

Untersuchungen zur Variabilität und biologischen Aktivität der Böden im Brixenbachtal (Tirol) und zu ihrem Einfluss auf die Abflussentstehung

von Clemens Geitner, Gertraud Meißl, Alexandra Mätzler, Romed Ruggenthaler, Markus Tusch und Erwin Meyer

1 Einleitung, Fragestellung und Untersuchungsgebiet

Obgleich Böden zentrale Bestandteile von Ökosystemen sind, die den Wasser- und Nährstoffhaushalt maßgeblich steuern, liegen für die Hochlagen der Gebirge - auch in den vergleichsweise gut erforschten Alpen - kaum Daten über ihre Eigenschaften und Verbreitung vor (Geitner 2007). Detaillierte Bodenkarten wären aber nicht nur für wissenschaftliche, sondern auch für angewandte Fragestellungen - z.B. geomorphologischer, hydrologischer oder ökologischer Ausrichtung - von Bedeutung. Das gilt insbesondere angesichts starker Veränderungen in Gebirgsräumen, seien sie nutzungs- oder klimabedingt (Huber et al. 2005, Hagedorn et al. 2010). Vor diesem Hintergrund vereinigt die vorliegende Studie bodenkundliche, bodenzoologische, hydrologische, geomorphologische und vegetationskundliche Zugänge, um den komplexen Prozessen eines Einzugsgebiets in den Alpen besser gerecht werden zu können. Konkret geht es vor allem um eine Erweiterung und Verknüpfung der Kenntnisse über die lokale Bodenvielfalt von Grünlandstandorten, ihre biologische Aktivität und ihre Rolle bei der Abflussentstehung innerhalb der geologischen Einheit der Grauwackenzone. Folgende drei Fragen stehen dabei im Mittelpunkt:

1. Wie groß ist die Variabilität der Bodenmerkmale und Bodentypen von Grünlandstandorten?
2. Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Bodenmerkmalen und der Regenwurmbesiedlung?



Die vorliegenden Auswertungen entstanden an der Schnittstelle mehrerer Drittmittel-Projekte. Fachübergreifend wurden bodenkundliche, hydrologische und ökologische Fragestellungen zusammen geführt und weiter entwickelt. Neben der inhaltlichen Diskussion war vor allem die intensive gemeinsame Geländearbeit der MitarbeiterInnen der Institute für Geographie und Ökologie ein großer Gewinn und von manchen, teils überraschenden Lerneffekten begleitet.

3. Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Bodenmerkmalen, der biologischen Aktivität und dem Abflussverhalten bei Starkniederschlägen?

Für die Klärung dieser, nur interdisziplinär zu bearbeitenden Fragestellung wurde ein Testgebiet mit großer natürlicher und nutzungsbedingter Vielfalt ausgewählt, das Einzugsgebiet des Brixenbaches südlich der Ortschaft Brixen im Thale in den Kitzbüheler Alpen in Tirol (Abb. 1). Es umfasst rund 9 km² Fläche und erstreckt sich von etwa 800 m bis auf 1956 m ü.d.M. (Gampenkogel). Das Gebiet befindet sich in der geologischen Einheit der Grauwackenzone und wird im Wesentlichen von den vier Festgesteinseinheiten Porphyroid, Wildschönauer Schiefer, Wettersteindolomit und Hauptdolomit aufgebaut. Letzterer bildet als isolierte, kalkalpine Scholle den Gipfelbereich des Gaisbergs im östlichen Teil des Einzugsgebiets. Die meisten Böden haben sich jedoch nicht aus Festgestein entwickelt, sondern aus quartären Sedimenten unterschiedlicher Genese: Moränen, Eisrandsedimente, fluviale Ablagerungen im Rand- und Mündungsbereich des Baches sowie rezente Sturzhalden, periglazialer Hangschutt und kleinflächig äolische Ablagerungen. Entsprechend vielfältig ist die Substratzusammensetzung hinsichtlich der Korngrößenverteilung und der mineralischen Anteile. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften dieser meist nur ungenügend differenzierten Substrate steuern maßgeblich die Genese und Merkmale der Böden (Geitner et al. im Druck), damit aber ebenso auch die hydrologischen und ökologischen Verhältnisse.

Die Jahressummen des Niederschlags liegen im Einzugsgebiet zwischen 1300 und 1500 mm, die mittlere Jahresverdunstung beträgt rund 500 mm (Tirol Atlas 2007). Die mittlere Dauer der Schneedecke (min. 1 cm) erstreckt sich über rund 140 Tage in den tieferen und rund 200 Tage in den höheren Lagen (BMLFUW 2007). Vegetation und Nutzung werden im Brixenbachtal von meist altershomogenen Fichtenwäldern und unterschiedlich intensiv genutzten Almflächen dominiert. Aufgrund nachlassender Bestoßung und Pflege der Almen kommt es stellenweise zur Verbuschung mit




Bodentypen





 unbestimmt / kein Boden	 Braunerde-Hanggley-Komplex
 OC-Boden / Rohboden über Festgestein	 Hanggley
 AhC-Boden / Rendzina über Festgestein	 Podsol
 AhC-Boden / Rendzina über Lockergestein	 Niedermoor
 Braunerde über Lockergestein	

Bodenprofile

-  Mähwiese
-  Weide
-  Wald

-  bodenzoologische Erhebung 2008
-  bodenzoologische Erhebung 2008 u. 2009

-  Bodenfeuchte- u. Temperatursensoren
-  Starkregensimulation
-  Infiltrationsmessung

-  Hydrologisches Einzugsgebiet
-  Pegel Brixenbach (Hydrographischer Dienst des Landes Tirol)
-  Niederschlagswaage (Hydrographischer Dienst des Landes Tirol)
-  Niederschlagswippe

- Datenquellen**
- Orthophoto: BEV 2007
 - Bodenkarte: eigene Erhebungen
 - Kartographie: Geographie Innsbruck 2010

Zwergsträuchern und Alpenrose und - an wasserzügigen Hängen - mit Grünerle. Am Talausgang liegen einige zwei- bis dreischürige Mähwiesen, die im Herbst in der Regel

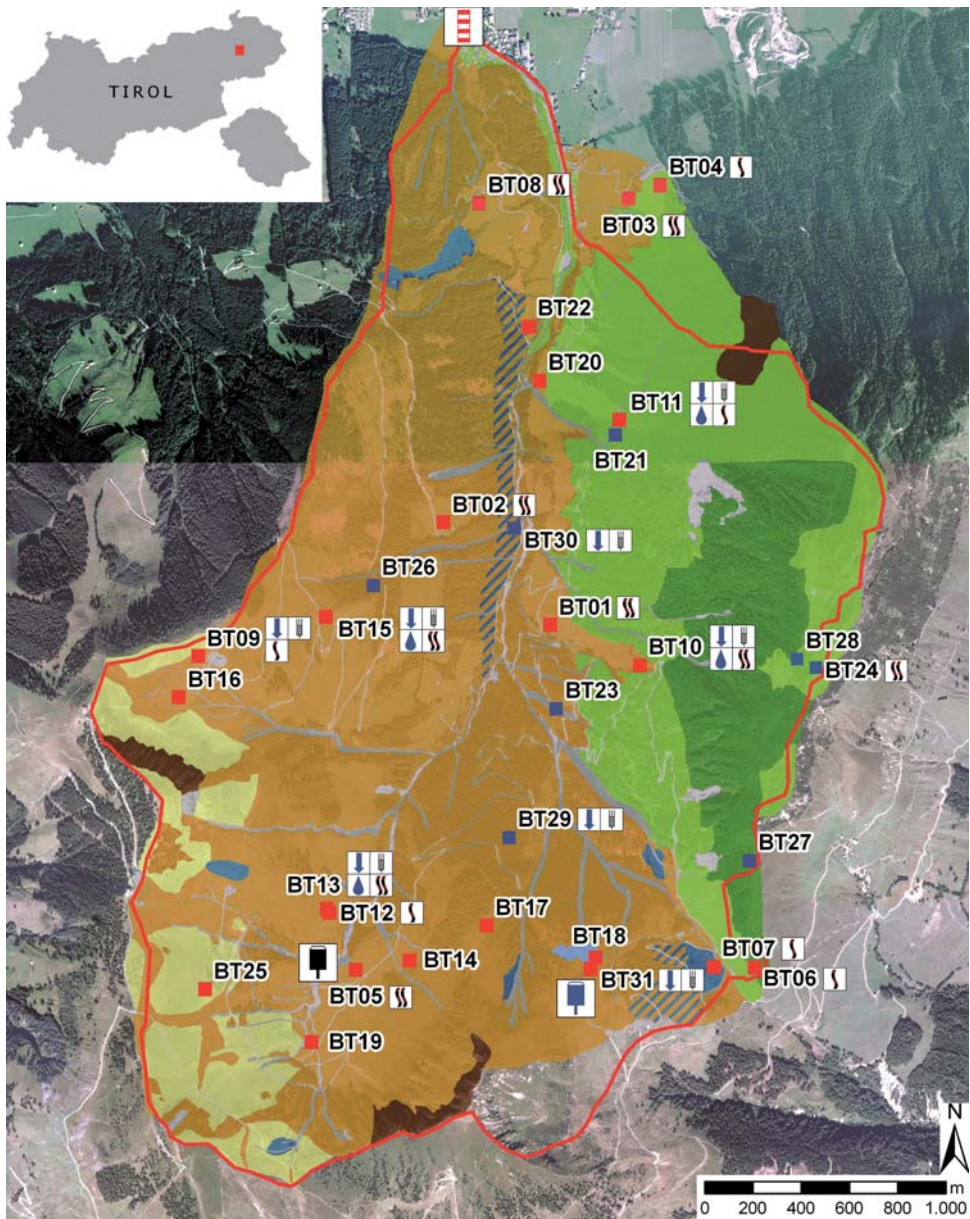


Abb. 1: Das hydrologische Einzugsgebiet des Brixenbaches mit den dominierenden Bodentypen, den Bodenprofilen sowie den Beprobungs- und Messpunkten (eigene Darstellung, Quelle: BEV 2007)

als Nachweide genutzt werden. Ein Anteil der Fläche von rund 1 % wird als Skipiste genutzt und wurde teilweise planiert. Das Brixenbachtal gehört nach Kilian et al. (1994) zum Wuchsgebiet „Nördliche Zwischenalpen“ und wäre unter natürlichen Verhältnissen - abgesehen von den höchsten, steilen Gipfelpartien - vollständig bewaldet, allerdings mit nennenswerten Anteilen an Weißtanne und Rotbuche. Auf der Dolomitdecke des Gaisbergs trifft man verbreitet auf dichtes Latschengebüsch, im Talgrund finden sich bachbegleitende Auwaldbestände und auf einer Hangverflachung nordöstlich des Gampenkogels liegt ein größerer Niedermoorkomplex.

2 Methodik

Aufgrund vorliegender Informationen zur Geologie, Geomorphologie, Vegetation und Nutzung wurden insgesamt 31 bodenkundliche Untersuchungsstandorte zwischen 910 und 1.735 m ü.d.M. festgelegt. Von diesen Standorten wurde für die bodenzoologischen Erhebungen eine engere Auswahl von 15 Grünlandstandorten getroffen, an denen – in der Regel wenige Meter vom Bodenprofil entfernt – jeweils drei Proben genommen und die Ergebnisse zusammengefasst wurden. Die in Tabelle 1 vorgestellten Bodenkennwerte beschränken sich ebenfalls auf diese 15 Standorte. Versickerungsmessungen sind an 19, Beregnungsversuche an vier, Aufzeichnung der Bodenfeuchte an acht Standorten durchgeführt worden (zur Lage der Bodenprofile sowie der Beprobungs- und Messpunkte vgl. Abb. 1). Zur Erfassung der lokalen Variabilität der hydrologischen Bodeneigenschaften fanden die Versickerungs- und Beregnungsversuche zu verschiedenen Zeitpunkten an jeweils drei, nur wenige Meter voneinander entfernten Stellen (Ringe A bis C) pro Testfläche statt.

2.1 Bodenaufnahme und -analysen

Die bodenkundliche Datenaufnahme an den 31 Profilen (vgl. Abb. 1) wurde mit rund 70 zusätzlichen Pürckhauer-Sondierungen abgesichert und auf die Fläche des Einzugsgebiets ausgedehnt. Die Mehrzahl der Standorte lag auf Almweiden. Um die Auswirkungen unterschiedlicher Nutzung besser beurteilen zu können, wurden ergänzend drei Standorte auf Mähwiesen und sechs unter Wald erfasst (Geitner et al., in Vorbereitung). Für die Bodenansprache wurden verschiedene Standards kombiniert (Ad-hoc AG Boden 2005, Englisch & Kilian 1999, Markart et al. 2004). Die systematische Einordnung der Bodentypen folgte der österreichischen Bodensystematik (Nestroy et al. 2000, Kilian 2002). Neben der Bodenaufnahme wurde eine detaillierte Ansprache des Lockersubstrats im untersten Profilbereich durchgeführt. Ergänzend wurde die Vegetation mit den bestandsbildenden sowie relevanten Zeigerarten erhoben.

Die bodenkundlichen Analysen orientierten sich im Wesentlichen an Schlichting et al. (1995). Die Glühverluste wurden bei 430°C ermittelt; sie entsprechen weitgehend dem Gehalt der organischen Substanz. Die pH-Werte wurden in CaCl₂ gemessen, die C- und N-Werte bei 950°C mit dem Gerät TruSpec CN. Die Skelettgehalte wurden im Gelände abgeschätzt, durch die Messung des Feinkieses auf mögliche Unterschätzung überprüft und fallweise korrigiert.

2.2 *Bodenbiologische Erhebungen*

Die bodenbiologischen Erhebungen (2008/2009) beschränkten sich auf die Gruppe der Regenwürmer. Um diese möglichst vollständig zu erfassen, wurden drei Fangmethoden kombiniert, die Oktett- und die Kempson-Methode sowie der Handfang. Bei der Oktett-Methode als quantitative Fangmethode erfolgt eine elektrische Austreibung der Regenwürmer durch die Erzeugung eines homogenen Stromfeldes im Boden (Thielemann 1986). Diese Methode ist schnell durchführbar, die Regenwürmer stehen sofort für nachfolgende Determinationsarbeiten zur Verfügung, und sie wirkt weder kurz- noch längerfristig destruktiv auf Boden und Bodenfauna (Coja et al. 2008). Anschließend wurde für die Anwendung der Kempson-Methode eine Bodenprobe mit 30 cm Durchmesser und 7-15 cm Tiefe – je nach Ausprägung des Oberbodens – ausgestochen. Mit dieser quantitativen Methode, modifiziert nach Meyer (1980, 1996), wurden die Regenwürmer und die restliche aktive Bodenmakrofauna durch die Erzeugung von Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsgradienten im Labor aus der Bodenprobe extrahiert. Der Handfang als qualitative Methode diente zur Ergänzung des Artenspektrums am Untersuchungsstandort. Gesucht wurde dabei u.a. in der Umgebung von und unter alten Kuhfladen, in kleinen Mulden sowie unter Steinen oder losgetretenen Erdbrocken.

Die Bestimmung der Regenwürmer wurde am Mikroskop mithilfe des synoptischen Bestimmungsschlüssels für Regenwürmer nach Christian & Zicsi (1999) durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte nach Biomasse, Abundanz (Individuendichte) und Artenzahl. Zudem wurden die Lebensformen der Regenwürmer (epigäisch, hemiedaphisch und endogäisch) berücksichtigt, die hier kurz erläutert werden sollen. Die eher kurzlebigen und kleinen Arten der epigäischen Regenwürmer leben in der Humusaufgabe der Böden oder in anderen Anhäufungen organischer Substanz, zersetzen den pflanzlichen Bestandesabfall an der Bodenoberfläche (Dunger 1983) und beeinflussen somit den Mineralboden kaum. Zu den endogäischen Regenwürmern zählen sowohl kleine als auch große Arten mit bis zu 150 mm Länge mit mittlerer Lebensdauer. Ihre Nahrung besteht aus den im Mineralboden enthaltenen organischen Bestandteilen. Ihre Grabaktivität findet meist in den oberen 10 bis 15 cm des Mineralbodens statt, die Wohnröhren können aber auch bis in 30 oder sogar 50 cm Bodentiefe reichen (Dunger 1983). Die Kotkrümel, mit denen sie ihre Wohnröhren auskleiden, stabilisieren den Boden. Ihre wühlende Lebensweise hat zudem einen positiven Einfluss auf die Durchlüftung und Wasserrückhaltekapazität des Bodens (Edwards 2004). Die dritte Gruppe, die hemiedaphischen Regenwürmer, können – je nach Bodenbedingungen – zwischen epi- und endogäischer Lebensweise wechseln.

2.3 *Hydrologische Erhebungen*

Zur Beurteilung des hydrologischen Verhaltens von einzelnen Standorten, Teileinzugsgebieten und dem gesamten Einzugsgebiet wurden folgende Untersuchungen und Messungen durchgeführt (vgl. auch Abb. 1):

- Flächendeckende Vegetations- und Nutzungskartierung unter besonderer Berücksichtigung von Feuchtezeigern (Maßstab 1:5000)
- Regelmäßige Abflussmessungen für Teileinzugsgebiete mit der Salzverdünnungsmethode (LfU Baden-Württemberg 2002) zu verschiedenen Zeitpunkten und Systemzuständen (während Trockenperioden, während und nach Niederschlagsereignissen)
- Bestimmung der Wassertemperatur und elektrischen Leitfähigkeit an verschiedenen Bachabschnitten zu unterschiedlichen Zeiten und Systemzuständen (Moore et al. 2008)
- Bestimmung der Versickerungsraten mit Hilfe von Doppelringinfiltrometermessungen an verschiedenen Standorten zu verschiedenen Zeitpunkten und Systemzuständen
- Bestimmung des Oberflächenabflusses bei Starkregen mit Hilfe einer Kleinberegnungsanlage (Beregnungsfläche 1m², ca. 90 mm/h, vgl. Abb. 3) (Fuchs et al. 2000)
- Messung des Niederschlags im Bereich der Wiegalm (Niederschlagswippe)
- Installation und Betrieb eines Bodenfeuchtemessnetzes (8 repräsentative Standorte à 3 Bodenfeuchtesensoren und ein Bodentemperaturfühler, Messwerte im Halbstundenintervall aufgezeichnet durch einen Logger)
- Auswertung der Niederschlags- und Abflussmessdaten des Hydrographischen Dienstes (Niederschlagswaage im Einzugsgebiet bei der Talkaseralm, Abflussmessung am Talausgang) (Gruber in Vorbereitung)
- Beobachtung der Gebietsreaktion auf Niederschlagsereignisse (z.B. schneller Zwischenabfluss in der Rohhumusauflage unter Zwergsträuchern nach Gewitter, Pipeflow nach langanhaltenden Niederschlägen, Murabgang aufgrund von Zwischenabfluss in hangwasserzügigem Wald)
- Kartierung der Quellen, Messung ihrer Schüttung, der Wassertemperatur und elektrischen Leitfähigkeit (Ehrne in Vorbereitung)
- Erstellung einer Karte der dominanten Abflussprozesse nach Anleitungen auf Basis der Geländebefunde und Bodendaten (Markart et al. 2004, Scherrer 2006)

Ziel der sich mosaikartig ergänzenden hydrologischen Erhebungen ist die Abschätzung der Bandbreite möglicher Abflussreaktionen des Einzugsgebiets bei realistisch möglichen Systemzuständen, unter denen Starkregenereignisse auftreten können.

3 Ergebnisse

Es können im Folgenden nur ausgewählte Ergebnisse dargestellt und andiskutiert werden. Abbildung 1 zeigt die dominierenden Bodentypen des Einzugsgebiets. Ihre Verteilung zeichnet deutlich die Gesteins-, die Feuchte- und die Vegetationsverhältnisse nach. Beispielsweise finden sich Podsole fast ausschließlich auf nur noch extensiv genutzten und daher zwergstrauchreichen Weideflächen. In Tabelle 1 sind die Analysen

von Ober- und Unterböden der 15 ausgewählten Grünlandstandorte in statistischen Kennwerten zusammengefasst. Sie zeigen, wie groß die Spannweiten der ökologisch relevanten Merkmale sind; beispielsweise reichen die pH-Werte der Oberböden von 3,3 bis 7,2. Die Analysewerte der Unterböden stammen aus unterschiedlichen Profiltiefen und sollen nur einen Eindruck der vertikalen Gradienten vermitteln.

Abbildung 2 zeigt für dieselben Standorte – angeordnet nach Nutzung, Gesteinsgruppe bzw. pH-Wert – die Regenwurmbesiedlung anhand der Kriterien Biomasse, Abundanz (Individuenzahl) und Artenzahl. Auch diese Ergebnisse belegen eine große Variationsbreite; allein bei der Biomasse der Almweiden differieren die Werte um den Faktor 20. Die Verteilungsmuster zeigen zwar gewisse Beziehungen zur Nutzung und Gesteinsgruppe, die Zusammenhänge scheinen aber wesentlich komplexer zu sein. Insgesamt konnten folgende zwölf Regenwurmart nachgewiesen werden: *Dendrobaena octaedra*, *Dendrodrius rubidus*, *Octodrilus argoviensis*, *Eiseniella tetraedra tetraedra*, *Octolasion lacteum*, *Aporrectodea rosea*, *A. caliginosa*, *A. handlirschi*, *Lumbricus castaneus*, *L. terrestris*, *L. rubellus* sowie eine weitere Art auf Gattungsniveau (*Eisenia*).

	Minimalwert	Medianwert	Maximalwert
Skelettgehalt (Vol.-%)			
Oberboden	2	20	45
Unterboden	30	80	90
Sandgehalt (Gew.-%)			
Oberboden	17	38	52
Unterboden	39	65	84
Glühverlust (Gew.-%)			
Oberboden	8,9	15,7	37,1
Unterboden	0,4	2,0	7,1
pH-Wert (CaCl ₂)			
Oberboden	3,3	4,8	7,2
Unterboden	3,9	4,8	7,4
C/N-Verhältnis			
Oberboden	8,3	10,5	15,1

Tab. 1: Minimal-, Median- und Maximalwert der Analysen des Oberbodens (0-10 cm) und Unterbodens (in der Regel BC- bzw. Cv-Horizonte, mindestens unterhalb von 10 cm, meist unter 50 cm) von den 15 Profilstandorten (n=15) mit bodenzoologischer Auswertung unter Grünland im Brixenbachtal.

Vor dem Hintergrund großer Variabilität bodenphysikalischer, -chemischer und -biologischer Eigenschaften werden die Zusammenhänge zwischen Bodenprofil, Regenwurmbesiedlung und Versickerungsleistung nachfolgend an drei Testflächen (BT11,

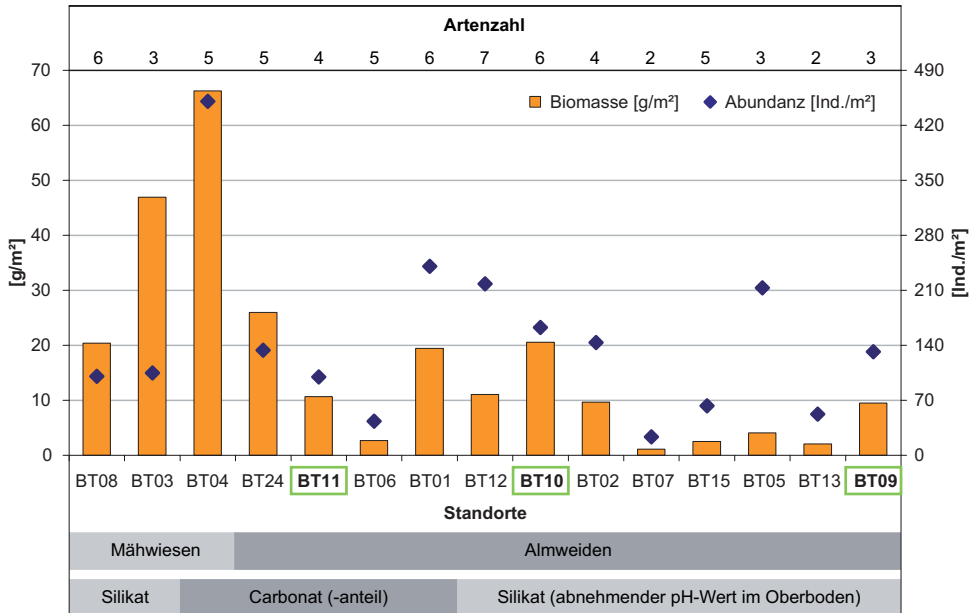


Abb. 2: Biomasse, Abundanz (Individuendichte) und Artenzahl der Regenwurmbesiedlung im Brixenbachtal, angeordnet nach Nutzung, Gesteinsgruppe bzw. pH-Wert (Aufnahme Juni-September 2008, $n=3$ je Standort; BT10: Aufnahme Juni-Juli 2009, $n=6$). Die Artenzahl umfasst quantitative und qualitative Fangmethoden. Die hervorgehobenen Standorte BT11, BT10 und BT09 werden weiter unten genauer vorgestellt.

BT10 und BT09) exemplarisch vorgestellt. Wie Abbildung 2 zeigt, repräsentieren diese Testflächen – bodenbiologisch betrachtet – nicht die extremen, sondern eher die mittleren Standorte. Die in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellten „Steckbriefe“ umfassen neben den üblichen Lageparametern und der Kennzeichnung von Bodenform, Vegetation und Nutzung (a) ein Foto des Standortes mit der Position der Profilstelle, (b) das Bodenprofil mit den Horizontbezeichnungen und -mächtigkeiten, (c) Analysewerte der zwei obersten Horizonte, (d) Werte der Biomasse und Abundanz von Regenwürmern sowie (e) die prozentualen Anteile der Lebensformen, (f) Angaben zum Oberflächenabfluss und (g) Auswertungen der Versickerungsmessungen. Die letztgenannten hydrologischen Untersuchungen erfolgten an drei Stellen pro Testfläche, die jeweils mit Ring A, B und C benannt sind.

3.1 Testfläche BT11

Abbildung 3 gibt einen Überblick zu den Untersuchungsergebnissen auf der Testfläche BT11. Folgende Befunde sind hervorzuheben:

- Standort: Gebuckelte, kleinstandörtlich stark differenzierte Wiese

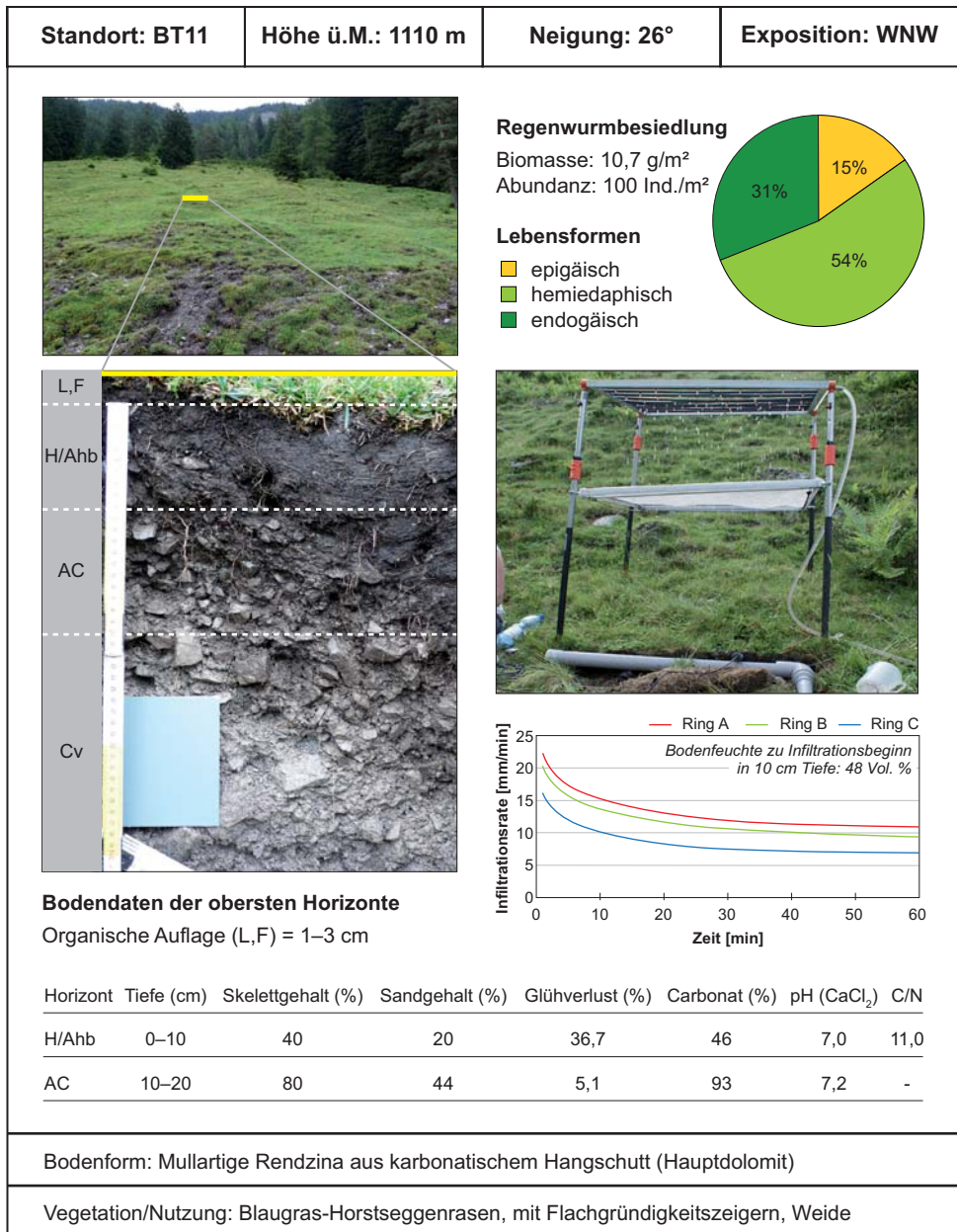


Abb. 3: Zusammenstellung der Standortsinformationen sowie der bodenkundlichen, -zoologischen und -hydrologischen Befunde für die Testfläche BT11.

- Bodenprofil: Mullartige Rendzina, oberer Profilabschnitt trotz skelettreichem Substrat mit hohem Feinanteil (fast 80 % Schluff in der Feinerde), muss aufgrund der hohen Humusgehalte zum Teil als organische Auflage angesprochen werden
- Regenwurmbesiedlung: Die Biomassewerte dieses Standortes sind zwar so niedrig wie jene von BT09, zusätzlich ist jedoch die endogäische Lebensform mit einem Drittel Anteil vertreten. Somit ist davon auszugehen, dass gute Stabilität und Wasserrückhaltekapazität des Oberbodens gegeben sind.
- Versickerung (Doppelringinfiltrationsmessungen): Sehr große Infiltrationskapazität, kein Zusammenhang mit der Niederschlagsvorgeschichte erkennbar
- Oberflächenabfluss (bei Starkregen, simuliert mit Kleinberegnungsanlage): Nur auf kleinflächigen Trittstellen, versickert nach wenigen Dezimetern (Wegen ausbleibendem Oberflächenabfluss ist in Abbildung 3 das Diagramm durch ein Foto der Kleinberegnungsanlage ersetzt.)
- Ansprache des dominanten Abflussprozesses nach Entscheidungsbaum von Scherrer (2006): DP (Tiefenversickerung)

Entscheidend für die dauerhaft hohe Infiltrationskapazität an diesem Standort ist die ungleichmäßige Ausprägung des Bodens über die auch morphologisch stark differenzierte Fläche, sein hoher Skelettgehalt, die biologische Aktivität im Oberboden und der geringe Feinanteil im Unterboden.

3.2 Testfläche BT10

Abbildung 4 gibt einen Überblick zu den Untersuchungsergebnissen auf der Testfläche BT10. Aus logistischen Gründen liegt in diesem Fall der Standort des Bodenprofils ca. 150 m oberhalb des Standorts der hydrologischen Untersuchungen. Die Geländebefunde lassen jedoch die begründete Annahme zu, dass die Ergebnisse übertragbar sind. Folgende Befunde sind hervorzuheben:

- Standort: Steile Wiese, durch hangabwärts ausgerichtete Rücken und Senken eher großflächig morphologisch differenziert, stellenweise stark ausgeprägte Viehgangeln mit lokalem Wasserstau
- Bodenprofil: Carbonatfreie Braunerde mit Gleymerkmalen im stauenden Unterboden; kaum Hangschutt, sondern in situ verwitterter, anstehender Schiefer
- Regenwurmbesiedlung: Aufgrund des hohen Anteils endogäischer und hemiedaphischer Regenwürmer ist anzunehmen, dass gute Stabilität und Wasserrückhaltekapazität des Oberbodens bestehen.
- Versickerung (Doppelringinfiltrationsmessungen): Mittlere Versickerungsraten im Vergleich mit den anderen Standorten, kein eindeutiger Zusammenhang zur Niederschlagsvorgeschichte herstellbar
- Oberflächenabfluss (bei Starkregen, simuliert mit Kleinberegnungsanlage): Die Abflussbeiwerte bei den drei, am Standort durchgeführten Versuchen betragen

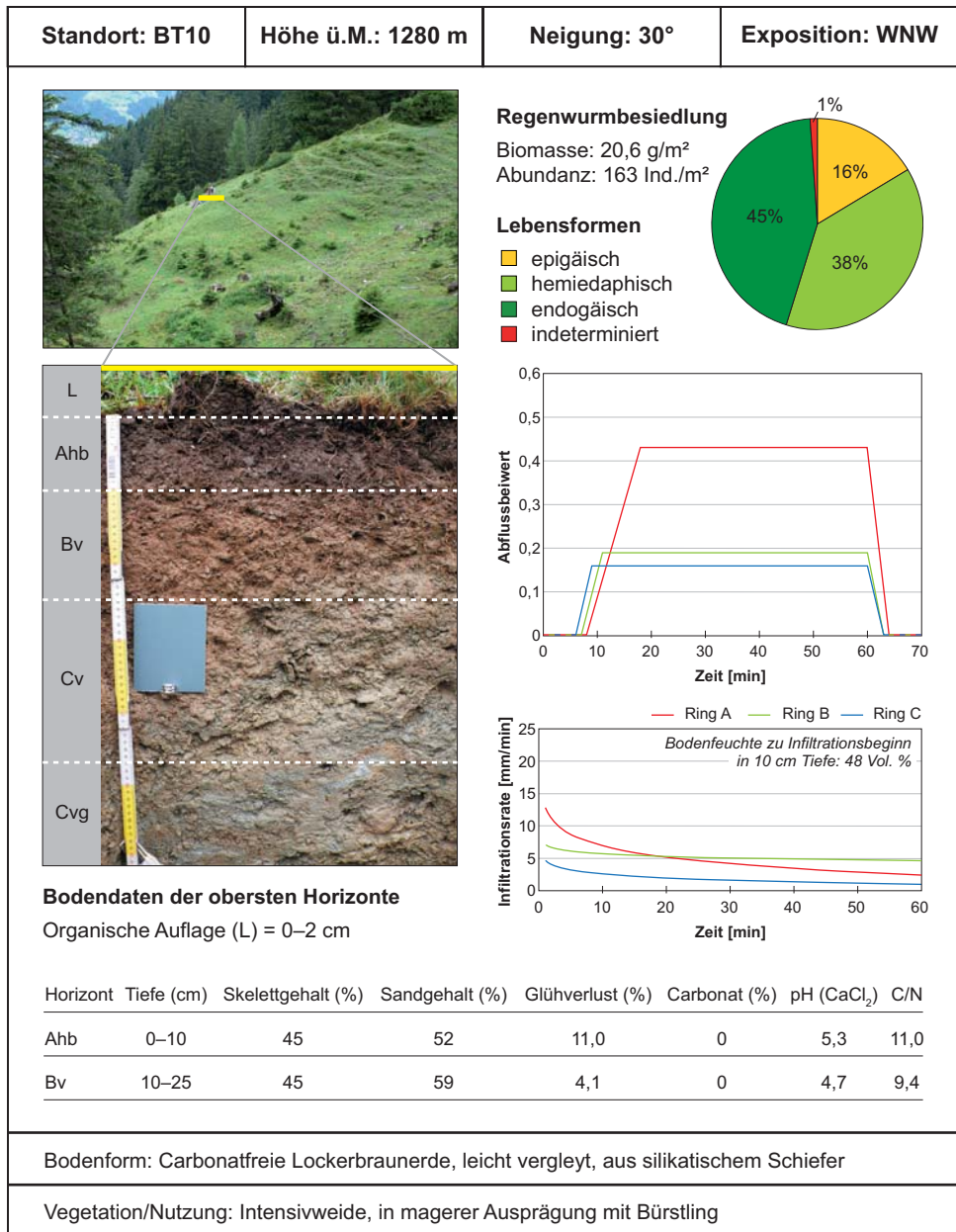


Abb. 4: Zusammenstellung der Standortsinformationen sowie der bodenkundlichen, -zoologischen und -hydrologischen Befunde für die Testfläche BT10.

bei eher feuchten Vorbedingungen zwischen 0,2 und 0,5 (d.h. 20% bis 50% des aufgetragenen Niederschlags flossen oberflächlich bzw. oberflächennah ab).

- Ansprache des dominanten Abflussprozesses entsprechend dem Entscheidungsbaum von Scherrer (2006): SSF2 (verzögerter Zwischenabfluss) auf Stauschicht im Untergrund

Entscheidend für den nennenswerten Anteil an Oberflächenabfluss ist hier der durch den feinkörnigen Schiefer gebildete stauende Untergrund. Wenn der durch die hohe biologische Aktivität gut ausgeprägte Grobporenraum im Oberboden wassergesättigt ist, ist die weitere Versickerung eingeschränkt.

3.3 Testfläche BT09

Abbildung 5 gibt einen Überblick zu den Untersuchungsergebnissen auf der Testfläche BT09. Folgende Befunde sind hervorzuheben:

- Standort: Stellenweise stufig ausgeprägter Mittelhang, einzelne Stellen am Hang sind trotz des relativ kurzen Oberhangs so feucht, dass sich immer wieder kleinere Wollgras-Bestände finden lassen (vermutlich aufgrund des Moränenanteils im Lockermaterial)
- Bodenprofil: Relativ mächtige organische Auflage und deutliche Podsolierungserscheinungen im Oberboden
- Regenwurmbesiedlung: Die endogäischen Regenwurmarten fehlen hier völlig und die hemiedaphischen sind nur zu etwa einem Drittel Anteil vertreten. Die dadurch fehlende Bioturbation wirkt sich negativ auf Stabilität und Wasserrückhaltekapazität des Bodens aus.
- Versickerung (Doppelringinfiltrationsmessungen): Geringe Infiltrationsrate nur zu Beginn der Infiltrationsmessungen, nach wenigen Minuten keine weitere Versickerung; auch bei niederschlagsarmer Vorgeschichte nur geringfügig erhöhte Infiltrationskapazität.
- Oberflächenabfluss: An dieser Testfläche wurde keine Beregnung durchgeführt. Am 2. Juli 2008 konnten jedoch in der Nähe dieses Standorts bei einem heftigen Gewitter starker Oberflächenabfluss sowie schneller Zwischenabfluss in der Rohhumusaufgabe unter Zwergsträuchern beobachtet werden (vgl. Abb. 5). Letzterer wird auch von Tilch et al. (2006) aus dem Einzugsgebiet des Löhnersbachs berichtet.
- Ansprache des dominanten Abflussprozesses entsprechend dem Entscheidungsbaum von Scherrer (2006): HOF1 (schneller Oberflächenabfluss durch Infiltrationsüberschuss) sowie SSF1 (schneller Zwischenabfluss)

Die ungünstigen Infiltrationsbedingungen dieses Standortes gehen auf die geringe biologische Aktivität und die daraus resultierende mächtige organische Auflage zurück. Zusätzlich scheint der Mineralboden zumindest stellenweise wassergesättigt zu sein, was mit dem Moränenanteil im Lockermaterial zusammenhängen dürfte.

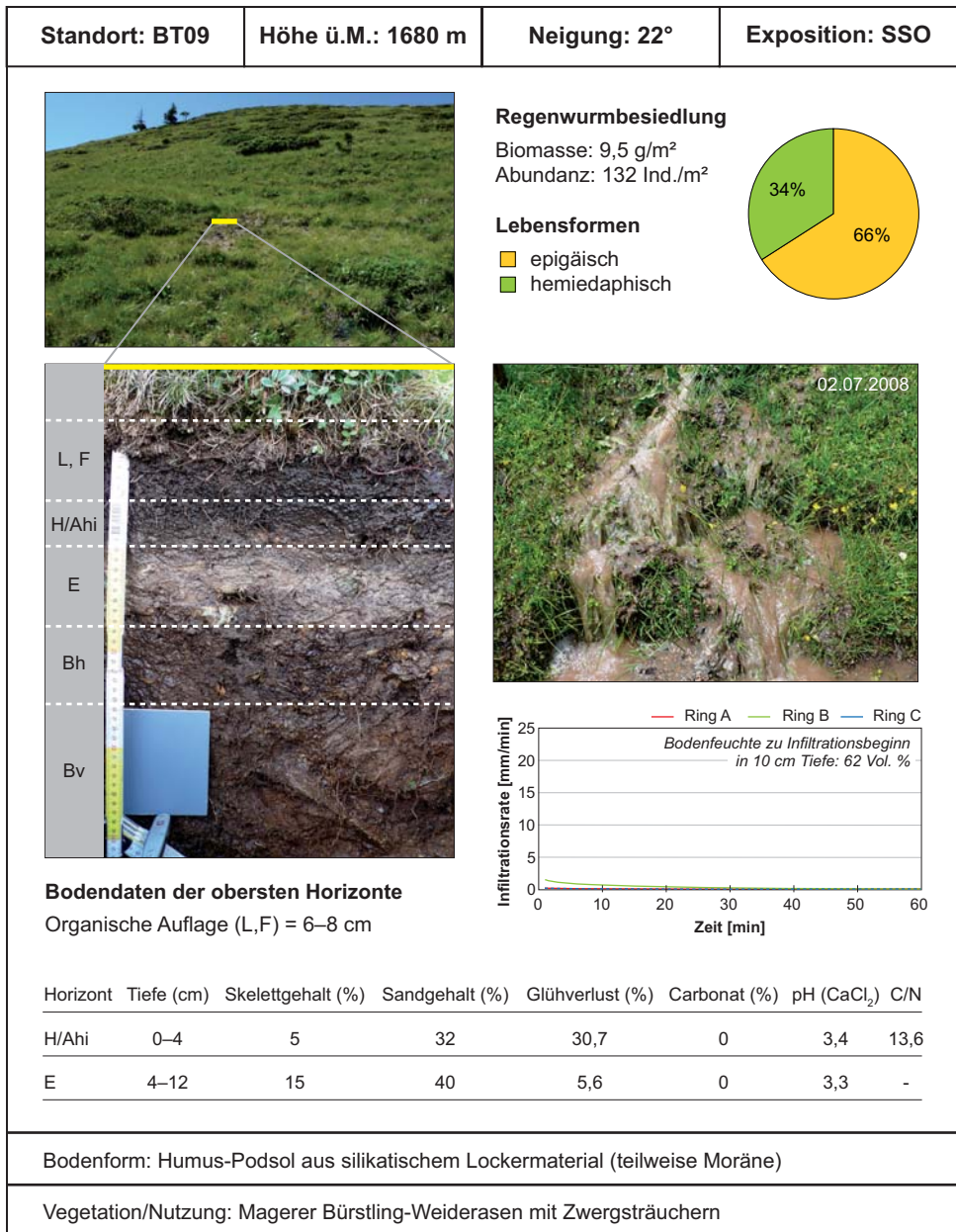


Abb. 5: Zusammenstellung der Standortsinformationen sowie der bodenkundlichen, -zoologischen und -hydrologischen Befunde für die Testfläche BT09.

4 Synthese und Diskussion

Die drei vorgestellten Testflächen bestätigen, dass die Variabilität hinsichtlich Bodenmerkmalen, Regenwurmbesiedlung und Abflussverhalten im Brixenbachtal groß ist. Für ein umfassendes Verständnis der Stoffflüsse eines solchen Einzugsgebiets muss daher die Aufnahme dieser Phänomene räumlich ausreichend differenziert erfolgen. Zusammenhänge zwischen Bodenmerkmalen, Regenwurmbesiedlung und Abflussverhalten lassen sich an den Testflächen zwar gut erkennen, diesbezügliche statistische Auswertungen liegen noch nicht vor. Dazu sollte zum einen die Datenmenge noch umfangreicher sein. Zum anderen ist aber generell anzumerken, dass jeder Standort seine speziellen Eigenheiten im Hinblick auf Merkmalsdominanz und -kombination aufweist, so dass auch bei größerem Datenumfang statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen quantifizierbaren Merkmalen oftmals fehlen. – Eindeutige Zusammenhänge zeigt der vorliegende Datensatz in Bezug auf die Lebensformen der Regenwürmer und die Humusformen; so kommen – erwartungsgemäß – z.B. bei BT09 mit mächtiger organischer Auflage keine endogäischen Lebensformen vor.

Der bodenbiologische Zustand der Weideflächen – und damit auch ein Teil der abflussrelevanten Bodenmerkmale – scheinen vor allem durch die Nutzungsintensität gesteuert zu sein. Das regelmäßige Abgrasen und der lokale Düngereintrag aktivieren das Bodenleben maßgeblich und verhindern die Dominanz von Bürstling (*Nardus stricta*) und das Aufkommen von Zwergsträuchern. Standorte, auf denen Oberflächenabfluss dominiert, weisen insgesamt eine eher geringe Regenwurmbesiedlung auf, die zudem vor allem aus Lebensformen besteht, welche die Struktur des Mineralbodens nicht beeinflussen. Allerdings ist an den betroffenen Standorten in der Regel nicht nur der Mangel an Bodenlebewesen für die großen Oberflächenabflussraten verantwortlich, sondern es tragen auch andere, aus der Bodengenese des Mineralbodens resultierende Bodeneigenschaften (z.B. Vergleyung) mit dazu bei. Ebenso sind die spezifischen Einflüsse der Vegetation zu berücksichtigen, so z.B. der hohe Anteil an dachziegelartig angeordneter toter Biomasse des Bürstlinggrasens oder der mitunter sehr dichte Wurzelfilz einiger Weideflächen.

Anhand der vorliegenden Daten stellt sich die generelle Frage, wie groß die Variabilität der einzelnen Merkmale ist und in welchem Maßstabbereich diese wechseln. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass die Regenwurmbesiedlung sehr kleinräumig variiert, so dass eine große Stichprobenzahl nötig ist, um eine relativ homogen erscheinende Weidefläche in ihrer Variationsbreite zu charakterisieren. Die Böden wechseln in ihren wichtigsten Merkmalen deutlich weniger kleinräumig. Der Prozess der Abflussentstehung integriert in der Regel über noch größere Einheiten. Diese Zusammenhänge sind bei der Übertragung der Informationen vom Punkt auf die Fläche mit zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf den aktuellen Systemzustand zeigt die Zusammenschau aller untersuchten Flächen, dass sich die Infiltrationseigenschaften von Standorten, an denen aufgrund ihrer Vegetations- und Bodeneigenschaften sehr viel (z.B. Waldstandorte, überwachsene Sturzhalden) bzw. sehr wenig (z.B. Feuchtstandorte) Wasser versickern

kann, bei unterschiedlicher Bodenfeuchte nicht so stark verändern wie bei Standorten mit mittlerem Versickerungsvermögen (z.B. Hanglagen auf Moränenmaterial oder Hangschutt mit Zwergstrauchbewuchs und Bürstling). Die letztgenannten Standorte können somit unter günstigen Bedingungen große Niederschlagsmengen aufnehmen, unter ungünstigen Bedingungen große Abflussmengen erzeugen. In Abhängigkeit von ihrer Lage im Einzugsgebiet und ihrer Anbindung an das Gerinnenetz kann somit ihr Zustand zum Zeitpunkt eines Niederschlagsereignisses die Abflussreaktion des Einzugsgebiets entscheidend beeinflussen.

5 Fazit und Forschungsperspektiven

Die vorliegende Studie hat bestätigt, wie ergiebig die disziplinübergreifende Zusammenarbeit für das Verständnis der Ökosystemstruktur eines Einzugsgebiets ist. Gerade auch die gemeinsame Geländearbeit eröffnet neue Fragen und das Potential für vertiefende Diskussionen. Trotz guter Datenlage zu Geologie, Relief, Vegetation und Nutzung kommt die Prozessabschätzung nicht ohne gründliche Feldaufnahme aus. Zum einen kann nur so die Qualität der vorliegenden Daten realistisch abgeschätzt werden, was für ihre weitere Verwendung essentiell ist. Zum anderen ermöglicht nur die Arbeit im Gelände das Entdecken bisher unbedachter, mitunter aber relevanter Phänomene. Auch ein Gebiet in seiner Reaktionsweise bei unterschiedlichen Systemzuständen kennenzulernen, ist von kaum überschätzbarem Wert.

Für die Praxis – z.B. für die Abschätzung möglicher Hochwässer – stellt sich dadurch die Frage, wie eine Aufnahme der wichtigsten Parameter mit minimalem Aufwand zu bewerkstelligen ist, ohne über die notwendigen Differenzierungen hinwegzugehen. Eine essentielle Hilfe dazu würden räumlich und inhaltlich genauere Informationen zum Substrataufbau und Relief bieten. So konnten Meißl et al. (im Druck) für das Brixenbachtal zeigen, dass bei der Abschätzung des Abflusstyps eine differenzierte Reliefeinbindung (v.a. durch die Parameter horizontale und vertikale Krümmung sowie Hangneigung bezogen auf die 690 x 690 m-Umgebung und den topographischen Feuchteindex) Bodeninformation teilweise ersetzen kann. Um aber mögliche Auswirkungen von Klima- und Nutzungswandel auf die Ökosysteme in Gebirgen räumlich differenziert abschätzen zu können, braucht es dringend umfangreiche Bodendaten außerhalb der landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Was den Zusammenhang zwischen Bodeneigenschaften und Regenwurmbesiedlung betrifft, hat sich gezeigt, dass auf einigen Flächen noch kleinräumiger gearbeitet werden muss. Dementsprechend wurden 2009 ergänzende Aufnahmen durchgeführt, die derzeit statistisch ausgewertet werden (Geitner et al. in Vorbereitung), hier aber weitgehend außer Acht gelassen wurden. An ihnen scheint sich zu bestätigen, dass insbesondere die Humusform und die damit zusammenhängenden Parameter (z.B. C/N-Verhältnis) mit der Biomasse der Regenwürmer gut korrelieren.

Zur Fortsetzung dieser Studien soll das Potential flugzeuggestützter Laserscandaten ausgelotet werden. Dies ist vor allem in Gebieten möglich, die in ihrem Inventar

bereits gut bekannt sind. Zur Vertiefung des Prozessverständnisses wäre ein Ausbau des hydrologischen Messnetzes wünschenswert. Um den Wechsel der Systemzustände besser beschreiben zu können, werden die aufgezeichneten Daten zur Bodenfeuchte weiter ausgewertet. Im Hinblick auf die Wasserflüsse im Untergrund werden zurzeit Untersuchungen an Quellen (Ehrne in Vorbereitung) vorgenommen. Zur Differenzierung der Weideflächen sollten die aktuellen und früheren Nutzungen genauer erfasst werden (Bestoßungshäufigkeit und -dichte, Düngung usw.). Mit Informationen dieser Art lässt sich die integrative Schnittstelle „Landnutzung“ noch wesentlich weiter ausbauen.

Danksagung

Wir danken dem Bürgermeister von Brixen im Thale DI Ernst Huber für sein Interesse und sein Engagement für unsere Untersuchungen, Dr. Susanne Wallnöfer und Dr. Michael Hess für die botanische Ansprache der Testflächen, Lena Nicklas und Michael Franke für Unterstützung bei der Geländearbeit, den Mitarbeitern des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft Dr. Gerhard Markart und Mag. Bernhard Kohl für die Leihgabe der Kleinberegnungsanlage, dem alpS-Centre for Climate Change Adaptation Technologies für die Leihgabe der Niederschlagswippe, Elvira Waltle und Ao.Univ.-Prof. Dr. Paul Illmer für die Durchführung von Bodenanalysen sowie Dipl.-Ing. MSc Kati Heinrich und BSc Julia Baumgartner für die Mithilfe beim Erstellen der Abbildungen. Für die Finanzierung der Untersuchungen danken wir dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung Wien (FWF) und dem Forschungszentrum Berglandwirtschaft der Universität Innsbruck.

Literatur und Datenquellen

- Ad-hoc AG Boden – Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5., verbesserte und erweiterte Auflage (KA5), Hannover.
- BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2007): Digitales Orthophoto (Farbe, Auflösung 0,25 m).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg) (2007): Digitaler Hydrologischer Atlas Österreichs: Karte der Schnehöhen und Schneebedeckung. – Wien.
- Christian E & A Zicsi (1999): Ein synoptischer Bestimmungsschlüssel der Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae). – Die Bodenkultur. Austrian Journal of Agricultural Research 50(2): 121-131.
- Coja T, Zehetner K, Bruckner A, Watzinger A & E Meyer (2008): Efficacy and side effects of five sampling methods for soil earthworms (Annelida, Lumbricidae). – Ecotoxicology and Environmental Safety 71: 552-565.
- Dunger W (1983): Tiere im Boden. – 3., neubearbeitete Auflage, Wittenberg Lutherstadt.
- Edwards CA (2004): The importance of earthworms as key representatives of the soil fauna. –In: Edwards CA (ed) Earthworm Ecology, 2nd Edition, 3-11, Boca Raton, Florida.
- Ehrne C (in Vorbereitung): Quellkartierung im Brixenbachtal (Arbeitstitel). Masterarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- Englisch M & W Kilian (Hrsg) (1999): Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich (=Guidelines for forest site mapping in Austria). – FBVA-Berichte 104, Wien.
- Fuchs M, Kohl B, Markart G, Meißl G, Nachtnebel HP & G. Patzelt (2000): Abfluss- und Infiltrationseigenschaften verschiedener alpiner Boden- und Vegetationskomplexe unter winterlichen Bedingungen. – Unveröffentlichter Abschlussbericht zum Projekt Nr. 6830 des Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank.

- Geitner C (2007): Böden in den Alpen – Ausgewählte Aspekte zur Vielfalt und Bedeutung einer wenig beachteten Ressource. – In: Borsdorf A & G Grabherr (Hrsg) Internationale Gebirgsforschung, IGF-Forschungsberichte 1: 56-67 u. 82-83 (Bodenprofile), Innsbruck u. Wien.
- Geitner C, Tusch M, Meißl G, Kringer K & C Wiegand (im Druck): Einfluss des Reliefs auf die räumliche Verteilung der Böden: Grundsätzliche Überlegungen zu Wirkungszusammenhängen und Datengrundlagen anhand von Beispielen aus den Ostalpen. – Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband.
- Geitner C, Mätzler A, Tusch M, Meyer E & E Wattle (in Vorbereitung): Bodenvariabilität und die Besiedlung von Regenwürmern (Lumbricidae) auf Almweiden und Mähwiesen im Brixenbachtal (Kitzbüheler Alpen, Tirol).
- Gruber C (in Vorbereitung): Statistische Auswertungen von Niederschlags-Abflussmessungen im Brixenbachtal (Arbeitstitel). Masterarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- Hagedorn F, Mulder J & R Jandl (2010): Mountain soils under a changing climate and land-use. – Biogeochemistry 97: 1-5.
- Huber UM, Harald K, Bugmann M & MA Reasoner (eds) (2005): Global change and mountain regions: an overview of current knowledge. – Dordrecht.
- Kilian W, Müller F & F Starlinger (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldböologischen Gesichtspunkten. – FBVA-Berichte 82, Wien.
- Kilian W (2002): Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. – Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft 67, Wien.
- Lfu – Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (2002): Durchflussermittlung mit der Salzverdünnungsmethode. Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg. (http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/7970/durchflussermittlung_mit_der_salzverduennungsmethode.pdf?command=downloadContent&filename=durchflussermittlung_mit_der_salzverduennungsmethode.pdf, abgerufen am 23.9.2010)
- Markart G, Kohl B, Sotier B, Schauer T, Bunza G & R Stern (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden- / Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). – BFW-Dokumentation, Schriftenreihe des Bundesamts und Forschungszentrums für Wald 3, Wien. (<http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=434224>, abgerufen am 10.09.2010)
- Meißl G, Geitner C, Tusch M, Schöberl F & J Stötter (im Druck): Reliefparameter und abflusssteuernde Flächeneigenschaften: Statistische Analyse ihres Zusammenhangs in einem kleinen alpinen Einzugsgebiet. – Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband.
- Meyer E (1980): Ökologische Untersuchungen an Wirbellosen des zentralalpiner Hochgebirges (Obergurgl, Tirol) IV. Aktivitätsdichte, Abundanz und Biomasse der Makrofauna. – Alpin-biologische Studien 13:1-53.
- Meyer E (1996): Endogeic Macrofauna. – In: Schinner F, Öhlinger R, Kandeler E & R Margesin (eds) Methods in Soil Biology, 346-354, Berlin.
- Moore RD, Richards G & A Story (2008): Electrical Conductivity as an Indicator of Water Chemistry and Hydrologic Process. – Streamline Watershed Management Bulletin 11(2): 25-29. (http://www.forrex.org/streamline/ISS37/streamline_vol11_no2_art5.pdf, abgerufen am 10.09.2010)
- Nestroy O, Danneberg OH, Englisch M, Gessl A, Hager H, Herzberger E, Kilian W, Nelhiebel P, Pecina E, Pehamberger A, Schneider W & J Wagner (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). – Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft 60, Wien.
- Scherrer S (2006): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. – Landesamt für Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Bericht 18/2006, Mainz. (<http://www.luwg.rlp.de/>, abgerufen am 10.09.2010)
- Schlichting E, Blume HP & K Stahr (1995): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. – Pareys Studententexte 81, Berlin.
- Thielemann U (1986): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. – Pedobiologia 29: 296-302.
- Tilch N, Zillgens B, Uhlenbrook S, Leibundgut Ch, Kimbauer R & B Merz (2006): GIS-gestützte Ausweisung von hydrologischen Umsatzräumen und Prozessen im Löhnersbach-Einzugsgebiet (Nördliche Grauwackenzone, Salzburger Land). – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 58(9-10): 141-151.
- Tirol Atlas (2007): Thematische Karten: Klima – Niederschlag, Verdunstung. (<http://tirolatlas.uibk.ac.at/topics/water/index.html.de>, abgerufen am 10.09.2010)