

# Luftreinigung durch Kompost-Biofiltration

Werner HELLER und Heinz SCHWAGER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (FAW), 8820 Wädenswil

**Der Schweizer Landwirtschaft gehen jährlich grosse Mengen von Stickstoff in Form von Ammoniakgas verloren. Eine Filtration durch biologisch aktives Material wie zum Beispiel Kompost erlaubt die Ausnutzung dieser billigen Stickstoffquelle. Der im Filter zurückbehaltene Stickstoff reichert sich infolge intensiver biologischer Oxidation als Nitrat an und kann extrahiert werden. Der mit Stickstoff angereicherte, durch die Nitrifikation leicht saure Kompost kann auch direkt als Dünger verwendet werden. Die N-Anreicherung kann durch die Länge der Verweildauer im Biofilter reguliert werden.**

Viele Komposte, die im Mietenverfahren aus Grünabfällen hergestellt werden, zeichnen sich durch einen niedrigen Stickstoffgehalt und ein entsprechend weites Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis aus. Dies führt zu einer wenig effizienten Mineralisierung des im Kompost enthaltenen Stickstoffs bei der Anwendung als Dünger. Um die Stickstoff-Düngewirkung der Komposte zu verbessern, sollte das C/N-Verhältnis der anwendungsreifen Komposte verengt werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass reifer Kompost durch eine aerobe Nachrotte mit einem Zuschlag von langsam mineralisierenden organischen N-Quellen mit Nitratstickstoff angereichert werden kann. Weil die nitrifizierende Mikroflora nicht auf organische Kohlenstoffquellen angewiesen ist, sondern ihren Kohlenstoff-Bedarf aus Carbonat oder CO<sub>2</sub> zu decken vermag (Winoogradsky 1890), könnte auch Ammoniak-Stickstoff zu diesem Zweck verwendet werden. Ammoniak entweicht täglich gasförmig aus Ställen, Misthaufen und Güllebehältern in die Luft. Nach Schätzungen erreichen die gasförmigen Ammo-

niakverluste der Schweizer Landwirtschaft die Grössenordnung von 46'000 t Stickstoff pro Jahr (BUWAL 1993).

Biofiltration von Ammoniak unter Verwendung von Torf als Filtermaterial durch Inokulation (Impfung) mit nitrifizierenden Bakterien (Togashi et al. 1986) und unter Zugabe von zusätzlichen Nährstof-

fen wurde bereits beschrieben (Hartikainen *et al.* 1996). In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass ein Gemisch von Blähton und Kompost ohne weitere Behandlung ein Ammoniak-Luftgemisch vom Ammoniak zu reinigen vermag. Das Ammoniakgas wird dabei nicht nur im Filter zurückgehalten, sondern von der nitrifizierenden Mikroflora kontinuierlich zu Nitrat oxidiert, das im Filtermaterial als Salz enthalten bleibt oder daraus extrahiert werden kann.

## Reaktorgefäss, Filtermaterial

Damit ein Ammoniak-Luft-Gemisch im Biofilter nitrifiziert werden kann, muss

**Tab. 1. Eigenschaften des Biofilter-Materials bei Versuchsbeginn**

Wassergehalt (%)	50
Organische Substanz (% TS)	35
Stickstoffgehalt (% TS)	1
pH-Wert **	7,9
Leitfähigkeit (mS/cm) **	2880
Ammoniumgehalt (mMol/l) **	222
Nitritgehalt (mMol/l) **	30
Nitratgehalt (mMol/l) **	6129

\*\* Volumenextraktion: 1 Teil Kompost zu 2 Teilen deionisiertem Wasser



**Abb. 1. Aufbau des Bioreaktorsystems. Im Vordergrund am Boden die Ammoniakquelle, aus der mittels der Pumpen das Ammoniak-Luftgemisch in den stehenden Biofilter gefördert wird.**

durch die Versuchsanordnung sichergestellt werden, dass das Gasgemisch das Filtermaterial gleichmässig durchströmt und dass der nitrifizierenden Mikroflora genügend Wasser, Sauerstoff, Nährstoffe und eine anorganische Kohlenstoffquelle zur Verfügung steht. Als Reaktorgefäss diente ein 30 l-Kunststoff Fass mit Bohrungen in Boden und Deckel. Durch die Bohrung im Boden wurde das Ammoniak-Luftgemisch von unten in das Fass gepumpt. Durch einen in den Deckel der Einfüllöffnung eingeführten Schlauch konnte die Abluft das Reaktorgefäss verlassen. Das Gasgemisch durchströmte somit das Reaktorgefäss von unten nach oben. Allfällige gasförmige Ammoniakverluste aus dem Biofilter wurden durch eine Abgaswäsche in einer sauren Lösung zurückgehalten. Als Filtermaterial wurde ein Gemisch von 80 Volumenprozent (Vol.%) Reifkompost und 20 Vol.% Blähton verwendet (Siebdurchgang 6 mm). Über die Eigenschaften der Mischung zu Versuchsbeginn gibt Tabelle 1 Auskunft. Der Versuch wurde bei einer Temperatur von 18°C bis 25°C durchgeführt.

### Ammoniak-Quelle

Als Ammoniak-Quelle diente eine alkalische Ammoniumsulfat-Lösung ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; ca. 70 g/l), die durch Zugabe von Kaliumcarbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) auf einen pH-Wert von 9,0 eingestellt wurde. Durch regelmässige Zugaben von Ammoniumsulfat wurde dieser Wert während der Versuchsdauer möglichst konstant gehalten, um einen gleichmässigen Dampfdruck des Ammoniaks zu gewährleisten. Die alkalische Ammoniumsulfat-Lösung wurde in eine Kunststoff-Box mit Deckel (36 cm x 26 cm x 11 cm) gegeben. Mittels Bohrungen am oberen Rand der Box wurde Frischluftzutritt ermöglicht. Durch eine Bohrung im Deckel der Box wurde das Ammoniak-Luftgemisch mit Hilfe von elektrischen Membranpumpen (Förderleistung insgesamt ca. 100 l/h) abgesaugt und über einen entsprechend dimensionierten Schlauch in das Reaktorgefäss gepumpt (vgl. Abb. 1)

### Messungen während des Versuches

In Abständen von 30 Tagen wurde dem Reaktorgefäss eine Mischprobe entnommen und der pH-Wert, die Leitfähigkeit und die Konzentrationen von Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) und Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) im

**Tab. 2. Veränderung des pH-Wertes des Filtermaterials während der Versuchsdauer von 147 Tagen**

Versuchsdauer (Tage)	pH Wert (Wasser)**
0	7,9
25	8,3
53	6,9
81	6,8
112	6,7
147	6,8

\*\* Volumenextraktion: 1 Teil Kompost zu 2 Teilen deionisiertem Wasser

Volumenextrakt (1/2) mit deionisiertem Wasser ermittelt (Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen Landw. Forschungsanstalten 1996). Der pH-Wert wurde mit einer Glaselektrode, die Konzentrationen von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> photometrisch gemessen.

### Filtermaterial: Nitrifikation senkt den pH-Wert...

Bereits wenige Tage nach Versuchsbeginn liess sich in der Abluft des Reaktorgefässes kein Ammoniakgeruch mehr feststellen. Wegen dem Zustrom von NH<sub>3</sub> stieg der pH-Wert des Filtermaterials anfänglich bis zu einem Wert von 8,3 an, um nach dem Einsetzen einer effizienten, versauernden Nitrifikation in den Bereich unter 7 zu sinken (Tab. 2).

### ...Ammonium- und Nitritgehalte bleiben tief...

Im Reaktorgefäss wird das zugeführte Ammoniakgas (NH<sub>3</sub>) von den im Kom-

post vorhandenen Bakterien nach der Formel: NH<sub>3</sub> + 3H<sub>2</sub>O + 2O<sub>2</sub> ⇌ HNO<sub>3</sub> + 4H<sub>2</sub>O zu Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) oxidiert. Wie aus der Abbildung 2 hervorgeht, reichern sich im Filtermaterial die Zwischenprodukte Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) und Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) nicht wesentlich an.

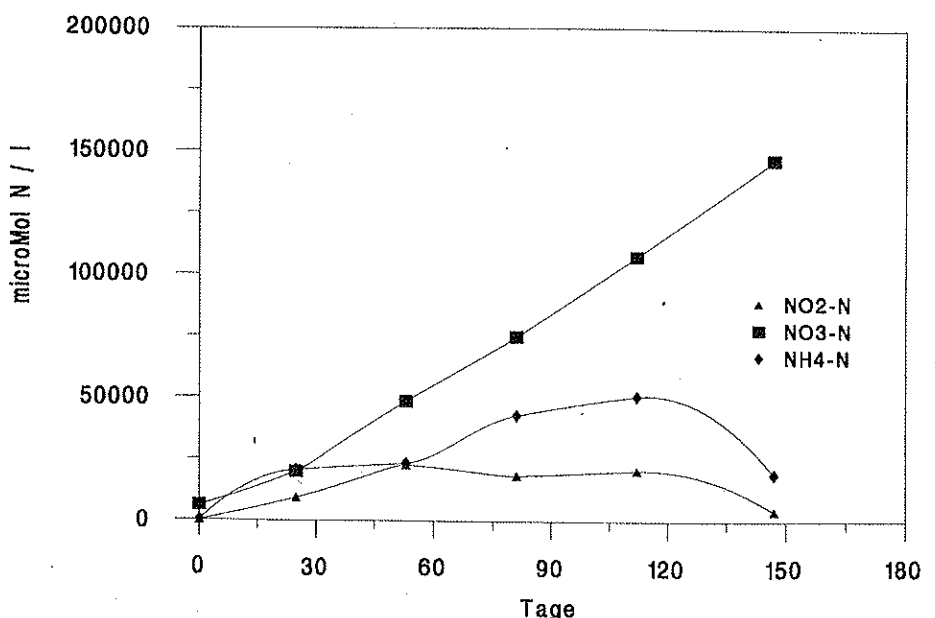
### ...Nitrat- und Salzgehalte steigen an

Die Oxidation von Ammoniak zu Salpetersäure beziehungsweise zu Nitrat durch die nitrifizierenden Bakterien geht unter den aeroben Bedingungen so schnell vor sich, dass sich nur das NO<sub>3</sub><sup>-</sup> anreichert. Die durchschnittliche Nitrifikationsleistung während des Versuchs lag in der Grössenordnung von 32 mg Nitrat-Stickstoff pro Liter Kompost-Filtermaterial pro Tag (Abb. 3). In der Folge dieses Prozesses steigt der Salzgehalt des Filtermaterials stark an. Aus der engen Korrelation zwischen dem Salzgehalt und dem Nitratgehalt des Extraktes geht hervor, dass das Nitrat tatsächlich als Salz im Kompost angereichert wird (Abb. 4).

Ziel weiterer Versuche wird sein abzuklären, wie Osmose-tolerant die nitrifizierende Mikroflora des Biofilters ist, das heisst, bei welchem Nitratgehalt die Mikroflora ihre Tätigkeit wegen des erhöhten osmotischen Druckes einstellen muss.

### Folgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass eine Anreicherung von Kompost mit Ni-



**Abb. 2. Veränderung der Konzentrationen von Ammonium-N (NH<sub>4</sub>-N), Nitrit-N (NO<sub>2</sub>-N) und Nitrat-N (NO<sub>3</sub>-N) im Filtermaterial während des Versuches (Volumenextraktion: 1 Teil Kompost zu 2 Teilen deionisiertem Wasser Angaben in µMol/l).**

trat durch Nitrifizierung von Ammoniakgas biologisch und technisch machbar ist. Wie bei jedem biologischen Vorgang müssen dabei Rahmenbedingungen erfüllt sein, damit dieser Prozess mit möglichst geringen Verlusten ablaufen kann. Der anzureichernde Kompost muss wegen des Risikos von Denitrifikationsvorgängen ausgereift sein, darf also keine Selbsterwärmung durch Abbau von leicht löslichen Kohlenstoffquellen mehr aufweisen. Die Nitrifikation erfolgt in der beschriebenen Weise nur, wenn für eine intensive Belüftung im Reaktorgefäß gesorgt wird. Die Senkung des pH-Wertes des Kompostmaterials schafft günstige Voraussetzungen für den Einsatz des angereicherten Kompostes als kombinierter N-, P-, K-, Mg-Dünger in gärtnerischen Kulturen. Der Nitratgehalt des Kompostes kann durch die Verweildauer des Materials im Reaktionsgefäß in einem weiten Bereich eingestellt werden. Welcher Nitratgehalt für eine Verwendung als Volldünger anzustreben ist, muss durch entsprechende Anbauversuche abgeklärt werden. Bei geeigneten, nicht verschlammenden Kompost-Blähtonmischungen könnte auch eine Gewinnung des auf biologische Weise produzierten Nitrates durch Auswaschung des Filtermaterials vorgenommen werden.

Im Gegensatz zur Verwendung von Torf oder ähnlichen nährstoffarmen, wenig gepufferten und biologisch wenig besiedelten Materialien als Biofilter kann bei der Ammoniak-Biofiltration mit einem Kompost-Blähtongemisch auf Nährstoffzugaben zum Filtermaterial und auf eine Inokulation mit nitrifizierenden Mikroorganismen verzichtet werden.

## LITERATUR

BUWAL., 1993. Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz. *Schriftenreihe Umwelt Nr. 209*.

Hartikainen T., Ruuskanen J., Vanhatalo M. and Martikainen P.J., 1996. Removal of ammonia from air by a peat biofilter. *Environmental Technology* 17, 45-53.

Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen Landw. Forschungsanstalten Bd. 1. FAL 1996.

Togashi I., Suzuki M., Hirai M., Shoda M. and Kubota H., 1986. Removal of NH<sub>3</sub> by a peat Biofilter without and with Nitrifier. *J. Ferment. Technol.* 64, (5): 425-432.

Winogradsky M.S., 1890. Recherches sur les organismes de la nitrification. *Annales de l'institut Pasteur (Journal de microbiologie)*. 213-231; 257-257; 760-771.

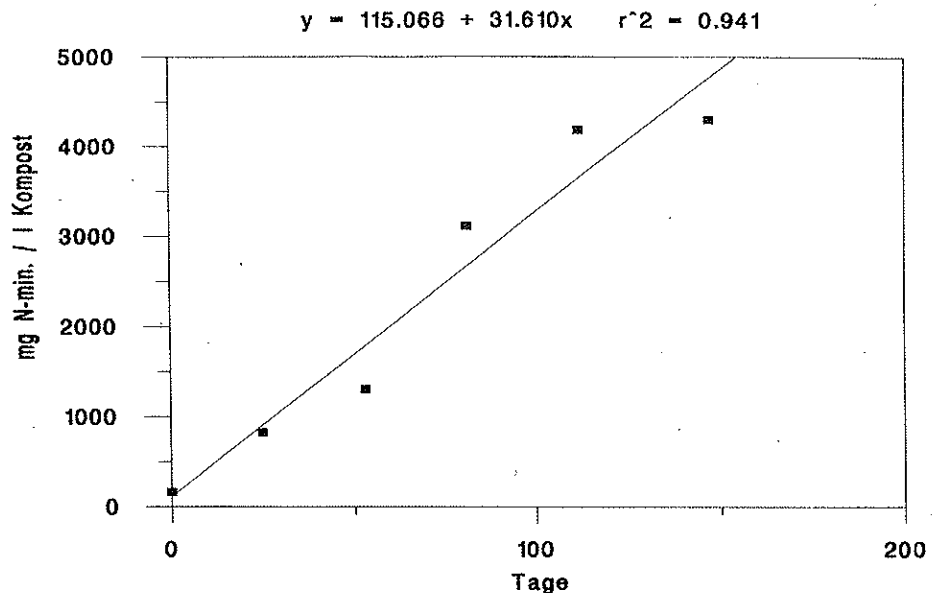


Abb. 3. Anreicherung von mineralisiertem Stickstoff im Filtermaterial während des Versuchs (mg N-min pro l Kompost).

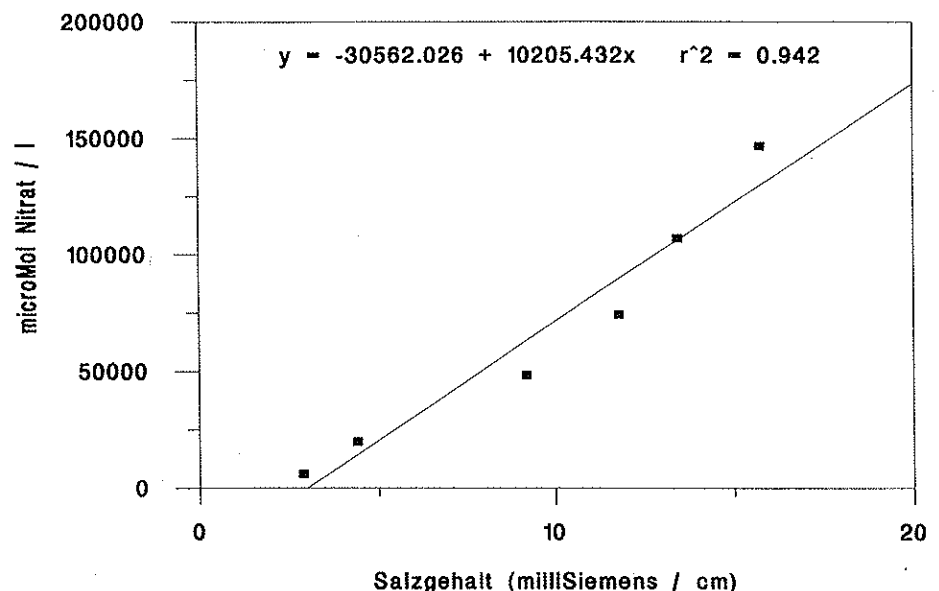


Abb. 4. Korrelation zwischen dem Nitratgehalt und der Leitfähigkeit des Kompostmaterials während des Versuchs (Volumenextraktion: 1 Teil Kompost zu 2 Teilen deionisiertem Wasser).

## RÉSUMÉ

### Purification de l'air chargé d'ammoniaque par biofiltration

Un mélange d'air et d'ammoniaque est passé à travers un filtre biologique composé de compost mûr et d'argile expansé (80vol.% / 20vol.%). En peu de jours, un processus intense de nitrification s'installe dans le filtre. Il en résulte une diminution du pH, une augmentation de la salinité et par conséquent un enrichissement en azote nitrique du compost. Dans les conditions données de l'essai, la capacité moyenne de nitrification du bioréacteur est d'environ 32 mg d'azote nitrique par litre de composé filtrant et par jour. L'enrichissement en nitrate du mélange compost-argile expansé peut être défini par le temps durant lequel il reste dans le biofiltre.

## SUMMARY

### Purification of ammonia charged air by biofiltration

Ammonia was removed from air by biofiltration through a humid mixture of compost and expanded clay (80vol.% / 20 vol.%). Within a few days intensive nitrification started which induced a depression of the pH and led to an accumulation of salinity and nitrate in the filter material. The mean nitrate production rate of the biofilter was 32 mg NO<sub>3</sub>-N per litre filter volume per day. The accumulation of nitrate in the filter material can be regulated by the amount of time the compost mixture remains in the reactor.

**KEY WORDS:** aerobic biofiltration, compost, ammonia, nitrification, nitrate accumulation