

Stickstoff in torfarmen und torffreien Substraten

Hans Peter Wegmüller, Hauert & Co., Grossaffoltern

Im gärtnerischen Bereich wird mit dem Begriff Substrat allgemein jene «Erde» bezeichnet, in der pflanzliche Kulturen wurzeln. In der Regel versteht man darunter einen «festen Stoff», in der die Wurzeln Halt finden und die Pflanze Nährstoffe und Wasser aufnimmt, im klassischen Fall beispielsweise eine Topferde. Aufgrund dieser Definition ist bereits ersichtlich, welche pflanzenbaulich wichtigen Eigenschaften allgemein den Kern der Diskussion über Substrate bilden: die Strukturstabilität und Wasserführung, die Nährstoffdynamik sowie einige chemische Eigenschaften wie der pH-Wert und der Salzgehalt. Während bei Hors-sol-Kulturen die Stützfunktion und die Nährstoffversorgung von zwei verschiedenen Systemen wahrgenommen wird, die jedes für sich optimiert werden können, ergeben sich bei den klassischen Substraten aus der Wechselwirkung zwischen Trägermaterial und Nährstoffen in der «Boden-lösung» oft Probleme.

In gärtnerischen Produktionsbetrieben wird seit ca. 30 bis 40 Jahren zur Hauptsache Torfkultursubstrat verwendet, also aufgecalceter Torf, allenfalls zur Verbesserung des Nährstoffrückhaltevermögens mit etwas Ton vermischt. Die hervorragenden chemischen und physikalischen Eigenschaften dieses Trägermaterials und die breite Anwendbarkeit machten Neuentwicklungen nicht nötig. Äussere Faktoren ökologische Aspekte, Moorschutz, langfristige Verfügbarkeit, Qualitätskonstanz - führen aber seit einiger Zeit dazu, Torf zunehmend durch andere Stoffe zu ersetzen, beispielsweise durch Recycling nachwachsender organischer Stoffe, Kompost usw. Diese Entwicklung ist in der Schweiz seit 10 bis 15 Jahren intensiv im Gang und hat zu einem relativ hohen Qualitätsstandard der torfarmen oder sogar torffreien Substrate geführt. Ein Problemkreis jedoch entzieht sich trotz Fortschritten bis heute hartnäckig einer befriedigenden Lösung: die Beherrschung der Stickstoffversorgung. Im folgenden soll daher kurz auf die Nährstoffversorgung allgemein eingegangen werden, um dann einige Aspekte und Erkenntnisse aus Versuchen zur Stickstoffversorgung etwas genauer darzustellen.

Die Nährstoffversorgung von Substraten

Die Versorgung eines Substrats mit Nährstoffen ist ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung seiner Eignung und Qualität. Im Vordergrund stehen dabei die wasserlöslichen Nährstoffe. Die Stickstoffversorgung wird anhand der Nitrat- und Ammoniumgehalte im 1:1,5-Vol.-Wasserextrakt beurteilt, ebenso der pH-Wert und der EC-Wert. Beim Phosphor und Kalium können zusätzlich auch die austauschbaren Reserven (Extraktion mit Ammoniumacetat-EDTA-Lösung nach der 1:1,5-Vol.-Methode) mitberücksichtigt werden. Dies ist insbesondere bei der Verwendung von Kompost angebracht, da Kompost je nach Zusammensetzung viel Phosphor und Kali in nicht wasserlöslicher, aber trotzdem pflanzenverfügbarer Form, eben als sogenannte Reserven, enthalten kann. Ziel und wichtigstes Kriterium bei der Nährstoffversorgung ist die Aufrechterhaltung konstanter wasserlöslicher Nährstoffgehalte im Substrat auf einem vorgegebenen Niveau. Tabelle 1 zeigt die Nährstoffgehalte, die vom Beginn bis zum Ende einer Kultur im Substrat vorhanden sein müssen, um eine optimale Pflanzenernährung sicherzustellen. Diese Werte sind also nicht zu verbrauchende Nährstoffe, sondern stellen die Nährstoffkonzentration einer «Bodenlösung» dar, die für das gute Wachstum von Pflanzen aufrechterhalten werden sollte. Dabei ist

Tabelle 1: Optimale Nährstoffversorgung von Substraten
 (nach der 1:1.5-Volumenextraktionsmethode)

Nährstoff	Optimalbereich in g/m ³ für			
	salzempfindliche Kulturen, z. B. Aussaaterden		mittlere Kulturen	salzverträgliche und nährstoffbedürftige Kulturen
Wasserlösliche Nährstoffe				
Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N), obere Schranke	10	20	40	50
Summe Nitrat- und Ammoniumstickstoff (NO ₃ -N + NH ₄ -N)	40	80	170	280
Phosphor (P ₂ O ₅)	15	30	60	110
Kalium (K ₂ O)	95	190	280	380
Magnesium (Mg)	10	25	50	70
Calcium (Ca)	40	120	200	320
Nährstoffreserven¹⁾ Hauptnährstoffe				
Phosphor (P ₂ O ₅)	45	85	170	340
Kalium (K ₂ O)	120	230	470	940
Magnesium (Mg)	30	60	120	250
Calcium (Ca)	240	480	960	1900
Nährstoffreserven¹⁾ Spurenelemente				
Eisen (Fe)	5	10	55	110
Mangan (Mn)	2	10	25	55
Kupfer (Cu)	1	3	5	15
Zink (Zn)	1	2	10	25
Bor (B)	0,1	0,2	0,5	1

1) Pflanzenverfügbare Nährstoffreserven (Ammoniumacetat-EDTA-Extraktion) inklusive wasserlösliche Anteile

eine Gruppierung in Anzuchtsubstrate, Substrate für Kulturen mit normaler Salzverträglichkeit und Substrate für Kulturen mit hoher Salzverträglichkeit ausreichend, um alle Kulturen bezüglich einer optimalen Nährstoffversorgung der Substrate einzuordnen.

Torfersatzstoffe erschweren die Versorgung mit dem Leitelement Stickstoff

Die physikalischen Eigenschaften eines Substrats sind mit entsprechender Kulturführung weitgehend in den Griff zu bekommen und werden deshalb hier nicht weiter behandelt. Die

biologischen Eigenschaften von Substraten bzw. Substratkomponenten dagegen greifen in die Nährstoffdynamik ein und haben einen entscheidenden Einfluss auf die erfolgreiche Kultivierung, weil gerade das «treibende Element», der Stickstoff, hier das Geschehen dominiert. Phosphor, Kalium, Magnesium und Calcium sind zwar beteiligt und werden in den Gehalten verändert; diese Veränderungen lassen sich aber mit einer Substratanalyse erfassen und können mit der Grundaufdüngung korrigiert werden. Chemische Vorgänge sind in diesem Zusammenhang von untergeordneter Bedeutung.

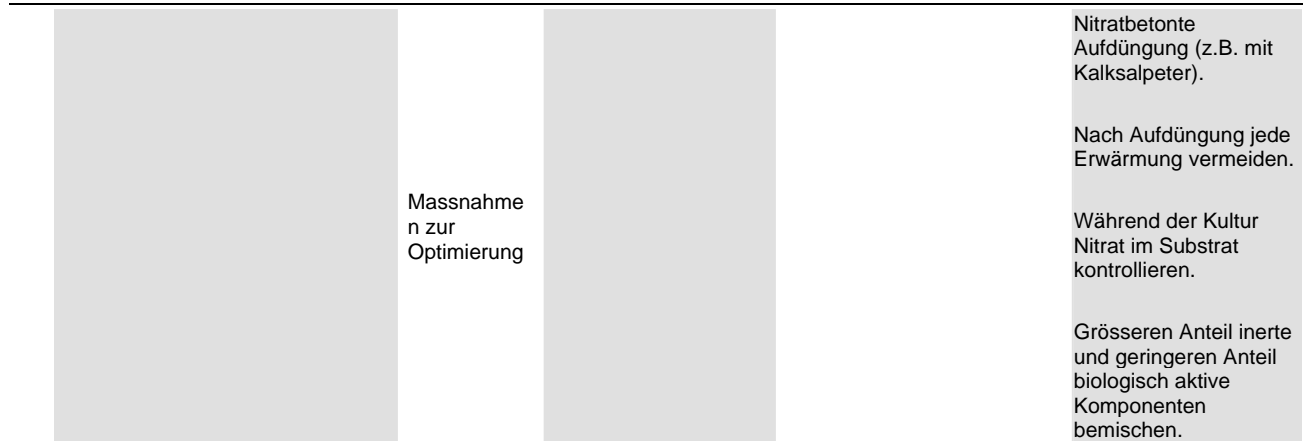
Es geht also in erster Linie um Veränderungen in der Stickstoffdynamik. Diese wird von zwei Faktoren beeinflusst: vom Grad der Besiedelung mit Mikroorganismen, gemessen als «biologische Aktivität», und vom Grad der Verfügbarkeit von organischen Verbindungen als Kohlenstoffquelle für Mikroorganismen. Substrate bzw. Substratkomponenten lassen sich unter diesen Aspekten in drei Gruppen einteilen:

- **Biologisch aktive Stoffe** (Gruppe A in Tabelle 2) sind reich mit Mikroorganismen besiedelt (Landerde, reifer Kompost).
- **Inerte Stoffe** (Gruppe B in Tabelle 2) sind organische Stoffe, die durch humifizierende Prozesse weitgehend in stabilere, das heisst «konservierte», Kohlenstoffverbindungen umgewandelt sind (Torf, stark verrotteter Kompost, Humus), sowie Stoffe, die den Mikroorganismen zwar als Habitat (Wohnraum) dienen, aber kaum als Nahrungsquelle zur Verfügung stehen (Blähton, Steinwolle, Perlite).
- **Reaktive Stoffe** (Gruppe C in Tabelle 2): Dabei handelt es sich um rezente organische Stoffe mit weitem C/N-Verhältnis (> 30), die noch nicht oder nur wenig durch Mikroorganismen verändert wurden (Holzfasern, frische Rinde oder Grünschnitt, frische Komposte).

Wie sich Gemische aus solchen Komponenten bezüglich der Stickstoffdynamik verhalten, ist in Tabelle 2 schematisch zusammengefasst. Um eine etwas differenziertere Sichtweise zu ermöglichen, werden nachfolgend einige Vorgänge näher beschrieben.

Tabelle2 : Mischung verschiedener Substratkomponenten und Stickstoffdynamik

Stoffbeschreibung		biologisch aktive Stoffe (A)	Inerte Stoffe (B)	reaktive Stoffe (C)
A biologisch aktive Stoffe: Mit Mikroorganismen reich besiedelt, Gleichgewicht der biologischen Prozesse bei Umgebungstemperatur weitgehend erreicht ("reif"). Beispiele: reifer Kompost, Landerde	Auswirkung	sehr rasche Mineralisierung von organischen N-Düngern z.T. 2 bis 4 mal rascher als die angegebene Standardwirkungsdauer. Geringe Ammoniumbildung, zügige Nitratentwicklung, wenig N-Immobilisierung	gute Voraussetzungen für Stickstoffmineralisierung und Nitratbildung. Die angegebene Standardwirkungs-dauer organischer N-Dünger ist zutreffend.	Nitratschub wenn C/N < 35, speziell nach organischer N-Aufdüngung. Verstärkung durch Spurenelement-zufuhr möglich. Ammoniumstickstoff wird rasch immobilisiert. Bei Erwärmung am Haufen deutliche Stickstoffverluste durch Nitratveratmung.
	Massnahmen zur Optimierung	Für gute Durchlüftung sorgen. grobe Struktur wählen. mit organischen N-Düngern nur wenig über die Grundversorgung aufdüngen, für Bevorratung hauptsächlich umhüllten Langzeitdünger (Osmocote) verwenden.	Grundversorgung mit mineralischem N-Dünger vornehmen. Stickstoffteilbevorratung mit organischem N-Dünger oder umhülltem Langzeitdünger (Osmocote nach Bedarf der Kultur).	Anteil inerte Stoffe zumischen, Kalkversorgung sicherstellen. Stabilisierungsphase (2-3 Wo.) abwarten, aber Erwärmung verhindern Nitrat- und EC-Kontrolle durchführen.
B Inerte Stoffe: geringe Besiedelung mit Mikroorganismen und kein bis wenig leichtverfügbarer Kohlenstoff. Beispiele: Torf, Perlite, Leca	Auswirkung		Organische N-Dünger wirken leicht verzögert. Geringe Ammoniumentwicklung, aber Gefahr von Nitritanreicherung vor dem Beginn einer zügigen Nitratbildung.	Ammoniumbildung erhöht Nitritanreicherung, Nitratbildung gering N-Immobilisierung
	Massnahmen zur Optimierung		Gute Durchlüftung gewährleisten, pH nicht zu tief, Kalkversorgung sicherstellen. Eher mineralische N-Düngung anwenden. Biologisch aktive Komponenten beimischen.	Nitratbetonte Aufdüngung, organische N-Dünger weniger geeignet, wenn mehr als 30% Stoffe der Gruppe C
C biologisch reaktive Stoffe: Vorrat an leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen Beispiele: Holzschnitzel, Frischkompost, Rinde, Kokosfasern.	Auswirkung			Nach N-Aufdüngung (organisch): zu Beginn Bildung hoher Ammoniumgehalte, Nitritanreicherung, Nitratbildung verzögert, später Nitratabbau (N-Immobilisierung oder Verluste).



Grundlegende Vorgänge in der Stickstoffdynamik

Für die Stickstoffversorgung von Kulturen in Substraten sind vier Stickstoff-Formen von Bedeutung: Nitratstickstoff, Ammoniumstickstoff, Proteinstickstoff (Eiweissstickstoff) in Mikroorganismen und Proteinstickstoff in konzentrierter Form als Dünger (z. B. Hornmehl). Der Kernpunkt ist, dass sich die ersten drei Formen im Substrat ineinander umwandeln können, während beispielsweise Hornmehl ausschliesslich als N-Quelle dient. Für die Pflanzenversorgung ist in erster Linie Nitratstickstoff nötig.

Vom Eiweiss zum Nitrat: Mineralisierung

Schritt 1 Ammoniumbildung aus Eiweissen

Proteinstickstoff kommt in Substraten in Form von Düngern wie Hornmehl, pflanzlichen Eiweissen, abgestorbenen Mikroorganismen usw. vor. Verschiedene Enzyme, von Mikroorganismen gebildet, aber teils frei im Substrat vorhanden, sind am Eiweissabbau beteiligt. Am Schluss einer Kaskade von Abbaustufen setzen sie Ammonium frei (NH_4^+ in wässriger Lösung). Dieser Vorgang bewirkt einen mehr oder weniger deutlichen pH-Anstieg – abhängig von der Menge des gebildeten Ammoniums und der Pufferkapazität des Substrats. Folgt diesem Schritt nicht unmittelbar die Nitrifizierung, können bei pH-Werten über 7.0 allmählich grössere Ammoniakverluste (= gasförmige Stickstoffverluste) auftreten. In ungünstigen Fällen kann die gesamte mineralisierte Ammoniummenge verloren gehen. Verschiedene Eiweissarten zeigen bezüglich der Ammoniumbildung ein etwas unterschiedliches Verhalten. So ist zum Beispiel bei Hornmehl die Ammoniumentwicklung ausgeprägter als bei Fleischmehl. Ob das gebildete Ammonium in Nitrat umgewandelt oder aber für den Aufbau von Mikroorganismen-Protein verwendet wird, ist von Bedingungen abhängig, die in Schritt 2 beschrieben werden.

Schritt 2 Nitratbildung aus Ammonium

Sind die Bedingungen günstig, wandeln in einem nächsten Schritt spezialisierte Bakterien (*Nitrosomonas*) Ammonium in Nitrit um; eine andere spezialisierte Art (*Nitrobacter*) oxidiert Nitrit unmittelbar weiter zu Nitrat, der für die Pflanzenernährung angestrebten Stickstoff-Form. Die Nitrifizierung ist von einer pH-Senkung begleitet (Freisetzung von H^+ -Ionen bei der Umwandlung von Ammonium).

Damit sich Ammonium nicht anreichert, muss die Nitratbildung nach möglichst kurzer Zeit die Ammoniumbildung «überholen»; die Nettoproduktion von Nitrat muss also grösser sein als die Ammoniumbildung. Dazu müssen einerseits die für die Nitratbildung spezialisierten Bakterien vorhanden sein, andererseits müssen die für ihre Vermehrung günstigen Voraussetzungen herrschen: mittlere Temperaturen von 15 bis 35°C, gute Durchlüftung,

Feuchtigkeit, pH-Bereich 5.5 bis 7.5 sowie eine gewisse Kalkmenge in Form von Kalksteinmehl oder Meeresalgenkalk.

Solche Bedingungen sind jedoch auch für viele andere Mikroorganismen optimal, so dass im Substrat in der Regel reichlich Mikroorganismen-Biomasse aufgebaut wird. Dabei wird ein Teil des im Substrat vorhandenen oder frisch gebildeten Ammoniumstickstoffs für den Eiweissaufbau verwendet (15 bis 30 %) und ist nicht mehr pflanzenverfügbar (N-Immobilisierung).

Nitrat schützt vor N-Immobilisierung

Wenn pflanzenverfügbare wasserlösliche Stickstoff-Formen in wasserunlösliche Verbindungen – die nicht mehr pflanzenverfügbar sind – umgewandelt werden, spricht man von N-Immobilisierung. Sie ist die Folge der Fixierung von Stickstoff in Form von mikrobieller Biomasse, hauptsächlich in Bakterien und Pilzen. Dabei gilt es zwei Fälle zu unterscheiden:

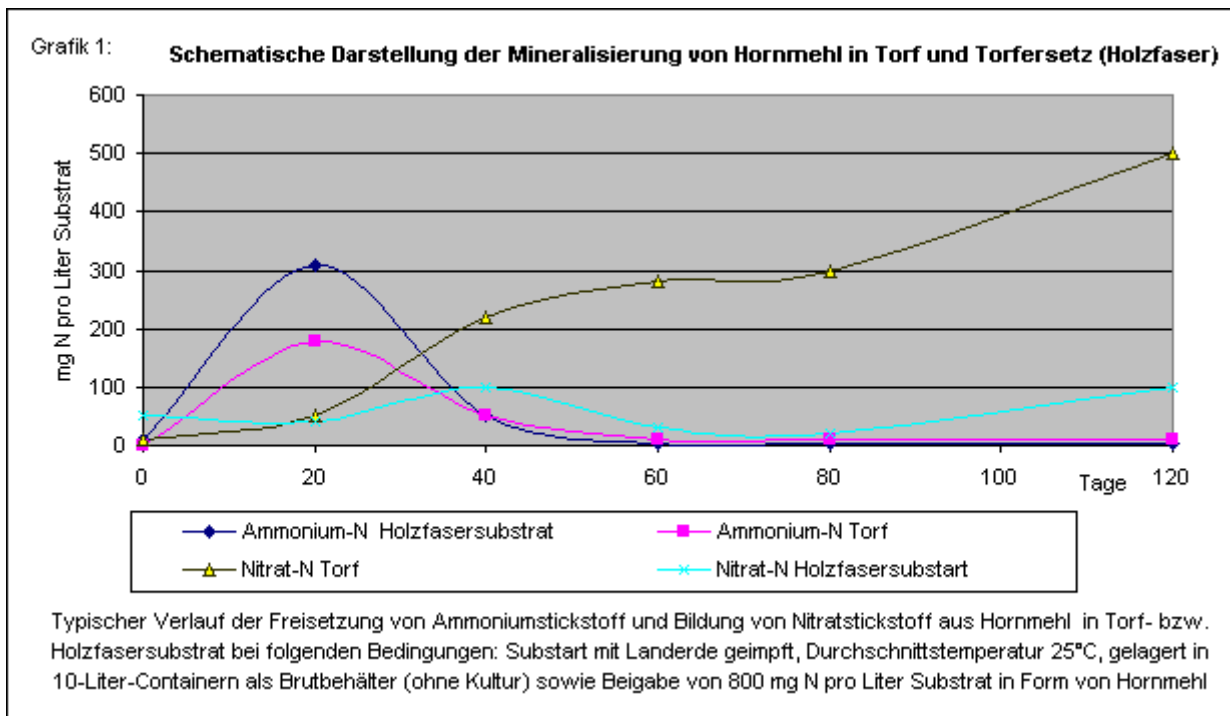
- N-Immobilisierung bei Umgebungstemperatur (zum Beispiel in Töpfen oder in der äusseren Mietenschicht)
- N-Immobilisierung bei hohen Temperaturen in Mieten während der Rotte oder – fast noch wichtiger – bei der Erwärmung von Substrathaufen nach einer Aufdüngung

Für die in Substraten häufigsten Mikroorganismen ist Ammonium die bevorzugte N-Quelle für den Eiweissaufbau. Hohe Ammoniumkonzentrationen bedeuten daher meist auch hohe Immobilisierungsraten. Die nitratbildenden Bakterien weisen jedoch im Verhältnis zu ihrem «Eigenbedarf» an Stickstoff eine hohe Nitratbildungsrate auf – sie wirken also der Immobilisierung entgegen.

Neben dem Stickstoff benötigen Mikroorganismen auch Kohlenstoff zur Ernährung. Dabei werden zwei Gruppen unterschieden: Mikroorganismen, die Kohlendioxid (CO₂) als C-Quelle verwenden, und solche, die organischen Kohlenstoff verwerten. Die nitrifizierenden Arten beziehen den Kohlenstoff in Form von CO₂, während die grosse Mehrzahl der übrigen Bakterien und Pilze organischen Kohlenstoff benötigen.

Aus diesem Umstand ergeben sich nun erste Fragen für die Praxis: Wie unterscheiden sich Substratkomponenten hinsichtlich der Verfügbarkeit von organischen Kohlenstoffverbindungen, und wie wirkt sich dies auf die Stickstoffdynamik aus?

Langsam verfügbare C-Quellen sind beispielsweise Weisstorf, Huminstoffe (in Landerde) oder reifer Kompost. Als rasch verfügbare C-Quellen können Holzfaserstoffe, frische Komposte, Stroh und ähnliche Stoffe eingestuft werden (siehe auch Tabelle 2). Während organische Substanz abgebaut wird, steigt lokal stets auch die CO₂-Konzentration leicht an und kann die Nitrifizierung unterstützen. Organische Substanz, die nur langsam zersetzt werden kann, fördert deshalb die nitratbildenden Arten. Der rasche Abbau leicht zersetzbarer organischer Substanz führt dagegen zum Aufbau einer grossen und vielfältigen Population von Mikroorganismen. Weil diese für die Proteinbildung entsprechend viel Stickstoff benötigen, der vor allem aus Ammonium gedeckt wird, immobilisieren sie den Stickstoff im Substrat (siehe Grafik 1).



Verfügbarer Kohlenstoff bestimmt die N-Immobilisierung

Wird zwei Substraten mit unterschiedlicher C-Verfügbarkeit ein organischer N-Dünger beigemischt, unterscheidet sich der Verlauf der N-Umsetzungsvorgänge. Bei Umgebungstemperatur (zum Beispiel in Containern) ergeben sich folgende Abläufe:

Torf (aufgekalkt)

Die Ammoniumbildung beginnt relativ langsam (geringe Verfügbarkeit der C-Verbindungen, fehlende Besiedelung). Die Nitrifizierung setzt nach der Besiedelung des Substrats mit den entsprechenden Mikroorganismen ein. Durch Impfen des Torfes mit Landerde oder reifem Kompost wird dieser Schritt deutlich beschleunigt. Der Ammoniumgehalt sinkt rasch auf vernachlässigbar geringe Werte – obschon durch den Abbau stets Ammonium nachfließt –, während der Nitratgehalt stark zunimmt. Das Gleichgewicht ist also zum Nitrat hin verschoben. Gebildetes oder zugeführtes Ammonium wird praktisch vollständig in Nitrat umgewandelt, weil die N-Immobilisierung aufgrund des knappen C-Angebots – der konservierte Kohlenstoff im Torf ist schwer verfügbar – gering ist. Resultat: hohe Nitratausbeute im Verlauf von zwei bis vier Monaten.

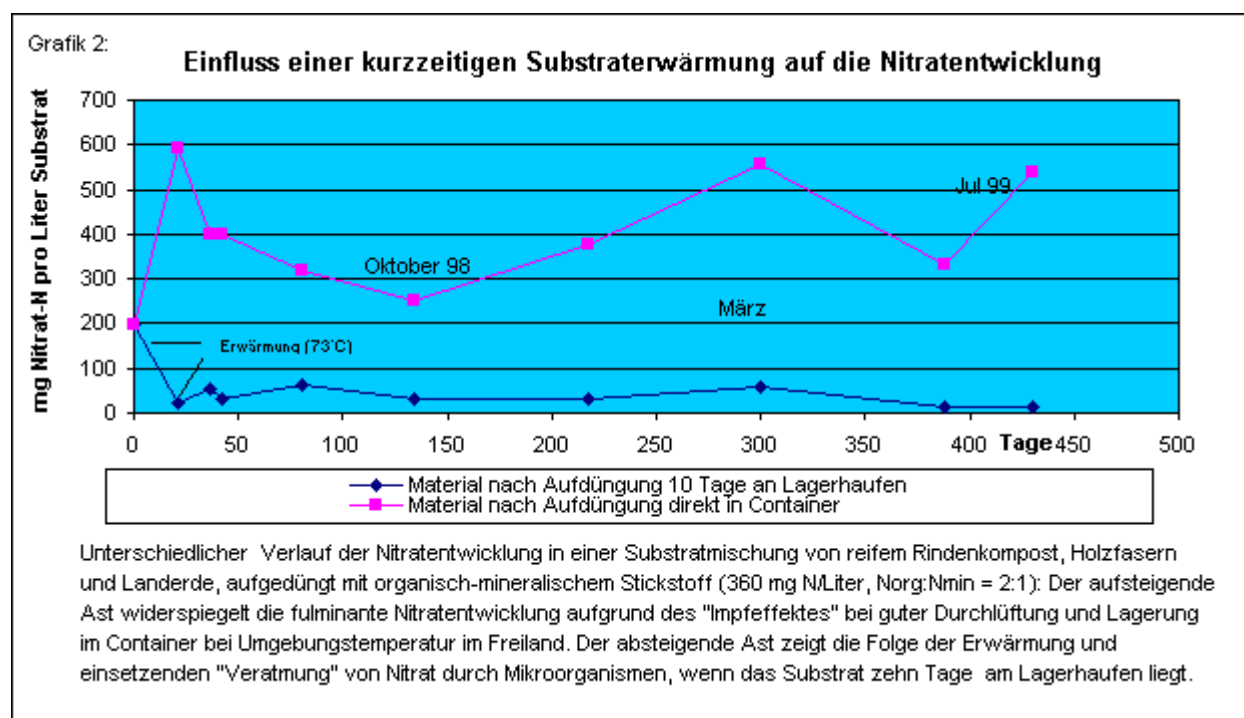
Holzfaserstoffe (frisch)

Reine Holzfaserstoffe sind in der Regel keimarm. Das heisst, dass die Abbauprozesse erst nach einer Besiedelung mit Mikroorganismen einsetzen. Die gute Verfügbarkeit des Kohlenstoffs führt dann aber zu einer raschen Vermehrung der Mikroorganismen. Stickstoff aus organischen Verbindungen (zum Beispiel Hornmehl) wird rasch zu Ammoniumstickstoff abgebaut, und dieser wird dem Substrat für den Aufbau von Mikroorganismen-Eiweiss entzogen. Der Stickstoff wird also immobilisiert (bis 70 % des gebildeten Ammoniumstickstoff). In der Anfangsphase werden unter diesen Bedingungen

häufig auch stark erhöhte Nitritwerte gefunden, weil sich die nitratbildenden Bakterien aufgrund von Sauerstoffknappheit (zum Beispiel an Haufen) und Nahrungskonkurrenz nur langsam oder gar nicht entwickeln. Entsprechend wenig Nitrat wird gebildet (Grafik 1). Erst nachdem die erste Phase der «rasanten» Ammoniumfreisetzung und parallel verlaufenden N-Immobilisierung abgeklungen ist und die Bedingungen für nitrifizierende Arten günstiger sind, setzt allmählich die Nitratbildung ein. Wie Versuchsergebnisse nahelegen, handelt es sich dabei aber vorwiegend um einen sekundären Prozess, bei dem Mikroorganismen-Eiweiss aus der aufgebauten Biomasse bereits remineralisiert wird. Wird das Substrat zu diesem Zeitpunkt beispielsweise mit reifem Kompost oder Landerde geimpft oder wird ein mineralischer N-Dünger beigemischt, können aus diesem Potential in kurzer Zeit grössere Nitratmengen gebildet werden (Nitratanstieg in Grafik 2 zu Beginn). Die Freisetzung kann sogar das Niveau der mit einer Aufdüngung zugeführten N-Menge übersteigen, wenn Substratkomponenten zugesetzt werden, die während einer gewissen Lagerdauer von Pilzmyzel oder von N-assimilierenden Mikroorganismen durchwachsen wurden.

Starke «Nitratzehung» bei hohen Temperaturen

Die Mietenerwärmung ist Ausdruck des Abbaus von organischen Verbindungen. Was geschieht bei diesem Prozess mit dem Stickstoff? Es konnte festgestellt werden, dass bei hohen Temperaturen selbst grosse Nitratmengen (500 g/m³) rasch – innert weniger als 15 Tagen – und irreversibel verschwinden. Die relativ knappe Sauerstoffversorgung in erwärmten Haufen und das vorhandene Potential an verfügbaren Kohlenstoffverbindungen fördern die Vermehrung nitratveratmender Mikroorganismen. Dabei können grössere Stickstoffmengen gasförmig, vor allem als elementarer Stickstoff (N₂), entweichen. Proben, die während der Erwärmung entnommen und dann anschliessend bei Umgebungstemperatur gelagert wurden, zeigten selbst nach einem Jahr keine Zunahme der Nitratwerte. Dagegen bleiben die Nitratwerte in Proben, die vor der Erwärmung entnommen wurden, im gleichen Zeitraum auf mehr oder weniger hohem Niveau (Grafik 2).



Gasförmige N-Verluste bei mittlerer Temperatur: bekannt, aber wenig untersucht

Verschiedene Versuchsergebnisse zeigen deutlich, dass in Substraten auch bei mittleren Temperaturen (15 bis 35°C) Nitrat in grösseren Mengen abgebaut wird. Bei Umgebungstemperatur verläuft dieser Prozess vergleichsweise langsam; doch sind Abnahmen von 300 mg N pro Liter Substrat in einem Zeitraum von sechs bis acht Wochen recht häufig beobachtet worden. Die Form der N-Aufdüngung scheint dabei eine Rolle zu spielen: Substrate, die mit organischem Stickstoff aufgedüngt wurden, zeigen höhere Abbauraten als mineralisch aufgedüngte, und sogar zwischen verschiedenen organischen N-Düngern bestehen Unterschiede. Aber auch hinsichtlich der Substrate gibt es Unterschiede: In Substraten mit einem hohen Anteil an leicht verfügbaren C-Quellen (Gruppe C in Tabelle 2) ist das Verschwinden von Nitrat ausgeprägter. Einiges weist darauf hin, dass die Mikroorganismen, wenn leicht verfügbare Kohlenstoffquellen und Ammoniumstickstoff nach und nach aufgezehrt sind, auf Nitrat als N-Quelle (und Energiequelle) zurückgreifen und so Stickstoff immobilisieren.

Versuchsergebnisse mit Torfsubstraten deuten aber auch darauf hin, dass der Nitratabbau mit eigentlichen Stickstoffverlusten verbunden sein kann. Es findet also eine Denitrifikation statt, bei der Stickstoff gasförmig (N₂O und N₂) entweicht. Wohlgermerkt, dieser Prozess läuft unter aeroben Verhältnissen bei normal durchlüfteten Substraten in Containern ab und nicht unter anaeroben Bedingungen, wo auch Ammoniak gebildet werden könnte.

Für die Nährstoffversorgung der Pflanzen ist es nicht direkt von Bedeutung, ob Verluste oder Immobilisierung zu einem Stickstoffdefizit im Substrat führen. Trotzdem sind für die Substratherstellung und Düngeberatung bessere Kenntnisse über diese Vorgänge notwendig, um auf der richtigen Stufe gezielt mit Massnahmen eingreifen zu können.

Was bedeutet dies für die Praxis?

Oft wird das Substrat aus organisatorischen Gründen einige Zeit vor der Verwendung aufgedüngt und anschliessend an einem Haufen gelagert. Je nach Zusammensetzung des Substrats erwärmt sich dieser Haufen stärker oder weniger stark. Treten dabei Temperaturen über 50°C auf, sinkt der Gehalt an Nitratstickstoff nach kurzer Zeit stark ab. Ausserdem können organische Dünger bei hohen Temperaturen sehr rasch abgebaut werden (3- bis 4mal schneller als bei mittleren Temperaturen), und umhüllte Langzeitdünger verlieren die Funktion der kontrollierten Nährstoffabgabe. Ungünstigerweise bewirkt die beschleunigte Nährstoffabgabe aus Langzeitdüngern am Lagerhaufen wiederum eine Temperaturerhöhung und damit eine zunehmende N-Immobilisierung infolge der Nitratzehrung.

Daraus ergeben sich für die Praxis zwei Konsequenzen. Substrate, die leicht abbaubare organische Komponenten enthalten, dürfen nach der Aufdüngung nicht an Lagerhaufen geschüttet werden. Hier drängt sich beispielsweise die Punktdüngung beim Eintopfen auf. Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz eines grösseren Anteils inerte Komponenten (Perlite, Leca, Torf), damit die Reaktivität herabgesetzt wird. Derselbe Effekt lässt sich auch mit Landerde erzielen. Es muss aber beachtet werden, dass mit dem Herabsetzen der Reaktivität – und /oder der Impfung – die Nitratbildung gefördert wird, wie dies weiter oben dargestellt wurde und in Grafik 2 deutlich zum Ausdruck kommt. Bevor solches Substrat verwendet wird, muss das Ausmass der Nitratbildung abgeschätzt werden (EC- und Nitratwert im Extrakt mittels Nitratstäbchen testen). In Tabelle 2 sind einige Aussagen über das Verhalten des Stickstoffs beim Mischen von Substratkomponenten zusammengefasst.

Richtlinien für die Substratherstellung

Die Beurteilung der Stickstoffdynamik in Substraten ist wichtig, aber auch komplex. Erschwerend kommt hinzu, dass zwar die Stickstoffdynamik von Einzelstoffen beurteilt, über das Verhalten in Mischungen mit anderen Substratkomponenten jedoch nur wenig vorausgesagt werden kann. Folgende Richtlinien können bei der Substratherstellung helfen:

- Auf Konstanz in der Qualität der Komponenten achten
- Mischung durch stufenweises Variieren der Zusammensetzung (zum Beispiel mit Unterstützung von Analysen) optimieren
- Nach der Optimierung konstante Herstellungsbedingungen einhalten

Vor allem die Qualitätskonstanz der Rohstoffe muss langfristig geplant werden. Dies gilt insbesondere auch für die betriebseigenen Komponenten. Nicht selten sind gerade bei diesen Stoffen die Qualitätsunterschiede sehr gross. Als absolutes Minimum muss der Salzgehalt jeder Charge vor der Verwendung bekannt sein. In regelmässigen Abständen sollten mittels Analyse aber auch die Hauptnährstoffe untersucht werden. Werden Zusammensetzungen geändert oder neue Materialien eingeführt, sind Vorversuche kein Luxus. Nicht selten verlangt eine Änderung des Substrats auch eine Anpassung der Kulturführung. Wer diese einfachen Regeln befolgt, kann die meisten unliebsamen Überraschungen bei der Substratherstellung und -verwendung vermeiden.