

Christian Frerichs¹, Diemo Daum¹, Robert Koch²

Ammoniumtoxizität – eine Ursache für Wachstums- und Qualitätsbeeinträchtigungen von organisch gedüngtem Basilikum?

Ammonium toxicity – one cause for growth and quality impairments on organic fertilized basil?

101

Zusammenfassung

Im ökologischen Anbau von Topfbasilikum treten des Öfteren Wachstums- und Qualitätsbeeinträchtigungen auf. Diese machen sich bereits an den Jungpflanzen in Form chlorotischer und nekrotischer Keimblätter bemerkbar. Nachfolgend können Infektionen mit Schwächeparasiten wie *Botrytis* auftreten. Im Rahmen eines Düngungsversuches sollte geklärt werden, inwieweit diese Probleme im Zusammenhang mit der Anreicherung von Ammonium stehen, welches durch die Mineralisierung organischer Dünger in das Kultursubstrat freigesetzt wird. Versuchsfaktoren waren das Ammonium-N/Nitrat-N-Verhältnis (100/0; 50/50; 0/100) und die Stickstoffkonzentration in der Nährlösung (8, 12 und 16 mmol N/L). Ammonium wurde mittels des Nitrifikationshemmstoffes 3,4-Dimethylpyrazolphosphat (DMPP) stabilisiert. Zusätzlich war in den Versuch eine organische N-Düngervariante einbezogen, die neben einer Grunddüngung mit festen Düngern (Hornspäne und DCM ECO-MIX 4) eine flüssige Nachdüngung (Organic Plant Feed) beinhaltet. Die Kultur der Pflanzen erfolgte in einem Torfsubstrat, das zu Versuchsbeginn auf pH 6,5 eingestellt war.

Mit Nitrat (NO_3^-) als alleiniger Stickstoffquelle zeigte Basilikum über den gesamten Kulturzeitraum ein vitales Wachstum. Ein reines Ammoniumangebot (NH_4^+) ging, unabhängig von der N-Stufe, mit einer geringeren Keimrate sowie mit verminderten Pflanzenhöhen- und Frischmassezuwächsen einher. Außerdem waren hier chloroti-

sche Keimblätter und eine verringerte Turgeszenz des Sprosses zu beobachten. In der organischen N-Düngervariante blieb das Pflanzenwachstum zunächst ebenfalls hinter dem mit NO_3^- -Angebot zurück. Des Weiteren waren hier die Schadsymptome an den Keimblättern besonders stark ausgeprägt. Im Zuge der Ammonifikation der organischen N-Dünger kam es in den ersten Versuchswochen zu einer Anreicherung von bis zu 350 mg NH_4^+ -N/L Substrat als alleiniger mineralischer Stickstoffform. Mit fortschreitender Nitrifikation setzte dann ein stimuliertes Pflanzenwachstum ein. Zu Versuchsende wiesen die organisch gedüngten Pflanzen den höchsten NO_3^- -Gehalt im Spross auf. Der kompakteste Wuchs und die höchste Turgeszenz der Pflanzen konnten mit ausgeglichener NH_4^+ / NO_3^- -Angebot erzielt werden.

Stichwörter: *Ocimum basilicum* L., organische Stickstoffdüngung, Ammonium/Nitrat-Verhältnis, Ammoniumtoxizität, Keimblattchlorosen

Abstract

In the organic production of pot grown basil yield depressions and quality impairments are often observed. During the early development stage cotyledons become chlorotic and necrotic. Subsequently, infections with secondary parasites such as *Botrytis* may occur. One possible reason for this problem could be the high concentration of

Institut

Hochschule Osnabrück, Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Pflanzenernährung¹
Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg²

Kontaktanschrift

Christian Frerichs, Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück, E-Mail: christian.frerichs@hs-osnabrueck.de

Zur Veröffentlichung angenommen

8. November 2016

ammonium in the growing media released by the mineralization of organic fertilizers. Therefore, a fertilization trial was carried out including different ammonium-N/nitrate-N ratios (100/0; 50/50; 0/100) and nitrogen concentrations in the nutrient solution (8, 12 and 16 mmol N/L). Plants were cultivated in a peat substrate and fertilized by using the ebb and flow technique. The applied nutrient solution contained, beside the different nitrogen sources, equal concentrations of a base fertilizer as well as the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazolephosphate (DMPP). In addition an organic fertilization treatment was realized using a solid base dressing (horn shavings and DCM ECO-MIX 4) and a liquid top dressing (Organic Plant Feed). The plants were cultivated in a peat substrate which was adjusted to an initial pH of 6.5.

Basil fertilized solely with ammonium (NH_4^+) showed a diminished growth in comparison to well-developed plants receiving nitrate (NO_3^-) as nitrogen source. Germination rate, plant height and fresh matter yield of herbs were significantly reduced by NH_4^+ nutrition. Furthermore, chlorotic cotyledons and a reduction in turgidity of the shoot could be observed. Growth of plants receiving organic nitrogen initially also remained behind the NO_3^- treatment. Furthermore, with this nitrogen source cotyledons were most strongly affected by chlorosis, probably because the NH_4^+ concentration in the substrate rose up to 350 mg N/L at the beginning of the cultivation period. When nitrogen mineralization declined and NH_4^+ was increasingly converted to NO_3^- , plants exhibited improved growth. At the end of the experiment the NO_3^- content in basil shoots was highest in the organic N treatment. The most compact growth and the highest turgidity of plants were observed with balanced supply of NO_3^- and NH_4^+ .

Key words: *Ocimum basilicum* L., organic nitrogen fertilization, ammonium/nitrate ratio, ammonium toxicity, chlorotic cotyledons

Einleitung

Basilikum ist mit einem Marktanteil von etwa 50% und einem Umsatz von jährlich ca. 46 Millionen Euro die wirtschaftlich bedeutendste Kultur auf dem deutschen Topfkräutermarkt. Der Anteil biologisch produzierter Topfkräuter liegt bei rund 22% (GROOS, 2011). In den vergangenen Jahren kam es im ökologischen Anbau von Topfbasilikum immer wieder zu Ertragseinbußen durch Mindererträge und Pflanzenschäden. Die Symptome äußern sich bereits in der Jungpflanzenphase in Form von chlorotischen, nekrotischen bis abfallenden Keimblättern, die in der Winterperiode häufig von einem sekundären Botrytisbefall begleitet werden (SCHMIDT, persönliche Mitteilung, 2015). Als eine mögliche Schadursache kommen hohe NH_4^+ -Gehalte im Wurzelraum in Betracht, die im Zuge der Mineralisierung von organischen Stickstoffdüngern auftreten können. So stellten HEUBERGER et al. (2005) in den ersten Wochen nach dem Einmischen von Horngrieß und verschiedenen vegetabilen Düngern

im Substrat eine starke NH_4^+ -Anreicherung fest. Hohe Gehalte an Ammonium haben auf viele Pflanzenarten einen wachstumshemmenden Effekt und können auch zu Pflanzenschäden führen. Verstärkt werden diese Symptome, wenn Ammonium als alleinige pflanzenverfügbare N-Quelle vorliegt. Geringe NH_4^+ -Konzentrationen in Kombination mit NO_3^- haben hingegen oft eine wachstums- und entwicklungsstimulierende Wirkung (BRITTO und KRONZUCKER, 2002; GERENDÁS, et al., 1997). Typische Symptome, die bei Überschuss an Ammonium beobachtet werden, sind u.a. geringe Keim- und Auflaufsraten, ein gedrungener Habitus und eine verminderte Turgeszenz des Sprosses, reduzierte Blattspreiten sowie chlorotische bis nekrotische Blätter. Diese Phänomene stehen im Zusammenhang mit vielfältigen Störungen im Pflanzenstoffwechsel wie z.B. pH-Schwankungen im Cytoplasma, Ungleichgewichten im Energiehaushalt, Photoinhibition und Veränderungen in der Phytohormonsynthese (GERENDÁS et al., 1997; WIESLER, 1997; SCHINNER, 2001; COSKUN et al., 2013). Kritische NH_4^+ -Konzentrationen, ab denen mit sichtbaren Toxizitätssymptomen zu rechnen ist, variieren je nach Pflanzenart sehr deutlich (BRITTO und KRONZUCKER, 2002). Für Basilikum konnte in bisherigen Untersuchungen noch keine pflanzenschädigende Wirkung durch Ammonium festgestellt werden, sehr wohl aber ein wachstumshemmender Effekt. So berichten KIFERLE et al. (2013), dass in erdeloser Kultur die Pflanzenhöhen und Frischmasseerträge von Basilikum mit steigendem NH_4^+ -Anteil in der Nährlösung signifikant abnahmen. Auch in Versuchen zur organischen Düngung von Basilikum kam es bei hoher NH_4^+ -Exposition in der Jungpflanzenphase zu einem verminderten Wachstum (DEGEN und KOCH, 2014). Hier konnten teilweise auch die oben beschriebenen Schäden an den Keimblättern beobachtet werden. Ziel der hier vorgestellten Arbeit war es, die Wirkung von Ammonium auf Keimung, Wachstum und Vermarktungsqualität von Topfbasilikum zu untersuchen und diesbezüglich mit anderen N-Düngerformen (Nitrat, organischem Stickstoff) zu vergleichen. Auf diesem Weg sollte geklärt werden, ob ein zeitweise erhöhtes Ammoniumangebot als Ursache für Ertrags- und Qualitätsbeeinträchtigungen von organisch gedüngten Basilikumpflanzen in Betracht kommt.

Material und Methoden

Der Düngungsversuch erfolgte vom 17. März bis 5. Mai 2015 in einem Gewächshaus der LVG Heidelberg mit Basilikum (*Ocimum basilicum* L.) der Sorte 'Edwina'. Als Versuchsvarianten wurden drei unterschiedliche Ammonium-N/Nitrat-N-Verhältnisse (100/0; 50/50; 0/100) und N-Stufen (8, 12 und 16 mmol N/L Nährlösung) gewählt. Des Weiteren war eine organische N-Düngervariante in den Versuch einbezogen.

Die Aussaat der Pflanzen geschah direkt in 12 cm Töpfe mit einer Aussaatstärke von 50 Samen pro Topf. Das verwendete Kultursubstrat (80 Vol.-% Weißtorf und 20 Vol.-% Schwarztorf, Klasmann-Deilmann GmbH,

Geeste) wurde mit einer Mischung aus feinem und grobem kohlenurem Kalk auf pH 6,5 eingestellt. In den ersten zwei Wochen war für die Keimung eine Temperatur von 20/18°C Tag-/Nachttemperatur (TT/NT) eingestellt; anschließend wurde bei 18/16°C TT/NT weiterkultiviert. Die Düngung erfolgte in den mineralischen Varianten ausschließlich über ein periodisches Anstauen der Nährlösung in den Topfuntersetzen. Zur N-Düngung kam in der reinen NH_4^+ -Variante Ammoniumsulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), in der ausgeglichenen Variante Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) und in der reinen NO_3^- -Variante Calciumnitrat-Tetrahydrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) jeweils als Salze in *pro analysi* Qualität (Merck KGaA, Darmstadt) zur Anwendung. Zur Stabilisierung des $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Verhältnisses enthielt die Nährlösung den Nitrifikationshemmstoff 3,4-Dimethylpyrazolphosphat (DMPP, BASF SE, Ludwigshafen) in Höhe von 1 Gew.-% pro Einheit Stickstoff. Die Basisdüngung erfolgte mit 262,5 mg/L Fertyl® Basis 1 (0/14/38 + 5) (Planta-Düngemittel GmbH, Regenstau). In der organischen N-Düngevariante wurde mit einer Grunddüngung von 422 mg N/L Substrat aus Hornspänen und DCM ECO-MIX 4 (7/7/10) (Deutsche CUXIN Marketing GmbH, Otterndorf) gearbeitet, die durch eine organische Flüssigdüngung mit 0,25% OPF (8/3/3) (Organic Plant Feed, Yves Kessler ETM-Vegetationstechnik, Starnberg) bei jedem Bewässerungsgang ergänzt wurde. Die Nährstoffgehalte und andere Eigenschaften der verwendeten organischen Dünger sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Die zugeführte N-Menge (Tab. 6) konnte über das Erfassen der applizierten Nährlösung und das Auffangen der überschüssigen Nährlösung nach 30–60 minütiger Anstau-dauer ermittelt werden. Zusätzlich erfolgten wöchentlich Substratanalysen zur Messung der NH_4^+ -, NO_3^- -, NO_2^- - und Salzgehalte sowie des pH-Wertes. Die mineralischen N-Verbindungen wurden nach Extraktion mit einer 0,0125 molaren CaCl_2 -Lösung im Filtrat reflektometrisch bestimmt (RQflex® plus 10 und Reflectoquant®-Teststäbchen, Merck KGaA, Darmstadt). Zur Erfassung des Salzgehaltes mittels der Leitfähigkeitsmessung erfolgte eine Extraktion mit demineralisiertem Wasser. Das methodische Vorgehen basierte auf Schnelltestverfahren in

Anlehnung an DALLMANN (2009). Zur Überprüfung der Richtigkeit der Messungen wurden stichprobenartig Vergleichsanalysen auf Grundlage der VDLUFA-Methoden in einem externen Untersuchungslabor veranlasst. Die mit beiden Verfahren ermittelten NH_4^+ - und NO_3^- -Gehalte stimmten mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 \geq 0,95$ überein. Die Messung des pH-Wertes erfolgte entsprechend DIN EN, 13037:2012-01 in einem 0,01 molaren CaCl_2 -Extrakt.

Neben den wöchentlichen Substratanalysen wurden an den entnommenen Pflanzen auch Wachstumsparameter wie die Pflanzenhöhe (maximale Sprosslänge), Frischmasse und die Pflanzenanzahl pro Topf ermittelt. Der Quotient aus Frischmasse und Pflanzenhöhe diente als Maß für die Kompaktheit der Pflanzen. Als weitere Qualitätsparameter wurden die Beschaffenheit der Keim- und Laubblätter bonitiert sowie die Grünfärbung der jüngsten, vollentwickelten Blätter mittels des Chlorophyllmeters SPAD-502 Plus (Konica Minolta Inc., Tokio) erfasst. Bei der letzten Ernte erfolgte außerdem die Bestimmung des Trockenmasseanteils. Die gewonnene Trockenmasse diente des Weiteren zur Bestimmung der Gesamt-N- und NO_3^- -Gehalte im Aufwuchs. Der Gesamt-N-Gehalt wurde nach der Dumas-Methode mit einem N-Analyzer (Leco FP-628, LECO Instrumente GmbH, Mönchengladbach) ermittelt. Die Bestimmung des NO_3^- -Gehaltes erfolgte nach Extraktion der Trockenmasse mit 2%iger Essigsäure (MILLER, 1998) mittels der Ionenchromatographie (Compact IC plus 882, Deutsche Metrohm GmbH & Co. KG, Filderstadt).

Das Versuchsdesign entsprach einer randomisierten Blockanlage mit 4 Blöcken (Wiederholungen) und 20 Töpfen pro Parzelle. Über einen Randomisationsplan wurden die Töpfe zur wöchentlichen Erfassung der Pflanzen- und Substratparameter den Parzellen zufällig entnommen. Die statistische Auswertung wurde über eine ANOVA (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$) mit der Statistiksoftware SPSS Version 23 (IBM Deutschland GmbH, Ehningen) vorgenommen. Erforderlichenfalls wurden die Daten einer Transformation unterzogen, um die Voraussetzungen zur varianzanalytischen Auswertung erfüllen zu können. Berücksichtigt wurden bei der statistischen Auswer-

Tab. 1. Zusammensetzung der organischen Dünger bezogen auf die Frischmasse
Composition of the organic fertilizers determined on the basis of fresh matter

Dünger	N [%]	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ [%]	P_2O_5 [%]	K_2O [%]	TM ¹⁾ [%]	OS ²⁾ [%]	C/N-Verhältnis
DCM ECO-MIX 4	6,54	0,26	6,90	12,86	48,8	48,8	4
Hornspäne	14,55	0,04	0,18	0,23	85,6	85,6	3
OPF	7,87	2,08	2,68	2,45	46,5	46,5	3

¹⁾ Trockenmasse-Anteil,

²⁾ Anteil organische Substanz

tung die Faktoren $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Verhältnis (3 Varianten) und N-Konzentration (3 Stufen). Folgendes Modell kam hierbei zur Anwendung:

$$y_{ijh} = \mu + b_h + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta_{ij})e_{ijh}$$

- y_{ijh} = Messwert der ij-ten Variante im h-ten Block
 μ = Gesamtmittelwert
 b_h = Haupteffekt des h-ten Blocks
 α_i = Haupteffekt des i-ten $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Verhältnisses
 β_j = Haupteffekt der j-ten N-Konzentration
 $(\alpha\beta_{ij})$ = ij-te Wechselwirkung
 e_{ijh} = Fehler ij-ten Variante im h-ten Block

Die organische N-Düngevariante ließ sich nicht mit den Faktoren $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Verhältnis und N-Konzentration kombinieren. Zum Vergleich von allen 10 Varianten wurde folgendes Modell zugrunde gelegt:

$$y_{ih} = \mu + b_h + \alpha_i + e_{ih}$$

- y_{ih} = Ertrag der i-ten Variante im h-ten Block
 μ = Gesamtmittelwert
 b_h = Haupteffekt des h-ten Blocks
 α_i = Haupteffekt der i-ten Variante
 e_{ih} = Fehler der i-ten Variante im h-ten Block

Zur Darstellung signifikanter Unterschiede wurden Signifikanzgruppen nach Tukey (Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$) angegeben.

Ergebnisse

Wachstums- und Ertragsparameter

Die Parameter Pflanzenhöhe, Frischmasse und die Anzahl Pflanzen pro Topf wurden wöchentlich an jeweils 4 Töpfen pro Düngevariante erfasst. In Tab. 2 ist die Entwicklung der Pflanzenhöhe im Zeitraum von Kulturwoche 3 bis 7 (Erntetermin) aufgezeigt. Während eine reine NH_4^+ -Ernährung mit einem relativ gedrunenen Pflanzenwuchs einherging, führte NO_3^- als alleinige N-Form zu dem stärksten Höhenwachstum. Die Entwicklung der Pflanzenhöhe in der Variante mit ausgeglichenem $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Angebot war zunächst mit der in der reinen NO_3^- -Variante vergleichbar, nahm aber im Laufe des Versuches immer weiter ab. In der organischen N-Düngevariante war die Entwicklung genau umgekehrt. Nach anfänglich verzögertem Wachstum schlossen die Pflanzen in den letzten Wochen zunehmend auf und erreichten zu Kulturrende die zweit höchste Pflanzenhöhe unter allen Versuchsvarianten. In Bezug auf die N-Stufe konnte innerhalb der NO_3^- -Va-

Tab. 2. Entwicklung der Pflanzenhöhe von Basilikum während des Kulturverlaufs in Abhängigkeit vom N-Angebot (n = 4). Mittelwerte innerhalb einer Spalte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)
Development of the plant height of basil during the cultivation period as affected by the N supply (n = 4). Means within a column not sharing a letter are significantly different according Tukey's test ($\alpha = 0.05$)

Düngevariante		Pflanzenhöhe [cm/Topf]				
N-Form	N-Stufe [mmol N/L]	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7
100% $\text{NH}_4^+ / 0\% \text{NO}_3^-$	8	2,9 c	6,5 bcd	9,5 b	15,0 bcde	18,1 d
	12	3,0 bc	6,1 cd	10,0 ab	13,3 de	16,3 e
	16	2,6 c	5,5 d	10,1 ab	13,0 e	16,8 de
50% $\text{NH}_4^+ / 50\% \text{NO}_3^-$	8	4,3 a	7,8 ab	10,6 ab	15,8 abc	19,3 c
	12	3,6 ab	7,4 abc	11,1 ab	14,4 bcde	17,3 de
	16	4,3 a	7,6 ab	10,4 ab	13,9 cde	17,6 de
0% $\text{NH}_4^+ / 100\% \text{NO}_3^-$	8	3,9 a	7,8 ab	11,1 ab	15,5 abcd	20,2 b
	12	4,0 a	8,0 a	11,6 a	16,5 ab	22,2 a
	16	3,8 a	8,0 a	11,4 a	17,5 a	23,0 a
Organische N-Düngung		2,5 c	5,6 d	9,4 b	14,3 bcde	20,3 b
Streuungsursache						
$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Verhältnis		***	***	***	***	***
N-Stufen		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*
Wechselwirkung ($\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Verhältnis · N-Stufen)		**	n. s.	n. s.	**	***

Signifikanzniveaus innerhalb der mineralischen Düngevarianten: n. s. = nicht signifikant; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tab. 3. Entwicklung des Frischmasseertrags von Basilikum während des Kulturverlaufs in Abhängigkeit vom N-Angebot (n = 4). Mittelwerte innerhalb einer Spalte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)Development of the fresh weight yield of basil during the cultivation period as affected by the N supply (n = 4). Means within a column not sharing a letter are significantly different according Tukey's test ($\alpha = 0.05$)

Düngevariante		Frischmasse [g/Topf]				
N-Form	N-Stufe [mmol N/L]	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7
100% NH ₄ ⁺ /0% NO ₃ ⁻	8	3,6 c	10,7 b	21,5 c	42,9 cd	61,0 b
	12	3,5 c	9,7 b	20,1 c	35,5 d	55,4 b
	16	3,8 bc	9,6 b	20,4 c	39,7 cd	58,3 b
50% NH ₄ ⁺ /50% NO ₃ ⁻	8	4,5 ab	14,7 a	30,1 a	54,4 ab	77,8 a
	12	4,8 a	14,8 a	29,1 ab	56,2 a	81,4 a
	16	4,6 ab	14,4 a	28,6 ab	52,4 ab	78,9 a
0% NH ₄ ⁺ /100% NO ₃ ⁻	8	4,8 a	15,0 a	30,7 a	53,2 ab	78,4 a
	12	4,6 a	15,6 a	30,5 a	54,1 ab	81,7 a
	16	4,7 a	14,6 a	29,3 ab	54,8 ab	80,4 a
Organische N-Düngung		3,3 c	10,7 b	24,3 bc	47,1 bc	76,5 a
Streuungsursache						
NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis		***	***	***	***	*
N-Stufen		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
Wechselwirkung (NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis · N-Stufen)		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

Signifikanzniveaus innerhalb der mineralischen Düngevarianten: n. s. = nicht signifikant; * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

riante eine signifikant höhere Pflanzenhöhe mit steigender N-Konzentration in der Nährlösung beobachtet werden. Bei ausgeglichener NH₄⁺/NO₃⁻- oder reiner NH₄⁺-Versorgung war ein gegenteiliger Trend festzustellen. Die Kulturzeit zum Erreichen der im Lebensmitteleinzelhandel marktüblichen Verkaufshöhe von 15–19 cm (DRUNKEMÜHLE, persönliche Mitteilung, 2015) lag zwischen etwa 5,5 bis 6,5 Wochen. Auch hinsichtlich des Frischmassezuwachses war eine wachstumshemmende Wirkung durch ein reines NH₄⁺-Angebot festzustellen (Tab. 3). Bei allen anderen N-Düngeformen wurde zu Versuchsende ein ähnliches Ertragsniveau erreicht. Zwischen den N-Stufen traten keine statistisch signifikanten Unterschiede auf.

Qualitätsparameter

Der Quotient aus Pflanzenhöhe und Frischmasse wurde als Maß für die Kompaktheit des Topfbasilikums herangezogen. Mit ausgeglichenem NH₄⁺/NO₃⁻-Angebot konnte der kompakteste Pflanzenwuchs erzielt werden (Tab. 4). In der reinen NO₃⁻-Variante kam es mit steigender N-Stufe zu einer verstärkten Internodienstreckung und dadurch bedingt zu einem weniger kompakten Habitus. Die geringe Kompaktheit bei alleinigem NH₄⁺-Angebot und in der orga-

nischen N-Düngevariante war visuell kaum wahrzunehmen und lag in einer reduzierten Pflanzenanzahl pro Topf begründet. Die Pflanzenanzahl blieb ab der zweiten Kulturwoche konstant und entsprach damit der Keimrate, welche in der organischen N-Düngevariante am niedrigsten ausfiel (Tab. 4).

Bei rund 15% der Töpfe mit NH₄⁺-Angebot und rund 30% der Töpfe mit organischem N-Angebot wiesen die Pflanzen chlorotische Keimblätter auf (Abb. 1). Die Keimblattbonitur erfolgte in der 5. Kulturwoche. Bis zu diesem Zeitpunkt war in der organischen N-Düngevariante NH₄⁺ die dominierende mineralische Stickstoffform (Abb. 2). In den Varianten mit NO₃⁻-Angebot traten die Keimblattschäden nur im sehr geringen Umfang auf. Eine weitere Qualitätsminderung, die in den ersten Kulturwochen bei organischer N-Düngung und im gesamten Versuchszeitraum bei reinem NH₄⁺-Angebot festzustellen war, äußerte sich in einer verminderten Turgeszenz des Sprosses. Dies spiegelte sich zu Versuchsende bei den mit Ammonium ernährten Pflanzen in einem erhöhten Trockenmasseanteil wider (Tab. 4). Andererseits war die Grünfärbung der Blätter (SPAD-Werte) bei NO₃⁻-Angebot im Mittel weniger intensiv als bei entsprechender NH₄⁺-Düngung (Tab. 5).

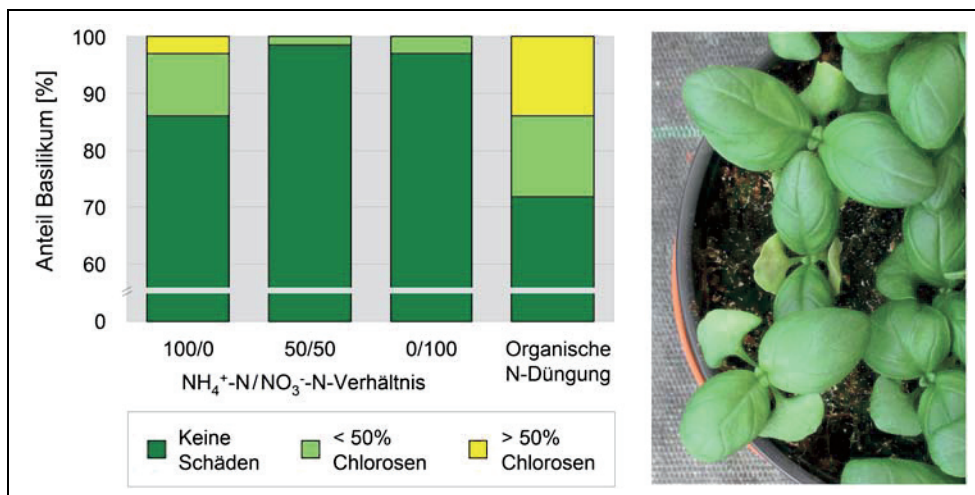
Tab. 4. Keimrate von Basilikum sowie Kompaktheit und Trockenmasseanteil des Aufwuchses zu Versuchsende in Abhängigkeit vom N-Angebot (n = 4). Mittelwerte innerhalb einer Spalte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)Germination rate of basil as well as compactness and dry matter content of shoot after 7 weeks of cultivation as affected by the N supply (n = 4). Means within a column not sharing a letter are significantly different according Tukey's test ($\alpha = 0.05$)

Düngevariante		Keimrate [%]	Kompaktheit [g FM/cm Pflanzenhöhe]	TM-Anteil [%]
N-Form	N-Stufe [mmol N/L]			
100% NH ₄ ⁺ /0% NO ₃ ⁻	8	71,3 ab	3,4 f	11,5 bcd
	12	72,3 ab	3,4 ef	11,8 b
	16	70,3 ab	3,5 def	12,3 a
50% NH ₄ ⁺ /50% NO ₃ ⁻	8	74,4 a	4,0 b	11,0 de
	12	76,0 a	4,7 a	10,2 f
	16	76,0 a	4,5 a	10,5 f
0% NH ₄ ⁺ /100% NO ₃ ⁻	8	75,9 a	3,9 bc	10,6 ef
	12	76,2 a	3,7 cde	11,3 cd
	16	75,2 a	3,5 def	11,7 bc
Organische N-Düngung		66,3 b	3,8 bcd	10,3 f

Streuungsursache

NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis	**	***	***
N-Stufen	n. s.	**	***
Wechselwirkung (NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis · N-Stufen)	n. s.	***	***

Signifikanzniveaus innerhalb der mineralischen Düngevarianten: n. s. = nicht signifikant; * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

**Abb. 1. Anteil an Basilikum-Töpfen mit chlorotischen Keimblättern 31 Tage nach der Aussaat in Abhängigkeit vom NH₄⁺/NO₃⁻-Verhältnis bei mineralischem N-Angebot (n = 192) und bei organischem N-Angebot (n = 64). Chlorosen an Keimblättern von Basilikum-Jungpflanzen (rechts) Proportion of basil pots shown chlorotic cotyledons 31 days after sowing as affected by the NH₄⁺/NO₃⁻ ratio with mineral N supply (n = 192) and with organic N supply (n = 64). Chlorotic cotyledons on young basil plants (right).**

Die zu Versuchsende im Aufwuchs von Basilikum ermittelten NO₃⁻-Gehalte schwankten zwischen durchschnittlich 218 mg NO₃⁻/kg FM in den ausschließlich mit NH₄⁺ gedüngten Pflanzen und 7.434 mg NO₃⁻/kg FM in der

organischen N-Düngevariante (Tab. 5). Der Gesamt-N-Gehalt in der Spross trockenmasse nahm bei NH₄⁺-Angebot mit steigender N-Stufe zu. Die höchsten N-Gehalte waren bei einem ausgeglichenem NH₄⁺/NO₃⁻-Angebot zu

Tab. 5. Gesamt-N- und NO₃⁻-Gehalte im Aufwuchs sowie SPAD-Werte der Laubblätter von Basilikum zu Versuchsende in Abhängigkeit vom N-Angebot (n = 4). Mittelwerte innerhalb einer Spalte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test (α = 0,05)

Total N and NO₃⁻ contents in the shoot as well as leaf SPAD value of basil after 7 weeks of cultivation as affected by the N supply (n = 4). Means within a column not sharing a letter are significantly different according Tukey's test (α = 0.05)

Düngevariante		N-Gesamt [% i. d. TM]	NO ₃ ⁻ -Gehalt [mg/kg FM]	SPAD-Wert der Laubblätter
N-Form	N-Stufe [mmol N/L]			
100% NH ₄ ⁺ /0% NO ₃ ⁻	8	4,8 de	311 f	41,9 bc
	12	5,9 c	230 f	42,6 ab
	16	6,3 b	112 f	44,9 a
50% NH ₄ ⁺ /50% NO ₃ ⁻	8	4,6 e	3.189 e	41,5 bc
	12	6,2 bc	5.680 c	40,4 bc
	16	6,9 a	6.259 b	42,4 abc
0% NH ₄ ⁺ /100% NO ₃ ⁻	8	4,6 e	4.450 d	40,0 cd
	12	4,8 de	5.320 c	41,0 bc
	16	4,8 d	5.591 c	42,7 ab
Organische N-Düngung		5,9 c	7.434 a	37,3 d
Streuungsursache				
NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis		***	***	***
N-Stufen		***	***	***
Wechselwirkung (NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis · N-Stufen)		n. s.	***	***

Signifikanzniveaus innerhalb der mineralischen Düngevarianten: n. s. = nicht signifikant; * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

verzeichnen. Bei reiner NO₃⁻-Versorgung lagen die N-Gehalte im Mittel am niedrigsten und variierten zwischen den N-Stufen nur relativ wenig (Tab. 5).

Substratparameter

Das anfänglich reduzierte Pflanzenwachstum in der organischen N-Düngevariante (Tab. 2 und 3) stand im engen Zusammenhang zu der Entwicklung des pflanzenverfügbaren Stickstoffgehaltes im Substrat. In den ersten 3 Wochen lag hier ausschließlich Ammonium vor, dessen Gehalt auf bis ca. 350 mg NH₄⁺-N/L Substrat anstieg (Abb. 2). Anschließend setzte die Nitrifikation ein. Mit steigendem NO₃⁻-Angebot ging eine deutliche Stimulierung des Sprosswachstums einher. Zu Versuchsende lag im Substrat der organisch gedüngten Pflanzen fast nur noch Nitrat als mineralische Stickstoffform vor. Der Ammonium- und Nitratgehalt war dabei auf einem ähnlichen Niveau angesiedelt, wie bei den hohen mineralischen N-Stufen, obwohl in der organischen N-Düngevariante insgesamt eine deutlich größere N-Menge appliziert wurde (Tab. 6). Dies weist darauf hin, dass der in den organischen Düngern enthaltene Stickstoff innerhalb des Kulturzeitraums nur zu einem gewissen Anteil in mineralische Form überführt wurde.

Bei den mit mineralischem Stickstoff gedüngten Varianten stiegen der zu Versuchsende im Substrat verbliebene Ammonium- und Nitratgehalt mit zunehmender N-Konzentration in der Nährlösung deutlich an. In der niedrigsten N-Stufe konnte unabhängig von der Stickstoffform kein oder nur noch wenig Stickstoff nachgewiesen werden, während die höchste N-Stufe durchweg in einer starken N-Akkumulation mündete (Tab. 6). Bei den mittleren N-Stufen bewegte sich der Ammonium- und Nitratgehalt über den gesamten Kulturverlauf zumeist in einem Bereich zwischen 100-300 mg N/L Substrat (Abb. 4).

Der Salzgehalt im Wurzelraum der Pflanzen schwankte über alle Varianten hinweg betrachtet innerhalb des Versuchszeitraumes zwischen 0,6 und 3,8 g KCl/L Substrat und spiegelte recht deutlich die unterschiedlichen Düngehöhen in den einzelnen Behandlungen wider. Aufgrund der Verwendung von ballastsalzfreiem Ammoniumnitrat bei ausgeglichenem NH₄⁺/NO₃⁻-Angebot lagen die Salzgehalte in dieser Variante besonders niedrig. Bei den mit reinem Ammonium und organischem Stickstoff versorgten Pflanzen war zu Kulturende die höchste Salzbelastung im Substrat festzustellen (Tab. 6). Der pH-Wert des Substrates blieb über die ersten 4 Versuchswochen in den

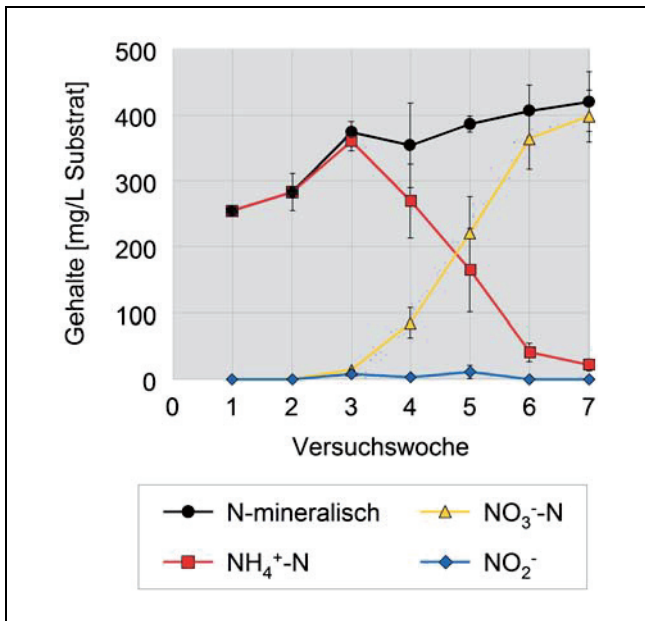


Abb. 2. Entwicklung der Gehalte an mineralischen N-Verbindungen im Substrat (Mittelwert \pm Standardabweichung) der organischen N-Düngervariante während des Versuchszeitraumes ($n = 4$)
Development of contents of mineral nitrogen forms (mean \pm standard deviation) in the growing media of the organic N treatment during the trial period ($n = 4$).

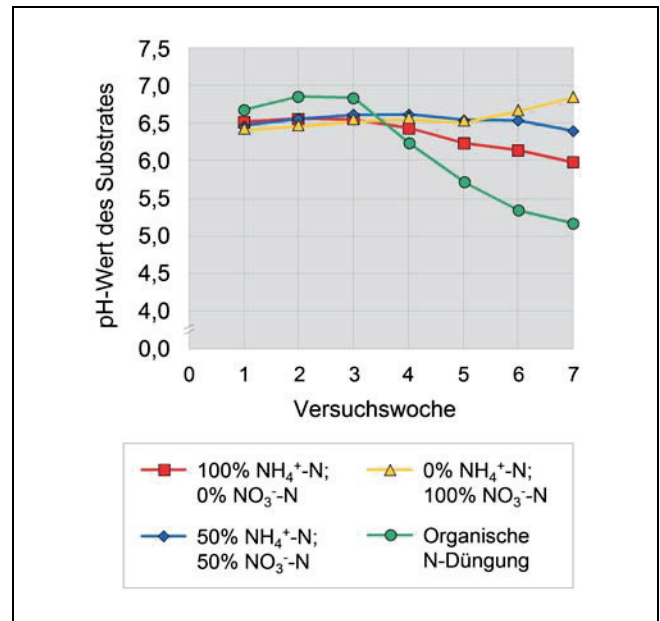


Abb. 3. Entwicklung des pH-Wertes im Substrat über den Versuchszeitraum in Abhängigkeit vom NH₄⁺/NO₃⁻-Verhältnis bei mineralischem N-Angebot ($n = 12$) und bei organischem N-Angebot ($n = 4$)
Development of the pH value in the growing media during the trial period as affected by the NH₄⁺/NO₃⁻ ratio with mineral N supply ($n = 12$) and with organic N supply ($n = 4$).

mineralischen N-Düngervarianten relativ stabil auf dem zu Kulturbeginn eingestelltem Niveau von pH 6,5. Anschließend konnte bei reinem NO₃⁻-Angebot eine Steigerung um 0,3 pH-Einheiten und bei reinem NH₄⁺-Angebot eine Abnahme um bis zu 0,5 pH-Einheiten beobachtet werden (Abb. 3). Die stärksten pH-Veränderungen wurden in der organischen N-Düngervariante festgestellt. Hier kam es zunächst zu einem Anstieg bis auf pH 6,9 und anschließend zu einem Absinken bis auf pH 5,2.

Diskussion

Stickstoff ist der einzige Nährstoff, den Pflanzen als Anion (NO₃⁻) und als Kation (NH₄⁺) aufnehmen können. In dieser Untersuchung wurde der Einfluss der Konzentration und des Verhältnisses beider Stickstoffformen auf die Entwicklung von Basilikum in der Topfkultur geprüft. Mit dem differenzierten Stickstoffangebot wurde bereits zur Aussaat begonnen und das NH₄⁺/NO₃⁻-Verhältnis in den mineralischen Düngervarianten mit einem Nitrifikationshemmstoff stabilisiert.

Einfluss des NH₄⁺/NO₃⁻-Verhältnisses

Die Ergebnisse zeigen, dass ein reines NH₄⁺-Angebot im geprüften Konzentrationsbereich (8–16 mmol N/L Nährlösung) die Keimung des Basilikums beeinträchtigen kann (Tab. 4) und einen hemmenden Einfluss auf das Sprosswachstum hat (Tab. 2 und 3). Bei alleinigem NO₃⁻-Angebot entwickelten sich die Pflanzen am zügigsten

und erreichten rund 5 Tage vor der NH₄⁺-Variante die für die Vermarktung der Topfkräuter erforderliche Mindesthöhe. Über vergleichbare Effekte der Stickstoffform auf das Höhenwachstum von Basilikum berichten DZIDA (2011) und KIFERLE et al. (2013), während in anderen Versuchen NH₄⁺ (TESI et al., 1995) oder Harnstoff (DZIDA et al., 2013) als N-Quelle zu höheren Pflanzen führte. Bezüglich des Einflusses der Stickstoffform auf die Frischmassebildung von Basilikum sind in der Literatur ebenfalls unterschiedliche Angaben zu finden. Während in den meisten Untersuchungen kein signifikanter Einfluss festgestellt wurde (DZIDA, 2011; DZIDA et al., 2013; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2009; ORSINI und DE PASCALE, 2007; SAADATIAN et al., 2014; TESI et al., 1995), berichten KIFERLE et al. (2013) und BEAMAN (2008) in Übereinstimmung zu den eigenen Ergebnissen von einer signifikanten Reduktion des Frischmassezuwachses bei NH₄⁺-Angebot. Eine Ursache für die widersprüchlichen Ergebnisse könnte darin liegen, dass in den bisherigen Untersuchungen keine Nitrifikationshemmstoffe zum Einsatz kamen und daher die Pflanzen wahrscheinlich auch bei reinem NH₄⁺-Angebot zu einem mehr oder weniger hohen Anteil mit Nitrat ernährt wurden. Auch im eigenen Versuch konnte dies nicht vollständig unterbunden werden, allerdings lassen die relativ niedrigen NO₃⁻-Gehalte im Aufwuchs des Basilikums erkennen (Tab. 5), dass die Pflanzen in der NH₄⁺-Variante tatsächlich bis zum Versuchsende vorwiegend diese Stickstoffform aufnahmen. Im Substrat war bei reinem NH₄⁺-Angebot über den gesamten Versuchszeitraum kein Nitrat nachweisbar (Ergeb-

Tab. 6. Summe der zugeführten Nährlösung und N-Menge sowie zu Versuchsende im Substrat ermittelte mineralische N- und Salzgehalte bei den verschiedenen Düngevarianten (n = 4). Mittelwerte innerhalb einer Spalte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($\alpha = 0,05$)

Totally applied nutrient solution and N amount as well as mineral N and salt contents in the growing media of the different trial treatments after 7 weeks of cultivation (n = 4). Means within a column not sharing a letter are significantly different according Tukey's test ($\alpha = 0.05$)

Düngevariante		Nährlösung [L/Topf]	N-Gabe [mg N/L Substrat]	N-Gehalt [mg N/L Substrat]	Salzgehalt [g KCl/L Substrat]
N-Form	N-Stufe [mmol N/L]				
100% NH ₄ ⁺ /0% NO ₃ ⁻	8	3,21 b	660 g	n. n. h	2,1 c
	12	3,04 b	923 e	224 d	3,0 b
	16	3,12 b	1.249 c	358 bc	3,9 a
50% NH ₄ ⁺ /50% NO ₃ ⁻	8	3,69 a	754 f	5 g	0,7 f
	12	3,57 a	1.076 d	116 e	1,0 e
	16	3,52 a	1.404 b	556 a	1,6 d
0% NH ₄ ⁺ /100% NO ₃ ⁻	8	3,57 a	731 fg	39 f	0,9 e
	12	3,58 a	1.080 d	295 c	1,8 cd
	16	3,55 a	1.416 b	538 a	3,0 b
Organische N-Düngung		3,02 b	1.824 a ¹⁾	419 b	3,3 ab
Streuungsursache					
NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis		***	***	***	***
N-Stufen		n. s.	***	***	***
Wechselwirkung (NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ -Verhältnis · N-Stufen)		n. s.	n. s.	***	***

¹⁾ Organisch gebundener Stickstoff und NH₄⁺-N

Signifikanzniveaus innerhalb der mineralischen Düngevarianten: n. s. = nicht signifikant; * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

nisse nicht dargestellt). Es ist daher anzunehmen, dass die hier beobachteten Ertragsminderungen und Qualitätsbeeinträchtigungen (chlorotische Keimblätter, leicht welker Spross) im Zusammenhang zur Ammoniumernährung des Basilikums standen. Die verminderte Turgeszenz der Pflanzen könnte auf einem Ionenantagonismus zwischen NH₄⁺ und Kalium-Ionen (K⁺) beruht haben. Beide Kationen nutzen bei der Aufnahme über die Wurzel die gleichen Transportsysteme (BRITTO und KRONZUCKER, 2002). Kalium ist an der Regulation der Stomata beteiligt und spielt daher für den Wasserhaushalt der Pflanzen eine entscheidende Rolle. Akute K-Mangelsymptome waren am Basilikum zwar nicht zu beobachten, allerdings neigen bereits mit Kalium leicht unterversorgte Pflanzen, insbesondere an warmen und sonnigen Tagen, zu Welkeerscheinungen (BERGMANN, 1993). Ob sich die unerwünschten NH₄⁺-Wirkungen durch ein erhöhtes K⁺-Angebot im Anbaumedium reduzieren lassen, wie dies ROOSTA und SCHJØRRING (2008) an Gurken zeigen konnten, sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Die N-Düngeform beeinflusst den pH-Wert im Wurzelraum (RÖMHELD, 1986) und kann sich auch auf diesem Weg auf das Pflan-

zenwachstum auswirken. Derartige indirekte Effekte sind im vorliegenden Versuch bei den mineralischen Düngevarianten weitgehend auszuschließen, da der pH-Wert hier bis etwa Kulturmitte stabil auf dem Ausgangsniveau im schwach sauren Bereich blieb und nachfolgend nur im relativ geringem Ausmaß divergierte (Abb. 3).

Einfluss der N-Konzentration

Unabhängig von der mineralischen Stickstoffform hatte die N-Konzentration der Nährlösung im angebotenen Bereich keinen signifikanten Einfluss auf die Frischmassebildung des Basilikums. Der Höchstertrag konnte schon in der niedrigsten Düngestufe mit einem N-Angebot von insgesamt rund 650–750 mg N/L Substrat erzielt werden. Über einen N-Bedarf in vergleichbarer Größenordnung berichten auch andere Autoren (SCHMITZ et al., 1997; KOCH und SAUER, 2013). Da Topfkräuter bei den Konsumenten häufig noch eine Zeit lang weiter auf der Fensterbank gehalten werden, ist es ein gewisser Nährstoffvorrat im Substrat der verkaufsfertigen Pflanzen durchaus erwünscht. Unter Berücksichtigung des zu Versuchsende im Substrat ermittelten mineralischen N-Ge-

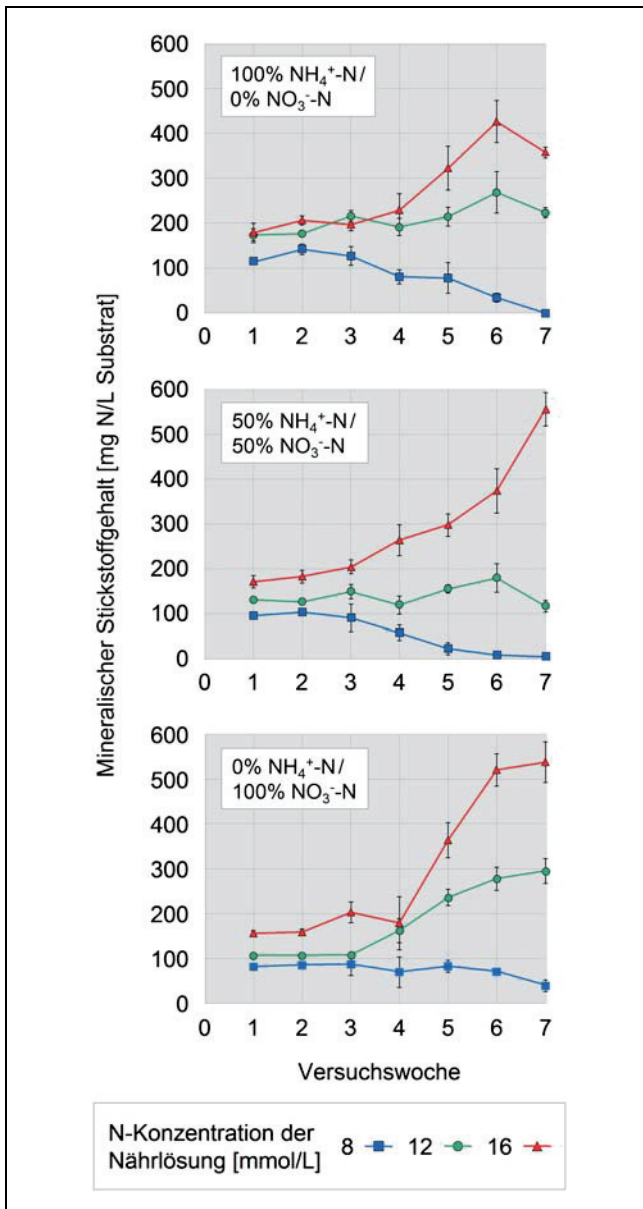


Abb. 4. Entwicklung des Gehaltes an mineralischem Stickstoff im Substrat (Mittelwert \pm Standardabweichung) über den Versuchszeitraum in Abhängigkeit vom NH_4^+ / NO_3^- -Verhältnis und der Höhe des N-Angebotes ($n = 4$)

Development of the content of mineral nitrogen in the growing media (mean \pm standard deviation) during the trial period as affected by NH_4^+ / NO_3^- ratio and amount of N supply

haltes (Tab. 6) lässt die mittlere N-Stufe (168 mg N/L Nährlösung) mit einer Düngung von insgesamt rund 1000 mg N/L Substrat die beste Haltbarkeit des Basilikums beim Verbraucher erwarten. Der mineralische N-Gehalt des Substrates lag hier im Kulturverlauf bei allen NH_4^+ / NO_3^- -Angebotsformen zumeist zwischen 100 und 250 mg N/L (Abb. 4) und damit in einem für nährstoffbedürftige Kulturen anzustrebenden Bereich (HOFFMANN, 1997).

Einfluss der organischen Düngung

Die Entwicklung des mineralischen N-Gehaltes in der organischen N-Düngevariante verdeutlicht, welcher Dyna-

mik die mikrobiellen Stickstoffumsetzungen im Substrat von ökologisch kultivierten Topfkräutern unterliegen können. Die N-Mineralisation der gegebenen organischen Dünger setzte sehr zügig ein und ließ den NH_4^+ -Gehalt innerhalb von 3 Wochen auf bis zu 350 mg N/L Substrat ansteigen (Abb. 2). Der NH_4^+ -Gehalt war damit fast doppelt so hoch, wie zur gleichen Zeit in der höchsten N-Stufe mit reinem NH_4^+ -Angebot. Es ist daher anzunehmen, dass die verminderte Keimrate und die verzögerte Anfangsentwicklung des organisch gedüngten Basilikums primär in der NH_4^+ -Anreicherung im Substrat begründet lagen. Im juvenilen Entwicklungsstadium ist die Sensitivität von Pflanzen gegenüber hohen NH_4^+ -Konzentrationen besonders stark ausgeprägt (WIESLER, 1997). Das verstärkte Auftreten von Chlorosen an den Keimblättern der organisch gedüngten Pflanzen dürfte ebenfalls direkt oder indirekt im Zusammenhang mit den anfänglich hohen NH_4^+ -Gehalten im Substrat stehen. Bei pH-Werten knapp unter dem Neutralpunkt, wie sie in dieser Düngevariante zu Kulturbeginn auftraten (Abb. 3), liegt bereits ein gewisser Teil des NH_4^+ als Ammoniak (NH_3) vor. Als kleines, ungeladenes Molekül kann das NH_3 die Membranen der Pflanzenzelle leicht permeieren und wirkt schon in geringer Konzentration phytotoxisch (SCHENK, 1977). Als eine weitere Ursache für die beobachteten Keimblattschäden kommt das vorübergehende Auftreten von Nitrit (NO_2^-) in Betracht. In der Kulturwoche 3 und 5 wurden im Substrat der organischen N-Düngevariante im Mittel 8 bzw. 11 mg NO_2^- /L Substrat nachgewiesen (Abb. 2). In diesem Konzentrationsbereich kann es bereits zu Schäden an Pflanzen kommen (BETTIN, 2011), die sich symptomatisch in einer Vergilbung der Blätter äußern (BERGMANN, 1993). Eine Anreicherung von Nitrit im Anbaumedium wird bei der Bewässerung von Topfkulturen im Anstauverfahren immer wieder beobachtet, wenn NH_4^+ -betonte Stickstoffdünger (MEINKEN und FISCHER, 1990) bzw. NH_4^+ -freisetzende organische Dünger zur Anwendung kommen. Grund hierfür ist, dass nitrifizierende Bakterien aus der Gattung *Nitrobacter* unter bestimmten Milieubedingungen (z.B. bei temporären Sauerstoffmangel oder bei pH-Werten im neutralen bis alkalischen Bereich in Kombination mit hohen NH_4^+ -Konzentrationen) in ihrer Aktivität eingeschränkt sind und die Nitrifikation dann teilweise auf der Stufe des NO_2^- zum Erliegen kommt (BERGMANN, 1993; MEINKEN und FISCHER, 1990).

Möglichkeiten zur Optimierung der organischen Düngung

Mit fortschreitender Nitrifikation zeigten die organisch gedüngten Pflanzen ab der 4. Kulturwoche ein stimuliertes Sprosswachstum und erreichten bis zu Versuchsende annähernd das Ertragsniveau der NO_3^- -Variante (Tab. 2 und 3). Die starke NO_3^- -Freisetzung zu Kulturrende führte allerdings zu einem sehr hohen NO_3^- -Gehalt in der Frischmasse der Topfkräuter (Tab. 5). Im Hinblick auf den Verzehr der pflanzlichen Erzeugnisse stellt dies eine bedeutende Qualitätsminderung dar. Ein Ansatzpunkt zur Optimierung des Ertrages und der Qualität von biologisch kultiviertem Topfbasilikum könnte darin liegen,

das Substrat nach dem Einmischen der organischen Dünger zunächst für 2 bis 3 Wochen zu lagern, wie dies SCHMITZ und FISCHER (2003) für die Anzucht von Salatpflanzen empfehlen. Wenn die Ammonifikation und Nitrifikation des Düngerstickstoffs bereits in diesem Zeitraum einsetzen, steht den Pflanzen schon während der Keimung und Jungpflanzenphase Nitrat als weitere mineralische Stickstoffform zur Verfügung. Gleichzeitig würde so einer starken NO_3^- -Akkumulation zu Kulturende vorgebeugt. Der Erfolg einer solchen Düngungsstrategie dürfte maßgeblich von der Höhe der Grunddüngung abhängig sein. Nach BECK und JAKSCH (2003) sollte bei einer Grunddüngung von über 1000 mg N/L Substrat aufgrund der Gefahr von Salzschäden auf eine Lagerung der Substrate verzichtet werden. Die in diesem Versuch gewählte Grunddüngung von 422 mg N/L Substrat in Kombination mit einer einwöchigen Lagerung bei ca. 10–15 °C reichte offensichtlich noch nicht aus, um die mikrobielle Umsetzung der organischen N-Dünger ausreichend weit voranzutreiben (Abb. 2). Zur Forcierung dieser Prozesse ist es sicherlich sinnvoll, die Substratlagerung bei einer Temperatur von mindestens 20 °C vorzunehmen und das Substrat in einen kulturfeuchten Zustand zu bringen. Die Mineralisierungsrate wird des Weiteren maßgeblich von Art des organischen Düngers beeinflusst. Die in diesem Versuch verwendeten organischen Dünger verfügen alle über ein enges C/N-Verhältnis (Tab. 1) und können daher prinzipiell sehr rasch mineralisiert werden. Unter günstigen Bedingungen ist innerhalb von 6 Wochen mit einer N-Freisetzung von ca. 20% (Hornspänen) bis 50% (DCM ECO-MIX 4) des organisch gebundenen Stickstoffs zu rechnen (RÖBER und SCHACHT, 2008; HAAS et al., 2015). In dem für die Nachdüngung eingesetzten Produkt OPF, einem hydrolysierten organischen Flüssigdünger, lag bereits rund ein Viertel des gesamten Düngerstickstoffs direkt als NH_4^+ -N vor (Tab. 1). Zur Deckung des Stickstoffbedarfes von biologisch erzeugtem Topfbasilikum hat sich eine solche ergänzende organische Flüssigdüngung bewährt (DEGEN et al., 2006). Soll die Düngung über eine Vollbevorratung geschehen, so ist der organische Dünger platziert in das untere Topfdrittel einzuarbeiten. Nach Untersuchungen von BECK und JAKSCH (2006) können durch eine solche Punktdüngung mit 800 bis 2000 mg N/L Substrat stets höhere Frischmasseerträge erzielt werden als bei einer gleichmäßigen Düngereinmischung in das Substrat.

Schlussfolgerungen

Basilikum ist nach den vorliegenden Ergebnissen als eine moderat NH_4^+ -sensitive Pflanzenart einzustufen. Im ökologischen Anbau dieser Topfkräuterart kann es daher insbesondere in der ersten Kulturhälfte, wenn Ammonium als einzige pflanzenverfügbare Stickstoffform vorliegt, zu Wachstumsinderungen und Qualitätsbeeinträchtigungen kommen. Um dem Problem zu begegnen, wird empfohlen, organisch gedüngte Substrate vor der Verwendung einige Zeit zu lagern, damit dem Basilikum von Kul-

turbeginn an Nitrat als weitere mineralische Stickstoffform zur Verfügung steht. In Hinblick auf vermarktungsrelevante Produkteigenschaften wie Kompaktheit des Sprosses, intensive Grünfärbung der Blätter sowie hohe Turgeszenz und Vitalität der Pflanzen sind bei ausgeglichenem $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -Angebot die besten Kulturergebnisse zu erwarten.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Firmen Klasmann-Deilmann GmbH, Geeste und BASF SE, Ludwigshafen, für die Bereitstellung des im durchgeführten Versuch eingesetzten Kultursubstrates bzw. Nitrifikationshemmstoffes.

Literatur

- BEAMAN, A.R., 2008: Irradiance, total nitrogen, and nitrate-N: ammonium-N ratio requirements for optimal edible biomass production of basil. Dissertation, Iowa State University, 64 S.
- BECK, M., T. JAKSCH, 2003: Jahreszeitlich angepasste Nährstoffmengen. <http://www.hortigate.de/bericht?nr=19404> (Zugriff am 16.06.2015).
- BECK, M., T. JAKSCH, 2006: Punktförmige Düngerablage mit erhöhten Erträgen und geringeren Auflaufproblemen. <http://www.hortigate.de/bericht?nr=35004> (Zugriff am 19.07.2015).
- BERGMANN, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. 3. Aufl. Jena, Gustav Fischer Verlag, 835 S.
- BETTIN, A., 2011: Kulturtechnik im Zierpflanzenbau. Stuttgart, Eugen Ulmer, 360 S.
- BRITTO, D.T., H.J. KRONZUCKER, 2002: NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology* **159** (6), 567-584.
- COSKUN, D., D.T. BRITTO, M. LI, A. BECKER, H.J. KRONZUCKER, 2013: Rapid ammonia gas transport accounts for futile transmembrane cycling under $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ toxicity in plant roots. *Plant Physiology* **163** (4), 1859-1867.
- DALLMANN, M., 2009: Einsatzmöglichkeiten von Schnelltests zur Düngungsoptimierung im Zierpflanzenbau. Schriftenreihe des Sächsisches Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 10, 42 S.
- DEGEN, B., R. KOCH, 2014: Für die organische Düngung von Topfbasilikum besteht weiter Optimierungsbedarf. <http://www.hortigate.de/bericht?nr=61264> (Zugriff am 03.06.2015).
- DEGEN, B., R. KOCH, M. SCHENK, 2006: Organische Flüssigdüngung mit OPF vermindert das Risiko von Wachstumsproblemen bei Topfbasilikum. <http://www.hortigate.de/bericht?nr=34802> (Zugriff am 20.06.2015).
- DIN EN, 13037:2012-01, 2012: Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des pH-Wertes. Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Beuth Verlag.
- DRUNKEMÜHLE, J., 2015: Verkaufshöhe Basilikum. Gartenbauzentrale eG (GBZ). (Persönliche Mitteilung, E-Mail vom 07.08.2015).
- DZIDA, K., 2011: Influence of nitrogen nutrition and cultivar on quality of sweet basil herbs. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska* **24** (3), 125-132.
- DZIDA, K., Z. JAROSZ, K. PITURA, 2013: Changes in the content of total nitrogen and mineral nitrogen in the basil herb depending on the cultivar and nitrogen nutrition. *Modern Phytomorphology* **3**, 63-67.
- GERENDÁS, J., Z. ZUH, R. BENDIXEN, G. RATCLIFFE, B. SATTELMACHER, 1997: Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **160** (2), 239-251.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, J.L., M.N. RODRÍGUEZ-MENDOZA, P. SÁNCHEZ-GARCÍA, B. OSORIO-ROSALES, L.I. TREJO-TÉLLEZ, G. ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, M. SANDOVAL-VILLA, 2009: Ammonium/Nitrate Ratios in Hydroponic Production of Aromatic Herbs. *Acta Horticulturae (ISHS)* **843**, 123-128.
- GROOS, U., 2011: Kräutertag Einführung und Situation. <http://www.oekoplant-ev.de/images/stories/groos.pdf> (Zugriff am 02.06.2015).

- HAAS, H.P., B. HAUSER, F. KOHLRAUSCH, D. LOHR, 2015: Frühblüher: Ist die organische Düngung schon praxisreif? Gärtnerbörse **40** (6), 38-41.
- HEUBERGER, H., A. KREUZMAIR, F. WEH, S. VON TUCHER, W.H. SCHNITZLER, 2005: Vegetabile Dünger als Stickstoffquelle für Topfbasilikum: Freisetzung und Aufnahme von Stickstoff aus vegetabilen Düngern bei Basilikum (*Ocimum basilicum* L.) in Topfkultur. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen **10** (3), 140-143.
- HOFFMANN, G., 1997: Methodenbuch des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Band 1, Darmstadt, VDLUFA-Verlag, 2. Teillieferung.
- KIFERLE, C., R. MAGGINI, A. PARDOSSI, 2013: Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in hydroponic culture. Australian Journal of Crop Science **7** (3), 321-327.
- KOCH, R., H. SAUER, 2013: Basilikum im Topf. Gemüse **49** (3), 49-50.
- MEINKEN, E., P. FISCHER, 1990: Zur Bedeutung von Nitrit und Sauerstoff in der Düngerlösung bei der Kultur von Topfpflanzen im Ebbe/Flut-Verfahren. In: Geschlossene Kulturverfahren – Zierpflanzenbau (L. JENNERICH, H.-D. MOLITOR, Hrsg.), TASPO-Praxis, Heft 18, S. 47-56, Braunschweig, Verlag Bernhard Thalacker.
- MILLER, R.O., 1998: Extractable Chloride, Nitrate, Orthophosphate, Potassium, and Sulfate-Sulfur in Plant Tissue: 2% Acetic Acid Extraction. In: Handbook of Reference Methods for Plant Analysis (Y.P. KALRA, ed.), S. 85-88, Boca Raton, CRC Press.
- ORSINI, F., S. DE PASCALE, 2007: Daily Variation in Leaf Nitrate Content of Two Cultivars of Hydroponically Grown Basil. Acta Horticulturae (ISHS) **952**, 651-657.
- RÖBER, R., H. SCHACHT, 2008: Pflanzenernährung im Gartenbau. 4. Aufl., Stuttgart, Eugen Ulmer, 444 S.
- RÖMHELD, V., 1986: pH-Veränderungen in der Rhizosphäre verschiedener Kulturpflanzenarten in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot. Kali-Briefe (Büntehof) **18** (1), 13-30.
- ROOSTA, H.R., J.K. SCHJØRRING, 2008: Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. Journal of Plant Nutrition, **31** (7), 1270-1283.
- SAADATIAN, M., G. PEYVAST, J.A. OLFATI, P. RAVEZANI-KHARAZI, 2014: Different species of basil need different ammonium to nitrate ratio in hydroponics' system. Acta Agriculturae Slovenica **103** (2), 223-232.
- SCHINNER, K., 2001: Signalanalyse der Austauschvorgänge zwischen Photosynthese und Respiration in Hinblick auf die Stickstoffform abhängige Lichtstresstoleranz. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel, 145 S.
- SCHENK, M., 1977: Einfluss von Ammoniak im Nährsubstrat auf Wachstum, Nährelementgehalt und Stoffwechselprozesse verschiedener Pflanzenarten. Dissertation, Technische Universität Hannover, 124 S.
- SCHMIDT, U., 2015: Keimblattschäden an Basilikum. Beratungsdienst Reichenau eG. (Persönliche Mitteilung, E-Mail vom 06.07.2015).
- SCHMITZ, H.-J., P. FISCHER, T. JAKSCH, F.-W. FRENZ, 1997: Wie Gewürzkräuter düngen? Deutscher Gartenbau **51** (48), 15-17.
- SCHMITZ, H.-J., P. FISCHER, 2003: Vegetabile Dünger in Substraten für den ökologischen Gemüseanbau. Gemüse **39** (2), 18-22.
- TESI, R., G. CHISCI, A. NENCINI, R. TALLARICO, 1995: Growth response to fertilization of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Acta Horticulturae (ISHS) **390**, 93-96.
- WIESLER, F., 1997: Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science **160** (2), 227-238.