

Humusverlust nach Windwurf – Risiko im Bergwald?

Mathias Mayer^{1,2,4}, Silvan Rusch¹, Markus Didion¹, Andri Baltensweiler¹, Lorenz Walthert¹, Fabienne Ranft³, Andreas Rigling^{1,4}, Stephan Zimmermann¹ und Frank Hagedorn¹

¹ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee, und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

² Universität für Bodenkultur, Wien (BOKU), Peter-Jordan Strasse 82, A-1190 Wien

³ Amt für Geoinformation des Kantons Bern, Reiterstrasse 11, CH-3013 Bern

⁴ Eidg. Technische Hochschule Zürich (ETH), Universitätsstrasse 16, CH-8092 Zürich

mathias.mayer@wsl.ch, silvan.rusch@wsl.ch, markus.didion@wsl.ch, andri.baltensweiler@wsl.ch, lorenz.walthert@wsl.ch, fabienne.ranft@be.ch, andreas.rigling@usys.ethz.ch, stephan.zimmermann@wsl.ch, frank.hagedorn@wsl.ch

Wälder sind zunehmend von Sturmschäden betroffen. In einem Projekt der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL wurde untersucht, wie sich Windwürfe auf die Kohlenstoffspeicherung im Waldboden auswirken. Hoch gelegene Nadelwälder sind besonders anfällig für Kohlenstoffverluste aus dem Boden. Im Unterschied zu Wäldern tieferer Lagen werden dort grössere Mengen an Kohlenstoff in rein organischen, mächtigen Humusaufgaben gespeichert. Eine Stabilisierung durch mineralische Interaktionen fehlt weitgehend, was die Humusaufgaben empfindlich macht für Kohlenstoffverluste durch störungsbedingte Veränderungen des Bestandesklimas. Die langsame Baumverjüngung und die geringen Streueinträge in den Boden bremsen den Humusaufbau nach einer Störung zusätzlich. Eine weitere Zunahme von Windwürfen könnte die Bodenkohlenstoffvorräte in Bergwäldern drastisch reduzieren, was negative Auswirkungen auf das Klima hätte. Darüber hinaus könnten störungsbedingte Humusverluste die Bodenqualität nachhaltig verschlechtern.

1 Hintergrund

Waldböden leisten einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz, indem sie grosse Mengen an Kohlenstoff in der organischen Bodensubstanz speichern (PAN *et al.* 2011). Nach grossflächigen Waldstörungen, wie etwa durch Stürme (Abb. 1), wird der mikrobielle Abbau organischer Bodensubstanz angeregt und ein Grossteil des darin gespeicherten Kohlenstoffs geht als CO₂ an die Atmosphäre verloren (MAYER *et al.* 2017). Das hat negative Auswirkungen auf das Klima. Darüber hinaus verschlechtern sich als Folgen des Humusverlustes die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazitäten von Waldböden. Obwohl die Problematik bekannt ist, wurden störungsbedingte Kohlenstoffverluste aus Böden bislang wenig untersucht. Da mit einer Zunahme an Schadereignissen durch Stürme zu rechnen ist (SEIDL *et al.* 2017), sind quantitative Abschätzungen notwendig, um die Klimaschutzfunktion des Waldbodens zuverlässig zu ermitteln.

2 Auswirkung von Windwurf auf die Bodenkohlenstoffspeicherung

In einer Studie der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL wurden die Auswirkungen der Stürme Lothar und

Vivian auf die Kohlenstoffspeicherung in der organischen Bodensubstanz typischer Waldstandorte der Schweiz systematisch untersucht. Dazu wurden die Kohlenstoffvorräte in der rein organischen Humusaufgabe und im oberen Mineralboden (0–10 cm Tiefe) von 19 Windwurfflächen 10 und 20 Jahre nach den Stürmen erfasst. Die Vorräte wurden mit jenen von benachbarten Kontrollbeständen verglichen. Die Waldstandorte reichen vom Schweizer Mittelland bis in die nördlichen Voralpen und decken einen Gradienten von etwa 400 bis 1600 m Seehöhe ab. Zusätzlich wurde die zeitliche Veränderung der Bodenkohlenstoffvorräte mit Modellen simuliert.

Es zeigte sich, dass sich die Auswirkungen von Sturmschäden auf die Humusaufgabe beschränkten und der obere Mineralboden weitgehend un-



Abb. 1. Sturmschäden etwa 15 Jahre nach Lothar. Besonders im Bergwald können diese zu Humusverlusten führen (Foto: M. Mayer).

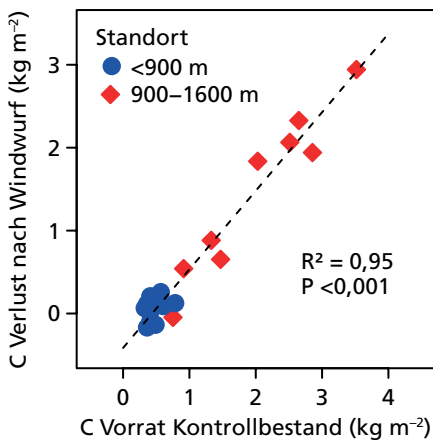


Abb. 2. Kohlenstoffverluste aus der Humusaufgabe nach Windwurf in Abhängigkeit zur Vorratsgrösse in benachbarten Kontrollbeständen. Die gestrichelte Linie zeigt die Regressionsgerade des Zusammenhanges der Variablen (n=19). Je grösser der Kohlenstoffvorrat in der Humusaufgabe vor Windwurf ist, desto mehr Kohlenstoff geht dadurch verloren. Hoch gelegene Bergwaldstandorte sind besonders stark betroffen.

beeinflusst blieb. Die Kohlenstoffverluste aus der Humusaufgabe waren dabei stark abhängig von der initialen Vorratsgrösse (Abb. 2). Vor allem hoch gelegene Nadelwälder mit mächtigen Humusaufgaben waren nach Windwurf von grossen Bodenkohlenstoffverlusten betroffen. Hier nahmen die Kohlenstoffvorräte im Vergleich zu den Kontrollbeständen um bis zu 3 kg m² ab, was einem Verlust von etwa 90 % entspricht. Organische Substanz in Humusaufgaben ist im Vergleich zu jener in Mineralböden weniger geschützt gegen mikrobiellen Abbau und Erosion, da eine Stabilisierung durch mineralische Interaktionen (z.B. Bodenaggregate) fehlt (LEHMANN und KLEBER 2015). Kommt es zu einer Abnahme schattenspendender Bäume und damit zu einer Zunahme der durchschnittlichen Bodentemperatur und Bodenfeuchte, werden labile organische Verbindungen rasch abgebaut (MAYER *et al.* 2017). Im Vergleich zu höheren Lagen zeigten Laub- und Mischwälder tieferer Lagen mit ihren geringmächtigen Humusaufgaben nur geringe störungsbedingte Veränderungen in den Bodenkohlenstoffvorräten. Wälder tieferer Lagen verjüngen sich nach Störung rascher (KRAMER *et al.* 2014). Dementsprechend zeigten Modellsimulationen für tiefere Lagen grössere

Streueinträge in den Boden und eine schnellere Erholung der Kohlenstoffvorräte nach Windwurf. Auf Standorten mit geringmächtigen Humusaufgaben hatten die Kohlenstoffvorräte bereits nach etwa 10 Jahren wieder das Vorstörungsniveau erreicht. In höher gelegenen Bergwäldern wurden hingegen Erholungszeiträume der Vorräte von bis zu 60 Jahren ermittelt.

3 Humusverluste im Schweizer Wald nach Lothar und Vivian

In einer Hochrechnung wurde gezeigt, wieviel Kohlenstoff aus der Humusaufgabe durch Sturmschäden nach Lothar und Vivian auf der gesamten Schweizer Waldfläche verloren gegangen war. Auf einer Gesamtstörungsfläche von ~29,000 ha wurden Verluste von ~400 kt Kohlenstoff ermittelt (zwischen 1990 und 2008). Diese Menge entspricht der durchschnittlichen Kohlenstofffestlegung in der Baumbiomasse einer entsprechenden Fläche innerhalb von etwa 40 Jahren (FOEN 2022). Der Wald braucht mehrere Jahrzehnte, um den verlorengegangenen Kohlenstoff durch Wachstum zu kompensieren. Auch hier zeigte sich klar, dass höher gelegene Bergwälder nach Windwurf besonders stark von Kohlenstoffverlusten betroffen sind. Obwohl die Gesamtwindwurffläche auf über 1000 m Seehöhe um ein Drittel kleiner war als jene unterhalb von 1000 m, war die Reduktion der Kohlenstoffspeicher in den Humusaufgaben in den höheren Lagen etwa doppelt so gross wie in den tiefen Lagen. Da Bergwälder generell langsam wachsen (THÜRIG und SCHMID 2008; KRAMER *et al.* 2014), könnten bereits kleine Windwürfe die Kohlenstoffsenske von Bergwäldern für Jahrzehnte stark verringern (MATTHEWS *et al.* 2017). Störungsbedingte Humusverluste hätten an den betroffenen Waldstandorten zudem eine negative Auswirkung auf das Wasser- und Nährstoffspeichervermögen des Bodens mit entsprechend erhöhtem Stressrisiko für den nachfolgenden Bestand.

4 Fazit

Bergwälder sind nach Sturmschäden besonders verletzlich gegenüber dem Abbau organischer Bodensubstanz und Kohlenstoffverlusten aus dem Boden. Das kann auf die grösseren Kohlenstoffvorräte in der Humusaufgabe und eine langsamere Bestandesverjüngung nach Störung in höheren Lagen zurückgeführt werden. Diese Verluste beeinträchtigen die Klimaschutzfunktion und die Bodenqualität von Bergwaldstandorten. Mit der erwarteten Zunahme von Extremereignissen dürfte sich der Humusverlust in Bergwäldern in Zukunft verstärken.

5 Literatur

- FOEN, 2022: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2020. Federal Office for the Environment FOEN Bern.
- KRAMER, K.; BRANG, P.; BACHOFEN, H.; BUGMANN, H.; WOHLGEMUTH, T., 2014: Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests. *For. Ecol. Manage.* 331: 116–128.
- LEHMANN, J.; KLEBER, M., 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528: 60–68.
- MATTHEWS, B.; MAYER, M.; KATZENSTEINER, K.; GODBOLD, D.L.; SCHUME, H., 2017: Turbulent energy and carbon dioxide exchange along an early-successional windthrow chronosequence in the European Alps. *Agric. For. Meteorol.* 232: 576–594.
- MAYER, M.; SANDÉN, H.; REWALD, B.; GODBOLD, D.L.; KATZENSTEINER, K., 2017: Increase in heterotrophic soil respiration by temperature drives decline in soil organic carbon stocks after forest windthrow in a mountainous ecosystem. *Fungal Ecol.* 31: 1163–1172.
- PAN, Y.; BIRDSEY, R.A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P.E.; KURZ, W.A.; PHILLIPS, O.L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S. L.; CANADDELL, J. G.; CIAIS, P.; JACKSON, R.B.; PACALA, S. W.; MCGUIRE, A.D.; PIAO, S.; RAUTAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D., 2011: A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988–993.

SEIDL, R.; THOM, D.; KAUTZ, M.; MARTIN-BENITO, D.; PELTONIEMI, M.; VACCHIANO, G.; WILD, J.; ASCOLI, D.; PETR, M.; HONKANENIEMI, J.; LEXER, M. J.; TROTSIUK, V.; MAIROTA, P.; SVOBODA, M.; FABRIKA, M.; NAGEL, T. A.; REYER, C.P.O., 2017: Forest disturbances under climate change. *Nat. Clim. Chang.* 7: 395–402.

THÜRIG, E.; SCHMID, S., 2008. Jährliche CO₂-Flüsse im Wald: Berechnungsmethode für das Treibhausgasinventar/Annual CO₂ fluxes in forests: calculation method for the Greenhouse Gas Inventory. *Schweiz. Z. Forstwes.* 159: 31–38.

Abstract

Organic matter losses after forest windthrow

Storms represent a major disturbance factor in forest ecosystems, but the effects of windthrows on soil organic carbon stocks are poorly known. The Swiss Federal Institute WSL assessed the soil organic carbon stocks of windthrown forests and neighbouring unaffected stands across Switzerland. The largest soil carbon losses occurred in high-elevation forests with thick organic layers. In contrast, soil organic carbon stocks of low-elevation forests with thin organic layers were hardly affected. The likely reason for this pattern is the high amount of easily mineralizable carbon in thick organic layers which got lost following windthrow. At low elevations, on the other hand, a greater carbon fraction may be stabilized by mineral interactions preventing fast decomposition. Modelling simulations further show longer-lasting soil carbon losses and a slower recovery of carbon stocks after windthrow at high elevations compared to low elevations, due to a slower regeneration of mountain forests and associated lower carbon inputs into soils. The study provides strong empirical evidence that the vulnerability of soil organic carbon stocks to windthrow is particularly high in mountain forests featuring thick and slowly forming organic layers.

Keywords: Forest disturbance, soil organic carbon, soil organic matter, climate change, storm damage, decomposition



Diese Publikation ist Open Access und alle Texte und Fotos, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und verändert werden.