

129. Jahrgang (2012), Heft 1, S. 124–147

**Austrian Journal of  
Forest Science**  
Centralblatt  
für das gesamte  
Forstwesen

## Versauerung und Stickstoffeutrophierung österreichischer Waldböden

### Acidification and Nitrogen Eutrophication of Austrian Forest Ecosystems

Stefan Smidt, Robert Jandl, Thomas Dirnböck, Franz Mutsch, Alfred Fürst,  
Harald Zechmeister, Heidi Bauer

**Schlagwörter:** Stickstoff, Depositionen, Fichtennadeln, Moose, Eutrophierung, Versauerung

**Key words:** Nitrogen, depositions, spruce needles, mosses, eutrophication, acidification

### Zusammenfassung

Stickstoffverbindungen werden vor allem in Form von Stickstoffoxiden, Ammoniak, Nitrat und Ammonium in Waldökosysteme eingetragen. Stickstoff ist zwar ein wichtiges Nährelement, doch führen hohe Einträge zu Bodenversauerung, Eutrophierung, Nährstoffimbilanzen und erhöhtem Nitrataustrag in das Grundwasser. Bereits seit vorindustrieller Zeit versauereten österreichische Waldböden aufgrund Jahrhunderte andauernder Streunutzungen zunehmend. In den letzten 20 Jahren sind die Schwefeldioxid-Emissionen sehr deutlich, die Stickstoffoxid-Emissionen deutlich und die Ammoniak-Emissionen leicht zurückgegangen. Entsprechend dieser Entwicklung sind auch die Säureeinträge stark rückläufig; die Stickstoffeinträge

---

Dr Stefan Smidt; Alfred Fürst, Institut für Waldschutz, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Umwelt, A-1131 Wien, Seckendorff-Gudent Weg 8; stsmidt@hotmail.com; alfred.fuerst@bfw.gv.at  
Robert Jandl, Franz Mutsch, Institut für Waldökologie und Boden, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Umwelt, A-1131 Wien, Seckendorff-Gudent Weg 8; robert.jandl@bfw.gv.at; franz.mutsch@bfw.gv.at  
Thomas Dirnböck, Umweltbundesamt, A-1090 Wien, Spittelauer Lände 5; thomas.dirnboeck@umweltbundesamt.at  
Harald Zechmeister, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Wien, A-1030 Wien, Rennweg 14  
Heidi Bauer, Fakultät für Technische Chemie, Technische Universität Wien, A-1061 Wien, Getreidemarkt 9/164; heidbauer@mail.zserv.tuwien.ac.at

ge nehmen zwar ab, liegen aber immer noch auf einem hohem Niveau. Die beschleunigte Zunahme des Waldwachstums und der dadurch gestiegene Stickstoffbedarf, der Verzicht auf Streunutzung und die verstärkte Nutzung forstlicher Ressourcen haben zu einer grundlegenden Veränderung der Situation hinsichtlich der Versauerung und Eutrophierung in Waldökosystemen geführt.

Zur Untersuchung der aktuellen Situation und der Trends der letzten 20 Jahre wurden folgende Datensätze nationaler Monitoringnetze ausgewertet: die pH-Werte und C:N-Verhältnisse der Böden, die atmosphärischen Stickstoff- und Protoneneinträge, die Stickstoffgehalte der Fichten- und Kiefernadeln, die Stickstoffgehalte von Moosen und die Entwicklung der Überschreitung der Critical Loads für Versauerung und Eutrophierung.

Der pH-Wert der Böden stieg in den letzten 20 Jahren markant an. Gründe dafür sind sowohl die zurück gehenden sauren Emissionen (insbesondere die Verminderung der Schwefeldioxid-Emissionen) als auch die allmähliche Aggradierung der durch historische Landnutzungsformen versauerten Böden. Die tendenziell weiteren C:N-Verhältnisse können einerseits auf die leichte Reduktion der Stickstoffeinträge und andererseits auf eine zunehmende Stickstoffaufnahme der Wälder zurückgeführt werden. Die Stickstoffdepositionen überschritten nur fallweise Critical Loads. Die Stickstoffversorgung der Fichten und Kiefern, beurteilt anhand der Spiegelwerte in den Nadeln, ist nach wie vor mangelhaft. Anhand mehrerer intensiv untersuchter Einzugsgebiete wurde gezeigt, dass der eingetragene Stickstoff von intakten Waldbeständen und unter klimatischen Normalbedingungen wirkungsvoll zurückgehalten wird und der Austrag von Nitrat in das Grundwasser noch kein Problem darstellt.

Es ist damit zu rechnen, dass der Zuwachs bzw. die Produktivität der österreichischen Wälder – mitbedingt durch klimatische Einflüsse und Stickstoffeinträge - mittelfristig zunimmt. In der Folge können jedoch Wasser- oder Nährstoffversorgung zu limitierenden Faktoren werden.

### Summary

Nitrogen deposition into forest ecosystems primarily occurs as nitrogen oxides, ammonia, nitrate and ammonium. Nitrogen is on the one hand an important nutrient, on the other hand elevated input may lead to soil acidification, eutrophication, nutrient imbalances and elevated nitrogen leaching into the groundwater. During pre-industrial periods Austrian forest soils were acidified by litter raking. Over the last 20 years gaseous emissions have decreased: SO<sub>2</sub> emissions significantly, NO<sub>x</sub>-emissions markedly and

NH<sub>3</sub> emissions insignificantly. Due to the reduction of these emissions the acid and nitrogen input decreased. The accelerated wood increment that requires an increasing nitrogen supply, the renunciation of litter raking and the increased exploitation of forest resources has led to fundamental changes of the acidification and eutrophication situation in forest ecosystems.

Based on data of the Austrian monitoring grids the current situation and the trends during the last 20 years were investigated: The data set comprises pH values, C:N ratios of the soils, nitrogen and proton deposition rates as well as nitrogen contents of Norway spruce and Scotch pine needles and mosses.

The pH-value of the soils has increased during the last 20 years. Reasons are decreasing acid emissions (esp. SO<sub>2</sub>) and an aggradation of soils that were previously acidified by litter raking. The tendency towards wider C:N ratios is caused by a reduction of N inputs and the increased N uptake of the forests. The nitrogen depositions exceeded Critical Loads occasionally. The nitrogen supply of Norway spruces and Scotch pines is still insufficient as revealed by the nitrogen content of their needles. The examples of several catchment areas have shown that the deposited nitrogen is efficiently retained and the leachate into the groundwater does not pose a problem.

Wood increment and productivity of Austrian forests will increase as long as the water and nutrient supply is sufficient.

## 1 Einleitung

Waldböden spielen bei der Erfüllung der Waldfunktionen eine zentrale Rolle, z. B. als Kohlenstoffspeicher, bei der Bereitstellung von Nährstoffen, bei der Abpufferung saurer Depositionen und bei der Rückhaltung von Schwermetallen. Bereits vor dem Einsetzen der Industrialisierung und der damit verbundenen Emission von säurebildenden Luftschadstoffen (v. a. SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>) bestand für die österreichischen Waldböden aufgrund Jahrhunderte andauernder Streunutzungen ein Risiko zur Versauerung. Daraus folgte eine zunehmende Gefahr von Nährstoffverlusten, eine verstärkte Freisetzung von Aluminium und von toxischen Schwermetallen sowie eine verminderte Basensättigung und eine Zerstörung von Tonmineralien (van Bree- men et al. 1983, Reuss und Johnson 1986, Ulrich 1987, Glatzel et al. 1999). Gemeinsam mit weiteren Faktoren (photochemische Oxidantien, andere abiotische sowie biotische Faktoren) führten diese komplexen Einflüsse zu großflächigen Waldschädigungen. In diesem Zusammenhang wurde die Stickstoffsättigungshypothese postuliert, die besagt, dass die an Stickstoff-