

Jahreszeitlicher Verlauf von gelöstem totalen Kohlenstoff und Stickstoff im Sickerwasser eines Grünlandbodens

Andreas Bohner^{1*}, Matthias Kandolf¹ und Markus Herndl¹

Zusammenfassung

Der gelöste totale Kohlenstoff (TC) und Stickstoff (TN) sind eine wesentliche Komponente des Kohlenstoff- und Stickstoff-Kreislaufes in terrestrischen Ökosystemen. TC spielt eine entscheidende Rolle bei einer Vielzahl von Bodenprozessen. TC beeinflusst die chemische Zusammensetzung des Sickerwassers und trägt sehr wesentlich zur Stoffverlagerung und -auswaschung in Böden bei. Allerdings ist nur wenig über Konzentrationen, jahreszeitlicher Verlauf und Jahres-Frachten von TC und TN in Grünlandböden unter natürlichen Verhältnissen bekannt. Daher wurden in dieser Lysimeterstudie über einen Zeitraum von 39 Monaten die TC- und TN-Konzentrationen im Sickerwasser in 1,5 m Bodentiefe in einem Grünlandboden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Steiermark, Österreich) kontinuierlich gemessen und daraus Jahres-Frachten berechnet. Im Untersuchungszeitraum (Februar 2004 bis April 2007) betrug die mittlere TC-Konzentration 3,86 mg L⁻¹ und die mittlere TN-Konzentration 0,72 mg L⁻¹. Die maximale TC-Konzentration (37,24 mg L⁻¹) wurde im November 2006 gemessen, jene von TN (8,52 mg L⁻¹) im Juni 2006. Die TC-Konzentration zeigte deutlichere monatliche Schwankungen als die TN-Konzentration und der jahreszeitliche Verlauf war nicht identisch. Saisonale Schwankungen konnten für die TN-Konzentration nicht festgestellt werden. Auch die TC-Konzentration zeigte keinen eindeutigen zeitlichen Trend. Regelmäßig erhöhte Konzentrationen wurden am ehesten in den Monaten November und Juli beobachtet. Das TC:TN-Verhältnis betrug im Durchschnitt 7:1 und war damit enger als das C_{tot}:N_{tot}-Verhältnis im Oberboden. Die jährlichen Sickerwassermengen schwankten zwischen 355 und 695 mm. Die pro Jahr mit dem Sickerwasser ausgetragenen TC-Mengen betragen 11 bis 30 kg C pro Hektar und die jährlichen TN-Austräge variierten zwischen 3 und 8 kg N pro Hektar. Dies entspricht 0,02 bis 0,05 % vom totalen Kohlenstoff-Vorrat und 0,05 bis 0,13 % vom totalen Stickstoff-Vorrat im Oberboden (0-25 cm Bodentiefe). Aus diesen Untersuchungsergebnissen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass TC und TN für die Kohlenstoff- und Stickstoff-Bilanz in einem Grünlandboden nur eine geringfügige Rolle spielen.

Schlagwörter: gelöster totaler Kohlenstoff, gelöster totaler Stickstoff, Konzentrationen, Auswaschung, Lysimeter, Grünland-Ökosystem

Summary

Total dissolved carbon (TC) and nitrogen (TN) are important components of the carbon and nitrogen cycle in terrestrial ecosystems. TC plays a central role in many soil processes. TC has a substantial effect on the chemical composition of the seepage water and contributes largely to the transport and leaching of nutrients and pollutants from soils. Nevertheless, little information is available concerning concentrations, seasonal variations and annual loads of TC and TN in grassland soils under field conditions. Thus, in this lysimeter study, conducted at the AREC Raumberg-Gumpenstein (Styria, Austria), we measured over a period of 39 months continuously the concentrations of TC and TN in the seepage water of a grassland soil at 1,5 m soil depth and calculated annual loads. During the investigation period from February 2004 until April 2007 the mean concentration of TC in seepage water was 3,86 mg L⁻¹ and the mean concentration of TN was 0,72 mg L⁻¹. The highest concentration of TC (37,24 mg L⁻¹) was measured in November 2006 and maximum concentration of TN (8,52 mg L⁻¹) was found in June 2006. The concentration of TC showed more pronounced monthly variations than the concentration of TN. We found differences in their temporal patterns. There was no discernable seasonal variation in the concentration of TN. Regarding the concentration of TC, there was only a weak temporal trend. We observed regularly increased concentrations of TC mainly in November and July. At an average, the TC to TN ratio was 7:1 and herewith narrower than the C_{tot} to N_{tot} ratio in topsoil. The amount of seepage water varied from 355 to 695 mm per year. The annual leaching losses in the form of TC ranged from 11 to 30 kg C per hectare, representing 0,02 to 0,05 % of the total stock of carbon in topsoil (0-25 cm soil depth). The annual leaching losses in the form of TN varied between 3 and 8 kg N per hectare, which amounts 0,05 to 0,13 % of the total stock of nitrogen in topsoil. In summary, our results suggest that TC and TN play only a minor role in the carbon and nitrogen balance of a grassland soil.

Keywords: total dissolved carbon, total dissolved nitrogen, concentrations, leaching, lysimeter, grassland ecosystem

¹ Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Umweltökologie, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

* Ansprechpartner: Dr. Andreas Bohner, andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at

Einleitung

Der gelöste totale Kohlenstoff (TC) und Stickstoff (TN) sind eine wesentliche Komponente des Kohlenstoff- und Stickstoff-Kreislaufes in terrestrischen Ökosystemen (MICHALZIK et al. 2001). Der Klimawandel trägt dazu bei, dass die Untersuchungen über die Bedeutung von TC und TN für die Kohlenstoff- und Stickstoff-Bilanz in verschiedenen Ökosystemen und auf unterschiedlichen Standorten intensiviert werden müssen.

Die gelöste organische Substanz (DOM) spielt eine entscheidende Rolle bei einer Vielzahl von Bodenprozessen. DOM ist nicht nur ein wichtiger Faktor bei der Bodenbildung (KALBITZ et al. 2000), sondern trägt auch sehr wesentlich zur Mineralverwitterung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2008), zum Schadstofftransport (KALBITZ et al. 2000), zur Nährstoffverlagerung und -auswaschung (QUALLS et al. 1991) sowie zur Nährstoffverfügbarkeit (KUITERS und MULDER 1993) in Böden bei. Die wichtigsten DOM-Quellen in Böden sind die pflanzliche Streu, der Humus, die mikrobielle Biomasse und Wurzelexudate (KALBITZ et al. 2000). Daher wird die gelöste organische Substanz vorwiegend im Auflagehumus und im obersten, humusreichen Mineralbodenhorizont (A-Horizont) gebildet. DOM wird durch Adsorption, Ausfällung und mikrobiellen Abbau aus dem Bodenwasser entfernt (KALBITZ et al. 2000). Deswegen sind die Konzentrationen im Unterboden und die Austräge mit dem Sickerwasser gewöhnlich niedrig (GUGGENBERGER und ZECH 1993, MICHALZIK und MATZNER 1999, SOLINGER et al. 2001, KALBITZ und KAISER 2008). Studien über DOM-Konzentrationen und -Flüsse wurden vor allem in Waldböden durchgeführt (QUALLS et al. 1991, GUGGENBERGER und ZECH 1993, KUITERS und MULDER 1993, CURRIE et al. 1996, MICHALZIK und MATZNER 1999, KAISER et al. 2001, MICHALZIK et al. 2001, SOLINGER et al. 2001, TIPPING et al. 2005, KALBITZ und KAISER 2008). Für Grünlandböden hingegen besteht hinsichtlich Konzentration im Sickerwasser, jahreszeitlicher Verlauf und Jahres-Frachten noch ein großer Forschungsbedarf.

Auch die TN-Konzentrationen im Sickerwasser, ihre zeitlichen Schwankungen und die Jahres-Frachten sind in Grünlandböden bisher noch immer schlecht mit Daten dokumentiert. Für agrarische Ökosysteme wird meist angenommen, dass der Stickstoff vorwiegend in anorganischer Form ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$) mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird. Insbesondere $\text{NO}_3\text{-N}$ ist im Boden besonders mobil und kann unter bestimmten Voraussetzungen das Grundwasser belasten. Daher werden die Untersuchungen meist auf $\text{NO}_3\text{-N}$ fokussiert. In Wald-Ökosystemen hingegen ist der gelöste organische Stickstoff eine wesentliche Komponente im Sickerwasser (SOLLINS und McCORISON 1981, QUALLS et al. 1991, HAGEDORN et al. 2000) und muss daher bei Untersuchungen über den Stickstoff-Austrag unbedingt berücksichtigt werden.

Die primären Ziele dieser Lysimeterstudie sind

- die Bereitstellung von Daten und Informationen über den jahreszeitlichen Verlauf der TC- und TN-Konzentration im Sickerwasser eines Grünlandbodens unterhalb des Wurzelraumes,
- die Quantifizierung der TC- und TN-Austräge mit dem Sickerwasser unter Dauergrünland und

- die Abschätzung der Bedeutung von TC und TN für die Kohlenstoff- und Stickstoff-Bilanz in einem Grünlandboden.

Material und Methoden

Die Lysimeterstudie mit der Kulturart Dauergrünland wurde an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Steiermark, Österreich) durchgeführt. Der Untersuchungszeitraum betrug 39 Monate und reichte von Februar 2004 bis April 2007. Danach wurden die Versuchspartellen umgebrochen und neu angesät.

Die Lysimeteranlage und die dazugehörigen Versuchspartellen befinden sich auf einer Eisrandterrasse in nahezu ebener Lage in 700 m Seehöhe. Die Juli-Temperatur beträgt im langjährigen Mittel (1953-2005) 16,4 °C, die Jänner-Temperatur -3,5 °C und die Jahresmittel-Temperatur 6,9 °C. Der Jahres-Niederschlag macht im Durchschnitt 1035 mm aus. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 63 % des Jahres-Niederschlages. Der Juli ist im langjährigen Mittel der niederschlagsreichste Monat gefolgt vom August; im Februar fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Die Schneedeckenperiode beträgt im langjährigen Mittel 101 Tage im Jahr und die frostfreie Zeit erstreckt sich über 173 Tage. Das Untersuchungsgebiet weist somit ein winterkaltes, sommerkühles, relativ niederschlag- und schneereiches, kontinental beeinflusstes Talbeckenklima auf (PILGER 2005).

Der Boden war eine tiefgründige, carbonatfreie Braunerde aus fluvioglazialen Sedimenten mit der Bodenart lehmiger Sand. Der Wasserhaushalt war frisch (ausgeglichen). Der Oberboden befand sich im Silikat-Pufferbereich. Der Humusgehalt war – im Vergleich zu den Böden des Dauergrünlandes im Untersuchungsgebiet – mit 3,7 % niedrig (BOHNER et al. 2007). Das $\text{C}_{\text{tot}}:\text{N}_{\text{tot}}$ -Verhältnis betrug im A-Horizont 9,8. Der Oberboden war ausreichend mit CAL-löslichem Phosphor und

Tabelle 1: Allgemeine Bodenkennwerte (0-25 cm Bodentiefe)

CaCl_2	$\mu\text{S cm}^{-1}$	%	%		mg kg^{-1}	
pH	eL	Humus	N_{tot}	$\text{C}_{\text{tot}}:\text{N}_{\text{tot}}$	P_{CAL}	K_{CAL}
5,7	61	3,7	0,22	9,8	53	25

eL = elektrische Leitfähigkeit; P_{CAL} = CAL-löslicher Phosphor-Gehalt; K_{CAL} = CAL-löslicher Kalium-Gehalt

Tabelle 2: Allgemeine Bodenkennwerte (0-25 cm Bodentiefe)

mval 100 g^{-1}	%						%	
KAK_{eff}	BS	Ca	Mg	K	Na	S	Z	T
9,1	97	81	13	1,1	1,1	39	55	6

KAK_{eff} = effektive Kationenaustauschkapazität (BaCl_2 -Extrakt); BS = Basensättigung (BaCl_2 -Extrakt); S = Sand; Z = Schluff; T = Ton

Tabelle 3: Gelöster totaler Kohlenstoff (TC) und Stickstoff (TN) im Sickerwasser eines Grünlandbodens (Minimum, Maximum, Median, arithmetischer Mittelwert) in 1,5 m Bodentiefe

	mg L^{-1}	
	TC	TN
Min	0,22	0,38
Max	37,24	8,52
Median	2,82	0,66
MW	3,86	0,72

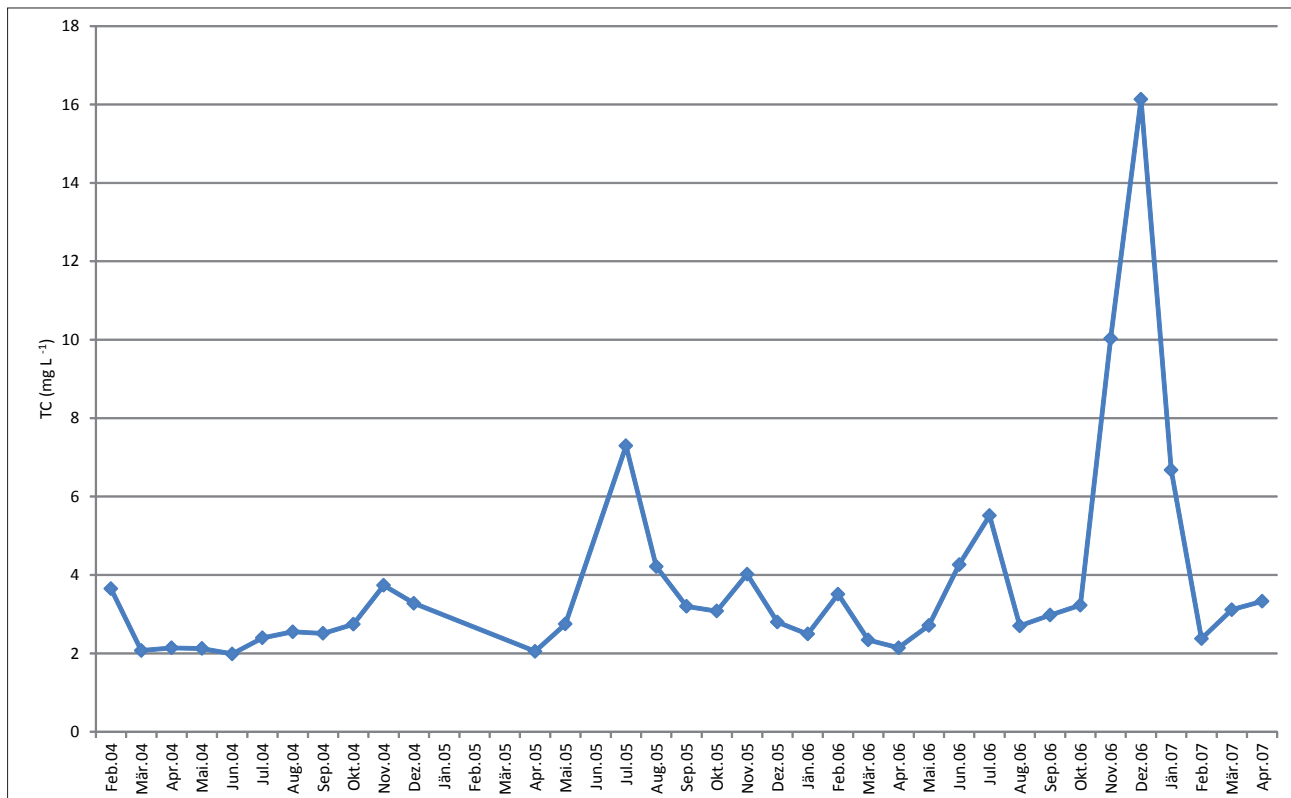


Abbildung 1: Monatsmittel des gelösten totalen Kohlenstoffs im Sickerwasser eines Grünlandbodens in 1,5 m Bodentiefe

sehr schlecht mit CAL-löslichem Kalium versorgt. Er wies eine überaus niedrige effektive Kationenaustauschkapazität (BaCl₂-Extrakt) sowie eine hohe Basensättigung auf (Tabelle 1,2).

Die Dauerwiese wurde 1992 mit einer Klee-Grasmischung angesät und dreimal pro Jahr gemäht. Gedüngt wurde mit Hyperphosphat (90 kg P₂O₅ pro Hektar im Frühjahr; dies entspricht 39,3 kg P pro Hektar) und Patentkali (jeweils 100 kg K₂O pro Hektar im Frühjahr und nach dem ersten Schnitt; dies entspricht jeweils 83 kg K pro Hektar). In einem Klee-reichen Pflanzenbestand ist der Jahres-Ertrag auch ohne Dünger-Stickstoff im Allgemeinen relativ hoch; daher wurde in diesem Feldversuch auf eine mineralische Stickstoff-Düngung verzichtet. Allerdings hat sich der Klee-Anteil seit 1992 deutlich reduziert; er betrug im Untersuchungszeitraum nur mehr ca. 18 %. Der lückenhafte Pflanzenbestand wurde einer nährstoffärmeren Ausbildung der Frauenmantel-Glatthaferwiese (*Alchemilla monticola*-*Arrhenatheretum elatioris*) zugeordnet. Die Frauenmantel-Glatthaferwiese ist im Untersuchungsgebiet eine typische Pflanzengesellschaft der zwei- bis dreischnittigen Mähwiesen (BOHNER und SOBOTIK, 2000).

Das Sickerwasser wurde mit Hilfe eines monolithischen Feld-lysimeters erfasst. Dieser hat eine kreisförmige Oberfläche von 1 m². Die Sickerwassergewinnung erfolgte über Freiausläufe an der Lysimeterunterkante in 1,5 m Bodentiefe. Im Untersuchungsgebiet beträgt die Durchwurzelungstiefe unter Dauergrünland ca. 60 cm, wobei einzelne Grünland-Pflanzenarten allerdings auch maximale Wurzeltiefen von 1 m und mehr erreichen können (SOBOTIK, mündliche Mitteilung). Somit wurde mit Hilfe des monolithischen Feldlysimeters das Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone erfasst. Der gelöste totale Kohlenstoff (organisch und anorganisch gebundener

Kohlenstoff sowie elementarer Kohlenstoff) und Stickstoff wurden mittels MULTI N/C 2000 bestimmt. Die TC- und TN-Austräge mit dem Sickerwasser wurden durch Multiplikation der Sickerwassermenge mit der TC- bzw. TN-Konzentration im Sickerwasser berechnet.

Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum (Februar 2004 bis April 2007) betrug die mittlere TC-Konzentration im Sickerwasser in 1,5 m Bodentiefe 3,86 mg L⁻¹ und die mittlere TN-Konzentration 0,72 mg L⁻¹ (Tabelle 3). Die maximale TC-Konzentration (37,24 mg L⁻¹) wurde im November 2006 gemessen, jene von TN (8,52 mg L⁻¹) im Juni 2006. Die TC-Konzentration zeigte deutlichere monatliche Schwankungen als die TN-Konzentration, der Variabilitätskoeffizient war beträchtlich höher. Der jahreszeitliche Verlauf der TC- und TN-Konzentration war nicht identisch (Abbildung 1,2). Saisonale Schwankungen konnten für die TN-Konzentration nicht festgestellt werden. Auch die TC-Konzentration zeigte keinen eindeutigen zeitlichen Trend. Regelmäßig erhöhte Konzentrationen wurden am ehesten in den Monaten November und Juli beobachtet. Das TC:TN-Verhältnis betrug im Durchschnitt 7:1 und war damit enger als das C_{tot}:N_{tot}-Verhältnis im Oberboden (9,8:1). Dies ist ein Hinweis für eine relativ größere Mobilität von TN im Vergleich zu TC. Die jährlichen Sickerwassermengen schwankten zwischen 355 und 695 mm. Die pro Jahr mit dem Sickerwasser ausgetragenen TC-Mengen betragen 11 bis 30 kg C pro Hektar und die jährlichen TN-Austräge variierten zwischen 3 und 8 kg N pro Hektar. Dies entspricht 0,02 bis 0,05 % vom totalen Kohlenstoff-Vorrat und 0,05 bis 0,13 % vom totalen Stickstoff-Vorrat im Oberboden (0-25 cm Bodentiefe).

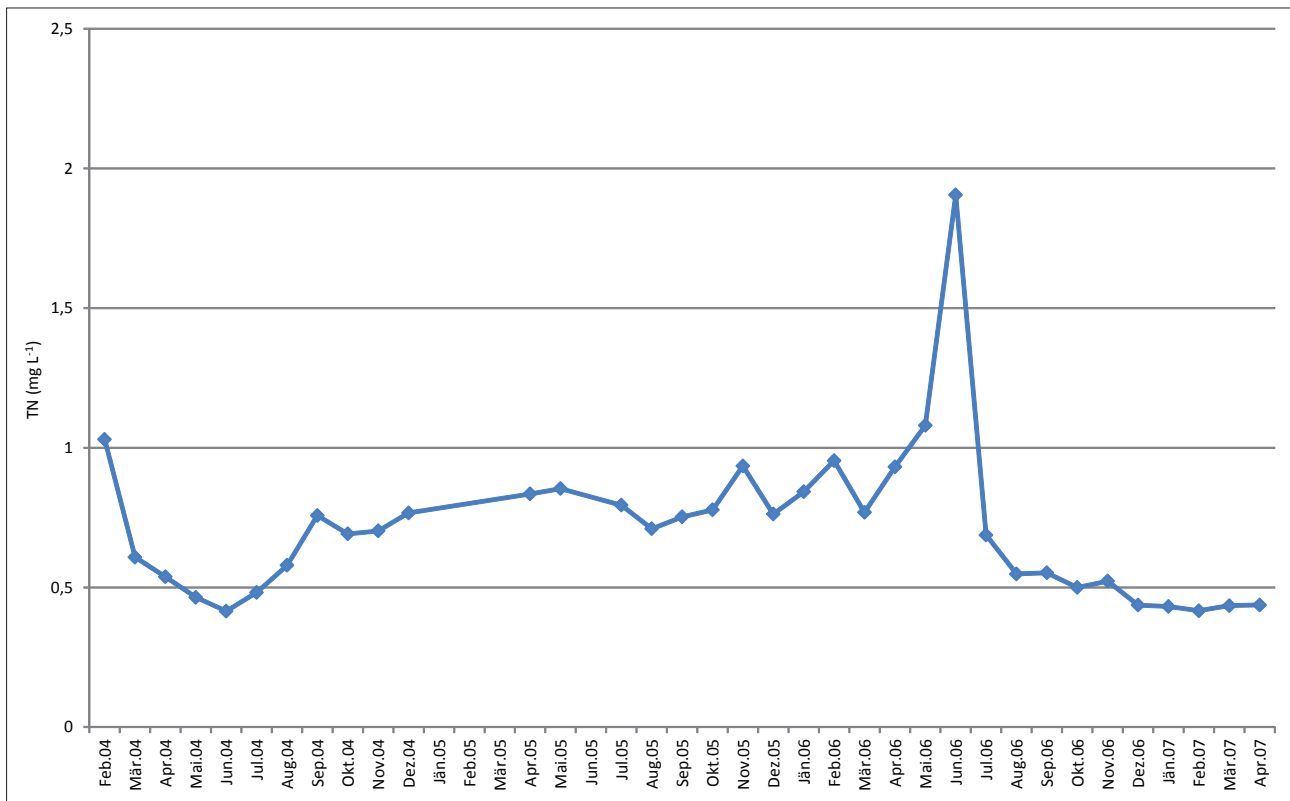


Abbildung 2: Monatsmittel des gelösten totalen Stickstoffs im Sickerwasser eines Grünlandbodens in 1,5 m Bodentiefe

Schlussfolgerung

Aus diesen Untersuchungsergebnissen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass TC und TN für die Kohlenstoff- und Stickstoff-Bilanz in einem Grünlandboden nur eine geringfügige Rolle spielen.

Literatur

- BOHNER, A., F. GRIMS und M. SOBOTIK, 2007: Die Rotschwingel-Straußgraswiesen im Mittleren Steirischen Ennstal (Österreich) – Ökologie, Soziologie und Naturschutz. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark 136: 113-134.
- BOHNER, A. und M. SOBOTIK, 2000: Das Wirtschaftsgrünland im Mittleren Steirischen Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. MAB-Forschungsbericht: Landschaft und Landwirtschaft im Wandel: 15-50.
- CURRIE, W.S., J.D. ABER, W.H. Mc DOWELL, R.D. BOONE and A.H. MAGILL, 1996: Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. *Biogeochemistry* 35: 471-505.
- GUGGENBERGER, G. and W. ZECH, 1993: Dissolved organic carbon control in acid forest soils of the Fichtelgebirge (Germany) as revealed by distribution patterns and structural composition analyses. *Geoderma* 59: 109-129.
- HAGEDORN, F., P. SCHLEPPI, P. WALDNER and H. FLÜHLER, 2000: Export of dissolved organic carbon and nitrogen from Gleysol dominated catchments – the significance of water flow paths. *Biogeochemistry* 50: 137-161.
- KAISER, K., G. GUGGENBERGER, L. HAUMAIER and W. ZECH, 2001: Seasonal variations in the chemical composition of dissolved organic matter in organic forest floor layer leachates of old-growth Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) stands in northeastern Bavaria, Germany. *Biogeochemistry* 55: 103-143.
- KALBITZ, K., S. SOLINGER, J.-H. PARK, B. MICHALZIK and E. MATZNER, 2000: Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Science* 165: 277-304.
- KALBITZ, K. and K. KAISER, 2008: Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171: 52-60.
- KUITERS, A.T. and W. MULDER, 1993: Water-soluble organic matter in forest soils. Interference with plant cation uptake. *Plant Soil* 152: 225-235.
- MICHALZIK, B. and E. MATZNER, 1999: Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem. *Eur. J. Soil Sci.* 50: 579-590.
- MICHALZIK, B., K. KALBITZ, J.-H. PARK, S. SOLINGER and E. MATZNER, 2001: Fluxes and concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen – a synthesis for temperate forests. *Biogeochemistry* 52: 173-205.
- PILGER, H., 2005: Meteorologische Charakteristika der Station Gumpenstein und ihre Einbindung in größere Räume. Seminar „50 Jahre meteorologische Beobachtungen in Gumpenstein 1955-2004“, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 11-16.
- QUALLS, R.G., B.L. HAINES and W.T. SWANK, 1991: Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous forest. *Ecology* 72: 254-266.
- SCHEFFER, F. and P. SCHACHTSCHABEL, 2008: Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 593 S.
- SOLINGER, S., K. KALBITZ and E. MATZNER, 2001: Controls on the dynamics of dissolved organic carbon and nitrogen in Central European deciduous forest. *Biogeochemistry* 55: 327-349.
- SOLLINS, P. and F.M. McCORISON, 1981: Nitrogen and carbon solution chemistry of an old growth coniferous forest watershed before and after cutting. *Water Resour. Res.* 17: 1409-1418.
- TIPPING, E., M. FRÖBERG, D. BERGGREN, J. MULDER and B. BERGKVIST, 2005: DOC leaching from a coniferous forest floor: modeling a manipulation experiment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 316-324.