

Humusaufbau auf Ackerflächen im Zusammenhang mit Klima-, Boden- und Gewässerschutz

Wilfried Hartl^{1*}, Eva Erhart¹ und Franz Feichtinger²

Zusammenfassung

Die Auswirkungen von Kompostdüngung im Vergleich zu mineralischer Düngung auf den organischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens und auf den Stickstoffaustrag ins Grundwasser wurden auf dem seit 1992 bestehenden Feldversuch ‚STIKO‘ sowie in der Lysimeteranlage Lobau untersucht. Die Versuchsanlage ist im westlichen Marchfeld, in der Oberen Lobau gelegen und umfasst drei Varianten mit Kompostdüngung (10, 18 und 26 t FS ha⁻¹ J⁻¹), drei Varianten mit mineralischer Düngung (28, 45 und 62 kg N ha⁻¹ J⁻¹), fünf kombiniert gedüngte Varianten und eine ungedüngte Nullvariante sowie drei monolithische Lysimeter. Auf sechs Parzellen des Feldversuchs und auf den Lysimeterparzellen wird in mehreren Meßebenen der Bodenwasserhaushalt erfaßt und Bodenlösung mittels Saugkerzen gewonnen. Zehnjährige Kompostdüngung hob den organischen Kohlenstoff des Bodens um 190 - 650 kg ha⁻¹ J⁻¹ an, während die ungedüngte Variante einen C-Verlust von 625 kg ha⁻¹ J⁻¹ erlitt und mineralische Düngung eben ausreichte, um die Anfangs-C-Gehalte zu erhalten. Die Ergebnisse der Lysimeteranlage zeigten, daß auch bei langjähriger Düngung mit höheren Kompostmengen als praxisüblich (durchschnittlich 26 t ha⁻¹ pro Jahr, das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen N_{ges}-Fracht von 225 kg N ha⁻¹) auf diesem Standort kein Anstieg der N-Frachten in Richtung Grundwasser auftrat.

Schlagwörter: Carbon Sequestration, Kompost, Lysimeter, Stickstoffauswaschung

Summary

The effect of compost fertilization compared with mineral fertilization on soil contents of organic carbon and nitrogen and on nutrient leaching to the groundwater has been investigated at the field experiment ‚STIKO‘ since 1992 and at the lysimeter station Lobau. The experiment is situated in the west of the Marchfeld in Austria and includes three treatments with compost fertilization (10, 18 and 26 t wet wt. ha⁻¹ yr⁻¹), three treatments with mineral fertilization (28, 45 and 62 kg N ha⁻¹ yr⁻¹), five treatments with combined fertilization, an unfertilized control and three monolithic lysimeters. Six plots of the field experiment and the lysimeter plots are equipped with suction cups, TDR-probes and tensiometers. In these nine plots, soil water content and tension are recorded and soil solution is sampled in several depths. Ten years of compost fertilization increased soil organic carbon content for 190 - 650 kg ha⁻¹ yr⁻¹ while the unfertilized control lost 625 kg C ha⁻¹ yr⁻¹ and while mineral fertilization sufficed to keep C_{org} contents on the level of the beginning. The results of the lysimeter station show that after 10 years of compost fertilization with higher amounts than used in practical farming (26 t ha⁻¹ per year on average, which corresponds to an annual input of 225 kg N_{tot} ha⁻¹), nitrogen leaching to the groundwater was not increased under the conditions of the experiment.

Keywords: carbon sequestration, compost, lysimeter, nitrogen leaching

Einleitung

Auf der Suche nach Möglichkeiten, den CO₂-Anstieg in der Erdatmosphäre und damit den Treibhauseffekt zu bremsen, werden verschiedene Möglichkeiten der Carbon Sequestration diskutiert, wobei die „biotische“ C-Sequestration in Böden den Vorteil hat, ein natürlicher und kosteneffizienter Prozess zu sein, der zahlreiche Zusatznutzen mit sich bringt und sofort und unmittelbar in die Praxis umzusetzen ist (LAL 2008). Kompost hat einen hohen Gehalt an organischer Substanz, die stark humifiziert ist und deren C/N-Verhältnis dem von Bodenhumus nahekommt (DIEZ und KRAUSS 1997, SMIDT und TINTNER 2007). Deshalb ist es naheliegend, Kompost nicht nur zu Düngungszwecken, sondern vor allem auch zur Verbesserung des Humusge-

haltes von landwirtschaftlichen Flächen und zur Carbon Sequestration einzusetzen. Dabei darf aber die Frage einer möglichen Eutrophierung des Grundwassers durch die mit dem Kompost aufgebrauchten Stickstoffmengen nicht außer Acht gelassen werden.

Material und Methoden

Der Feldversuch ‚STIKO‘ wurde im Herbst 1992 in der Oberen Lobau bei Wien angelegt, um die Auswirkungen der Düngung mit Biotonne-Kompost auf den Ertrag landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und auf die Umwelt zu untersuchen. Die Versuchsanlage umfaßt 3 Varianten mit Kompostdüngung (BK1, BK2, BK3), 3 Varianten mit mineralischer Düngung (N1, N2, N3), 5 Varianten mit

¹ Bio Forschung Austria, Esslinger Hauptstraße 132-134, A-1220 WIEN

² Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

* Ansprechpartner: Dr. Wilfried Hartl, w.hartl@bioforschung.at



kombinierter Düngung (N1BK1, N1BK2, N1BK3, N2BK1, N3BK1) und eine ungedüngte Nullvariante (O), in sechs Wiederholungen als lateinisches Rechteck angelegt. Die Parzellengröße beträgt 6,3 x 10 m. Die Aufbringungsmengen des Biotonnekompostes im Zeitraum bis Februar 2003 betragen 10, 18 und 26 t FS ha⁻¹ J⁻¹ im Durchschnitt von 10 Versuchsjahren. Die mineralisch gedüngten Varianten erhielten jährlich durchschnittlich 28, 45 und 62 kg N ha⁻¹ plus 54 kg ha⁻¹ P₂O₅ und 86 kg ha⁻¹ K₂O. Die Aufwandsmengen an Mineraldünger wurden nach den ‚Richtlinien für die sachgerechte Düngung‘ (FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ 1999) bemessen, wobei die N_{min}-Gehalte des Bodens im Spätwinter berücksichtigt wurden. Die kombiniert gedüngten Varianten erhielten keinen mineralischen Phosphor- oder Kalidünger. Mit Ausnahme der Düngung wurde der Versuch nach den Richtlinien des Biologischen Landbaus (EU-VO 2092/91) mit praxisüblichem Gerät bewirtschaftet. Die Fruchtfolge umfasste Winterroggen, Kartoffel, Winterweizen, Hafer, Dinkel, Frühkartoffel, Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Winterweizen.

Die verwendeten Komposte stammten von der Kompostierungsanlage der Stadt Wien. Das Rohmaterial bestand aus getrennt gesammelten organischen Haushaltsabfällen und Strauchschnitt im Verhältnis 2:3. Der Kompost wurde in einem offenen Mietenverfahren mit regelmäßigem Umsetzen mit Umsetzgerät und Radlader erzeugt. Die verwendeten Komposte hatten im Mittel einen Wassergehalt von 31 %, 41 % organische Substanz, 1,21 % N_{ges}, 0,55 % P₂O_{5,ges}, 1,00 % K₂O_{ges}, pH 7,4 und ein C/N-Verhältnis von 24.

Der Boden am Versuchsstandort wird von der ÖBG als kalkhaltiger Grauer Auboden beschrieben, mit der Bodenart schluffiger Lehm und mit einem pH von 7,4. Die mittlere Jahrestemperatur betrug 10,5 °C, die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme 552 mm (Station Großenzersdorf 1992-2002).

Der Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff und Stickstoff im Oberboden (0-30 cm) wurde im Frühjahr 1993 in der ungedüngten Kontrolle und im Frühjahr 2003 in allen Varianten gemessen. Die Kohlenstoff- und Stickstoffmessung erfolgte mittels CN-Analysator, Carbonat wurde nach Scheibler bestimmt. Im Zuge der Errichtung der Lysimeteranlage erfolgte auf den mit Saugkerzen und Fühlern ausgestatteten Parzellen eine detaillierte Bodenprobenahme bis auf eine Tiefe von 1,50 m. Diese Proben wurden unter anderem ebenfalls auf organischen Kohlenstoff und Stickstoff untersucht. Im Jahr 1996 wurde der Versuch ‚STIKO‘ um eine Lysimeteranlage erweitert, um ergänzend die Auswirkungen der unterschiedlichen Düngungsvarianten auf die Nährstoffbefruchtung des Grundwassers quantifizieren zu können. Neben dem Einbau von drei monolithischen Lysimetern wurden sechs Parzellen des bestehenden Versuches mit Fühlern und Saugkerzen ausgestattet.

Auf diesen Parzellen sind TDR-Sonden in 10, 35, 60, 90 und 150 cm u. GOK und - außer in 10 cm Tiefe - Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung, sowie Tensiometer am Übergang zum Schotter eingebaut (FEICHTINGER und HARTL 1997). Der Niederschlag und der Grundwasserstand werden ebenfalls kontinuierlich erfaßt.

Die differenzierte Düngung der Lysimeter begann 1998. Anhand der Sickerwassermengen aus den Lysimetern zeigte sich aber, daß diese Düngung sich bis 2002 noch nicht im Sickerwasser niederschlagen konnte. Deshalb werden die Lysimeter hier nicht weiter betrachtet. Im Folgenden werden die Ergebnisse der sechs oben beschriebenen Parzellen im Vergleich mit denen der ungedüngten Lysimeterparzelle Lys1, welche ebenfalls mit Saugkerzen und Fühlern ausgestattet ist, dargestellt.

Die Beprobung der Bodenlösung mittels Saugkerzen erfolgte nach Bedarf mindestens 14-tägig. Die Proben wurden vom Umweltbundesamt (UBA) auf Nitrat, Nitrit, Ammonium und Gesamtstickstoff analysiert.

Die Bewertung der Wasserflüsse und -frachten erfolgte mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells ‚SIMWASSER‘ (STENITZER 1988). Dessen Kalibrierung wurde parzellenspezifisch an den Zeitreihen der kontinuierlichen Wasseranteils- und Matrixpotentialmessungen vorgenommen und hinsichtlich absoluter Wasserflüsse/-frachten an den Aussickerungen aus den drei Lysimetern verifiziert. Die jeweils in einem bestimmten Horizont ausgetragenen Nährstofffrachten errechnen sich durch Multiplikation der gemessenen Nährstoffkonzentrationen in der Bodenlösung mit den simulierten Wasserfrachten.

Ergebnisse und Diskussion

Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff und Stickstoff

In der ungedüngten Nullvariante nahm der Humusgehalt des Bodens während der Versuchsdauer deutlich ab, obwohl das Stroh fast immer am Feld belassen wurde. Der Kohlenstoff-Verlust belief sich auf 6250 kg C /ha, was einen jährlichen Abbau von 0,85 % des Bodenumus bedeutet. Während in der ungedüngten Nullvariante der Humusgehalt von 3,4 % auf 3,15 % abfiel, stieg er in den Kompostvarianten auf Werte zwischen 3,5 % und 3,7 % an. Kompostdüngung mit 8 t (Frischmasse) /ha pro Jahr (Variante BK1) bewirkte eine leichte Erhöhung des Humusgehaltes gegenüber dem Zustand zu Versuchsbeginn. Mit den höheren Kompostmengen in den Varianten BK2 und BK3 war die Erhöhung des Humusgehaltes auf 3,72 % bzw. 3,73 % stärker, und statistisch signifikant.

Mineralische Düngung reichte aus, um den ursprünglichen Humusgehalt zu halten (*Abbildung 1*). Im Boden der Kompostvarianten wurden zwischen 1900 und 6500 kg ha⁻¹ organischer Kohlenstoff zusätzlich gespeichert, das entspricht 10 - 19 % des organischen Kohlenstoffs, der mit dem Kompost aufs Feld gebracht wurde.

Die beobachtete Zunahme des organischen Kohlenstoffs um 190 - 650 kg ha⁻¹ J⁻¹ liegt in dem Bereich, den auch LAL (2004) und HÜLSBERGEN (2009) für die durch Düngung mit Stallmist und Komposten erzielbare C-Sequestrierung angeben.

Parallel zum Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff nahm auch der Gehalt an organischem Stickstoff in der ungedüngten Nullvariante um 610 kg ha⁻¹ ab. In der niedrig kompostgedüngten Variante BK1 nahm der N_{org}-Gehalt

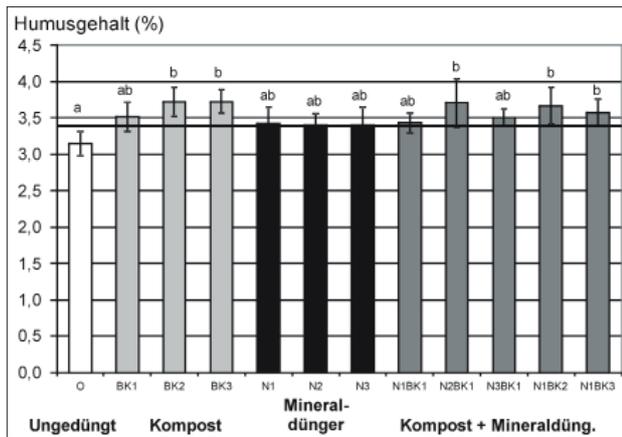


Abbildung 1: Humusgehalte nach 10 Versuchsjahren im Vergleich zur Ausgangssituation (schwarze waagrechte Linie).

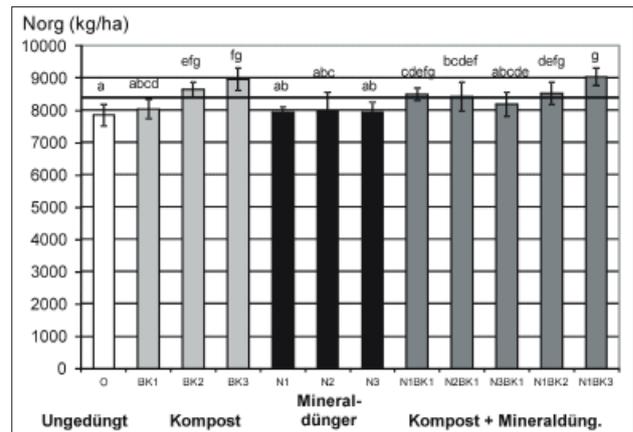


Abbildung 2: Gehalt des Bodens an N_{org} nach 10 Versuchsjahren im Vergleich zur Ausgangssituation (schwarze waagrechte Linie).

Tabelle 1: N-Entzug (Summe der Jahre 1992-2002; $kg\ ha^{-1}$) in den mit Saugkerzen ausgestatteten Parzellen im Vergleich mit den Variantenmittelwerten (aus 6 Wiederholungen) aus dem gesamten Feldversuch. Mit demselben Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht signifikant ($p \leq 0.05$; ANOVA und Tukey's Test).

Variante	Parzellen mit Saugkerzen Werte der Einzelparzellen	Stickstoffentzug (Summe von 1992-2002; $kg\ ha^{-1}$)	
		Versuch STIKO Mittelwert von 6 Wiederholungen	Standardabweichung
O		730 a	40
BK2	760	788 ab	42
BK3	803	806 bc	26
N2	742	790 ab	57
N3	755	799 abc	47
N3BK1	919	855 c	66
N1BK3	833	845 c	44

etwas weniger ab, um $419\ kg\ ha^{-1}$, während er in den mittel und hoch kompostgedüngten Varianten BK2 und BK3 um 191 bzw. $495\ kg\ ha^{-1}$ anstieg. In den mineralisch gedüngten Varianten waren die Bodengehalte an organischem Stickstoff nicht signifikant höher als in der ungedüngten Variante. Sie nahmen gegenüber der Ausgangssituation um 495 bis $533\ kg\ N\ ha^{-1}$ ab.

Bei der Tiefenuntersuchung der sechs mit Fühlern und Saugkerzen ausgestatteten Parzellen zeigte sich in der obersten Bodenschicht (0-30 cm) eine klare Korrelation zwischen den Inputmengen an N_{ges} und den N_{ges} -Bodengehalten. In den tieferen Bodenschichten jedoch ließ sich kein Zusammenhang zwischen N_{ges} -Zufuhr und Bodengehalten herstellen, was den Schluss nahelegt, daß N_{org} nicht in größerem Ausmaß in tiefere Bodenschichten verlagert wird.

Stickstoffbilanz

Von 1992 bis 2002 erhielten die kompostgedüngten Parzellen BK2 und BK3 mit dem Kompost Gesamtmengen von 1570 bzw. $2255\ kg\ ha^{-1}\ N$. Die mineralisch gedüngten Parzellen N2 und N3 erhielten im selben Zeitraum 445 bzw. $615\ kg\ N\ ha^{-1}$. In Summe seiner 12 Varianten entspricht der Versuch „STIKO“ den bewilligungsfreien wasserrechtlichen Rahmenbedingungen. Der Stickstoffentzug durch die Feldfrüchte betrug auf den Kompostparzellen $760\ kg\ N\ ha^{-1}$ (BK2) und $803\ kg\ N\ ha^{-1}$ (BK3) und auf den mineralisch gedüngten Parzellen $742\ kg\ N\ ha^{-1}$ (N2)

bzw. $755\ kg\ N\ ha^{-1}$ (N3). Die Integration dieser Parzellen im Feldversuch erlaubt eine statistische Auswertung des Stickstoffentzuges. Tabelle 1 zeigt den Stickstoffentzug auf den sechs Parzellen im Vergleich mit den Mittelwerten (aus sechs Wiederholungen) der entsprechenden Varianten des gesamten Feldversuchs.

Der Stickstoffentzug in den Kompostvarianten unterschied sich nicht signifikant von dem in den mineralisch gedüngten Varianten. Der geringe Stickstoffentzug in den Mineraldüngervarianten war durch das Lagern des Getreides in manchen Jahren bedingt. Das Lagern trat auf, obwohl die mineralische Stickstoffdüngung nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ bemessen wurde, wohl weil auch auf diesen Parzellen kein Halmverkürzer eingesetzt wurde.

Die Stickstoffdeposition östlich von Wien beträgt etwa $20\ kg\ ha^{-1}$ (PUXBAUM und GREGORI 1998). Die denitrifikationsbedingten NO_x -Emissionen des Bodens wurden in einem benachbarten Versuch gemessen. Auf der Basis der von HOLTERMANN (1996) publizierten Ergebnisse und von unpublizierten Versuchsberichten können die NO_x -Emissionen mit unter $5\ kg\ N\ ha^{-1}\ J^{-1}$ eingeschätzt werden. Die Stickstoffauswaschung ins Grundwasser ist ebenfalls gering (siehe im Folgenden).

Die Stickstoffbilanz der mineralisch gedüngten Parzellen und der ungedüngten Kontrolle ist negativ, während die Stickstoffbilanz der Parzellen mit Kompostdüngung positiv ist. Nachdem der Stickstoff in Biotonnekompost zum

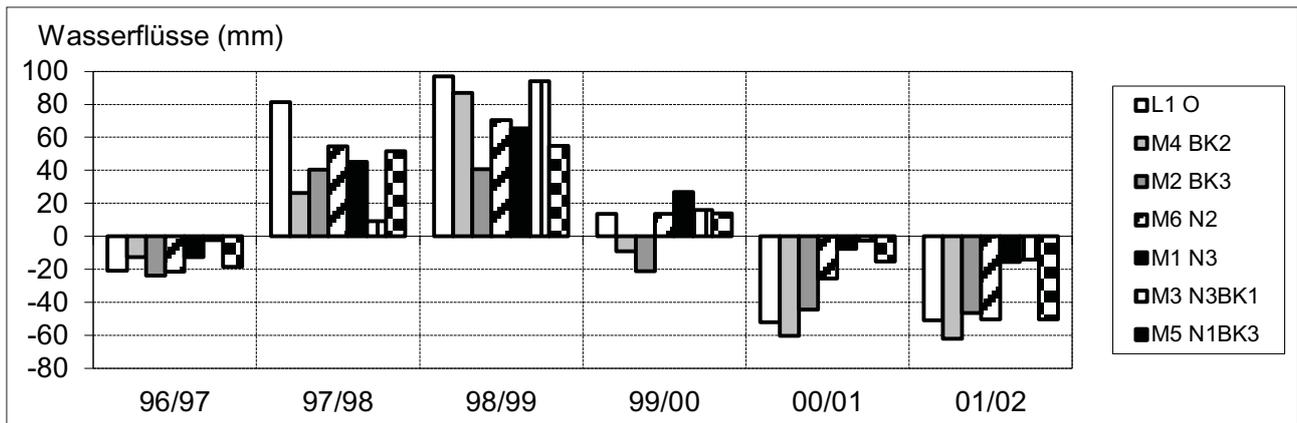


Abbildung 3: Pro Sickerperiode (jeweils vom 1. 10. bis zum 30. 9. des folgenden Jahres) akkumulierte Wasserflüsse in 150 cm Tiefe (mm; positive Werte = Versickerung, negative Werte = Aufstieg)

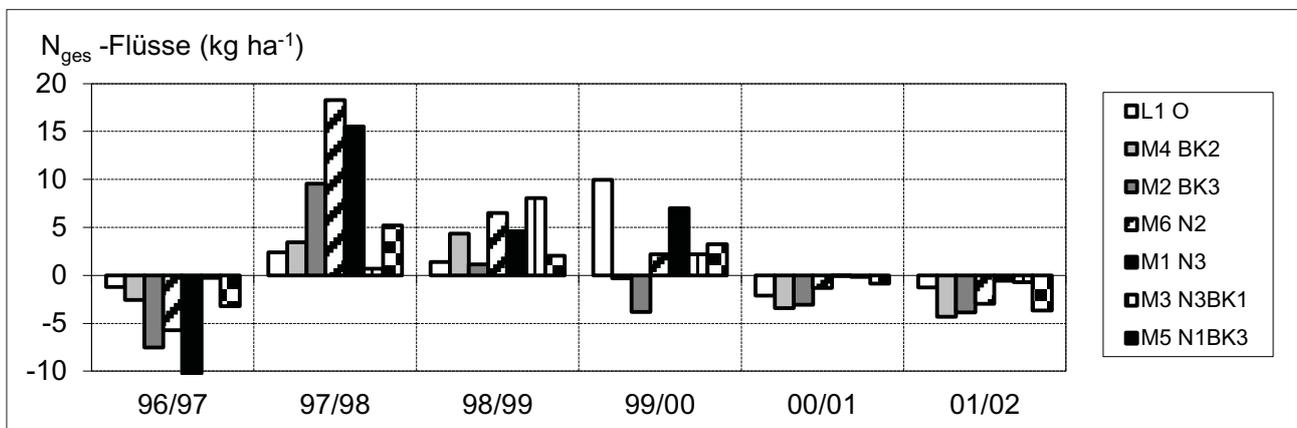


Abbildung 4: Akkumulierte N_{ges} -Flüsse in 150 cm Tiefe (kg ha^{-1}) pro Sickerperiode; positive Werte = Versickerung, negative Werte = Aufstieg).

allergrößten Teil in organischer Form vorliegt und deshalb für Pflanzen nicht unmittelbar verfügbar ist, werden nur wenige Prozent des gesamten Kompoststickstoffs jährlich von den Pflanzen aufgenommen. Bilanzüberschüsse sind deshalb bei Kompostdüngung unvermeidlich (BRANDT und WILDHAGEN 1999, HARTL und ERHART 2005, NEVENS und REHEUL 2003). Dementsprechend wird ein signifikanter Anstieg des Gesamtstickstoffgehaltes des Bodens bei Kompostdüngung häufig beobachtet (ALIN et al. 1996, DIEZ und KRAUSS 1997). Wie *Abbildungen 1* und *2* zeigen, sind die N-Bilanzüberschüsse der Kompostvarianten im Bodenhumus gebunden. Bei der Folgebewirtschaftung nach Humusaufbau dürfen diese gebundenen Stickstoffreserven jedoch nicht außer Acht gelassen werden.

Bodenwasserhaushalt

Die Summe der akkumulierten jährlichen Wasserflüsse in 150 cm Tiefe war in einigen Jahren Netto-Versickerung, in einigen Jahren jedoch Netto-Wasseraufstieg (*Abbildung 3*). Während des Untersuchungszeitraums lagen die akkumulierten jährlichen Wasserflüsse in 150 cm Tiefe zwischen + 90 mm und – 90 mm (ERHART et al. 2007). Die Unterschiede zwischen den akkumulierten Wasserflüssen der einzelnen Parzellen sind auf die kleinräumigen Bodenunterschiede zurückzuführen. Die Abschätzung aus

der Wasserbilanz ergibt, daß die im Jahr 1992 begonnene differenzierte Düngung in ihren Auswirkungen die Tiefe von 150 cm schon erreicht hatte, als 1996 die Bodenwassermessungen begannen.

Nitratauswaschung

Die Verluste durch Stickstoffauswaschung in einer Tiefe von 150 cm betragen maximal $9,5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$, mit Ausnahme der Parzellen N2 und N3, die maximale Auswaschungsverluste von $18,3$ bzw. $15,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ aufwiesen.

Diese Werte traten beide 1997/98 auf, in Folge hoher NH_4^+ -Konzentrationen nach starken Regenfällen im November 1997. In diesem Zeitraum wurden auch in den anderen Parzellen hohe NH_4^+ -Konzentrationen gemessen, aber nur in 35-90 cm Tiefe. In allen anderen Parzellen, und auch in N2 und N3 in den meisten anderen Jahren trat der größte Teil der Stickstoffauswaschung in Form von NO_3^- auf.

Abbildung 4 zeigt die jährlichen Auswaschungsverluste der sechs Parzellen im Vergleich zu denen der ungedüngten Lysimeterparzelle Lys1. Die höchsten N_{ges} -Auswaschungsverluste in der Parzelle Lys1 betragen ebenfalls 10 kg ha^{-1} (im Jahr 1999/2000).

Unter pannonischen Klimabedingungen sind solche geringen Stickstoffauswaschungsverluste durchaus normal.

In einem Lysimeterexperiment der AGES mit Mineraldüngung fand HÖSCH (2005) bei Getreide etwas höhere Auswaschungsverluste, aber die Unterschiede sind auf etwas höhere Düngermengen und einen sandigeren Boden in dieser Studie zurückzuführen. Unter Kartoffel jedoch, die reichlich bewässert wurde, stiegen die Stickstoffverluste auf bis zu $160 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}$ (HÖSCH 2005).

In einer Untersuchung mit Kompostdüngung konnten PARDINI et al. (1993) Stickstoffverluste von 5 kg ha^{-1} mit Kompost und von 39 kg ha^{-1} mit Mineraldünger (400 kg N ha^{-1}) in der Vegetationsperiode von Mais messen. Der Versuch fand auf einem sandigen Boden in mediterranem Klima mit Zusatzbewässerung (164 mm) statt. Im Versuch von LECLERC et al. (1995) betragen die Stickstoffverluste $28 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ mit Bioabfallkompost und $6 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ mit Strauchschnittkompost. Demgegenüber lagen die Auswaschungsverluste mit mineralischer N-Düngung bei $124 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ bei einer N-Düngermenge von $240 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$. Der Boden war ebenfalls sandig und die gesamte Niederschlagsmenge (Regen + Bewässerung) betrug 892 mm J^{-1} . Die Untersuchungen von BERNER et al. (1995), BOISCH et al. (1993) und PARKINSON et al. (1996) hatten ähnliche Kompostfrachten wie der vorliegende Versuch, fanden aber unter humideren Klimabedingungen statt. Auch sie fanden keine signifikant höhere Stickstoffauswaschung mit Kompostdüngung.

In Summe bestätigen unsere Untersuchungen aus sechs Jahren Monitoring von Parzellen, die zuvor schon fünf Jahre lang unterschiedlich – mit Kompost bzw. mit mineralischem N-Dünger – gedüngt worden waren, die Ergebnisse der anderen, kürzeren Untersuchungen.

Fazit

Kompost ist für den Humusaufbau sehr gut geeignet. Bei langjähriger Düngung mit durchschnittlich 18 t ha^{-1} FS Kompost pro Jahr, das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen N_{ges} -Fracht von 157 kg N ha^{-1} , wurde kein Anstieg der N-Frachten in Richtung Grundwasser festgestellt. Auch in der aus wissenschaftlichen Gründen getesteten Variante mit durchschnittlich 26 t ha^{-1} FS Kompost pro Jahr, deren N-Gesamtfracht mit $225 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ J}^{-1}$ über der wasserrechtlichen Bewilligungsfreiheit liegt, konnte auf diesem Standort bisher kein Anstieg der N-Frachten in Richtung Grundwasser festgestellt werden. Die Ergebnisse aus der Lobau lassen darauf schließen, daß Kompostdüngung im Rahmen der Vorgaben der Österreichischen Kompostverordnung auch unter Bodenverhältnissen mit hohem Nährstoffniveau im pannonischen Klima mittelfristig keine Gefahr für das Grundwasser darstellt.

Danksagung

Wir danken der Magistratsabteilung 48 der Stadt Wien und dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft für die finanzielle Unterstützung. Die Humus- und Lysimeteruntersuchungen werden aktuell im Rahmen des Projektes BIORES weitergeführt. Das Projekt BIORES – „Verwertungsoptimierung biogener Ressourcen in der Region Westungarn, Wien und Burgenland“ – wird finanziert durch die Europäische Union aus

dem Fonds für regionale Entwicklung mit Kofinanzierung durch die Stadt Wien.

Literatur

- ALIN, S., L. XUEYUAN, T. KANAMORI and T. ARAO, 1996: Effect of long-term application of compost on some chemical properties of wheat rhizosphere and non-rhizosphere soils. *Pedosphere* 6, 355-363.
- BERNER, A., D. SCHERRER and U. NIGGLI, 1995: Effect of different organic manures and garden waste compost on the nitrate dynamics in soil, N uptake and yield of winter wheat. *Biological Agriculture & Horticulture* 11, 289-300.
- BOISCH, A., M. RUBBERT und D. GOETZ, 1993: Stickstoffhaushalt verschiedener Bodentypen bei der Anwendung von Biokompost. VDLUFA-Kongreßband 1993. VDLUFA-Schriftenreihe 37, 621-624.
- BRANDT, M. und H. WILDHAGEN, 1999: Netto-N-Mineralisation nach mehrjähriger ackerbaulicher Verwertung von Bioabfallkompost und Grünguthäcksel. *Mitt. Dt. Bodenk. Gesellsch.* 91, 743-746.
- DIEZ, T. und M. KRAUSS, 1997: Wirkung langjähriger Kompostdüngung auf Pflanzenenertrag und Bodenfruchtbarkeit. *Agribiol. Res.* 50, 78-84.
- ERHART, E., F. FEICHTINGER and W. HARTL, 2007: Nitrogen leaching losses under crops fertilized with biowaste compost compared with mineral fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 608-614.
- FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, Hrsg., 1999: Richtlinien für die Sachgerechte Düngung. 5. Aufl., Bundesamt u. Forschungszentrum f. Landwirtschaft, Wien.
- FEICHTINGER, F., and W. HARTL, 1997: Nutrient losses to the groundwater as influenced by organic fertilization compared to mineral fertilization – experimental outlines. In: *Fertilization for Sustainable Plant Production and Soil Fertility – 11th International World Fertilizer Congress of CIEC*, Sept. 7-13, 1997, Gent, Belgium. *Proceedings Vol II*, 480-487.
- HARTL, W. and E. ERHART, 2005: Crop nitrogen recovery and soil nitrogen dynamics in a 10-year field experiment with biowaste compost. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 781-788.
- HOLTERMANN, C., 1996: Ein mobiles System zur on-line-Messung der NO_x (NO , NO_2)-Ausgasung aus Böden. *Die Bodenkultur* 47, 235-244.
- HÖSCH, J., 2005: ÖPUL-Maßnahmen und deren Einfluss auf die Stoffverlagerung im Lysimeterversuch. In: *Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen. Bericht über die 11. Lysimetertagung.* HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 5.-6.4.2005. p. 93-97.
- HÜLSBERGEN, K.-J., 2009: Möglichkeiten der C-Sequestrierung landwirtschaftlich genutzter Böden. In: *Ökoregion Kaindorf (Hrsg.): Tagungsband Humus Symposium 2009.* 23.-24.9.2009, Ökoregion Kaindorf, Stmk.
- LAL, R., 2004: Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304, 1623-1627.
- LAL, R., 2008: Carbon sequestration. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363, 815-830.
- LECLERC, B., P. GEORGES, B. CAUWEL and D. LAIRON, 1995: A Five Year Study on Nitrate Leaching under Crops Fertilised with Mineral and Organic Fertilisers in Lysimeters. In *Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture, Biological Agriculture and Horticulture* 11, 301-308.
- NEVENS, F. and D. REHEUL, 2003: The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: nitrogen availability and use. *Europ. J. Agronomy* 19, 189-203.
- PARDINI, G., M. VOLTERRANI and N. GROSSI, 1993: Effects of municipal solid waste compost on soil fertility and nitrogen balance: lysimetric trials. *Agr. Med.* 123, 303-310.
- PUXBAUM, H. and M. GREGORI, 1998: Seasonal and annual deposition rates of sulphur, nitrogen and chloride species to an oak forest

- in north-eastern Austria (Wolkersdorf, 240 m A. S. L.). *Atmosph. Environ.* 32, 3557-3568.
- SMIDT, E. and J. TINTNER, 2007: Application of differential scanning calorimetry (DSC) to evaluate the quality of compost organic matter. *Thermochemica Acta* 459, 87-93.
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER - Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. *Mitteilung aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt*, Nr. 31, Petzenkirchen.