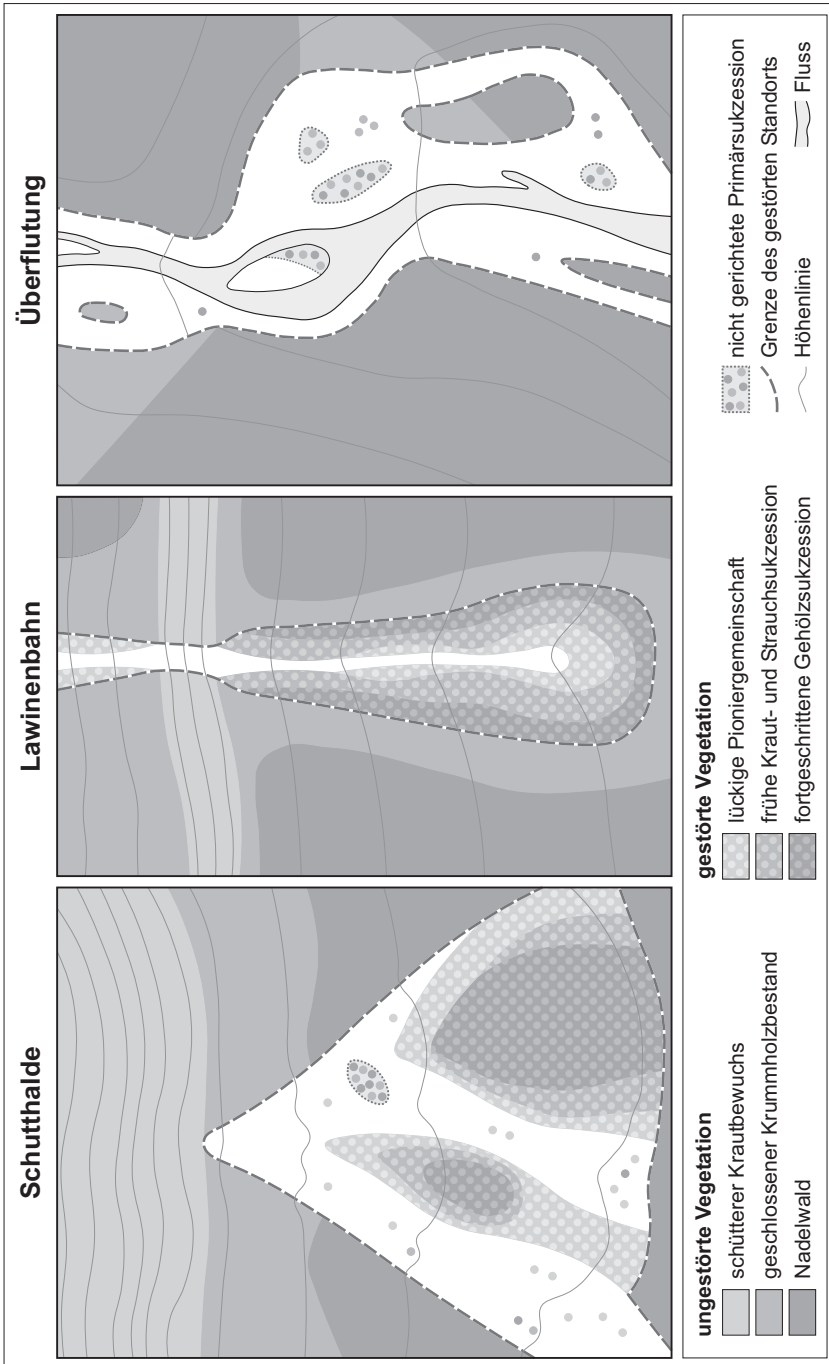


Abb. 8: Schemata raumzeitlicher Muster der Pflanzensukzession auf drei im Reintal verbreiteten Störungstypen (nota bene: drei Sukzessionsphasen entsprechen nicht zwingend der Realität, oft sind es mehr); links Kalkschutthalde, Mitte Lawinar, rechts Überflutung

Wetter in Zusammenhang. Hier schließt sich nun die Frage an, inwiefern der Klimawandel zu veränderten Störungsfrequenzen bzw. -intensitäten führt und damit auch Abwandlungen in den Biodiversitätsstrukturen bewirken könnte.

Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität werden erst in jüngster Zeit thematisiert, wobei für großräumige Betrachtungen (z.B. für Europa) überwiegend Modellberechnungen zugrunde gelegt werden (z.B. GUISAN/THUILLER 2005; THUILLER et al. 2005; WILLIAMS et al. 2007). Für Hochgebirge wird von einer Höhenverlagerung der Taxa in Folge der Klimaerwärmung ausgegangen (WALTHER et al. 2005), die für die Alpen von GRABHERR et al. (2001) bereits nachgewiesen ist. Einige hochalpine Arten sind in diesem Zug vom Aussterben bedroht, sobald kühlere, d.h. höher gelegene Überlebensstandorte außer Reichweite geraten. Zugleich weisen KLANDERUD/BIRKS (2003) aber auch auf einen Artenzuwachs hin, indem Tiefland-Arten in höher gelegene Stufen eindringen.

Bei solchen Prognosen wird die Bedeutung von Veränderungen in den Störungsregimen außer Acht gelassen. Diese Tatsache bildet insofern ein Manko, als entsprechende Prozesse ebenfalls einem klimabedingten Wandel unterliegen und demzufolge auch neue dynamische Vorgaben für Biodiversitätsverluste oder -zugewinne zu erwarten sind. So gehen KRAUTBLATTER/MOSER (2006) von einer Steigerung der Steinschlag- bzw. Felssturzaktivitäten im Reintal in Folge des Klimawandels aus, und das Starkregenereignis im August 2005 sowie die Tendenz zu häufigeren Cut-Off-Effekten im Umfeld der Alpen sprechen dafür, dass die Murentätigkeit sowie Sedimentverlagerungen durch Hochfluten ebenfalls gesteigert werden. Die Auswirkungen dieser Perspektiven auf die Biodiversität im Reintal bleiben vorläufig noch spekulativ, versprechen jedoch ein spannendes Forschungsfeld für die Zukunft.

Danksagung

Für Hinweise zur Lawinen-Tätigkeit danken wir Herrn Dr. Th. Heckmann (Eichstätt) und für Bereitstellung einiger Fotos sowie von Informationen zu den Starkregen im August 2005 Herrn Prof. Dr. F.-K. Wetzel (München bzw. Augsburg).

Literatur

- BÖHMER, H.J. & M. RICHTER. 1997: Regeneration – Versuch einer Typisierung und zonalen Ordnung. *Geographische Rundschau* 48: 626-632.
- CHORLEY, R.J. & B.A. KENNEDY. 1971: *Physical Geography. A system approach*. Prentice Hall International Inc., London.
- DICKINSON, G. & K.J. MURPHY. 1998: *Ecosystems. A functional approach*. London.
- ELLENBERG, H. 1996: *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Stuttgart.
- GRABHERR, G. et al. 2001: Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps. *Tasks of Vegetation Science* 35: 153-177.

- GRIME, J.P. 1979: Plant strategies and vegetation processes. Chichester.
- GUISAN, A. & W. THUILLER. 2005: Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecol Lett* 9: 993-1009.
- HANKAMMER, M. 2002: Zur räumlichen Verbreitung von Sedimentspeichern in einem alpinen Geosystem (Reintal, Bayerische Alpen). Diplomarbeit Universität Bonn. Unveröffentlichte Diplomarbeit.
- HECKMANN, T. 2006: Untersuchungen zum Sedimenttransport durch Grundlawinen in zwei Einzugsgebieten der Nördlichen Kalkalpen – Quantifizierung, Analyse und Ansätze zur Modellierung der geomorphologischen Aktivität. Eichstätter geographische Arbeiten. Bd. 14. München, Wien.
- HERTEL, S. 2008: Naturräumliche Differenzierung des Reintals (Wettersteingebirge, Bayerische Alpen). Unveröffentlichte Diplomarbeit der Universität Erlangen-Nürnberg.
- HEWITT, K. 2006: Disturbance regime landscapes: mountain drainage systems interrupted by large rocksides. *Progress in Physical Geography* 30(3): 365-393.
- HIRTREITER, G. 1992: Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Wettersteingebirge und seiner Umgebung. München.
- HOFFMANN, T. & L. SCHROTT. 2002: Modelling sediment thickness and rockwall retreat in an alpine valley using 2D-seismic refraction (Reintal, Bavarian Alps). *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 127*. Berlin, Stuttgart: 153-173.
- JENTSCH, A. 2004: Disturbance driven vegetation dynamics. *Dissertationes Botanicae*. Bd. 384. Berlin, Stuttgart.
- KLANDERUD, K. & H.J.B. BIRKS. 2003: Recent increase in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. *The Holocene* 13: 1-6.
- KOCH, F. 2004: Zur raum-zeitlichen Variabilität von Massenbewegungen und pedologische Kartierungen in alpinen Einzugsgebieten. Regensburg.
- KRAUTBLATTER, M. 2004: The impact of Rainfall Intensity and other External Factors on Primary and Secondary Rockfall (Reintal, Bavarian Alps). Unveröffentlichte Magisterarbeit der Universität Erlangen-Nürnberg.
- KRAUTBLATTER, M. & M. MOSER. 2006: Will we face an increase in hazardous secondary rockfall events in response to global warming in the foreseeable future? In: PRICE, M.F. (Editor), *Global Change in Mountain Regions*. Sapiens Publishing, Duncow.
- KRAUTBLATTER, M. et al. 2007: A study on sediment yield and geomorphic work comprising all rockfall magnitudes in an Alpine Catchment (Reintal, German Alps). *Geophysical Research Abstracts* 9. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-08980.
- LARCHER, W. 1984: *Ökophysiologie der Pflanzen*. Stuttgart.
- MORCHE, D. et al. 2006: The life-span of a small high mountain lake, the Vordere Blaue Gump in Upper Bavaria, Germany. In: ROWAN, J. et al. (Hg.): *Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems*. Wallingford: 72-81.
- MORCHE, D. et al. 2007. Hydrology and geomorphic effects of a high magnitude flood in an Alpine river. In: *Geogr Ann* 89 A (1): 5-19.
- MORCHE, D. & K. LAUTE. 2009: Investigating Channel Response to a Dambreak Flood Event in an Alpine River – Downstream Trends in Stream Power and Channel Bed Particle Characteristics. In: *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 41(1): 69-78.
- NENTWIG, W. et al. 2004: *Ökologie*. München.
- POPPEL, J. 2003: Untersuchungen zu gravitativen Massenbewegungen (Steinschlag, Felssturz, Bergsturz) in den Nördlichen Kalkalpen (Wettersteingebirge, Ammergebirge). Unveröffentlichte Diplomarbeit Universität Erlangen-Nürnberg.
- REISIGL, H. & R. KELLER. 1994: *Alpenpflanzen im Lebensraum*. Stuttgart.
- REMMERT, H. 1992: *Ökologie*. Ein Lehrbuch. Berlin u.a.
- RICHTER, M. 2001: *Vegetationszonen der Erde*. Gotha, Stuttgart.

- RICHTER, M. 1997: Allgemeine Pflanzengeographie. Stuttgart.
- SASS, O. et al. 2007: Rapid lake infill following major rockfall (bergsturz) events revealed by ground-penetrating (GPR) measurements, Reintal, German Alps. *The Holocene* 17 (7), 965-976. DOI:10.1177/0959683607082412.
- SCHULZE, E. et al. (Hg.) 2002: Pflanzenökologie. Heidelberg.
- SCHROTT, L. et al. 2002: Sediment storage in a mountain catchment: geomorphic coupling and temporal variability (Reintal, Bavarian Alps, Germany). In: *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd.* 127. Berlin, Stuttgart: 175-196.
- SCHROTT, L. et al. 2003: Spatial distribution of sediment storage types and quantification of valley fill deposits in an alpine basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany. In: *Geomorphology* 55: 45-63.
- SCHWABE, B. 2007: Natürliche Störungen im Hochgebirge am Beispiel des Reintals, Wettersteingebirge. Unveröffentlichte Diplomarbeit Universität Erlangen-Nürnberg.
- THULLER, W. et al. 2005: Climate change threatens plant diversity in Europe. In: *Proc Nat Acad Sci USA* 102: 8245-8250
- TOWNSEND, C. et al. 2003: Ökologie. Berlin.
- UHLIG, H. 1954: Die Altformen des Wettersteingebirges mit Vergleichen in den Allgäuer und Lechtaler Alpen. – *Forsch. z. deutsch. In: Landeskunde*, 79: 1-103.
- VEIT, H. 2002: Die Alpen – Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Stuttgart.
- WALTHER, G.R. et al. 2005: Trends in upward lift of alpine plants. In: *Journal of Vegetation Science* 16: 541-548.
- WICHMANN, V. 2006: Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet – Abgrenzung und Klassifizierung der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS. In: *Eichstätter Geographische Arbeiten*. Bd. 15/1. München/Wien.
- WHITE, P.S. & S.T.A. PICKETT (Hg.) 1985: *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Orlando.
- WHITE, P.S. & A. JENTSCH. 2001: *The Search for Generality in Studies of Disturbance and Ecosystem Dynamics*. Ecology Vol. 62. Heidelberg: 399-449.
- WILLIAMS, J.W. et al. 2007: Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. In: *Proc Nat Acad Sci USA* 104: 5738-5742.

