

Mit dem Wald verschwindet auch der Humus

Großflächige Störungen in Hochgebirgswäldern führen zu Nährstoffverlusten und beeinträchtigen langfristig die Waldentwicklung

Michael Kohlpaintner und Axel Göttlein

Auf vielen Hochgebirgsflächen ist der Humus – mehr als auf Waldstandorten im Flachland – eine außerordentlich wichtige Nährstoffquelle. Schaffen Kalamitäten wie Sturmwurf, Borkenkäferbefall und Lawinenabgänge im Hochgebirge große Freiflächen, forciert das veränderte Bodenklima den Humusabbau. Da die Bodenvegetation oft nur spärlich entwickelt ist, werden die freigesetzten Nährstoffe mit dem Sickerwasser ausgewaschen und fehlen der nachfolgenden Waldgeneration. Nach massiven Humusverlusten auf Freiflächen kann das Baumwachstum für lange Zeit gravierend beeinträchtigt sein.



Foto: M. Kohlpaintner

Abbildung 1: Geräumte Sturmwurf­fläche im Lattengebirge: Die rasche Humusmineralisierung und die damit verbundenen Nährstoffverluste beeinträchtigen erheblich die Wiederbewaldung.

Am 19. Januar 2007 fegte der Sturm Kyrill über die Bayerischen Kalkalpen hinweg und verursachte große Schäden. Allein im Lattengebirge nahe Bad Reichenhall wurden über 150 Hektar fichtendominierter Bergwald der hochmontanen bis subalpinen Stufe geworfen. Im Jahr 2008 wurde auf einer dieser Flächen im Rahmen eines vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Projektes Versuchsflächen auf 1.450 m ü.N.N. Höhe eingerichtet, um die ökologischen Folgen der Sturmschäden genauer zu erforschen und die Wiederaufforstung wissenschaftlich zu begleiten. Unter anderem wurden die Sickerwässer unter vier verschiedenen, für den Standort charakteristischen Bodenformen zeitgleich auf der Sturmwurf­fläche sowie in einem angrenzenden intakten Waldbestand untersucht.

Humus: Wurzelraum sowie Speicher für Nährstoffe und Wasser

Ein enges Nebeneinander von anstehendem Gestein, reinem, meist vergrastem Mineralboden und bis zu 45 Zentimeter mächtigen Humusauf­lagen über anstehendem Kalkgestein oder über Mineralboden kennzeichnet die Böden im Projektgebiet. Diese mächtigen Humusauf­lagen im Gebirge unterscheiden sich vom ökologisch eher ungünstigen Rohhumus durch in der Regel günstigere nährstoffkundliche Parameter wie höhere pH-Werte sowie engere C/N-Verhältnisse und werden auch als Tangelhumus (siehe Kasten) bezeichnet. Insgesamt nimmt der Humus auf der Versuchsfläche mehr als ein Drittel des gesamten vorhandenen Bodenvolumens ein. Das ist deutlich mehr als in tieferen Lagen und zeigt die große Bedeutung der Humusauf­lagen im Hochgebirge sowohl als Wurzelraum wie auch als Nährstoff- und Wasserspeicher. Vor allem auf den mineralarmen Fels- und Skeletthumusböden ist der Tangelhumus der wichtigste Nährstoffspeicher. Geht er verloren, ist Baumwachstum für lange Zeit unmöglich.

Verändertes Mikroklima auf der Freifläche fördert Humusabbau und Nährstoffverluste

Wenn der Waldbestand fehlt, ändert sich das Mikroklima in der obersten Bodenschicht sehr stark. Fehlende Beschattung und fehlende Transpiration des Waldbestandes führen zu deutlich höheren Temperaturen und erhöhtem Wasserangebot im Vergleich zum intakten Wald. Dies fördert die Mikroorganismen, die ihrerseits vermehrt den Humus, ein wichtiges Kapital in mineralbodenarmen Gebirgslagen, zersetzen. Dadurch werden verstärkt Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium und Eisen freigesetzt. Da der Wald fehlt und die spärliche Vegetation nicht viele Nährstoffe aufnehmen kann, geht ein großer Teil davon mit dem Sickerwasser verloren.

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der mittleren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter verschiedenen Bodenformen auf der Sturmwurf­fläche und im intakten Wald. Bei allen Bodenformen sind die Nitratkonzentrationen auf der Sturmwurf­fläche signifikant erhöht. Besonders die beiden Tangelhumus-

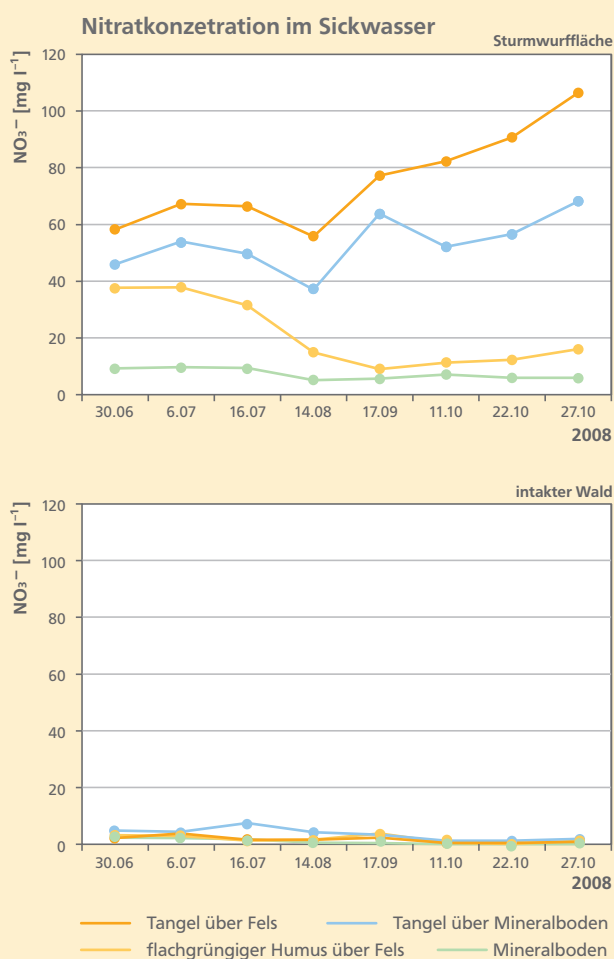


Abbildung 2: Mittlere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser verschiedener Bodenformen; auf den Sturmwurfflächen (oben) sind die Werte durchgehend statistisch signifikant erhöht gegenüber den Werten aus dem intakten Wald (unten).

formen zeigen nach Sturmwurf stark erhöhte mittlere Nitratkonzentrationen, die Ende Oktober beim *Tangel über Fels* im Mittel über 100 Milligramm pro Liter (mg l⁻¹) liegen. Einzelne Werte erreichten sogar Konzentrationen um 250 mg l⁻¹. Solch hohe Konzentrationen kennt man bisher nur aus stickstoffgesättigten Wäldern der Tieflagen (Huber et al. 2004; Kohlpaintner et al. 2009). Im Bayerischen Wald wurden in den Hochlagen nach großflächiger Borkenkäferkalamität Höchstwerte von »lediglich« 123 mg l⁻¹ Nitrat gemessen (Huber 2005). Im Extremfall lag bei der Probenahme am 22. Oktober 2008 die mittlere Konzentration bei der Bodenform *Tangel über Fels* auf der Sturmwurffläche 185 Mal höher als im intakten Wald (90,51 mg l⁻¹ im Vergleich zu 0,49 mg l⁻¹). Bei der Variante *Tangel über Mineralboden* war die Konzentration auf der Sturmwurffläche am 11. Oktober 2008 über 40 Mal höher als im intakten Waldbestand (51,88 mg l⁻¹ im Vergleich zu 1,28 mg l⁻¹). Beide Varianten zeigten ansteigende Konzentrationen bis Ende Oktober. Möglicherweise ist nach der Vegetationsperiode, wenn auch

Der Tangelhumus – ein echter »Gebirgler«



Tangelhumus ist eine besondere Humusform mit mindestens 15, gelegentlich bis über 100 Zentimeter Mächtigkeit. Er ist an der Basis durch einen meist zehn bis 15 Zentimeter mächtigen, schwarzbraunen bis schwarzen diagnostischen O_{vh}-Horizont definiert. Dieser weist ein Krümelgefüge auf. Kationenaustauschkapazität, Basensättigung und pH-Wert sind erhöht, das C/N-Verhältnis erniedrigt.

Darüber folgen mächtige O_h- und O_f-Horizonte. Eine Basensättigung von meist über 90 Prozent im gesamten Profil und gelegentlich zu findende Regenwürmer sind ein Zeichen erhöhter biologischer Aktivität, sodass Tangelhumus in seiner Umsetzungsaktivität eher den Moderhumusformen entspricht.

Eine Abgrenzung von den ebenfalls mächtigen Roh- und Torfhumusformen ist auf Grund der beschriebenen morphologischen und chemischen Eigenschaften, aber auch auf Grund der daraus resultierenden unterschiedlichen Standortseigenschaften notwendig. Häufig stocken auf Tangelhumus sehr produktive Nadel- und Bergmischwälder. Wegen ihrer hohen Basensättigung wachsen selbst Edellaubbäume wie Bergahorne auf diesen Standorten.

Ursache für die Entstehung ist ein Faktorenkomplex, in dem a) die Qualität der Streu, b) das Klima und c) das unterlagernde geologische Substrat wichtige Rollen spielen.

a) Tangel baut sich meist aus schlecht zersetzlicher Streu von Nadelhölzern, Zwergsträuchern und Moosen, seltener aus Buchenlaub auf.

b) Feucht-kühle Gebirgsklimate mit kurzer Vegetationsperiode sind günstig, weshalb sich Tangelhumusformen v. a. an ozeanisch geprägten Gebirgsrändern finden.

c) Das unterlagernde Gestein darf im Idealfall nur wenig Feinerde liefern. Diese Voraussetzung findet sich entweder auf feinerdearm verwitternden Kalken und Dolomiten und/oder auf grobem Blockschutt oder anstehendem Gestein. Tangelhumusformen finden sich in der subalpinen und montanen Stufe der Alpen und in einigen mitteleuropäischen und nordmediterranen Gebirgen.

Insgesamt sind noch viele Fragen zu Standortseigenschaften, Genese und Verbreitung von Tangel ungeklärt.

kolb

die spärliche Bodenvegetation kein Nitrat mehr aufnehmen kann, die Freisetzung aber weiter läuft, mit noch höheren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser zu rechnen. Jedoch mussten die Messeinrichtungen Ende Oktober für das Winterhalbjahr ausgebaut werden. Deshalb konnten Aussagen für diese Jahreszeit nicht getroffen werden. Unter den beiden Bodenformen *flachgründiger Humus über Fels* und *Mineralboden* wurde auf der Sturmwurffläche deutlich weniger Nitrat als unter den Tangelvarianten gemessen. Jedoch lagen die Werte immer noch wesentlich höher als im intakten Wald, wo die Variante *Tangel über Mineralboden* Mitte Juli mit $7,5 \text{ mg l}^{-1}$ die höchste mittlere Konzentration zeigte. Andere wichtige Nährionen wie Ammonium, Kalium, Eisen und Sulfat zeigten auf der Sturmwurffläche ebenfalls meist stark erhöhte Konzentrationen im Sickerwasser. Die zum großen Teil statistisch signifikant erhöhten Konzentrationen an Nährionen im Sickerwasser der Sturmwurffläche deuten auf verstärkte Mineralisationsprozesse bei allen vier Varianten hin. Dies ist ein eindeutiges Zeichen für den Abbau von Humus und damit auch für den Verlust wichtiger Nährstoffe für die kommende Waldgeneration.

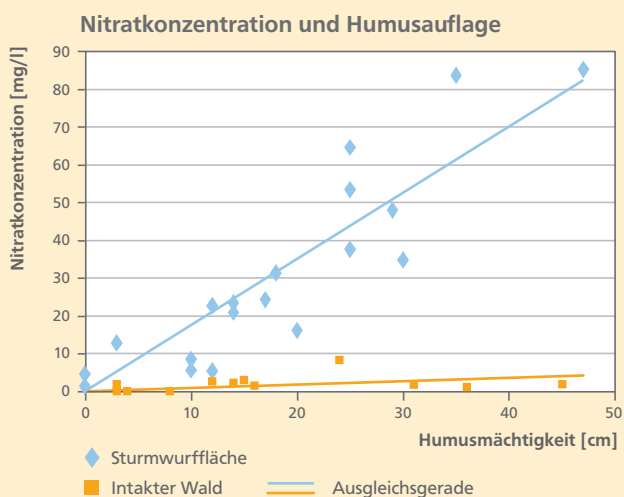


Abbildung 3: Abhängigkeit zwischen der Nitratkonzentration im Sickerwasser und der Mächtigkeit der Humusauflage auf der Sturmwurffläche bzw. im intakten Wald

Je dicker die Humusauflage, desto mehr Nitrat gelangt nach Sturmwurf ins Sickerwasser

Bei der Probennahme im August ließen sich auf der Sturmwurffläche über 80 Prozent der Variabilität der Nitratkonzentration allein auf Grund der Variation der Humusmächtigkeit erklären. Abbildung 3 zeigt deutlich, dass mächtige Humusauflagen auch höhere Nitratkonzentrationen verursachen. Im intakten Wald hingegen gab es diesen Zusammenhang nicht. Hier wurden auch unter mächtigen Humusschichten nur geringe Nitratkonzentrationen gemessen. Da die Böden im Pro-

jektgebiet flachgründiger als z. B. in den Voralpen entwickelt sind und der Untergrund aus verkarsteten Dachsteinkalken besteht, werden die gemessenen hohen Nährstoffkonzentrationen schnell dem Vorfluter oder dem Grundwasser zugeführt.

Dauerhafte Waldbestockung im Hochgebirge unerlässlich

Die hohen Konzentrationen an Nährionen im Sickerwasser der Sturmwurffläche lassen darauf schließen, dass der Humusabbau schnell voranschreitet. Die hohen Niederschläge im Hochgebirge führen zudem zu höheren Sickerwasserspenden, die die Nährstoffausträge gegenüber dem Flachland erhöhen. Zusätzlich fördern hohe Einstrahlung, Extreme in der Wasserversorgung und lange Schneebedeckung auf solchen Kalamitätsflächen verzögernde Bedingungen. Diese verzögern den Aufwuchs der neuen Waldgeneration und verlängern den Zeitraum des Humusabbaus. Im Hochgebirge sind daher eine dauerhafte Waldbestockung aus standortsgemäßen Baumarten sowie eine verzögerungsförderliche Bestandesstruktur besonders wichtig, um auch nach Katastrophenergebnissen eine völlige Bloßlegung des Bodens zu vermeiden und eine schnelle Wiederbewaldung zu ermöglichen.

Literatur

Huber, C. (2005): *Long lasting nitrate leaching after bark beetle attack in the highlands of the Bavarian Forest National Park*. J. Environ. Qual. 34, S. 1.772–1.779

Huber, C.; Weis, W.; Baumgarten, M.; Göttlein, A. (2004): *Spatial and temporal variation of seepage water chemistry after felling and small scale clear-cutting in a N-saturated Norway spruce stand*. Plant Soil 267, S. 23–40

Kohlpaintner, M.; Huber, C.; Weis, W.; Göttlein, A. (2009): *Spatial and temporal variability of nitrate concentration in seepage water under a mature Norway spruce Picea abies (L.) Karst stand before and after clear cut*. Plant Soil 314, S. 285–301

Michael Kohlpaintner bearbeitete am Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. Axel Göttlein das vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderte Projekt »Wiederbewaldung und Standortssicherung von Sturmwurfflächen in der hochmontanen Stufe der Bayerischen Alpen am Beispiel des Lattenbergs (ST 223)«.

kohlpaintner@forst.tu-muenchen.de