



Doctoral Thesis

Effect of wood ash recycling and liquid fertilisation on the fine roots of Norway spruce

Author(s):

Genenger, Matthias

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004256638> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 14374

**Effect of wood ash recycling and liquid
fertilisation on the fine roots of Norway spruce**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH
for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCE

presented by

MATTHIAS GENENGER
Dipl. Biology, Philipps-University Marburg (Germany)
born November 16, 1969
in Düsseldorf (Germany)

accepted on recommendation of

Prof. Dr. Emmanuel Frossard, examiner
Prof. Dr. Nikolaus Amrhein, co-examiner
Prof. Dr. Douglas L. Godbold, co-examiner
Dr. Ivano Brunner, co-examiner

2001

Abstract

Forests in large areas of Europe and North America are subjected to high N deposition leading to N saturation and nutritional imbalances. In a field experiment in a spruce forest of the Swiss plateau, the influence of a wood ash recycling (A), an optimal liquid fertilisation (WF), and a water treatment (W) on the fine roots (≤ 2 mm) of Norway spruce has been investigated for two years in comparison to a control (C). Fine root growth and element concentrations have been monitored. The nitrate reductase activity (NRA) of fine roots, assumed to be an indicator of nitrate in the forest soil was measured during the vegetation period. In addition a ^{15}N -tracer experiment was conducted to investigate the N uptake into the fine roots.

The A, WF and also the W treatment resulted in a significant increase of the soil pH. The fine root growth was not affected, although W seemed to reduce the number of root tips and forks, and reduced the root length while the contrary was observed with the A treatment. In addition the roots showed a reduced diameter under the A treatment. Fine root N increased with the WF treatment, while C-concentrations decreased in all three treatments. The Ca and Mg concentrations were significantly increased through A and WF treatments while the K and P concentrations in the fine roots were improved by all three applications. The Al, Fe and Mn concentrations in the fine roots were slightly decreased by the A and WF treatments, and S and Zn showed inconsistent changes over the growing seasons. Heavy metal concentrations of Cu and Cd were not increased by the A treatment. With certain elements as e.g. Mg, Ca, changes were observed in the fine roots, that could not be detected in concentrations of the needles. Therefore, the element concentrations of fine roots are more sensitive in their reaction to changes in element availability of the soil than the element concentrations in the foliage. The NRA of the fine roots in the forest was increased by the WF, but also by the W treatment and most by the A treatment. Nitrate concentrations in the soil solution were enhanced during the WF irrigation. In non-hydroponic laboratory experiments, a correlation between external nitrate concentrations and the NRA in Norway spruce roots could be shown. In the forest the pH of the soil solution was significantly correlated with the NRA in the fine

roots, while a correlation between the nitrate in the soil and the NRA was only significant, when the spatial heterogeneity of the soil nitrate was taken into account. Thus the NRA is assumed to reflect the nitrate conditions in the soil. Nevertheless, the indicator function is limited as shown with the A and W treatments, where the elevated NRA was probably caused by other environmental parameters, which changed the nitrate availability in the soil and/or uptake properties of the roots.

A rapid uptake of the applied ^{15}N into the fine roots could be observed in the field and in the laboratory experiment. Within one day after application of the tracer to the forest floor 50 % of the maximal observed $\delta^{15}\text{N}$ were detectable in the fine roots, maximum $\delta^{15}\text{N}$ was reached after one month. The applied ^{15}N in the laboratory experiment could be retrieved in the major amino acids of Norway spruce seedlings within 4 h to 1 day in root and shoot. The nitrate uptake and incorporation was dependent on the external nitrate concentration applied. The at% ^{15}N in the amino acids was generally increasing to a maximum within 3 to 7 days and decreasing 10 days after the tracer application again. In the forest the treatments applied in the previous year had no effect on the $\delta^{15}\text{N}$ in the roots. From 2 months after ^{15}N application on, the $\delta^{15}\text{N}$ started to decrease to about 60% of its maximal value within one year, irrespective of what treatment was applied. Nine months after tracer application a detailed investigation of the $\delta^{15}\text{N}$ distribution of one spruce root system with roots of various sizes and from various soil depths showed significantly higher $\delta^{15}\text{N}$ values in the roots of the upper soil horizon compared to roots at 30 - 40 cm or 60 - 70 cm depth. Furthermore, the $\delta^{15}\text{N}$ was higher in fine roots compared to root tissue of roots bigger in diameter than 5 mm. Thus the ^{15}N was not distributed extensively within the root system, but remained in the fine roots of the topsoil, the sites of nutrient uptake.

Zusammenfassung

Wälder in grossen Teilen Europas und Nord-Amerikas sind durch hohe atmogene Stickstoff (N) Einträge beeinträchtigt, die zu N Sättigung und Nährstoff-Ungleichgewichten führen. In einem Feldexperiment in einem Fichtenwald des Schweizer Mittellandes, wurden über zwei Jahre die Effekte eines Holzasche-Recyclings (A), einer optimalen Flüssig-Düngung (WF) und einer Wasser Variante (W) auf die Feinwurzeln (≤ 2 mm) im Vergleich zu einer Kontrolle (C) untersucht. Der Einfluss dieser Behandlungen auf das Wachstum und die Elementzusammensetzung der Wurzeln wurde beobachtet. Die Aktivität der Nitratreduktase (NRA) in den Feinwurzeln, die als Indikator für Nitrat im Boden fungieren könnte, wurde während der Vegetationszeit gemessen. Darüber hinaus wurde ein ^{15}N Tracer Experiment durchgeführt, um die N Aufnahme in die Wurzeln zu studieren.

Die A, WF und auch die W Behandlung bewirkten einem deutlichen pH Anstieg des Bodens. Das Feinwurzelswachstum war nicht beeinflusst, obwohl die W Behandlung die Anzahl Wurzelspitzen, Gabelungen und die Wurzellänge reduzierte, wohingegen die A Behandlung genau das Gegenteil bewirkte. Zudem wiesen die Wurzeln der A Behandlung einen kleineren Durchmesser auf. Die N Konzentrationen in den Feinwurzeln waren nur durch WF erhöht. Die C Konzentrationen zeigten sich dagegen in allen drei Behandlungen erniedrigt. Die Ca und Mg Konzentrationen wurden durch die A und WF Behandlungen signifikant erhöht, und P und K wurden durch alle drei Behandlungen angehoben. Die Al, Fe und Mn Konzentrationen in den Feinwurzeln zeigten sich leicht erniedrigt unter der A und WF Behandlung, und Veränderungen in den S und Zn Konzentrationen waren nicht eindeutig der Behandlung zuzuordnen. Eine Erhöhung der Schwermetallkonzentrationen von Cu und Cd durch A wurde nicht beobachtet. Veränderungen in Mg und Ca Konzentrationen konnten nur in den Wurzeln, aber nicht in den Nadeln beobachtet werden. Somit reagierten die Elementkonzentrationen in den Feinwurzeln sensitiver auf Veränderungen der Elemente im Boden. Im Feldexperiment zeigte sich die NRA erhöht in Folge der WF, aber auch in Folge der W und am meisten nach der A Variante. Die Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung waren während der

Düngung in der WF Behandlung erhöht. Der pH der Bodenlösung korrelierte mit der NRA in den Feinwurzeln. Die NRA war jedoch nur unter Berücksichtigung der örtlichen Heterogenität signifikant mit den Nitratgehalten in Bodenextrakten korrelierte. Damit besitzt die NRA der Wurzeln ein Potenzial als Zeiger für Veränderungen des Nitrats im Boden. Einschränkungen wurden an den Effekten durch die W und A Behandlung deutlich, bei denen die erhöhte NRA eventuell durch andere Faktoren begründet war, die die Nitrat-Verfügbarkeit im Boden und/oder die Aufnahmeeigenschaften der Wurzeln beeinflussten.

Eine schnelle Aufnahme des ^{15}N in die Feinwurzeln konnte im Feld wie auch im Laborexperiment gezeigt werden. Innerhalb eines Tages nach Tracer-Ausbringung auf den Waldboden waren bereits 50% des maximal beobachteten $\delta^{15}\text{N}$ Wertes in den Feinwurzeln erreicht, der maximale $\delta^{15}\text{N}$ wurde nach ca. einem Monat beobachtet. Das applizierte ^{15}N im Laborexperiment liess sich innerhalb von 4 h bis zu 1 Tag in den wichtigen Aminosäuren in Wurzeln und Spross von Fichtenkeimlingen wiederfinden. Die Nitrat Aufnahme und Assimilation war dabei von der extern applizierten Nitratkonzentration abhängig. Die $\text{at}\%^{15}\text{N}$ in den Aminosäuren erreichte zwischen 3 und 7 Tagen ihr Maximum und begann 10 Tage nach der Tracer-Applikation wieder zu sinken. Im Wald hatten die Behandlungen des vorangegangenen Jahres scheinbar keinen Einfluss auf die $\delta^{15}\text{N}$ Werte in den Wurzeln. Nach 2 Monaten begannen die $\delta^{15}\text{N}$ Werte in den Wurzeln wieder zu sinken und erreichten ein Jahr nach der ^{15}N Applikation ca. 60% des Maximalwertes, unabhängig von der jeweiligen Behandlung. Neun Monate nach Ausbringen des Tracers zeigte eine detaillierte Untersuchung der $\delta^{15}\text{N}$ Verteilung in einem Wurzelsystem an Hand von Wurzeln verschiedener Grösse und aus verschiedener Bodentiefe signifikant höhere $\delta^{15}\text{N}$ Werte in Wurzeln des oberen Bodenhorizonts, verglichen mit Wurzeln aus 30 - 40 cm oder 60 - 70 cm Tiefe. Darüber hinaus war der $\delta^{15}\text{N}$ Wert höher in den Feinwurzeln im Vergleich zu Wurzeln mit einem Durchmesser grösser als 5 mm. So wurde ^{15}N innerhalb des Wurzelsystems nicht massgeblich verteilt, sondern verblieb in den Feinwurzeln der oberen Bodenschichten, den Orten, wo Nährstoffe vorwiegend aufgenommen werden.