

N-Immobilisierung in Holzfasersubstraten bei der Anzucht von Tomatenjungpflanzen (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw.)

N. Gruda¹, Sabine v. Tucher² und W.H. Schnitzler¹

(Eingegangen am 21.12.1999)

Summary

N-immobilization of Wood Fiber Substrates in the Production of Tomato Transplants (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw.)

N-immobilization of wood fiber substrates during production of vegetable transplants was studied in greenhouse and under phytotron conditions.

Tomato transplants were grown on white peat, unimpregnated and impregnated wood fiber with three N-levels respectively. N-immobilization was calculated on the basis of N-balance including N-uptake by plants and residual mineral N in the substrates. In addition, the influence on net photosynthesis rate was examined.

Higher N-immobilization was found by increasing of N-application rates. Net-N-immobilization in impregnated wood fiber substrates was comparable to white peat with 100 mg N l⁻¹. Tomato transplants, cultivated on impregnated wood fiber substrates, showed significantly higher growth compared to plants cultivated in unimpregnated wood fibers.

With additional N-fertilization (level N3) the significance of N-immobilization in impregnated wood fiber substrates for the growth of tomato plants could be neglected. However, general recommendations for the amount of fertilizer to be added are difficult, because of strongly varying contents of mineral nutrients in the different substrate loads. Nevertheless, it is necessary to supply wood fiber substrates with nutrient solutions or fertilizer from the beginning of plant culture.

Substrates without plants, exposed to the same conditions showed the same tendencies in N-immobilization, as substrates with plants.

Einleitung

Die Verwendung von Holzfasersubstraten (HFS) im Gartenbau hat in den letzten Jahren zugenommen. Dies ist einerseits auf die Forderung nach vermindertem Torfabbau, andererseits aber auch auf Verbesserungen bei der Herstellung dieser Substrate zurückzuführen. Die Eigenschaften dieser HFS unterscheiden sich jedoch sowohl von denen des Torfs, als auch von anderen bisher verwendeten organischen Substraten. Vor allem die N-Immobilisierung kann in den Holzsubstraten bei den darauf kultivierten Pflanzen erhebliche Ernährungsprobleme verursachen und stellt somit einen der wichtigsten Faktoren für mögliche Ertragseinbußen dar.

Voraussetzung für das Auftreten von N-Immobilisierung in Kultursubstraten ist deren biologische Aktivität, die von der Menge an verfügbarem Kohlenstoff (C)- und Stickstoff (N) abhängig ist. Zu N-Immobilisierung kommt es insbesondere dann, wenn ein weites C/N-Verhältnis vorliegt (JANSEN et al., 1989). Dies trifft zu für Materialien wie Altpapier mit 135:1 (MOLITOR, 1997), Stroh mit 50-100:1 (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1998) sowie Rinden mit 75-110:1 (VERDONCK, 1983). Da das C/N-Verhältnis im Holz, bedingt durch den niedrigeren N-Gehalt noch weiter ist als in Rinde (PESCHKE und MOLLENHAUER, 1993), ist zu erwarten, daß auch bei Holzsubstraten eine nicht un-

erhebliche N-Immobilisierung stattfindet. In stark aufgefaserten, lockeren Holzsubstraten wird die Tätigkeit von Mikroorganismen beträchtlich gefördert. Für den Aufbau ihrer körpereigenen Eiweißkomponenten benötigen diese Mikroorganismen mineralischen Stickstoff. Es entsteht somit eine Konkurrenzsituation zwischen Makro- und Mikroflora, in der im Bezug auf die Nutzung der vorhandenen Mineralstoffe die Mikroorganismen den Pflanzen überlegen sind (BECK, 1985). Die immobilisierte N-Menge steht vor allem zu Beginn des Prozesses nicht mehr den Pflanzen zur Verfügung.

Verschiedene Lösungen wurden vorgeschlagen, um die N-Immobilisierung in Holzsubstraten zu reduzieren. Kompostierung stellt eine Möglichkeit dar, Holzabfälle als Substrat zu nutzen (ALA ALDIN, 1989). Dieser Prozeß stabilisiert die organische Substanz, nimmt jedoch viel Zeit in Anspruch, und es geht dadurch Ausgangsmaterial verloren (HANDRECK, 1991, 1992; PRASAD, 1997). Daneben kommt eine mechanische und thermische Behandlung des vorzerkleinerten Holzes in Betracht (LEMAIRE et al., 1989). Die Hydrolyse der Holzhäcksels unter Druck in Gegenwart von Säuren stellt ein chemisches Verfahren dar. Durch die Behandlungen kommt es zu einer Verschiebung des Lignin-Zellulose-Verhältnisses im Holz von ursprünglich 1:2-3 auf 1:1-2 (GRANTZAU, 1991a). Nach HANDRECK (1991, 1992) ist ein optimales Pflanzenwachstum nur dann gewährleistet, wenn sowohl für Mikroorganismen als auch für die Pflanze genügend Stickstoff zur Verfügung steht. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Substrate, die zur N-Immobilisierung neigen, mit einer langsamfließenden N-Quelle anzureichern und die Pflanzen zusätzlich mit flüssiger Nährlösung zu versorgen. Einige Substrate mit langsam fließender N-Quelle sind derzeit auf dem Markt erhältlich. Um die Eigenschaften des Produktes zu verbessern, müssen derartigen Substraten zusätzlich aber auch andere Mineralstoffe zugesetzt werden. Auf diese Weise können die "Schwächen" des natürlichen Holzstoffs beseitigt werden. Wenn diese Zusätze bereits vor der Holzauffaserung zugemischt werden und bei diesem Arbeitsgang unter Druck und bei hoher Temperatur in Gegenwart von Wasserdampf eingepreßt werden, spricht man von "Imprägnierung" (BAUMANN und PENNINGSFELD, 1991).

In früheren Versuchen mit geschlossenen Nährlösungssystemen (SCHNITZLER et al., 1997) sowie bei Jungpflanzen auf Ebbe/Flut-Tischen (GRUDA und SCHNITZLER, 1996) wurden die Pflanzen periodisch während der gesamten Vegetationszeit mit Nährlösung versorgt. Unter diesen Bedingungen ergaben sich keine Hinweise auf N-Immobilisierung in den Holzsubstraten, da mögliche Verluste an mineralischem N über die Zufuhr an Düngerlösung zur Aufrechterhaltung des eingestellten EC-Wertes ausgeglichen werden. Diese Versuchsanstellung erlaubt demnach keine Bewertung der stattfindenden N-Immobilisierung.

Um diesen Prozeß näher zu untersuchen, wurde daher ein Ansatz gewählt, bei dem über die Zugabe bekannter Mengen Aussagen zum Verbleib des gedüngten Stickstoffs möglich sind. Die Versuche wurden im Gewächshaus (GH) und in Klimakammern (KK) mit Kopfsalat- und Tomatenjungpflanzen durchgeführt. Ziel war es zu prüfen, ob N-Immobilisierung auch bei imprägniertem HFS auftritt und mittels Differenzmethode anhand von N-Bilanzen indirekt nachzuweisen ist. Weiterhin sollten auch die optimalen Bedingungen für das Wachstum von Gemüsejungpflanzen bei der Verwendung solcher

Substrate ermittelt werden. Über die Ergebnisse mit Salat in einem HFS feiner Körnung ('Toresa nova®') wurde bereits berichtet (GRUDA und SCHNITZLER, 1997). Im folgenden werden die Ergebnisse über die N-Immobilisierung in 'Toresa spezial®', einem relativ groben Holzfasersubstrat dargestellt. Weitere Ergebnisse zum Wachstum der Tomatenjungpflanzen werden an anderer Stelle berichtet (GRUDA und SCHNITZLER, 1999).

Material und Methoden

Behandlungen und Versuchsaufbau

In zweifaktoriellen Versuchen mit drei Wiederholungen wurde die Netto-N-Immobilisierung in drei Substraten unter Verwendung von drei N-Stufen untersucht. Es wurden nicht imprägnierte Holzfasern (HF) mit imprägnierten HFS verglichen. Als Standardvergleich diente in beiden Fällen Weißtorf. Die Düngungsvarianten wurden lediglich durch die N-Gabe differenziert. Die N-Düngung erfolgte zunächst in der 1. Woche nach dem Umtopfen für alle Varianten gleich, mit 87,5 mg N/Topf gelöst in 40 ml Wasser. Die 2.+3. N-Stufe erhielten in der 2. Woche nach dem Auspflanzen weitere 87,5 mg N/Topf. Nur die dritte N-Stufe wurde in der 3. Woche nochmals gedüngt, diesmal mit 175 mg N/Topf. Als N-Dünger im GH wurde NH_4NO_3 (34,8 % N) und in den KK $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (15,5 % N) verwendet, als Pflanzenmaterial dienten Tomatenjungpflanzen (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw.), Sorte 'Creon' (Enza). Eine ausführliche Beschreibung des Versuchsaufbaus ist dem Beitrag von GRUDA und SCHNITZLER (1999) zu entnehmen.

Die Netto-N-Immobilisierung wurde auch in Substraten ohne Pflanzen untersucht. Hierfür wurden die gleichen Bedingungen und Behandlungen wie in Versuchen mit Pflanzen eingehalten.

CO₂-Gaswechsellmessungen

Vor der Ernte wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Gaswechsellmessungen mittels eines tragbaren steady-state Porometers, Typ LCA-4 (ADC, England) in der KK durchgeführt. Die Messungen fanden am fünftjüngsten Blatt der Tomatenjungpflanzen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen statt. Es wurden drei Pflanzen je Variante gemessen. In einem Vorversuch wurde festgestellt, daß die Messungen sehr stark von der Position des Blattes zur Lichtquelle beeinflusst werden. Daher wurde mit Hilfe von Stativen ein konstanter Abstand zwischen Lichtquelle und zu messendem Blatt eingestellt. Da die Messungen unter vollkontrollierten Klimabedingungen mit konstanter Einstrahlung ($120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Luftfeuchte (80 % rLF) und Temperatur (20/18°C Tag/Nacht) stattfanden, konnten Mittelwerte von zwei Meßtagen gebildet werden. Obwohl bei Tomaten kein Unterschied in den gemessenen Parametern zwischen den Fiederblättchen festgestellt wurde, wurden die Messungen immer an der ersten Seitenfieder neben der Endfieder vorgenommen.

N-Untersuchungen

Zu Versuchsende wurde die Stickstoffverteilung in den Systemen untersucht. Analysiert wurden der Gehalt an Gesamtstickstoff in der Pflanze, der verbliebene mineralische N-Gehalt im Substrat sowie im Wasser des Untersetzers. Die Untersuchung auf den mineralischen N-Gehalt des Substrates fand analog zu den Versuchen mit Salat (GRUDA und SCHNITZLER, 1997) durch Extraktion mit 0,01 M CaCl_2 (NO_3^- -N) und 2 M KCl (NH_4^+ -N) statt. Die NO_3^- -N-Bestimmung erfolgte mittels HPLC (Chromatographiebedingungen: Säule C¹⁸ Spherisorb ODS II,

5 μm ; mobile Phase: 0,001 m Tetrabutylammoniumhydrogensulfat und 0,025 m Natriumdihydrogenphosphat; Durchfluß 0,7 ml min⁻¹, UV-Detektor bei 220 nm). NH_4^+ -N wurde kolorimetrisch mit Nitroprussit-Natrium bei einer Wellenlänge von 546 nm bestimmt.

Die Gesamt-N-Bestimmung im Pflanzenmaterial erfolgte nach dem Dumas-Verfahren im Elementar-Analyser (Makro-N, Fa. Elementar). Die N-Aufnahme (mg Pflanze⁻¹) für die ganze Periode wurde auf Basis des N-Gehalts und der Sproßbiomassebildung berechnet.

Die Netto-N-Immobilisierung im Substrat wurde nach MEINKEN und FISCHER (1994a), als Differenz zwischen gesamtem N-Angebot (N im Ausgangsmaterial + N-Gabe während der Kultur) und der zu Versuchsende in der Pflanze und im Substrat wiedergefundenen N-Menge berechnet. Der N-Gehalt in den Wurzeln konnte nicht berücksichtigt werden. Die N-Immobilisierung bezieht sich nur auf den KK-Versuch.

Statistische Auswertung

Die Daten wurden varianzanalytisch verrechnet, Tukey-Test nach KÖHLER et al. (1996). Die zugrunde gelegte Irrtumswahrscheinlichkeit bei den Verrechnungen betrug 5 % ($\alpha = 0,05$). Entsprechend werden in den Tabellen und Grafiken die Signifikanzen mit Buchstaben dargestellt. Bei gleichen Buchstaben besteht keine signifikante Differenz zwischen den Varianten. Alle Auswertungen erfolgten durch die einfache Bearbeitung der Daten in Excel (Microsoft Excel Version 7.0) und Weiterverrechnung mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical, USA).

Ergebnisse

Chemische Analysen der Ausgangssubstrate

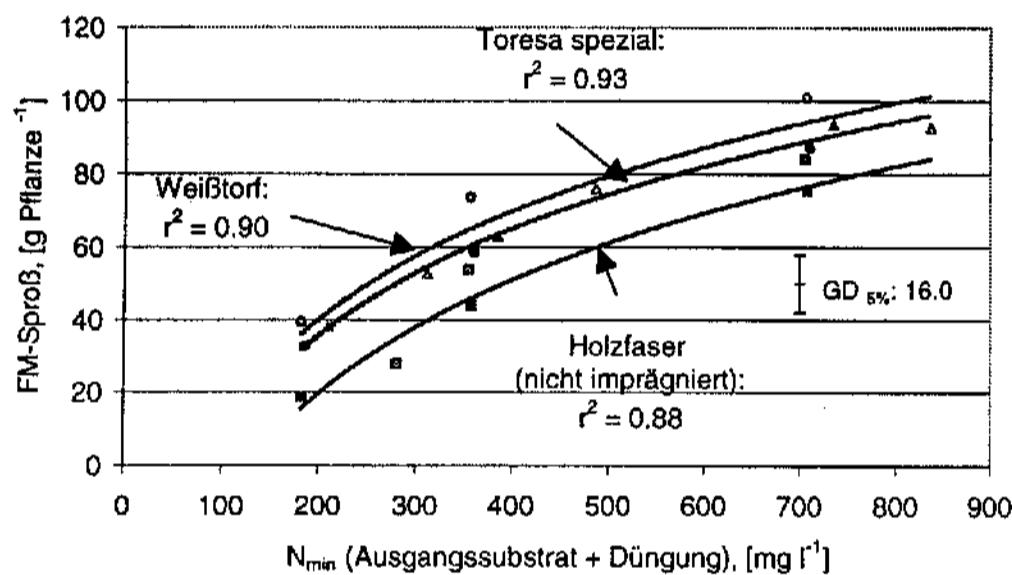
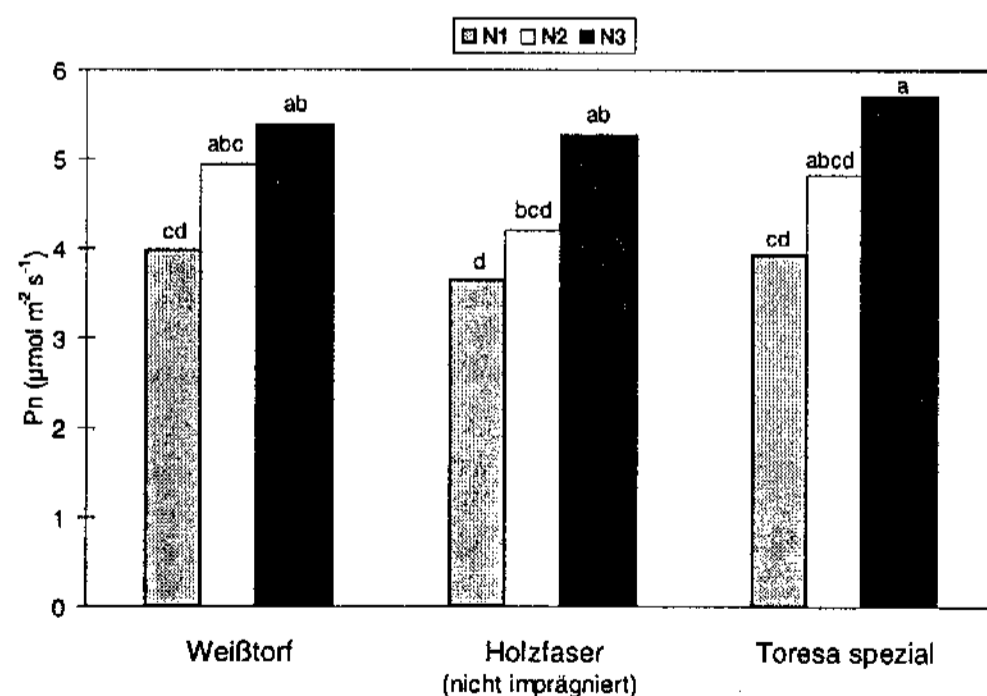
Die Mineralstoffgehalte sowie die errechneten C/N-Verhältnisse der verwendeten Substrate sind Tab. 1 zu entnehmen. Die Holzfasersubstrate enthielten mehr P_2O_5 , K_2O und Mn, Weißtorf mehr Magnesium. Imprägnierte Holzfasersubstrate zeigten einen erhöhten Gehalt an mineralischem Stickstoff. Das C/N-Verhältnis war vor allem in nicht imprägnierter HF sehr weit mit einem Maximum von 272:1. Auffällig sind in den vorliegenden Versuchen auch die Unterschiede der Ausgangsmaterialien zwischen den imprägnierten Substraten selbst. So wies das im GH verwendete 'Toresa spezial' im Vergleich zu dem Material für die Versuche in der KK erheblich höhere N_{min} -Gehalte auf.

Pflanzenwachstum und physiologische Parameter

Die Pflanzen reagierten in allen drei Substraten auf eine Erhöhung des N-Angebots – als Summe von N-Düngegaben und mineralischem Ausgangs-N-Gehalt der Substrate – mit einer Zunahme der Sproßfrischmasse (Abb. 1). Sowohl unter KK- als auch unter GH-Bedingungen blieben jedoch die Erträge bei allen N-Angebotsstufen im nicht imprägnierten HFS unter denen in Weißtorf und 'Toresa spezial'. Bei CO₂-Gaswechsellmessungen in der KK wurden in der ersten N-Stufe für alle Substrate die niedrigsten Netto-Photosyntheseraten mit signifikanten Unterschieden zur N-Stufe 3 erzielt (Abb. 2). Eine Erhöhung der N-Gaben führte zu höheren Netto-Photosyntheseraten. Zwischen den beiden höheren N-Stufen innerhalb der Substrate ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Die niedrigste Netto-Photosyntheserate mit $3,65 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ wurde bei nicht imprägnierten Holzfasern (N1) festgestellt, die höchste mit $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bei 'Toresa spezial' (N3).

Tab. 1: Mineralstoffgehalte der Ausgangssubstrate.

| Versuchsort | Substrate | pH (CaCl ₂) | Salze wasserlöslich* | N _{min} mg l ⁻¹ | P ₂ O ₅ mg l ⁻¹ | K ₂ O mg l ⁻¹ | MgO mg l ⁻¹ | Mn mg 100 g ⁻¹ | Fe (EDTA) mg kg ⁻¹ | Ges-N % TS | C:N |
|-------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------|-------|
| Gewächshaus | Weißtorf | 5,4 | 0,12 | 7,0 | 4,0 | 9 | 62 | 8 | 48,8 | 0,81 | 59:1 |
| | HF nicht imprägniert | 5,5 | 0,07 | 5,0 | 9,0 | 71 | 22 | 19 | 19,7 | 0,18 | 272:1 |
| | 'Toresa spezial' | 5,3 | 0,75 | 137,0 | 9,0 | 92 | 19 | 23 | 107,0 | 0,80 | 61:1 |
| Klimakammer | Weißtorf | 6,5 | 0,19 | 5,5 | 2,5 | 8 | 77 | 3 | 29,0 | 0,87 | 53:1 |
| | HF nicht imprägniert | 5,9 | 0,25 | 2,6 | 63,0 | 259 | 29 | 21 | 28,6 | 0,49 | 99:1 |
| | 'Toresa spezial' | 5,5 | 0,42 | 29,9 | 20,0 | 118 | 25 | 23 | 49,7 | 0,77 | 63:1 |

HF = Holzfaser; * g · l⁻¹Abb. 1: Abhängigkeit der Sproßfrischmasse von Tomatenjungpflanzen vom N_{min}-Angebot (N_{min} im Ausgangsmaterial + N-Gabe) auf verschiedenen Substraten. Regressionskurven beziehen sich auf den Mittelwert beider Anbauorte (leere Symbole sind GH, volle sind KK).Abb. 2: Netto-Photosyntheserate (Pn) von 56-57 Tage alten Tomatenjungpflanzen in Abhängigkeit von Substrat und N-Gabe. Mittelwerte von zwei Meßtagen. Mittelwerte mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. Tukey-Test ($\alpha = 0,05$).

N-Aufnahme der Pflanzen

In allen Substraten führte das N-Angebot zu Unterschieden in der N-Aufnahme der Pflanzen (Tab. 2). Es zeigte sich, daß die Tomaten in der nicht imprägnierten HF der niedrigsten Stickstoffstufe mit 38 und 54 mg N Pflanze⁻¹ für KK bzw. GH die geringste N-Aufnahme aufwiesen. Bei ähnlichem Angebot an mineralischem Stickstoff lag die N-Aufnahme in Weißtorf mit 75 (GH) und 64 (KK) mg N Pflanze⁻¹ erkennbar, jedoch nicht signifikant höher. Mit zunehmendem N-Angebot erhöhte sich in allen Substraten auch die Menge an aufgenommenem N pro Pflanze. Die höchste N-Aufnahme wurde im imprägnierten HFS bei der dritten Düngungsstufe, die in der Summe auch das größte Angebot an mineralischem N aufwies, erzielt. Gemittelt über die beiden Anbauorte lag die N-Aufnahme in der N-Stufe 3 in 'Toresa spezial' (289 mg Pflanze⁻¹) nur geringfügig über Weißtorf (277 mg Pflanze⁻¹), in der nicht imprägnierten Holzfaser dagegen deutlich niedriger (228 mg Pflanze⁻¹).

Tab. 2: N-Aufnahme (mg Pflanze⁻¹) der Tomatenjungpflanzen zu Versuchsende.

Mittelwerte mit denselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant Tukey-Test ($\alpha = 0,05$). N1, N2, N3 = Stickstoffstufen.

| Substrate | N-Stufe | Gewächshaus | Klimakammer |
|-------------------------------|---------|-------------|-------------|
| Weißtorf | N1 | 75 de | 64 de |
| | N2 | 155 c | 134 cd |
| | N3 | 279 ab | 274 a |
| Holzfaser (nicht imprägniert) | N1 | 54 e | 38 e |
| | N2 | 123 cd | 97 cde |
| | N3 | 277 ab | 179 bc |
| 'Toresa spezial' | N1 | 114 cde | 91 cde |
| | N2 | 232 b | 146 cd |
| | N3 | 328 a | 250 ab |

Netto-N-Immobilisierung

Die Netto-N-Immobilisierung im Substrat wurde als Differenz zwischen gesamtem N-Angebot (N im Ausgangsmaterial + N-Gabe während der Kultur) und der zu Versuchsende in der Pflanze und im Substrat wiedergefundenen N-Menge berechnet. In nicht imprägnierten Holzfasern zeigte sich dabei insbesondere bei höherer N-Düngung eine starke Netto-N-Immobilisierung. Im Mittel aller drei N-Gaben wurde in diesem Substrat eine Immobilisierung von über 200 mg N l⁻¹ im Versuch mit Pflanzen und von über 175 mg N l⁻¹ im Versuch ohne Pflanzen errechnet (Abb. 3). In Weißtorf und HFS 'Toresa spezial' blieb die errechnete N-Immobilisierung niedrig. Die Werte im imprägnierten HFS unterschieden sich nicht signifikant von denen des Weißtorfs. Sowohl für Töpfe mit Pflanzen als auch für die ohne Pflanzen lagen die Werte in imprägniertem HFS, als Mittel der drei N-Gaben im Bereich von ca. 100 mg N l⁻¹. Im Mittel über alle Varianten wurde im Versuch mit Pflanzen ca. 6,6 % mehr N immobilisiert als im Versuch ohne Pflanzen.

In allen Substraten stieg mit zunehmender N-Düngung auch die errechnete N-Immobilisierung, was besonders in der nicht imprägnierten HF deutlich wurde. Die höchsten Werte für alle Substrate sowohl in Versuchen mit als auch ohne Pflanzen wurden bei der Stufe N3 festgestellt. In nicht imprägnierter HF unterschieden sich die Netto-N-Immobilisierungswerte dieser N-Gabe signifikant von denen der ersten und zweiten N-Gabe dieses Substrates. Im imprägnierten HFS 'Toresa spezial' wurden signifikante Unterschiede in der N-Immobilisierung nur zwischen N1 und N3 ermittelt. Weißtorf verhielt sich ähnlich wie 'Toresa spezial'. Im Versuch mit Pflanzen führte eine Erhöhung der N-Stufe nur zu einer tendenziellen Erhöhung der N-Immobilisierung (Abb. 3a, b).

Diskussion

Pflanzenwachstum und physiologische Parameter

Die Tomatenpflanzen der ersten N-Stufe (87,5 mg N/Pflanze) zeigten in allen Substraten deutliche Wachstumsdepressionen, die als N-Mangelsymptome anzusehen sind. Diese Symptome wurden auch noch in der zweiten N-Stufe (175 mg N/Pflanze) bei Verwendung von nicht imprägnierter HF beobachtet (GRUDA und SCHNITZLER, 1999). Die Tomatenjungpflanzen der nicht imprägnierten HF-Varianten wiesen die niedrigsten Sproßerträge und Photosyntheseraten auf, Pflanzen

auf imprägnierten HFS dagegen die höchsten. Es zeigte sich demnach, daß der wachstumshemmenden Wirkung, die von der N-Immobilisierung in nicht imprägnierter HF ausgeht, durch die Imprägnierung dieser Substrate entgegengewirkt werden konnte und diese durch verstärkte N-Gaben in den höheren N-Stufen vollständig kompensiert wurde.

Im Hinblick auf die Nettphotosyntheseraten wiesen alle Varianten geringe Werte auf. Dies ist auf die Lichtverhältnisse in der KK zurückzuführen (120 µmol m⁻² s⁻¹). Nach HOLSTEIJN (1981) und NILWIK und BÖHMER (1981) nahmen die Pn-Werte bei Salatpflanzen mit steigender Lichtintensität in Form einer Sättigungskurve zu, während der Verlauf der Transpiration mehr einen linearen Zusammenhang aufwies. ZHIFANG (1997) ermittelte bei Tomaten in der vegetativen Phase doppelt so hohe Pn-Werte wie in den hier dargestellten Versuchen: die Messungen fanden bei ca. 900 µmol m⁻² s⁻¹ PAR statt. Zwischen N-Angebot und Netto-Photosyntheserate (Pn) wurde ein positiver Zusammenhang festgestellt (Abb. 2). HUBER et al. (1989) berichten, daß die niedrigeren Gaben an Stickstoff zu geringeren Raten in der Photosynthese führen. SRITHARAN und LENZ (1989) fanden bei Blättern von Kohlrabi mit Stickstoffmangel eine Erhöhung der Stärkekonzentration, die offensichtlich als "feedback-Hemmung" der Netto-Photosyntheserate wirkte. Nach BRUNOLD et al. (1996) dürfte die Abscisinsäure bei Stickstoffmangelsituationen eine wichtige Rolle spielen. Sie bewirkt einerseits eine Herabsetzung der Dehnbarkeit der Zellwände und damit eine Hemmung des Blattwachstums und andererseits eine Reduktion der stomatären Leitfähigkeit, was zu einer Reduktion der Photosynthese führt.

N-Aufnahme in der Pflanze

Ein steigendes N-Angebot spiegelte sich im N-Gehalt und N-Aufnahme der Pflanzen wieder. N_{min} im Ausgangsmaterial, N-Gabe während der Kultur sowie die Netto-N-Immobilisierung in den Substraten waren die wichtigsten Faktoren, die einen Einfluß auf die N-Aufnahme der Pflanzen hatten. Die niedrigste N-Aufnahme wurde generell in der nicht imprägnierten HF festgestellt, was besonderes im KK-Versuch deutlich wurde (Tab. 2). Die Unterschiede in der N-Aufnahme zwischen den Varianten waren stärker, als die Differenzierung der Stickstoffgehalte in der Trockenmasse (GRUDA und SCHNITZLER, 1999), bedingt durch die Ertragsunterschiede.

Die Beziehung zwischen N-Gehalt und TM-Ertrag (GRUDA und

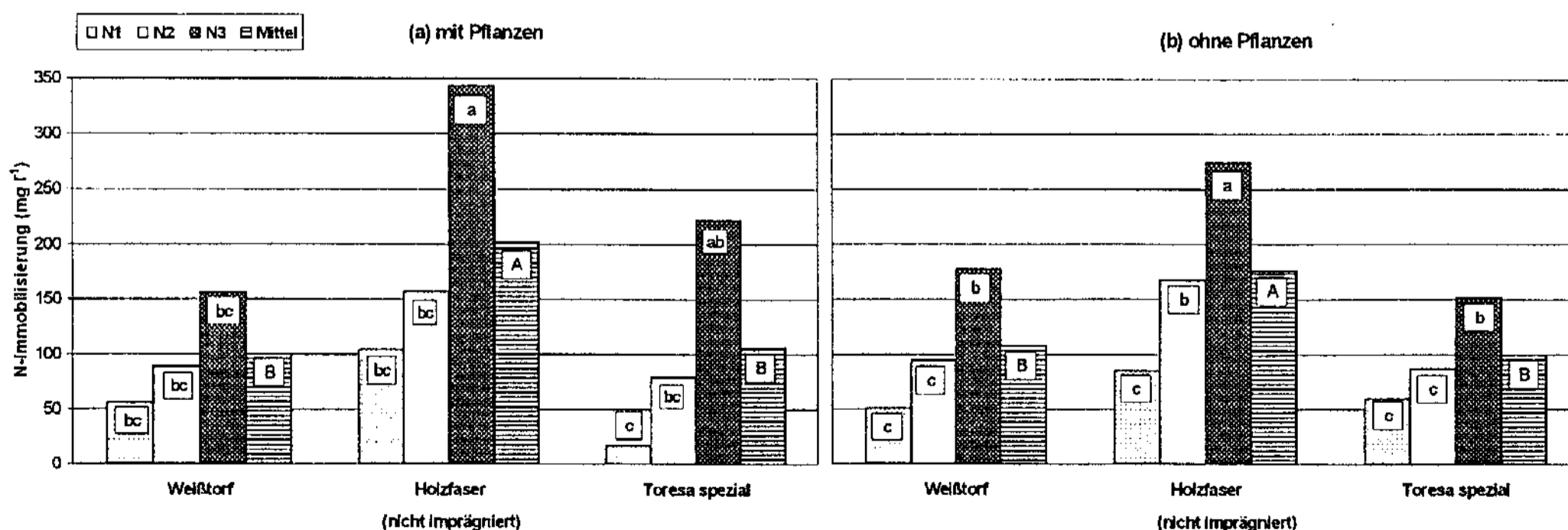


Abb. 3: Netto-N-Immobilisierung in den Substraten (a) mit und (b) ohne Tomatenjungpflanzen.

Mittelwerte mit denselben Buchstaben (kleine Buchstaben – für alle N-Stufen, große Buchstaben – für Mittelwerte der drei N-Stufen) unterscheiden sich nicht signifikant. Der Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) bezieht sich jeweils auf Substrate mit und ohne Pflanzen. N1, N2, N3 = Stickstoffstufen.

SCHNITZLER, 1999) zeigte ab einem N-Gehalt von 2,0-2,5 g 100 g⁻¹ TS keinen signifikanten Ertragsanstieg mehr. Diese Werte werden in allen Substraten mit der 3. N-Düngerstufe mit Ausnahme der HF im KK-Versuch, erreicht. Dies weist darauf hin, daß in nicht imprägnierter Holzfaser Stickstoff trotz höheren N-Gaben einen limitierenden Faktor darstellen kann.

Netto-N-Immobilisierung

Die Überführung anorganischer N-Verbindungen durch Einbau von Stickstoff in die Körpersubstanz der Mikroorganismen ist als N-Immobilisierung bekannt (MENGEL, 1991). Eine Netto-N-Immobilisierung kann vor allem bei organischen Stoffen auftreten, in denen das C:N-Verhältnis sehr weit ist. Als Grenzwerte der C/N-Verhältnisse im Boden und in organischen Substraten sind keine einheitlichen Werte zu finden. So betrachtet AMBERGER (1996) ein Verhältnis von > 30, SUBBA RAO (1995) eines von > 25, HANDRECK (1991) > 20 und SCHARPF (in STÄHLI, 1997) ein C/N-Verhältnis von > 12-13 als kritisch. JÄGGI et al. (1988) fanden sogar bei Zufuhr von Grünmasse (Rüben bzw. Klee), mit einem C:N-Verhältnis von 8-9:1, Mindererträge bei Weizen. Sie gingen Hinweisen von HELAL und SAUERBECK (1985) nach, daß durch die Aktivierung der Mikroorganismen vor allem im engeren Wurzelbereich vermehrt Kohlenstoff aus der organischen Bodensubstanz mobilisiert werden kann, so daß der Bedarf an Stickstoff für die Vermehrung der Mikroorganismen steigt. Nach EBERTSEDER (1997) beinhalten jedoch die gemessenen Gesamt-C- und -N-Gehalte auch schwer zugängliche und schwer abbaubare Formen, die für die N-Immobilisierung in organischen Substraten nicht ausschlaggebend sind.

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Substrate hatten ein C/N-Verhältnis von 53-272:1. Die niedrigsten Werte zeigte der Weißtorf mit einem Verhältnis von 61-59:1. Nach MEINKEN und FISCHER (1994b) hat Torf ein C/N-Verhältnis von 60-100:1. Nach diesen Autoren vermag auch Torf Stickstoff festzulegen, allerdings weniger als 100 mg l⁻¹. Auch in den dargestellten Versuchen wurden bei Weißtorf ähnliche Werte errechnet, da der Kohlenstoff in Torf aufgrund seiner Herkunft schwer in abbaubarer Form vorliegt.

Die imprägnierten Holzfasersubstrate hatten mit 54-63:1 ein ähnliches C/N-Verhältnis wie Weißtorf. Die Netto-N-Immobilisierung in imprägniertem HFS war annähernd gleich der von Weißtorf und lag im Mittel über alle N-Gaben bei ca. 100 mg l⁻¹. Der Neigung zu hoher Netto-N-Immobilisierung kann somit durch die Imprägnierung begegnet werden.

In allen dargestellten Versuchen wurde weder der N-Gehalt in den Wurzeln bestimmt, noch konnten mögliche gasförmige N-Verluste berücksichtigt werden. Deshalb können die errechneten Werte für die N-Immobilisierung auch N-Gehalte in den Wurzeln sowie gasförmige N-Verluste enthalten. N₂O- und N₂-Austräge durch Denitrifikation und Nitrifikation können dazu beitragen, daß bei der Pflanzenproduktion in geschlossenen Nährlösungssystemen Stickstoffverluste in Höhe von bis zu 30 % der gedüngten N-Menge auftreten (DAUM und SCHENK 1995). Gas-förmige N-Verluste könnten auch in vorliegenden Anbausystemen auftreten, die Höhe ist jedoch schwer abschätzbar.

Bei den nicht imprägnierten Holzfasern ergaben sich die höchsten C/N-Verhältnisse mit Werten von 99:1 bis zu 272:1. Sie zeigten auch die höchsten N-Immobilisierungswerte. Mit 274-281 mg N l⁻¹ (Substrat) befinden sich die Werte in den nicht imprägnierten Substraten ohne Pflanzen (Abb. 3b) im Rahmen der von anderen Autoren angegebenen Werte (GRANTZAU, 1991b; MEINKEN und FISCHER, 1994a). In den Versuchen mit Pflanzen waren die N-Immobilisierungswerte geringfügig niedriger als die errechneten Werte von MEINKEN und FISCHER (1994a). Offenbar spielt die Charge des Substrates sowie die Kulturführung eine wichtige Rolle. Bekannt sind auch Veränderungen der Nährstoffgehalte während der Lagerung. Nach ALT und STAAT

(1997) wurden niedrigere N-Gehalte in den gelagerten Substraten gefunden.

In den vorliegenden Versuchen wurde festgestellt, daß eine höhere N-Immobilisierung stattfand, wenn innerhalb eines Substrates mehr Stickstoff angeboten wurde. MEINKEN und FISCHER (1994a) fanden in Untersuchungen mit Tagetes bei einem Anstieg der N-Gabe von 350 auf 650 mg N l⁻¹ Substrat je nach Ausgangsmaterial eine Erhöhung der N-Immobilisierung um 65-127 mg N l⁻¹. Auch nach SCHARPF (1996) steigt die N-Immobilisierung mit der Höhe des N-Angebotes. ZAGAL und PERSSON (1994) vertreten die Hypothese, daß die Mikroflora mehr N umsetzt (Luxuskonsum), wenn mehr Stickstoff angeboten wird. Als ein weiterer Grund kann eine Veränderung der Anzahl an Mikroorganismen gelten. So wurde in einem Gefäßversuch durch die Zufuhr mineralischen Stickstoffs und organischen Materials zum Boden eine Erhöhung der Bakterienanzahl festgestellt (JÄGGI et al., 1988).

Die am weitesten verbreitete Bebrütungsmethode zur Untersuchung der N-Immobilisierung in organischen Substraten ist ein Verfahren nach ZÖTTL (1981). MEINKEN und FISCHER (1994a) zeigten, daß der Brutversuch bei ausschließlicher Aufdüngung mit Stickstoff zu einer wesentlich geringeren N-Immobilisierung führt als bei Verabreichung sämtlicher Pflanzennährstoffe (NPK + Spurenelementen). In den hier vorliegenden Versuchen ohne Pflanzen wurden gleiche Tendenzen wie in Versuchen mit Pflanzen beobachtet. Dies ist auf die in beiden Experimenten vergleichbaren Versuchsbedingungen wie Klima, Düngermenge (inkl. PK + Spurenelemente), -art und -verabreichung, Wasserversorgung, Topfgröße usw. zurückzuführen. Der zusätzliche Einfluß der Pflanzen bewirkt nach HELAL und SAUERBECK (1985), MEINKEN und FISCHER (1994a) und ZAGAL (1993) eine schnelle Vermehrung der Mikroorganismen als Folge der Wurzelausscheidungen und somit eine höhere N-Immobilisierung. Dieser Effekt konnte in den Tomatenversuchen (HFS, nicht imprägniert und Toresa spezial bei N3, Abb. 3), jedoch nicht in den Kopfsalatversuchen (GRUDA und SCHNITZLER, 1997) gezeigt werden. Ursache dafür könnten die Menge und die Art der Wurzelausscheidungen sowie längere Kulturdauer bei Tomaten im Vergleich zu Kopfsalatjungpflanzen sein.

Die bis jetzt diskutierten Ergebnisse führen zu der Schlußfolgerung, daß der N-Immobilisierungseffekt in Holzfasersubstraten bei Imprägnierung und zusätzlicher N-Gabe zur Kultur weitgehend vernachlässigbar ist. Für Tomatenjungpflanzen, angezogen in HFS 'Toresa spezial' war eine Aufdüngung von 350 mg N/Pflanze ausreichend. Diese Dünger-Menge entspricht etwa dem N-Entzug durch die Pflanze. Eine allgemein gültige Empfehlung zur N-Düngung solcher Substrate wird jedoch durch stark schwankende Ausgangs-N_{min}-Gehalte der Substrat-Chargen erschwert.

Wird nach EC-Prinzip gedüngt, spielt der Aspekt der Immobilisation vor allem bei höheren EC-Werten eine untergeordnete Rolle, da die von Mikroorganismen benötigte N-Menge auch in Holzfasersubstraten gedeckt werden kann. Wichtig für diese Substrate ist jedoch, daß die Pflanzen von Anfang an mit Nährlösung bzw. mit Dünger versorgt werden müssen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde zum Teil von TUM und zum Teil vom Bayerischen Landwirtschaftsministerium und Förderprogramm C.A.R.M.E.N unterstützt.

Zusammenfassung

Am Beispiel der Kultur von Tomatenjungpflanzen wurde im Gewächshaus und in Klimakammer geprüft, ob eine N-Immobilisierung auch

bei imprägnierten Holzfasersubstraten auftritt und anhand von N-Bilanzen indirekt nachzuweisen ist. Der Einfluß von drei Substraten und drei N-Stufen auf N-Bilanz, N-Aufnahme der Pflanzen, Pflanzenwachstum und Nettophotosyntheserate wurde untersucht.

Die Netto-N-Immobilisierung in imprägnierten Holzfasersubstraten war mit 100 mg N l^{-1} niedrig und vergleichbar mit Weißtorf. Es zeigte sich, daß die N-Immobilisierung durch Einsatz der imprägnierten Holzfasersubstrate 'Teresa' und zusätzlicher N-Düngung der Kultur weitgehend vernachlässigt werden kann. Nicht imprägniertes Holzfasersubstrat immobilisierte dagegen bis zu ca. 350 mg N l^{-1} . Die Netto-N-Immobilisierung erhöhte sich mit steigender N-Düngung. Das unterschiedliche N-Angebot spiegelte sich im N-Gehalt und N-Aufnahme der Pflanzen wider, bedingt durch den Ausgangs- N_{min} -Gehalt der Substrate, die N-Düngung und die Immobilisationsvorgänge. In Substraten ohne Pflanzen, die denselben Bedingungen ausgesetzt waren, wie die Substrate mit Pflanzen, zeigten sich dieselben Tendenzen in der N-Immobilisierung.

Literatur

- AMBERGER, A., 1996: Pflanzenernährung. Ökologische und physiologische Grundlagen. Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. 4. Auflage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- ALA ALDIN, H., 1989: Eignung von Hobelspänen und Holzschnitzel in Kultursubstraten für Baumschulgehölze. Dissertation, Univ. Hannover.
- ALT, D. und STAAT, G., 1997: Einfluß der Lagerung von Substrat auf das Wachstum von Chrysanthemen und P-Gehalte im Substrat nach verschiedenen Extraktionsverfahren. Gartenbauwissenschaft 62, 267-273.
- BAUMANN, G. und PENNINGSFELD, F., 1991: Verfahren zur Herstellung von Torfersatz, Anlage zur Durchführung dieses Verfahren, Anwendung des Verfahrens und nach diesem Verfahren hergestellter Torfersatz. Europäische Patentschrift. Veröffentlichungsnummer 0472 684 B1.
- BECK, T., 1985: Einfluß der Landbewirtschaftung auf das Bodenleben. VDLUFA-Schriftenreihe 16, 31-46.
- DAUM, D. und SCHENK, M., 1995: Gasförmige Stickstoffverluste aus erde-losen Kultursystemen. BDGL - Schriftenreihe Band 13, 74.
- EBERTSEDER, T., 1997: Qualitätskriterien und Einsatzstrategien für Komposte aus Bioabfall auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dissertation, TUM-Weihenstephan. Shaker Verlag, Berichte aus der Agrarwissenschaft.
- GRANTZAU, E., 1991a: Holzfasersubstrate im Zierpflanzenbau. Eigenschaften und Qualitätsanforderungen. Gartenbau 38, 44.
- GRANTZAU, E., 1991b: Noch Vorsicht mit Holzfasersubstraten. DeGa 28, 1726-1729.
- GRUDA, N. und SCHNITZLER, W.H., 1996: Gemüsejungpflanzen in Holzfasersubstrat. Taspo-Gartenbaumagazin 4, 31-33.
- GRUDA, N. und SCHNITZLER, W.H., 1997: The influence of organic substrates on growth and physiological parameters of vegetable seedlings. Acta Hort. 450, 487-494.
- GRUDA, N. und SCHNITZLER, W.H., 1999: Influence of wood fiber substrates and N-application rates on the growth of tomato transplants. Advances in Hort. Science 13, 20-24.
- HANDRECK, K., 1991: Nitrogen drawdown key to the optimum growth. Australian Hort. 12, 38-43.
- HANDRECK, K., 1992: Rapid assessment of the rate of nitrogen immobilisation in organic components of potting media. II. Nitrogen drawdown index and plant growth. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 217-230.
- HELAL, H.M. und SAUERBECK, D., 1985: Umsatz von ^{14}C -markierten Pflanzenresten und Veränderungen der mikrobiellen Biomasse im Boden unter dem Einfluß von Maiswurzeln. Landwirtsch. Forsch. 38, 104-109.
- HOLSTEIN, H.M.C., 1981: Photosynthesis of lettuce. 1. Results with cultivar 'Amanda Plus'. Mededeling Landbouwhogeschool Wageningen - Nederland 81, 1-21.
- HUBER, S.C., SUGIYAMA, T., and ALBERTE, R.S., 1989: Photosynthetic determinants of growth in maize plants: Effect of nitrogen nutrition on growth, carbon fixation and photochemical features. Plant Cell Physiol. 30, 1063-1072.
- JANSEN, H., BACHTHALER, E., FÖLSTER, E., and SCHARPF, H.CH., 1989: Gärtnerischer Pflanzenbau, 2. Auflage. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- JÄGGI, W., WALTHER, U. und OBERHOLZER, H.R., 1988: Wirkung verschiedener organischer Substanzen und eines Bakterienpräparates auf mikrobiologische Kennwerte des Bodens und den Pflanzenenertrag. Landwirtschaft Schweiz 1, 367-371.
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G., and VOLESKE, P., 1996: Biostatistik, Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- LEMAIRE, F., DARTIGUES, A., and RIVIÈRE, L.M., 1989: Physical and chemical characteristics of a ligno-cellulosic material. Acta Hort. 238, 9-22.
- MEINKEN, E. und FISCHER, P., 1994a: Ausgangsmaterial und Auffaserung bei Holzfasersubstraten keine Frage. Taspo-Gartenbaumagazin 7, 16-19.
- MEINKEN, E. und FISCHER, P., 1994b: Properties of wood fibre in comparison to peat. Poster, ISHS-Symposium 'Growing Media & Plant Nutrition in Horticulture', Naaldwijk, The Netherland, 10-16 September.
- MENGEL, K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- MOLITOR, H.D. und BRÜCKNER, U., 1997: Waste paper - a substitute for peat in horticulture. Acta Hort. 450, 47-56.
- NILWIK, H.J.M. und TEN BÖHMER, H., 1981: An improved closed system for continuous measurement of photosynthesis, respiration and transpiration. Mededeling Landbouwhogeschool Wageningen - Nederland 81, 1-9.
- PESCHKE, H. und MOLLENHAUER, S., 1993: Der Einfluß von Holz- und Rindenmaterial europäischer und tropischer Baumarten auf die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik des Bodens. Gartenbauwissenschaft 58, 97-103.
- PRASAD, M., 1997: Nitrogen fixation of various material from a number of european countries by three nitrogen fixation tests. Acta Hort. 450, 353-362.
- SCHARPF, H.C., 1996: N-Versorgung von Gemüse. Alte und neue Kenntnisse. Monatsschrift 84(5), 332-334.
- SCHAEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P., 1998: Lehrbuch für Bodenkunde, 14. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHNITZLER, W.H., MICHALSKY, F., and GRUDA, N., 1997: Wood fibre substrate for cucumber in greenhouse cultivation. Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture. St. Helier, Jersey, 12-19. April 1996, 453-463.
- SRITHARAN, R. and LENZ, F., 1989: Effects of carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongyloides* L.). 1. Water use, gas exchange, and carbohydrate partitioning. Gartenbauwissenschaft 57, 138-145.
- STÄHLI, H., 1997: Stickstoff im Gemüsebau. Gemüsebautagung FAW/ISW 1997. Der Gemüsebau / Le Maraîcher 3, 14-15.
- SUBBA RAO, N.S., 1995: Soil microorganism and plant growth. Science Publ.-Verlag, Lebanon.
- VERDONCK, O., 1983: Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. Acta Hort. 150, 467-473.
- ZAGAL, E., 1993: Carbon and nitrogen flows in the root zone of some agricultural crop species. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- ZAGAL, E. and PERSSON, J., 1994: Immobilization and remineralization of nitrate during glucose decomposition at four rates of nitrogen addition. Soil Biology and Biochemistry 26, 1313-1321.
- ZHIFANG, G., 1997: Tomato growth and fruit quality as affected by nitrogen nutrition. Diss., Senate of Ben-Gurion University, Negev.
- ZÖTTL, H.W., 1981: Prüfung des Stickstoff-Immobilisierungsverhaltens organischer Materialien. Methodenvorschrift, LVG Hannover Ahlem.

Anschrift der Verfasser:

Dr. N.S. Gruda und Prof. Dr. W.H. Schnitzler, Lehrstuhl für Gemüsebau der Technische Universität München, Alte Akademie 10, D-85350 Freising-Weihenstephan

Frau Dr. Sabine von Tucher, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der Technische Universität München, D-85350 Freising-Weihenstephan