

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 165 (2014)

Heft: 1

Artikel: Bodenschäden durch Freizeitaktivitäten im Wald : Regenerationen durch Einzäunen

Autor: Rusterholz, Hans-Peter / Baur, Bruno

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097557>

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: 01.05.2026

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

Bodenschäden durch Freizeitaktivitäten im Wald: Regeneration durch Einzäunen

Hans-Peter Rusterholz Universität Basel, Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (CH)*
Bruno Baur Universität Basel, Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz (CH)

Soil damage from recreational activities in forests: regeneration by fencing

Urban forests are popular recreation areas. Recreational activities, particularly the use of picnic places and playing areas, can cause damages to soil and above-ground vegetation, which in turn negatively affect other forest functions. Forest management plans propose management tools for resolving these conflicts. So far, little is known concerning the restoration success of temporary fencing of heavily impacted forest areas in order to prevent any further recreational use. Here, we report the results of a field experiment designed to examine the effects of fencing and soil scarification upon regeneration of soil and above-ground vegetation in a highly impacted forest in Allschwil, Switzerland. We assessed different soil and vegetation parameters in plots with and without soil scarification in the fenced area in the year before the regeneration experiment was initiated and over the following seven years. In parallel, the same variables were recorded in an undisturbed area and in an area with ongoing recreational use. Our study showed successful regeneration of the formerly degenerated soil and ground vegetation within seven years. In addition, the scarification of the upper soil layer accelerated regeneration of some soil parameters but had no effect on ground vegetation. We conclude that temporary fencing is a useful tool for the restoration of forest soil and vegetation in areas heavily impacted by recreational activities.

Keywords: urban forest, recreation, fencing, soil scarification, soil compaction, understory vegetation
doi: 10.3188/szf.2014.0002

* St. Johannis-Vorstadt 10, CH-4056 Basel, E-Mail hans-peter.rusterholz@unibas.ch

Die Veränderungen der Arbeits- und Wohnbedingungen in den letzten Jahrzehnten führten bei der Schweizer Bevölkerung zu einer steigenden Nachfrage nach Erholungsräumen. Diese Entwicklung ist besonders in Wäldern feststellbar, die für einen grossen Teil der Bevölkerung in kurzer Zeit erreichbar sind (Hunziker et al 2012). So nahm die Bedeutung des Waldes als Freizeit- und Erholungsraum in urbanen Regionen ständig zu, was in einigen Gebieten zu Konflikten zwischen der Erholungsfunktion und den übrigen Waldfunktionen führt (Baur 2003, Hegetschweiler et al 2007). Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass intensive Erholungsnutzung einen grossen Einfluss auf das Ausmass der Bodenverdichtung und damit auf die Entwicklung der Kraut-, Strauch- und Baumschicht und ganz generell auf die Vielfalt der Pflanzen und wirbellosen Tiere hat (Liddle 1997, Rusterholz et al 2000, Marzano & Dandy 2012). Mit zunehmender Verdichtung nimmt das Porenvolumen des Bodens ab, wodurch seine Durchlüftung sowie die Nährstoff- und Wasseraufnahme der Bäume reduziert werden.

Für die Erhaltung der biologischen Vielfalt kommt den Wäldern eine besondere Bedeutung zu. Dank ihrer grossen räumlichen Ausdehnung und der strukturellen Vielfalt stellen sie einen wichtigen Lebensraum für viele Pflanzen und Tiere dar. Im 20. Jahrhundert hat der Wald zudem eine Bedeutung als Ersatzlebensraum und Rückzugsgebiet für Pflanzen- und Tierarten erhalten, deren ursprüngliche Lebensräume heute intensiv genutzt werden oder zerstört wurden. Auch in urbanen Regionen spielt der Wald eine wichtige Rolle für die Erhaltung und Förderung der Biodiversität (Alvey 2006).

Zur Lösung von Konflikten zwischen der Erholungsnutzung und den anderen Waldfunktionen werden in Waldentwicklungsplänen vielerorts indirekte Massnahmen wie eine gezielte Besucherlenkung vorgeschlagen, dann umgesetzt und schliesslich hinsichtlich ihres Erfolgs überprüft (Bernasconi et al 1998). Im Gegensatz dazu werden direkte Massnahmen wie beispielsweise das Einzäunen von durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Waldgebieten eher selten durchgeführt, weil Kenntnisse über den Rege-

nerationserfolg nur spärlich vorhanden sind (für Ausnahmen siehe Gibson et al 2000, Roovers et al 2005a, Cole 2013). Interessanterweise wurde bisher der Regeneration der durch Holznutzung intensiv belasteten Waldböden viel mehr Beachtung geschenkt (z.B. Mason & MacDonald 2002, Bottero et al 2013).

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse einer siebenjährigen Untersuchung über die Regeneration einer ursprünglich durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Fläche im Allschwiler Wald (Kanton Basel-Landschaft) dargestellt. Zur Lösung der Konflikte zwischen der Erholungsnutzung und den anderen Waldfunktionen wurde für den Allschwiler Wald ein Erholungskonzept entwickelt (Hasspacher 2007). Eine der im Konzept vorgeschlagenen Massnahmen ist das vorübergehende Einzäunen von durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Waldflächen. Dies soll die natürliche Regeneration des Waldbodens und der Vegetation ermöglichen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Erfolg dieser Massnahme zu überprüfen. Dabei standen folgende Fragen im Zentrum der Untersuchung:

1. Führt das Einzäunen von durch Freizeitaktivitäten stark übernutzten Flächen zu einer Regeneration des Waldbodens und der Bodenvegetation?
2. Wie lange dauert der Prozess der Regeneration, bis Bodeneigenschaften (Eindringwiderstand, Feuchtigkeit, pH, gesamtorganisches Material und Gesamtstickstoff), Bodenbedeckung und Pflanzenvielfalt der Krautschicht gleiche Werte erreichen wie in benachbarten, ungestörten Gebieten?
3. Ist eine Bodenbearbeitung (Auflockerung des Oberbodens) für eine erfolgreiche Regeneration notwendig?

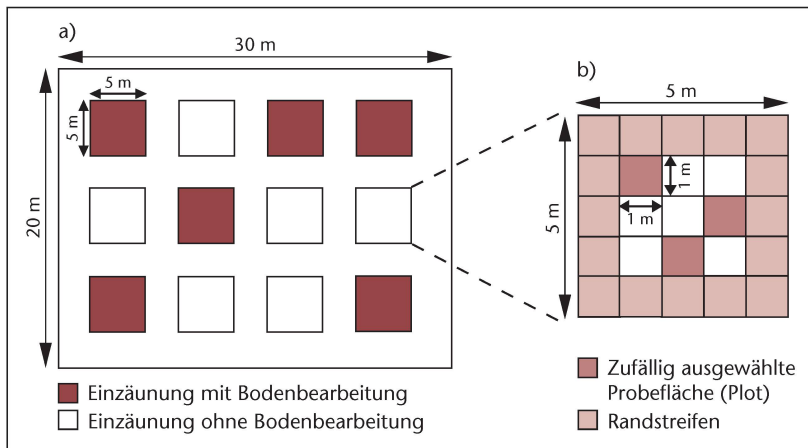


Abb 1 Aufbau der Untersuchung über die Regeneration des Waldbodens und der Bodenvegetation: a) eingezäunte Fläche mit den zwölf Untersuchungsflächen, b) einzelne Untersuchungsfläche mit drei zufällig ausgewählten Probeflächen (Plots).

Material und Methoden

Die Untersuchung wurde im Allschwiler Wald (Kanton Basel-Landschaft) durchgeführt. Der rund 245 Hektaren grosse Wald liegt zwischen 300 und 380 m ü. M. auf den Ausläufern des Sundgauer Hügellandes südlich von Basel. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 775 mm und die mittlere Jahrestemperatur 9 °C. Der Allschwiler Wald wird als bedeutendes Naherholungsgebiet der Stadt Basel und deren Umgebung von rund 500 000 Erholungssuchenden pro Jahr aufgesucht (Rusterholz & Baur 2003). Auf rund 10% der Fläche verhindert die intensive Belastung durch die Erholungssuchenden eine natürliche Verjüngung des Waldes (Rusterholz et al 2009).

Auf einer als Picknick- und Spielplatz intensiv genutzten Waldfläche im «Oberlangholz» wurde nach einer Durchforstung eine 20 × 30 m grosse Fläche mit einem Wildschutzzaun ausgeschieden. Innerhalb des Zauns wurden zwölf 5 m × 5 m grosse Untersuchungsflächen eingerichtet. In sechs zufällig aus den zwölf Untersuchungsflächen ausgewählten Flächen wurde der Oberboden von Hand mit einem Spaten aufgelockert (die obersten 10–15 cm der Erdschicht wurden gewendet; Abbildung 1a). Um die Wirkung dieser Massnahmen (Einzäunung und Bodenauflockerung) zu erfassen, wurden je sechs 5 m × 5 m grosse Flächen in einem unbelasteten Waldgebiet (= unbelastete Kontrolle) sowie in einem weiterhin durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Gebiet (= belastete Kontrolle) eingerichtet. Jede 5 m × 5 m grosse Untersuchungsfläche wurde mithilfe eines quadratischen Rasters in 25 Plots von je 1 m² unterteilt. Die im Randbereich liegenden Plots wurden nicht weiter berücksichtigt, während aus den neun im Zentrum der Untersuchungsflächen liegenden Plots drei zufällig ausgewählt wurden (Abbildung 1b). In diesen drei 1 m × 1 m messenden Probeflächen wurden die Bodeneigenschaften und die Vegetation erfasst. Das unbelastete und das belastete Kontrollgebiet befanden sich in einer Entfernung von 220 m respektive 340 m zur eingezäunten Untersuchungsfläche. Alle drei Gebiete unterschieden sich weder im Bodentyp noch in der Waldgesellschaft (Tabelle 1).

Erfassen der Bodeneigenschaften und der Bodenvegetation

Die Verdichtung des Oberbodens (0–10 cm) in den 1 m² grossen Probeflächen wurde anhand des

| Versuchsfläche | Waldtyp (Burnand & Hasspacher 1999) | Bodentyp | Übernutzte Fläche (ha) | Eingezäunte Fläche (ha) |
|-----------------------------|--|---------------|------------------------|-------------------------|
| Regenerationsversuch | <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i> | Parabraunerde | 0.35 | 0.06 |
| Unbelastetes Kontrollgebiet | <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i> | Parabraunerde | – | – |
| Belastetes Kontrollgebiet | <i>Galio odorati-Fagetum pulmonarietosum</i> | Parabraunerde | 0.45 | – |

Tab 1 Charakterisierung der drei Untersuchungsgebiete im Allschwiler Wald.

Eindringwiderstandes mit einem Handpenetrometer (Eijkelkamp, Typ IB) gemessen (10 Messungen pro Probefläche). Für die Erfassung der bodenchemischen und -physikalischen Eigenschaften des Oberbodens (0–5 cm) wurden in jeder Probefläche drei Bodenproben mithilfe eines Stechzylinders (Durchmesser: 5 cm, Volumen: 100 cm³) entnommen, zu einer Mischprobe vereinigt und gesiebt (Maschenweite: 2 mm). Die Bodenfeuchtigkeit (%) wurde über den Gewichtsverlust der Bodenprobe nach einer Trocknungszeit von 48 Stunden bei 50 °C bestimmt. Der pH des Bodens wurde in Wasser (Verhältnis Boden zu Wasser 1:2.5) mit einem pH-Meter (Seven Compact, Mettler Toledo) gemessen. Das gesamtorganische Material wurde anhand des Aschegehaltes bestimmt (Verbrennung: 24 h bei 750 °C). Der Gesamtstickstoffgehalt wurde mit der Standard-Kjeldahl-Methode gemessen (Allen 1989).

Die Anzahl Pflanzenarten und die Anzahl Individuen der einzelnen Arten in den 1 m² grossen

Probeflächen wurden jährlich erfasst. Zusätzlich wurde der Gesamtdeckungsgrad der Bodenvegetation in jeder Probefläche mit der verfeinerten Dominanzskala geschätzt (Müller-Dombois & Ellenberg 2002).

Die Boden- und Vegetationseigenschaften wurden in allen drei Gebieten erstmals im Jahr 1997, also ein Jahr vor Beginn des Regenerationsversuches, erfasst. Die Einzäunung erfolgte im Januar 1998. Gleichzeitig wurde der Boden in der Hälfte der Untersuchungsflächen aufgelockert. Die Kontrollgebiete wurden nicht eingezäunt. Jeweils im Mai und Mitte August der Jahre 1998 bis 2004 wurde in den drei Gebieten der Zustand der Bodenvegetation erfasst. Die Eigenschaften des Bodens in den 1 m² grossen Probeflächen wurden jeweils zwischen Ende September und Anfang Oktober (in allen Probeflächen am selben Tag) erfasst.

Statistische Analysen

Im Jahr vor Beginn des Regenerationsversuches (1997) und in den sieben folgenden Jahren (1998–2004) wurden mit Varianzanalysen Unterschiede in den Bodeneigenschaften und in der Bodenvegetation innerhalb des Untersuchungsgebiets mit und ohne Bodenbearbeitung sowie zwischen diesem und den zwei Kontrollgebieten getestet. Dargestellt werden nur die Ergebnisse der paarweisen Vergleiche mittels Wilcoxon's Post-hoc-Test, der potenzielle Unterschiede zwischen den erhobenen Daten in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung und den entsprechenden Daten in den Kontrollgebieten feststellt. In allen Analysen wurden logarithmisch- oder quadratwurzeltransformierte Daten benutzt.

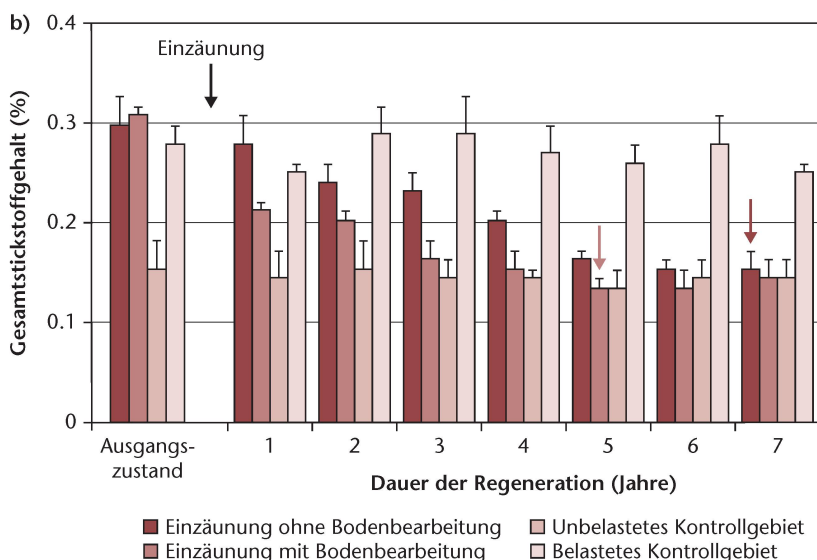
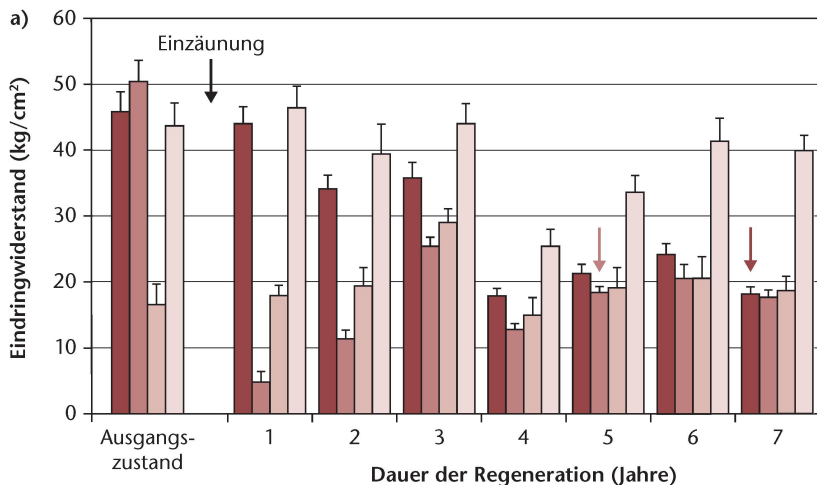


Abb 2 Eindringwiderstand (a) und Gesamtstickstoffgehalt (b) des Oberbodens in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung sowie in den Kontrollgebieten (unbelastet und belastet). Mittelwerte und Standardfehler von jeweils 18 Probeflächen (6 × 3 Plots) sind dargestellt. Die in Rottönen gehaltenen Pfeile geben den Zeitpunkt an, in dem sich die Werte in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung nicht mehr von den entsprechenden Werten im unbelasteten Kontrollgebiet unterscheiden (Post-hoc-Test: $p > 0.10$).

Ergebnisse

Regeneration des Bodens

Ein Jahr vor dem Einleiten der Regenerationsmassnahmen war der durch intensive Freizeitaktivitäten belastete Waldboden stärker verdichtet (+250%), feuchter (+25%), basenärmer (–20%) und nährstoffreicher (Gesamtstickstoffgehalt: +120%; gesamtorganisches Material: +55%) als der Boden im unbelasteten Kontrollgebiet (Abbildung 2, Tabelle 2). Der Eindringwiderstand und der Gesamtstickstoffgehalt des Oberbodens nahmen in den Probeflächen ohne Bodenbearbeitung mit fortschreitender Regenerationszeit ab und erreichten nach sieben Jahren dieselben Werte wie im unbelasteten Kontrollgebiet (Abbildung 2; Post-hoc-Test: $p > 0.10$). In den Probeflächen mit Bodenbearbeitung wurden gleiche Werte wie im unbelasteten Kontrollgebiet schon nach fünf Jahren erreicht, wobei hier der Eindringwiderstand aufgrund der Bodenbearbeitung zunächst niedriger war als im Kontrollgebiet (Abbildung 2; Post-hoc-Test: $p > 0.10$).

| | Dauer der Regeneration | Einzäunung mit Bodenbearbeitung | Einzäunung ohne Bodenbearbeitung | Unbelastetes Kontrollgebiet | Belastetes Kontrollgebiet |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Bodenfeuchtigkeit (%) | Ausgang | 30.8 ± 2.1 | 29.0 ± 2.0 | 25.0 ± 1.8 | 30.6 ± 1.2 |
| | 1 Jahr | 22.0 ± 1.4 | 29.8 ± 1.1 | 22.8 ± 1.2 | 31.6 ± 3.4 |
| | 2 Jahre | 24.7 ± 1.1 | 28.0 ± 1.2 | 22.8 ± 1.2 | 30.8 ± 1.2 |
| | 3 Jahre | 24.6 ± 0.7 | 29.6 ± 1.1 | 25.1 ± 0.8 | 34.2 ± 2.4 |
| | 4 Jahre | 24.9 ± 2.1 | 27.9 ± 0.5 | 24.6 ± 3.0 | 30.9 ± 1.0 |
| | 5 Jahre | 22.5 ± 0.5 | 24.0 ± 0.5 | 23.9 ± 4.0 | 28.4 ± 0.9 |
| | 6 Jahre | 23.8 ± 1.0 | 23.1 ± 1.1 | 24.5 ± 1.8 | 33.1 ± 1.2 |
| | 7 Jahre | 24.0 ± 1.1 | 24.8 ± 1.8 | 25.1 ± 2.0 | 31.2 ± 1.3 |
| Boden-pH (H ₂ O) | Ausgang | 4.2 ± 0.1 | 4.3 ± 0.2 | 5.4 ± 0.1 | 4.3 ± 0.1 |
| | 1 Jahr | 4.6 ± 0.1 | 4.7 ± 0.1 | 5.3 ± 0.1 | 4.2 ± 0.1 |
| | 2 Jahre | 4.9 ± 0.1 | 5.0 ± 0.1 | 5.3 ± 0.1 | 4.5 ± 0.1 |
| | 3 Jahre | 5.2 ± 0.1 | 5.2 ± 0.1 | 5.5 ± 0.1 | 4.3 ± 0.2 |
| | 4 Jahre | 5.3 ± 0.1 | 5.3 ± 0.2 | 5.4 ± 0.1 | 4.2 ± 0.2 |
| | 5 Jahre | 5.4 ± 0.2 | 5.3 ± 0.1 | 5.5 ± 0.1 | 4.3 ± 0.1 |
| | 6 Jahre | 5.5 ± 0.1 | 5.4 ± 0.1 | 5.3 ± 0.1 | 4.1 ± 0.2 |
| | 7 Jahre | 5.7 ± 0.2 | 5.6 ± 0.1 | 5.4 ± 0.2 | 4.3 ± 0.2 |
| Gesamtorganisches Material (%) | Ausgang | 12.5 ± 1.0 | 12.1 ± 1.0 | 8.0 ± 1.0 | 10.8 ± 1.5 |
| | 1 Jahr | 9.9 ± 0.7 | 11.8 ± 1.0 | 7.6 ± 1.2 | 11.0 ± 2.0 |
| | 2 Jahre | 9.8 ± 0.5 | 11.8 ± 1.1 | 8.3 ± 0.8 | 12.0 ± 3.1 |
| | 3 Jahre | 8.5 ± 1.1 | 10.1 ± 0.6 | 8.9 ± 0.7 | 11.2 ± 2.4 |
| | 4 Jahre | 7.8 ± 1.0 | 9.5 ± 1.0 | 8.5 ± 0.4 | 10.8 ± 1.4 |
| | 5 Jahre | 7.1 ± 0.5 | 8.0 ± 0.4 | 8.4 ± 0.3 | 10.4 ± 0.3 |
| | 6 Jahre | 7.3 ± 0.6 | 8.1 ± 0.3 | 7.8 ± 0.5 | 11.1 ± 1.7 |
| | 7 Jahre | 7.2 ± 0.3 | 8.0 ± 0.4 | 8.0 ± 0.7 | 10.5 ± 1.6 |

Tab 2 Bodenchemische und -physikalische Eigenschaften in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung sowie in den Probeflächen des unbelasteten und des belasteten Kontrollgebietes. Die Daten wurden vor Beginn des Regenerationsversuches (Ausgang) und in den folgenden sieben Jahren erfasst. Die Werte bezeichnen die Mittelwerte und Standardfehler von jeweils 18 Probeflächen (6 × 3 Plots). Fett gedruckte Zahlen bedeuten, dass sich die Werte in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung nicht mehr von den entsprechenden Werten des unbelasteten Kontrollgebietes unterschieden (Wilcoxon's H-Test; $p > 0.10$).

Die anderen Bodeneigenschaften entwickelten sich in ähnlicher Weise wie der Eindringwiderstand und der Gesamtstickstoff des Bodens: Die Bodenfeuchtigkeit und das gesamtorganische Material erreichten in den Probeflächen ohne Bodenbearbeitung nach einer Regenerationszeit von fünf Jahren dieselben Werte wie im unbelasteten Kontrollgebiet (Tabelle 2). In den Probeflächen mit Bodenbearbeitung wurden schon nach drei Jahren die gleichen Werte wie im unbelasteten Kontrollgebiet gemessen (Tabelle 2). Der pH des Oberbodens in den Flächen mit und ohne Bodenbearbeitung erreichte nach vier Jahren dieselben Werte wie der Oberboden des unbelasteten Kontrollgebietes (Tabelle 2). Im Gegensatz dazu konnten im durch Freizeitaktivitäten weiterhin belasteten Kontrollgebiet keine Anzeichen einer Regeneration der erhobenen Bodeneigenschaften festgestellt werden (Abbildung 2 und Tabelle 2).

Regeneration der Bodenvegetation

Ein Jahr vor Beginn des Regenerationsversuches waren in den stark belasteten Waldgebieten nur 5% des Bodens mit Vegetation bedeckt, während der Deckungsgrad im unbelasteten Kontrollgebiet bei

60% lag (Abbildung 3a). Die Pflanzenvielfalt in den 1 m² grossen Probeflächen der belasteten Gebiete war mit 2 bis 3 Arten stark reduziert, verglichen mit den 10 bis 12 Arten, welche in den Probeflächen des unbelasteten Kontrollgebietes gefunden wurden (Abbildung 3b).

Deckungsgrad und Anzahl Pflanzenarten nahmen in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung mit fortschreitender Regenerationsdauer zu (Abbildung 3). Nach sechs Jahren wiesen die Probeflächen denselben Deckungsgrad und die gleiche Artenvielfalt auf wie diejenigen im unbelasteten Kontrollgebiet (Abbildung 3; Post-hoc-Test: $p > 0.10$).

Die multivariate Analyse teilte die Pflanzenarten in drei Gruppen auf. Jede Gruppe enthielt die für ein bestimmtes Stadium der Vegetationsentwicklung charakteristischen Arten (Abbildung 4). Vor Beginn des Regenerationsversuches dominierten in den stark belasteten Waldgebieten störungs- und trittresistente Arten wie das Gewöhnliche Hornkraut (*Cerastium fontanum*), der Vogel-Knöterich (*Polygonum aviculare*), das Einjährige Rispengras (*Poa annua*) und der Grosse Wegerich (*Plantago major*) die Bodenvege-

tation (Gruppe A in Abbildung 4). Die Abundanz dieser Arten nahm mit fortschreitender Regenerationsdauer stetig ab. Nach vier Jahren wurden diese trittresistenten Arten durch Arten verdrängt, die an nährstoffreiche Bedingungen angepasst sind, wie die Grosse Brennnessel (*Urtica dioica*), den Breitblättrigen Ehrenpreis (*Veronica urticifolia*) und das Gemeine Hexenkraut (*Circea lutetiana*; Gruppe B in Abbildung 4). Nach einer Regenerationsdauer von sieben Jahren bestand die Bodenvegetation in der Einzäunung wieder aus charakteristischen Arten des Buchenwaldes, beispielsweise aus Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*), Scharbockskraut (*Ranunculus ficaria*) und Gundelrebe (*Glechoma hederacea*; Gruppe C in Abbildung 4). Zu diesem Zeitpunkt wurde auch in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung dieselbe Zusammensetzung der Pflanzenarten wie im unbelasteten Kontrollgebiet gefunden (Abbildung 5). Im Gegensatz dazu veränderten sich sowohl

im unbelasteten wie auch im belasteten Kontrollgebiet der Deckungsgrad der Bodenvegetation, die Artenvielfalt und die Zusammensetzung der Arten kaum (Abbildungen 3a, 3b und 5).

Diskussion

Die Untersuchung zeigt, dass sich der Boden bis in 10 cm Tiefe und die Bodenvegetation in der ursprünglich durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Waldfläche dank der Einzäunung innerhalb von sieben Jahren vollständig regenerieren. Eine mechanische Auflockerung des Oberbodens beschleunigt die Regeneration einzelner Bodeneigenschaften wie des Eindringwiderstandes und des Gesamtstickstoffgehaltes, jedoch nicht diejenige der Bodenvegetation.

Vor der Einleitung der Regenerationsmassnahmen waren der Boden und die Bodenvegetation der Untersuchungsflächen in einem charakteristischen Zustand für Waldgebiete, die durch Erholungssuchende intensiv genutzt werden (Liddle 1997, Roovers et al 2004, Hegetschweiler et al 2007). Die sehr hohe Verdichtung des Oberbodens (+250%) kann durch den vorliegenden Lösslehm Boden (Parabraunerde mit einem hohen Lössanteil) erklärt werden, der durch Tritteinwirkung stärker verdichtet wird als skelettreiche oder sandige Böden. Stohlgren & Parsons (1986) sowie Marion & Cole (1996) verglichen Oberböden von Picknick- und Zeltplätzen in Mischwäldern mit Oberböden unbelasteter Gebiete. Sie fanden, dass der Oberboden belasteter Waldgebiete bis 500% dichter sein kann als in unbelasteten Gebieten. Allerdings wurden in diesen beiden Arbeiten sehr unterschiedliche Effekte der Erholungsnutzung auf die Feuchtigkeit, den pH und die Nährstoffverhältnisse des Oberbodens gefunden. Bei einigen Picknickplätzen wurden eine geringere Bodenfeuchtigkeit und tiefere Nährstoffverhältnisse gefunden, bei anderen jedoch dieselben Werte wie in den entsprechenden Kontrollgebieten (Stohlgren & Parsons 1986, Marion & Cole 1996). Ähnlich wie in unserer Untersuchung fanden andere Autoren, dass eine intensive Erholungsnutzung den Deckungsgrad der Bodenvegetation und deren Artenvielfalt stark reduziert und dass tritt- und störungsresistente Arten die durch Freizeitaktivitäten stark belastete Bodenvegetation dominieren (Gibson et al 2000, Roovers et al 2004, 2005a).

Regeneration des Waldbodens

In unserer Studie benötigte der belastete Oberboden sieben Jahre, um vollständig regenerieren zu können. Dieser Wert liegt in der Spannweite der Regenerationsdauer (2 bis 25 Jahre) von durch intensive Waldarbeiten belasteten Böden (Wingate-Hill & Jakobson 1982, Reisinger et al 1992, Goutal et al

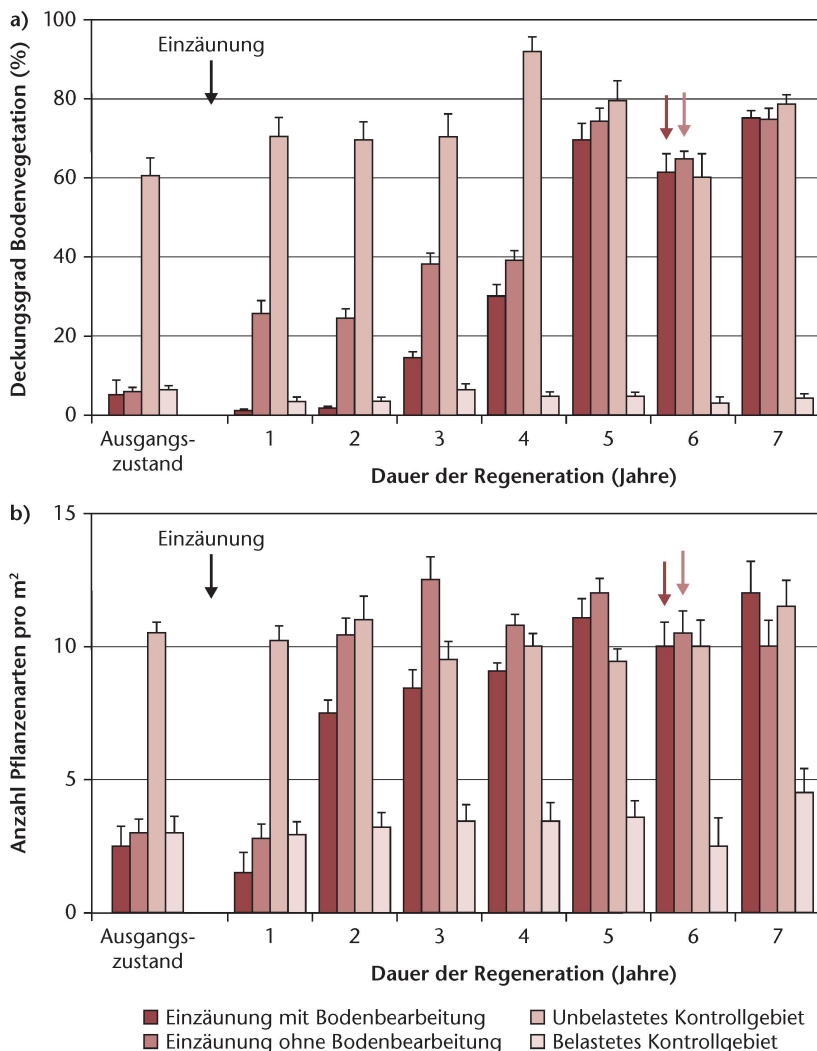
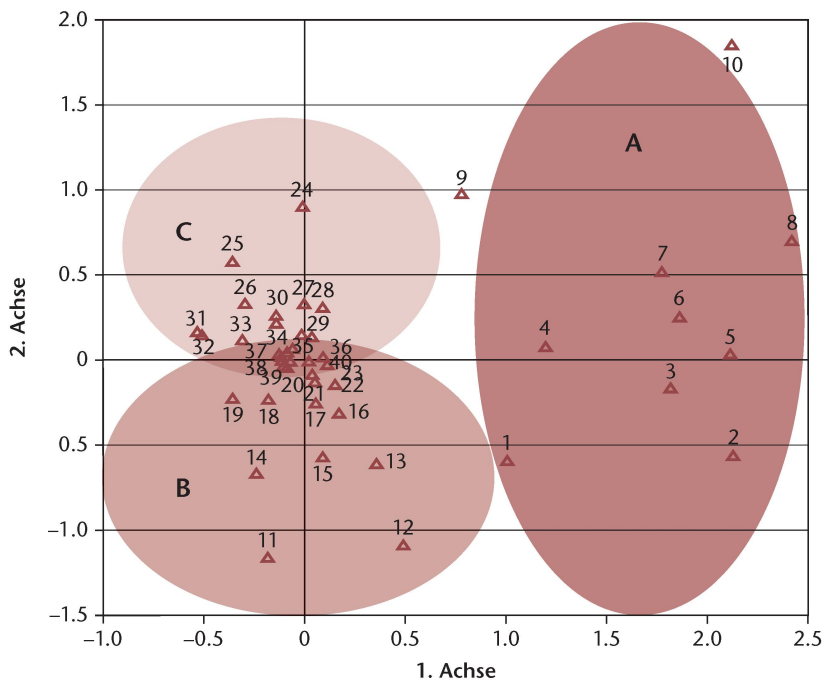
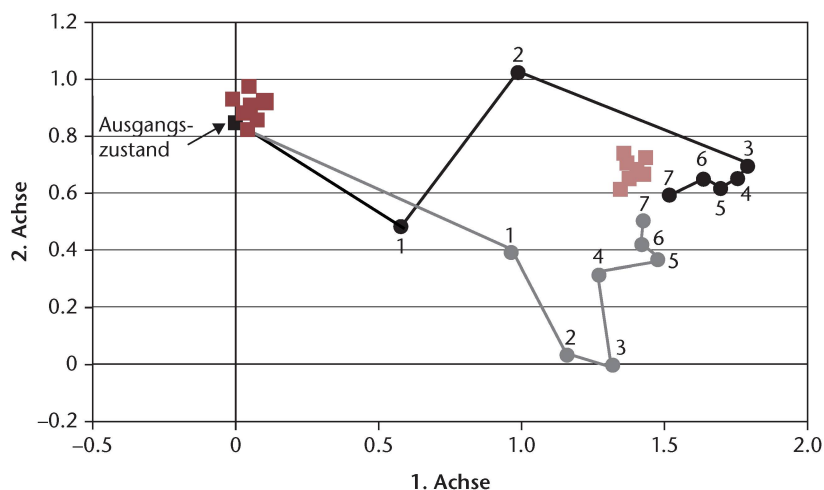


Abb 3 Deckungsgrad der Bodenvegetation (a) und Anzahl Pflanzenarten (b) in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung sowie in den Kontrollgebieten (unbelastet und belastet). Mittelwerte und Standardfehler von jeweils 18 Probeflächen (6×3 Plots) sind dargestellt. Die in Rottönen gehaltenen Pfeile geben den Zeitpunkt an, in dem die Werte in den Probeflächen mit und ohne Bodenbearbeitung sich nicht mehr von den entsprechenden Werten im unbelasteten Kontrollgebiet unterscheiden (Post-hoc-Test: $p > 0.10$).



- | | | |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Gruppe A: | | |
| 1. Dactylis glomerata | 5. Tanacetum vulgare | 9. Lamium galeobdolon |
| 2. Plantago major | 6. Cerastium fontanum | 10. Sambucus nigra |
| 3. Taraxacum officinale | 7. Poa annua | |
| 4. Veronica arvensis | 8. Polygonum aviculare | |
| Gruppe B: | | |
| 11. Agrostis tenuis | 16. Poa nemoralis | 21. Circaea lutetiana |
| 12. Veronica urticifolia | 17. Prunella vulgaris | 22. Acer pseudoplatanus |
| 13. Urtica dioica | 18. Brachypodium sylvaticum | 23. Oxalis acetosella |
| 14. Cornus sanguinea | 19. Geum urbanum | |
| 15. Galium odoratum | 20. Phyteuma spicatum | |
| Gruppe C: | | |
| 24. Acer campestre | 30. Fagus sylvatica | 36. Ranunculus ficaria |
| 25. Carex remota | 31. Picea abies | 37. Hedera helix |
| 26. Geranium robertianum | 32. Carpinus betulus | 38. Impatiens parviflora |
| 27. Acer monspessulanum | 33. Fraxinus excelsior | 39. Carex sylvatica |
| 28. Rubus spec. | 34. Glechoma hederacea | 40. Viola reichenbachiana |
| 29. Epilobium hirsutum | 35. Anemone nemorosa | |

Abb 4 Detrended-Korrespondenz-Analyse der Vegetationsaufnahmen im Ausgangszustand und in den nachfolgenden sieben Jahren in den drei Untersuchungsgebieten. Dargestellt ist die Auftrennung der Arten in drei Gruppen entlang der ersten und der zweiten Achse. Gruppe A umfasst tritt- und störungsresistente Arten, Gruppe B beinhaltet Arten, welche nährstoffreiche Bedingungen anzeigen, und Gruppe C enthält für die Bodenvegetation von Buchenwäldern charakteristische Arten.



- Probeflächen mit Bodenbearbeitung
- Probeflächen im belasteten Kontrollgebiet
- Probeflächen ohne Bodenbearbeitung
- Probeflächen im unbelasteten Kontrollgebiet

Abb 5 Detrended-Korrespondenz-Analyse der Vegetationsaufnahmen im Ausgangszustand und in den nachfolgenden sieben Jahren in den drei Untersuchungsgebieten. Dargestellt ist die Entwicklung der Artzusammensetzung in den verschiedenen Untersuchungsflächen. Die Zahlen bei den Punkten geben die Regenerationsdauer in Jahren an.

2011). Die Regeneration von durch Freizeitaktivitäten belasteten Böden wurde bisher nur selten untersucht. Beim Oberboden (bis 10 cm Tiefe) eines Picknickplatzes konnten Cole & Spildie (2007) sowie Cole (2013) nach zehn Jahren nur erste Anzeichen einer Regeneration feststellen. Die Dichte des Oberbodens, das Mass für die Beurteilung des Bodenzustandes, wird jedoch mit unterschiedlichen Methoden erfasst. Deshalb ist ein Vergleich verschiedener Studien nur beschränkt möglich. Zudem unterscheiden sich die verschiedenen Untersuchungsgebiete punkto Bodentyp, Waldgesellschaft und geografischer Lage. Worrel & Hampson (1997) zeigten, dass der Bodentyp und das vorliegende Wasserregime Schlüsselfaktoren sind, welche die Regenerationsdauer belasteter Böden bestimmen. So weisen Standorte mit einem Lösslehm Boden wie im Allschwiler Wald ein höheres Regenerationspotenzial auf als sandige Standorte (Worrel & Hampson 1997). Aber auch zwischen vergleichbaren Lehmböden innerhalb eines Waldmeister-Buchen-Waldes können grosse Unterschiede vorhanden sein, welche durch kleinräumige Variationen der Bodeneigenschaften und des Wasserhaushaltes im Untersuchungsgebiet verursacht werden (Goutal et al 2011).

Regeneration der Bodenvegetation

In unserer Untersuchung benötigt die Bodenvegetation sechs Jahre bis zur vollständigen Regeneration des Deckungsgrades, der Abundanz und der Artenzusammensetzung (Abbildung 6). Eine ähnliche Regenerationsdauer fanden Roovers et al (2005a) für die Bodenvegetation auf stillgelegten Waldpfaden. Im Gegensatz dazu stellten Gibson et al (2000) und Cole (2013) fest, dass die Regeneration der Bodenvegetation von Picknickplätzen länger als 15 Jahre dauern kann. Unsere Untersuchung zeigt auch, dass eine Auflockerung des Oberbodens keinen Einfluss auf die Regenerationsdauer der Waldbodenvegetation hat. Eine Bodenbearbeitung kann kurzfristig zu einer Zunahme von Keimlingen führen, hat jedoch keinen Einfluss auf die langfristige Regeneration der Waldbodenvegetation (Roovers et al 2005b, Cole & Spildie 2007).

Die schnelle Zunahme der Anzahl Pflanzenarten von 2 bis 3 auf 8 bis 12 pro Quadratmeter Probestfläche innerhalb von drei Jahren ist eine Folge der raschen Kolonisierung durch Ruderal- und Nichtwaldarten. Diese Pflanzenarten wurden aber mit fortschreitender Regeneration durch charakteristische Buchenwaldarten verdrängt. Gibson et al (2000) und Godefroid et al (2005) fanden einen ähnlichen Regenerationsablauf bei der Bodenvegetation von Laub- und Kiefernwäldern. In diesen durch Freizeitaktivitäten belasteten Wäldern unterscheiden sich aber die Artenzusammensetzungen von denjenigen der Kontrollflächen auch noch nach 5 bis 18 Jahren.



Abb 6 Detailansicht der Bodenvegetation im durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Waldgebiet vor Beginn des Regenerationsversuches (links) und in einer Untersuchungsfläche ohne Bodenbearbeitung nach sieben Jahren Regeneration (rechts).

Schlussfolgerungen für das Management stadtnaher Wälder

In den letzten Jahrzehnten führte die zunehmende Freizeit zu einer steigenden Nachfrage nach Erholungsräumen. Diese Entwicklung wurde vor allem in stadtnahen Wäldern festgestellt, weil sie für einen grossen Teil der Bevölkerung in kurzer Zeit erreichbar sind. In Teilgebieten des Allschwiler Waldes ist die Freizeitnutzung so intensiv geworden, dass Konflikte mit anderen Funktionen des Waldes entstanden sind.

Mithilfe des Waldentwicklungsplanes wurde eine Neugestaltung des Wegsystems und der Picknickplätze in die Wege geleitet. Zusätzlich wurde als direkte Massnahme das vorübergehende Einzäunen von durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Waldflächen vorgeschlagen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass diese Massnahme innerhalb von wenigen Jahren eine natürliche Regeneration des Waldbodens und der Bodenvegetation ermöglicht. ■

Eingereicht: 29. Juli 2013, akzeptiert (mit Review): 29. Oktober 2013

Literatur

- ALLEN SE (1989) Chemical analysis of ecological material. Oxford: Blackwell. 368 p.
- ALVEY AA (2006) Promoting and preserving biodiversity in urban forest. *Urban For Urban Greening* 5: 195–201.
- BAUR B (2003) Freizeitaktivitäten im Baselbieter Wald. Ökologische Auswirkungen und ökonomische Folgen. Liestal: Verlag Kanton Basel-Landschaft. 180 p.
- BERNASCONI A, ZAHND C, ROHNER J (1998) Freizeit im Wald. Zehn beispielhafte Konfliktlösungen. Zürich: Arbeitsgemeinschaft Wald. 50 p.
- BOTTERO A, GARBARINO M, LONG JN, MOTTA R (2013) The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western Alps. *For Ecol Manage* 292: 19–28.
- BURNAND J, HASSPACHER B (1999) Waldstandorte beider Basel. Liestal: Verlag Kanton Basel-Landschaft. 266 p.
- COLE DN (2013) Long-term effectiveness of restoration treatments on closed wilderness campsites. *Environ Manage* 51: 642–650.
- COLE DN, SPILDIE DR (2007) Vegetation and soil restoration on highly impacted campsites in the Eagle Cap Wilderness, Oregon. Fort Collins: General technical report RMSR-GTR-185. 26 p.
- GIBSON ET AL (2000) Eighteen years of herbaceous layer recovery of a recreation area in a mesic forest. *J Torrey Bot Soc* 127: 230–239.
- GODEFROID S, RUCQUOIJ S, KOEDAM S (2005) To what extent do forest herbs recover after clearcutting in beech forest? *Forest Ecol Manage* 210: 39–53.
- GOTAL N, BOIVIN P, RANGER J (2011) Assessment of the natural recovery rate of soil specific volume following forest soil compaction. *Soil Sci Soc Am J* 76: 1426–1435.
- HASSPACHER B (2007) Neue Wege im Allschwiler Wald – Erholungskonzept mit Pioniercharakter. *Schweiz Z Forstwes* 158: 206–215. doi: 10.3188/szf.2007.0206
- HEGETSCHWEILER KT, SKORUPINSKI A, RUSTERHOLZ HP, BAUR B (2007) Die Bedeutung der Erholungsnutzung des Waldes am Beispiel von Picknicken und Grillieren: Ergebnisse einer gesamtschweizerischen Umfrage bei Forstfachleuten und Waldeigentümern. *Schweiz Z Forstwes* 158: 39–49. doi: 10.3188/szf.2007.0039
- HUNZIKER M, VON LINDERN E, BAUER N, FRICK J (2012) Das Verhältnis der Schweizer Bevölkerung zum Wald. *Waldmonitoring soziokulturell WaMos 2*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt Wald Schnee Landschaft. 180 p.
- LITTLE M (1997) Recreation ecology. The ecological impact of outdoor recreation and ecotourism. London: Chapman & Hall. 639 p.
- MARION JL, COLE DN (1996) Spatial and temporal variation in soil and vegetation impacts on campsites. *Ecol Manage* 6: 520–530.
- MARZANO N, DANDY N (2012) Recreationist behaviour in forests and the disturbance of wildlife. *Biodivers Conserv* 21: 2967–2986.
- MASON CF, MACDONALD SM (2002) Response of ground flora to coppice management in an English woodland – a case study using permanent plots. *Biodivers Conserv* 11: 1773–1789.
- MÜLLER-DOMBOIS D, ELLENBERG H (2002) Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wiley. 547 p.
- REISINGER TW, POPE PE, HAMMOND SC (1992) Natural recovery of compacted soils in an upland hardwood forest in India. *North J Appl For* 9: 138–141.
- ROOVERS P, VERHEYEN K, HERMY M, GULINCK H (2004) Experimental trampling and vegetation recovery in some forest and heathland communities. *Appl Veg Sci* 7: 275–286.
- ROOVERS P, BOSSUYT B, GULINCK H, HERMY M (2005A) Vegetation recovery on closed path in temperate deciduous forests. *J Environ Manage* 74: 273–281.
- ROOVERS P, GULINCK H, HERMY M (2005B) Experimental assessment of initial revegetation on abandoned paths in temperate deciduous forest. *Appl Veg Sci* 8: 139–148.
- RUSTERHOLZ HP, STINGELIN K, BAUR B (2000) Freizeitnutzung des Allschwiler Waldes: Einfluss auf Bodenvegetation, Strauchschicht und wirbellose Tiere. *Schweiz Z Forstwes* 151: 117–126. doi: 10.3188/szf.2000.0117
- RUSTERHOLZ HP, BAUR B (2003) Charakterisierung und Vorlieben der Besucher in drei Gebieten eines Erholungswaldes: Ergebnisse einer Umfrage im Allschwiler Wald. *Schweiz Z Forstwes* 154: 397–404. doi: 10.3188/szf.2003.0397
- RUSTERHOLZ HP, BILECEN E, KLEIBER O, HEGETSCHWEILER KT, BAUR B (2009) Intensive recreational activities in suburban forests: A method to quantify the reduction in timber value. *Urban For Urban Greening* 8: 109–116.
- STOHLGREN TJ, PARSONS DJ (1986) Vegetation and soil recovery in wilderness campsites closed to visitor use. *Environ Manage* 10: 375–380.

WINGATE-HILL R, JAKOBSON BF (1982) Increased mechanization and soil damage in forests – a review. *N Z J For Sci* 12: 380–393.

WORREL R, HAMPSON A (1997) The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soil – a review. *Forestry* 78: 61–85.

Bodenschäden durch Freizeitaktivitäten im Wald: Regeneration durch Einzäunen

In urbanen Regionen hat der Wald eine besonders wichtige Funktion als Freizeit- und Erholungsraum. In einigen stadtnahen Wäldern ist die Erholungsnutzung inzwischen so intensiv, dass die übrigen Waldfunktionen beeinträchtigt werden. In Waldentwicklungsplänen werden verschiedene Massnahmen zur Lösung dieses Konfliktes vorgeschlagen. Über die Regeneration von stark belasteten Waldflächen, welche zur Vermeidung von weiteren Belastungen vorübergehend eingezäunt werden, ist bisher aber wenig bekannt. In der vorliegenden Studie wurde die Wirkung des Einzäunens und der Auflockerung des Oberbodens auf die Regeneration des Waldbodens und der Vegetation in einem durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Gebiet des Allschwiler Waldes (Kanton Basel-Landschaft) untersucht. In einem eingezäunten Waldgebiet wurden in je sechs Flächen mit und ohne Bodenauflockerung verschiedene Bodeneigenschaften und der Zustand der Bodenvegetation ein Jahr vor Einzäunung und Bodenauflockerung und in den folgenden sieben Jahren erfasst. Parallel dazu wurden die gleichen Erhebungen in einem unbelasteten Waldgebiet und in einem durch Freizeitaktivitäten weiterhin belasteten Gebiet durchgeführt. Die Untersuchung zeigte, dass sich der Boden und die Bodenvegetation in der eingezäunten, ursprünglich durch Freizeitaktivitäten stark belasteten Waldfläche innerhalb von sieben Jahren vollständig regenerieren konnten. Die Auflockerung des Oberbodens beschleunigte die Regeneration einzelner Bodeneigenschaften, hatte aber keinen Einfluss auf die Regeneration der Bodenvegetation.

Dégâts du sol par les activités de loisirs en forêt: régénération par une clôture

Les forêts urbaines sont des zones de loisirs populaires. Les activités de loisirs, et plus particulièrement l'utilisation des places de pique-nique et de jeux causent des dommages au sol et à la végétation, lesquelles affectent de manière négative les autres fonctions de la forêt. Les plans de gestion forestière comprennent des outils de management pour résoudre ces antagonismes. De nos jours, peu de choses sont connues sur le succès de restauration de sites temporairement clôturés afin d'y prévenir un usage récréatif dans des zones de forêt gravement dégradées. Nous présentons ici les résultats d'une expérience définie pour examiner l'impact de la pose de clôtures et de la scarification du sol sur la régénération du sol et de la végétation basse dans une forêt très dégradée à Allschwil, Suisse. Dans la zone clôturée, nous avons évalué différents paramètres du sol et de la végétation au sein de placettes avec et sans scarification l'année avant le début de l'expérience de régénération, ainsi que durant les sept années suivant celle-ci. En parallèle, les mêmes variables ont été mesurées dans une zone non dégradée et dans une zone de loisirs toujours active. Notre étude montre une bonne régénération de la végétation basse et du sol précédemment dégradé au cours des sept années. De plus, la scarification de la partie supérieure du sol a accéléré la régénération de certains paramètres du sol, mais n'a eu aucun effet sur la végétation basse. Nous pouvons conclure que la clôture temporairement d'une zone est un dispositif utile pour la restauration du sol forestier et de la végétation dans les zones gravement modifiées par les activités de loisirs.