

Böden in den Alpen – Ausgewählte Aspekte zur Vielfalt und Bedeutung einer wenig beachteten Ressource

Clemens Geitner



1. Einleitung

„Boden ist eines der kostbarsten Güter der Menschheit und ist neben Wasser und Luft eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Leben auf der Erde“ (Hintermaier-Erhard & Zech 1997: 329). Auch wenn diese Aussage der Europäischen Bodencharta von 1972 als unbestritten gelten muss, zeigt sich immer wieder, dass der Boden als Ressource im Bewusstsein der Öffentlichkeit nur wenig verankert ist (Gerzabek et al. 2002). Das trifft auch für den Alpenraum zu (Tusch, Geitner & Stötter 2005), obgleich dem Boden in Gebirgen verstärkt Aufmerksamkeit zuteil werden sollte. Denn zum einen kommt der Erhaltung des Bodens in Extremräumen eine noch größere Bedeutung zu, zum anderen sind diese Böden allein schon aufgrund des steilen Gebirgsreliefs deutlich stärker gefährdet.

Böden sind nie isoliert zu betrachten. Sie bilden zwar die augenfälligste Grenze zwischen den Geosphären, stellen aber eigentlich ihren Durchdringungsbereich dar, denn jeder Boden konstituiert sich durch ein spezifisches „Mischungsverhältnis“ von mineralischer und organischer Komponente sowie von Wasser und Luft. Als Produkt zahlreicher Einflussfaktoren kommt dem Boden auch eine weit reichende Indikatorfunktion zu. Jeder Boden ist somit ein Tor zur gesamten Landschaft und eröffnet gerade in Gebirgsräumen interessanteste Interpretationen.

Trotz seiner geringen Mächtigkeit von nur wenigen Dezimetern bietet der Boden die umfassende stoffliche Grundlage für pflanzliches, tierisches und menschliches Leben. Daher nimmt er eine Schlüsselstellung in der Debatte um nachhaltige Landnutzung ein. Dementsprechend werden auch die brennenden Fragen des Bodenschutzes weltweit diskutiert (Blume 1992; Hurni, Giger & Meyer 2006). In Gebirgen tragen insbesondere Flachgründigkeit, geringe Stabilität sowie die lange Bildungsdauer wesentlich zur Verletzlichkeit der Böden bei (vgl. Abb. 11, S. 58).

Jede Ökozone im Großen sowie jede Landschaft im Kleinen weist ein bestimmtes Bodeninventar auf (Zech & Hintermaier-Erhard 2002). Es entsteht durch die nahezu unbegrenzte Kombinationsmöglichkeit der so genannten „bodenbildenden Fak-

toren“ (Klima, Gestein, Relief, Bodenwasser, Pflanze, Tier, Mensch) im Verlauf der Zeit (Ganssen 1972). Wenn man den spezifischen Einfluss und die räumliche Verteilung jeder dieser Faktoren abzuschätzen vermag und den zeitlichen Aspekt der Bodenentwicklung berücksichtigt, lässt sich daraus ableiten, welche Böden in einem bestimmten Landschaftsausschnitt vorkommen. Dieses Expertenwissen kann auch in die Modellierung von Böden einfließen (Mergili et al. 2005; Egli et al. 2005). Um die Vielfalt der Böden übersichtlich zu strukturieren, wurden verschiedene Systematiken entwickelt (für Österreich vgl. Nestroy et al. 2000). Sie umfassen im Wesentlichen die Abgrenzung, Benennung und Hierarchie der Bodeneinheiten. Dass sich diese nicht unwesentlich von Land zu Land unterscheiden, erschwert auch in den Alpen den „grenzüberschreitenden“ bodenkundlichen Dialog.

Gebirge weisen in bodenkundlicher Hinsicht eine Reihe von Besonderheiten auf. Diese sind, insbesondere in den Alpen, durch zahlreiche Einzelarbeiten untersucht, es fehlt allerdings noch immer eine umfassende räumliche und thematische Synthese. In aktuellen Standardwerken zur Bodenkunde und Bodengeographie (z.B. Schachtschabel et al. 2002; Eitel 2000) sowie in Überblicksdarstellungen der Alpen bzw. der Gebirge der Erde (z.B. Bätzing 2003; Burga, Klötzli & Grabherr 2004) werden die Böden meist nur kurz abgehandelt, obgleich es schon seit einiger Zeit umfassendere Darstellungen gibt, in denen die Gebirgsböden mit besonderem Bezug auf die Alpen eingehender thematisiert worden sind (Gračanin 1972; Franz 1979). In dieser Hinsicht ist auch auf die in jüngster Zeit erschienenen Bücher von Veit (2002) und Körner (2003) hinzuweisen, deren Kapitel über die Böden im Gebirge bzw. der alpinen Stufe einen breiten und doch detailreichen thematischen Einstieg bieten.

Mit der Unterzeichnung des Protokolls „Bodenschutz“ der Alpenkonvention am 16. Oktober 1998 in Bled (CIPRA 1998) wurde ein Meilenstein für den Bodenschutz in den Alpen gesetzt. Die Argumentation des Protokolls legt den Fokus auf die Vielfalt der Bodenfunktionen. Die von den Vertragsparteien unterzeichneten Verpflichtungen bestehen darin, in Bezug auf diese Funktionen die Leistungsfähigkeit des Bodens zu erhalten. Dieser Ansatz ist sowohl inhaltlich als auch strategisch als umfassend und weitsichtig zu bewerten. Denn der Boden wird dabei nicht primär als „Inventar“ des Raumes geschützt, sondern in der Gesamtheit seiner Funktionen. Um aber dieser Forderung in der Praxis annähernd gerecht werden zu können, müssten entsprechend differenzierte Informationen über die funktionsbezogene Leistungsfähigkeit der Böden in einem planungsrelevanten Maßstab erarbeitet werden. Dies wird eine der Hauptaufgaben der angewandten Bodenkunde in der näheren Zukunft sein müssen!

Mit dem vorliegenden kurzen Abriss zu ausgewählten Aspekten der Böden in den Alpen kann keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit gestellt werden. Vielmehr sol-

len relevante Grundzüge skizziert und einige ausgewählte Aspekte exemplarisch ausgeführt werden, um das Interesse für einen nur wenig beachteten Forschungsgegenstand zu wecken. Für einen systematischen Überblick, die Darstellung der wichtigsten Bodentypen sowie vertiefende Literatur zu den Böden in den Alpen sei ausdrücklich auf das entsprechende Kapitel von Veit (2002: 128–154) verwiesen.

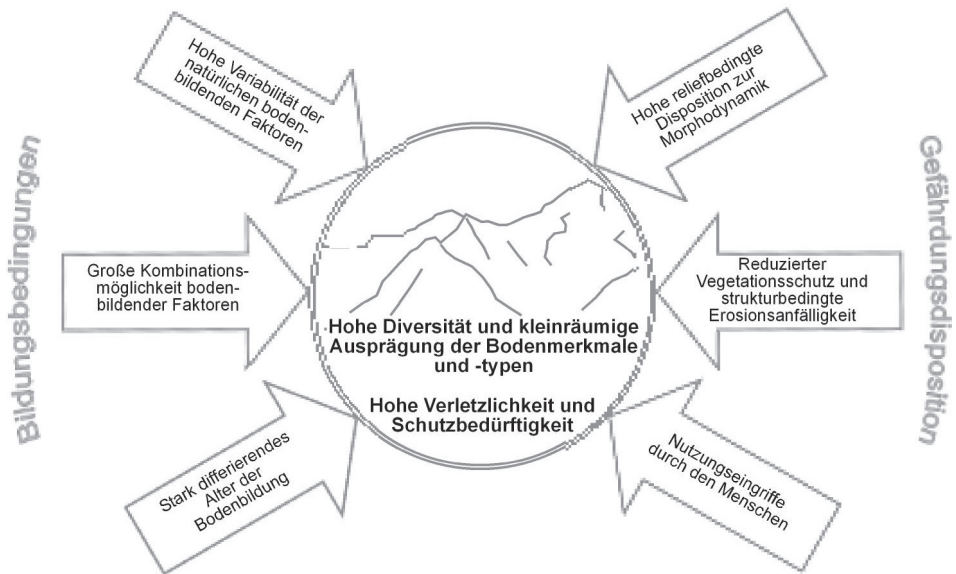


Abb. 11: Sonderstellung der Böden in den Alpen: Bildungsbedingungen und Gefährdungsdisposition.

2. Vielfalt der Böden in den Alpen

Die Vielfalt der Böden in den Alpen ist groß. Das betrifft natürlich zum einen die Anzahl der vorkommenden Bodentypen, darüber hinaus aber ist insbesondere die überraschende Vielfalt der Merkmalsausprägungen der Böden hervorzuheben. Sie vor allem gibt – unabhängig von der oft fragwürdigen bodensystematischen Einbindung – Anlass, das komplexe Geschehen der Bodengenese immer wieder aufs Neue zu diskutieren.

2.1 Bedingungen der Bodengenese

2.1.1 Räumliche und zeitliche Differenzierung

Jeder Boden ist das Ergebnis des komplexen lokalen Zusammenwirkens der genannten bodenbildenden Faktoren. Daher muss das Bodeninventar einer Landschaft wie der Alpen, in der die Ausprägung dieser Faktoren kleinräumig wechselt, entsprechend vielfältig sein. So reizvoll diese Unterschiede auf engem Raum wissenschaft-

lich sein mögen, sie machen es dem Wissenschaftler nicht leicht, sich einen Überblick zu verschaffen und die Regelmäßigkeit der Verbreitungsmuster zu erkennen. Zudem sind die Arbeitsbedingungen in den Hochlagen der Gebirge häufig erschwert, was ebenfalls ein Grund für den noch immer hohen Forschungsbedarf sein dürfte.

Neben der Kleinräumigkeit trägt auch die zeitliche Dimension wesentlich zur Diversität der Bodentypen bei. Es finden sich Böden ganz unterschiedlicher Reifestadien oft in unmittelbarer Nähe zueinander, da die im Gebirge stark ausgeprägte Morphodynamik durch Abtrag oder Überschüttung immer wieder neue Pionierstandorte schafft und somit die „Uhr der Bodenbildung“ auf Null zurückstellt. Viele Böden der Alpen sind daher vergleichsweise jung. Das bedeutet, dass sie in der Regel wenig tiefgründig entwickelt sind und eine geringe Differenzierung des Profils aufweisen (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 1). Aber auch auf Standorten ungestörter Bodenbildung finden sich nicht wirklich „alte“ Böden. Denn die Gletscher der jüngsten Kaltzeit haben nahezu alle Reste älterer Bodenbildungen ausgeräumt. Beim Abschmelzen ließen sie nackten Fels oder frische Ablagerungen aus Lockergestein für die Bodenbildung im Spät- und Postglazial zurück, die maximal erst 15.000 Jahre andauert.

2.1.2 Komplexes Zusammenspiel bodenbildender Faktoren

Die meisten der bodenbildenden Faktoren weisen aufgrund der topographischen Bedingungen in den Alpen eine deutliche größere Spannweite ihrer Ausprägung auf als in anderen Gebieten. Entsprechend groß ist auch die Zahl möglicher Kombinationen (vgl. Abb. 11). Um dennoch ein Verständnis der Grundzüge alpiner Bodengenese und ihrer Steuerungsmechanismen zu bekommen, müssen die einzelnen Faktoren in ihrer Wirksamkeit genauer betrachtet werden. Auch wenn dies im Folgenden nur exemplarisch angedeutet werden kann, zeigt sich doch die Komplexität der Zusammenhänge.

Der im globalen Maßstab wichtigste bodenbildende Faktor ist das Klima. Durch die Höhererstreckung und das Relief unterliegt das Klima von Gebirgsräumen einer starken räumlichen Differenzierung. Die für die Bodenbildung wichtigsten Parameter sind Temperatur und Niederschlag. Beide weisen einen eindeutigen Trend mit zunehmender Höhe auf: Der Niederschlag nimmt zu, die Temperaturen hingegen ab. Zusätzliche Gradienten ergeben sich vom Alpenrand zum Alpeninneren. Modifizierend treten zudem lokale Abweichungen auf, beispielsweise durch den thermischen Gegensatz von nord- und südexponierten Hängen. Diese klimatischen Unterschiede – allerdings an der Bodenoberfläche bzw. im Boden selbst – sind für die Bodenbildung relevant und am Aufbau des Bodenprofils ablesbar. Aber das Klima ist nur ein Faktor von vielen. So muss sich der Bodenkundler bei jedem Standort fragen, welche Faktoren hier die bestimmenden, eventuell auch limitierenden sind



und wie diese mit den anderen Faktoren, gegenläufig oder sich verstärkend, zusammenwirken. So beschleunigen beispielsweise hohe Temperaturen und Niederschläge die chemische Verwitterung im Boden. Dass diese aber mit zunehmender Höhe abnimmt, belegt in diesem Fall, dass die Temperatur die limitierende Größe ist. Für die physikalische Verwitterung hingegen ist nicht so sehr die Temperatur an sich entscheidend, sondern die Häufigkeit der Frostwechsel, die in mittlerer Höhe zwischen 1000 und 2000 m ü.d.M. ihr Maximum erreicht.

Nicht nur die Prozesse im Mineralkörper des Bodens sind maßgeblich vom Klima gesteuert, sondern ebenfalls der Abbau der organischen Substanz. Für die Bodenlebewesen, die diesen Abbau vollziehen, ist ein optimales Zusammenspiel von Temperatur und Feuchte entscheidend. Ist es beispielsweise zu feucht und kalt oder zu trocken, ist der Abbau gehemmt, und es kommt zur Bildung nennenswerter organischer Auflagen. Expositionsunterschiede wirken sich in diesem Punkt eindeutig aus. Es spielt aber auch die Beschaffenheit der Streu eine dominante Rolle. Auch diese ist indirekt vom Klima abhängig. Denn Nadelbäume und Zwergsträucher, also die Vegetation im Bereich der Waldgrenze, bilden eine Streu, die nur schwer zersetzbar ist und somit zusätzlich zur Bildung von mächtigem Auflagehumus beiträgt (vgl. Abb. 20, S. 83, Fotos 2 u. 3).

Welche konkrete Auswirkungen dieses komplexe Zusammenwirken der bodenbildenden Faktoren haben kann, sei an einem Beispiel erläutert: Durch die Reduktion unterschiedlicher Prozesse im Boden (chemische Verwitterung, Mineralneubildung, Bio-turbation) kommt es weder zur Bildung nennenswerter Tongehalte noch zu einer effektiven Vermischung der mineralischen und organischen Bodensubstanz. Somit bleibt die Bildung so genannter Ton-Humus-Komplexe und entsprechend stabiler Bodenaggregate aus. Ohne diese sind Böden jedoch deutlich verschlammungs- und erosionsanfälliger. Das Klima trägt also mittelbar dazu bei, dass die Böden in höheren Lagen weniger stabil sind. Auch die Bodenverdichtung wird durch diese ungünstige Bodenstruktur gefördert (Franz 1994), was die Versickerung beeinträchtigt und den Anteil des Oberflächenabflusses erhöht.

2.2 Bodeninventar

Das Bodeninventar in den Alpen adäquat zu erfassen, erfordert zweierlei: Der kleinräumigen Diversität der Bodentypen gerecht zu werden und ihre bodensystematische Zuordnung zu leisten. Beides ist mit methodischen Problemen verbunden, denn die in den „Alpenländern“ vorliegenden bodensystematischen Werke (z.B. Arbeitsgruppe Boden 2005; Nestroy et al. 2000; Kilian et al. 2002; Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau 2002) weichen nicht nur voneinander ab, sie vermögen nur mit Einschränkungen allen Aspekten der Bodenvielfalt in

den Alpen gerecht zu werden. Dass auch weltweit gebirgsadäquate bodenkundliche Arbeitsweisen zu diskutieren sind, zeigt der Beitrag von Broll et al. (2005).

Nicht nur bei der Erhebung, sondern auch bei der kartographischen Darstellung der Böden in Gebirgen tritt, mehr noch als bei anderen Themen, die Maßstabsfrage in den Vordergrund. Überblickskarten zu den Böden der Alpen, wie beispielsweise die Karte der Bodentypen in Tirol im Maßstab 1:300.000 (Institut für Landeskunde 1972), sind meist, zumindest was die nicht landwirtschaftlichen Flächen betrifft, als Konzeptbodenkarten zu lesen, die mit bodenkundlichem Sachverstand aus Sekundärinformationen abgeleitet, nicht oder nur stellenweise aus detaillierteren Karten generalisiert worden sind. Denn im Gegensatz zum geologischen, geomorphologischen oder vegetationskundlichen Inventar gibt es nur sehr vereinzelt flächenhafte Detailkartierungen, aus denen das regelhafte Verteilungsmuster der Bodentypen zu entnehmen ist. Punktuelle Beschreibungen und Analysen von Bodenprofilen vermögen dieses Defizit kaum zu beheben, da zum einen ihre Repräsentativität fraglich ist (vgl. Hitz, Egli & Fitze 2002) und sie zum anderen oftmals erst im räumlichen Kontext ausreichend erklärt werden können. Unsicherheiten dieser Art werden nicht selten dadurch bestärkt, dass ein aufgeschlossenes Profil einen anderen Boden zeigt, als zu erwarten gewesen wäre. Dies mag auch damit zusammenhängen, dass Erfahrungen aus Gebieten außerhalb des Alpenraums zu unkritisch auf Gebirgsstandorte übertragen werden. So stößt man in der Literatur immer wieder auf Bodenaufnahmen aus den Alpen, die einer Überprüfung nicht standhalten. Beispielsweise kann die Bemerkung von Veit (2002: 136) nur bestätigt werden, dass es sich bei einigen der in der Literatur beschriebenen „alpinen Rendzinen“ eigentlich um Fels-Auflagehumusböden im Sinne von Kilian et al. (2002: 47) handelt. Differenzierungs- und Systematisierungsbedarf besteht in den Alpen insbesondere auch in Bezug auf die so genannten Humusformen. Sie besagen, wie und wo die organische Substanz im Boden vorliegt. Die abiotischen und biotischen Rahmenbedingungen in den höheren Lagen der Alpen führen dazu, dass Mineral- und Humuskörper weniger intensiv vermischt werden als außerhalb des Gebirges. Daraus ergibt sich eine Fülle unterschiedlicher Formen von Auflagehumus (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 2 und 3), die entsprechend differenziert erfasst werden müssen (z.B. Hiller 2001).

3. Bodenfunktionen im landschaftsökologischen Kontext

Im Protokoll „Bodenschutz“ der Alpenkonvention werden neben den Nutzungsfunktionen des Bodens seine Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte sowie seine natürlichen Funktionen als

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen,

- prägendes Element von Natur und Landschaft,
- Teil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- Umwandlungs- und Ausgleichsmedium für stoffliche Einwirkungen sowie als
- genetisches Reservoir

genannt. Das Protokoll sieht die Verpflichtung vor, die Leistungsfähigkeit des Bodens in Bezug auf diese Funktionen zu erhalten. Im Folgenden sollen diese eher abstrakten Funktionen anhand weniger Beispiele erläutert werden.

Die Funktion des Bodens im Wasserkreislauf wird besonders im Skalenbereich kleiner alpiner Einzugsgebiete und deren Teileinzugsgebiete relevant. Aufgrund sowohl intensiver als auch lang andauernder Niederschläge kommt es in den Wildbächen der Alpen immer wieder zu Hochwasserabflüssen und Murgängen. Dass dem Boden bei der Abflusentstehung neben der Vegetation eine Schlüsselrolle zukommt, wurde immer wieder belegt (Geitner et al. 2005). Für eine Abschätzung der Abflusskoeffizienten homogener Teilflächen, die beispielsweise für die Abflussmodellierung Verwendung finden, sollten daher die wichtigsten Bodenparameter mitberücksichtigt werden (Markart et al. 2004). Die Versickerungs- und Speicherleistungen des Bodens werden aber nicht nur von den natürlichen Faktoren, sondern maßgeblich auch durch die Nutzung bestimmt. Sowohl auf Skipisten als auch auf intensiv beweideten Flächen treten häufig Bodenverdichtung und Erosion auf, wodurch Infiltrations- und Speichervermögen der Böden reduziert und der Oberflächenabfluss erhöht werden. Bodenerhebungen ermöglichen jedoch nicht nur derartige Abschätzungen zum Oberflächenabfluss, sondern stellen auch eine solide Grundlage für die Empfehlungen für Nutzungsänderungen zugunsten des Wasserhaushalts dar. Dies betrifft vor allem Böden, die aufgrund einer feinkörnigen Matrix bei mechanischer Belastung zu Verdichtung und Wasserstau neigen (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 4).

Als Produkt aller bodenbildenden Faktoren kann jeder Boden als Spiegel und Archiv der Naturlandschaft und ihrer Entwicklung betrachtet und interpretiert werden. Dass auch den Böden in den Alpen eine überragende Archivfunktion für spät- und postglaziale Landschaftsentwicklung zukommt, zeigt beispielsweise die Arbeit von Veit (1988). Eine zentrale Rolle spielen dabei fossile Bodenhorizonte, die ehemalige Landoberflächen repräsentieren, in einer späteren Phase stärkerer Morphodynamik jedoch überlagert worden sind (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 5).

Auch im Hinblick auf den anthropogenen Einfluss erweisen sich Böden als aufschlussreiche Archive in der Kulturlandschaft. So ist es beispielsweise bemerkenswert, wie häufig man in Böden der montanen und subalpinen Höhenstufe auf Holzkohle stößt. Auch wenn diese nicht vorschnell als Spuren der Brandrodung gedeutet

werden dürfen, ergeben sich über ihre Datierung in Kombination z. B. mit pollenanalytischen Auswertungen (in Mooren, im Auflagehumus oder sogar in mineralischen Bodenhorizonten) oft wichtige Anhaltspunkte für die Kulturlandschaftsentwicklung (Patzelt, Kofler & Wahlmüller 1997). Neben derart konkreten Hinweisen auf vergangene, menschliche Aktivitäten gibt es auch bodengenetische Phänomene, die im Hinblick auf den Landnutzungswandel gedeutet werden können. Dass es beispielsweise schon in vorhistorischer Zeit durch Rodungseingriffe stellenweise zur Bildung von Feuchtstandorten mit Torfbildung gekommen ist, lassen die Befunde von Geitner (1999: 186 f.) vermuten.

Andere, anthropogen bedingte Bodenveränderungen finden sich jedoch weit häufiger, beispielsweise durch Erosions- und Akkumulationsprozesse, die durch Acker- und Weidenutzungen an steilen Hängen ausgelöst wurden (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 6 und 8), ebenso Anzeichen von Humusverlust durch Streurechen oder das gezielte Abbrennen von Zwergsträuchern, teilweise sogar samt dem darunter akkumulierten Auflagehumus. Die negativen Auswirkungen auf die Bodenqualität treten in diesen Fällen als Nebeneffekte einer bestimmten Nutzung auf. Dass nutzungsbedingte Nebeneffekte auch eindeutig standortverbessernde Wirkungen haben können, zeigen Bodenprofile, die durch Wiesenbewässerung geprägt sind. Durch das in alpinen Trockentälern traditionell gepflegte „Einkehren“ des Wassers von den Waalen auf die Wiesenflächen lagerten sich über Jahrhunderte feine Mineralpartikel zu teils mächtigen Lagen ab. Die so entstandenen Schüttungsböden weisen im Gegensatz zu den ursprünglichen, aus meist grobkörnigem Schutt entwickelten Böden ein weit besseres Nährstoff- und Wasserspeichervermögen auf, wodurch diese Standorte heute durch Trockenheit weniger gefährdet sind (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 7).

4. Bodengefährdung in den Alpen

Wenn man von den Talräumen absieht, befinden sich die meisten typischen Gebirgsböden in größerer Entfernung von Siedlungen, Verkehr, Gewerbe und Industrie, sodass nennenswerte stoffliche Belastungen durch technogenes Material oder punktuelle Emissionen eher die Ausnahme darstellen. Unter den Gesichtspunkten der Bodengefährdung und des Bodenschutzes stehen daher eher quantitative Aspekte im Vordergrund. Dies soll an den Beispielen Bodenerosion, Flächenverbrauch und den Fragen zu klimabedingten Bodenveränderungen kurz angerissen werden.

Aufgrund der hohen Reliefenergie sind viele Böden der Alpen potentiell durch Erosion gefährdet. Auf die durch die Bodenstruktur bedingte Erosionsanfälligkeit wurde bereits hingewiesen. Der Etablierung und Erhaltung eines stabilisierenden Bewuchses kommen somit höchste Priorität zu. Dazu gehören sowohl gezielte Aufforstungen als auch Maßnahmen zur Ausweisung und Pflege von Schutzwäldern. Oberhalb



der Waldgrenze und dort, wo der Wald zugunsten von Wiesen, Weiden oder Skipisten gerodet worden ist, muss auf die Flächen besonderes Augenmerk gerichtet werden, um eine nachhaltige Nutzung zu gewährleisten. An unzähligen Stellen in den Alpen finden sich aktuelle oder historische Erosionsschäden durch zu intensive Weidenutzung (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 6) oder die unsachgemäße Anlage von Skipisten. Mähwiesen stellen dagegen vergleichsweise stabile Systeme dar. Wenn es auf ihnen dennoch zu Schäden durch Erosion kommt, können Veränderungen der Nutzung mit ausschlaggebend sein (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 8). Dass insbesondere aufgelassene Mähwiesen oder Weideflächen durch Vegetationsveränderungen und deren Auswirkungen auf das Schneegleiten zur Bildung von flachgründigen Erosionserscheinungen (Blaiken) neigen, konnten Tasser, Mader & Tappeiner (2005) an mehreren Untersuchungsflächen aufzeigen. Da aktuell in vielen Gebieten der Alpen eine deutliche Extensivierung insbesondere der hoffernen landwirtschaftlichen Flächen erfolgt, ist mit einer gewissen Zunahme von Bodenverlusten zu rechnen. Es muss allerdings ergänzend betont werden, dass die Endstadien dieser Sukzessionen – nach einer kritischen Übergangszeit – in den meisten Fällen wieder stabile Systeme bilden werden.

Dem Auflösen einst intensiv genutzter Flächen abgelegener Gebirgsregionen steht ein extrem hoher Nutzungsdruck und Freiflächenverbrauch in vielen Tallagen gegenüber. Das ist aus bodenkundlicher Sicht sehr relevant, denn auf den Schwemmfächern und den feinkörnigen Sedimenten der Talauen finden sich die fruchtbarsten Böden der Alpen (vgl. Abb. 20, S. 83, Foto 9). Dennoch werden diese in bedenklichem Maße zerstört, indem sie für Wohnungsbau, Gewerbe/Industrie oder Verkehrsflächen abgetragen und/oder versiegelt werden (z.B. Geitner, Tusch & Stötter 2005). Auch wenn diese Tallagen in mancher Hinsicht eher als Sonderstandorte innerhalb des Alpenraums gelten können, ist der Nutzungsdruck auf solche, sehr begrenzt verfügbaren Flächen ein spezifisches Problem von Gebirgsräumen. Somit kommt den Strategien zum vorsorgenden Bodenschutz auch in Siedlungsräumen der Alpen große Relevanz zu (Tusch et al. 2004).

Im Hinblick auf die Zukunft stellt sich auch die Frage, ob und welche Auswirkungen die globale Erwärmung auf die Böden der Alpen haben wird. Auch dieses Thema ist nur inhaltlich, räumlich und zeitlich differenziert zu behandeln. An dieser Stelle sind nur Grundzüge zu skizzieren. Zunächst gilt es zu bedenken, dass sich klimabedingte Bodenveränderungen meist in langen Zeiträumen abspielen, so dass schon von daher ihr aktueller Nachweis, anders als bei der Vegetation beispielsweise, kaum möglich sein dürfte. Zu erwarten wäre aber eine Zunahme all jener Prozesse, die durch die niedrigen Temperaturen limitiert sind, wie Verwitterung, Mineralisierung, biologische Aktivität. Relativ kurzfristig können sich Veränderungen im Humuskörper der Böden zeigen. Allerdings ist hier mit einem differenzierten, höhen- und exposi-

tionsabhängigen Muster zu rechnen: An ausreichend feuchten Standorten wird der Streuabbau durch höhere Temperaturen zunehmen, an eher trockenen Standorten wird sich vermehrt Trockenmoder als organische Auflage bilden.

Eine flächenmäßig und für das alpine Prozesssystem bedeutende Rolle kommt jenen Hochlagen zu, die durch die Erwärmung überhaupt neu für die Bodenbildung zugänglich werden: Die großen Schuttflächen der nivalen Stufe, die von Permafrost durchsetzt sind und aktuell sukzessive ausschmelzen. Wo bisher bodenbildende Prozesse durch permanentes Eis weitgehend verhindert waren, kann jetzt initiale Bodenbildung durch einsetzende Verwitterungsprozesse und durch die Erstbesiedlung von Organismen erfolgen. Dass auch die anderen Höhenstufen durch die Erwärmung „ansteigen“, konnte durch Monitoring hoch gelegener Vegetationsplots belegt werden (Grabherr 2003). Die Böden werden mit starker zeitlicher Verzögerung folgen.

Die Böden der Alpen erweisen sich bei einem genaueren Blick als ausgesprochen vielfältig und zugleich gefährdet. Sie verdienen und benötigen daher einen besonderen Schutz. Mit dem Bodenprotokoll der Alpenkonvention (CIPRA 1998) ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung erfolgt. Für die konkrete Umsetzung ist allerdings auch ein geschärftes, öffentliches Bewusstsein dafür vonnöten, was die Böden der Alpen wirklich leisten und was uns allen verloren geht, wenn sie nicht effektiv geschützt werden können. Neben der grundlegenden Erforschung der Böden in den Alpen sollte es die Wissenschaft daher nicht versäumen, ihre Besonderheiten und ihr Leistungspotenzial immer wieder zu betonen.

5. Literaturverzeichnis

Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hg.) 2005: *Bodenkundliche Kartieranleitung* (KA 5). Hannover, Stuttgart.

Bätzing, W. 2003: *Die Alpen. Entstehung und Gefährdung einer europäischen Kulturlandschaft*. 2. Aufl., München.

Bender, O., Borsdorf, A. & K. Reiter 2005: Ein mehr als steinreiches Land: Geologie und Bodentypen Österreichs. In: A. Borsdorf (Hg.): *Das neue Bild Österreichs. Strukturen und Entwicklungen im Alpenraum und in den Vorländern*. Wien: 19–20.

Blume, H.P. (Hg.) 1992: *Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung, vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen*. 2. Aufl., Landsberg/Lech.

Broll, G. et al. 2005: Guideline for describing soil profiles in mountain ecosystems. In: Broll, G. & B. Keplin: *Mountain Ecosystems. Studies in Treeline Ecology*. Berlin: 1–42.

Burga, C. A., Klötzli, F. & G. Grabherr (Hg.) 2004: *Gebirge der Erde. Landschaft, Klima, Pflanzenwelt*. Stuttgart.



- CIPRA 1998: *Protokoll zur Durchführung der Alpenkonvention von 1991 im Bereich Bodenschutz*. Bled.
- Egli, M. et al. 2005: Modellierung von Bodeneigenschaften im Oberengadin mit Hilfe eines GIS. In: *Geographica Helvetica* 60: 87–96.
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) 2002: *Klassifikation der Böden der Schweiz*. Zürich.
- Eitel, B. 2001: *Bodengeographie*. Braunschweig.
- Franz, H. 1979: *Ökologie der Hochgebirge*. Stuttgart.
- Franz, H. 1994: Fragilität der Ökosysteme des Hochgebirges. In: Franz, H.: *Gefährdung und Schutz der Alpen*. Veröffentlichungen der Kommission für Humanökologie 5, Wien: 7–14.
- Ganssen, R. 1972: *Bodengeographie – mit besonderer Berücksichtigung der Böden Mitteleuropas*. 2. Aufl., Stuttgart.
- Geitner, C. 1999: Sedimentologische und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an fluvialen Sedimenten in den Hochlagen des Horlachtals (Stubai Alpen/Tirol) – Ein Beitrag zur zeitlichen Differenzierung der fluvialen Dynamik im Holozän. *Münchener Geographische Abhandlungen*, Reihe B, 32, München: 247.
- Geitner, C., Tusch, M. & J. Stötter 2005: *Bodenkartierung zur Bewertung der Bodenfunktionen im Gemeindegebiet von Wörgl (Tirol)*. Innsbruck, http://www.tusec-ip.org/publ/download_e8.asp (abgefragt am 01. November 2006).
- Geitner, C. et al. 2005: *Berücksichtigung von Systemzuständen und Unschärfen bei der Bemessung von Hochwasserereignissen in kleinen alpinen Einzugsgebieten. Konzeptionelle Überlegungen zum Aufbau eines Expertensystems*. Geoforum Umhausen 3 (2001-2004): 142–155.
- Gerzabek, M. et al. 2002: Boden – die unterschätzte Ressource? Wege zur Nutzung österreichischer Bodendaten(ch)ätze. *Ländlicher Raum* 01/2002: 1-13, <http://archiv.laendlicher-raum.at> (abgefragt am 01.11.2006).
- Grabherr, G. 2003: Alpine vegetation dynamics and climate change: A synthesis of long-term studies and observations. In: Nagy, L. et al: *Alpine Biodiversity in Europe*. Berlin, Heidelberg.
- Gračanin, Z. 1972: Die Böden der Alpen. In: Ganssen, R.: *Bodengeographie mit besonderer Berücksichtigung der Böden Mitteleuropas*. Stuttgart: 172–195.
- Hiller, B. 2001: *Humusformen im Waldgrenzökoton (Oberengadin, Schweiz)*. Arbeiten aus dem Institut für Landschaftsökologie 9, Münster: 171.
- Hintermaier-Erhard, G. & W. Zech 1997: *Wörterbuch der Bodenkunde*. Stuttgart.
- Hitz, C, Egli M. & P. Fitze 2002: Determination of the sampling volume for representative analysis of alpine soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 165: 326–331.

- Hurni, H., Giger, M. & K. Meyer (Hg.) 2006: *Soils on the global agenda. Developing international mechanisms for sustainable land management*. Bern: 64.
- Institut für Landeskunde der Universität Innsbruck 1972: *Karte des Tirol-Atlas: Bodentypen 1:300.000*. Innsbruck.
- Kilian, W. et al. 2002: Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 67, Wien: 96.
- Körner, C. 2003: *Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. 2. Aufl., Berlin.
- Markart, G. et al. 2004: Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). In: *BFW Dokumentation 3/2004*: 1–85.
- Mergili, M. et al. 2006: SOILSIM – a GIS-based framework for data-extensive modelling of the spatial distribution of soil hydrological characteristics in small alpine catchments. In: Strobl, J., Blaschke, T. & G. Griesebner: *Angewandte Geoinformatik 2006 – Beiträge zum 18. AGIT-Symposium*, Salzburg: 444–453.
- Nestroy, O. et al. 2000: Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 60, Wien: 99.
- Patzelt, G., Kofler, W. & B. Wahlmüller 1997: Die Ötztalstudie – Entwicklung der Landnutzung. In: Universität Innsbruck: *Begleitbeft zur Ausstellung „Alpine Vorzeit in Tirol“*. Innsbruck: 46–62.
- Schachtschabel, P., Blume, H.-P. & G. Brümmer 2002: *Lehrbuch der Bodenkunde* (Scheffer/Schachtschabel). 15. Aufl., Heidelberg.
- Tasser, E., Mader, M. & U. Tappeiner 2005: Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen auf die Blaikenausbildung im Gebirge. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 72, Wien: 193–217.
- Tusch, M. et al. 2004: Bodenbewertung in Stadtregionen des Alpenraums – Projekt TUSEC-IP. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 72, Wien: 93–101.
- Tusch, M., Geitner, C. & J. Stötter 2005: Soils in Urban Planning (Project TUSEC-IP). A Survey in Alpine City Regions. In: Cabernet: Proceedings of Cabernet 2005: *The International Conference on Managing Urban Land Nottingham*. 395–401.
- Veit, H. 1988: Fluviale und solifluidale Morphodynamik des Spät- und Postglazials in einem zentralalpiner Flusseinzugsgebiet (südliche Hohe Tauern, Osttirol). *Bayreuther Geowissenschaftliche Arbeiten* 13, Bayreuth: 1–167.
- Veit, H. 2002: *Die Alpen – Geoökologie und Landschaftsentwicklung*. Stuttgart.
- Zech, W. & G. Hintermaier-Erhard 2002: *Böden der Welt: ein Bildatlas*. Heidelberg, Berlin.