

Summary

Simple oak coppice forests of the Ahr-Eifel are confronted with extensive soil degradation. Four complementary investigations were conducted to study the impact of the environmental factors “relief position”, “slope gradient”, “red deer”, “wild boar”, “stand density” and “stand composition” on soil degradation in the investigation area. Soil quality was assessed determining several physical, chemical and biotic soil properties in the upper soil (Ah-horizon) of twelve different oak forest sites.

Relief position and slope gradient influenced soil degradation in the investigation area. The content of basic cations (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) was significantly lower, the content of Al^{3+} significantly higher at leeward slopes than at windward slopes. Soil nutrient contents were lower and the Al^{3+} content higher at the slope position “plateau” and at sites with high slope gradients than at the foot slope and sites with low inclinations.

Red deer grazing and trampling enhanced soil degradation at a windward forest site. Soil moisture, water retention capacity (WRC_{max}), nutrient availability and microbial activity were lower under the impact of red deer than in fenced exclosures. Opposite tendencies were found at a leeward forest site. The content of several soil nutrients and microbial characteristics were higher outside the fenced exclosure. The abundance of several soil invertebrates was clearly reduced at the unfenced plots of both slope aspects.

Simulated wild boar grubbing affected soil organisms and the soil nutrient status in a leeward forest site. Microbial activity and the abundance of several soil arthropods were noticeably lower at grubbed plots compared to ungrubbed control plots. Consequently, the content of basic cations and exchangeable phosphate were reduced at such grubbed plots. No effects of wild boar grubbing were found on soil texture or on the content of C_{org} and N_t .

Reducing the stand density by forest thinning resulted in an increased accumulation of organic matter compared to that of dense plots. As a result, thinned plots exhibited higher contents of most of the observed soil nutrients, higher WRC_{max} , higher microbial activity and higher abundances of many soil invertebrates than dense plots did.

A comparison of oak-monocultures with mixed oak-hazel stands revealed a positive influence of hazel on soil quality. The Ca^{2+} , Mg^{2+} and PO_4^{3-} contents were higher and the Al^{3+} content was lower in soils of mixed stands than in corresponding oak-monocultures. The forest floor mass and the thickness of the A-horizon were greater in mixed cultures but the contents of C_{org} and N_t and the C/N-ratio did not differ among the sites. The soil biota was hardly influenced by stand composition.

In a second approach I evaluated the possibility that microbial properties are indicative for soil quality deterioration in simple oak coppice forests of the Ahr-Eifel. Microbial activity, microbial biomass-C (C_{mic}), metabolic quotient (qCO_2) and the ratio of microbial C to soil organic carbon (C_{mic}/C_{org}) have all been proposed to be indicators for soil quality in many studies and are supposed to constitute an early warning system for soil deterioration. In addition to the field, studies two consecutive microcosm experiments were conducted to investigate the effects of nutrient availability on soil microbial properties.

In both the field studies and the microcosm experiments, the microbial activity was closely related to the soil nutrient status and reacted sensitive to soil disturbance regimes. In contrast, microbial biomass did not consistently reflect nutrient availability. None of the environmental factors tested in the field studies exerted a non-ambiguous influence on soil microbial biomass. Hence, C_{mic} was in most cases not correlated to the contents of C_{org} , N_t and PO_4^{3-} when regarding the investigations separately. Moreover, C_{mic} was lower in nutrient-rich than in nutrient-poor soil substrate in the microcosm experiment controls. However, addition of glucose and cellulose to the soil substrates generally increased C_{mic} . The qCO_2 tended to be higher under favourable than under unfavourable soil conditions in the field studies. In addition, the qCO_2 increased with higher nutrient availability in the microcosm experiments. The C_{mic}/C_{org} -ratio was negatively correlated to the C_{org} content and therefore high in soils subjected to disturbance regimes following nutrient depletion and low at plots with accumulation of easily degradable organic compounds.

These results suggest that only microbial activity reflects the soil nutrient status reliably. Microbial biomass, qCO_2 and the C_{mic}/C_{org} -ratio can fail to echo environmental disturbances and to predict the danger of soil organic matter loss or nutrient limitation, a result which conflicts with findings from previous studies.

Zusammenfassung

Eichen-Niederwälder der Ahr-Eifel sind großflächig von Boden-Degradation betroffen. Ich führte vier komplementäre Freiland-Untersuchungen durch, um den Einfluss der Umweltfaktoren „Reliefposition“, „Hangneigung“, „Rotwild“, „Schwarzwild“, „Bestandesdichte“ und „Bestandeszusammensetzung“ auf Boden-Degradation im Untersuchungsgebiet aufzuklären. Insgesamt wurde in 12 verschiedenen Waldflächen die Bodenqualität durch die Erfassung zahlreicher physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Bodeneigenschaften (Ah-Horizont) bestimmt. Zusätzlich wurde die

Abundanz der Bodenmesofauna, der Streu bewohnenden Makrofauna und die Mächtigkeit der Streuauflage erfasst.

Reliefposition und Hangneigung beeinflussten Boden-Degradation im Untersuchungs-gebiet. Die Gehalte basischer Kationen (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) waren im Oberboden von Lee-Flächen signifikant höher, der Al^{3+} -Gehalt signifikant niedriger als in Luv-Flächen. In Plateaulage und in steilen Hangbereichen waren zahlreiche Nährstoff-Gehalte niedriger und der Al^{3+} -Gehalt höher als am Hangfuß oder in gering geneigten Waldflächen.

Rotwild-Äsung und -Vertritt verstärkten Boden-Degradation in einer Luv-Fläche. Bodenfeuchte, maximale Wasserhaltekapazität (WHK_{max}), Nährstoff-Verfügbarkeit und mikrobielle Aktivität waren unter dem Einfluss von Rotwild niedriger als in gegatterten Parzellen. In einer Lee-Fläche ergaben sich gegensätzliche Ergebnisse. Die Gehalte einiger Nährstoffe und mikrobielle Kenngrößen waren außerhalb des Gatters erhöht. Die Abundanz zahlreicher Bodeninvertebraten war unabhängig von der Exposition stets außerhalb des Gatters niedriger.

Boden-Bioturbation durch die simulierte Wühlaktivität von Schwarzwild beeinträchtigte Bodenorganismen und Nährstoff-Gehalte in einer SO-exponierten Waldfläche. Mikrobielle Aktivität und die Abundanz zahlreicher Bodenarthropoden waren in durchwühlten Parzellen deutlich niedriger als in Kontroll-Parzellen. Entsprechend zeigten sich auch der Phosphat-Gehalt (PO_4^{3-}) und der Gehalt basischer Nährionen im Oberboden umgegrabener Parzellen deutlich erniedrigt. Auf die Bodentextur und die Gehalte organischen Kohlenstoffs (C_{org}) und Gesamt-Stickstoffs (N_t) wirkte sich die Bioturbation des Bodens allerdings nicht aus.

Eine Erniedrigung der Bestandesdichte durch forstliche Auflichtungsmaßnahmen verringerte den erosiven Abtrag organischer Bodenschichten. Folglich waren WHK_{max} , mikrobielle Aktivität, die Abundanz zahlreicher Bodenarthropoden und die Gehalte fast aller untersuchten Nährstoffe in den aufgelichteten Beständen deutlich höher als in den dichten Beständen.

Ein Vergleich von Eichen-Monokulturen und Eiche-Hasel-Mischbeständen deutete auf einen positiven Einfluss von Hasel auf die Bodenqualität hin. Die Gehalte an Ca^{2+} , Mg^{2+} und PO_4^{3-} waren in Mischbeständen höher, der Al^{3+} -Gehalt hingegen niedriger als in vergleichbaren Monokulturen. Auch die Streumenge und die Mächtigkeit des Ah-Horizontes waren in den Mischkulturen deutlich erhöht, ohne sich jedoch auf die Gehalte an C_{org} und N_t auszuwirken. Die Bodenorganismen zeigten sich von der Bestandeszusammensetzung weitestgehend unbeeinflusst.

In einem zweiten Schwerpunkt dieser Studie wurde überprüft, ob mikrobielle Parameter geeignete Indikatoren für Bodenzustandserhebungen in Eichen-Niederwäldern darstellen. Mikrobielle Aktivität, mikrobielle Biomasse (C_{mic}), metabolischer Quotient (qCO_2) und das Verhältnis von C_{mic} zu C_{org} (C_{mic}/C_{org}) wurden in zahlreichen Untersuchungen als Indikatoren für Bodenqualität vorgeschlagen und sollen ein geeignetes Frühwarnsystem für Nährstoff-Verluste im Boden darstellen. In Ergänzung zu den Freiland-Untersuchungen führte ich zwei aufeinanderfolgende Mikrokosmos-Experimente durch, um den Einfluss der Nährstoff-Verfügbarkeit auf mikrobielle Kenngrößen zu ermitteln.

Die mikrobielle Aktivität zeigte sich sowohl in den Freiland-Untersuchungen als auch in den Labor-Experimenten deutlich vom Nährstoff-Angebot beeinflusst. Im Gegensatz dazu spiegelte die mikrobielle Biomasse die Nährstoff-Situation im Boden nicht zuverlässig wieder. Keiner der untersuchten Umweltfaktoren übte einen eindeutigen Einfluss auf den mikrobiellen C-Gehalt aus. Entsprechend konnte in den jeweiligen Freiland-Untersuchungen meist keine signifikante Korrelation zu den Gehalten an C_{org} , N_t und PO_4^{3-} ermittelt werden. Auch in den Mikrokosmos-Experimenten wurden in nährstoffreichen Bodensubstraten meist niedrigere C_{mic} -Werte ermittelt als in nährstoffarmen Bodensubstraten. Allerdings führte die Zugabe von Glucose und Cellulose generell zu einem starken Anstieg von C_{mic} . Der qCO_2 war in den Freiland-Untersuchungen unter günstigen Bodenbedingungen meist höher als in degradierten Böden. Auch in den Mikrokosmos-Versuchen bewirkte eine höhere Nährstoff-Verfügbarkeit einen Anstieg der qCO_2 -Werte. Das C_{mic}/C_{org} Verhältnis war negativ mit dem C_{org} -Gehalt korreliert. Demnach wurden in gestörten Böden mit Nährstoff-Verlusten höhere Werte nachgewiesen als in Flächen, die durch Nährstoff-Akkumulation gekennzeichnet waren.

Diese Ergebnisse deuten an, dass nur die mikrobielle Aktivität die Nährstoff-Situation in Böden verlässlich wiedergibt. Mikrobielle Biomasse, qCO_2 und das C_{mic}/C_{org} -Verhältnis waren in der vorliegenden Untersuchung ungeeignet als Bodenzustands-Indikatoren. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen reagierten sie weder auf Bodenstörung, noch reflektierten sie den Rückgang organischer und mineralischer Nährstoffe im Boden.