

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 51 (2010)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Landschaftseingriffe für den alpinen Skisport und deren Auswirkungen : Einfluss von Wurzelwachstum auf die Bodenstabilität  
**Autor:** Alig, Dominik  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088033>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Landschaftseingriffe für den alpinen Skisport und deren Auswirkungen: Einfluss von Wurzelwachstum auf die Bodenstabilität

Dominik Alig

## Zusammenfassung

Skipisten stellen im Hochgebirge eine grosse ökologische Störung dar, die anhand verschiedener Ansätze schon öfters untersucht wurde. Trotz der vielen Untersuchungen sind besonders das Wurzelwachstum von funktionellen Gruppen (Gräser und Kräuter) und deren Einfluss auf die Bodenstabilität und das Erosionsgeschehen wenig erforscht. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Gräser und Kräuter mit ihrer Artenvielfalt und ihrem diversen Wurzelwachstum entscheidend zur Stabilität des Bodens im Hochgebirge beitragen.

## 1 Einleitung

Bei den Eingriffen für den alpinen Skisport handelt es sich vorwiegend um bauliche Massnahmen wie Pistenplanien, Aufschüttung von Trassen, Rodungen, Entfernung von Zwergräuchern und zahlreiche weitere Eingriffe. Grundsätzlich spielt es keine Rolle, welcher Art die Eingriffe sind, ihre Wirkungen gleichen sich. Der Unterschied definiert sich einzig über die vom Eingriff betroffene Flächenbeanspruchung. Aufgrund ihrer Fläche sind Pistenplanien als gravierender Eingriff zu werten. Unterhalb der Waldgrenze sind sie zugleich mit Waldrodungen verbunden. Gut ersichtliche weisse "Schlangen", die sich wie Autobahnen vom Berg durch den Wald ins Tal schlängeln, sind visuelle Hinweise auf rigorose Eingriffe in den Landschaftshaushalt.

Jeder einzelne Eingriff kann zu einer nachhaltigen Beeinträchtigung des betroffenen Ökosystems führen. Die negativen Wirkungen reichen oft über den direkt betroffenen Bereich hinaus (Mosimann 1983). Die Eingriffe sind vor allem oberhalb der Waldgrenze problematisch, da mit zunehmender Höhe die Aktivität der Biomasse aufgrund der extremen klimatischen Verhältnisse abnimmt. In solchen Höhen verlangsamt sich die Regeneration der einzelnen Pflanzen aufgrund der stark verkürzten Vegetationszeit massiv.

Während *Meisterhans* (1982) und *Mosimann* (1983) eine Möglichkeit zur Begrünung oberhalb einer Höhe von 2'000 m ü. NN verneinen, wurde im Laufe der Zeit die künstliche Wiederbegrünung durch verschiedene Forschungsarbeiten dahingehend verbessert, dass heute in dieser Höhenstufe relativ schnell begrünt werden kann (*Teich* et al. 2007).

Seit den 1990er-Jahren ist der Bau von flächigen Beschneiungsanlagen in grossem Stil die meistverbreitete Strategie, um der drohenden Klimaerwärmung mit einer Einschränkung des Skitourismus zu trotzen (*Hahn* 2004). Neben dem Energie- und Wasserverbrauch, der trotz technischer Verbesserungen nach wie vor hoch ist, hat der Bau und Betrieb von Beschneiungsanlagen negative Effekte auf die betroffenen Landschaftsteile. Der Bau von Beschneiungsleitungen (Wasser- und Stromleitungen) führt zu den gleichen Ergebnissen wie der Bau einer Planie (*Hahn* 2004). Die Beschneiung selbst führt zu einer Vegetationsveränderung an den betroffenen Standorten. Beschneite Pisten apern in der Regel zwei bis drei Wochen später aus als Referenzstandorte, so dass auf beschneiten Pisten oftmals so genannte "Schneetälchenarten" zu finden sind, die in den Mulden unterhalb von Lawinenhängen ihr natürliches Habitat vorfinden (*Wipf* et al. 2005).

Trotz der zahlreich vorhandenen Forschungsansätze und -ergebnisse ist über das unterirdische Wachstum (Wurzelwachstum) von alpinen Rasendecken und Zwergsstrauchheiden wenig bekannt. In einer neuen Studie untersuchte das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) das Wurzelwachstum von alpinen Rasendecken und Zwergsstrauchheiden auf Skipisten und Referenzstandorten, um aussagekräftige Erkenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Wurzelwachstum und Bodenstabilität zu gewinnen. An dieser Studie hat der Verfasser des vorliegenden Artikels im Rahmen seiner Lizentiatsarbeit mitgewirkt.

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Untersuchungsgelände

Die Studie wurde in drei Skigebieten des Kantons Graubünden im Sommer 2007 stichprobenartig auf jeweils vier Skipistentypen durchgeführt (vgl. Abb. 1). Das Studiengelände erstreckte sich über den Höhenbereich zwischen 1'950 m ü. NN und ca. 2'550 m ü. NN. In diesen Höhenlagen liegt normalerweise Schnee von Anfang November bis Ende Mai. Häufig auftretende Pflanzenarten in den untersuchten Höhenstufen sind *Carex curvula*, *Cetraria islandica*, *Cladonia spec.*, *Helictotrichon versicolor*, *Homogyne alpina*, *Leontodon helveticus* und *Ligusticum mutellina* (*Pohl* et al. 2009).

### 2.2 Abiotische Bodeneigenschaften

An jedem Standort wurden im Gelände zwei Bodenproben mit einem 30 cm langen Stechzylinder entnommen (Durchmesser 5 cm). Die Bodenproben lagerten bis zur Verarbeitung (max. 14 Tage) im Kühlschrank bei 4° C. Mit einer dieser beiden Bodenproben wurden nach einer Trocknung im Ofen (bei 105° C während 48 Stunden) der Wassergehalt des Bodens und die Bodendichte bestimmt. Mit der anderen Bodenprobe wurden die Bodenaggregatstabilität und die Bodenzusammensetzung ermittelt. Die Bestimmung der Aggregatstabilität erfolgte im modifizierten Nass-Siebverfahren nach *Frei* (2006) (vgl. Abb. 2).

Die ersten 10 cm der Bodenprobe wurden auf ein 20 mm-Sieb gestellt und mit Leitungswasser geflutet. Nach 5 Minuten wurde das Wasser abgelassen und das auf dem Sieb verbliebene Bodenmaterial entfernt. Aus diesem Bodenmaterial wurden anschliessend die Wurzeln aussortiert. Das durch das Sieb gefallene Material wurde separiert und bei 105° C während 24 Stunden getrocknet.

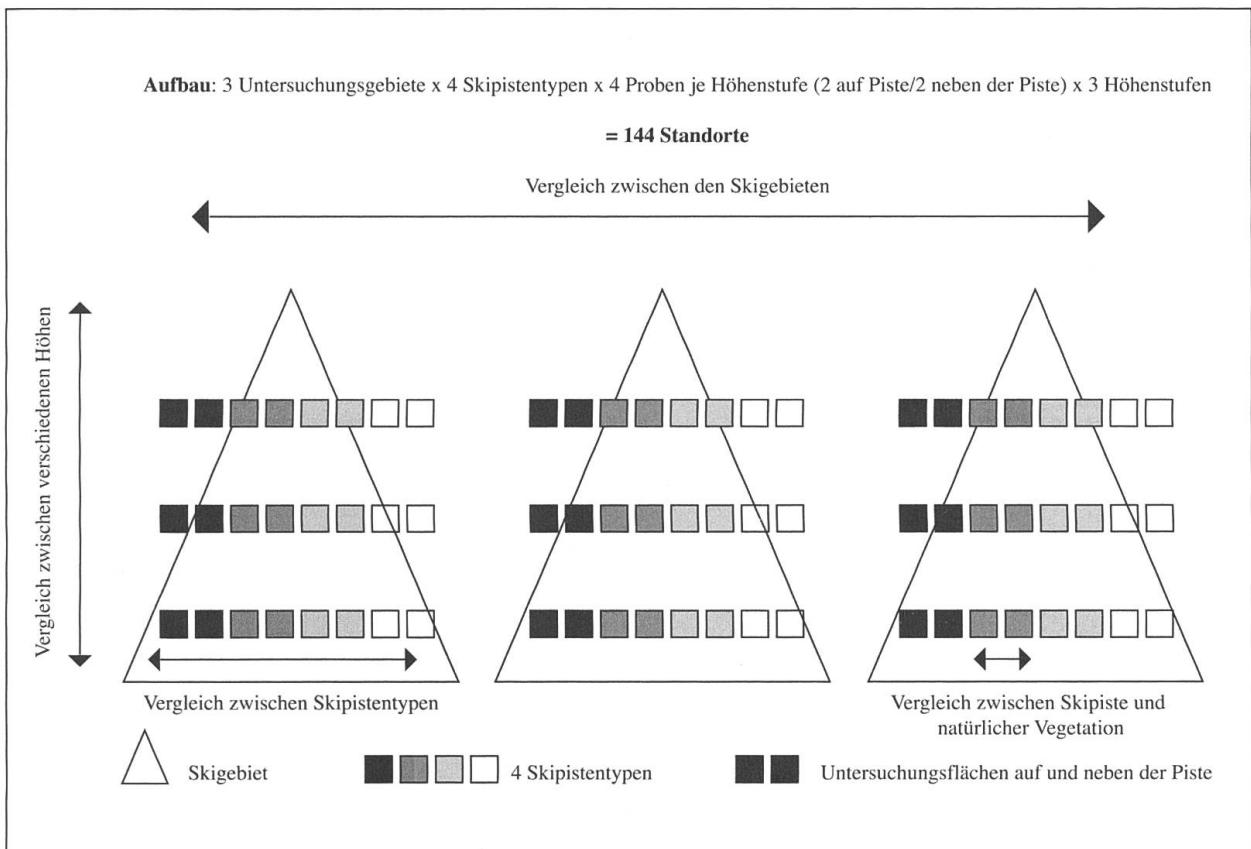


Abb. 1 Übersicht über den Studienaufbau. Die Dreiecke stehen für die drei Skigebiete, die Vierecke für Untersuchungsflächen auf und neben der Piste. Der Skipistentyp ist über den Grauwert der Vierecke definiert. (Eigene Darstellung)

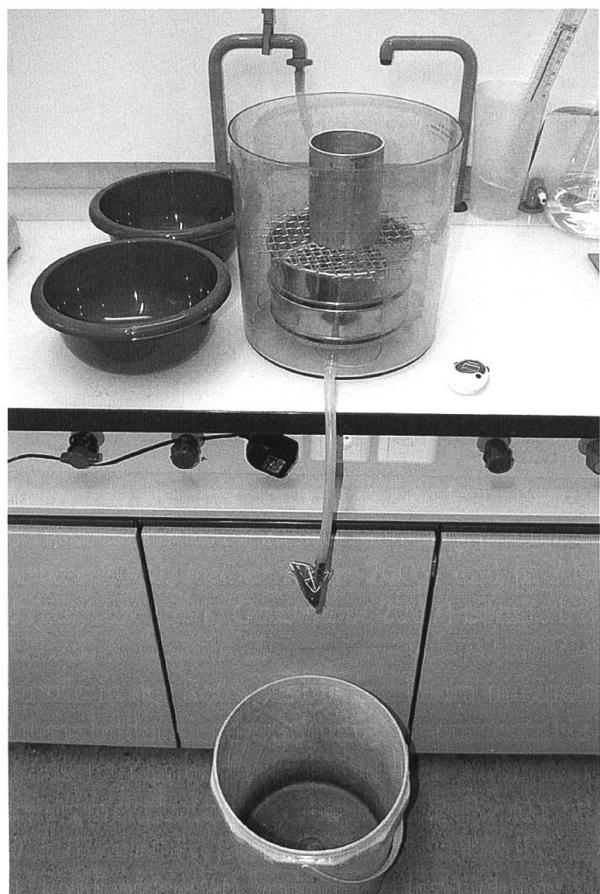


Abb. 2 Laboreinrichtung nach *Frei* (2006). In den metallenen Behältern auf dem Sieb wurden die Bodenproben sanft platziert und anschliessend mit Leitungswasser geflutet.

Nach der Trocknung des Materials erfolgte das Wägen (Wägung Steine > 20 mm separat) (Alig 2007). Die Aggregatstabilität des Bodens errechnet sich aus dem Verhältnis des Trockengewichts des stabilen Bodenmaterials über dem 20 mm-Sieb und dem Trockengewicht der gesamten Probe, abzüglich dem Trockengewicht der Steine mit einem Durchmesser von > 20 mm (Burri 2006). Bei allen Bodenproben wurde vorgängig die oberflächliche Biomasse entfernt und bei 550° C während zwei Stunden getrocknet. Der pH-Wert jeder einzelnen Bodenprobe wurde bereits im Gelände mit dem Hellige-pH-Meter bestimmt.

## 2.3 Vegetationsaufnahmen und oberirdische Biomasse

Der Deckungsgrad der Vegetation wurde am Beprobungsstandort jeweils mit Hilfe eines Vegetationskartierungsringes (Durchmesser 10 cm) ermittelt (vgl. Abb. 3). Zunächst wurde der Deckungsgrad (in Prozent) innerhalb des Kartierungsringes nach Gräsern, Kräutern, Holzpflanzen, Leguminosen und Kryptogame (Moose und Flechten) geschätzt. Sofern der Bedeckungsgrad des Standorts keine 100 % aufwies, wurden die nicht mit Vegetation bewachsenen Bereiche als "offener Boden" und (oder) "Steine" (ebenfalls in Prozent) klassifiziert. Abschliessend wurden die Arten der folgenden funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Holzpflanzen, Leguminosen und Kryptogamen) innerhalb des Vegetationskartierungsringes bestimmt und als Prozentwerte am Gesamtdeckungsgrad zugeteilt (Alig 2007).



Abb. 3 Vegetationskartierungsring. Die Vegetation wurde im Gelände nur innerhalb des Kartierungsringes berücksichtigt. Dieser wurde im Zufallsprinzip (Werfen) auf den Untergrund platziert.

## 2.4 Untersuchung der Wurzeln

Die Wurzeln wurden im Labor vom Bodenmaterial separiert, gewaschen und in einer 15 %igen Ethanollösung im Kühlschrank bei 4° C gelagert. Die totale Wurzellänge wurde mit dem Bildanalyse-Programm “WhinRizo” (Regent Instrument, Quebec, Canada) bestimmt (Pohl et al. 2009).

## 2.5 Statistische Testverfahren

Die statistischen Testverfahren erfolgten mit der Software SPSS für Windows (Version 15.0). Um Zusammenhänge zwischen der Aggregatstabilität des Bodens auf Skipisten und ungestörten Bereichen neben den Pisten darzustellen, erstellten wir in einem ersten Schritt Balkendiagramme mit Mittelwert und Standardfehler. Unabhängige Größen wurden hierfür auf der x-Achse des Balkendiagramms angeordnet, die abhängigen Variablen auf der y-Achse. Um Gruppen innerhalb des Balkendiagramms zu erkennen (z. B. Probestandorte auf und neben der Piste), führten wir eine “Cluster-Analyse” durch. Die Unterschiede zwischen den Standorten wurde mittels Varianzanalyse (ANOVA) auf ihre Signifikanz getestet (vgl. Alig 2007).

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Abiotische Bodeneigenschaften

Die Bodenart in den ersten 10 cm der Proben war an allen Probeentnahmestellen auf und neben der Piste vorwiegend lehmiger Sand. Der Deckungsgrad bzw. der Anteil an offenem Boden lag auf den Skipisten höher als in den angrenzenden Untersuchungsflächen (Abb. 4). Die Werte für die Bodendichte waren auf planierten Skipisten aufgrund des maschinellen Eingriffs höher (Pressen des Materials). Der Wassergehalt lag vor allem auf planierten Skipisten um einiges niedriger als an den Referenzstandorten neben der Piste .

Unplanierte Skipisten mit Kunstschnne unterschieden sich im Allgemeinen nicht von unplanierten Skipisten mit natürlichem Schnee (vgl. Alig 2007) (Abb. 5).

## 3.2 Bodenaggregatstabilität

An schwach bewachsenen Standorten und an Standorten mit hohem Skelettgehalt (Gesteinsfragmente, Schutt und Sand) war die Aggregatstabilität auf Skipisten weniger hoch. Standorte mit hohen Ton- und Lehmgehalten wiesen eine höhere Aggregatstabilität auf. Zwischen der Aggregatstabilität und der Bodendichte besteht eine negative Abhängigkeit. Demgegenüber bewirkt ein hoher Wassergehalt im Boden eine Erhöhung der Aggregatstabilität (vgl. Abb. 6;

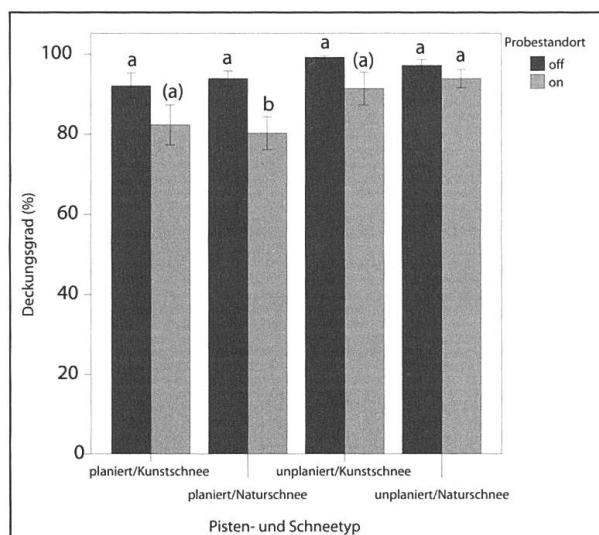


Abb. 4 Der Deckungsgrad auf Skipisten (graue Säulen) und an den Referenzstandorten (schwarze Säulen). Jede Säule zeigt Mittelwert und Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben (a und b) bei einem Säulenpaar zeigen einen signifikanten Unterschied, gleiche oder eingeklammerte Buchstaben bedeuten, dass kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden konnte (ANOVA).

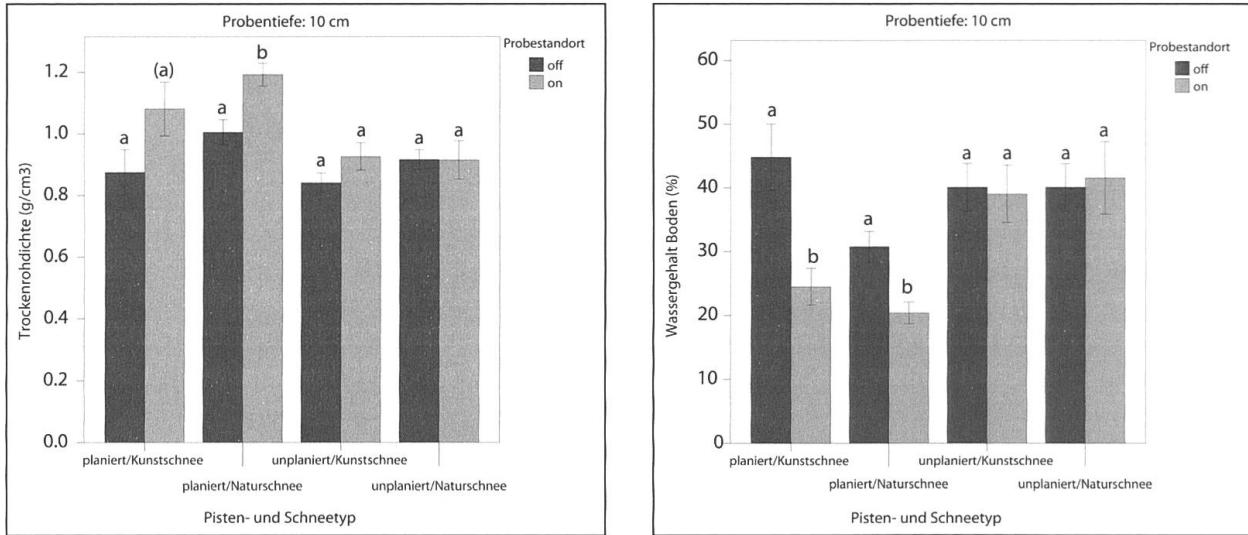


Abb. 5 Bodendichte und Wassergehalt auf Skipisten (graue Säulen) und an den Referenzstandorten (schwarze Säulen). Jede Säule zeigt Mittelwert und Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben (a und b) bei einem Säulenpaar zeigen einen signifikanten Unterschied, gleiche oder eingeklammerte Buchstaben bedeuten, dass kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden konnte (ANOVA).

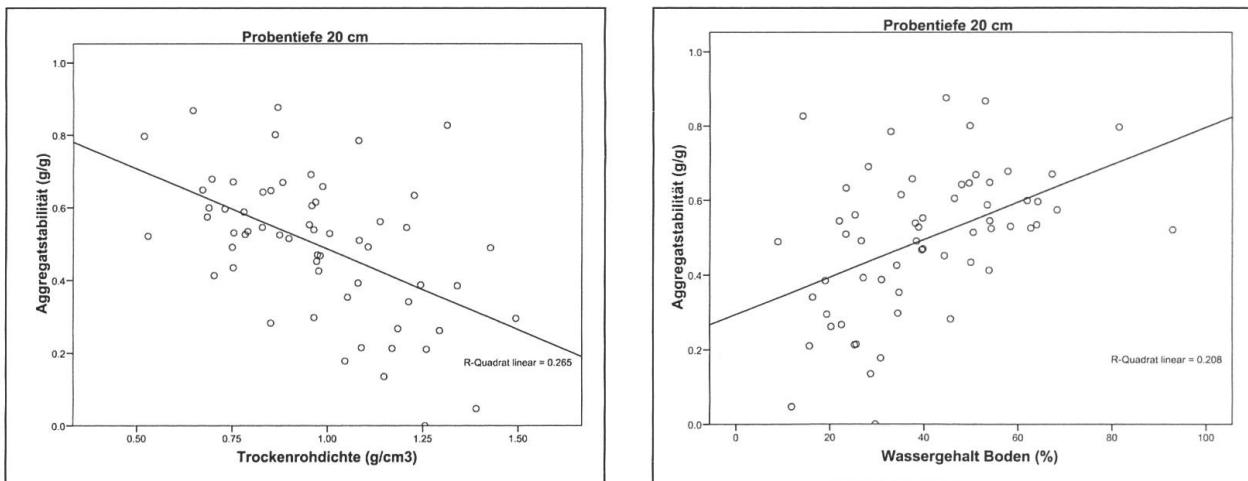


Abb. 6 Zusammenhang von Trockenrohdichte (Bodendichte) und Wassergehalt mit der Aggregatstabilität. Die lineare Gerade zeigt lediglich den Trend auf und repräsentiert nicht unbedingt die mathematisch geeignete Funktion der Datenverteilung.

(Alig 2007). Die statistische Analyse zeigte, dass besonders eine hohe Artenvielfalt der Pflanzen in Kombination mit einem hohen Deckungsgrad die Aggregatstabilität erhöht.

Die Wurzellänge von sehr feinen Wurzeln (Durchmesser bis 0.5 mm) und feinen Wurzeln (Durchmesser 0.5–1.0 mm) hatte einen positiven Einfluss auf die Aggregatstabilität. Dies war vor allem an Standorten mit einer hohen Pflanzenvielfalt festzustellen. Der Boden war an Standorten mit vielen feinen Wurzeln stabiler als an Standorten mit grösseren, eher spärlich vorhandenen Wurzeln (Pohl et al. 2009).

## 4 Diskussion

Mit zunehmender Höhe nehmen Artenvielfalt und Deckungsgrad an den untersuchten Standorten ab (Alig 2007). Dies belegen auch Begrünungsmassnahmen in diesen Höhenstufen, die sehr erschwert sind (Cammeraat et al. 2005). Auf Skipisten ist die geringere Artenzahl und der kleinere Deckungsgrad vor allem auf bauliche Eingriffe zurückzuführen (Pistenplanien), teilweise aber auch auf die maschinelle Bearbeitung (Pistenpräparation mit schweren Pistenmaschinen). Vor allem Zwergsträucher zeigen eine höhere Empfindlichkeit auf anthropogene Eingriffe als Gräser und Kräuter (Alig 2007). Dies liegt in ihrer geringeren Flexibilität aufgrund des hölzernen Wuchses. Pflanzenarten, die häufig auf Skipisten gefunden wurden, sind typisch für die alpine Rasendecke (*Festuca violacea*, *Achillea millefolium*), während häufig vorkommende Pflanzen an den Kontrollstandorten der Vegetationszusammensetzung der alpinen Zwergstrauchgesellschaften entsprachen (Pohl et al. 2009).

Eine hohe Aggregatstabilität wird, wie vorweg als Hypothese formuliert, durch die Bodenart, die Artenzahl und den Deckungsgrad sowie durch Wurzelparameter bestimmt. Feine Bodenpartikel (Ton und Lehm) erhöhen die Bodenaggregatstabilität, grobkörnigere Partikel (Sand und Schutt) wirken sich negativ auf die Aggregatstabilität aus (Alig 2007). Organisches Material, welches generell eine grosse Rolle für die Aggregatstabilität spielen sollte, zeigte in der vorliegenden Studie keinen Einfluss (Pohl et al. 2009). Möglicherweise gibt hier die "Art" des organischen Materials den entscheidenden Ausschlag. Mykorrhiza-Pilze spielen eine grössere Rolle als der Gesamtanteil an organischem Material (Tisdall & Oades 1982).

Verschiedenen Eigenschaften der Vegetation (Deckungsgrad, Artenzahl, Wurzelwachstum, oberirdische Biomasse) konnte ein hoher Beitrag zur Stabilität des Bodens zugewiesen werden. Dies unterstreicht den bedeutenden Einfluss von Pflanzen auf die Bodenstabilität im Hochgebirge (Körner & Spehn 2002). Vor allem wirkte sich eine hohe Artenzahl positiv auf die Stabilität aus. In Kombination mit zunehmendem Deckungsgrad scheint dies ein wichtiger Schlüssel für die Stabilität der Böden in diesen Höhenstufen zu sein. Daneben trägt aber auch organisches Material, besonders jedoch der Einfluss von Mykorrhizen entscheidend zur Stabilität bei (Miller & Jastrow 1990).

## 5 Fazit

Die Bodenaggregatstabilität ist auf stark gestörten Standorten (z. B. planierte Skipisten) am geringsten und reflektiert die Vegetations- und Bodenentwicklung an diesen Standorten. Die Aggregatstabilität erhöht sich mit der Zunahme der Artenzahl und des Deckungsgrads. Diese miteinander in enger Beziehung stehenden Parameter haben einen grossen Einfluss auf die Stabilität der Böden im Hochgebirge.

Planierte Skipisten zeigen eine sehr hohe Instabilität im Vergleich zu ungestörten Böden in den untersuchten Höhenstufen. Obwohl die untersuchten Flächen einen relativ hohen Deckungsgrad aufweisen, fällt die Artenzahl aber um einiges geringer aus als auf nicht planierten Skipisten und auf Referenzstandorten neben der Piste.

Der Umstand der geringeren Aggregatstabilität an diesen Standorten zeigt, dass der Eingriff der Pistenplanierung sehr schwer wiegt und ein hoher Deckungsgrad nur eine bedingt stabilisierende Wirkung auf solche Flächen hat.

Im Allgemeinen werden für Begrünungen heutzutage meist standortgerechte Saatmischungen mit schnell wachsenden und sich schnell vermehrenden Pflanzenarten verwendet, um möglichst rasch einen hohen Deckungsgrad zu erzielen. Durch eine rasche Etablierung der Vegetation wird der Erosionsschutz gefördert und die Auswaschung von Feinmaterialien verhindert. Problematisch an solchen Saatmischungen jedoch ist, dass sie meist artenarm sind und/oder dass die sich schnell vermehrenden Pflanzenarten andere Arten der Saatmischung nach der Ausbringung verdrängen. Prinzipiell ist nach erfolgtem Eingriff eine möglichst schnelle Begrünung erforderlich. Eine langfristige Stabilisierung kann aber auch ein hoher Deckungsgrad mit wenigen Arten nicht gewährleisten. Entscheidend ist ein möglichst hoher Deckungsgrad, an dem viele Arten beteiligt sind.

## Literatur

- Alig D. 2007. *Vegetation und Bodenaggregatstabilität auf Skipisten. Untersucht in den Skiregionen Davos, Lenzerheide und Flims-Laax-Falera.* Lizentiatsarbeit, Geographisches Institut der Universität Basel, 1–103. [Als Manuskript gedruckt]
- Burri K. 2006. *Boden-Aggregatstabilität als Parameter zur Quantifizierung von Vegetationseffekten auf oberflächennahen Bodenbewegungen.* ETH-Institut für terrestrische Ökosysteme, Zürich, 1–110.
- Cammeraat ER., van Beek R. & Kooijman A. 2005. Vegetation succession and its consequences for slope stability in SE Spain. *Plant Soil* 278: 135–147.
- Frei M. 2006. *Validation of a new approach to determine vegetation effects on superficial soil movements.* Dissertation. ETH-Institut für terrestrische Ökosysteme, Zürich, 1–260.
- Hahn F. 2004. Künstliche Beschneiung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht. *Cipra, Alpmedia:* P. 1–18.
- Körner C. & Spehn E.M. 2002. *Mountain biodiversity: a global assessment.* Parthenon Publishing Group, London, 1–336.
- Meisterhans E. 1982. Entwicklungsmöglichkeiten für Vegetation und Boden auf Skipistenplanierungen. Fachbeitr. *Schweiz. MaB-Information* 10: 13–26.
- Miller R.M. & Jastrow J.D. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 579–584.
- Mosimann T. 1983. *Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskisport. II. Bodenzustand und Bodenzerstörungen auf planierten Skipisten in verschiedenen Lagen (Beispiel Crap Sogn Gion).* Basel, Materialien zur Physiogeographie 3: 1–72.
- Pohl M., Alig D., Körner C. & Rixen C. 2009. Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems. *Plant Soil* 324: 91–102.
- Teich M., Lardelli C., Bebi P., Gallati D., Kytzia S., Pohl M., Pütz M. & Rixen C. 2007. *Klimawandel und Wintertourismus: Ökonomische und ökologische Auswirkungen von technischer Beschneiung.* Schlussbericht zum MAVA-Projekt. Birmensdorf, 1–183.
- Tisdall J.M. & Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil science* 33: 141–163.
- Wipf S., Rixen C., Freppaz M. & Stöckli V. 2005. Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology* 42: 306–316.