

Lehrstuhl für Gemüsebau

**Einfluss des arbuskulären Mykorrhizapilzes  
*Glomus intraradices* SCHENCK & SMITH auf den  
Ertrag und die Nährstoffaufnahme  
verschiedener Gewürzkräuterarten**

Folko Kullmann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Joachim Meyer

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Wilfried. H. Schnitzler
2. Univ.-Prof. Dr. Urs Schmidhalter

Die Dissertation wurde am 31.07.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 30.09.2002 angenommen.

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand im Zeitraum von 1998 bis 2002 am Lehrstuhl für Gemüsebau an der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan. Die Arbeit wurde durch die finanzielle Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Rahmen eines Verbundprojektes mit den Lehrstühlen für Botanik sowie Holzkunde und Holztechnik der TU München ermöglicht. Bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Bertold Hock und Prof. Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Gerd Wegener, sowie deren Mitarbeitern Dr. Josef Böhm vom Lehrstuhl für Botanik sowie Frau Dr. Elisabeth Windeisen und Dr. Michael Makas vom Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik für die intensive fachübergreifende Zusammenarbeit.

Ganz besonders möchte ich mich bei Prof. Dr. Wilfried H. Schnitzler für die Überlassung des Themas und die gewährten Freiheiten bedanken. Das in mich gesetzte Vertrauen und die in jeder Phase gewährte Unterstützung haben sehr zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Gemüsebau, Frau Dr. Heidi Heuberger und Frau Dr. Ruth Habegger und Dr. Nazim Gruda gilt mein besonderer Dank für die gute Zusammenarbeit und den regen Informationsaustausch. Ohne die Mithilfe der Kolleginnen und Kollegen in der Versuchsstation Dürnast unter Leitung von Georg Reiter und Ulrich Grotz wäre die Durchführung und Auswertung der Versuche nicht möglich gewesen. Ferner möchte ich mich bei Prof. Dr. Joachim Mayer für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsverfahrens und bei Prof. Dr. Urs Schmidhalter für die Übernahme des zweiten Gutachtens bedanken.

Mein ganz persönlicher Dank gilt meinen Eltern, die mir mit uneingeschränkter Unterstützung jederzeit zur Seite gestanden haben.

Stuttgart, im November 2002

Folko Kullmann

**Inhalt**

Inhalt .....	2
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	7
1 Anlass und Ziel der Dissertation .....	8
2 Stand des Wissens .....	12
2.1 Biologie und Systematik arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP) .....	12
2.1.1 Biologie arbuskulärer Mykorrhizapilze .....	12
2.1.2 Systematik arbuskulärer Mykorrhizapilze.....	15
2.2 Einflüsse der AMP auf die Nährstoffgehalte.....	16
2.2.1 Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Stickstoff .....	17
2.2.1.1 Stickstoff im Boden .....	18
2.2.1.2 Aufnahme von Stickstoff durch die Pflanze.....	19
2.2.1.3 Aufnahme von Stickstoff durch AMP.....	19
2.2.2 Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Phosphor .....	21
2.2.2.1 Phosphor im Boden .....	22
2.2.2.2 Aufnahme von Phosphor durch die Pflanze .....	22
2.2.2.3 Aufnahme von Phosphor durch AMP.....	23
2.2.3 Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Kalium.....	23
2.2.3.1 Kalium im Boden.....	23
2.2.3.2 Aufnahme von Kalium durch die Pflanze .....	24
2.2.3.3 Aufnahme von Kalium durch AMP .....	24
3 Material und Methoden .....	26
3.1 Material.....	26
3.1.1 Pflanzen.....	26
3.1.1.1 Pflanzenarten.....	26
3.1.2 Mykorrhiza .....	26
3.1.2.1 Pilzart .....	26
3.1.2.2 Inokulum .....	27
3.1.3 Dünger .....	27
3.1.4 Kultursubstrate.....	28
3.2 Methoden.....	29
3.2.1 Allgemeine Versuchsbedingungen.....	29
3.2.1.1 Versuchsstandort und Rahmenbedingungen .....	29
3.2.1.2 Klimasteuerung .....	29
3.2.1.3 Bewässerung .....	29
3.2.1.4 Mykorrhizainokulation mit Glomus intraradices.....	30
Inokulumproduktion.....	30
Inokulation der Versuchspflanzen .....	31
3.2.1.4 Pflanzenschutz.....	31
3.2.2 Versuche zur Stickstoffdüngung .....	32
3.2.2.1 Nährstoffversorgung und Berechnung der Stickstoffgaben.....	32
3.2.2.2 Versuch 1 (2000) - Stickstoffdüngung I.....	33
3.2.2.3 Versuch 2 (2001) - Stickstoffdüngung II.....	34
3.2.3 Versuche zur Phosphordüngung.....	34
3.2.3.1 Nährstoffversorgung und Berechnung der Phosphatgaben .....	35
3.2.3.2 Versuch 3 (2000) – Phosphordüngung I .....	35
3.2.3.3 Versuch 4 (2001) – Phosphordüngung II .....	36

## Inhalt

3.2.4	Mykorrhizanachweis .....	37
3.3	Parameter und Messmethoden.....	38
3.3.1	Pflanzenbauliche Parameter.....	38
	Frischmasse.....	38
	Trockenmasse .....	38
	Trockensubstanz.....	38
	Pflanzenanalysen.....	39
3.3.2	Substratanalysen .....	39
	Volumengewicht.....	39
	pH-Wert .....	39
	Salzgehalt .....	39
	Hauptnährstoffe .....	40
3.3.3	Mykorrhizakolonisierung .....	40
3.4	Statistik .....	40
4	Ergebnisse .....	42
4.1	Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Basilikum .....	42
4.1.1	Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Basilikum .....	42
4.1.2	Frischmasseerträge von Basilikum .....	43
4.1.3	Trockenmasseerträge von Basilikum .....	45
4.1.4	Trockensubstanzgehalte von Basilikum.....	48
4.1.5	Nährstoffgehalte von Basilikum.....	49
4.1.5.1	Stickstoffgehalte von Basilikum.....	49
4.1.5.2	Phosphorgehalte von Basilikum.....	51
4.1.5.3	Kaliumgehalte von Basilikum .....	53
4.2	Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Petersilie .....	55
4.2.1	Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Petersilie .....	55
4.2.2	Frischmasseerträge von Petersilie.....	56
4.2.3	Trockenmasseerträge von Petersilie.....	59
4.2.4	Trockensubstanzgehalte.....	61
4.2.5	Nährstoffgehalte von Petersilie .....	62
4.2.5.1	Stickstoffgehalte von Petersilie .....	63
4.2.5.2	Phosphorgehalte von Petersilie .....	65
4.2.5.3	Kaliumgehalte von Petersilie.....	67
4.3	Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Schnittlauch .....	69
4.3.1	Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Schnittlauch .....	69
4.3.2	Frischmasseerträge von Schnittlauch .....	70
4.3.3	Trockenmasseerträge von Schnittlauch .....	72
4.3.4	Trockensubstanzgehalte.....	74
4.3.5	Nährstoffgehalte von Schnittlauch .....	75
4.3.5.1	Stickstoffgehalte von Schnittlauch .....	75
4.3.5.2	Phosphorgehalte von Schnittlauch.....	76
4.3.5.3	Kaliumgehalte von Schnittlauch .....	78
4.4	Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Estragon .....	80
4.4.1	Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Estragon .....	80
4.4.2	Frischmasseerträge von Estragon .....	81
4.4.3	Trockenmasseerträge von Estragon .....	83

## Inhalt

4.4.4	Trockensubstanzgehalte .....	85
4.4.5	Nährstoffgehalte von Estragon.....	87
4.4.5.1	Stickstoffgehalte von Estragon.....	87
4.4.5.2	Phosphorgehalte von Estragon.....	89
4.4.5.3	Kaliumgehalte von Estragon .....	91
5	Diskussion.....	93
5.1	Kolonisierung der Pflanzenwurzeln mit <i>Glomus intraradices</i> .....	94
5.2	Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Basilikum .....	97
5.3	Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Petersilie.....	100
5.4	Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Schnittlauch	103
5.5	Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Estragon .....	104
5.6	Allgemeines .....	106
5.6.1	Witterung .....	106
5.6.2	Mischungsverhältnis des organischen N-Düngers .....	107
5.6.3	Einsatz von Knochenmehl als organischer P-Dünger .....	108
5.6.4	Spezifische Interaktionen zwischen Wirtspflanze und Mykorrhizapilz	109
6	Zusammenfassung .....	111
	Abstract.....	114
7	Literatur.....	116

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1.1:	Absatzmengen von Topfkräutern in Mio. Töpfe .....	10
Abb. 1.2:	Erlöse von Topfkräutern in Mio. DM.....	10
Abb. 2.1:	Taxonomische Klassifikation der Ordnung Glomales (MORTON & BENNY 1990) .....	15
Abb. 4.1:	Frischmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	44
Abb. 4.2:	Frischmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	44
Abb. 4.3:	Trockenmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	46
Abb. 4.4:	Trockenmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	47
Abb. 4.5:	Stickstoffgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	50
Abb. 4.6:	Stickstoffgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	51
Abb. 4.7:	Phosphorgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	52
Abb. 4.8:	Phosphorgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	53
Abb. 4.9:	Kaliumgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	54
Abb. 4.10:	Kaliumgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers.....	55
Abb. 4.11:	Frischmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	57
Abb. 4.12:	Frischmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	58
Abb. 4.13:	Trockenmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	60
Abb. 4.14:	Trockenmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	60
Abb. 4.15:	Stickstoffgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	64
Abb. 4.16:	Stickstoffgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	64
Abb. 4.17:	Phosphorgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	66
Abb. 4.18:	Phosphorgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	66
Abb. 4.19:	Kaliumgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	68
Abb. 4.20:	Kaliumgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers.....	68
Abb. 4.21:	Frischmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	71

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.22:	Frischmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	71
Abb. 4.23:	Trockenmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	73
Abb. 4.24:	Trockenmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	73
Abb. 4.25:	Stickstoffgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	76
Abb. 4.26:	Stickstoffgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	76
Abb. 4.27:	Phosphorgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	77
Abb. 4.28:	Phosphorgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	78
Abb. 4.29:	Kaliumgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	79
Abb. 4.30:	Kaliumgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	79
Abb. 4.31:	Frischmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	81
Abb. 4.32:	Frischmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	82
Abb. 4.33:	Trockenmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	84
Abb. 4.34:	Trockenmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	84
Abb. 4.35:	Stickstoffgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	88
Abb. 4.36:	Stickstoffgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	88
Abb. 4.37:	Phosphorgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	90
Abb. 4.38:	Phosphorgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers .....	90
Abb. 4.39:	Kaliumgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers .....	92
Abb. 4.40:	Kaliumgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers.....	92

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Phosphor- und Stickstoffgehalte der eingesetzten Düngemittel.....	27
Tab. 3.2:	Kenngrößen des Bewässerungswassers:.....	28
Tab. 3.3:	Eigenschaften der Ausgangssubstrate .....	28
Tab. 3.4:	Nährlösung zur Kultur von <i>Tagetes</i> für die Inokulumsproduktion.....	30
Tab. 3.5:	Versuch 1, Zusammensetzung der Substratmischungen und Düngeranteil.....	33
Tab. 3.6:	Versuch 1, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Pikieren) .....	33
Tab. 3.7:	Versuch 2, Zusammensetzung der Substratmischungen und Düngeranteil.....	34
Tab. 3.8:	Versuch 2, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Aussaat) .....	34
Tab. 3.9:	Versuch 3 und 4, Zusammensetzung der Substratmischungen und Düngeranteil.....	35
Tab. 3.10:	Versuch 3, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Pikieren) .....	36
Tab. 3.11:	Versuch 4, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Aussaat) .....	36
Tab. 3.12:	Zusammensetzung von Formaldehyd-Acetat-Alkohol (FAA) .....	37
Tab. 3.13:	Reagenzien zum Mykorrhizanachweis nach KORMANIK und MCGRAW (1984) .....	37
Tab. 3.14:	Beschreibung der Boniturwerte der von <i>Glomus intraradices</i> kolonisierten Wurzeloberfläche .....	40
Tab. 4.1:	Kolonisierung der Basilikumwurzeln mit <i>Glomus intraradices</i> in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4).....	42
Tab. 4.2:	Trockensubstanz in % der Frischmasse von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P- Düngerform (Versuch 3 und 4).....	49
Tab. 4.3:	Kolonisierung der Petersilienwurzeln mit <i>Glomus intraradices</i> in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4).....	56
Tab. 4.4:	Trockensubstanz in % der Frischmasse von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P- Düngerform (Versuch 3 und 4).....	62
Tab. 4.5:	Kolonisierung der Schnittlauchwurzeln mit <i>Glomus intraradices</i> in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3).....	69
Tab. 4.6:	Trockensubstanz in % der Trockenmasse von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3).....	74
Tab. 4.7:	Kolonisierung der Estragonwurzelnwurzeln mit <i>Glomus intraradices</i> in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4).....	80
Tab. 4.8:	Trockensubstanz in % der Trockenmasse von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P- Düngerform (Versuch 3 und 4).....	86



## 1 Anlass und Ziel der Dissertation

Seit der Entdeckung der Symbiose zwischen verschiedenen Pilzen und höheren Pflanzen wird versucht, diese für die Kultur von Pflanzen nutzbar zu machen. Aus der Literatur ist hinlänglich bekannt, dass arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMP) die Nährstoffgehalte von Pflanzen verbessern können. Vor allem positive Einflüsse auf die Nutzung schwer verfügbarer Phosphatquellen waren Mittelpunkt des Interesses. In den letzten Jahren hat sich die Forschung zunehmend mit dem Einfluss der AMP auf die Stickstoffernährung beschäftigt (SMITH et al. 1986, BAREA et al. 1987, JOHANSEN et al. 1994, MÄDER 1996, MÄDER 1999, HODGE et al. 2001).

Sowohl Untersuchungen zu Phosphat- als auch Stickstoffgehalten beschäftigen sich mit anorganischen (mineralischen) Nährstoffquellen. Über die Nutzung anderer (organischer) Quellen ist wenig bekannt (GEORGE et al. 1995). Bis vor kurzem gab es aber auch keine Hinweise darauf, dass AMP an der Umsetzung organischer Materie im Boden beteiligt sind (JEFFRIES und BAREA 1994). HODGE et al. berichten 2001 zum ersten Mal über den Einfluss von AMP auf den Abbau organischer Materie im Boden.

Gerade die Nutzung organischer Nährstoffquellen tritt in zunehmendem Maße in den Mittelpunkt des Interesses. Verbraucher sowie Lebensmittelhandel und -industrie verlangen immer häufiger Produkte aus „ökologischer, organischer oder biologischer Produktion“ (WEISSENHORN und FELDMANN 1999). Die Richtlinien der Bioverbände (NATURLAND 1999, BIOLAND 2001, DEMETER 2001) beinhalten in der Regel neben verschiedenen Auflagen für den Pflanzenschutz auch ein Verbot mineralischer Düngemittel. In der Landwirtschaft und der gartenbaulichen Produktion im Freiland stehen verschiedene organische Dünger zur Verfügung (Gülle, Hornspäne etc.), die bei abgestimmten Kulturverfahren eine gesicherte Nährstoffversorgung der Pflanzen gewährleisten.

Die gärtnerische Pflanzenproduktion unter Glas geschieht heute meist in Substratkulturen. Vorteil dieser erdelosen Kulturverfahren ist die ständige Kontrollierbarkeit und Steuerbarkeit der Nährstoffversorgung der Pflanze. Die

## Anlass und Ziel

Richtlinien der Bioverbände schreiben vor, dass bei Pflanzsubstraten der Anteil von Torf maximal 70 Vol.-% betragen darf und 30 Vol.-% aus anderen Substratrohstoffen bestehen müssen. Dies können z.B. Komposte, Rindenumus, Kokosfaser oder Holzfasern sein. Eine Möglichkeit der Versorgung der Pflanze mit den notwendigen Nährstoffen in einem solchen System ist die Beimischung von Grüngutkomposten oder langsam fließenden Dauerdüngern zum Substrat. In der Praxis werden Kunstharz ummantelte Nährsalze bereits seit Jahren erfolgreich angewendet. Da aber viele Substratkulturen (z.B. Topfkräuter) nur eine verhältnismäßig kurze Kulturzeit haben, stellt eine organische Düngung aufgrund der langsamen und relativ unvorhersehbaren Freisetzung der Nährstoffe den Produzenten vor viele Probleme. Grüngutkomposte zeichnen sich zudem durch einen relativ geringen Stickstoffgehalt aus. Die Versorgung der Pflanze mit Phosphor und Kalium, sowie Mikronährstoffen kann durch Kompost gewährleistet werden, die Versorgung mit Stickstoff stellt den Kultivateur, der auf mineralische Düngemittel verzichten muss, jedoch vor große Probleme.

Durch eine Kultur der Pflanzen in Symbiose mit AMP kann die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe (vor allem Stickstoff und Phosphor) verbessert werden. In den Jahren 2000 und 2001 wurde repräsentativ an vier wirtschaftlich wichtigen Pflanzenarten (Topfkräutern) aus vier Pflanzenfamilien untersucht, welchen Einfluss die AMP auf die Aufnahme von Stickstoff und Phosphat aus verschiedenen Düngerquellen haben. Zusätzlich wurde die Aufnahme von Kalium mit einbezogen. Über die untersuchten Pflanzenarten Basilikum (*Ocimum basilicum* L.; Lamiaceae), Petersilie (*Petroselinum crispum* (MILL.) NYMAN ex A.W. HILL; Apiaceae), Estragon (*Artemisia dracuncululus* L.; Asteraceae) und Schnittlauch (*Allium schoenoprasum* L.; Alliaceae) gibt es praktisch keine Veröffentlichungen in Zusammenhang mit arbuskulären Mykorrhizapilzen. Anhand von Literaturdaten können deshalb Einflüsse von AMP auf das Pflanzenwachstum und die Nährstoffgehalte nur allgemein erläutert und diskutiert werden. Auf Grund des Einflusses von Pilzisolat und Pflanzenart bzw. –sorte auf die Ausbildung und Wirkung einer Mykorrhiza (SMITH und READ 1997) und die sich dadurch ergebenden sortenspezifischen Reaktionen wurde auf den Bezug auf der Ebene der Pflanzenfamilie verzichtet, da eine vergleichende Aussage nicht möglich ist.

## Anlass und Ziel

Der Anbau von Gewürzkräutern im Topf hat im Erwerbsgartenbau in den letzten Jahren um mehr als ein Drittel zugenommen (Abb. 1.1). Gerade in den Wintermonaten kann dem Verbraucher im urbanen Umfeld ein Frischprodukt aus heimischer Produktion angeboten werden. Bemerkenswert ist die Diversifikation in der Kategorie „Sonstige Gewürzkräuter“. Neben Schnittlauch und Petersilie gehören heute auch Kräuterarten wie Basilikum, Thymian, Estragon, Oregano u.a. zum Standardsortiment. Für den Erwerbsgartenbau ist ein neuer Produktionszweig mit entsprechenden Vermarktungswegen entstanden. Die erzielten Erlöse haben sich seit 1990 mehr als verdoppelt (Abb. 1.2). (ZMP MARKTBILANZ 1994, 1997, 2001)

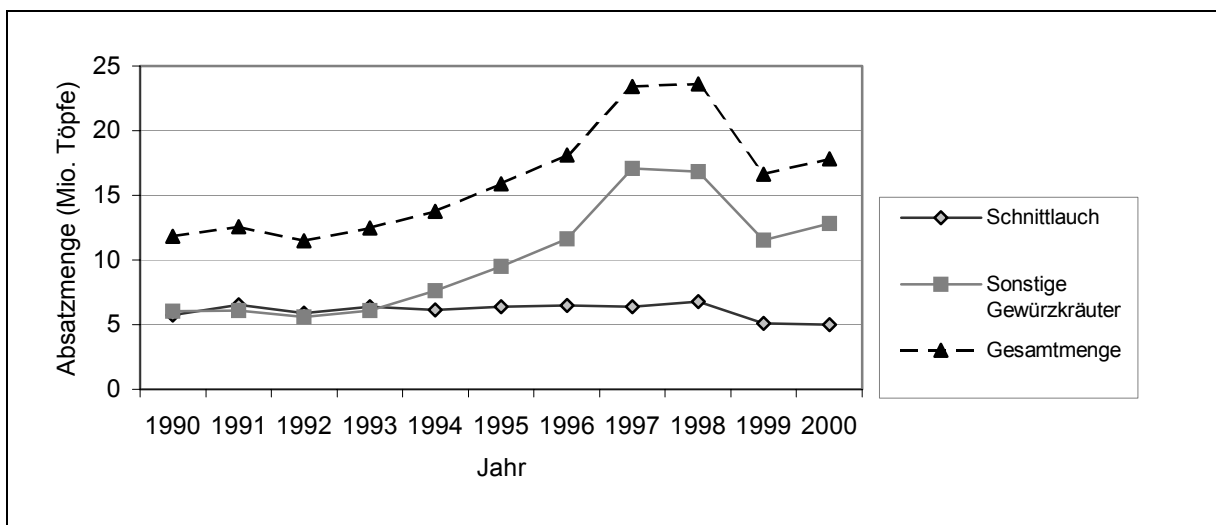


Abb. 1.1: Absatzmengen von Topfkräutern in Mio. Töpfe

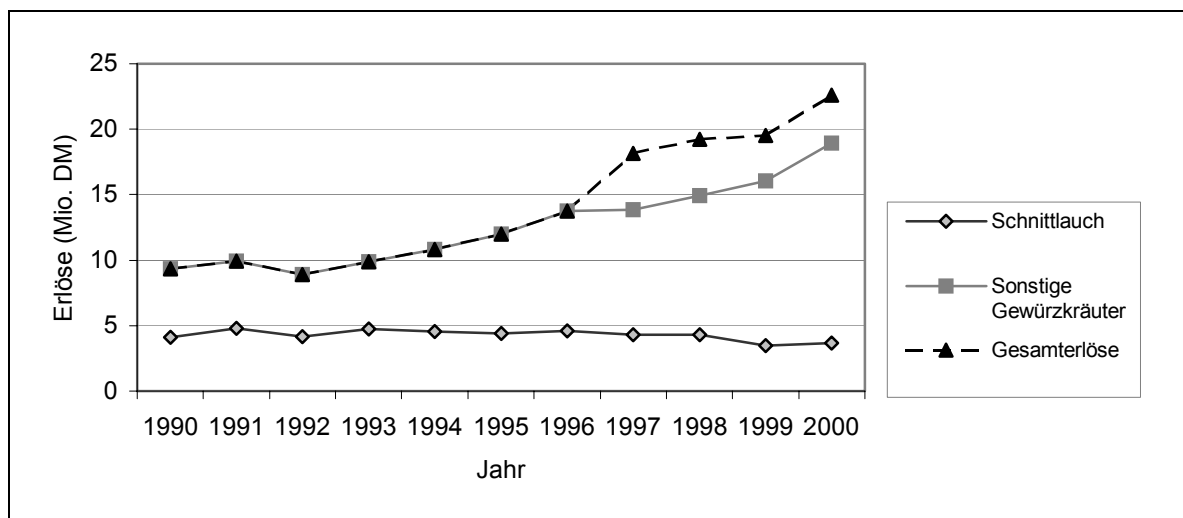


Abb. 1.2: Erlöse von Topfkräutern in Mio. DM

Der praktische Nutzen einer Kultur mit AMP kann in einer Verbesserung der Produkthaltbarkeit durch eine induzierte Resistenz gegen Trockenstress liegen. Dies

## Anlass und Ziel

ist vor allem beim Transport, bei der Lagerung im Handel und beim Verbraucher von Vorteil. Zusätzlich ist durch ein besseres Wachstum eine schnellere Vermarktung möglich, die es dem Produzenten ermöglichen könnte, innerhalb einer Kulturperiode mehr Sätze anzubauen oder zum Ende der Vegetationsperiode die Kulturanlagen früher zu räumen, und so Heizkosten einzusparen.

Um den Einfluss arbuskulärer Mykorrhizapilze auf das Wachstum und die Aufnahme bestimmter Nährstoffe zu untersuchen, wird meist ein Versuchsaufbau gewählt, der der Pflanze zwei Kompartimente als Nährstoffdepot zur Verfügung stellt. Während die Pflanze in einem Kompartiment kultiviert wird, ist das zweite durch ein engmaschiges Netz vom ersten getrennt, durch das nur Pilzhyphen, aber keine Wurzeln, wachsen können. So ist zwar eine Zuordnung der Nährstoffaufnahme zu Pilzhyphne oder Pflanzenwurzel, eine Übertragung der Ergebnisse auf praktische Anwendungen, z.B. im Gartenbau, nur sehr begrenzt möglich.

Um anwendungsrelevante Ergebnisse zu erhalten, wurden die Versuche unter Praxisbedingungen angelegt und durchgeführt. Dies bedeutet einerseits, dass eine Zuordnung der Nährstoffaufnahme zu Pilz oder Pflanze nicht möglich ist, andererseits aber eine Aussage darüber zulässt, ob die Kultur der untersuchten Gewürzkräuterarten in Symbiose mit AMP praktische Vor- oder Nachteile für bringt.

Diese Dissertation wurde im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Verbundprojektes von 1997 bis 2001 durchgeführt. Ziel des Projektes „Holz und Holzfasern als Mischkomponente zu Grüngutkomposten (DBU AZ 08205) war die Entwicklung torffreier Kompost- und Holzsubstrate für den gärtnerischen Pflanzenbau. Beteiligt waren von universitärer Seite der Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik und der Lehrstuhl für Botanik (Technische Universität München) und die Unternehmen Toresa Deutschland GmbH, Lägerdorf, BBG Donauwald mbH, Außernzell und Gebr. Patzer GmbH & Co. KG, Sinntal-Jossa.

## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Biologie und Systematik arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP)

Der Begriff „Mykorrhiza“ wurde 1885 von FRANK eingeführt. Er setzt sich aus den beiden griechischen Worten für Pilz (= mykes) und Wurzel (= rhiza) zusammen. Die verschiedenen mykorrhizierten Typen werden heute in sieben Gruppen eingeteilt (PETERSON und FARQUHAR 1994). Der häufigste Typ ist hierbei die arbuskuläre Mykorrhiza (AM), die auch als vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza (VAM) bezeichnet wird (SMITH 1995). SMITH und GIANINAZZI-PEARSON (1988) schätzen, dass ca. 80% der Landpflanzen zu dieser Symbiose befähigt sind. Dazu zählen auch die meisten Nutzpflanzen (z.B. Kartoffel, Sellerie, Zwiebel, Knoblauch, Spargel, Wein, Getreide, Zuckerrohr, Leguminosen und viele Zierpflanzen (FELDMANN 1998). Als nicht mykorrhizierungsfähig gelten bisher alle *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae* und *Polygonaceae* (FELDMANN 1998, WEISSENHORN und FELDMANN 1999).

Erste Nachweise für dieses Zusammenleben von Pilzen mit Pflanzen gibt es schon für das frühe Devon (REMY et al. 1994). PIROZYNSKI und MALLOCH (1975) vermuten sogar, dass die Pflanzen bei der Besiedlung des Landes von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) der Ordnung der Glomales unterstützt wurden. Das hohe Alter dieser Pilze wird auch von Sequenzdaten der kleinen Untereinheit der ribosomalen DNA bestätigt. SIMON et al. (1993) schätzen das Alter der Glomales anhand dieses Merkmals auf 353 bis 462 Millionen Jahre.

#### 2.1.1 Biologie arbuskulärer Mykorrhizapilze

Als arbuskuläre Mykorrhiza (AM) bezeichnet man die symbiotische Assoziation zwischen Zygomyceten (Jochpilzen) der Ordnung Glomales und den Wurzeln der meisten Landpflanzen. Da beide Partner von diesem Zusammenleben profitieren, wird diese Assoziation als mutualistische Symbiose betrachtet. Während der Pilz Wasser und Nährstoffe aus dem Boden aufnimmt und an die Pflanze weitergibt, erhält er als heterotropher Organismus im Gegenzug Kohlenstoffverbindungen

aus der Photosynthese. Pilzhyphen können den Boden schneller und dichter (auf Grund ihres geringeren Durchmessers) besiedeln als Pflanzenwurzeln und erhöhen so die absorbierende Oberfläche. Vor allem bei der Aufnahme von Stickstoff und Phosphat kann eine AM der Pflanze Vorteile verschaffen (SMITH und READ 1997).

Während Ektomykorrhizapilze einen Hyphenmantel um die Wurzel bilden und innerhalb der Pflanzenwurzel nur intrazellulär wachsen, dringen AMP intra- und interzellulär in Epidermis und Kortex von Pflanzenwurzeln ein (ASCON-AGUILAR und BAREA 1997; BONFANTE-FASOLO 1984). Ausgeschlossen hiervon sind Zentralzylinder und das Wurzelmeristem (GIANINAZZI 1991). Abhängig von Pflanzenart und Entwicklungsstadium werden unterschiedliche morphologische Strukturen ausgebildet (BONFANTE und PEROTTO 1995). Prinzipiell lassen sich extra- und intraradikale Hyphenformen unterscheiden. Extraradikale Hyphen dienen der Nährstoff und Wasseraufnahme sowie der schnelleren Kolonisation entfernter Wurzelbereiche („Runner-Hyphae“). An diesen Hyphen entstehen zudem asexuelle Sporen, die der Verbreitung dienen (SMITH und READ 1997).

Diese Dauersporen können lange im Boden überdauern. Sobald geeignete Umweltbedingungen (Feuchtigkeit, Temperatur, pH-Wert) gegeben sind, bildet sich ein Keimschlauch, der durch die in der Spore enthaltenen Lipide, Proteine und Glykogen (BONFANTE et al. 1994) bis zu zwei Wochen auch in Abwesenheit einer geeigneten Wirtspflanze überleben kann (BONFANTE und PEROTTO 1995). Trifft dieser Keimschlauch (oder eine extraradikuläre Hyphe) auf eine Wurzel, so wird durch Anschwellen ein Appressorium ausgebildet (BONFANTE-FASOLO 1984). Aus dieser Schwellung bildet sich eine Penetrationshyphe, die vermutlich mechanisch in die Wurzel eindringt, da der Gehalt an Zellwand hydrolysierenden Enzymen in der Hyphe sehr gering ist (BONFANTE und PEROTTO 1995). Untersuchungen von DUMAS-GAUDOT et al. (1992), FRANKEN und GNADINGER (1994) und HARRISON und DIXON (1994) haben gezeigt, dass die Pflanze auf das Eindringen des Fremdorganismus keine ausgeprägten Verteidigungsmechanismen entwickelt. TAWARAYA-KEITARO et al. (1998) berichten, dass die Formation von Appressorien, und damit die Wurzelkolonisierung, durch hydrophobe Wurzelexudate der Pflanze gefördert wird.

## Stand des Wissens

In der Pflanzenwurzel breitet sich der Pilz bevorzugt longitudinal im Rindenbereich aus und dringt im tieferen kortikalen Bereich auch in Wurzelzellen ein. Dort differenziert sich die Hyphe und bildet durch dichotome Verzweigung eine feine, stark verästelte Struktur, die als Arbuskel bezeichnet wird, aus. Ein solches Arbuskel hat eine individuelle Lebensspanne von 4-14 Tagen (ASCÓN-AGUILAR und BAREA 1997). Die Plasmamembran der Pflanzenzelle, die bei der Zellwandpenetration nicht beschädigt wird, legt sich um die verzweigten Hyphen. An diesem neuen apoplastischen Kompartiment, das auch als „Interface-Kompartiment“ (BONFANTE und PEROTTO 1995) bezeichnet wird, findet dann der Stoffaustausch zwischen Pilz und Pflanze statt, wobei die genauen Transportmechanismen noch nicht geklärt sind (SMITH und READ 1997). Während der Ausbildung des Arbuskels kommt es in der Pflanzenzelle zu deutlichen Veränderungen. Die Vakuole wird fragmentiert und die Anzahl bestimmter Zellorganellen wie den Golgi-Körper steigt signifikant (BONFANTE und PEROTTO 1992). Der Zellkern vergrößert sich und verlagert seine Position in die Mitte der Zelle (BALESTRINI et al. 1992). Diese Modifikationen lassen sich möglicherweise auf Veränderungen des Zytoskeletts zurückführen (GENRE und BONFANTE 1997).

Zusätzlich zu den erwähnten Arbuskeln, die dem Stoffaustausch und damit der Ernährung des Pilzes dienen, werden auch Speicherorgane ausgebildet. Bei Vertretern der Unterordnung Glomineae sind dies so genannte Vesikel. Diese intraradikalen Strukturen sind reich an Lipiden (AMIJEE 1989). Vertreter der Unterordnung Gigasporineae bilden im Gegensatz dazu Hilfszellen an extraradikalem Myzel aus (MORTON und BENNY 1990).

Über extaradikuläre Hyphen und externes Myzel entsteht eine weit verzweigte dreidimensionale Hyphennetzwerk, das nicht nur die Rhizosphäre, sondern den ganzen Boden durchzieht und so auch eine Verbindung zu anderen Pflanzen darstellt und einer schnelleren Kolonisierung der Wurzeln dient (SMITH und READ 1997).

2.1.2 Systematik arbuskulärer Mykorrhizapilze

MORTON und BENNY stellten 1990 die mittlerweile ca. 150 Arten (SMITH und READ 1997) umfassende Ordnung Glomales auf. Als zentrales Charakteristikum dieser Ordnung wurde die Fähigkeit, eine AM auszubilden, definiert. Weiter wurde diese Ordnung in die Unterordnungen Glomineae und Gigasporineae unterteilt. Die Unterordnung Glomineae umfasst die Familie Acaulosporaceae mit den Gattungen *Acaulospora* und *Entrophospora*, und Glomaceae mit den Gattungen *Glomus* und *Sclerocystis*. Die Unterordnung Gigasporineae enthält nur eine Familie, die Gigasporaceae mit den Gattungen *Gigaspora* und *Scutellospora* (Abb. 1).

<p><b>Ordnung:</b> Glomales MORTON &amp; BENNY</p> <p><b>Unterordnung:</b> Glomineae MORTON &amp; BENNY</p> <p><b>Familie:</b> Glomaceae PIROZINSKY &amp; DALPE Gattung: <i>Glomus</i> TULASNE &amp; TULASNE Gattung: <i>Sclerocystis</i> (BERKELEY &amp; BROOME) ALMEIDA &amp; SCHENCK</p> <p><b>Familie:</b> Acaulosporaceae MORTON &amp; BENNY Gattung : <i>Acaulospora</i> (GERDEMANN &amp; TRAPPE) BERCH Gattung: <i>Entrophospora</i> AMES &amp; SCHNEIDER</p> <p><b>Unterordnung:</b> Gigasporineae MORTON &amp; BENNY</p> <p><b>Familie:</b> Gigasporaceae MORTON &amp; BENNY Gattung: <i>Gigaspora</i> (GERDEMANN &amp; TRAPPE) WALKER &amp; SANDERS Gattung: <i>Scutellospora</i> WALKER &amp; SANDERS</p>
--

Abb. 2.1: Taxonomische Klassifikation der Ordnung Glomales (MORTON & BENNY 1990)

MORTON und BENNY (1990) zogen sowohl die Sporenmorphologie wie auch die Art der Sporenkeimung zur Familieneinteilung heran. Weitere wichtige Merkmale sind Größe, Gestalt, Farbe und Ornamentierung der Sporen sowie die Sporenwandstruktur (SCHENCK und PEREZ 1990). Es ist allerdings unklar, ob auch alle Arten die derzeit den Glomales zugeordnet werden, einen mykorrhizialen Status verdienen (ROSENDAHL et al. 1994), da morphologische Merkmale der Hyphen, Arbuskel und Vesikel nicht zur finalen Artbestimmung verwendet werden können, da sie innerhalb der Gattungen zu ähnlich sind (SCHENCK und PEREZ 1990). Dazu kommt noch die Fähigkeit der Wirtspflanze, die Morphologie der Pilze



zu beeinflussen (SMITH und READ 1996) so dass morphologische Merkmale allein keine eindeutige Klassifikation zulassen.

## **2.2 Einflüsse der AMP auf die Nährstoffgehalte**

Arbuskuläre Mykorrhizapilze beeinflussen auf vielfältige Weise verschiedene Aspekte der Pflanzenphysiologie, wie Nährstoffgehalte, Wachstum und Abwehrmechanismen (GIANINAZZI et al. 1990).

Viele Mykorrhizaeffekte lassen sich mit der Verbesserung der Pflanzenernährung durch die AMP erklären, da ähnliche Wirkungen auch bei einer verbesserten Nährstoffversorgung, z.B. durch höhere Düngergaben, zu beobachten sind (SMITH und READ 1997).

Es ist mittlerweile erwiesen, dass mykorrhizierte Pflanzen Elemente wie Phosphor, Stickstoff (als Ammonium), Zink und wahrscheinlich auch Kupfer, die entweder schwer verfügbar oder in geringer Konzentration im Boden vorkommen, effizienter aufnehmen können als nicht mykorrhizierte. Dies äußert sich vor allem in Mangelsituationen in einer Erhöhung der Nährstoffgehalte. Morphologische Veränderungen der Pflanze, wie eine Verringerung der Wurzellängendichte und der Anzahl und Länge der Wurzelhaare (MARSCHNER und DELL 1994) können eine Folge davon sein. Ist die Versorgung, das Angebot oder die Verfügbarkeit der Nährstoffe für die Pflanze ausreichend, so zeigt eine Mykorrhiza oft keine positiven Effekte. Es können im Gegenteil sogar Wachstumsdepressionen auftreten, da der Pilz der Pflanze zu seiner Entwicklung laufend Kohlehydrate entzieht, die dieser für den eigenen Stoffwechsel, die Nährstoffgehalte und – weitergabe benötigt (AZCÓN-AGUILAR und BAREA 1997, SMITH und READ 1997). Zusätzlich erhöht sich mit steigender Nährstoffgehalte (durch den Pilz) auch der Kohlenstoffbedarf der Pflanze, die diesen nur durch erhöhte Photosynthese decken kann (GIANINAZZI und GIANINAZI-PEARSON 1983, AZCÓN-AGUILAR und BAGO 1994).

Die verbesserte Nährstoffversorgung mykorrhizierter Pflanzen lässt sich durch die Erschließung eines größeren Bodenvolumens, aus dem Nährstoffe aufgenommen werden können, erklären. Durch das extraradikale Myzel wird auch die Oberfläche, an der die Nährstoffgehalte stattfinden kann, vergrößert. Die

Effektivität der Hyphen bei der Aufnahme von Nährstoffen liegt in ihrem geringen Durchmesser und der großen Oberfläche. So können Bodenbereiche erschlossen werden, die von Pflanzenwurzeln nicht mehr besiedelt werden können, da die feinen Hyphen (Durchmesser 2 – 20 µm) auch in Bodenporen vordringen, die für Pflanzenwurzeln (Durchmesser 200 µm) schon zu klein sind (ABBOT und ROBSON 1985, FRIESE und ALLEN 1991, JAKOBSON und ROSENDAHL 1990, O'KEEFE und SYLVIA 1992, SMITH und READ 1997). Pro Zentimeter Wurzellänge kann das Hyphennetz eine Länge von bis zu zehn Metern erreichen (JAKOBSON et al. 1992, MÄDER 1999). So können selbst Nährstoffe, die in sehr geringen Konzentrationen in der Bodenlösung vorliegen, noch erschlossen werden (Amberger 1996). Bereits 1971 berichteten SANDERS und TINKER über die Fähigkeit der AMP, Phosphor außerhalb der Rhizosphäre zu erreichen und aufzunehmen. Die Ausbreitung der Pilzhypen von der Wurzeloberfläche kann bis 12 cm betragen (Jakobson et al. 1992, JEFFRIES und BAREA 1994, LI et al. 1991a).

Insgesamt kann also die Effektivität der Nährstoffgehalte und die Ausnutzung erhöht werden. Dieser Effekt beschränkt sich hauptsächlich auf jene Nährstoffe, die eine geringe Mobilität (Phosphor, Ammonium) aufweisen oder im Boden nur in geringen Konzentrationen (Zink, Kupfer) vorliegen. Bei Ionen mit hoher Mobilität (Sulfat, Nitrat) ist die Entstehung einer Depletions (Mangel-)zone um die Wurzel eher unwahrscheinlich und der Einfluss der AMP auf die Aufnahme und den Transport zur und in die Wurzel eher gering. Eine höhere Aufnahme mobiler Nährstoffe ist also eher ein indirekter Effekt eines verbesserten Phosphorgehaltes der Pflanze (GIANINAZZI-PEARSON und GIANINAZZI 1983, AZCÓN-AGUILAR und BAREA 1997).

### 2.2.1 Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Stickstoff

Stickstoff ist ein Makronährstoff, der als Baustein von Proteinen für die Pflanze von essentieller Bedeutung ist. Galt bisher das Hauptaugenmerk dem Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Phosphaten, so richtet sich die Aufmerksamkeit zunehmend auch auf andere Makro- und Mikronährstoffe. Mykorrhizen spielen eine wichtige Rolle im Stickstoffkreislauf und können sowohl zu einem höheren Stickstoffgehalt in den Pflanzen als auch zu einer besseren Ausnutzung des

Angebots im Boden beitragen (SMITH et al. 1986, BAREA et al. 1987, JOHANSEN et al. 1994, BOTTON und CHALOT 1995, MÄDER 1996, MÄDER 1999).

### 2.2.1.1 *Stickstoff im Boden*

Stickstoff liegt im Boden in mineralischer und organischer Form vor. Stickstoffquellen sind die organische Substanz, biologische N-Fixierung (z.B. durch Rhizobakterien bei Leguminosen) und der Eintrag aus der Atmosphäre. Wie viel von diesen N-Quellen jedoch der Pflanze zur Verfügung steht, ist stark von der Aktivität (Nitrifizierung, Denitrifizierung und Stickstoff-Immobilisierung) verschiedener im Boden lebender Mikroorganismen abhängig (SMITH und READ 1997). Normalerweise sind ca. 95 % des Stickstoffs im Boden organisch in Form von Aminosäuren, Amid-Stickstoff, Aminozuckern Nukleinsäuren und als heterozyklisch gebundenes N in Dauerhumusformen gebunden. Der restliche Anteil von 5 % liegt in mineralischer (anorganischer) Form als Ammonium- und Nitratstickstoff vor. Nitrit kommt normalerweise nur in Spuren vor (AMBERGER 1996).

Der organische Stickstoff im Boden wird von Mikroorganismen in die leicht pflanzenverfügbaren mineralischen Formen umgesetzt. Durch die schnelle Nitrifizierung mineralischen Ammoniums überwiegt in landwirtschaftlich und gärtnerisch bewirtschafteten Böden die von der Pflanze leichter assimilierbare Nitratform. In ungestörten Böden oder solchen mit niedrigen pH-Werten kann jedoch auf Grund der geringeren Nitrifikation  $\text{NO}_3^-$  fehlen oder nur in geringen Mengen vorhanden sein (JOHANSEN et al. 1992, RUIZ-LOZANO und AZCÓN 1996, SMITH und READ 1997).

Da Nitrat nicht an Bodenteilchen adsorbiert ist, ist es vor allem in feuchten Böden hochmobil. Der Transport zur Wurzel findet dann durch Massenfluss und Diffusion in der Bodenlösung statt. Eine AM kann also nur bei trockenen Böden und geringer Nitratmobilität eine Rolle bei der N-Aufnahme spielen (TOBAR et al. 1994, MÄDER 1996, SMITH und READ 1997).

Ammonium wird im Gegensatz dazu vor allem bei silikathaltigen Böden an Tonminerale gebunden und ist relativ immobil. So kommt es auch in Böden mit

ausreichender Feuchtigkeit in Mangelsituationen rasch zu einer Depletionszone in der Rhizosphäre. In einer solchen Situation kann die AM einen Beitrag zur Stickstoffernährung der Pflanze leisten (PLASSARD et al. 1986, JOHANSEN et al. 1992, SMITH und READ 1997).

### 2.2.1.2 *Aufnahme von Stickstoff durch die Pflanze*

Stickstoff kann von der Pflanze in verschiedener Form aufgenommen werden. Dies geschieht über die Wurzeln hauptsächlich in Form von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) auf. Der größte Anteil des Ammoniums muss in der Wurzel in organische Substanzen eingebaut werden, da sowohl Ammonium als auch die in Wasser gelöste Form Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) schon in geringen Konzentrationen phytotoxisch sind. Im Gegensatz dazu ist Nitrat in hohem Maße Xylem mobil und kann in den Vakuolen und in Speicherorganen der Wurzel und des Sprosses eingelagert werden. Allerdings muss Nitrat wieder zu Ammonium in der Pflanze reduziert werden, um in organische Strukturen inkorporiert werden zu können (MARSCHNER 1993).

Nitrat wird durch Massenfluss in die Wurzel gegen einen positiven Gradienten aufgenommen. Die Aufnahme ist von der Absorptionskraft der Pflanzenwurzel und deren Oberfläche, die durch Wurzellänge und  $r$ -radius limitiert ist, abhängig. Die Aufnahme von Ammonium in die Pflanze geschieht durch Diffusion und ist ähnlich wie beim Phosphat stärker durch diese als durch die Absorptionskraft der Pflanzenwurzel begrenzt. Für jedes aufgenommene  $\text{NH}_4^+$  muss ein Proton ( $\text{H}^+$ ) abgegeben werden (PLASSARD et al. 1986, SMITH und READ 1997).

### 2.2.1.3 *Aufnahme von Stickstoff durch AMP*

Erhöhte Stickstoffgehalte bei mykorrhizierten Pflanzen lassen sich einerseits durch die Aufnahme und Translokation von Stickstoff durch die Hyphen der AMP und andererseits mit deren Beteiligung am Stickstoffkreislauf im Boden erklären. Die der Pflanzenwurzel zur Verfügung stehende Absorptionsfläche und das erschließbare Bodenvolumen wird durch die Hyphen der AMP vergrößert (JOHANSEN et al. 1994, AZCÓN et al. 1996). Der von AMP aufgenommene Stickstoff

wird aber nicht immer komplett zur Pflanzenwurzel transportiert (GEORGE et al. 1995). Noch immer ist unklar, inwiefern die Stickstoffaufnahme und der –transport im extraradikalen Hyphennetz der AMP in für die Pflanzenernährung signifikanten Mengen geschehen (DODD 1994, SMITH und READ 1997).

Obwohl AMP sowohl Nitrat als auch Ammonium aufnehmen können (TOBAR et al. 1994, JOHANSEN et al. 1996) ist aufgrund der hohen Mobilität von Nitrat im Boden die Bedeutung der Nitrataufnahme durch die AMP für die Pflanze bei ausreichender Bodenfeuchtigkeit eher zu vernachlässigen. In semiariden oder ariden Gebieten mit trockenen Böden kann die Mykorrhizierung durch die Vergrößerung der Absorptionsfläche jedoch die Nitrataufnahme fördern (BAREA et al. 1987, TOBAR et al. 1994, SMITH und READ 1997).

Im Gegensatz dazu ist Ammonium auch bei ausreichender Bodenfeuchte schlecht mobil und liegt in der Regel auch in geringeren Konzentrationen in der Bodenlösung vor als Nitrat. Herrschen Bedingungen vor, bei denen der Pflanze vor allem Ammonium zur Verfügung steht, kann beobachtet werden, dass mykorrhizierte Pflanzen besser mit  $\text{NH}_4$  versorgt sind als nicht-mykorrhizierte. Durch die Pilzhypen kann der Stickstoff auch aus Bodenbereichen außerhalb der Rhizosphäre aufgenommen und schneller zur Pflanze transportiert werden, als er durch Diffusion in der Bodenlösung zur Wurzel gelangen würde (PLASSARD et al. 1986, BAREA et al. 1987, MÄDER 1999).

AMP spielen vorwiegend bei geringer Stickstoffverfügbarkeit eine Rolle für die N-Ernährung der Pflanze. Dies ist dann der Fall, wenn Stickstoff als immobiles Ammonium vorliegt, die Nitratmobilität auf Grund von Trockenheit eingeschränkt ist oder die Pflanze in Konkurrenz um neu mineralisierten Stickstoff z. B. zu Mikroorganismen steht (JOHANSEN et al. 1996).

Wenn der Massenfluss von Stickstoff zur Pflanze jedoch hoch ist, spielt die Aufnahme durch extraradikale Hyphen und der hyphale Transport praktisch keine Rolle. Unterschiede im Wachstum oder im N-Gehalt von mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen sind deshalb nicht immer zu beobachten. Unterschiede werden oft erst dann sichtbar, wenn den Pilzhypen Zugang zu

Stickstoff ermöglicht wird, der von der Wurzel nicht mehr aufgenommen werden kann (JOHANSEN et al. 1992, JOHANSEN et al. 1993).

AMP nehmen bevorzugt Ammonium-Stickstoff auf. JOHANSEN et al. (1992) erklären dies mit energetischen Gründen, da die Assimilation von  $\text{NH}_4$  weniger energieaufwändig ist als die Nitratreduktion. Über die Nutzung anderer Stickstoffquellen ist wenig bekannt (George et al. 1995). JOHANSEN et al. (1996) zeigen, dass AMP anorganischen Stickstoff nach der Aufnahme in organische Formen (freie Aminosäuren) umbauen, bevor sie ihn zur Pflanze translozieren. HODGE et al. (2001) berichten von Experimenten, in denen ein saprophytisches Wachstum von AMP und die Aufnahme von Stickstoff aus organischem Material nachgewiesen werden konnte, ohne aber die Mechanismen aufzuklären. Zudem scheinen AMP auch durch pilzeigene Enzyme direkt an der Umsetzung von Stickstoff aus dem organischen Material im Boden beteiligt zu sein (RUIZ-LOZANO und AZCÓN 1996, AZCÓN und TOBAR 1998, SMITH et al. 1986, BAREA et al. 1987, DODD 1994).

Die Stickstoffgehalte der Pflanze wird aber nicht nur durch die direkte Aufnahme von N durch die AMP beeinflusst, sondern auch indirekt durch den Eingriff der AMP in die Enzymaktivität mykorrhizierter Pflanzengewebe. Die Umsetzung von Ammonium (durch Glutaminsynthetase) und Nitrat (durch Nitratreduktase) in der Pflanze wird von AMP gefördert (RUIZ-LOZANO und AZCÓN 1996, AZCÓN und TOBAR 1998). Unklar bleibt allerdings, ob dies durch die verbesserte Phosphorversorgung der Pflanze, wodurch der Phosphorbedarf der Enzyme gedeckt wird, erklärbar ist, oder phosphorunabhängig geschieht (RUIZ-LOZANO und AZCÓN 1996).

Das Vorkommen von Proteinasen wie bei ericoiden Mykorrhizen, einer anderen Gruppe von Mykorrhizapilzen, ist bei arbuskulären Mykorrhizapilzen eher unwahrscheinlich (George et al. 1995).

### 2.2.2 Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Phosphor

Phosphor ist das Nährelement, dessen Rolle bei der Kolonisierung von Pflanzenwurzeln mit AMP am besten erforscht ist. Auch der Einfluss von AMP auf

die Aufnahme von Phosphor und Weitergabe an die Pflanze sind oft untersucht und beschrieben worden.

### 2.2.2.1 *Phosphor im Boden*

Phosphor kommt im Boden in mineralischen und organischen Formen vor. Anorganische Formen sind hauptsächlich Ca-, Al- und Fe-Phosphate. Diese Orthophosphate sind durch ihre geringe Löslichkeit gekennzeichnet. Ferner kommen noch sorbierte Phosphate an der Oberfläche von Al- und Fe-Oxiden, -Hydroxiden und -Oxidhydraten vor. Kalziumphosphate sind schwerlösliche Apatite (Hydroxylapatit und Fluorapatit) sowie die meisten Düngephosphate (Monocalciumphosphat, Dicalciumphosphat, Octocalciumphosphat). Ihre Löslichkeit hängt stark vom pH-Wert der Bodenlösung ab. In Böden mit schwach saurem oder neutralem pH-Wert liegen eher Calciumphosphate, in sauren Böden zunehmend an Al- und Fe-Oxide sorbierte Phosphate vor.

Organische Phosphorverbindungen im Boden sind hauptsächlich Phytate und alle in pflanzlichen oder tierischen Stoffwechselprodukten vorkommende Phosphorverbindungen, z.B. Nukleinsäuren, Phosphatide, Phospholipide, Phosphoproteide oder phosphorylierte Zucker (AMBERGER 1996).

### 2.2.2.2 *Aufnahme von Phosphor durch die Pflanze*

Phosphorverbindungen können von der Pflanze nur in der höchst oxidierten Form als Orthophosphat, normalerweise in Form von  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , aufgenommen werden. Herrschen neutrale oder alkalische Bodenbedingungen vor, so ist auch eine Aufnahme des  $\text{HPO}_4^{2-}$  möglich. Phosphationen gelangen auf enzymatischem Weg im Austausch gegen ein pflanzeigenes Anion ( $\text{OH}^-$  oder  $\text{HCO}_3^-$ ) in die Zelle (AMBERGER 1996). In der Pflanze erfolgt der Transport dann im Xylem entweder in der anorganischen Form ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), an eine Kohlenstoffkette über eine Hydroxylgruppe verestert (z.B. als Zuckerphosphat) oder an ein weiteres Phosphat über eine Pyrophosphatbindung gekettet (MARSCHNER 1993).

### 2.2.2.3 *Aufnahme von Phosphor durch AMP*

Der Effekt der AMP auf die Phosphor-Aufnahme liegt vor allem in ihrem Potential, für die Pflanze nicht erreichbare P-Quellen zu nutzen. Die Aufnahmemechanismen der AMP sind im Wesentlichen mit denen der Pflanzen identisch, auch bei AMP geschieht die Phosphataufnahme gegen einen Konzentrationsgradienten (GIANINAZZI-PEARSON und GIANINAZZI 1986). Durch den geringeren Durchmesser der Hyphen kann P besser aus Mikroporen im Boden aufgenommen werden, vor allem bei abnehmendem Bodenwassergehalt (Kap. 2.2). Die Rate der Phosphorgehalte ist von der P-Konzentration in der Hyphosphäre abhängig (BEEVER und BURNS 1980).

Ähnlich wie in der Rhizosphäre, die durch die Abgabe organischer und anorganischer Substanzen von der Wurzel eine veränderte Nährstoffverfügbarkeit besitzt wie der übrige Boden, kann man auch im Bereich der AMP-Hyphen von einer Hyphosphäre sprechen. LI et al. (1991b) konnte in einem Kompartimentversuch nachweisen, dass der pH-Wert nicht nur im Bereich der Wurzeln, sondern auch im Hyphenkompartiment absank. In der Rhizosphäre können oft höhere Gehalte an sauren Phosphatasen nachgewiesen werden (ADAMS und PATE 1992), die von Wurzeln, Pilzhypen oder anderen Mikroorganismen stammen können (TARAFDAR und CLASSEN 1988). Nach der Aufnahme des Phosphates wird dieses wahrscheinlich als Polyphosphat entlang eines Konzentrationsgradienten von der Hyphenspitze zum Interface-Kompartiment (Kap. 2.1.1) transportiert (HARLEY und SMITH 1983). Dort findet der Austausch zwischen Pilz und Pflanze statt. Die Abgabe von P durch den Pilz in das Interface geschieht passiv, gefolgt von einer aktiven P-Aufnahme durch die Pflanze. JAKOBSON (1994) gibt eine ausführliche Zusammenfassung der Aufnahmemechanismen.

### 2.2.3 Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Kalium

#### 2.2.3.1 *Kalium im Boden*

Kalium liegt im Boden hauptsächlich in silikatischen Formen vor und zwar entweder in primären Mineralen und Gesteinen oder sekundär in Formen, die



durch Verwitterung entstanden sind (Tonminerale). Bei zunehmender Verwitterung „weiten“ sich die Schichten dieser Minerale und Kaliumionen können durch Erdalkali-ionen oder Protonen ersetzt werden und  $K^+$ -Ionen in die Bodenlösung übergehen. Insgesamt kann man so vier Bindungsformen von Kalium im Boden beschreiben:

- als *Gitterkalium* fest im Kristallgitter, z.B. von Feldspäten
- als *Zwischenschichtkalium* in den Zwischenschichten aufweitbarer Tonminerale, z.B. von Vermiculite
- als *Austauschkalium* an der Oberfläche und den Eckpositionen von Tonmineralen sorbiert und durch  $NH_4$  austauschbar (SCHEFFER et al. 1984)
- als *freies Ion* in der Bodenlösung im Gleichgewicht mit der vorigen Form.

Aus der organischen Substanz im Boden wird Kalium leicht gelöst, kann aber kaum an diese gebunden werden. Die organische Kaliumreserve ist deshalb unbedeutend (AMBERGER 1996). In Substraten (also erdelosen Kultursystemen im Gartenbau) liegt Kalium in der Regel als freies Ion vor, da kaum Bindungspartner zur Verfügung stehen, an die es sorbiert werden könnte. In Nährlösungskulturen wird Kalium der Pflanze meist in Form von Kaliumoxid zur Verfügung gestellt.

### 2.2.3.2 *Aufnahme von Kalium durch die Pflanze*

Aufgrund des kleinen Durchmessers und der geringen Bindungsstärke der Hydrathülle, mit der das Kaliumion umgeben ist, erfolgt die Aufnahme durch die Pflanze sehr rasch. Es steht allerdings in Konkurrenz zu anderen Kationen wie  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  oder  $NH_4^+$  (Amberger 1996). Der Transport in der Pflanze erfolgt sowohl akro- wie auch basipetal im Xylem und im Phloem (STRASBURGER et al. 1993).

### 2.2.3.3 *Aufnahme von Kalium durch AMP*

Im Gegensatz zu anderen Nährelementen wie Phosphor oder Stickstoff ist über den Einfluss der AMP auf die Kaliumgehalte wenig bekannt. GEORGE et al. (1992) konnten zwar bei Quecke (*Agropyron repens* L. syn. *Elymus repens* (L.) GOULD)

## Stand des Wissens

einen geringen Anteil (10 %) des in die Pflanze aufgenommenen Kaliums der AMP-Aufnahme zuordnen, die Interpretation dieses Anteils bleibt aber schwierig. Nach MARSCHNER und DELL (1994) reflektiert dieser geringe Anteil nicht notwendigerweise das Potential, welches das externe Hyphennetzwerk beim Transport von Kalium zur Pflanze entwickeln könnte.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Pflanzen

Um einen repräsentativen Eindruck über die Einflussnahme von AMP auf die Nährstoffgehalte zu erhalten, wurden vier verschiedene Pflanzenarten aus vier Familien kultiviert. Die Auswahl richtete sich nach den am häufigsten im Markt anzutreffenden Gewürz- bzw. Küchenkräuterarten.

##### 3.1.1.1 *Pflanzenarten*

1. Basilikum (*Ocimum basilicum* L. 'Großblättriges Grünes', Lamiaceae)
2. Petersilie (*Petroselinum crispum* (MILL.) NYMAN ex A.W. HILL 'Gigante d'Italia', Apiaceae)
3. Schnittlauch (*Allium schoenoprasum* L. 'Wagners Staro', Alliaceae)
4. Estragon (*Artemisia dracuncululus*, L. Asteraceae)

Das Saatgut stammte von der Fa. Juliwa, Heidelberg.

##### 3.1.2 Mykorrhiza

##### 3.1.2.1 *Pilzart*

Bei den Versuchen wurde ein Stamm der Gattung *Glomus* eingesetzt, der seit 1995 am Lehrstuhl für Gemüsebau der Technischen Universität München (TUM) kultiviert und vermehrt wird. Im Rahmen eines in den Jahren 1997 bis 2000 durchgeführten Verbundprojektes, welches von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde, konnte die Art eindeutig aufgrund morphologischer und molekulargenetischer (Sequenzanalysen mittels PCR) Merkmale als *Glomus intraradices* SCHENCK & SMITH identifiziert werden (BÖHM 2001). Die ursprüngliche Herkunft dieses Stammes war nicht mehr nachzuvollziehen. Deshalb wurde getrocknetes Material (Sporen und Hyphen in Substrat und Wurzelresten von *Tagetes erecta*) bei der Botanischen Staatssammlung München hinterlegt (BÖHM 2001).

### 3.1.2.2 Inokulum

Als Inokulum diente eine Mischung aus dem Tongranulat Seramis® und Quarzsand (Körnung 0,6 - 1,2 mm) in dem zuvor *Tagetes erecta* L. kultiviert wurde (Kap. 3.2.1.4). Durch die im Substrat und getrockneten Wurzeln der *Tagetes* enthaltenen Hyphenreste und Sporen war eine Infektion der zu mykorrhizierenden Pflanzenwurzeln der Topfkräuter möglich.

### 3.1.3 Dünger

In Versuch 1 und 2 wurde die Versorgung der Pflanzen mit Phosphor, Kalium und Spurenelementen durch den Kompostanteil im Substrat (Kap. 3.1.4) gedeckt. Stickstoff wurde der Versuchsfrage entsprechend organisch in Form von einem Gemisch aus Hornmehl und –grieß (Fa. Hellmann, Schwaiger-Stetten resp. Fa. Günther, Erlangen) bzw. mineralisch als Harnstoffdepotdünger (Osmocote-N, 39% Harnstoff, Fa. Scotts, Nordhorn) dem Substrat beigemischt.

Bei den Versuchen zur Phosphataufnahme (Versuch 3 und 4) erfolgte die Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff und Kalium durch eine Nährlösung mit einem Doppelnährstoffdünger (Flory 8 (NK 20+16+1,5 Mg), Fa. Euflor München). Der Phosphatbedarf wurde durch Beimischung von Calciumphosphat (Hyperphos H-26, Fa. Donau Chemie, A-Wien), bzw. Knochenmehl (Fa. Oscorna, Ulm) in das Substrat gedeckt. Da das verwendete Knochenmehl einen gewissen Anteil organischen Stickstoffes enthielt, wurde den Varianten, die mineralisch mit Hyperphos gedüngt wurden, eine entsprechende Menge Hornmehl beigemischt. Die Stickstoff- und Phosphorgehalte der Düngemittel sind in Tab. 3.1 aufgeführt.

Tab. 3.1: Phosphor- und Stickstoffgehalte der eingesetzten Düngemittel

	Hornmehl	Horngrieß	Osmocote	Hyperphos	Knochenmehl
Gesamt P [%]				27,7	16,4
Lösliches P [%]				0,8	0,3
Gesamt-N [%]	12,2	14,5	39 <sup>1</sup>		6,5

<sup>1</sup>nach Herstellerangaben

## Material und Methoden

Freisinger Leitungswasser (Tab. 3.2) diente als Basis für Nährlösungen in Versuch 3 und 4 bzw. zur Bewässerung der Pflanzen in Versuch 1 und 2.

Tab. 3.2: Kenngrößen des Bewässerungswassers:

Gießwasserkenngößen	
pH [20°C]	7,4
Gesamthärte [°dGH]	16,1
Karbonathärte [°dKH]	16,1
Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	601
Nitrat [ $\text{mg L}^{-1}$ ]	18,9

Quelle: Stadtwerke Freising 2000

### 3.1.4 Kultursubstrate

In Versuch 1 und 2 wurden die Pflanzen in einer Mischung des Holzfasersubstrates Toresa nova<sup>®</sup> (Fa. Toresa Deutschland, Lägerdorf) mit einem Grüngutkompost der Fa. BBG Donauwald, Außernzell kultiviert. In Versuch 3 und 4 war ein phosphatfreies Toresa nova<sup>®</sup> das Basissubstrat. In Tab. 3.3 sind die Eigenschaften dieser Substrate dargestellt. In Versuch 1 und 3 wurden die Pflanzen in einem Torfsubstrat (TKS 1, Fa. Floragard, Oldenburg) angezogen und nach 14 Tagen in die Versuchssubstrate pikiert.

Tab. 3.3: Eigenschaften der Ausgangssubstrate

Substrat	pH-Wert	Salzgehalt [ $\text{g L}^{-1}$ ]	N löslich [ $\text{mg L}^{-1}$ ]	$\text{P}_2\text{O}_5$ löslich [ $\text{mg L}^{-1}$ ]	$\text{K}_2\text{O}$ löslich [ $\text{mg L}^{-1}$ ]
Toresa nova	6,0	0,23	131	15	95
Kompost	7,5	2,33	79	222	2.245
Toresa nova ohne Phosphat	6,0	0,45	469	0	94
TKS 1 <sup>1</sup>	5,2	0,91	156	161	154

<sup>1</sup>Torfkultursubstrat Typ 1

In Kap. 3.2.2 und 3.2.3 sind bei der Beschreibung der einzelnen Versuche die jeweiligen chemischen Parameter der Substratmischungen der verschiedenen Varianten angegeben.

### **3.2 Methoden**

#### **3.2.1 Allgemeine Versuchsbedingungen**

##### *3.2.1.1 Versuchsstandort und Rahmenbedingungen*

Alle Versuche wurden in Gewächshäusern der Versuchsanlage des Lehrstuhls für Gemüsebau am Wissenschaftszentrum Weihenstephan (WZW) der TUM in Freising durchgeführt. Die Gewächshäuser sind in Nord-Süd-Richtung, die Kulturtische in diesen in Ost-West-Richtung ausgerichtet. Die Pflanzen wurden in Kunststofföpfen (Teku-Terra TO 10, Ø 10 cm, Farbe rot, Fa. Pöppelmann, ES-Barcelona) auf Ebbe-Flut-Tischen kultiviert. Die Gewächshäuser sind mit Seiten- und Dachlüftung, sowie Wand- und Untertischheizungen versehen und können über eine automatische Steuerung (Gewächshauscomputer Fa. Kriwan, Forchtenberg) belüftet, geheizt und bewässert werden. Vor Beginn der Versuche wurden grundsätzlich alle Kulturgefäße, Stellflächen, Bewässerungstanks und Geräte mit Menno-Florades® (Fa. Menno-Chemie-Vertrieb, Norderstedt; Wirkstoff Benzoesäure 9%) desinfiziert. Die Anwendungskonzentration betrug 1 % bei 16 h Einwirkdauer. So wurde sichergestellt, dass Parzellen, die ohne Mykorrhiza kultiviert werden sollten, nicht durch Sporen oder Hyphen aus Substratresten von vorhergegangenen Versuchen kontaminiert wurden.

##### *3.2.1.2 Klimasteuerung*

Die Temperatur wurde automatisch gesteuert. Solltemperatur war 14°C nachts und 18°C tagsüber. Die Lüftungstemperatur lag bei 22°C. Die tatsächlichen Temperaturen lagen aber auf Grund der herrschenden Witterung im Frühsommer tagsüber deutlich darüber und erreichten Werte von z.T. über 30 °C.

##### *3.2.1.3 Bewässerung*

Die Bewässerung erfolgte durch Anstauen nach Bedarf von Hand oder Zeit gesteuert bei Versuch 1 und 2 durch den Bewässerungscomputer Multirain (Fa. Staudinger-EST, Loiching) und in Versuch 3 und 4 durch den

Gewächshauscomputer (Fa. Kriwan, Forchtenberg). Trockenstresssituationen wurden durch rechtzeitiges Bewässern verhindert.

### 3.2.1.4 Mykorrhizainokulation mit *Glomus intraradices*

#### *Inokulumsproduktion*

Da AMP obligate Symbionten sind und sich nicht *in vitro* vermehren lassen, wurde der beschriebene Stamm von *Glomus intraradices* 1998 auf *Tagetes erecta* 'Riesen Perfecta Mischung' vermehrt. Das Saatgut wurde bei 24°C 48 Stunden vorgekeimt und in sterilisierten (121°C, 40 min, 1.5 bar; Dampfsterilisiergerät Varioklav Typ 400) Quarzsand (Körnung 0,6 - 1,2 mm) ausgesät. Als Substrat zur Weiterkultur diente ebenfalls Quarzsand. Dieser wurde vor der Verwendung 12 Stunden bei 90 °C gedämpft (Dämpfgerät Sterilo, Fa. MAFAC/Schwarz, Alpirsbach). Als Startinokulum (Anteil 15 Vol.-%) diente das gleiche Substrat, in dem vorher mykorrhizierte Pflanzen (*Tagetes erecta*) kultiviert wurden. Die Bewässerung erfolgte lichtabhängig bei einem Bewässerungsschaltpunkt von 1500 mE über Tropfschläuche mit einer phosphatarmen Nährlösung (Tab. 3.4).

Tab. 3.4: Nährlösung zur Kultur von *Tagetes* für die Inokulumsproduktion

Nährsalz	Konzentration [mg L <sup>-1</sup> ]
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	10
CaCl	5
Flory 7 <sup>1</sup>	10
Flory 8 <sup>2</sup>	700
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	320

<sup>1</sup>Eisenchelat(9 % Fe-HEEDTA), Fa. Euflo, München

<sup>2</sup>NK-Dünger (20+16+1,5 Mg), Fa. Euflo, München

Sich entwickelnde Blütenknospen wurden entfernt und nach Erreichen einer vollständigen Mykorrhizierung der Wurzeln und beginnender Sporulation (Kontrolle durch Anfärben von Wurzelstichproben mit Trypanblau-Lactat, (Kap. 3.2.3) wurden die Pflanzen nicht mehr bewässert. Nach dem Eintrocknen der oberirdischen Pflanzenteile wurden diese entfernt und das Substrat als Inokulum bei Raumtemperatur trocken in PE-Beuteln gelagert. Um sicherzustellen, dass das Inokulum keine phytopathogenen Keime enthielt, wurde vor dem ersten Versuch

ein Kresstest durchgeführt. Kresse wurde auf das Inokulum ausgesät und nach 14 Tagen auf Schäden im Wurzel- und Hypokotylbereich untersucht.

### *Inokulation der Versuchspflanzen*

Die Inokulation der zu mykorrhizierenden Pflanzen erfolgte bei Versuch 1 und 3 zwei Wochen nach der Aussaat. Dazu wurde das Inokulum (Kap. 3.1.2.2) zum Kultursubstrat, in das die Jungpflanzen pikiert wurden, beigemischt. In vorangegangenen Versuchen (seit 1995) am Lehrstuhl für Gemüsebau wurden 20 Vol.-% Inokulum am Gesamtsubstrat als ausreichend für eine schnelle und wirksame Mykorrhizierung mit *Glomus intraradices* ermittelt (SCHNITZLER und MICHALSKY 1996, SCHNITZLER 1997). Erfahrungen am Lehrstuhl für Botanik der TUM zeigen, dass auch ein Anteil von 10 Vol.-% ausreicht (BÖHM 2001). Bei Versuch 2 und 4 wurde nicht pikiert, sondern die Pflanzen direkt in das inokulierte Endsubstrat gesät.

Bei den Varianten, die ohne Mykorrhiza kultiviert wurden, wurde sterilisierter Quarzsand mit demselben Anteil wie das Inokulum dem Substrat beigemischt, um annähernd dieselben physikalischen Eigenschaften zu gewährleisten.

### *3.2.1.4 Pflanzenschutz*

Im Versuchsjahr 2000 wurde bei Versuch 1 und 3 Anfang Mai eine Bekämpfung der Weißen Fliege - *Trialeurodes vaporariorum* (WESTWOOD) durch Gelbtafeln (Fa. Neudorff, Emmerthal) und mehrmaliges Spritzen mit Metasystox® (Fa. Bayer Vital, Leverkusen; Wirkstoff Oxydemethonmethyl, 250 g L<sup>-1</sup>, Anwendungskonzentration 0,1 %) bzw. Applaud® (Fa. Aventis, Hattersheim; Wirkstoff Buprofezin, 250 g L<sup>-1</sup>, Anwendungskonzentration 0,03 %) durchgeführt. Im Jahr 2001 waren bei keiner der Kulturen chemische Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig. Ein geringer Befall durch Blattläuse (*Aphididae*), Trauermücken (*Lycoriidae*) und Weiße Fliege wurde durch Aufhängen von Gelbtafeln unter Kontrolle gebracht. In beiden Jahren konnte durch die Steuerung der Gewächshaustemperatur, der Lüftung und der relativen Luftfeuchte das Auftreten von Pilzkrankheiten vermieden werden.



### 3.2.2 Versuche zur Stickstoffdüngung

Um den Einfluss der AMP auf die Aufnahme von organischem und mineralischem Stickstoff zu untersuchen, wurden in den Jahren 2000 und 2001 Versuche durchgeführt.

In Versuch 1 (2000) wurden sowohl organische als auch mineralische Stickstoffquellen getestet, bei Versuch 2 (2001) wurde nur mineralischer Stickstoff gedüngt.

#### 3.2.2.1 *Nährstoffversorgung und Berechnung der Stickstoffgaben*

Die Stickstoffdüngung erfolgte bei Versuchsbeginn durch Beimischen von organischem (Hornmehl und –grieß im Verhältnis 1:4) oder mineralischem Dünger (Osmocote-N). Da das Holzfasersubstrat und der Kompost als Ausgangsmaterialien für das Kultursubstrat nur sehr geringe Stickstoffgehalte aufwiesen, stellte diese Düngung praktisch die einzige N-Quelle für die Versuchspflanzen dar.

Anlehnend an Versuchsergebnisse von SCHMITZ et al. (1997) zur optimalen Düngung von Gewürzkräutern wurde die Menge des Stickstoffes so berechnet, dass der Gehalt an löslichem N im Substrat einer Gabe von 250 mg N je Topf entsprach. Für die Berechnung der aufzuwendenden Düngermenge wurden für Hornmehl und Horngrieß die Freisetzungsraten nach FISCHER (1993) herangezogen und unter der Annahme eines linearen Verlaufs der N-Freisetzung auf die geplanten Versuchsbedingungen umgerechnet. So wurde für Hornmehl eine Freisetzungsrate von 43,1 % und für Horngrieß von 28,5 % in zehn Wochen bei 25°C angenommen. Die Freisetzungsrate von Osmocote-N wurde nach Angaben des Herstellers unter der Annahme eines linearen Verlaufs bei 25 °C in zehn Wochen auf 40 % des angegebenen N-Gehalts berechnet.

Phosphor und Kalium sowie alle Spurenelemente wurden durch die Zugabe von Kompost im Substrat zur Verfügung gestellt. Dabei war der hohe Kaliumgehalt von 2245 mg L<sup>-1</sup> im Grüngutkompost ein begrenzender Faktor für die Höhe des Kompostanteils an der Mischung mit Toresa<sup>®</sup>, so dass eher niedrige P-Gehalte erzielt wurden, die aber für die Kolonisierung der Wurzeln mit Mykorrhizapilzen eine günstige Ausgangslage darstellten.

## Material und Methoden

### 3.2.2.2 Versuch 1 (2000) - Stickstoffdüngung I

Die Versuchspflanzen wurden in Torfkultursubstrat (TKS 1, Tab. 3.3) am 04.04.2000 (KW 14) ausgesät und nach zwei Wochen am 18.04.2000 (KW 16) entsprechend den Behandlungen in die jeweiligen Substrate (Tab. 3.5) in Töpfe pikiert. Die Ernte fand am 25.05.2000 (KW 21) statt. Bei Basilikum, Petersilie und Estragon wurden je 7, bei Schnittlauch 20 Pflanzen in einen Topf pikiert. Je Variante wurden drei Wiederholungen mit je sechs Töpfen je Pflanzenart kultiviert.

Tab. 3.5: Versuch 1, Zusammensetzung der Substratmischungen und Düngeranteil

Variante	Holzfasersubstrat [Vol.-%]	Kompost [Vol.-%]	Inokulum/Sand [Vol.-%]	Düngung
mit Mykorrhiza organisch	70	20	10	2,4 g L <sup>-1</sup> Hornmehl 12,1 g L <sup>-1</sup> Horngrieß
ohne Mykorrhiza organisch	70	20	10	2,4 g L <sup>-1</sup> Hornmehl 12,1 g L <sup>-1</sup> Horngrieß
mit Mykorrhiza mineralisch	70	20	10	4,0 g L <sup>-1</sup> Osmocote-N
ohne Mykorrhiza mineralisch	70	20	10	4,0 g L <sup>-1</sup> Osmocote-N

In Tab. 3.6 sind die chemischen Parameter einzelnen Substratmischungen angegeben. Alle Substratanalysen wurden von der Bayerischen Hauptversuchsanstalt Weihenstephan (HVA), Alte Akademie 10, 85350 Freising) durchgeführt (Kap. 3.3.2).

Tab. 3.6: Versuch 1, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Pikieren)

Variante	pH-Wert	Salzgehalt [g L <sup>-1</sup> ]	N löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	K <sub>2</sub> O löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	N gesamt [% TM]
mit Mykorrhiza organisch	7,5	1,35	205	144	720	1,31
ohne Mykorrhiza organisch	7,3	0,97	163	171	609	0,92
mit Mykorrhiza mineralisch	7,0	1,11	146	149	600	1,01
ohne Mykorrhiza mineralisch	7,6	0,97	177	136	636	1,25

### 3.2.2.3 Versuch 2 (2001) - Stickstoffdüngung II

Im Gegensatz zu Versuch 1 wurden die Pflanzen direkt in die Kultursubstrate gesät. Eine definierte Samenmenge wurde mit einem Stückzählgerät (Fa. Elmor, Model 600/50 Serie 42910, CH-Schwyz) gezählt und am 10.05.2001 (KW 19) direkt ausgesät. Bei Basilikum, Petersilie und Estragon wurden je 15, bei Schnittlauch 30 Samen in einen Topf abgelegt. Nach dem Auflaufen wurden die Pflanzen auf sieben bzw. 20 Stück je Topf vereinzelt, um dieselbe Pflanzenzahl wie in Versuch 1 zu erhalten. Je Variante wurden drei Wiederholungen mit je sechs Töpfen pro Pflanzenart kultiviert und am 12.07.2001 (KW 29) nach 10 Wochen geerntet. In Tab. 3.7 ist die Zusammensetzung der Substratmischungen und der Düngeranteil dargestellt, Tab. 3.8 zeigt die Eigenschaften der Substratmischungen zu Versuchsbeginn.

Tab. 3.7: Versuch 2, Zusammensetzung der Substratmischungen und Düngeranteil

Variante	Holzfasersubstrat [Vol.-%]	Kompost [Vol.-%]	Inokulum/Sand [Vol.-%]	Düngung
mit Mykorrhiza	70	20	10	4,0 g L <sup>-1</sup> Osmocote-N
ohne Mykorrhiza	70	20	10	4,0 g L <sup>-1</sup> Osmocote-N

Tab. 3.8: Versuch 2, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Aussaat)

Variante	pH-Wert	Salzgehalt [g L <sup>-1</sup> ]	N löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	K <sub>2</sub> O löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	N gesamt [% TM]
mit Mykorrhiza	6,7	1,18	94	207	857	0,41
ohne Mykorrhiza	6,9	1,14	99	195	1018	0,66

### 3.2.3 Versuche zur Phosphordüngung

Der Einfluss der AMP auf die Aufnahme von Phosphat aus dem Substrat mit organischen und mineralischen Phosphorquellen wurde im Jahr 2000 und 2001 untersucht.

### 3.2.3.1 Nährstoffversorgung und Berechnung der Phosphatgaben

Die Phosphatdüngung erfolgte bei Versuchsbeginn durch Beimischen von organischem (Knochenmehl) oder mineralischem Dünger (Hyperphos). Da das verwendete Holzfasersubstrat Toresa nova<sup>®</sup> kein Phosphat enthielt (Tab. 3.3), stellte diese Düngung die einzige P-Quelle für die Versuchspflanzen dar.

Als Berechnungsgrundlage wurde eine Gesamtphosphatmenge von 200 mg L<sup>-1</sup> angenommen.

### 3.2.3.2 Versuch 3 (2000) – Phosphordüngung I

Die Versuchspflanzen wurden in Torfkultursubstrat (TKS 1, Tab. 3.3) am 11.05.2000 (KW 19) ausgesät und nach zwei Wochen (KW 21) entsprechend den Behandlungen in die jeweiligen Substrate (Tab. 3.9) in Töpfe pikiert. Die Ernte fand am 08.08.2000 (KW 32) nach insgesamt 13 Wochen Kultur statt. Bei Basilikum, Petersilie und Estragon wurden je 7, bei Schnittlauch 20 Pflanzen in einen Topf pikiert. Je Variante wurden 4 Wiederholungen mit je 6 Töpfen je Pflanzenart kultiviert. Tab. 3.10 zeigt die chemischen Eigenschaften der Substratmischungen zu Versuchsbeginn.

Tab. 3.9: Versuch 3 und 4, Zusammensetzung der Substratmischungen und Düngeranteil

Variante	Holzfasersubstrat ohne Phosphat [Vol.-%]	Inokulum/ Sand [Vol.-%]	Düngung
mit Mykorrhiza organisch	90	10	1220 mg L <sup>-1</sup> Knochenmehl
ohne Mykorrhiza organisch	90	10	1220 mg L <sup>-1</sup> Knochenmehl
mit Mykorrhiza mineralisch	90	10	747 mg L <sup>-1</sup> Hyperphos 85 mg L <sup>-1</sup> Hornmehl
ohne Mykorrhiza mineralisch	90	10	747 mg L <sup>-1</sup> Hyperphos 85 mg L <sup>-1</sup> Hornmehl

## Material und Methoden

Tab. 3.10: Versuch 3, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Pikieren)

Variante	pH-Wert	Salzgehalt [g L <sup>-1</sup> ]	N löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	K <sub>2</sub> O löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	P gesamt [% TM]
mit Mykorrhiza organisch	5,5	1,72	511	65	112	0,11
ohne Mykorrhiza organisch	5,8	1,18	385	85	78	0,09
mit Mykorrhiza mineralisch	5,7	1,47	325	25	119	0,09
ohne Mykorrhiza mineralisch	5,7	0,98	331	25	112	0,14

### 3.2.3.3 Versuch 4 (2001) – Phosphordüngung II

Im Gegensatz zu Versuch 3 wurden die Pflanzen, wie in Versuch 2 beschrieben, direkt in die Substratmischungen (Tab. 3.9) am 10.05.2001 (KW 19) ausgesät. Bei Schnittlauch war die Keimung so schlecht (< 10 %), dass diese Variante nicht ausgewertet werden konnte. Die Ernte erfolgte am 23.07.2001 (KW 32) nach 13 Wochen Kultur. Tab. 3.11 zeigt die Substrateigenschaften zu Versuchsbeginn.

Tab. 3.11: Versuch 4, Eigenschaften der Substratmischungen bei Versuchsbeginn (Aussaat)

Variante	pH-Wert	Salzgehalt [g L <sup>-1</sup> ]	N löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	K <sub>2</sub> O löslich [mg L <sup>-1</sup> ]	P gesamt [% TM]
mit Mykorrhiza organisch	6,0	1,61	570	58	85	0,06
ohne Mykorrhiza organisch	6,5	1,19	556	60	56	0,05
mit Mykorrhiza mineralisch	5,9	1,47	542	49	110	0,13
ohne Mykorrhiza mineralisch	6,6	1,40	538	40	98	0,06

### 3.2.4 Mykorrhizanachweis

Nach Entnahme von Wurzelproben (feine Seitenwurzeln) aus der Topfmitte bei Kulturende wurden diese in Formaldehyd-Acetat-Alkohol (FAA, Tab. 3.13) fixiert und bei Bedarf bis zur Weiterverarbeitung zwischengelagert.

Tab. 3.12: Zusammensetzung von Formaldehyd-Acetat-Alkohol (FAA)

Substanz	
Ethanol (50 %)	900 ml L <sup>-1</sup>
Formaldehyd (35 %)	50 ml L <sup>-1</sup>
Essigsäure (100%)	50 ml L <sup>-1</sup>

Das Anfärben der mykorrhizialen Strukturen erfolgte im Wesentlichen nach dem von KORMANIK und MCGRAW (1984) beschriebenen Verfahren. Lediglich der Farbstoff 'Saures Fuchsin' wurde durch Trypanblau ersetzt und auf das Bleichen der Wurzeln mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> verzichtet, da diese nicht verholzt waren. Die Zusammensetzung der einzelnen Reagenzien ist in Tab. 3.13 zusammengestellt.

Tab. 3.13: Reagenzien zum Mykorrhizanachweis nach KORMANIK und MCGRAW (1984)

Trypanblau-Lactat zum Anfärben	Anteil [%]
Milchsäure (80 %ig)	87,5
Glycerin	6,0
Aqua dest.	6,0
Trypanblau	0,5
Lactat-Lösung zur Lagerung	Anteil [%]
Milchsäure (80 %ig)	88,0
Glycerin	6,0
Aqua dest.	6,0

Im Folgenden sind die einzelnen Arbeitsschritte aufgeführt:

1. Entnahme der Wurzelprobe; evtl. Einlagern in FAA (Tab. 3.12)
2. Waschen der Wurzeln in Leitungswasser zum Entfernen von Substratresten
3. Überführen der Proben in KOH (10 %ig)
4. Autoklavieren der Proben bei 121°C für 10 min zum Entfärben des Wurzelzytoplasmas
5. Waschen in voll entsalztem Wasser zum Entfernen der KOH
6. Ansäuerung der Wurzeln in einer HCl-Lösung (1 %ig) zur Verbesserung der Wirkung des Farbstoffs Trypanblau

7. Überführen der Proben in Trypanblau-Lactat (Tab. 3.13)
8. Autoklavieren der Proben bei 121°C für 10 min in der Färbelösung zur Anfärbung der Pilzstrukturen
9. Waschen in voll entsalztem Wasser
10. Überführung der Wurzeln auf Objektträger und Einbettung in Kaisers Glyceringelatine
11. Fixierung der Präparate mit einem Deckglas

Rückstellproben wurden in Lactat-Lösung bei Raumtemperatur gelagert.

### **3.3 Parameter und Messmethoden**

#### **3.3.1 Pflanzenbauliche Parameter**

##### *Frischmasse*

Ausgewertet wurde bei allen Versuchen das oberhalb der Kotyledonen liegende Pflanzenmaterial. Die Bestimmung der Frischmasse jeder Parzelle erfolgte gravimetrisch mittels Präzisionswaage Modell Sartorius (Fa. WTM Wägetechnik München, Wägebereich 4200 g, Reproduzierbarkeit  $\pm 0,01$  g) in g Pflanze<sup>-1</sup>. Die Angabe erfolgt in g Topf<sup>-1</sup>.

##### *Trockenmasse*

Das geerntete Pflanzenmaterial wurde in einer Vakuum-Gefriertrocknungsanlage (Fa. Virtis Genesis Typ 25LE und 12LL, Gardiner, NY, USA; 72 h, T=13°C, p=150 mTorr) gefriergetrocknet, um oxidative Verluste (v.a. von Stickstoff) zu vermeiden. Nur das Pflanzenmaterial aus Versuch 4 wurde aus technischen Gründen im Trockenschrank (Fa. Memmert Typen ULM 600 und 800) bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Angabe erfolgt in g Topf<sup>-1</sup>.

##### *Trockensubstanz*

Die Trockensubstanz beschreibt das Verhältnis von Trocken- und Frischmasse. Die Trockensubstanz wird in g 100 g<sup>-1</sup> Frischmasse (% TS) angegeben.

### *Pflanzenanalysen*

Alle Nährstoffanalysen aus Pflanzenmaterial wurden von der Bayerischen Hauptversuchsanstalt Weihenstephan (HVA, Alte Akademie 10, 85350 Freising) durchgeführt. Der Gesamtstickstoffgehalt wurde nach DUMAS bestimmt. Gesamt-Kalium und -Phosphor wurden nach Veraschung am ICP-OES analysiert.

### 3.3.2 Substratanalysen

Alle Substratanalysen wurden wie die Pflanzenanalysen an der HVA (s.o.) wie folgt durchgeführt.

#### *Volumengewicht*

Das Volumengewicht der Substratkomponenten wurde nach der VDLUFA-Methode bestimmt. Vor Beginn der Bestimmung wird das Substrat auf einen zum Topfen optimalen Wassergehalt eingestellt. Danach wird es in einen Messzylinder aus durchsichtigem Kunststoff mit einer Skalierung von 250 ml eingebracht. Dieser wird in ein Stativ mit Stativklammer geschoben und 10 mal hintereinander aus 10 cm Höhe auf eine Unterlage fallen gelassen. Das Volumengewicht wird berechnet als Verhältnis der Trockenmasse Substrat und dem an der Skalierung abgelesenen Volumen des gesetzten Substrates (VDLUFA 1997). Die Bestimmung des Volumengewichtes ist zur Angabe der Gehalte an Salzen und löslichen Nährstoffen im Substrat notwendig und wird nicht gesondert ausgewiesen.

#### *pH-Wert*

Der pH-Wert wurde nach der  $\text{CaCl}_2$ -Methode bestimmt. Dazu wurden 20 ml trockenes (24 h, 80°C) Substrat mit 50 ml 0,01 molarer  $\text{CaCl}_2$  aufgeschlämmt und 60 min geschüttelt. Anschließend erfolgt die pH-Messung mit pH-Elektrode (Labor pH-Meter Fa. Wagner & Munz, München).

#### *Salzgehalt*

Salze wurden nach Wasserextraktion 1:10 (Gew.-Vol.) als KCl berechnet und sind in  $\text{g L}^{-1}$  Substrat angegeben.



### *Hauptnährstoffe*

Die Gehalte von löslichem Stickstoff (N), Kali ( $K_2O$ ), und Phosphat ( $P_2O_5$ ) wurden nach der CAT-Methode bestimmt. Die Extraktion erfolgte aus einer Einwaage von 25 g Probenmaterials mit 200 ml  $CaCl_2/DTPA$ . Die Gehalte sind in  $mg L^{-1}$  angegeben.

Der Gesamtstickstoff wurde nach KJEHLDAHL, Gesamtphosphor nach Königswasser-Extraktion am ICP-OES bestimmt.

### 3.3.3 Mykorrhizakolonisierung

Am Ende jeden Versuches wurden aus allen Töpfen, die ausgewertet wurden, Wurzelproben aus der Topfmitte und dem Rand genommen. Um ein Maß für die Kolonisierung der Wurzeln mit *Glomus intraradices* zu erhalten, wurde der Anteil der kolonisierten Wurzelfläche an der Gesamtfläche der Wurzel unter einem Lichtmikroskop (Axioskop, Fa. Zeiss, Jena) abgeschätzt und bewertet (Tab. 3.14). Dabei ergab sich folgendes Boniturschema:

Tab. 3.14: Beschreibung der Boniturnote der von *Glomus intraradices* kolonisierten Wurzeloberfläche

Boniturnote	kolonisierte Wurzeloberfläche [%]
0	0
1	1 – 20
2	21 – 40
3	41 – 59
4	60 – 79
5	80 - 100

Es wurde nicht unterschieden, ob es sich bei den mykorrhizialen Strukturen um Hyphen, Arbuskel oder Vesikel handelte. Die Ergebnisse der Bonitur sind mit Dezimalstellen angegeben, diese ergeben sich aus der Berechnung der Mittelwerte mehrerer Proben einer Parzelle.

## 3.4 Statistik

Die Daten der pflanzenbaulichen Parameter (außer Boniturnoten der Mykorrhizakolonisierung) wurden varianzanalytisch verrechnet und die Mittelwerte mit dem Tukey-Test (KÖHLER et al. 1995) für jede Pflanzenart getrennt auf

## Material und Methoden

Signifikanzunterschiede hin untersucht. Die den Berechnungen zu Grunde gelegte Irrtumswahrscheinlichkeit betrug 5 % ( $\alpha = 0,05$ ). In den Darstellungen der Ergebnisse sind die Signifikanzen mit Buchstaben dargestellt, wobei unterschiedliche Buchstaben signifikante Unterschiede in den Werten darstellen. Dies gilt nur für den Fall, dass keine Wechselwirkungen zwischen den Behandlungen „Mykorrhiza“ und „Düngung“ vorhanden waren. In Fall von Wechselwirkungen können nur die Mittelwerte innerhalb einer Behandlung untereinander verglichen werden. Dies ist im Einzelfall in Kap. 4 angegeben. Als Irrtumswahrscheinlichkeit für eine Wechselwirkung wurde 10 % ( $\alpha = 0,10$ ) angenommen. Die vorherige Bearbeitung der Daten erfolgte mit MS Excel (Microsoft Excel, Version 9.0) die Weiterverrechnung mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical USA, Version 6.12).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Basilikum

#### 4.1.1 Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Basilikum

Die Mittelwerte der Boniturnoten der AMP-Kolonisierung der Basilikumwurzeln sind in Tab. 4.1 dargestellt. Eine statistische Verrechnung erfolgte, wie bei Bonituren üblich, nicht. Bei keiner der nicht mykorrhizierten Varianten konnte eine Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln nachgewiesen werden. In Versuch 1 war bei organischer Stickstoffdüngung eine geringere Kolonisierung zu beobachten, als bei der mineralischen Behandlung. In den Versuchen mit mineralischer und organischer Phosphordüngung (Versuche 3 und 4) konnte bei der mineralischen Düngevariante in beiden Jahren eine stärkere Kolonisierung beobachtet werden.

Tab. 4.1: Kolonisierung der Basilikumwurzeln mit *Glomus intraradices* in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
mit AMP organisch	1,3	-	2,7	3,3
ohne AMP organisch	0	-	0	0
mit AMP mineralisch	2,0	2,3	3,3	3,7
ohne AMP mineralisch	0	0	0	0

Bonitur mit den Noten 0 bis 5 (0 = keine Kolonisierung, 1 = 1–20 % Kolonisierung, 2 = 21–40 %, 3 = 41–60 %, 4 = 61–80 %, 5 = 81–100 %); dargestellt sind die Mittelwerte aus jeweils drei (Versuche 1 und 2) bzw. vier (Versuche 3 und 4) Wiederholungen

Sowohl bei organischer als auch bei mineralischer Stickstoffdüngung (Versuche 1 und 2) war die Kolonisierung deutlich schlechter als in den Versuchen 3 und 4 (Phosphordüngung).

## Ergebnisse

### 4.1.2 Frischmasseerträge von Basilikum

In Abb. 4.1. sind die Frischmasseerträge in g pro Topf von Basilikum bei unterschiedlicher N-Düngung dargestellt, Abb. 4.2 zeigt die Frischmasseerträge bei organischer und mineralischer P-Düngung.

In den Versuchen zur organischen und mineralischen N-Düngung war der Frischmasseertrag pro Topf von Basilikum (10 Pflanzen pro Topf) in beiden Versuchsjahren deutlich höher als bei den Versuchen zur P-Düngung.

Im Jahr 2000 wurden in Versuch 1 die höchsten Frischmasseerträge mit 83,52 g pro Topf bei der Variante „ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“ beobachtet. Der Unterschied zur gleich gedüngten Variante „mit Mykorrhiza“ (78,75 g pro Topf) war jedoch nicht signifikant. Basilikumpflanzen mit mineralischer N-Düngung brachten im Vergleich mit organisch gedüngten Pflanzen signifikant niedrigere Erträge („mit Mykorrhiza“ 67,20 g pro Topf und „ohne Mykorrhiza“ 57,62 g pro Topf). Bei mineralischer Düngung wurde „mit Mykorrhiza“ zwar ein tendenziell höherer Ertrag erzielt, dieser Unterschied war aber nicht signifikant. Auf Grund der hohen Wahrscheinlichkeit einer Wechselwirkung zwischen den Behandlungen (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 2,50\%$ ) konnten nur Varianten innerhalb derselben Behandlung verglichen werden. So ist auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0\%$  nur der Unterschied zwischen der Variante „ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“ und „ohne Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“ statistisch absicherbar.

Im Jahr 2001 wurden nur mineralisch gedüngte Pflanzen kultiviert, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten „mit –“, und „ohne Mykorrhiza“. Tendenziell war der Ertrag der Variante „ohne Mykorrhiza“ (71,39 g pro Topf) höher als bei der Variante „mit Mykorrhiza“ (54,75 g pro Topf). Die Streuung war allerdings bei dieser Variante sehr hoch ( $\sigma = 11,35$ ). Diese Erträge stehen im Gegensatz zu jenen aus dem Jahr 2000, als bei mineralischer Düngung Pflanzen ohne Mykorrhiza geringere Frischmasseerträge brachten.

## Ergebnisse

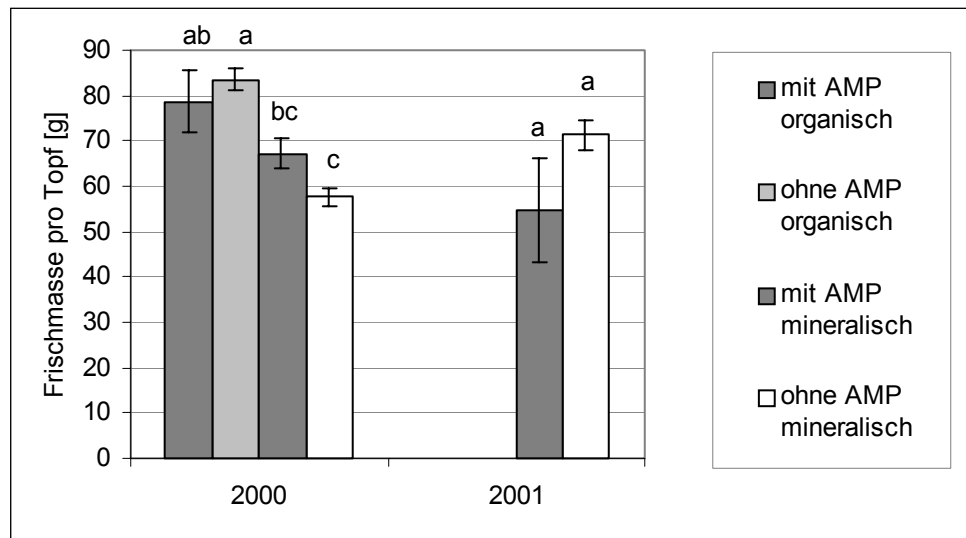


Abb. 4.1: Frischmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Jahres mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 2,50 \%$ )

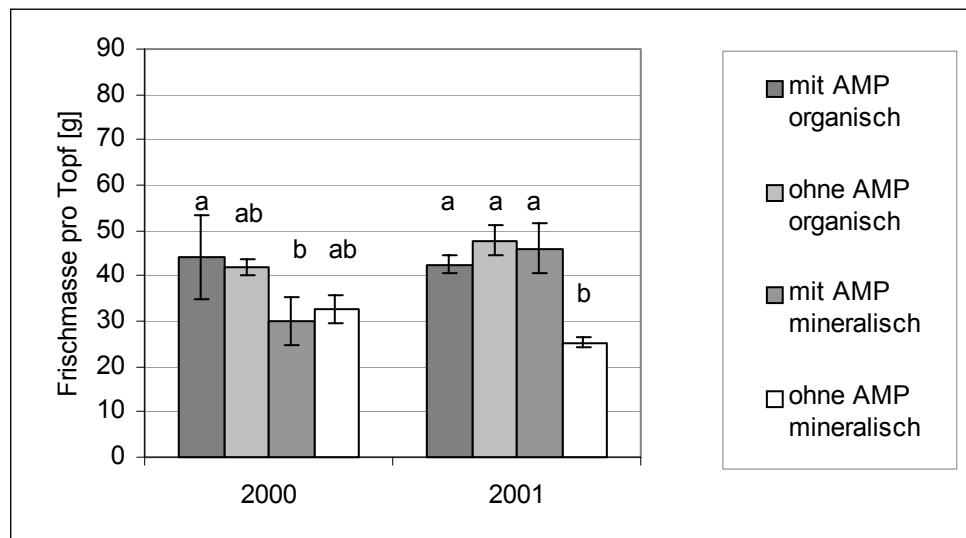


Abb. 4.2: Frischmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Jahres mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 0,01 \%$ )

Im Jahr 2000 war der Frischmasseertrag bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 44,06 g pro Topf am höchsten. Der Unterschied zur gleich gedüngten Variante „ohne Mykorrhiza“ (41,99 g pro Topf) war aber nicht

## Ergebnisse

signifikant. Die Erträge der mineralisch gedüngten Varianten waren tendenziell niedriger als die der organisch gedüngten (29,88 g pro Topf „mit Mykorrhiza“ und 32,64 g pro Topf „ohne Mykorrhiza“). Ein statistisch absicherbarer Unterschied auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0 \%$  war aber nur zwischen der Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ und „mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ vorhanden. Der Unterschied der Frischmasseerträge bei mineralischer P-Düngung „mit –“, und „ohne Mykorrhiza“ war nicht signifikant.

Im Jahr 2001 wurde eine hochsignifikante Wechselwirkung zwischen den Behandlungen „Düngung“ und „Mykorrhiza“ beobachtet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für eine Wechselwirkung lag bei  $\alpha = 0,01 \%$ . Ein Vergleich der Varianten ist deshalb nur innerhalb einer Behandlung zulässig.

Die höchsten Erträge lieferte die Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ (47,82 g pro Topf), die sich jedoch nicht signifikant von der gleich gedüngten Variante „ohne Mykorrhiza“ (42,43 g pro Topf) unterschied. Die niedrigsten Erträge brachten mineralisch gedüngte Pflanzen ohne Mykorrhiza (25,24 g pro Topf). Dieser Wert unterschied sich als einziger signifikant von den übrigen. Mineralisch gedüngte Pflanzen mit Mykorrhiza erzielten mit 46,00 g pro Topf durchschnittliche Erträge, die sich nicht signifikant von organisch gedüngten Pflanzen mit Mykorrhiza unterschieden.

### 4.1.3 Trockenmasseerträge von Basilikum

Die Trockenmasseerträge pro Topf (10 Pflanzen) waren bei den Versuchen zur N-Düngung höher als bei den Versuchen zur P-Düngung.

Den höchsten Trockenmasseertrag hatte im Jahr 2000 bei den Versuchen zur N-Düngung mit 13,41 g pro Topf die Variante „ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“. Der Ertrag derselben Düngungsvariante mit Mykorrhiza lag nicht signifikant niedriger bei 11,49 g pro Topf. Bei mineralischer Düngung lag der Trockenmasseertrag bei 9,89 g pro Topf mit Mykorrhiza und 8,58 g pro Topf ohne Mykorrhiza. Diese Unterschiede waren nicht signifikant. Aufgrund der signifikanten Wechselwirkung ( $\alpha = 3,26 \%$ ) zwischen den Behandlungen „Mykorrhiza“ und

## Ergebnisse

„Düngung“ können nur Trockenmasseerträge innerhalb einer Behandlungsstufe verglichen werden. So konnte ein Unterschied auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0 \%$  nur für die Varianten „ohne Mykorrhiza, mit organischer N-Düngung“ (13,41 g pro Topf) und „ohne Mykorrhiza, mit mineralischer N-Düngung“ (8,58 g pro Topf) gesichert werden.

Obwohl im Jahr 2000 bei mineralischer N-Düngung der Trockenmasseertrag mit Mykorrhiza tendenziell höher war als der der Behandlung „ohne Mykorrhiza“, wiederholte sich dies im darauf folgenden Jahr nicht. Der Ertrag mit Mykorrhiza lag 2001 bei 7,78 g pro Topf mit Mykorrhiza und 8,58 g pro Topf ohne Mykorrhiza. Der Unterschied zwischen den Behandlungen im Jahr 2000 war nicht signifikant.

In Abb. 4.3. sind die Trockenmasseerträge in g pro Topf von Basilikum bei unterschiedlicher N-Düngung dargestellt, Abb. 4.4 zeigt die Trockenmasseerträge bei organischer und mineralischer P-Düngung.

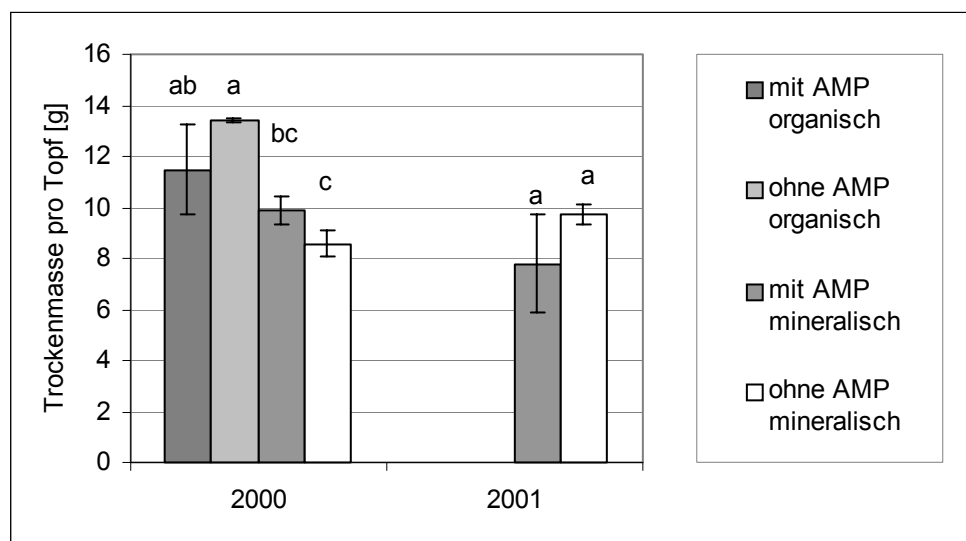


Abb. 4.3: Trockenmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 3,26 \%$ )

## Ergebnisse

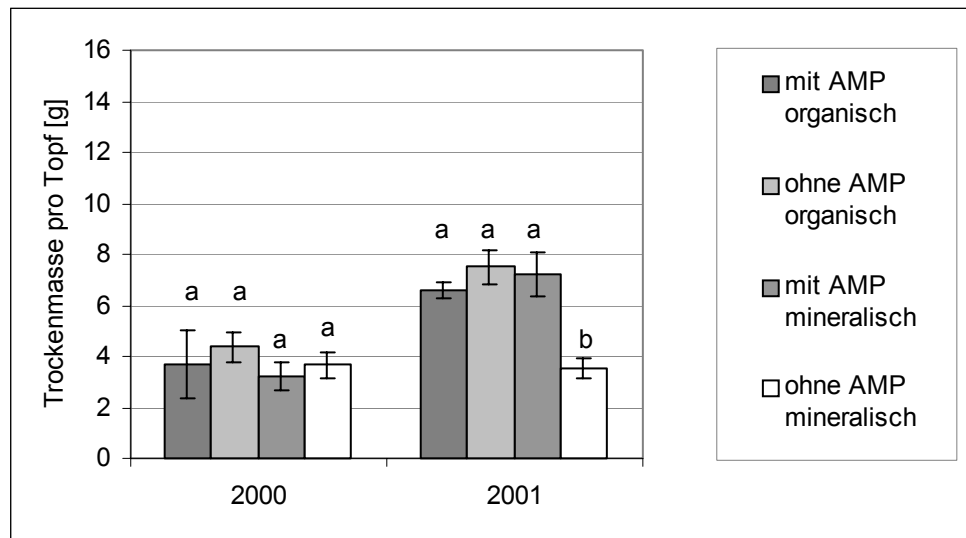


Abb. 4.4: Trockenmasse pro Topf von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 0,01 \%$ )

Die Versuche zur P-Düngung mit der organischen Düngevariante „Knochenmehl“ und der mineralischen Variante „Hyperphos“ brachten keine eindeutigen Ergebnisse.

Im Jahr 2000 war der Trockenmasseertrag der Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 4,36 g pro Topf am höchsten. Der Ertrag derselben Düngungsvariante mit Mykorrhiza lag mit 3,69 g pro Topf tendenziell leicht darunter. Bei mineralischer Düngung zeigte sich dieselbe Tendenz, hier lag die Variante mit Mykorrhiza mit 3,23 g pro Topf ebenfalls niedriger als der Ertrag der Variante ohne Mykorrhiza mit 3,65 g pro Topf. Da im Jahr 2000 keine Wechselwirkung zwischen den Behandlungen zu beobachten war, können alle Werte untereinander verglichen werden. Keiner der gemessenen Werte unterschied sich signifikant von einem anderen.

Bei der Wiederholung des Versuches im darauf folgenden Jahr brachte die Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 7,49 g pro Topf ebenfalls den höchsten Ertrag, der sich aber nicht signifikant von dem tendenziell niedriger



## Ergebnisse

liegenden Wert derselben Düngevariante „mit Mykorrhiza“ unterschied (6,57 g pro Topf).

Während im Jahr 2000 die Variante „mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ den niedrigsten Ertrag hatte, lag diese Variante im Jahr 2001 mit 7,23 g pro Topf an zweiter Stelle. Den signifikant niedrigsten Ertrag hatte mit 3,53 g pro Topf die Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“.

Da im Jahr 2001 eine hochsignifikante Wechselwirkung ( $\alpha = 0,01$  %) bestand, ist ein Vergleich nur zwischen den Varianten derselben Behandlung zulässig.

### 4.1.4 Trockensubstanzgehalte von Basilikum

Die Trockensubstanzgehalte der Basilikumpflanzen der einzelnen Varianten sind in Tab. 4.2 dargestellt. Während in Versuch 1 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen zu beobachten waren, war der Trockensubstanzgehalt (% der Frischmasse) bei der Wiederholung des Versuches im Jahr 2001 bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen signifikant niedriger. Der höchste Trockensubstanzgehalt war mit 16,06 % bei der Variante „ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“ zu beobachten, der niedrigste mit 15,54 % bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“. Bei mineralischer Düngung lagen die Trockensubstanzgehalte „mit Mykorrhiza“ im Jahr 2000 bei 14,71 % bzw. 2001 bei 14,13 %, „ohne Mykorrhiza“ bei 14,89 % (2000) bzw. 13,61 % (2001).

Die Versuche zur Untersuchung des Einflusses organischer und mineralischer P-Düngung und der Mykorrhizierung auf Basilikum erbrachten widersprüchliche Ergebnisse. Im Jahr 2000 (Versuch 3) war der Trockensubstanzgehalt bei der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ mit 11,18 % signifikant am höchsten, während 2001 diese Variante 2001 (Versuch 4) mit 13,97 % den signifikant niedrigsten Wert aufwies. Allerdings waren die Trockensubstanzgehalte bei den Versuchen zur P-Düngung im Jahr 2001 insgesamt deutlich höher (25 – 86 %) als im Jahr 2000.

## Ergebnisse

Tab. 4.2: Trockensubstanz in % der Frischmasse von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
mit AMP	14,54 <sup>1</sup>		8,32	15,48
organisch	0,88 <sup>2</sup> a <sup>3</sup>	-	2,16 b	0,22 a
ohne AMP	16,06		10,38	15,65
organisch	0,43 a	-	1,46 ab	0,35 a
mit AMP	14,71	14,13	10,86	15,72
mineralisch	0,07 a	0,52 a	0,99 ab	0,23 a
ohne AMP	14,89	13,61	11,18	13,97
mineralisch	0,47 a	0,49 b	0,88 a	1,05 b

<sup>1</sup> Mittelwert; <sup>2</sup> Standardabweichung; <sup>3</sup> Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

### 4.1.5 Nährstoffgehalte von Basilikum

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss von AMP und organischer und mineralischer N- bzw. P-Düngung auf die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor und Kalium der Basilikumpflanzen dargestellt.

#### 4.1.5.1 *Stickstoffgehalte von Basilikum*

Die Stickstoffgehalte der Basilikumpflanzen waren stark von der Form der Düngung abhängig. Bei den Versuchen 1 und 2 mit organischer und mineralischer N-Düngung (Abb. 4.5) betrug der N-Gehalt (in % der Trockenmasse) in der Pflanze nur 32 – 63 % der Gehalte der Pflanzen aus den Versuchen 3 und 4 mit organischer und mineralischer P-Düngung. Vor allem in den Versuchen zur N-Düngung lagen die Werte beinahe im Mangelbereich.

Bei mit Horndünger bzw. Osmocote gedüngten Pflanzen war der höchste N-Gehalt bei der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“ zu beobachten (1,66 %) Den niedrigsten Gehalt wiesen Pflanzen mit organischer Düngung ohne Mykorrhiza auf (1,30 %). Mineralisch gedüngte Pflanzen mit Mykorrhiza (1,44 %) und organisch gedüngte Pflanzen mit Mykorrhiza (1,43 %) lagen dazwischen. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren aber auf

## Ergebnisse

Grund der Schwankungen der Wiederholungen auf einem Niveau von  $\alpha = 5,0 \%$  nicht signifikant. Im Jahr 2001, in dem nur mineralisch (mit Osmocote) gedüngte Pflanzen untersucht wurden, war der N-Gehalt in den Pflanzen „mit Mykorrhiza“ (2,30 %) signifikant niedriger als der Basilikumkräuter, die ohne den Symbionten kultiviert wurden (2,54 %). Die N-Gehalte lagen deutlich über denen des Jahres 2001, bestätigen aber den Trend, dass der N-Gehalt bei mineralischer Düngung bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen höher war. Eine Wechselwirkung zwischen den Behandlungen lag nicht vor.

In den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.6) lagen die N-Gehalte im Jahr 2000 24 – 40 % über denen aus dem Jahr 2001. Den höchsten Gehalt hatte im Jahr 2000 die Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ (4,03 %), den niedrigsten die Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ (3,69 %). Es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen zu beobachten. Auch im Jahr 2001 gab es keine Unterschiede im N-Gehalt abhängig von Mykorrhizierung oder P-Düngung. Die Gehalte lagen zwischen 2,82 % („mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“) und 3,17 % („mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“).

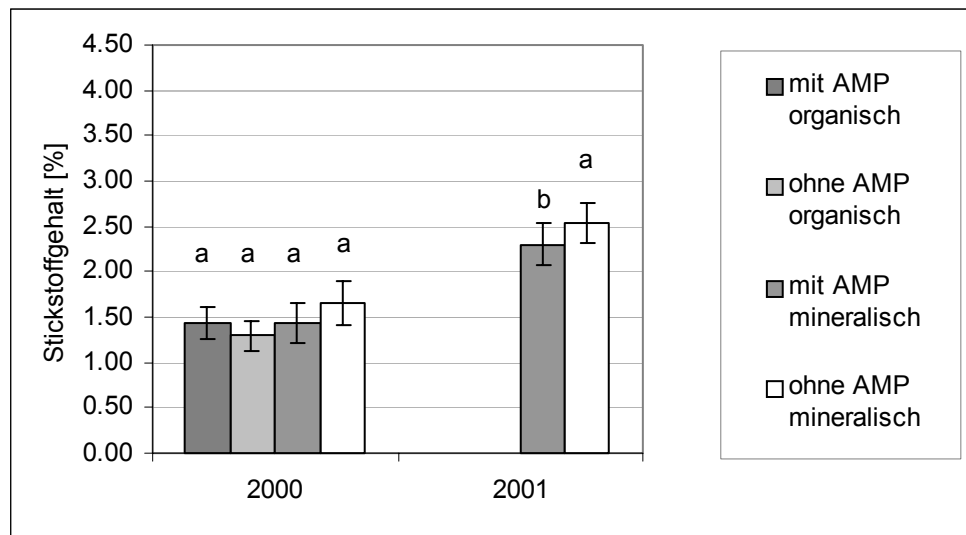


Abb. 4.5: Stickstoffgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

## Ergebnisse

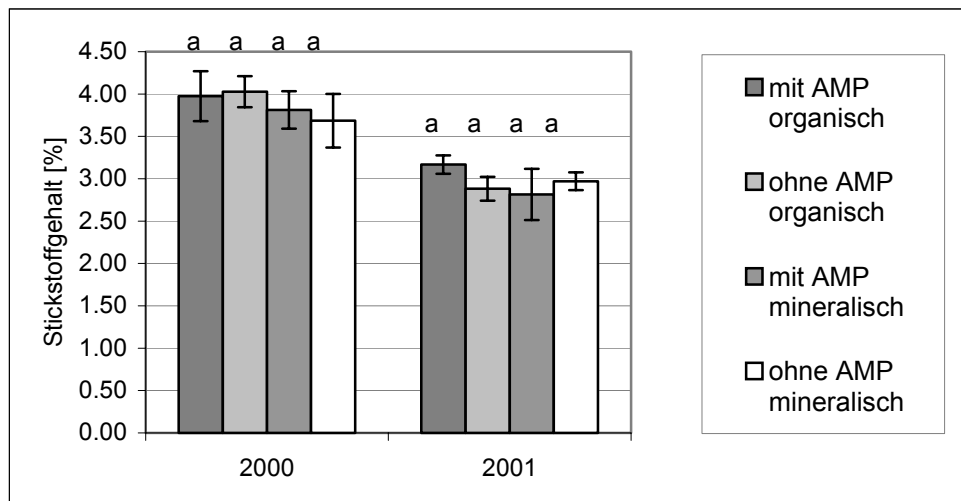


Abb. 4.6: Stickstoffgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 6,19 \%$ )

Im Jahr 2001 trat eine Wechselwirkung ( $\alpha = 6,91 \%$ ) zwischen den Behandlungen „Mykorrhiza“ und „Düngung“ auf, so dass nur Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden können. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten gab es nicht.

### 4.1.5.2 Phosphorgehalte von Basilikum

Die Phosphorgehalte (in % der Trockenmasse) der Basilikumpflanzen lagen insgesamt sehr niedrig und müssen bis auf jene, die in Versuch 3 gemessen wurden, als insgesamt zu gering für eine ausreichende Pflanzenernährung angesehen werden. Es waren allerdings bei keiner Variante typische P-Mangelsymptome zu beobachten.

Bei keinem der Versuche war eine Wechselwirkung zwischen den Behandlungen zu beobachten, so dass alle Varianten innerhalb eines Versuches untereinander verglichen werden können.

In Versuch 1 im Jahr 2000 wurden keine signifikanten Unterschiede im P-Gehalt abhängig von Mykorrhizierung oder N-Düngeform beobachtet. Bei organischer N-

## Ergebnisse

Düngung war der P-Gehalt tendenziell geringer, bei mineralischer N-Düngung tendenziell höher. Dieser Trend setzte sich im Jahr 2001 fort, der P-Gehalt lag hier bei mineralischer N-Düngung bei 0,11 % („mit Mykorrhiza“) und war signifikant niedriger als bei der Behandlung „ohne Mykorrhiza“ (0,14 %); (Abb. 4.7).

Bei den Versuchen mit mineralischer und organischer P-Düngung (Abb. 4.8) waren im Jahr 2000 deutliche Unterschiede im P-Gehalt zu beobachten. Den größten P-Gehalt hatte mit 0,29 % die Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“. Der niedrigste Gehalt wurde bei der Variante ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung gemessen (0,19 %). Dieser Unterschied konnte auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0 \%$  statistisch gesichert werden. Die Varianten „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ (0,26 %) und „mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ (0,22 %) unterschieden sich aufgrund der großen Streuung der ersten Variante ( $\sigma = 0,07$ ) nicht signifikant von den übrigen Varianten. Im Jahr 2001 bei der Wiederholung des Versuches konnte keines dieser Ergebnisse bestätigt werden, alle Varianten lagen im Bereich um 0.08 % Phosphor in der Trockenmasse deutlich unter den Gehalten des Vorjahres und unterschieden sich nicht signifikant untereinander.

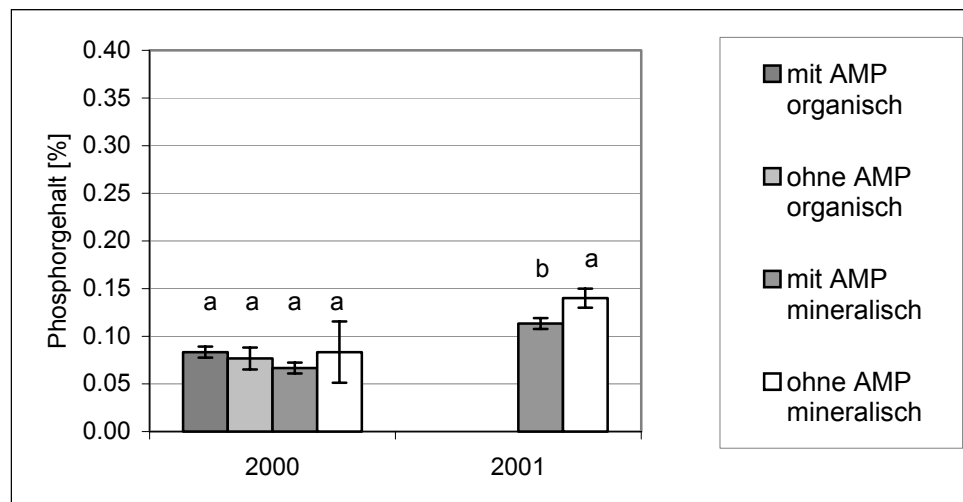


Abb. 4.7: Phosphorgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

## Ergebnisse

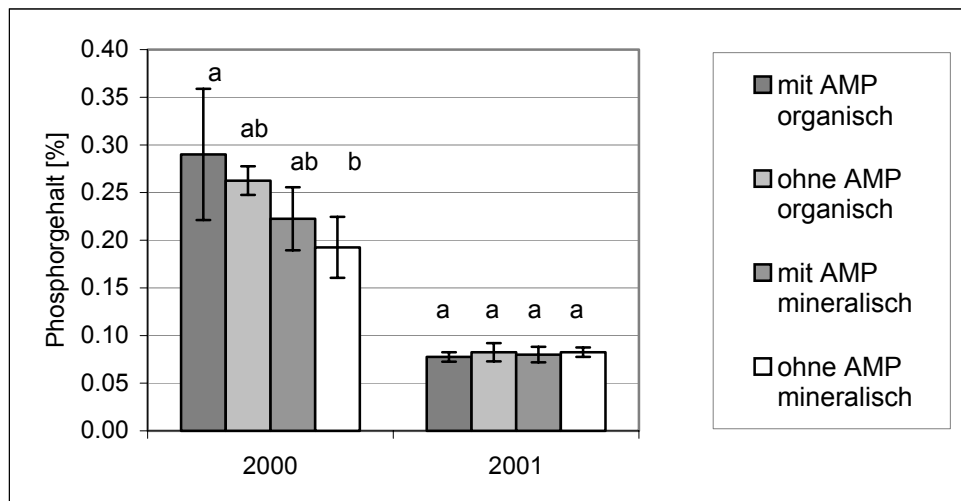


Abb. 4.8: Phosphorgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

### 4.1.5.3 Kaliumgehalte von Basilikum

Obwohl sowohl bei den Versuchen zur N- wie auch zur P-Düngung Kalium unlimited zur Verfügung stand, schwankten die K-Gehalte in der Trockenmasse extrem (0,98 – 4,36 %).

Eine Wechselwirkung zwischen den Behandlungen war bei keinem der Versuche zu beobachten, so dass alle Varianten innerhalb eines Versuches untereinander verglichen werden können.

Bei den Versuchen zur N-Düngung (Abb. 4.9) lag der K-Gehalt im Jahr 2000 zwischen 0,98 % („ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“) und 1,66 % („ohne Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“). Pflanzen, die mit Mykorrhiza kultiviert wurden, erzielten bei organischer N-Düngung einen K-Gehalt von 1,47 %, bei mineralischer N-Düngung einen Gehalt von 1,59 %. Auf Grund der hohen Schwankungen, besonders bei der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“ ( $\sigma = 0,59$ ) waren diese Unterschiede aber nicht signifikant. Im Jahr 2001 (nur mineralische Düngung) lag der K-Gehalt mit Mykorrhiza bei 3,07 %, ohne Mykorrhiza tendenziell höher bei 3,29 %.

## Ergebnisse

Auch bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.10) waren die Schwankungen sehr groß. Im Jahr 2000 lag der K-Gehalt zwischen 3,95 % („mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“) und 4,36 % („mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“). Ohne Mykorrhiza wurden bei organischer P-Düngung Werte von 4,09 % bzw. bei mineralischer P-Düngung 4,00 % erreicht. Die Unterschiede im K-Gehalt waren nicht signifikant.

Im Jahr 2001 lagen die K-Gehalte etwas unter denen des Vorjahres, der höchste Gehalt von 4,00 % („ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“) unterschied sich sogar signifikant von den drei anderen Behandlungen, die Werte von 2,69 % („mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“), 3,04 % („ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“) und 2,83 % („mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“) aufwiesen.

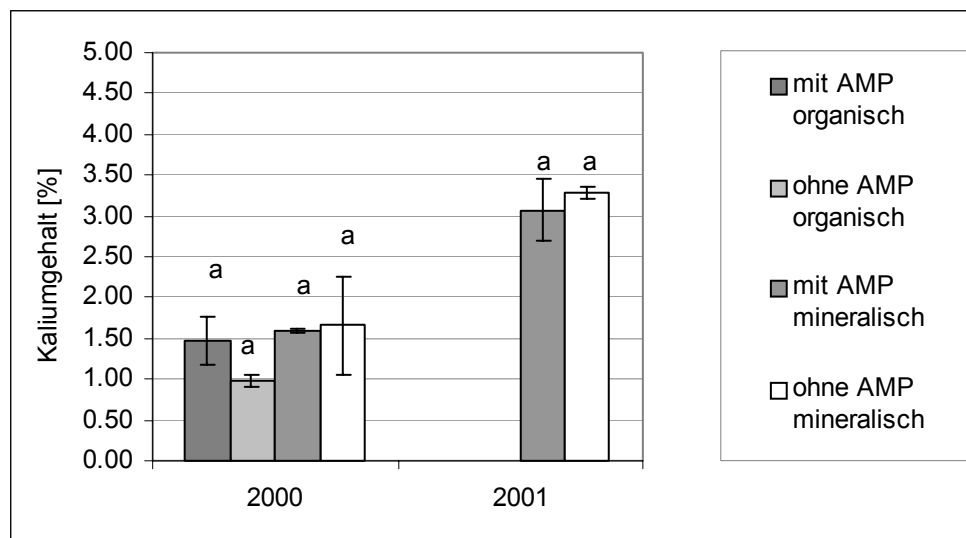


Abb. 4.9: Kaliumgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

## Ergebnisse

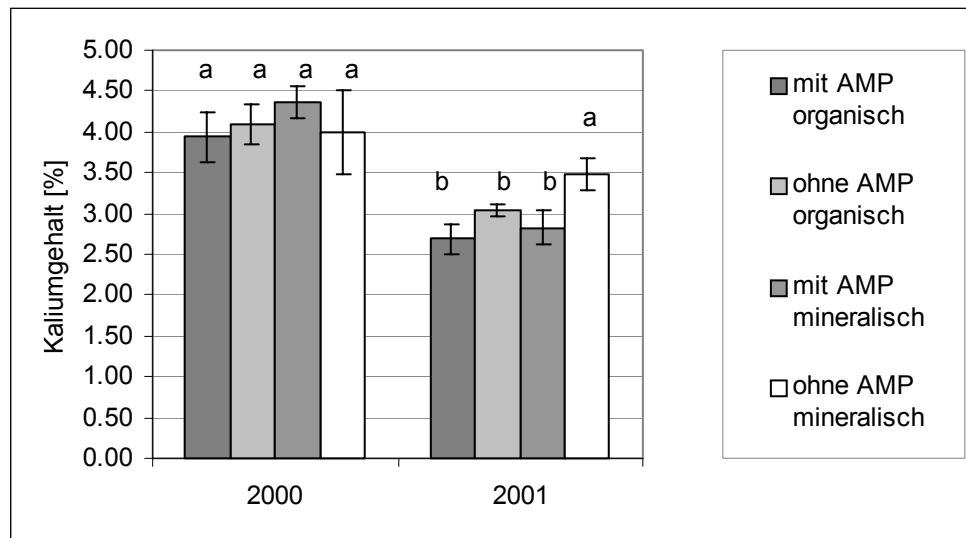


Abb. 4.10: Kaliumgehalt von Basilikum in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

## 4.2 Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Petersilie

### 4.2.1 Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Petersilie

Die Mittelwerte der Boniturnoten der AMP-Kolonisierung der Petersilienwurzeln sind in Tab. 4.3 dargestellt. Eine statistische Verrechnung erfolgte, wie bei Bonituren üblich, nicht. Bei keiner der nicht mykorrhizierten Varianten konnte eine Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln nachgewiesen werden. In Versuch 1 war bei organischer Stickstoffdüngung eine deutlich geringere Kolonisierung zu beobachten, als bei der mineralischen Behandlung. In den Versuchen mit mineralischer und organischer Phosphordüngung (Versuche 3 und 4) konnte bei der mineralischen Düngevariante in beiden Jahren eine stärkere Kolonisierung beobachtet werden. Vor allem im Jahr 2001 (Versuch 4) war dies deutlich zu erkennen.



## Ergebnisse

Tab. 4.3: Kolonisierung der Petersilienwurzeln mit *Glomus intraradices* in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
mit AMP organisch	1,0	-	2,7	2,3
ohne AMP organisch	0	-	0	0
mit AMP mineralisch	3,7	3,3	3,3	3,6
ohne AMP mineralisch	0	0	0	0

Bonitur mit den Noten 0 bis 5 (0 = keine Kolonisierung, 1 = 1–20 % Kolonisierung, 2 = 21–40 %, 3 = 41–60 %, 4 = 61–80 %, 5 = 81–100 %); dargestellt sind die Mittelwerte aus jeweils drei (Versuche 1 und 2) bzw. vier (Versuche 3 und 4) Wiederholungen

Bei organischer Düngung war, wie schon bei Basilikum beobachtet, die Kolonisierung der Wurzeln der Petersilienpflanzen geringer als bei mineralischer Düngung. Besonders deutlich fiel dieser Unterschied bei Versuch 1 zur N-Düngung auf.

### 4.2.2 Frischmasseerträge von Petersilie

In den Versuchen zur organischen und mineralischen N-Düngung war der Frischmasseertrag pro Topf von Petersilie (10 Pflanzen pro Topf) in beiden Versuchsjahren mit Ausnahme der Variante „mit AMP, organische N-Düngung“ ungefähr genauso groß bei den Versuchen zur P-Düngung.

In Abb. 4.11. sind die Frischmasseerträge in g pro Topf von Petersilie bei unterschiedlicher N-Düngung dargestellt, Abb. 4.12 zeigt die Frischmasseerträge bei organischer und mineralischer P-Düngung.

Im Jahr 2000 wurden in Versuch 1 die höchsten Frischmasseerträge mit 23,74 g pro Topf bei der Variante „mit Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“ beobachtet. Der Unterschied zur gleich gedüngten Variante „ohne Mykorrhiza“ (23,58 g pro Topf) war nicht signifikant. Petersilienpflanzen mit organischer N-Düngung brachten im Vergleich mit mineralisch gedüngten Pflanzen niedrigere Erträge („mit

## Ergebnisse

Mykorrhiza“ 8,91 g pro Topf und „ohne Mykorrhiza“ 19,97 g pro Topf). Besonders die Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ lag deutlich unter allen anderen. Auf Grund der hohen Wahrscheinlichkeit einer Wechselwirkung zwischen den Behandlungen (Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 2,03\%$ ) konnten nur Varianten innerhalb derselben Behandlung verglichen werden. So ist auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0\%$  nur der Unterschied zwischen der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ und „mit Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“, bzw. „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ und „ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“ statistisch absicherbar.

Im Jahr 2001, in dem nur mineralisch gedüngte Pflanzen kultiviert wurden, war kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten „mit –“ und „ohne Mykorrhiza“ vorhanden. Tendenziell war der Ertrag der Variante „ohne Mykorrhiza“ (16,92 g pro Topf) höher als bei der Variante „mit Mykorrhiza“ (15,99 g pro Topf). Diese Erträge bestätigen die Tendenz aus dem Jahr 2000, dass bei mineralischer Düngung die Mykorrhiza kaum Einfluss auf die Frischmasseerträge von Petersilie hatte.

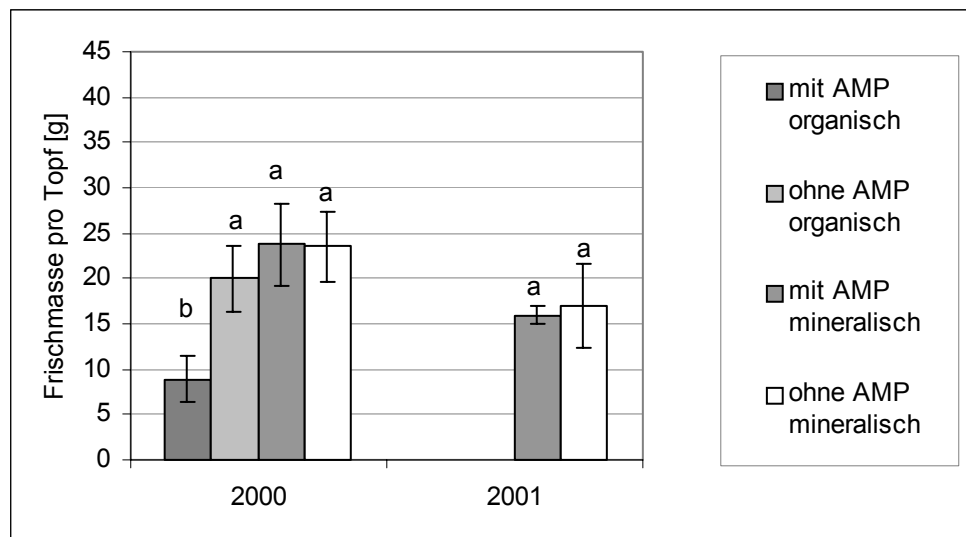


Abb. 4.11: Frischmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 2,03\%$ )

## Ergebnisse

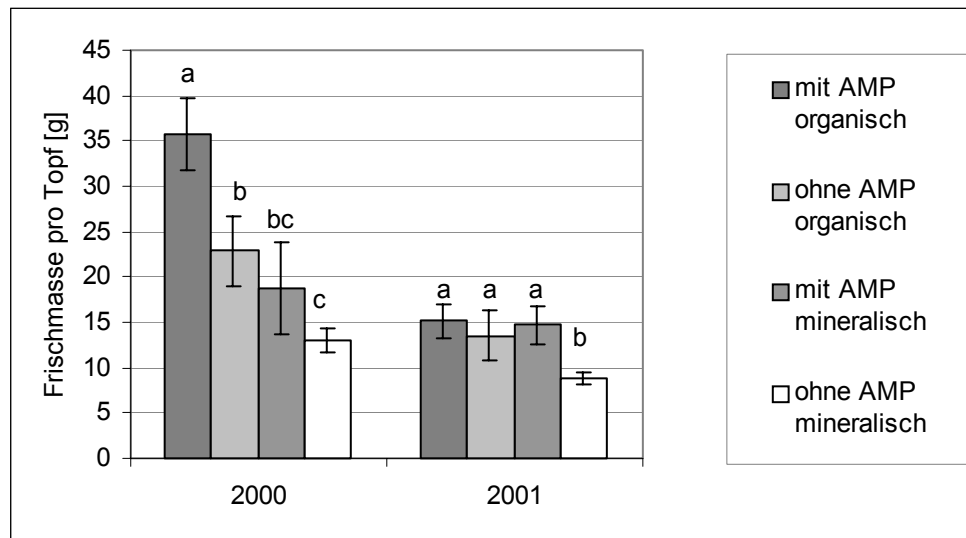


Abb. 4.12: Frischmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung im Jahr 2000,  $\alpha = 9,90 \%$  und im Jahr 2001,  $\alpha = 6,76 \%$ )

Bei den Versuchen zur P-Düngung waren deutlichere Unterschiede zwischen den Varianten zu beobachten. Allerdings trat in beiden Jahren mit recht hoher Wahrscheinlichkeit eine Wechselwirkung zwischen den Behandlungen auf (im Jahr 2000  $\alpha = 9,90 \%$  und im Jahr 2001  $\alpha = 6,76 \%$ ). Ein Variantenvergleich ist also nur innerhalb einer Behandlung möglich (Abb. 4.12).

Im Jahr 2000 brachte die Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 35,74 g pro Topf den mit Abstand höchsten Ertrag. Bei mineralischer P-Düngung lag der Ertrag mykorrhizierter Pflanzen signifikant niedriger bei 18,74 g pro Topf. Nicht mykorrhizierte Petersilienpflanzen erzielten bei organischer P-Düngung einen Ertrag von 22,84 g pro Topf, der signifikant geringer war als bei mykorrhizierten Pflanzen derselben Düngungsvariante und bei mineralischer P-Düngung einen Ertrag von 12,97 g pro Topf. Der Ertragsunterschied zwischen mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Pflanzen konnte nicht statistisch abgesichert werden. Zu beachten ist, dass die Irrtumswahrscheinlichkeit für eine Wechselwirkung mit  $\alpha = 9,90 \%$  nur sehr knapp unter der gewählten Grenze von  $\alpha = 10,00 \%$  lag.

## Ergebnisse

Bei der Wiederholung des Versuches im darauf folgenden Jahr konnten die deutlichen Unterschiede zwischen den Behandlungen nicht bestätigt werden. Zwar erzielte auch im Jahr 2001 die Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ den höchsten Ertrag (15,15 g pro Topf) und die Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ den niedrigsten Ertrag (8,82 g pro Topf), auf Grund der wahrscheinlichen Wechselwirkung können diese Mittelwerte aber nicht verglichen werden. Der Ertrag nicht-mykorrhizierter Pflanzen lag bei organischer P-Düngung mit 13,56 g pro Topf tendenziell niedriger als bei mykorrhizierten Pflanzen, war aber nicht signifikant. Der Ertrag mykorrhizierter Pflanzen bei mineralischer P-Düngung lag bei 14,72 g pro Topf und war signifikant höher als bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen derselben Düngungsvariante.

### 4.2.3 Trockenmasseerträge von Petersilie

Die Trockenmasseerträge in g pro Topf der untersuchten Petersilienpflanzen verhielten sich analog zu den Frischmasseerträgen.

In Abb. 4.13. sind die Trockenmasseerträge in g pro Topf von Petersilie bei unterschiedlicher N-Düngung dargestellt, Abb. 4.14 zeigt die Trockenmasseerträge bei organischer und mineralischer P-Düngung.

Der niedrigste Trockenmasseertrag bei den Versuchen zur N-Düngung war mit 1,55 g pro Topf im Jahr 2000 bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ zu verzeichnen. Dieser lag signifikant unter dem nicht-mykorrhizierter Pflanzen derselben Düngungsvariante (3,91 g pro Topf). Bei mineralischer Düngung lagen die Trockenmasseerträge mykorrhizierter Pflanzen bei 4,18 g pro Topf, die nicht-mykorrhizierter tendenziell höher bei 4,89 g pro Topf. Auf Grund der wahrscheinlichen Wechselwirkung ( $\alpha = 6,72 \%$ ) ist nur ein Mittelwertsvergleich innerhalb einer Behandlungsstufe zulässig.

Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 mit mineralischer N-Düngung konnte zwar die Tendenz zu höheren Trockenmasseerträgen bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen (3,00 g pro Topf) bestätigt werden. Der Unterschied zu den

## Ergebnisse

mykorrhizierten Petersilienpflanzen (2,82 g pro Topf) war aber nicht signifikant. Insgesamt lagen die Erträge 2001 deutlich unter denen aus dem Jahr 2000.

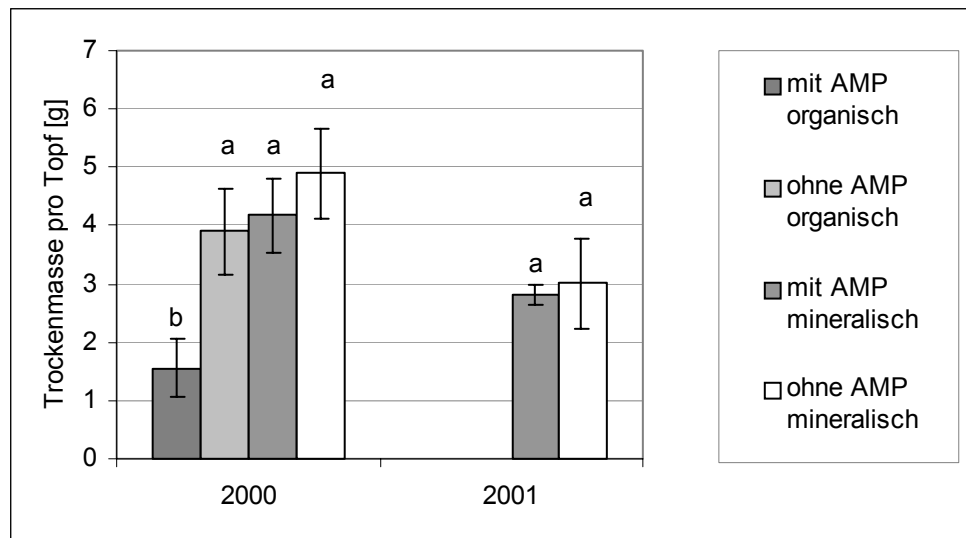


Abb. 4.13: Trockenmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 6,72 \%$ )

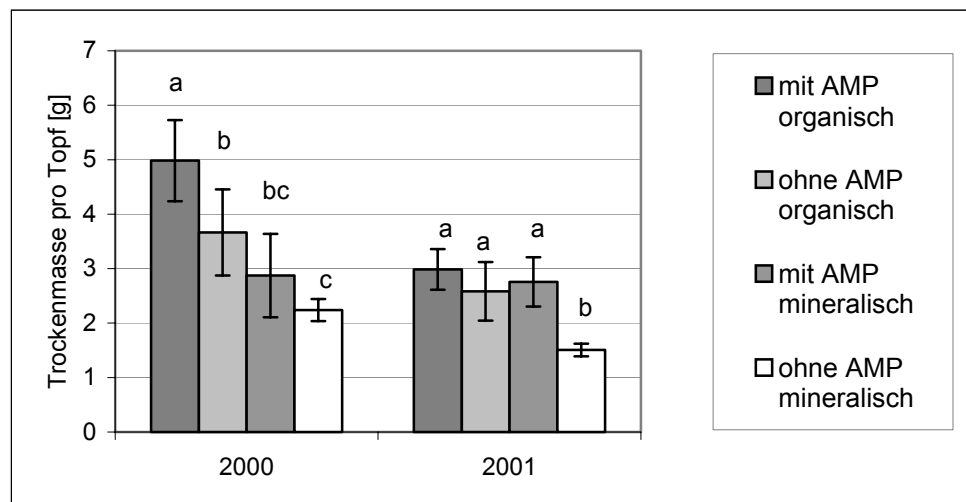


Abb. 4.14: Trockenmasse pro Topf von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 6,66 \%$ )

## Ergebnisse

Bei den Versuchen zur P-Düngung mit Knochenmehl (organisch) bzw. mineralisch (Hyperphos) waren die Trockenmasseerträge im Jahr 2000 genau wie die Frischmasseerträge sehr variabel (Abb. 4.14).

Den höchsten Ertrag erzielte die Behandlung „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 4,98 g pro Topf. Nicht-mykorrhizierte Petersilienpflanzen derselben Düngungsvariante brachten mit 3,66 g pro Topf signifikant niedrigere Erträge. Auch mykorrhizierte Pflanzen, die mineralisch gedüngt wurden, lagen signifikant niedriger im Trockenmasseertrag (2,87 g pro Topf), als organisch gedüngte. Auch der Ertragsunterschied nicht-mykorrhizierter Pflanzen (2,24 g pro Topf) zu mykorrhizierten bei mineralischer Düngungsvariante war signifikant.

Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 können aufgrund einer wahrscheinlichen Wechselwirkung der Behandlungen ( $\alpha = 6,66\%$ ) nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlungsstufe verglichen werden. Insgesamt lagen die Trockenmasseerträge deutlich unter denen des Vorjahres.

Die höchsten Erträge wies wie im Jahr 2000 die Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 2,55 g pro Topf auf. Tendenziell niedriger war der Ertrag nicht-mykorrhizierter Pflanzen in derselben Düngungsstufe mit 2,58 g pro Topf. Bei mineralischer P-Düngung lag der Ertrag mykorrhizierter Pflanzen bei 2,76 g pro Topf, der nicht-mykorrhizierter bei 1,51 g pro Topf. Dieser Unterschied konnte auch auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0\%$  statistisch abgesichert werden.

### 4.2.4 Trockensubstanzgehalte

Die Untersuchung der Trockensubstanzgehalte in % der Frischmasse ergab kein einheitliches Bild. Bei den Versuchen zur N-Düngung war der Trockensubstanzgehalt mykorrhizierter Pflanzen niedriger als der nicht-mykorrhizierter. Im Jahr 2000 war dieser Unterschied sowohl bei mineralischer wie auch bei organischer N-Düngung signifikant.

## Ergebnisse

Bei den Versuchen zu P-Düngung wurde dieser Trend im Jahr 2000 (Versuch 3) bestätigt. Sowohl bei organischer als auch bei mineralischer P-Düngung war der Trockensubstanzgehalt mykorrhizierter Pflanzen signifikant niedriger als der nicht-mykorrhizierter. Im Gegensatz dazu waren die Trockensubstanzgehalte bei der Versuchswiederholung im folgenden Jahr bei mykorrhizierten Pflanzen bei organischer P-Düngung tendenziell, bei mineralischer P-Düngung signifikant niedriger als bei den nicht-mykorrhizierten Varianten. Auf Grund einer wahrscheinlichen Wechselwirkung ( $\alpha = 5,83 \%$ ) können im Jahr 2001 (Versuch 4) nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlung verglichen werden.

In Tab. 4.4 sind die Trockensubstanzgehalte in % der Frischmasse von Petersilie abhängig von Mykorrhizierung bzw. N- oder P-Düngung angegeben.

Tab. 4.4: Trockensubstanz in % der Frischmasse von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
mit AMP	17,33 <sup>1</sup>		13,92	19,72
organisch	0,58 <sup>2</sup> b <sup>3</sup>	-	1,05    c	0,26    a
ohne AMP	19,69		15,95	19,06
organisch	0,77    a	-	0,77    ab	0,81    ab
mit AMP	17,62	17,66	15,38	18,68
mineralisch	1,35    b	0,36    a	0,81    bc	0,47    b
ohne AMP	20,77	17,80	17,29	17,10
mineralisch	0,33    a	0,32    a	0,57    a	0,29    c

<sup>1</sup> Mittelwert; <sup>2</sup> Standardabweichung; <sup>3</sup> Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )  
Bei Versuch 4 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 5,83 \%$ )

### 4.2.5 Nährstoffgehalte von Petersilie

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss von AMP und organischer und mineralischer N- bzw. P-Düngung auf die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor und Kalium der Petersilienpflanzen dargestellt.

### 4.2.5.1 Stickstoffgehalte von *Petersilie*

Bei den Versuchen zum Einfluss der N-Düngung (Abb. 4.15) wurde der höchste N-Gehalt (in % der Trockenmasse) mit 2,45 % bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ beobachtet. Organisch gedüngte Pflanzen, die ohne Mykorrhiza kultiviert wurden lagen mit 1,50 % signifikant niedriger. Auch bei mineralischer N-Düngung war der N-Gehalt mykorrhizierter Pflanzen (2,02 %) tendenziell höher als der nicht-mykorrhizierter (1,69 %). Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 konnte dieser Trend nicht bestätigt werden. Mykorrhizierte Pflanzen wiesen mit 2,37 % einen geringeren N-Gehalt auf als nicht-mykorrhizierte (3,19 %). Allerdings schwankten die Messwerte bei der letzten Variante stark ( $\sigma = 1,16$ ). Die wahrscheinliche Wechselwirkung ( $\alpha = 6,03$  %) im Jahr 2000 erlaubt nur einen Mittelwertsvergleich innerhalb einer Behandlungsstufe.

Bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.16) lagen im Jahr 2000 die N-Gehalte bei mykorrhizierten Pflanzen über denen nicht-mykorrhizierter. Bei organischer P-Düngung war der N-Gehalt von mykorrhizierten Pflanzen (3,06 %) signifikant höher als der nicht-mykorrhizierter (2,74 %). Mineralisch gedüngte Pflanzen, die mit Mykorrhiza kultiviert wurden wiesen zwar höhere N-Gehalte (2,98 %) als nicht-mykorrhizierte (2,77 %) auf, dieser Unterschied war aber nicht signifikant. Im Gegensatz dazu lagen im Jahr 2001 die N-Gehalte nicht-mykorrhizierter Pflanzen tendenziell höher, die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Bei organischer P-Düngung lag der N-Gehalt bei 2,63 % („mit Mykorrhiza“) bzw. 2,67 % („ohne Mykorrhiza“). Mineralisch gedüngte Pflanzen erzielten einen N-Gehalt von 2,69 % („mit Mykorrhiza“) bzw. 2,91 % („ohne Mykorrhiza“).



## Ergebnisse

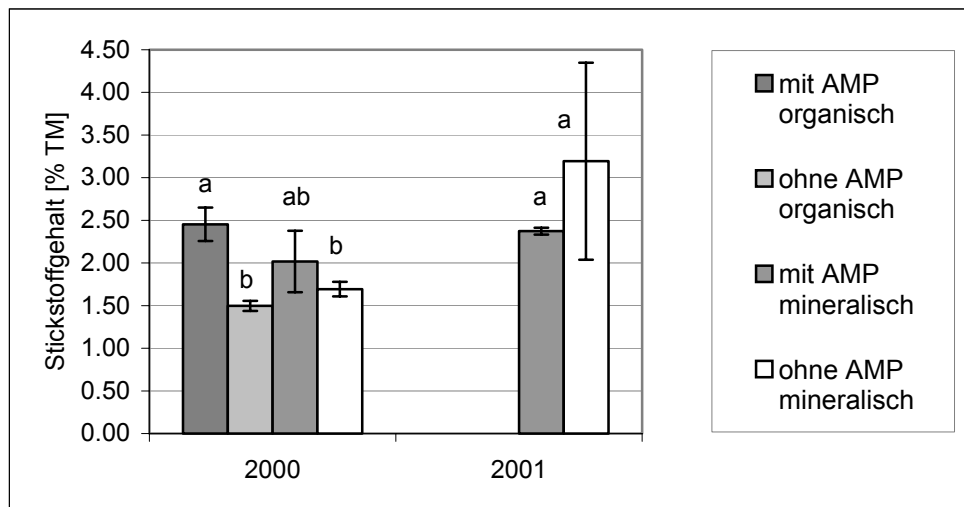


Abb. 4.15: Stickstoffgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 6,03 \%$ )

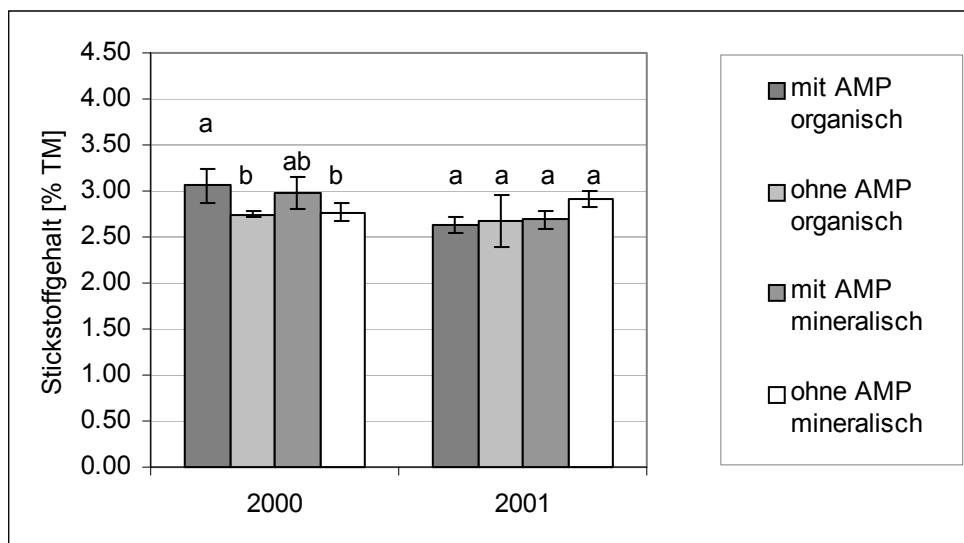


Abb. 4.16: Stickstoffgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

### 4.2.5.2 Phosphorgehalte von Petersilie

Im Gegensatz zu den Erwartungen lag der P-Gehalt (in % der Trockenmasse) mykorrhizierter Pflanzen nur in Versuch 1 bei organischer N-Düngung deutlich über dem nicht-mykorrhizierter Pflanzen. Wegen der enormen Schwankungsbreite ( $\sigma = 0,05$ ) konnte dieser Unterschied auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5,0\%$  nicht statistisch abgesichert werden. Im Einzelnen lagen die P-Gehalte im Jahr 2000 bei 0,12 % („mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“), 0,07 % („ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“), 0,07 % („mit Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“) bzw. 0,05 % („ohne Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“). Im darauf folgenden Jahr (nur mineralische N-Düngung) lag der P-Gehalt bei beiden Varianten bei 0,11 (Abb. 4.17).

Bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.18) unterschieden sich die Pflanzen der einzelnen Behandlungen nicht signifikant in ihrem P-Gehalt. Den höchsten Gehalt (mit der höchsten Schwankungsbreite,  $\sigma = 0,11$ ) wies die Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ auf. Der niedrigste Gehalt wurde bei der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ mit 0,14 % gemessen. Mykorrhizierte Pflanzen wiesen bei organischer P-Düngung einen P-Gehalt von 0,19 %, bei mineralischer P-Düngung einen Gehalt von 0,15 % auf. Im darauf folgenden Jahr lag der P-Gehalt der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ mit 0,11 % signifikant am höchsten. Die übrigen 3 Behandlungen unterschieden sich mit einem P-Gehalt von 0,08 nicht voneinander. Da eine hochsignifikante Wechselwirkung vorhanden war ( $\alpha = 0,11\%$ ), können nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlungsstufe verglichen werden.

Insgesamt sind die P-Gehalte der Petersilienpflanzen bei allen Versuchen als sehr niedrig einzustufen.

## Ergebnisse

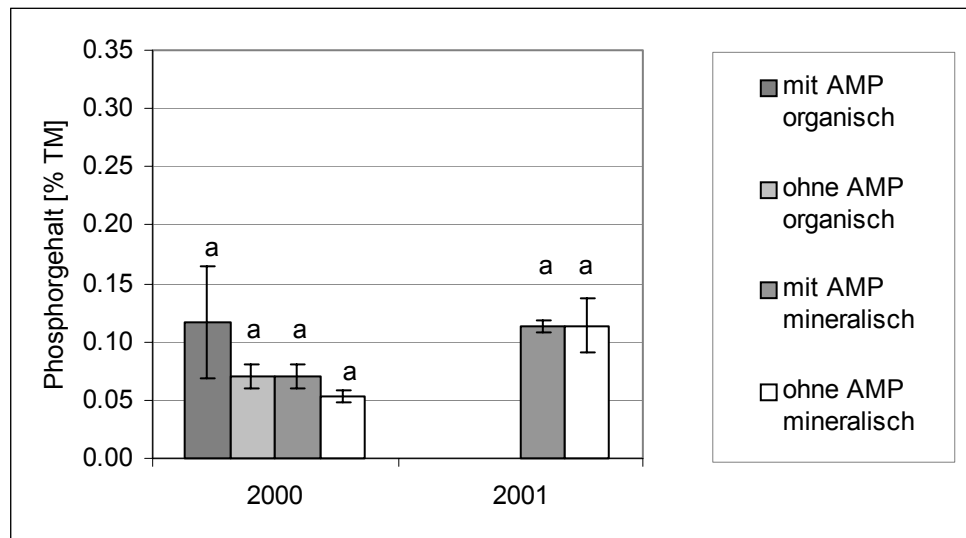


Abb. 4.17: Phosphorgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

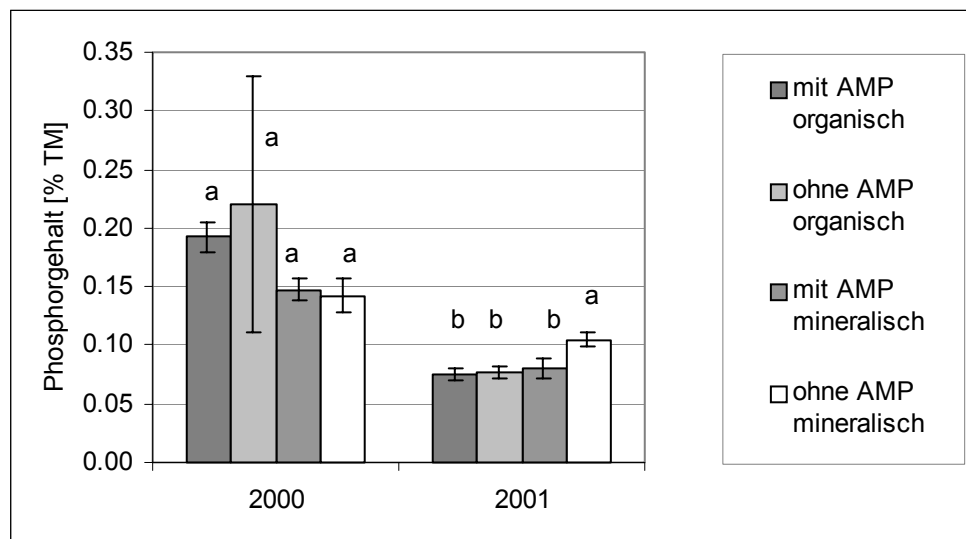


Abb. 4.18: Phosphorgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 0,11\%$ )

### 4.2.5.3 Kaliumgehalte von Petersilie

Die Kaliumgehalte der untersuchten Petersilienpflanzen schwankten trotz des gleichen Angebots sehr stark. Im Jahr 2000 wurde bei den Versuchen zur N-Düngung (Abb. 4.19) bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ mit 3,67 % der höchste Gehalt gemessen. Der Unterschied zur nicht-mykorrhizierten Variante (1,86 %) war aber auf Grund der großen Schwankungsbreite der mykorrhizierten Variante ( $\sigma = 1,26$ ) nicht signifikant. Der K-Gehalt der Variante „mit Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“ lag mit 2,26 % tendenziell höher als der nicht-mykorrhizierter Pflanzen (1,56 %). Im Jahr 2001 war die Tendenz genau umgekehrt, die K-Gehalte lagen insgesamt höher bei 4,16 % („mit Mykorrhiza“) und 4,54 % („ohne Mykorrhiza“).

Bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.20) lag im Jahr 2000 die Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ der K-Gehalt mit 4,49 % am niedrigsten. Nicht-mykorrhizierte Pflanzen hatten mit 4,65 % signifikant höhere K-Gehalte. Bei mineralischer Düngung waren die K-Gehalte signifikant höher als bei organischer Düngung und lagen bei 5,05 % („mit Mykorrhiza“) und 5,04 % („ohne Mykorrhiza“). Auch im Jahr 2001 wurde der niedrigste K-Gehalt bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ beobachtet (4,49 %). Der Unterschied zur nicht-mykorrhizierten Behandlung (4,65 %) war nicht signifikant. Bei mineralischer P-Düngung lag der K-Gehalt bei mykorrhizierten Pflanzen (4,70 %) signifikant niedriger als bei nicht-mykorrhizierten (5,50 %). Aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Behandlungsstufen im Jahr 2000 ( $\alpha = 2,47$  %) und im Jahr 2001 ( $\alpha = 0,05$  %) können nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlung verglichen werden.

## Ergebnisse

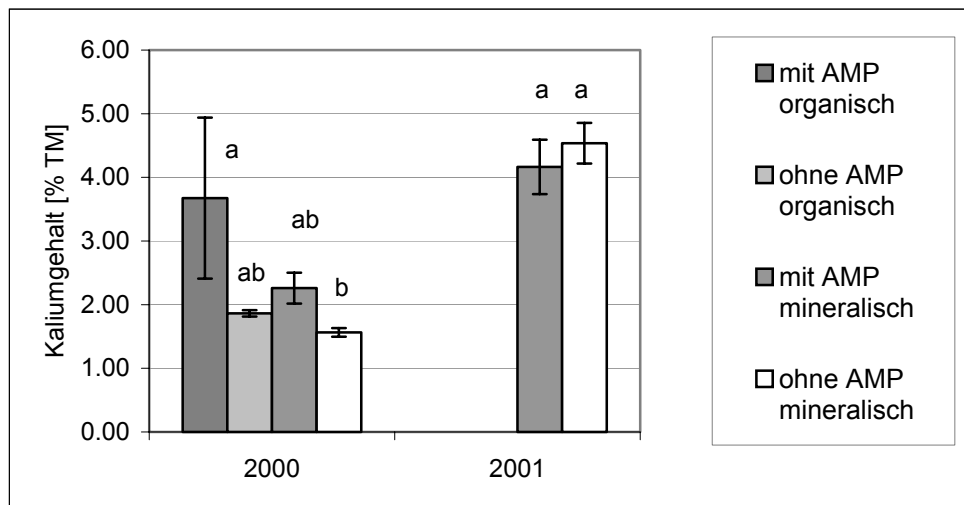


Abb. 4.19: Kaliumgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

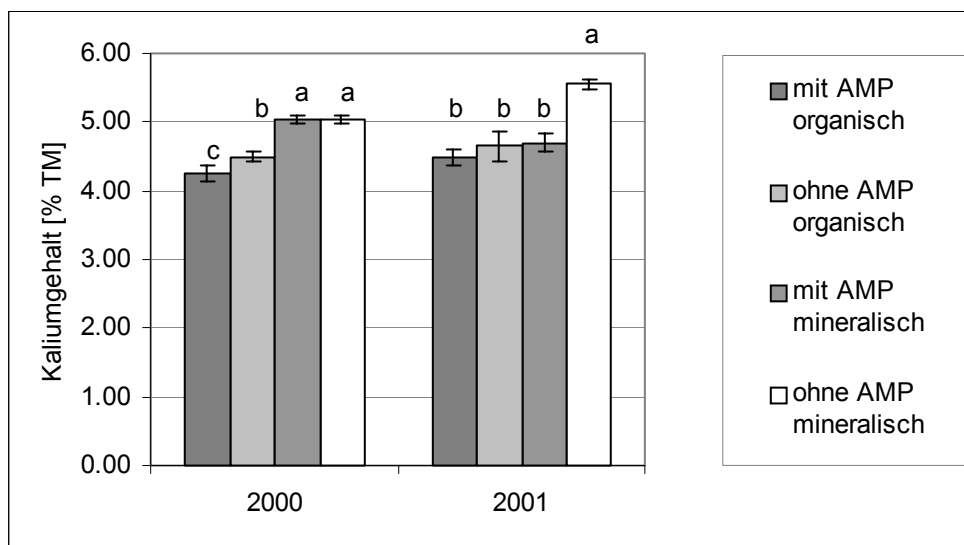


Abb. 4.20: Kaliumgehalt von Petersilie in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden - Wechselwirkung im Jahr 2000 ( $\alpha = 2,47 \%$ ) und im Jahr 2001 ( $\alpha = 0,05 \%$ )

### 4.3 Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Schnittlauch

#### 4.3.1 Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Schnittlauch

Die Mittelwerte der Boniturnoten der AMP-Kolonisierung der Schnittlauchwurzeln sind in Tab. 4.5 dargestellt. Eine statistische Verrechnung erfolgte, wie bei Bonituren üblich, nicht. Bei keiner der nicht mykorrhizierten Varianten konnte eine Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln nachgewiesen werden. In Versuch 1 war bei organischer Stickstoffdüngung eine deutlich geringere Kolonisierung zu beobachten, als bei der mineralischen Behandlung. In Versuch 3 mit mineralischer und organischer Phosphordüngung konnte bei der mineralischen Düngevariante eine mehr als doppelt so hohe Kolonisierungsrate bzw. ein deutlich höherer Anteil an mykorrhiziellen Strukturen (Hyphen, Arbuskeln, Vesikel) in den Wurzeln beobachtet werden.

Tab. 4.5: Kolonisierung der Schnittlauchwurzeln mit *Glomus intraradices* in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
mit AMP organisch	1,7	-	2,0
ohne AMP organisch	0	-	0
mit AMP mineralisch	3,7	3,7	4,3
ohne AMP mineralisch	0	0	0

Bonitur mit den Noten 0 bis 5 (0 = keine Kolonisierung, 1 = 1–20 % Kolonisierung, 2 = 21–40 %, 3 = 41–60 %, 4 = 61–80 %, 5 = 81–100 %); dargestellt sind die Mittelwerte aus jeweils drei (Versuche 1 und 2) bzw. vier (Versuche 3 und 4) Wiederholungen

### 4.3.2 Frischmasseerträge von Schnittlauch

Bei den Versuchen zur N-Düngung (Abb. 4.21) waren die Frischmasseerträge im Jahr 2000 deutlich höher als bei der Versuchswiederholung im darauf folgenden Jahr.

Bei organischer N-Düngung waren die Erträge „mit Mykorrhiza“ (14,53 g pro Topf) und „ohne Mykorrhiza“ (14,70 g pro Topf) signifikant niedriger als bei mineralischer N-Düngung. Hier lagen die Frischmasseerträge bei 24,19 g pro Topf („mit Mykorrhiza“) bzw. 21,15 g pro Topf („ohne Mykorrhiza“). Die Unterschiede im Ertrag von mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Pflanzen innerhalb einer Düngungsstufe waren nicht signifikant.

Im Jahr 2001 lagen die Frischmasseerträge bei 7,71 g pro Topf „mit Mykorrhiza“ und tendenziell höher bei 8,61 g pro Topf „ohne Mykorrhiza“. Auch dieser Unterschied konnte auf einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch nicht abgesichert werden.

Beim Versuch zum Einfluss organischer und mineralischer P-Düngung im Jahr 2000 (Abb. 4.22) lagen die Frischmasseerträge bei organischer P-Düngung höher als bei mineralischer. Die Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ brachte mit 34,88 g pro Topf einen signifikant höheren Ertrag als mykorrhizierte Pflanzen bei mineralischer P-Düngung (20,61 g pro Topf). Nicht-mykorrhizierte Pflanzen erzielten bei organischer P-Düngung einen Ertrag von 33,58 g pro Topf und 28,41 g pro Topf bei mineralischer P-Düngung. Der Unterschied im Ertrag zwischen mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Schnittlauchpflanzen war bei keiner Düngungsstufe signifikant.

Auf Grund der wahrscheinlichen Wechselwirkung ( $\alpha = 5,61 \%$ ) können nur Mittelwerte innerhalb derselben Behandlungsstufe verglichen werden.

## Ergebnisse

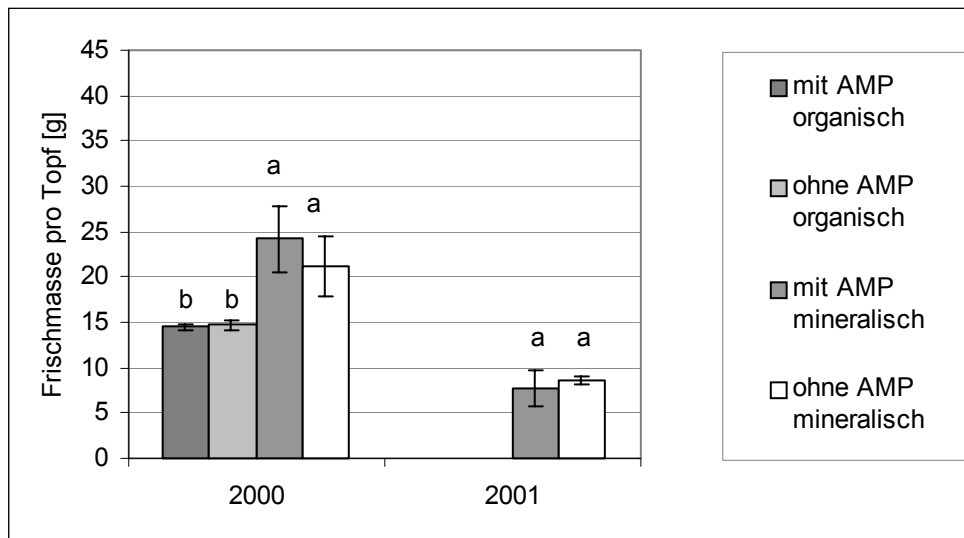


Abb. 4.21: Frischmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

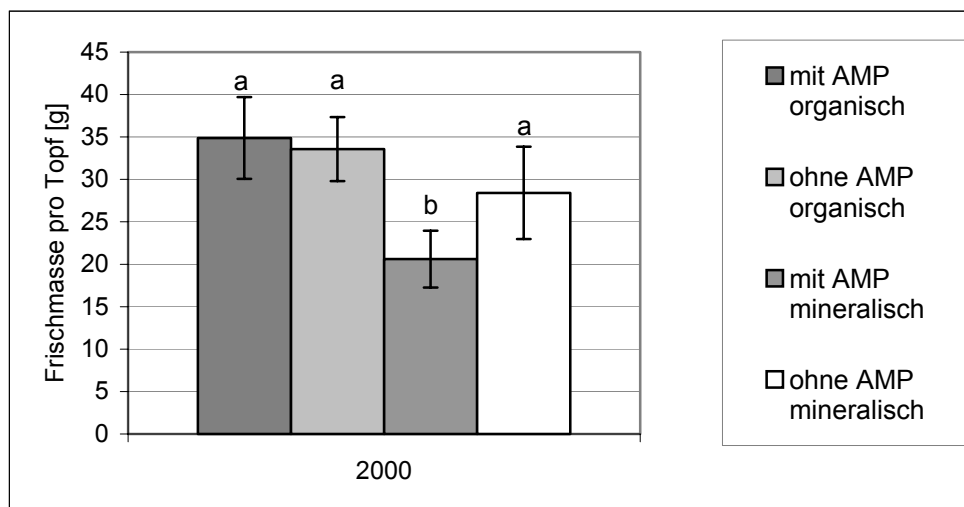


Abb. 4.22: Frischmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 5,61 \%$ )



### 4.3.3 Trockenmasseerträge von Schnittlauch

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Trockenmasseertrag decken sich mit denen der Frischmasseertragsbestimmung.

Im Jahr 2000 lagen die Trockenmasseerträge bei organischer N-Düngung signifikant niedriger als bei mineralischer N-Düngung. Bei organischer N-Düngung lag der Trockenmasseertrag mykorrhizierter Schnittlauchpflanzen bei 1,87 g pro Topf, der nicht-mykorrhizierter bei 2,10 g pro Topf. Mykorrhizierte Pflanzen der mineralischen Düngungsvariante lagen bei 2,98 g pro Topf, nicht-mykorrhizierte bei 3,01 g pro Topf. Der Unterschied im Trockenmasseertrag mykorrhizierter und nicht-mykorrhizierter Pflanzen war innerhalb derselben Düngungsstufe nicht signifikant.

Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 lagen die Trockenmasseerträge deutlich unter denen des Vorjahres. Der Trend, dass mykorrhizierte Pflanzen niedrigere Trockenmasseerträge erzielten, setzte sich zwar mit 0,81 g pro Topf im Vergleich zu 0,90 g pro Topf bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen fort, der Unterschied war aber wie im Vorjahr nicht signifikant (Abb. 4.23).

Beim Versuch zur P-Düngung im Jahr 2000 (Abb. 4.24) wurde bei Kultur der Schnittlauchpflanzen mit Mykorrhiza ein tendenziell geringerer Trockenmasseertrag als bei der Kultur ohne den Symbionten erzielt. Bei organischer P-Düngung lag der Ertrag bei 4,04 g pro Topf („mit Mykorrhiza“) bzw. 4,17 g pro Topf („ohne Mykorrhiza“). Bei mineralischer P-Düngung waren die Erträge insgesamt niedriger, es wurden „mit Mykorrhiza“ 3,16 g pro Topf und „ohne Mykorrhiza“ 3,49 g pro Topf erzielt. Keiner der Unterschiede konnte auf einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch abgesichert werden

## Ergebnisse

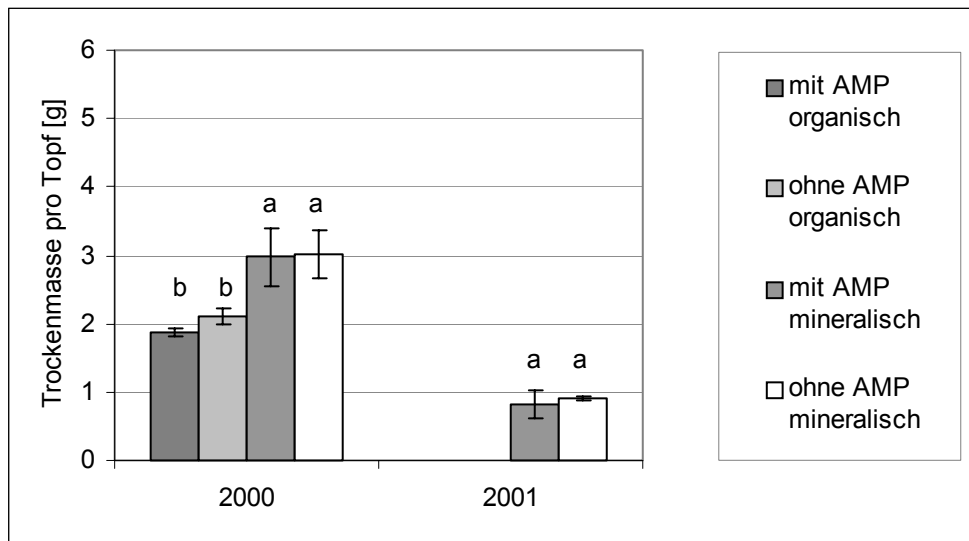


Abb. 4.23: Trockenmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

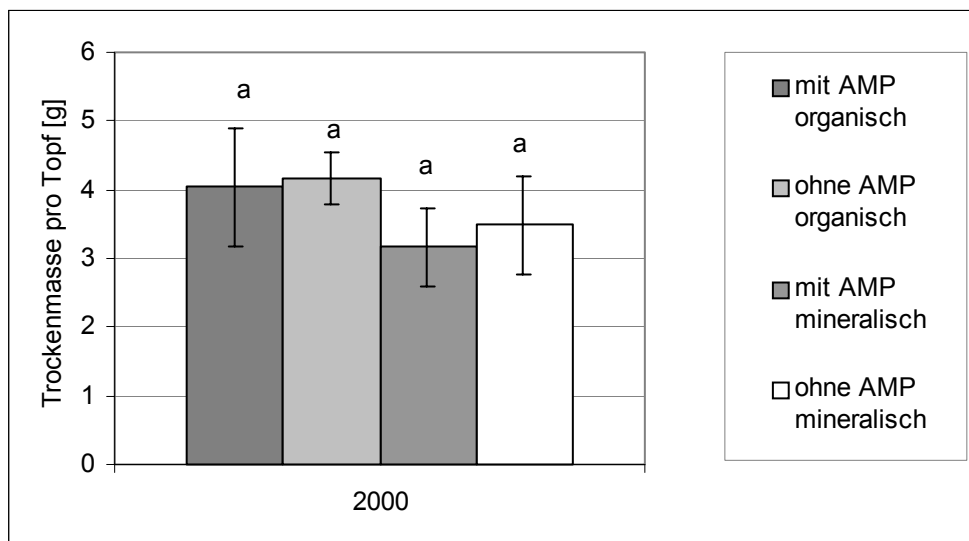


Abb. 4.24: Trockenmasse pro Topf von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

## Ergebnisse

### 4.3.4 Trockensubstanzgehalte

Wie schon bei der Untersuchung der Trockensubstanzgehalte bei Petersilie (Kap. 4.2.4) lag der Trockensubstanzgehalt (in % der Frischmasse) in Versuch 1 bei mykorrhizierten Pflanzen niedriger als bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen. Dies konnte sowohl bei organischer wie auch mineralischer N-Düngung auf einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch gesichert werden. Die Unterschiede zwischen mineralischen und organischen Varianten innerhalb der Mykorrhizierungsstufe waren nicht signifikant. Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 (Versuch 2) konnten diese (bei mineralischer Düngung) nicht bestätigt werden. Mykorrhizierte Pflanzen unterschieden sich nicht signifikant im Trockensubstanzgehalt von nicht-mykorrhizierten. Beim Versuch zur P-Düngung war der Trockensubstanzgehalt mykorrhizierter Pflanzen (bei organischer P-Düngung) niedriger als der nicht-mykorrhizierte. Dieser Unterschied war aber nicht signifikant. Bei mineralischer P-Düngung war der Trockensubstanzgehalt im Gegensatz dazu bei mykorrhizierten Pflanzen signifikant höher als der nicht-mykorrhizierter.

In Tab. 4.6 sind die Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung bei Schnittlauch dargestellt.

Tab. 4.6: Trockensubstanz in % der Trockenmasse von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
mit AMP organisch	12,88 <sup>1</sup> 0,20 <sup>2</sup> b <sup>3</sup>	-	11,51 1,38    b
ohne AMP organisch	14,31 0,20    a	-	12,44 0,32    b
mit AMP mineralisch	12,37 0,13    b	10,48 0,09    a	15,48 2,49    a
ohne AMP mineralisch	14,30 0,74    a	10,50 0,03    a	12,27 0,93    b

<sup>1</sup> Mittelwert; <sup>2</sup> Standardabweichung; <sup>3</sup> Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )  
Bei Versuch 3 können nur Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 1,35 \%$ )

### 4.3.5 Nährstoffgehalte von Schnittlauch

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss von AMP und organischer und mineralischer N- bzw. P-Düngung auf die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor und Kalium der Schnittlauchpflanzen dargestellt.

#### 4.3.5.1 *Stickstoffgehalte von Schnittlauch*

Im Jahr 2000 lag der N-Gehalt (in % der Trockenmasse) bei organischer N-Düngung bei mykorrhizierten Pflanzen mit 2,44 % tendenziell höher als bei nicht mykorrhizierten (2,06 %). Auch bei mineralischer N-Düngung wurde dieser Trend beobachtet, hier lag der N-Gehalt bei mykorrhizierten Pflanzen bei 2,56 %, der nicht-mykorrhizierter bei 2,42 %. Diese Unterschiede waren aber nicht signifikant. Bei der Versuchswiederholung im darauf folgenden Jahr war der N-Gehalt insgesamt deutlich höher und lag bei mykorrhizierten Pflanzen bei 3,96 % und bei nicht-mykorrhizierten tendenziell höher bei 4,15 % (Abb. 4.25).

Beim Versuch zur P-Düngung (Abb. 4.26) war bei organischer P-Düngung kein Unterschied zwischen mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen im N-Gehalt zu beobachten (beide Varianten bei 3,71 %). Bei mineralischer P-Düngung war der N-Gehalt bei nicht mykorrhizierten Pflanzen tendenziell höher (3,59 % gegenüber 3,79 %). Dieser Unterschiede war nicht signifikant.

Bei diesem Versuch wurde eine Wechselwirkung ( $\alpha = 9,61$  %) beobachtet.

## Ergebnisse

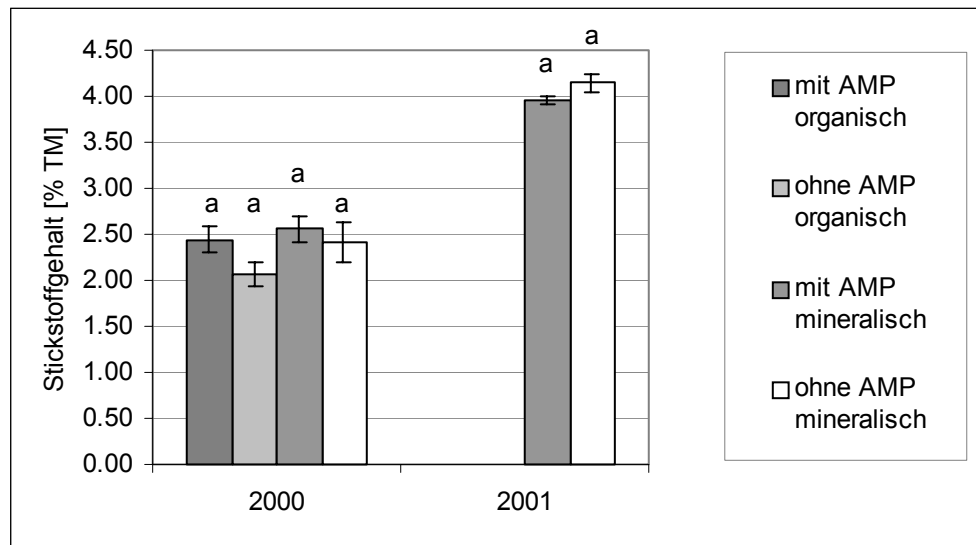


Abb. 4.25: Stickstoffgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

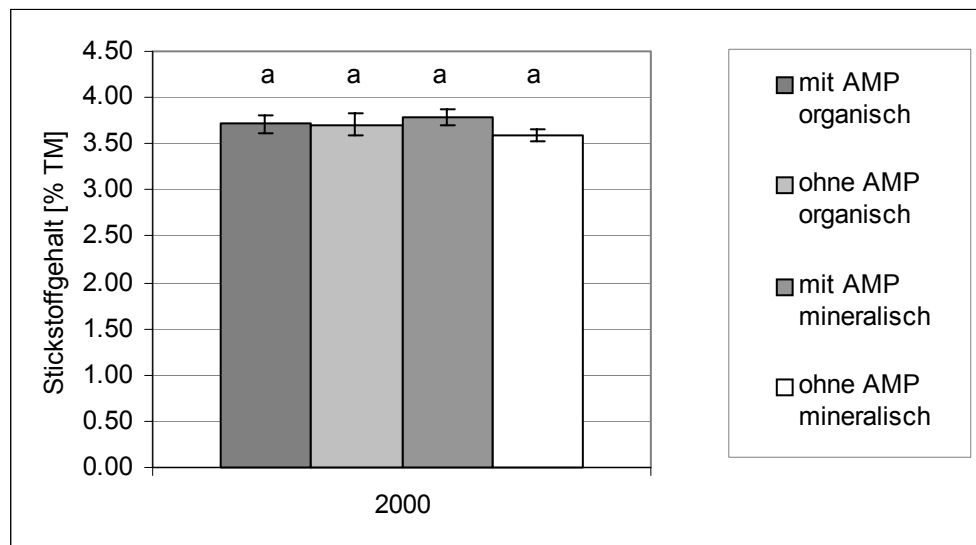


Abb. 4.26: Stickstoffgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 9,16\%$ )

### 4.3.5.2 Phosphorgehalte von Schnittlauch

Bei den Versuchen zur N-Düngung (Abb. 4.27) waren im Jahr 2000 sowohl bei organischer als auch bei mineralischer N-Düngung die P-Gehalte mykorrhizierter

## Ergebnisse

Schnittlauchpflanzen höher als bei nicht-mykorrhizierten. Während bei organischer N-Düngung mykorrhizierte Pflanzen nur einen tendenziell höheren P-Gehalt (0,10 %) als nicht-mykorrhizierte (0,08 %) aufwiesen, war dieser Unterschied bei mineralischer N-Düngung trotz der großen Schwankung bei mykorrhizierten Pflanzen (0,14 %;  $\sigma = 0,04$ ) signifikant. Pflanzen der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische N-Düngung“ lagen um die Hälfte niedriger bei 0,07 %. Aufgrund der wahrscheinlichen Wechselwirkung ( $\alpha = 6,63$  %) zwischen den Behandlungen können im Jahr 2000 nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlungsstufe verglichen werden. Im Jahr 2001 lagen mykorrhizierte Pflanzen mit 0,23 % ( $\sigma = 0,09$ ) tendenziell niedriger als nicht-mykorrhizierte (0,25).

Beim Versuch zur P-Düngung (Abb. 4.28) war bei organischer P-Düngung der Unterschied im P-Gehalt zwischen mykorrhizierten (0,20 %) und nicht-mykorrhizierten Pflanzen (0,18 %) nicht signifikant. Bei mineralischer P-Düngung lag der P-Gehalt bei beiden Mykorrhizierungsstufen bei 0,17 %. Der Unterschied zwischen mykorrhizierten Pflanzen der organischen und mineralischen Düngungsvariante war signifikant. Da auch bei diesem Versuch eine Wechselwirkung ( $\alpha = 9,61$  %) beobachtet wurde, ist nur der Vergleich innerhalb derselben Behandlungsstufe zulässig.

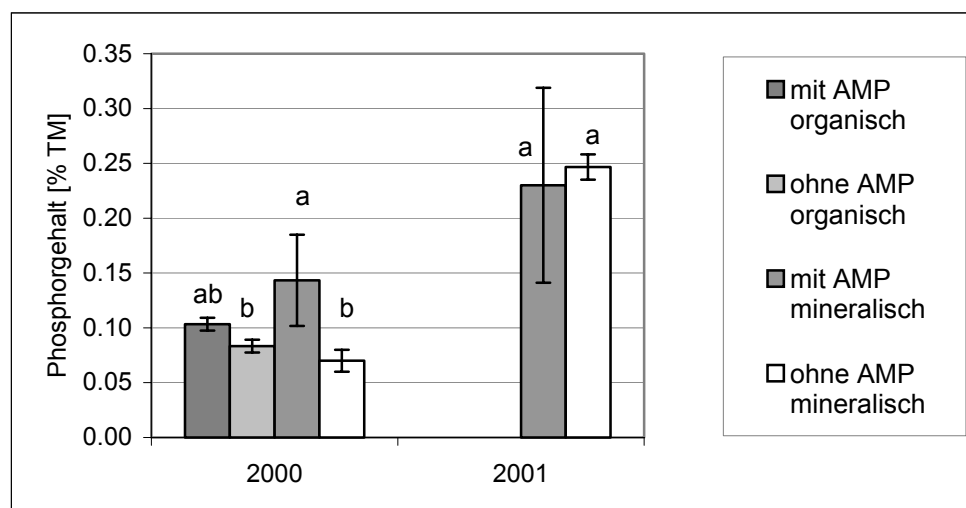


Abb. 4.27: Phosphorgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0$  %). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 6,63$  %)

## Ergebnisse

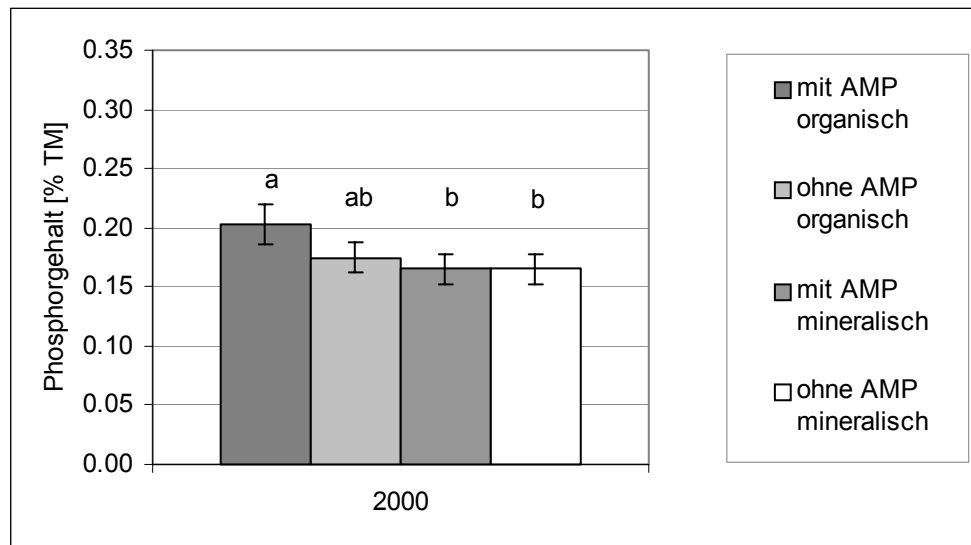


Abb. 4.28: Phosphorgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 9,86 \%$ )

### 4.3.5.3 Kaliumgehalte von Schnittlauch

Bei den beiden Versuchen zur N-Düngung (Abb. 4.29) war der K-Gehalt (in % der Trockenmasse) bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische N-Düngung“ etwas höher (1,31 %) als der nicht mykorrhizierter Pflanzen derselben Düngungsstufe (1,29 %). Bei mineralischer N-Düngung lag der K-Gehalt bei mykorrhizierten Pflanzen tendenziell höher (1,88 %) als bei nicht-mykorrhizierten (1,32 %). Keiner dieser Unterschiede war auf einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch absicherbar. Im Folgejahr kehrte sich dieser Trend um und mykorrhizierte Pflanzen lagen im K-Gehalt von durchschnittlich 3,22 % unter nicht mykorrhizierten (4,13 %). Auch dieser Unterschied war nicht signifikant.

Beim Versuch zur P-Düngung (Abb. 4.30) wurde eine Wechselwirkung ( $\alpha = 1,34 \%$ ) zwischen den Behandlungen beobachtet. Bei organischer P-Düngung war der K-Gehalt mykorrhizierter Pflanzen (3,19 %) tendenziell niedriger als der nicht-mykorrhizierter (3,34 %). Bei mineralischer P-Düngung ergab sich ein umgekehrtes Bild, mykorrhizierte Pflanzen hatten mit 3,27 % einen höheren K-

## Ergebnisse

Gehalt als nicht mykorrhizierte (3,16 %). Keiner dieser Unterschiede war auf einem Signifikanzniveau von 5 % statistisch absicherbar.

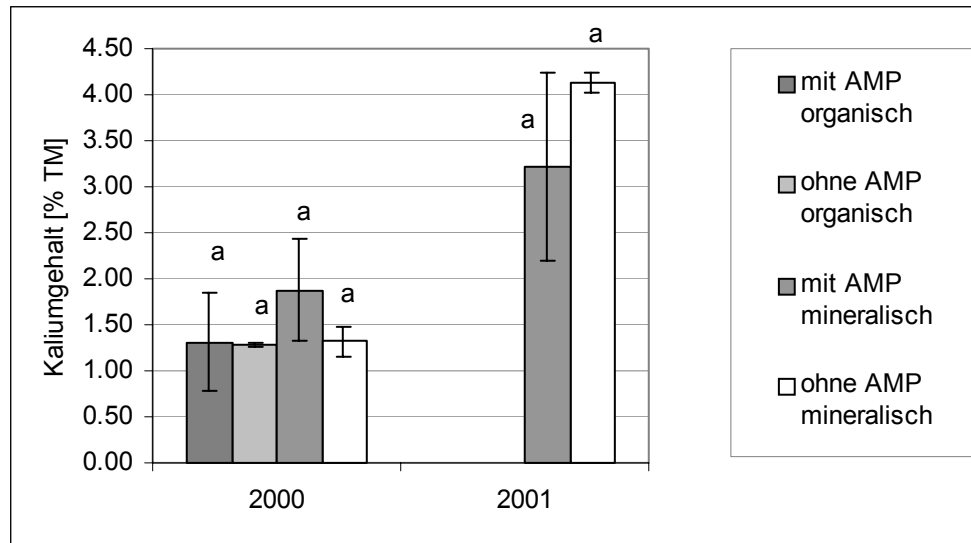


Abb. 4.29: Kaliumgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

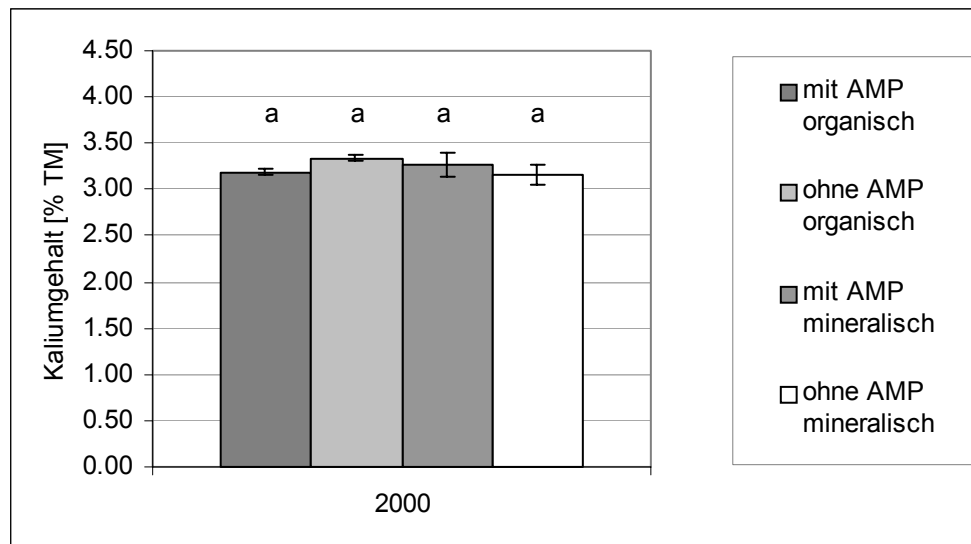


Abb. 4.30: Kaliumgehalt von Schnittlauch in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 1,34\%$ )



#### 4.4 Einfluss der AMP auf den Ertrag und die Nährstoffgehalte von Estragon

##### 4.4.1 Kolonisierung der Wurzeln mit AMP bei Estragon

Die Mittelwerte der Boniturnoten der AMP-Kolonisierung der Estragonwurzeln sind in Tab. 4.7 dargestellt. Eine statistische Verrechnung erfolgte, wie bei Bonituren üblich, nicht. Bei keiner der nicht mykorrhizierten Varianten konnte eine Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln nachgewiesen werden. In Versuch 1 war bei organischer Stickstoffdüngung eine geringere Kolonisierung zu beobachten, als bei der mineralischen Behandlung. In den Versuchen mit mineralischer und organischer Phosphordüngung (Versuche 3 und 4) konnte bei der mineralischen Düngevariante in beiden Jahren eine leicht erhöhte Kolonisierungsrate beobachtet werden.

Tab. 4.7: Kolonisierung der Estragonwurzelnwurzeln mit *Glomus intraradices* in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
mit AMP organisch	1,3	-	3,3	3,0
ohne AMP organisch	0	-	0	0
mit AMP mineralisch	3,0	2,7	3,7	4,0
ohne AMP mineralisch	0	0	0	0

Bonitur mit den Noten 0 bis 5 (0 = keine Kolonisierung, 1 = 1–20 % Kolonisierung, 2 = 21–40 %, 3 = 41–60 %, 4 = 61–80 %, 5 = 81–100 %); dargestellt sind die Mittelwerte aus jeweils drei (Versuche 1 und 2) bzw. vier (Versuche 3 und 4) Wiederholungen

Auch bei Estragon setzte sich der wie in bei den anderen Pflanzarten der Trend durch, dass bei mineralischer Düngung eine höhere Kolonisierungsrate der Wurzeln mit AMP zu beobachten war.

## Ergebnisse

### 4.4.2 Frischmasseerträge von Estragon

Die Frischmasseerträge in g pro Topf von Estragon lagen in beiden Versuchsjahren bei ca. 20-30 g pro Topf mit Ausnahme von Versuch 3 (2000) wo Erträge zwischen 35 und 50 g pro Topf erreicht wurden.

Im ersten der beiden Versuche zur N-Düngung (Abb. 4.31) war der Frischmasseertrag bei nicht mykorrhizierten Pflanzen tendenziell höher als bei mykorrhizierten. Den höchsten Ertrag erzielte die Variante „ohne Mykorrhiza, organische N-Düngung“ mit 29,11 g pro Topf. Mykorrhizierte Pflanzen derselben Düngungsstufe lagen bei 25,51 g pro Topf. Bei mineralischer N-Düngung erzielten mykorrhizierte Pflanzen einen Ertrag von 25,27 g pro Topf, nicht-mykorrhizierte lagen minimal darüber bei 25,74 g pro Topf.

Bei der Wiederholung des Versuches im Folgejahr (nur mineralische N-Düngung) setzte sich dieser Trend fort, konnte aber auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  statistisch nicht abgesichert werden. Mykorrhizierte Pflanzen lagen im Ertrag bei 26,07 g pro Topf, nicht-mykorrhizierte tendenziell darüber bei 34,60 g pro Topf.

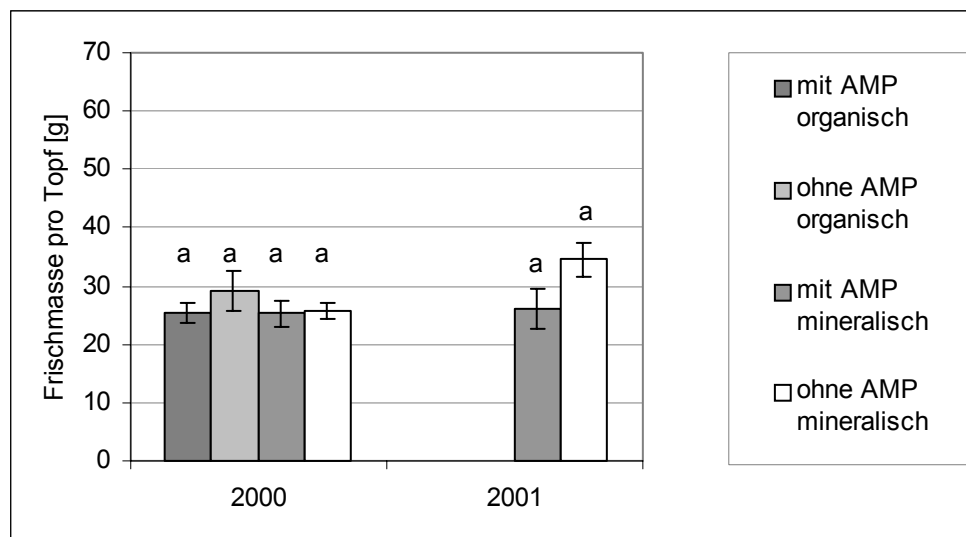


Abb. 4.31: Frischmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

## Ergebnisse

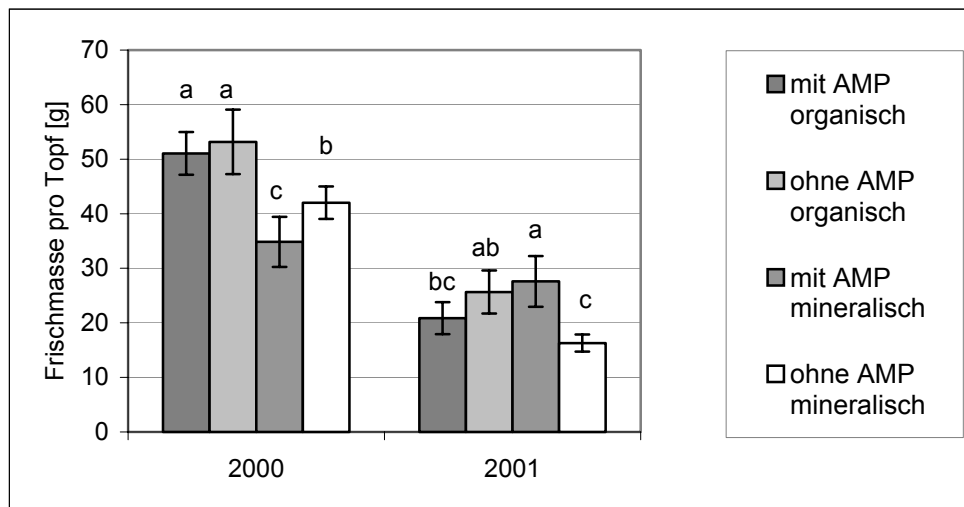


Abb. 4.32: Frischmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 0,04 \%$ )

Auch bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.32) wurde im Jahr 2000 ein höherer Frischmasseertrag bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen beobachtet. Der höchste Ertrag wurde mit 53,17 g pro Topf bei der Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ erzielt. Der Unterschied zu der im Ertrag niedriger liegenden mykorrhizierten Variante (51,06 g pro Topf) war jedoch nicht signifikant. Der niedrigste Ertrag wurde bei mykorrhizierten Pflanzen bei mineralischer P-Düngung (34,85 g pro Topf) gemessen. Der Mittelwert dieser Variante war signifikant niedriger als der mykorrhizierter Pflanzen bei organischer P-Düngung und nicht-mykorrhizierter Pflanzen bei mineralischer P-Düngung (42,03 g pro Topf).

Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 ergab sich kein einheitliches Bild. Die Frischmasseerträge lagen deutlich unter denen des Vorjahres. Da es zu einer Wechselwirkung ( $\alpha = 0,04 \%$ ) zwischen den Behandlungen kam, dürfen nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlung verglichen werden. Während im Jahr 2000 die Variante „mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung den niedrigsten Ertrag erzielte, lag im Jahr 2001 diese Variante mit 27,59 g pro Topf an höchster Stelle. Dem Trend des Vorjahres folgend war der Ertrag nicht-mykorrhizierter Pflanzen derselben Düngungsstufe signifikant niedriger (16,30 g pro Topf). Bei organischer

## Ergebnisse

P-Düngung war der Ertrag nicht-mykorrhizierter Pflanzen (25,65 g pro Topf) höher als der mykorrhizierter Pflanzen derselben Düngungsstufe (20,86 g pro Topf). Der Unterschied war aber auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  nicht absicherbar. Mykorrhizierte Pflanzen erzielten bei organischer P-Düngung einen signifikant niedrigeren Ertrag als bei mineralischer P-Düngung.

### 4.4.3 Trockenmasseerträge von Estragon

Bei der Untersuchung der Trockenmasseerträge (in g pro Topf) konnten die sich bei den Frischmasseerträgen abzeichnenden Tendenzen teilweise auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  statistisch abgesichert werden. In Versuch 3 (P-Düngung, 2000) waren die Trockenmasseerträge bis doppelt so hoch wie in den übrigen drei Versuchen (Abb. 4.34).

Im ersten Versuch zur N-Düngung (Abb. 4.33) war der Unterschied zwischen mykorrhizierten Pflanzen (5,83 g pro Topf) und nicht-mykorrhizierten Pflanzen (7,81 g pro Topf) bei organischer N-Düngung signifikant. Bei mineralischer N-Düngung war der Trockenmasseertrag mykorrhizierter Pflanzen mit 5,39 g pro Topf zwar deutlich niedriger als bei nicht-mykorrhizierten (6,46 g pro Topf), der Unterschied war aber nicht signifikant. Die Düngungsform hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag, weder bei mykorrhizierten, noch bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen.

Im zweiten Versuch zur N-Düngung (Abb. 4.33) lag der Trockenmasseertrag bei mykorrhizierten Pflanzen mit 5,06 g pro Topf unter dem der nicht-mykorrhizierten Variante (6,43 g pro Topf), war aber nicht statistisch absicherbar.

## Ergebnisse

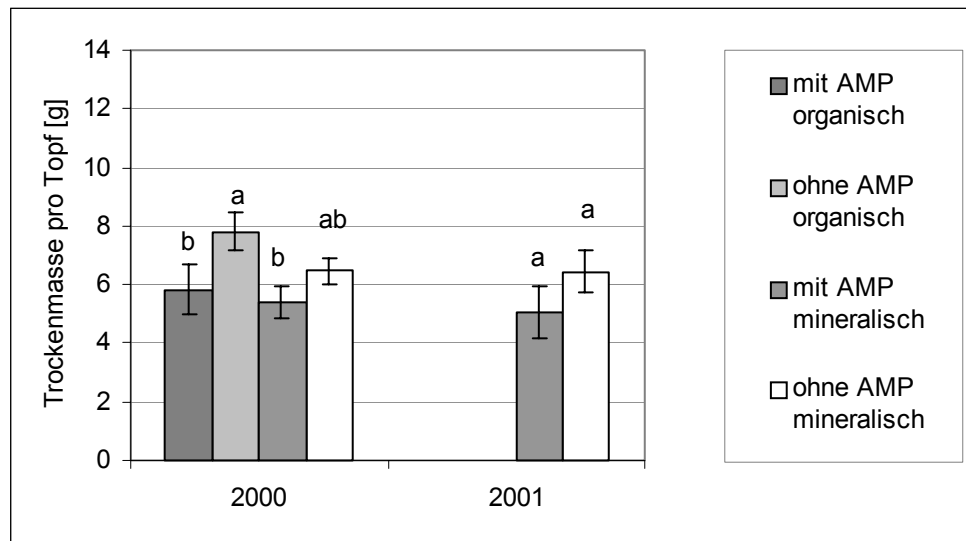


Abb. 4.33: Trockenmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

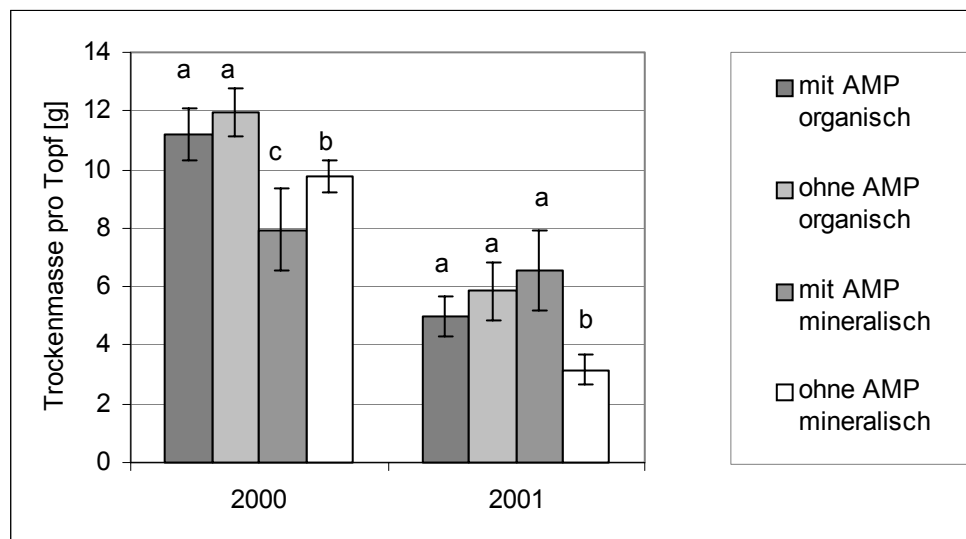


Abb. 4.34: Trockenmasse pro Topf von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Es können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung im Jahr 2000,  $\alpha = 8,60 \%$  und im Jahr 2001,  $\alpha = 0,06 \%$ )

Bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.34) wurde in beiden Versuchsjahren eine Wechselwirkung zwischen den Behandlungsstufen beobachtet. Die

## Ergebnisse

Irrtumswahrscheinlichkeit für die Wechselwirkung betrug im Jahr 2000  $\alpha = 8,60 \%$  und im Jahr 2001  $\alpha = 0,06 \%$ .

Im Jahr 2000 wurde der höchste Trockenmasseertrag mit 11,95 g pro Topf bei der Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ beobachtet. Der Ertrag nicht-mykorrhizierter Pflanzen bei mineralischer P-Düngung lag mit 9,77 g pro Topf signifikant darunter. Auch der Unterschied innerhalb der mineralischen Düngungsstufe zwischen mykorrhizierten (7,93 g pro Topf) und nicht-mykorrhizierten (9,77 g pro Topf) Pflanzen war signifikant. Mykorrhizierte Pflanzen lagen bei organischer P-Düngung im Trockenmasseertrag mit 11,19 g pro Topf signifikant über jenen mit mineralischer P-Düngung, der Unterschied zur Variante „ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung“ war aber nicht signifikant.

Im Folgejahr wurde der höchste Trockenmasseertrag mit 6,55 g pro Topf bei der Variante „mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“. Nicht-mykorrhizierte Pflanzen derselben Düngungsstufe lagen mit 3,16 g pro Topf signifikant niedriger im Ertrag. Der Unterschied mykorrhizierter Pflanzen bei organischer (4,97 g pro Topf) und mineralischer (6,55 g pro Topf) war nicht signifikant. Nicht-mykorrhizierte Pflanzen erzielten bei organischer Düngung einen Ertrag von 5,84 g pro Topf und lagen signifikant höher als mykorrhizierte Pflanzen bei mineralischer P-Düngung. Der Unterschied zwischen mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen bei organischer P-Düngung war auf einem Signifikanzniveau von nicht  $\alpha = 5 \%$  statistisch nicht absicherbar.

### 4.4.4 Trockensubstanzgehalte

Die Trockensubstanzgehalte (in % der Frischmasse) der untersuchten Estragonpflanzen waren bei mykorrhizierten Pflanzen tendenziell niedriger als bei nicht-mykorrhizierten. Dieser Unterschied war aber nur in wenigen Fällen auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5 \%$  statistisch absicherbar. Tab. 4.8 zeigt die Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung bei Estragon abhängig von Mykorrhizierung und Düngung. Insgesamt waren die Trockensubstanzgehalte bei Estragon von allen untersuchten Kräuterarten am höchsten.

## Ergebnisse

In Versuch 1 war der Trockensubstanzgehalt unabhängig von der N-Düngungsvariante bei mykorrhizierten Pflanzen höher als bei nicht-mykorrhizierten. Allerdings war dieser Unterschied nur bei organischer N-Düngung signifikant. Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 (Versuch 2) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen festgestellt werden, mykorrhizierte Estragonpflanzen wiesen einen tendenziell höheren Trockensubstanzgehalt als nicht-mykorrhizierte Pflanzen auf. In Versuch 3 wurden keine signifikanten Unterschiede im Trockensubstanzgehalt errechnet, bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 war der Gehalt nicht-mykorrhizierter Pflanzen bei mineralischer P-Düngung signifikant niedriger als der mykorrhizierter und nicht-mykorrhizierter bei organischer P-Düngung.

Tab. 4.8: Trockensubstanz in % der Trockenmasse von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der N- (Versuch 1 und 2) bzw. P-Düngerform (Versuch 3 und 4)

Variante	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
mit AMP	22,78 <sup>1</sup>		21,91	23,83
organisch	1,68 <sup>2</sup> bc <sup>3</sup>	-	0,37 a	0,71 a
ohne AMP	26,90		22,57	22,74
organisch	1,11 a	-	1,49 a	0,97 a
mit AMP	21,31	19,37	22,68	23,63
mineralisch	1,27 b	1,11 a	1,62 a	1,22 a
ohne AMP	25,09	18,55	23,30	19,34
mineralisch	1,27 ab	0,66 a	1,57 a	1,65 b

<sup>1</sup> Mittelwert; <sup>2</sup> Standardabweichung; <sup>3</sup> Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Bei Versuch 4 können nur Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung  $\alpha = 1,65 \%$ )

### 4.4.5 Nährstoffgehalte von Estragon

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Einfluss von AMP und organischer und mineralischer N- bzw. P-Düngung auf die Aufnahme von Stickstoff, Phosphor und Kalium der Estragonpflanzen dargestellt.

#### 4.4.5.1 *Stickstoffgehalte von Estragon*

Im ersten Versuch zur N-Düngung (Abb. 4.35) war der N-Gehalt (% Trockenmasse) mykorrhizierter Estragonpflanzen tendenziell höher als bei nicht-mykorrhizierten und lag bei organischer N-Düngung bei 1,62 % und bei mineralischer N-Düngung bei 2,14 %. Nicht-mykorrhizierte Pflanzen lagen bei 1,35 % („organische N-Düngung“) und 2,04 % („mineralische N-Düngung“). Der Unterschied zwischen mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen innerhalb einer Düngungsstufe war nicht signifikant. Mineralisch gedüngte Pflanzen lagen im N-Gehalt signifikant höher als organisch gedüngte. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von 2000 waren die N-Gehalte bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 bei mykorrhizierten Pflanzen (2,73 %) tendenziell (nicht signifikant) niedriger als bei nicht-mykorrhizierten (3,01 %).

Bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.36) waren die N-Gehalte insgesamt höher als bei den Versuchen zur N-Düngung. Im Jahr 2000 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten beobachtet werden. Tendenziell war der N-Gehalt bei organischer P-Düngung höher als bei mineralischer und bei mykorrhizierten Pflanzen höher als bei nicht-mykorrhizierten. Im Einzelnen lagen die N-Gehalte bei 3,53 % („mit Mykorrhiza, organische P-Düngung), 3,37 % („ohne Mykorrhiza, organische P-Düngung), 3,32 % („mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung) und 3,30 % („ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung). Im Folgejahr präsentierte sich ein ähnlich uneinheitliches Bild. Bei organischer P-Düngung war der N-Gehalt bei mykorrhizierten Pflanzen (2,91 %) tendenziell höher als bei nicht-mykorrhizierten (2,80 %). Bei mineralischer P-Düngung war der N-Gehalt mykorrhizierter Pflanzen (2,76 %) niedriger als der von nicht-mykorrhizierten (3,05 %). Keiner dieser



## Ergebnisse

Unterschiede konnte auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  statistisch abgesichert werden.

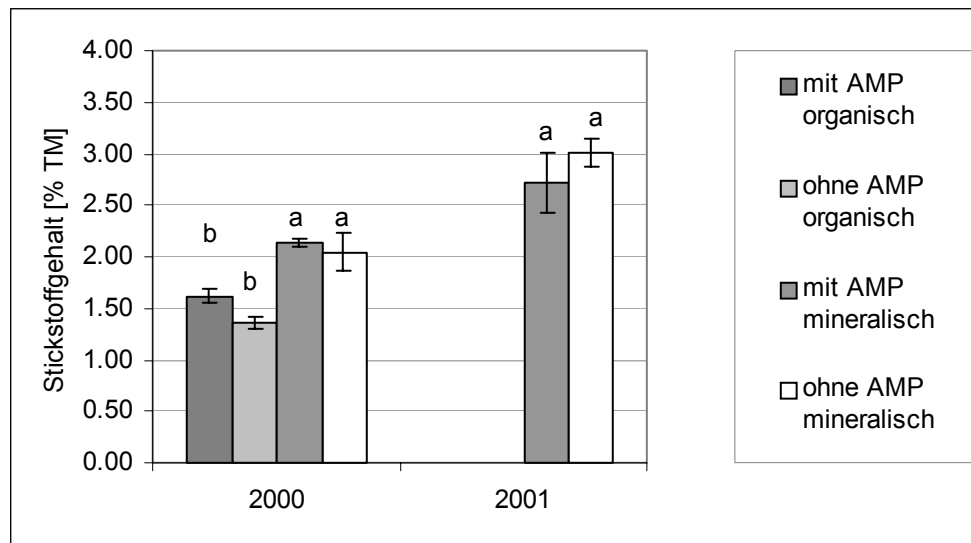


Abb. 4.35: Stickstoffgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

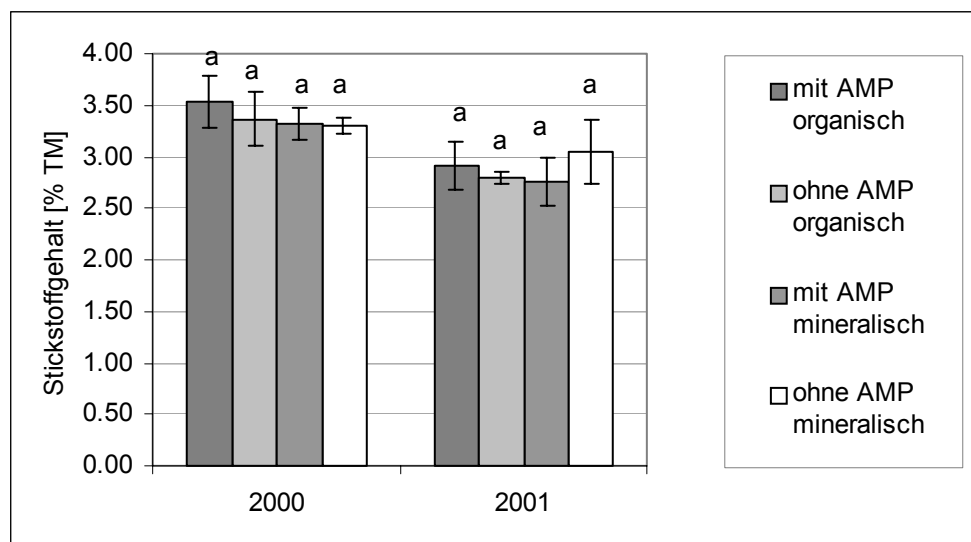


Abb. 4.36: Stickstoffgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0\%$ )

## Ergebnisse

### 4.4.5.2 Phosphorgehalte von Estragon

Die P-Gehalte der untersuchten Estragonpflanzen waren bis auf die Gehalte der Pflanzen aus Versuch 3 sehr niedrig.

Bei den Versuchen zur N-Düngung (Abb. 3.37) trat im Jahr 2000 eine Wechselwirkung ( $\alpha = 3,00 \%$ ) zwischen den Behandlungen auf. Deshalb können nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlungsstufe verglichen werden. Mykorrhizierte Pflanzen wiesen sowohl bei organischer als auch bei mineralischer N-Düngung höhere P-Gehalte auf als nicht-mykorrhizierte. Lediglich bei der mineralischen Düngungsvariante konnte dieser Unterschied statistisch gesichert werden. Der P-Gehalt lag bei organischer N-Düngung bei mykorrhizierten Pflanzen bei 0,09 %, bei nicht-mykorrhizierten bei 0,08 %. Mineralisch gedüngte Pflanzen kamen auf einen P-Gehalt von 0,10 % bei Mykorrhizierung und 0,06 % bei der Kultur ohne den Symbionten. Im Folgejahr war zwar der P-Gehalt mykorrhizierter Pflanzen (0,17 %) niedriger als der nicht-mykorrhizierter (0,18 %), der Unterschied war aber nicht signifikant.

Die Versuche zur P-Düngung (Abb. 3.38) brachten widersprüchliche Ergebnisse. Die P-Gehalte lagen im Jahr 2000 bei mykorrhizierten Pflanzen höher als bei nicht-mykorrhizierten. Bei organischer P-Düngung war dieser Unterschied (0,25 % „mit Mykorrhiza“; 0,16 % „ohne Mykorrhiza“) signifikant. Bei mineralischer P-Düngung lagen Pflanzen beider Mykorrhizavarianten bei 0,18 %. Aufgrund der Wechselwirkung ( $\alpha = 1,12 \%$ ) können nur Mittelwerte innerhalb einer Behandlung verglichen werden. Im Jahr 2001 war die Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“, die im Vorjahr den höchsten P-Gehalt aufgewiesen hatte, mit 0,08 % die niedrigste. Tendenziell höher war der P-Gehalt bei nicht-mykorrhizierten Pflanzen derselben Düngungsstufe (0,10 %). Der Unterschied zur mykorrhizierten Variante bei mineralischer P-Düngung (0,10 %) war signifikant. Einen noch höheren P-Gehalt wies die Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ mit 0,11 % auf, unterschied sich aber nicht signifikant von der mykorrhizierten Variante bei gleicher Düngung. Der Unterschied zwischen nicht-mykorrhizierten Pflanzen bei unterschiedlicher Düngung war ebenfalls signifikant.

## Ergebnisse

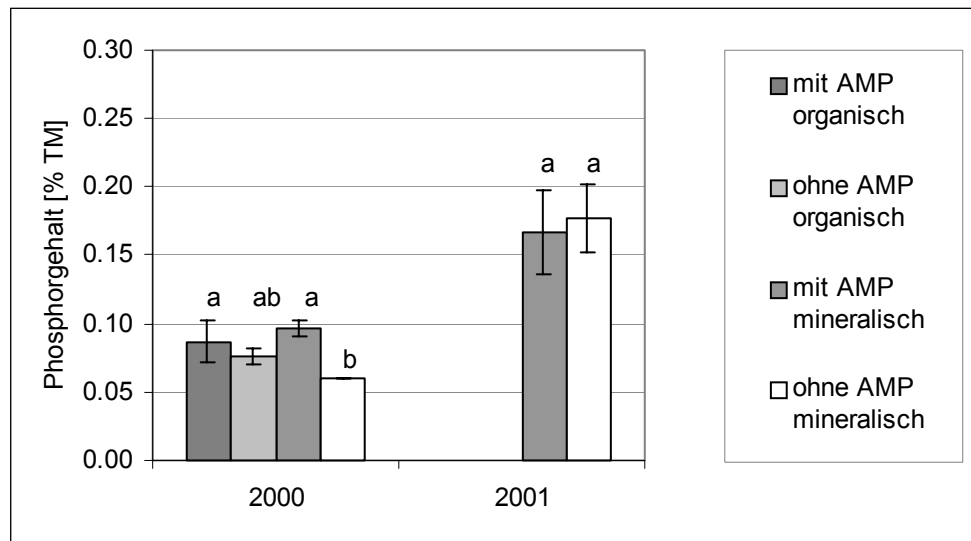


Abb. 4.37: Phosphorgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 3,00 \%$ )

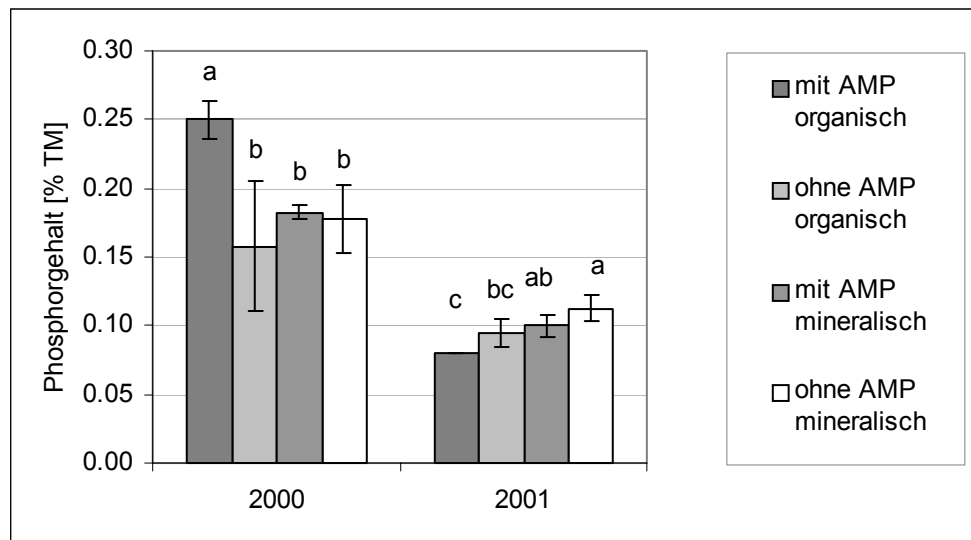


Abb. 4.38: Phosphorgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2000 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 1,12 \%$ )

### 4.4.5.3 *Kaliumgehalte von Estragon*

Die K-Gehalte der untersuchten Estragonpflanzen lagen bei den Versuchen 2 bis 4 zwischen drei und vier Prozent der Trockenmasse. In Versuch 1 war der K-Gehalt der Testpflanzen mit 1,3 bis 2,9 % deutlich niedriger.

Bei den Versuchen zur N-Düngung (Abb. 4.39) waren die K-Gehalte im Jahr 2000 bei mykorrhizierten Pflanzen signifikant höher als bei nicht-mykorrhizierten. Bei organischer N-Düngung lag der K-Gehalt bei Pflanzen, die mit Mykorrhiza kultiviert wurden, bei 1,80 %, jene ohne Mykorrhiza kamen auf einen Gehalt von 1,30 %. Der K-Gehalt bei mineralischer N-Düngung lag etwas höher bei 2,00 % („mit Mykorrhiza“) und 1,32 % („ohne Mykorrhiza“). Bei der Versuchswiederholung im Jahr 2001 war (bei mineralischer N-Düngung) das Ergebnis umgekehrt, mykorrhizierte Pflanzen wiesen mit 3,96 % einen tendenziell niedrigeren K-Gehalt auf als nicht-mykorrhizierte mit 4,23 %.

Wie schon bei der Untersuchung der N- und P-Gehalte zeigte sich bei den Versuchen zur P-Düngung (Abb. 4.40) kein einheitliches Bild. Im Jahr 2000 lagen die K-Gehalte bei mykorrhizierten Pflanzen leicht über denen der nicht-mykorrhizierten. Bei organischer Düngung wurde „mit Mykorrhiza“ ein K-Gehalt von 3,68 %, „ohne Mykorrhiza“ 3,51 % erreicht. Mineralisch gedüngte Pflanzen erzielten K-Gehalte von 3,63 % („mit Mykorrhiza“) und 3,59 % („ohne Mykorrhiza“). Keiner dieser Unterschiede konnte auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  statistisch abgesichert werden. Im Jahr 2001 wurde bei der Variante „mit Mykorrhiza, organische P-Düngung“ mit 3,09 % der niedrigste K-Gehalt gemessen. Nicht-mykorrhizierte Pflanzen derselben Düngungsstufe lagen tendenziell höher bei 3,24 %. Auch der Unterschied zu mykorrhizierten Pflanzen bei mineralischer P-Düngung (3,36 %) war nicht signifikant. Der höchste K-Gehalt von 3,91 % wurde bei der Variante „ohne Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ gemessen. Da eine Wechselwirkung ( $\alpha = 5,51\%$ ) zwischen den Behandlungen vorlag, können nur Mittelwerte innerhalb der Stufe „Mykorrhiza“ oder „Düngung“ verglichen werden.

## Ergebnisse

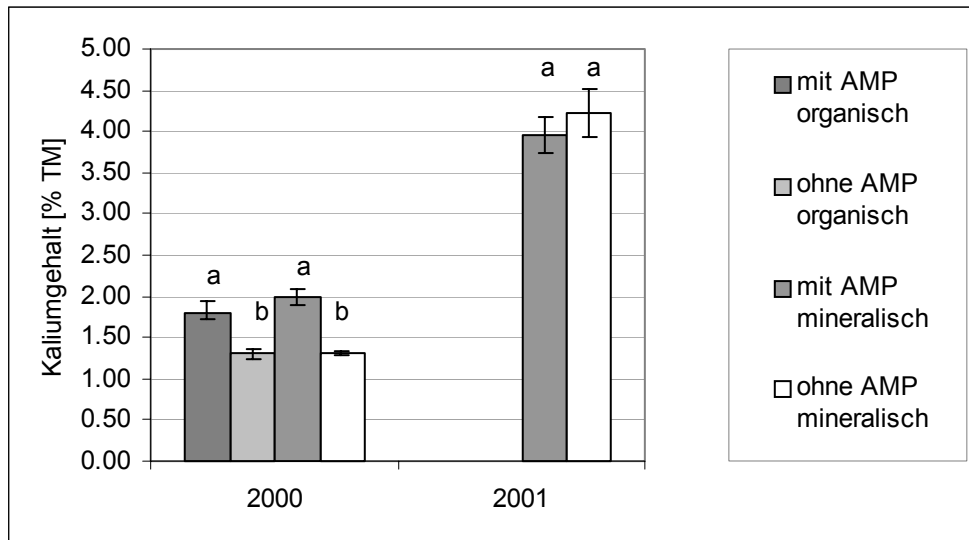


Abb. 4.39: Kaliumgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des N-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ )

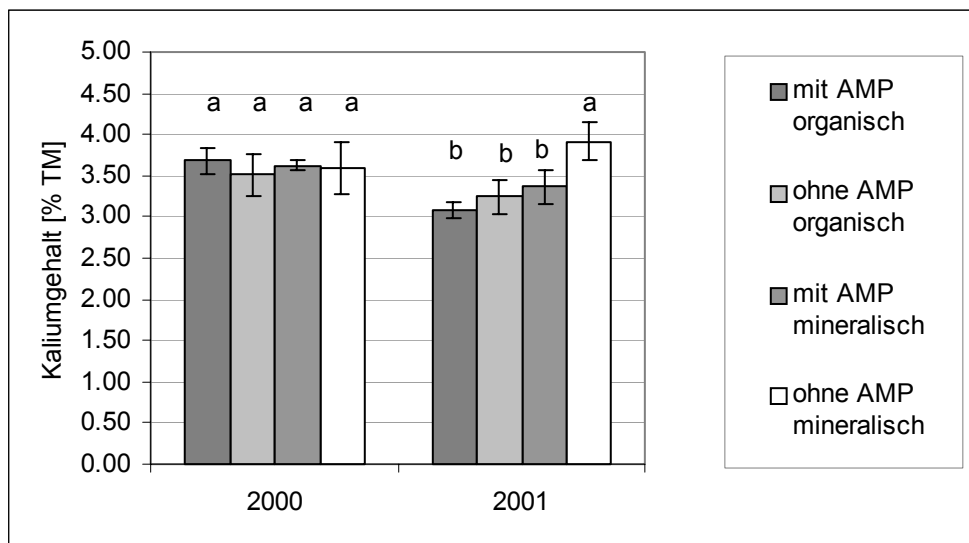


Abb. 4.40: Kaliumgehalt von Estragon in Abhängigkeit von der Mykorrhizierung und der Form des P-Düngers

Mittelwerte innerhalb eines Versuches mit demselben Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $\alpha = 5,0 \%$ ). Im Jahr 2001 können nur die Werte innerhalb einer Behandlung verglichen werden (Wechselwirkung,  $\alpha = 5,51 \%$ )

## 5 Diskussion

Im Rahmen der durchgeführten Versuche sollte untersucht werden, ob durch den Einsatz arbuskulärer Mykorrhizapilze bei der Kultur von Gewürzkräutern verschiedene pflanzenbauliche Parameter verändert werden. Mit Hinblick auf das zunehmende Interesse der Verbraucher an biologisch erzeugten Lebensmitteln wurde zudem die Einsatzmöglichkeit verschiedener organischer Düngemittel miteinbezogen. Zur Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff kam ein Gemisch aus Hornmehl und Horngrieß und zur Versorgung mit Phosphor Knochenmehl zum Einsatz. Als Vergleich dienten bei Stickstoff als mineralischer N-Quelle ein Kunstharz ummantelter langsam fließender Harnstoffdünger (Osmocote-N) und als P-Quelle Apatit (Hyperphos).

Bei den pflanzenbaulichen Parametern war der Ertrag an Frischmasse von besonderem Interesse, wodurch ein Rückschluss auf die benötigte Kulturzeit und Pflanzenqualität möglich war. Auch die Trockenmasse wurde dokumentiert, da diese bei Pflanzen mit AMP erhöht sein kann (SMITH und READ 1997). Eine Erhöhung der Trockenmasse und damit des Trockensubstanzgehaltes lässt auf eine erhöhte Wasserstresstoleranz schließen, die bei Transport, Lagerung (Handel) und beim Verbraucher Vorteile bringt. Der Gehalt an den drei Hauptnährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium im Pflanzenmaterial ermöglicht schließlich einen Vergleich der Nährstoffaufnahme von mykorrhizierten zu nicht mykorrhizierten Pflanzen.

Da die Kultur der Pflanzen mit AMP zu einer Erhöhung des Ertrages führen kann (FELDMANN 1998, 1999), wäre eine Anwendung in der Praxis mit verschiedenen Vorteilen verbunden. Ein höherer Ertrag in einem definierten Kulturzeitraum ist nicht unbedingt Ziel des Produzenten, da Topfkräuter nur bis zu einer bestimmten Größe vermarktungsfähig sind. Wird aber die handelbare Pflanzengröße schon früher erreicht, so bedeutet das für den Gärtner eine kürzere Standdauer der Pflanzen im Gewächshaus und dadurch eine Einsparung an Heizkosten, Strom und Arbeitsaufwand. Über die gesamte Kulturperiode kann so evtl. ein zusätzlicher Satz angebaut, und die Produktivität pro kostenaufwändiger Gewächshausflächeneinheit deutlich gesteigert werden.

Bei der Interpretation und der Bewertung der Ergebnisse der Pflanzversuche war das praktisch völlige Fehlen von vergleichbaren Ergebnissen in der Literatur ein generelles Problem. Die wenigen Veröffentlichungen, die explizit zu den vier untersuchten Pflanzenarten vorhanden sind, geben nur Auskunft über eine stattgefundene Mykorrhizierung, nicht aber Einflüsse der AMP auf Pflanzenwachstum, Ertrag oder Nährstoffaufnahme. Die Ergebnisse wurden deshalb hauptsächlich untereinander in Relation gesetzt oder mit Beobachtungen der konventionellen Produktion von Topfkräutern in der Versuchsanlage des Lehrstuhls für Gemüsebau verglichen, um dadurch eine Relation zur gärtnerischen Praxis herzustellen.

Generell waren die Frischmasseerträge durch das leicht veränderte Kulturverfahren im Jahr 2001 etwas niedriger als im Vorjahr. Im Jahr 2000 wurden die Kräuterjungpflanzen in die Versuchssubstrate pikiert und nicht wie 2001 ausgesät. Dadurch ergab sich evtl. ein leichter Wachstumsvorsprung, der sich in tendenziell höheren Erträgen niederschlug.

### **5.1 Kolonisierung der Pflanzenwurzeln mit *Glomus intraradices***

In allen Behandlungen und bei allen Pflanzenarten, bei denen das Mykorrhizainokulum dem Substrat beigemischt war und eine Mykorrhizierung erwünscht war, konnten beim Anfärben von Wurzelproben nach Ende der Kultur mykorrhiziale Strukturen nachgewiesen werden. Dies zeigt, dass das Inokulum in ausreichendem Maße infektiöse mykorrhiziale Strukturen wie Sporen und Hyphen enthielt, und eine 10 %ige Beimischung zum Substrat eine Kolonisierung der Wurzeln innerhalb der Kulturzeit von acht bis zwölf Wochen erfolgte. Bei allen untersuchten Wurzelproben zeigte sich zudem durch das reichliche Vorhandensein von Arbuskeln eine aktive Mykorrhiza. Unterschiede in pflanzenbaulichen Parametern können so auf die Kolonisierung der Wurzeln mit AMP und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die Gewürzkräuterpflanze zurückgeführt werden.

Auch die vorliegenden Boden- bzw. Substratverhältnisse haben direkten Einfluss auf die Kolonisation von Pflanzenwurzeln mit arbuskulären Mykorrhizapilzen. Ein

## Diskussion

hoher Phosphatgehalt im Substrat oder in der Nährlösung kann die Ausbildung der Symbiose hemmen oder die Effekte der Mykorrhizierung unterdrücken und unter Umständen sogar zu Wachstumsdepressionen durch die Mykorrhizierung führen (GRAHAM und EISSENSTAT 1994). Ein allgemein gültiger Grenzwert für den P-Gehalt kann jedoch nicht angegeben werden, weil jede Pilzart gegenüber dem P-Gehalt im Boden in Abhängigkeit von den weiteren Umweltbedingungen unterschiedlich tolerant ist (SMITH und READ 1997). Der eingesetzte Stamm von *Glomus intraradices* hat sich in dieser Hinsicht als ausgesprochen geeignet erwiesen, da er Phosphatgehalte von bis zu 230 mg/L tolerierte und von diesem, auch für das Pflanzenwachstum idealen Gehalt, nicht in seiner Entwicklung gehemmt wurde.

Bei allen Versuchen war die Kolonisierung der Wurzeln mit *Glomus intraradices* bei organischer Düngung geringer als bei mineralischer. In Versuch 1 zur Stickstoffdüngung könnten die hohen Gehalte an löslichem Ammonium im Substrat und der daraus resultierende relativ hohe pH-Wert von 7,5 bis 8,0 einen Einfluss auf die Entwicklung der AMP gehabt haben. In der Literatur gibt es allerdings keine Hinweise auf einen negativen Einfluss hoher Ammoniumgehalte auf die Kolonisierungsfähigkeit von AMP. Leider konnte diese Beobachtung bei der Wiederholung des Versuches im Folgejahr nicht wiederholt werden, da die Versuchspflanzen auf Grund eben dieser hohen  $\text{NH}_4^+$ -Gehalte (800 – 900 mg L<sup>-1</sup>) im Substrat nicht wuchsen.

Auch bei den Versuchen zur Phosphordüngung war die Kolonisierung der Wurzeln bei organischer Düngung mit Knochenmehl geringer als bei der mineralischen Variante mit Hyperphos. Die Gehalte an löslichem P bei organischer Düngung lagen zu Versuchsbeginn bei 65 – 85 mg/L (2000) bzw. 58 – 60 mg/L (2001) und damit höher als bei mineralischer Düngung (25 mg/L bzw. 40 – 45 mg/L). Da der verwendete Stamm von *Glomus intraradices* im Vorversuch Gehalte an löslichem Phosphat von bis zu 240 mg/L im Substrat ohne nennenswerte Einschränkung der Kolonisierungsrate tolerierte, können die in den Versuchen gemessenen geringen Gehalte nicht als Ursache herangezogen werden.

Eine Erklärung könnte eine Beeinflussung der AMP durch andere im Substrat lebende Mikroorganismen sein, die durch den Abbau der organischen Düngemittel



## Diskussion

vermehrt auftreten. In organischen Substraten, vor allem komposthaltigen, kann eine hohe biologische Aktivität beobachtet werden. Dadurch sind die AMP nicht nur chemischen und physikalischen Einflüssen des Substrates, sondern auch durch eine Vielzahl anderer Organismen einer „biologischen“ Konkurrenz ausgesetzt. Im Pflanzsubstrat sind dies u.a. saprophytische Pilze und Bakterien. Eine eindeutige Einordnung in „AMP-schädigend“ oder AMP-fördernd“ ist nicht immer möglich. Während nach KYCHNIKOW und KOZHEVIN (in FITTER und GARBAYE 1994) so genannte Mykorrhiza-Helfer-Bakterien die AMP-Kolonisierung von Wurzeln fördern, konnten DANIELS und MENGE bereits 1980 eine Parasitierung verschiedener AM-Spezies durch saprophytische Pilze nachweisen. So wurden *Glomus epigaeus* und *Glomus fasciculatus* von *Anquilospora pseudolongissima* und *Humicola fuscoatra*, und *Gigaspora margarita* von *Phlyctochytrium* sp. parasitiert. Auch WYSS et al. (1992) dokumentieren einen inhibitorischen Effekt des saprophytischen Pilzes *Trichoderma harzianum* auf *Glomus* spp. Eine direkte Parasitierung der AMP-Sporen findet durch Pilze vor allem aus den Klassen der *Chytridiomycotina* und *Deuteromycotina* und durch vampyrrellide Amöben statt (FITTER und GARBAYE 1994, PAU-JU und KOSKE 1994). Auch die Sporenproduktion kann durch eine Hyperparasitierung z. B. durch *Phlyctochytrium* oder *Pythium*-ähnliche Pilze verringert werden (ROSS und RUTTENCUTTER 1977). Des Weiteren kann die Sporenkeimung und das Keimschlauchwachstum durch eine antagonistische Mikroflora unterdrückt werden. MCALLISTER ET AL. (1994) beobachteten eine Hemmung der Sporenkeimung von *Glomus mosseae* durch lösliche und volatile Ausscheidungen von *Alternaria alternata* und *Fusarium equiseti*. Die dann folgende Wurzelkolonisation, das eigentliche Eindringen des AMP in die Pflanzenwurzel, unterliegt ebenfalls dem Einfluss anderer anwesender Mikroorganismen. Vorhandene Rhizobakterien können Sporenkeimung und Keimschlauchwachstum reduzieren und damit eine Mykorrhizaformation reduzieren. (AMES 1989, MEYER und LINDEMANN 1986, in FITTER und GARBAYE 1994). Die Anwesenheit anderer Organismen in der Wurzel stellt in der Regel eine unüberwindbare Barriere für AMP dar. Gewebe und Zellen, die von Nematoden zerstört wurden, können nicht mehr kolonisiert werden. Die Geschwindigkeit des internen Wachstums spielt ebenso eine Rolle, z.B. wächst *Glomus macrocarpon* schneller als *Fusarium solani* und hat somit einen Kolonisationsvorsprung. An Stellen im Wurzelgewebe an denen *Fusarium solani* anwesend ist, findet

vermutlich keine AM-Besiedlung mehr statt. Der genaue Mechanismus der Hemmung ist noch nicht geklärt (FITTER und GARBAYE 1994). Das externe Hyphenwachstum wird vor allem durch eine regelrechte "Beweidung" der Wurzeloberfläche durch Springschwänze (*Collembola*) und andere Arthropoden beeinflusst. Hyphen und Myzel werden von intraradikalen Pilzstrukturen getrennt. In den Verdauungsorganen und Mundwerkzeugen von Collembolen konnten Hyphenfragmente einer *Glomus*-Art nachgewiesen werden, nachdem in einem Anbauversuch mit Zwiebeln (*Allium cepa* L.) 20 Springschwänze (*Folsomia candida*) pro Topf den positiven Effekt der Mykorrhiza vollkommen aufgehoben hatten (FITTER und GARBAYE 1994).

Ob allerdings eine organische Düngung, ob mit Horngries und -mehl oder Knochenmehl einen derartig starken Effekt auf die Mikroorganismenflora im Substrat und eine Mykorrhiza-Unterdrückung hatte, wie beobachtet, wurde in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.

### **5.2 Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Basilikum**

Generell zeigte sich bei Basilikum kaum ein Einfluss von *Glomus intraradices* auf den Ertrag oder andere pflanzenbauliche Parameter.

Bei organischer N-Düngung war der Frisch- und Trockenmasseertrag von Basilikum bei Kultur mit AMP zwar tendenziell höher als ohne AMP, der Unterschied war aber nicht signifikant. Bei mineralischer N-Düngung mit Osmocote war der Ertrag im Jahr 2000 mit AMP tendenziell niedriger als ohne AMP. Im folgenden Jahr bei der Wiederholung des Versuches war das Ergebnis genau umgekehrt, der Unterschied aber nicht signifikant. Obwohl der Anteil mit AMP kolonisierter Wurzeln und Wurzelbereiche bei organischer N-Düngung deutlich geringer als bei mineralischer N-Düngung war, war der Ertrag organisch gedüngter Pflanzen mit AMP tendenziell höher als der mineralisch gedüngter. Bei der Kultur ohne Mykorrhiza war dieser Unterschied noch ausgeprägter und signifikant. Die Effektivität der Mykorrhiza ist also nicht unbedingt von der Quantität der Kolonisierung abhängig. Im ersten Versuch (2000) wurden keine Unterschiede im Trockensubstanzgehalt und in den Gehalten von Stickstoff,

## Diskussion

Phosphor und Kalium im Pflanzenmaterial beobachtet. Bei der Wiederholung im Folgejahr (nur mineralische N-Düngung) konnte der Trockensubstanzgehalt durch die Kultur mit AMP erhöht werden. Interessanterweise waren die Gehalte an Stickstoff und Phosphor bei mykorrhizierten Pflanzen geringer, ohne dass dies einen Effekt auf den Frisch- und Trockenmasseertrag hatte.

Bei den Versuchen zur P-Düngung zeigte sich ein ebenso uneinheitliches Bild. Im Jahr 2000 waren sowohl der Frisch- als auch der Trockenmasseertrag bei organischer Düngung bei Kultur mit AMP zwar höher als bei mineralischer, innerhalb der Düngevarianten gab es aber keine signifikanten Unterschiede. Nur der Unterschied zwischen mykorrhizierten organisch gedüngten und mykorrhizierten mineralisch gedüngten Pflanzen war im Fall der Frischmasse signifikant. In der Trockenmasse unterschieden sich auch diese beiden Varianten nicht. Trotz geringerer AMP-Kolonisierung war der Frischmasseertrag bei organischer P-Düngung höher. Bei der Versuchswiederholung im Folgejahr zeigte sich ein völlig anderes Bild. Der Ertrag organisch gedüngter mykorrhizierter Pflanzen war genauso groß wie der mineralisch gedüngter. Pflanzen, die ohne Mykorrhiza kultiviert wurden, erzielten bei mineralischer P-Düngung einen deutlich geringeren Ertrag. Offensichtlich waren die Pflanzen ohne Mykorrhiza nicht in der Lage, die geringen Ressourcen an löslichem Phosphat des Substrates der mineralischen Düngevariante zu nutzen, während dies den mit AMP kultivierten Pflanzen möglich war. Im Vorjahr wurde kein Unterschied beobachtet, obwohl der Gehalt an löslichem  $P_2O_5$  noch niedriger lag. Organisch gedüngte Pflanzen brachten auch ohne AMP vergleichbare Erträge. Auch auf die Stickstoffaufnahme (den N-Gehalt) hatte die Mykorrhizierung keinen Einfluss. Da beide Varianten mit der gleichen Nährlösung bewässert wurden, zeigte sich auch kein Unterschied im N-Gehalt zwischen organisch und mineralisch gedüngten Pflanzen.

Nur in einem Fall (Versuch 4) war der Ertrag mykorrhizierter Pflanzen höher als der ohne AMP und das auch nur bei der mineralischen Düngevariante. Bei dieser Variante war kein Unterschied im Gehalt an Stickstoff und Phosphor festzustellen, der Kaliumgehalt war aber bei der Variante mit AMP (höhere Frischmasse) niedriger als bei der Variante ohne AMP, die die niedrigere Frischmasse aufwies. Bei allem anderen Versuchen lagen mykorrhizierte und

## Diskussion

nicht mykorrhizierte Pflanzen im Frisch- und Trockenmasseertrag gleich. Bis auf den oben erwähnten Einfluss der AMP auf den Kaliumgehalt, war kein Einfluss auf die Gehalte an N oder P zu beobachten. Lediglich in Versuch 3 (2000) war der Gehalt an Phosphor in den Pflanzen bei mykorrhizierten organisch gedüngten Pflanzen höher als bei nicht mykorrhizierten mineralisch gedüngten Pflanzen.

Die Frischmasseerträge waren bei den Versuchen zur N-Düngung deutlich höher als bei den Versuchen zur P-Düngung. Offensichtlich war der niedrige Gehalt an löslichem (pflanzenverfügbarem) Phosphat und Kalium (Kap. 3.2.2 und 3.2.3) bei den beiden Versuchen zur P-Düngung trotz des höheren N-Gehalts bei Basilikum ein Wachstum begrenzender Faktor.

Trotz einer bewusst langen Kulturzeit von bis zu zwölf Wochen konnte so bei Basilikum kein nennenswerter Einfluss auf Ertrag, Trockensubstanz oder Nährstoffgehalte bei der Kultur mit *Glomus intraradices* festgestellt werden. Die Pflanzen waren zum Zeitpunkt der Versuchsauswertungen schon in der generativen Phase (blühend oder mit Blütenansatz) und nicht mehr verkaufsfähig. Bedingt durch die Witterung (Kap. 5.6) waren die Pflanzen schon nach fünf bis sechs Wochen in einem verkaufsfähigen Zustand. Zu diesem Zeitpunkt war noch kein Unterschied in der Entwicklung zwischen mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Pflanzen erkennbar. Da aber eine erkennbare Wirkung der Mykorrhiza oft erst nach Erreichen eines fortgeschritteneren Entwicklungsstadiums erkennbar ist (FELDMANN 1996), wurden die Pflanzen über das verkaufsfähige Stadium weiterkultiviert, um überhaupt eine Aussage zur potentiellen Wirkung einer Mykorrhiza treffen zu können. Basilikum ist von den vier kultivierten Kräutern am wärme- und lichtbedürftigsten, in den Wintermonaten benötigt er trotz Zusatzlicht zehn bis zwölf Wochen bis zum Erreichen einer verkaufsfähigen Größe. In den lichtreichen Sommermonaten sind in der Regel fünf bis sechs Wochen ausreichend. Wenn durch die Kultur der Pflanzen mit AMP eine Verkürzung der Kulturzeit (zu Beginn oder zum Ende der Vegetationsperiode) erreicht worden wäre, würde dies einen Vorteil für den Produzenten darstellen, der bei dieser Kultur vor allem Heizkosten einsparen könnte. Dies war bei den vorliegenden Kulturbedingungen nicht der Fall.

### **5.3 Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Petersilie**

Petersilie zeigte keine eindeutige Tendenz im Ertrag abhängig von Mykorrhizierung oder der Düngungsform. Mykorrhizierte Pflanzen erzielten je nach Versuch niedrigere, höhere oder gleich große Erträge wie nicht mykorrhizierte Vergleichspflanzen. Die Düngungsform hatte nur in Verbindung mit einer Kultur ohne AMP bei den beiden Versuchen zur P-Düngung einen Einfluss auf den Frischmasseertrag.

Bei organischer N-Düngung in Verbindung mit Mykorrhiza wurden signifikant niedrigere Erträge als bei organischer Düngung ohne AMP oder mineralischer Düngung mit Osmocote und AMP erzielt. Bei mineralischer Düngung wurde kein Unterschied zwischen mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Pflanzen beobachtet. Dies konnte im Folgejahr bestätigt werden. Ein Grund für den geringeren Ertrag bei organisch gedüngten Pflanzen könnte in der erhöhten Ammoniumaufnahme der mykorrhizierten Pflanzen liegen. Da AMP das aufgenommene  $\text{NH}_4^+$  vor der Translozierung an die Pflanze in organische Stickstoffverbindungen wie z.B. Aminosäuren umwandeln (JOHANSEN et al. 1996), könnte hier eine Konkurrenz um Assimilate zwischen Pilz und Pflanze vorgelegen haben. Zur Aufnahme des vom Pilz zur Verfügung gestellten Stickstoffes muss die Pflanze Kohlehydrate an den Pilz abgeben, die ihr dann nicht mehr selbst zum Aufbau von Biomasse zur Verfügung steht. Bei dieser Variante waren die Gehalte an N und P signifikant erhöht, und der K-Gehalt war, wenn auch nur tendenziell, höher. Es trifft offensichtlich zu, dass die Pflanzen trotz relativ höherer Nährstoffaufnahme, auf Grund der hohen  $\text{NH}_4^+$ -Aufnahme aus dem Substrat, nicht mehr Frischmasse bilden konnten. Da im Folgejahr keine organisch gedüngten Pflanzen untersucht werden konnten, ist es schwierig zu beurteilen, ob der geringere Frisch- und Trockenmasseertrag tatsächlich auf die Kombination „Mykorrhiza mit organischer Düngung“ oder evtl. nur ein Düngungseffekt auf Grund der hohen Gehalte an löslichem N (vor allem  $\text{NH}_4^+$ ) und damit verbundenen Problemen war. Da aber alle anderen Pflanzenarten im selben Substrat keinen solchen Ertragseinbruch zeigten, scheint es zumindest wahrscheinlich, dass Petersilie auf die o.g. Kombination besonders empfindlich reagiert hat. Die übrigen Varianten unterschieden sich nicht im Gehalt an N, P oder K.

## Diskussion

Bei den Versuchen zur P-Düngung erzielten im Jahr 2000 organisch gedüngte Pflanzen mit Mykorrhiza die höchsten Erträge. Mit Hyperphos gedüngte Pflanzen lagen sowohl bei Kultur mit als auch ohne Mykorrhiza im Ertrag niedriger. Bei mineralischer Düngung war im Jahr 2000 zwischen mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Pflanzen im Gegensatz zum Folgejahr kein Unterschied im Ertrag zu beobachten. Allerdings wurde im Jahr 2000 ein höherer N-Gehalt beobachtet, der im Gegensatz zu Versuch 1 in eine höhere Frischmasse umgesetzt wurde. Der K-Gehalt dieser Variante war signifikant niedriger als der nicht mykorrhizierter Pflanzen. Dieses Phänomen wurde auch im Jahr 2001 bei Basilikum beobachtet, dass trotz niedrigeren K-Gehaltes die Frischmasse erhöht war. Wiederum dazu im Gegensatz war der Ertrag mykorrhizierter Pflanzen im Jahr 2001 bei organischer P-Düngung nicht höher als der nicht mykorrhizierter und lag insgesamt auf dem Niveau der nicht mykorrhizierten Pflanzen des Vorjahres. Dies ist insofern überraschend, weil die Kolonisierungsraten in beiden Jahren in etwa gleich waren und auch die Nährstoffgehalte in derselben Größenordnung lagen.

Die Frischmasseerträge der Versuche zur N- und P-Düngung unterschieden sich im Gegensatz zu den Beobachtungen bei Basilikum (Kap. 5.2) kaum. Der niedrige Gehalt an Phosphat und Kalium (Kap. 3.2.2 und 3.2.3) war bei Petersilie offensichtlich nicht im selben Maß Wachstum begrenzend wie bei Basilikum.

Die Aussage von SMITH und READ (1997), wonach die Trockenmasse durch Mykorrhizierung erhöht werden kann, wurde bei den vorliegenden Ergebnissen nur einmal bestätigt. Bei organisch gedüngten Petersilienpflanzen (Versuch 3) war im Jahr 2000 die Trockenmasse mykorrhizierter Pflanzen höher als bei nicht mykorrhizierten. Im Folgejahr unterschieden sich diese Varianten nicht. In Versuch 1 bei organischer N-Düngung wurde sogar eine niedrigere Trockenmasse mit AMP beobachtet. Da allerdings die Frischmasse auch erheblich niedriger war, und somit die gesamte produzierte Biomasse, sollte dieses Ergebnis bei der Bewertung ausgeklammert werden. Im selben Versuch war bei Estragon die Trockenmasse bei nicht mykorrhizierten Pflanzen höher als bei mykorrhizierten. In allen anderen Versuchen unterschieden sich mykorrhizierte und nicht mykorrhizierte Pflanzen nicht im Trockenmasseertrag.

## Diskussion

Dies wird auch bei Betrachtung der Trockensubstanzgehalte deutlich. In Versuch 1 war bei beiden Düngevarianten der Trockensubstanzgehalt bei mykorrhizierten Pflanzen niedriger als bei nicht mykorrhizierten. Zumindest bei der Variante „mit AMP, organische Düngung“ ist dies überraschend, da die Nährstoffgehalte höher waren. Auch in Versuch 3 bei beiden Düngevarianten und in Versuch 4 bei mineralischer Düngung war der Trockensubstanzgehalt bei Pflanzen, die ohne AMP kultiviert wurden, höher.

Ist die Reduktion der Trockenmasse auf die Etablierung der Mykorrhiza (also die intensive Bildung von Pilzstrukturen) zurückzuführen, so kann davon ausgegangen werden, dass sich die Nährstoffbilanz für die Pflanze nach dieser „Anlaufphase“ ins Positive kehren wird, sofern die Pflanze unter limitierenden Nährstoffbedingungen wächst. Dies war aber nicht der Fall. Es ist allerdings auch möglich, dass die reduzierte Trockenmasse auf einer ausreichenden N-Versorgung der Pflanze beruht. Dies würde bedeuten, dass die Pflanze dem Mykorrhizapilz ständig Assimilate lieferte, ohne selbst einen Nutzen aus der Lebensgemeinschaft zu ziehen. Dieser Verdacht scheint im vorliegenden Fall jedoch durch die Versuchsergebnisse beinahe ausgeschlossen, denn bei der mineralischen N-Düngung war die Reduktion der Trockenmasse bei Mykorrhizierung trotz deutlicher Überversorgung der Pflanzen mit Stickstoff und stärkerer Kolonisierung der Wurzeln mit *Glomus intraradices* im Vergleich zur organischen Düngung wesentlich schwächer ausgeprägt.

Ein eindeutiger Einfluss der AMP auf die Nährstoffaufnahme war nicht zu erkennen. Die N-Aufnahme war im Jahr 2000 in beiden Versuchen (N- und P-Düngung) bei den jeweiligen organisch gedüngten Düngungsvarianten bei mykorrhizierten Pflanzen höher. Im Folgejahr konnte dies nicht bestätigt werden. Auch bei Phosphor und Kalium konnte durch die Kultur mit AMP keine Erhöhung der Nährstoffgehalte erreicht werden. Bei den Versuchen zur P-Düngung war der K-Gehalt bei mykorrhizierten Pflanzen sogar etwas niedriger.

#### **5.4 Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Schnittlauch**

Wie schon Basilikum und Petersilie reagierte Schnittlauch praktisch nicht auf die Kultur mit AMP. Bei der Interpretation der Ergebnisse kommt noch erschwerend hinzu, dass nicht nur keine Ergebnisse zur organischen N-Düngung aus dem Jahr 2001 vorliegen, sondern auch der Versuch zur P-Düngung im Jahr 2001 nicht wiederholt werden konnte, da die Keimrate der Versuchspflanzen zu schlecht war und somit kein Auswertungsmaterial vorhanden war. Dies ist vermutlich auf das Alter des Saatgutes und den damit verbundenen Rückgang der Keimfähigkeit zurückzuführen.

Schnittlauch zeigte bei den Versuchen zur Stickstoffdüngung keine Reaktion auf die Kultur mit Mykorrhiza. Bei organischer N-Düngung waren sowohl Frisch- wie auch Trockenmasseertrag signifikant niedriger als bei mineralischer. Bei der Versuchswiederholung im Folgejahr lag der Ertrag bei mineralischer Düngung sogar noch unter dem des Vorjahres bei gleicher Düngungsstufe. Von allen untersuchten Pflanzenarten war bei Schnittlauch die beste Kolonisierung mit *Glomus intraradices* zu beobachten. Vor allem bei mineralischer N-Düngung war fast jede der untersuchten Wurzeln in allen Stadien, vor allem mit besonders vielen Arbuskeln der AMP kolonisiert, was auf eine sehr aktive Mykorrhiza schließen lässt. Trotzdem war kein Einfluss der AMP auf den Ertrag zu erkennen. Die Trockensubstanzgehalte waren bei beiden Düngestufen bei mykorrhizierten Pflanzen signifikant niedriger als bei nicht mykorrhizierten. Während Stickstoff- und Kaliumgehalt nicht von der AMP beeinflusst wurden, war bei mineralischer N-Düngung im ersten Versuchsjahr eine Erhöhung des Phosphorgehaltes festzustellen. Dieser blieb aber ohne Auswirkung auf Frisch- oder Trockenmasse.

Beim Versuch zur P-Düngung wurde bei mineralischer Düngung mit Hyperphos der Frischmasseertrag durch Kultur der Pflanzen mit Mykorrhiza verringert. Offensichtlich entstand durch die hohe Kolonisierung der Wurzeln mit AMP, die bei über 80 % lag, eine Konkurrenzsituation um Assimilate zwischen Pflanze und Pilz, die zu Lasten der Pflanze ging. In Trockenmasse, N-, P- und K-Gehalt unterschied sich diese Variante nicht von den Werten der nicht mykorrhizierten, allerdings lag der Trockensubstanzgehalt mykorrhizierter Pflanzen im Gegensatz zu den



Versuchen zur N-Düngung höher als der nicht mykorrhizierter. Interessanterweise war der P-Gehalt mykorrhizierter Pflanzen bei Düngung mit Hyperphos niedriger als der nicht mykorrhizierter. Bei organischer Düngung mit Knochenmehl konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden. Da aber keine Vergleichsdaten aus dem Folgejahr bei Schnittlauch vorliegen, sollte hier nicht verallgemeinert werden.

Die Frischmasseerträge waren beim Versuch zur P-Düngung deutlich höher als bei den Versuchen zur N-Düngung. Schnittlauch reagierte genauso wie Estragon (Kap. 5.5) mit einer Ertragssteigerung auf das höhere N-Angebot bei Versuch 3 (2000).

### **5.5 Einfluss der AMP auf pflanzenbauliche Parameter von Estragon**

Estragon zeigte wie die anderen drei untersuchten Pflanzenarten sehr unterschiedliche Reaktionen auf die Kultur mit AMP und die Form der Düngung.

Bei den Versuchen zur N-Düngung konnte bei Estragon weder ein Einfluss der Mykorrhizierung, noch der Düngungsform auf den Frischmasseertrag beobachtet werden. Bei organischer N-Düngung lag der Trockenmasseertrag mykorrhizierter Pflanzen jedoch unter dem nicht mykorrhizierter. Dadurch wurde auch der Trockensubstanzgehalt dieser Variante signifikant verringert. Bei mineralischer N-Düngung war dieser Unterschied bei Trockenmasse und Trockensubstanzgehalt tendenziell derselbe, aber statistisch auf einem Signifikanzniveau von 5 % nicht absicherbar. Trotz gleicher Frischmasse und geringen Unterschieden in der Trockenmasse, waren deutliche Unterschiede im Nährstoffgehalt festzustellen. Im Jahr 2000 war der N-Gehalt der mit Horndünger gedüngten Pflanzen niedriger, als der mit Osmocote-Harnstoff ernährten. Mykorrhizierte und nicht mykorrhizierte Pflanzen unterschieden sich nicht im N-Gehalt. Der P-Gehalt war bei organisch gedüngten Pflanzen ohne AMP tendenziell, bei mineralisch (ohne AMP) gedüngten signifikant niedriger. Dies deckt sich mit Berichten aus der Literatur (GIANINAZZI-PEARSON und GIANINAZZI 1986, SMITH und READ 1997). Im Jahr 2001 war bei mineralischer N-Düngung kein Einfluss der AMP auf P-Gehalt zu erkennen. Auch die Bestimmung des Kaliumgehaltes brachte kein einheitliches Bild. Im Jahr 2000 war bei beiden Düngungsvarianten der Kaliumgehalt der

## Diskussion

Pflanzen bei Kultur mit AMP signifikant höher als ohne AMP. Leider konnte dies im Jahr 2001 nicht bestätigt werden, so dass keine eindeutige Aussage möglich ist.

Beim Vergleich organischer und mineralischer P-Düngung brachten im Jahr 2000 organisch gedüngte Pflanzen höhere Frischmasseerträge als mineralisch gedüngte, obwohl im Stickstoff- und Kaliumgehalt keine Unterschiede beobachtet wurden. Lediglich der Phosphorgehalt war bei mykorrhizierten Pflanzen (bei organischer Düngung) höher. Ein Einfluss der AMP bei organischer Düngung auf den Frischertrag war nicht zu erkennen. Bei mineralischer Düngung mit Hyperphos wurden ohne AMP höhere Erträge erzielt. Im Folgejahr war dies genau umgekehrt, die höchsten Frischmasseerträge wurde bei der Variante „mit Mykorrhiza, mineralische P-Düngung“ gemessen. Bei organischer P-Düngung war, wie im Vorjahr kein Unterschied zwischen mykorrhizierten und nicht mykorrhizierten Pflanzen zu beobachten. Bei Betrachtung der Nährstoffgehalte fiel auf, dass im Jahr 2001 gerade die Variante mit dem geringsten Ertrag die höchsten Stickstoff, Phosphor und Kaliumgehalte aufwies. Dies könnte durch eine sehr aktive Mykorrhiza, die der Pflanze zwar viele Nährstoff zur Verfügung stellt, aber auch viele Photosyntheseprodukte (Kohlehydrate) der Pflanze entzieht, erklärt werden. Diese These wird durch die sehr hohe AMP-Kolonisierung dieser Variante (Boniturnote 4,0 entspr. > 80 % der Wurzeln und Wurzelfläche mit AMP besiedelt) gestützt. Diese Tendenz zeigte sich auch im Trockenmasseertrag, der im Jahr 2000 bei mineralischer P-Düngung niedriger war. Bei dieser Variante war der Trockenmasseertrag mykorrhizierter Pflanzen niedriger als der ohne AMP. Einen Einfluss auf den Trockensubstanzgehalt war aber nicht zu erkennen.

Die Frischmasseerträge waren beim Versuch zur P-Düngung, wie auch bei Schnittlauch beobachtet, höher als bei den Versuchen zur N-Düngung. Estragon reagierte genauso wie Schnittlauch (Kap. 5.4) mit einer Ertragssteigerung auf das höhere N-Angebot bei Versuch 3 (2000).

Insgesamt ließ sich auch bei Estragon kein eindeutiger Einfluss der AMP oder der Düngerform auf wesentliche pflanzenbauliche Parameter nachweisen.

### 5.6 Allgemeines

#### 5.6.1 Witterung

Bei den Versuchen bestand das generelle Problem, dass die kurze Kulturdauer der Topfkräuter nur schwer mit der „Langzeitwirkung“ der organischen Dünger und der AMP zu vereinen ist.

Die ungewöhnlich hohe Einstrahlung während der Versuchsdurchführung in beiden Jahren hatte den Effekt, dass sowohl ein extrem rasches Pflanzenwachstum als auch bei den Versuchen zur N-Düngung eine starke Stickstoffmineralisierung vor allem der organischen Düngemittel in Versuch 1 (2000) infolge einer schnellen Erwärmung des Substrats zu verzeichnen war. Durch das schnelle Wachstum der Pflanzen auf Grund der hohen Temperaturen und der hohen Einstrahlung wurde schon wesentlich früher ein verkaufsfähiges Stadium erreicht, als erwartet. Bei Basilikum war das schon nach vier bis fünf Wochen der Fall. Da ein Effekt der AMP aber in dieser kurzen Zeit noch nicht zu erwarten war, da sich der Pilz in den Pflanzewurzeln erst etablieren musste, wurde die Versuchsauswertung erst nach weiteren drei bis sieben Wochen durchgeführt. Die Pflanzen waren zum Zeitpunkt der Auswertung allerdings schon relativ groß und auf Grund der einsetzenden Blüte bei Estragon und Basilikum eigentlich nicht mehr verkaufsfähig.

Die unerwartet hohen Temperaturen im Verlauf des Versuches 1 (Stickstoffdüngung 2000) hatten, wie bereits erwähnt, auch Auswirkungen auf die Mineralisierung des Stickstoffs – sowohl im organischen als auch im mineralischen Dünger. Die zu verabreichenden Mengen wurden vor Versuchsbeginn für eine Kulturdauer von zehn Wochen bei einer durchschnittlichen Temperatur von 25 °C berechnet. Die tatsächlichen Temperaturen überstiegen jedoch gerade tagsüber und besonders in den ersten Wochen der Kultur diesen angenommenen Wert, so dass vermutlich vor allem zu Beginn von Versuch 1 überdurchschnittlich viel Stickstoff freigesetzt worden war. Nach sechswöchiger Kultur im Versuchssubstrat wurde ein Gehalt an löslichem N von ca. 350 – 1000 mg L<sup>-1</sup> gemessen (nicht dargestellt). Laut Berechnung hätte zu dieser Zeit nur eine Menge von 375 mg L<sup>-1</sup> mineralisiert werden dürfen. Ein solches N-Überangebot kann aber den Effekt

haben, dass sich eine Mykorrhiza erst gar nicht entwickelt (AZCÓN-AGUILAR und BAGO 1994) oder ihr Beitrag zur N-Ernährung der Pflanzen nur verschwindend gering ist. Auf das Pflanzenwachstum hatte die erhöhte Mineralisierung, zusätzlich zu den günstigen Witterungsbedingungen, einen verstärkenden Effekt.

Da als Gärtner kein Einfluss auf die Witterung genommen werden kann, bleibt nur die Möglichkeit, die gesamte Düngermenge nicht in einer Gabe zu verabreichen, sondern in mehrere Teilgaben aufzuteilen, um einer unkontrollierten Mineralisierung vorzubeugen – vor allem in den ersten Kulturwochen, wenn die Pflanzen ein hohes Angebot noch nicht verwerten können. Dies war bei dem gewählten Versuchsaufbau nicht möglich, da die zu untersuchenden Düngemittel in das Substrat eingemischt werden mussten. In der Praxis werden gängigerweise Substrate verwendet, die eine relativ niedrige Grunddüngung aufweisen und dann mit steigendem Pflanzenwachstum durch eine Bewässerung mit Nährlösung laufend mit Nährstoffen aufgedüngt werden.

### 5.6.2 Mischungsverhältnis des organischen N-Düngers

Im Zusammenhang mit der Temperatur erwies sich die Zusammensetzung des organischen N-Düngers als problematisch. Bei der ausschließlichen Verwendung von fein gemahlenem Hornmehl besteht die Gefahr einer unkontrollierbaren enormen Stickstofffreisetzung, die vor allem bei Jungpflanzen schnell zu  $\text{NH}_4^+$ - oder sogar  $\text{NH}_3$ -Schäden führen kann. Bei gröberen Horndüngern wie Horngrieß oder Hornspänen wird der Stickstoff möglicherweise zu langsam freigesetzt. Die Pflanzen würden Mangelercheinungen zeigen. Daher wurde in der vorliegenden Arbeit eine Mischung von Hornmehl und Horngrieß angestrebt, die eine angemessene N-Versorgung der Pflanzen als Mittelweg zwischen den eben geschilderten Extrema gewährleisten sollte. Ein Mischungsverhältnis von 1:1, d.h. gleichen Anteilen von Hornmehl und Hornspänen, stellte sich unter den beschriebenen Versuchsbedingungen als nicht anwendbar heraus, da die Versuchspflanzen bereits eine Woche nach dem Pikieren in das aufgedüngte Kultursubstrat sehr starke Verbrennungen und Anzeichen von osmotischem Stress aufwiesen. Die Untersuchung des Substrats zeigte, dass in dieser kurzen Zeit, die von sehr hohen Temperaturen gekennzeichnet war, beträchtliche Mengen

(900 – 1000 mg L<sup>-1</sup>) an Ammonium freigesetzt worden sind, die für die starken Pflanzenschäden verantwortlich waren. Eine Reduktion des Hornmehlanteils auf 20 % brachte dann gute Versuchsergebnisse. Trotzdem bleibt der Einsatz von Hornmehl- und gries/spänen bei Substratkulturen kritisch, wie die Resultate des 2. Versuchsjahres (2001) zeigen. Trotz Verwendung der gleichen Substrate und der gleichen Düngebeimischung wie im Vorjahr, führte die hohe NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Mineralisation zum Absterben der Pflanzenkeimlinge. Aus diesem Grund kann eine Gabe von Horndüngern nur als geringe Grunddüngung befürwortet werden. Die N-Versorgung für „biologisch produzierte“ bleibt damit auch weiterhin problematisch und nicht befriedigend gelöst.

### 5.6.3 Einsatz von Knochenmehl als organischer P-Dünger

Der Einsatz von Knochenmehl als organische P-Quelle ist seit dem Auftreten der ersten BSE-Fälle in Deutschland im Herbst 2000 nicht unumstritten. Auch die verschiedenen Bioverbände hatten bis Ende des Jahres 2000 keine einheitlichen Richtlinien zur Verwendung von Knochen- und Blutmehl als Düngemittel. Während Demeter noch nie tierische Schlachtabfälle als Nährstoffquelle bzw. Düngemittel zugelassen hat, wurde dies auch bei den übrigen Verbänden im Herbst 2000 in der BRD verboten (WWW.NATURKOST.DE 2000). Da diese Entwicklung aber zu Beginn der Versuche im Frühjahr 2000 noch nicht abzusehen war, fiel die Wahl auf Knochenmehl als organischen P-Dünger. Um die Ergebnisse der ersten Versuche abzusichern, wurde auch im Jahr 2001 wieder Knochenmehl als P-Dünger eingesetzt. Dies stellt im Angesicht der derzeitigen Lage die Praxisnähe bzw. Übertragbarkeit der Ergebnisse der Versuche in Frage. Da zur Herstellung von Knochenmehl nur Material verwendet wird, welches bei der Verarbeitung von Fleisch, das dem menschlichen Verzehr dient, stellt sich die Frage, wie lange dieser wertvolle Rohstoff noch verbrannt wird, oder wieder einer sinnvolleren Verwendung zugeführt werden kann. Knochen, die von so genanntem Risikomaterial (Schädel, Wirbelsäule) stammen, werden ohnehin nicht bei der Herstellung der Düngemittel verwendet, sondern ausgesondert und verbrannt.

### 5.6.4 Spezifische Interaktionen zwischen Wirtspflanze und Mykorrhizapilz

Ein immer wieder angesprochenes Problem bei der Verwendung von AMP in der Pflanzenproduktion ist die Wechselwirkung des eingesetzten Pilzstammes und der kultivierten Pflanzenart oder Sorte.

Ob zwischen einem Mykorrhizapilz und einer Pflanze eine Symbiose ausgebildet werden kann und in welchem Ausmaß, hängt von der Kombination der beiden Symbiosepartner ab. Grundsätzlich kann eine Pilzart zwar mit mehr als einer Pflanzenart eine Symbiose eingehen und umgekehrt eine Wirtspflanze von mehr als einer Pilzart besiedelt werden. Allerdings kann das Ausmaß der Kolonisierung einer gegebenen Wirtspflanze je nach Pilzisolat variieren, ebenso wie ein gegebener AMP verschiedene Wirtspflanzen unterschiedlich stark besiedeln kann. (SMITH und READ 1997)

Die Fähigkeit einer Pflanze, von einem Mykorrhizapilz besiedelt zu werden, hängt neben den Umweltbedingungen auch von der Pflanzenart sowie von ihrem Genotyp ab. Besonders Pflanzen, die immobile Nährstoffe nicht besonders effektiv aufnehmen können, weisen eher eine Abhängigkeit von der Symbiose mit AMP auf. Eine Ursache für die schlechtere Nährstoffaufnahme kann z.B. die Wurzelmorphologie sein: So sind Pflanzen mit dicken, unverzweigten Wurzeln häufig stärker auf die Symbiose mit den AMP angewiesen, als Pflanzen mit einem fein verzweigten und ausgedehnten Wurzelsystem und vielen Wurzelhaaren (BUNDRETT 1991 in AZCÓN-AGUILAR und BAGO 1994). Faktoren, wie die Verzweigung des Wurzelsystems, Wurzellänge und Wurzeldurchmesser sowie Anzahl und Länge der Wurzelhaare haben daher Einfluss auf die Kolonisierung mit AMP. Aber nicht nur die Morphologie der Wurzeln, auch die Aktivität des Wurzelsystems und die Wachstumsrate der Wurzeln beeinflussen die Fähigkeit der Pflanze, mit ungünstigen Bodenbedingungen fertig zu werden, und somit auch die Abhängigkeit einer Pflanze von der Mykorrhiza (AZCÓN-AGUILAR und BAREA 1997).

Auch der Nährstoffbedarf und die Nährstoffversorgung (JOHANSEN ET AL 1994) der Pflanze sowie ihre Anpassungsfähigkeit an lokale Bodenbedingungen haben Einfluss darauf, wie stark eine Pflanze von der Mykorrhiza abhängig ist. Je höher

## Diskussion

z.B. der Nährstoffbedarf einer Pflanze ist, desto höher ist häufig auch der Grad der Mykotrophie. (AZCÓN-AGUILAR und BAGO 1994)

Aus den oben genannten Aspekten lassen sich u.a. die beobachteten Art- und Sortenunterschiede der Pflanzen in Bezug auf Kolonisierbarkeit und Reaktion auf die Mykorrhiza erklären, wie sie in der vorliegenden Arbeit dokumentiert wurden.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss eines Stammes des arbuskulären Mykorrhizapilzes *Glomus intraradices* SCHENCK & SMITH auf den Ertrag verschiedener Gewürzkräuter untersucht. Um eine allgemeinere Aussage treffen zu können, wurden Arten aus vier verschiedenen Familien ausgewählt. Dies waren Basilikum (*Ocimum basilicum* L.; Lamiaceae), Petersilie *Petroselinum crispum* (MILL.) NYMAN ex A.W. HILL; Apiaceae), Schnittlauch (*Allium schoenoprasum* L.; Alliaceae) und Estragon (*Artemisia dracunculus*, L. Asteraceae). Zusätzlich wurde der Einfluss der AMP auf den Nährstoffgehalt der drei wichtigen Elemente Stickstoff, Phosphor und Kalium untersucht. Aufgrund des zunehmenden Interesses der Verbraucher an biologisch erzeugten Lebensmitteln wurde zudem die Einsatzmöglichkeit verschiedener organischer Düngemittel miteinbezogen. Zur Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff kam ein Gemisch aus Hornmehl und Horngrieß und zur Versorgung mit Phosphor Knochenmehl zum Einsatz. Als Vergleich dienten bei Stickstoff als mineralischer N-Quelle ein Kunstharz ummantelter langsam fließender Harnstoffdünger (Osmocote-N) und als P-Quelle Apatit (Hyperphos).

Bei mineralischer Stickstoff- und Phosphordüngung war die Kolonisierungsrate der Pflanzenwurzeln bei allen Pflanzenarten wesentlich höher als bei den organischen Düngevarianten. Der relativ hohe Gehalt an löslichem Phosphat in den Versuchssubstraten wurde von dem ausgewählten AMP-Stamm ohne Einschränkung der Kolonisierungsfähigkeit toleriert.

Basilikum zeigte keine eindeutige Reaktion im Ertrag auf die Kultur mit AMP. Je nach Versuch und Versuchsjahr war der Ertrag bei mykorrhizierten Pflanzen höher oder niedriger als der nicht mykorrhizierter oder unterschied sich überhaupt nicht. Auf den Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalt konnte kein Einfluss nachgewiesen werden.

Auch Petersilie zeigte keine eindeutige Tendenz im Ertrag, abhängig von der Mykorrhizierung oder der Düngerform. Mykorrhizierte Pflanzen erzielten je nach Versuch niedrigere, höhere oder gleichgroße Erträge wie nicht mykorrhizierte



## Zusammenfassung

Vergleichspflanzen. Die Düngerform hatte nur in Verbindung mit einer Kultur ohne AMP bei den beiden Versuchen zur P-Düngung einen Einfluss auf den Frischmasseertrag.

Schnittlauch reagierte ebenfalls praktisch nicht auf die Kultur mit AMP, obwohl die höchsten Kolonisierungsraten in den Wurzeln beobachtet wurden. Bei der Interpretation der Ergebnisse kam erschwerend hinzu, dass nicht nur keine Ergebnisse zur organischen N-Düngung aus dem Jahr 2001 vorlagen, sondern auch der Versuch zur P-Düngung im Jahr 2001 nicht wiederholt werden konnte, da die Keimrate der Versuchspflanzen so schlecht war.

Estragon zeigte sehr unterschiedliche Reaktionen auf die Kultur mit AMP und die Form der Düngung. Bei den Versuchen zur N-Düngung konnte bei Estragon weder ein Einfluss der Mykorrhizierung, noch der Düngungsform auf den Frischmasseertrag beobachtet werden. Beim Vergleich organischer und mineralischer P-Düngung brachten im Jahr 2000 organisch gedüngte Pflanzen höhere Frischmasseerträge als mineralisch gedüngte, obwohl im Stickstoff- und Kaliumgehalt keine Unterschiede beobachtet wurden. Lediglich der Phosphorgehalt war bei mykorrhizierten Pflanzen (bei organischer Düngung) höher. Ein Einfluss der AMP bei organischer Düngung auf den Frischertrag war nicht zu erkennen. Bei mineralischer Düngung mit Hyperphos wurden ohne AMP höhere Erträge erzielt. Im Folgejahr war dies genau umgekehrt. Insgesamt ließ sich auch bei Estragon kein eindeutiger Einfluss der AMP oder der Düngerform auf wesentliche pflanzenbauliche Parameter nachweisen.

Ein oft diskutiertes Problem bei der Verwendung von AMP in der Pflanzenproduktion ist die Wechselwirkung des eingesetzten Pilzstammes und der kultivierten Pflanzenart oder Sorte. Der eingesetzte AMP-Stamm wurde bisher erfolgreich bei Tomaten (SCHNITZLER 1997) und Kopfsalat (KULLMANN und SCHNITZLER 1999) eingesetzt. Bei den untersuchten Gewürzkräutern konnte dies nicht bestätigt werden.

Die kurze Kulturdauer der Topfkräuter war nur schwer mit der „Langzeitwirkung“ der organischen Dünger und der AMP zu vereinen. Zusätzlich bewirkte die hohe

## Zusammenfassung

Einstrahlung und Temperatur während der beiden Vegetationsperioden ein extrem schnelles Pflanzenwachstum und eine zu schnelle Mineralisierung der Nährstoffe aus den organischen Düngemitteln. Dies trifft vor allem auf die verwendeten Horndünger zu. Der Einsatz von Knochenmehl als organischer Phosphordünger ist seit dem Auftreten der ersten BSE-Fälle in Deutschland im Herbst 2000 nicht unumstritten. Da diese Entwicklung aber zu Beginn der Versuche im Frühjahr 2000 noch nicht abzusehen war fiel, die Wahl auf Knochenmehl als organischen P-Dünger.

Die Ergebnisse der Versuche haben die Erwartungen an die Mykorrhiza (Erhöhung der Frischmasse = Ertrag) nicht erfüllt. Zwar war die Nährstoffaufnahme mykorrhizierter Pflanzen teilweise höher als die nicht-mykorrhizierter, dies führte jedoch zu keiner Ertragssteigerung. Auch die Bandbreite der Effekte von positiv, neutral bis hemmend zeigen, dass ein Einsatz von AMP unter den üblichen Bedingungen im gärtnerischen Pflanzenbau, hier speziell in der Topfkräuterproduktion, kritisch zu beurteilen ist. Ein Grund hierfür könnte die kurze Kulturdauer der untersuchten Pflanzenarten sein, so dass die AM innerhalb dieser Zeit die Pflanzenwurzeln zwar kolonisiert, aber noch keine positiven Effekte für die Pflanze entstehen. Ziel gärtnerischer Pflanzenkultur ist es, der Pflanze optimale Wachstumsbedingungen zu schaffen. Bei den hier beschriebenen Substratkulturen ist das in der Regel auch möglich, so dass die Pflanzen keinen nennenswerten Stresssituationen ausgesetzt sind. Bei optimaler Pflanzenernährung kann ein AMP sogar eine eher parasitische Wirkung für die Pflanze besitzen, was in der Tat zu vermeiden ist.

Solange keine garantierte und sichtbare Wirkung für Produzent und Verbraucher beim Einsatz arbuskulärer Mykorrhizapilze in der Pflanzenproduktion zu erkennen ist, bedeutete der Einsatz von AMP nur einen zusätzlichen Kostenfaktor, der bei den ohnehin schon geringen Deckungsbeiträgen im Gartenbau kaum gerechtfertigt erscheint.

## Abstract

The influence of the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) *Glomus intraradices* SCHENCK & SMITH on yield of various potted herbal plants was examined. For a broader evaluation, different species of four different plant families were incorporated. These were basil (*Ocimum basilicum* L.; Lamiaceae), parsley *Petroselinum crispum* (MILL.) NYMAN ex A.W. HILL; Apiaceae), chives (*Allium schoenoprasum* L.; Alliaceae) and tarragon (*Artemisia dracuncululus*, L. Asteraceae). Nutrient content (nitrogen, phosphorous and potassium) depending on mycorrhization was also analysed. Due to the increasing interest of consumers for organically grown food and vegetables, organic fertilisers were incorporated in the experiments. Nitrogen was supplied either by urea (mineral) or as horn meal (organic) and phosphorous by apatite (mineral) or bone meal (organic) respectively.

Mineral fertilisation in both cases reduced the colonisation rate of the mycorrhizal fungus. The relatively high content of soluble phosphorous in the used substrates did not affect the vitality of the chosen fungal strain.

Basil showed no specific reaction to the cultivation with AMF. Depending on kind of trial or year, yield was higher, lower or the same when the plants were cultivated with AMF. There was also no influence on N, P or K content. Yield of parsley was apparently not influenced by mycorrhiza or the mode of fertilisation. Mycorrhized plants either had higher, lower or the same fresh yield as non mycorrhized ones. Fertilisation only influenced plant growth in the last two experiments (P fertilisation) and only in plants without mycorrhiza. Despite of the highest colonisation rates, chives showed practically no reaction to the inoculation with AMF. The interpretation of the results was further rendered difficult due to the fact that not all experiments with this species could be repeated in 2001. The reaction of tarragon to inoculation with *Glomus intraradices* was varying in the two experimental sets. In the trials to examine N fertilisation there was no influence of AMF or fertilisation on fresh yield. Comparing inoculated and non inoculated plants of the P fertilisation experiment in the year 2000, organically grown plants achieved a higher fresh yield than minerally fertilised ones, despite the fact that nitrogen and

## Abstract

potassium contents did not differ significantly. The phosphorous content was higher in organically fertilised mycorrhized plants without effect on fresh yield. In the following year, opposite results were achieved. No definite statement can be made concerning the influence of AMF or fertilisation on tarragon.

When using AMF for input in commercial plant production, the interactions between plant (host) and the used fungal species or strain are often discussed. The AMF strain used in the described experiment was successfully tested for the cultivation of tomato (SCHNITZLER 1997) and head lettuce (KULLMANN and SCHNITZLER 1999). These results could not be repeated for potted herbs.

The short cultivation period of herbal plants seem rather incompatible with the long time reaction of mycorrhiza and organic fertilisers. The high temperatures and light intensity during the experiments resulted in an extremely fast plant growth and a very rapid nutrient mineralisation from organic fertilisers. This applied especially to horn meal. The use of bone meal is very controversial after the first BSE cases in Germany in autumn 2000. This development was not foreseeable when this experimental began , bone meal was chosen as P source. The results of the experiments did not fulfil the expectations of higher yield by the application of mycorrhiza. Nutrient content (and thus uptake) of mycorrhized plants was sometimes higher without any effect on fresh yield. The full perception of positive, neutral and negative influences with the use of AMF in standard cultivation of potted herbs must be judged under presented results as critical. The short cultivation period of potted herbs may be a reason, in spite of good AMF colonisation rates of plant roots, that no positive effects on plant development within the growth period could be observed. The ultimate aim for plant cultivation is to provide optimum growth conditions which can be achieved in substrate culture. The plants did not suffer any stress in the experiments described here. Under these conditions an AMF may even develop parasitic features which must be avoided under all circumstances.

As long as there is no guaranteed and economic effect from mycorrhiza for producers and consumers, the use of AMF in commercial plant production is only an additional cost factor which seems hardly justifiable.

## 7 Literatur

- ABBOT, L.K.; ROBSON, A.D. 1985. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 99: 245-255
- ADAMS, M.A.; PATE, J.S. 1992. Availability of organic and inorganic forms of phosphorus to lupins (*Lupinus* spp.). *Plant Soil* 145: 107-113
- AMBERGER, A., 1996. Pflanzenernährung. Ulmer, Stuttgart. 4. Auflage
- AMIJEE, F. 1989. Vesicular-arbuscular mycorrhizas: an ubiquitous symbiosis between fungi and roots of vascular plants. *Mycologist* 3: 176-180
- AZCÓN R.; TOBAR, R.M. 1998. Activity of Nitrate Reductase and Glutamine Synthetase in Shoot and Root of Mycorrhizal *Allium cepa* Effect of Drought Stress. *Plant Science* 133:1-8
- AZCÓN, R.; GÓMEZ, M.; TOBAR, R. 1996. Physiological and Nutritional Responses by *Lactuca sativa* L. to Nitrogen Sources and Mycorrhizal Fungi under Drought Conditions. *Biology and Fertility of Soils* 22, 156 – 161
- AZCÓN-AGUILAR, C.; BAGO, B. 1994: Physiological Characteristics of the Host Plant Promoting and Undisturbed Functioning of the Mycorrhizal Symbiosis. in: GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. (eds.) *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin
- AZCON-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. 1995. Saprophytic growth of arbuscular mycorrhizal fungi. In: Varma, A.; Hock, B. (eds.) *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, pp. 391-407
- AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. 1997. Applying Mycorrhiza Biotechnology to Horticulture: Significance and Potentials. *Scientia Horticulturae* 68: 1-24
- BALESTRINI, R.; BERTA, G.; BONFANTE, P. 1992. The plant nucleus in mycorrhizal roots: positional and structural modifications. *Biol. Cell* 75: 235-243
- BAREA, J.M.; AZCÓN-AGUILAR, C.; AZCÓN, R. 1987. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Improve Both Symbiotic N<sub>2</sub>-Fixation and N Uptake From Soil As Assessed With A <sup>15</sup>N Technique Under Field Conditions. *New Phytologist* 106: 717-725
- BAREA, J.M.; JEFFRIES, P. 1995. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. In: VARMA, A.; HOCK, B. (eds.) *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, pp. 521-560
- BEEVER, R.E.; BURNS, D.J.W. 1980. Phosphorus uptake, storage and utilization by fungi. In: WOOLHOUSE, H.W. (ed.) *Advances in botanical research*, vol. 8. Academic Press, London, pp. 127-192

## Literatur

- BELKE, H.J. 1997. Mykorrhizaanwendung - Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis. Gartenbauingenieur 1: 17-19
- BETHLENVALVAY, G.J.; SCHÜEPP, H. 1994. Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. In: GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. (eds.) Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems. Birkhäuser, Basel, pp. 117-131
- BIOLAND 2001. Bioland Richtlinien, Stand 23./24.04.01. 2001. Bioland Bundesverband. Mainz
- BÖHM, J. 2001. Persönliche Mitteilung
- BONFANTE, P.; PEROTTO, S. 1992. Plants and endomycorrhizal fungi: the cellular and molecular basis of their interaction. In: VERMA, D.P.S. (ed.) Molecular signals in plant-microbe communications. CRC Press, Boca Raton, pp. 445-470
- BONFANTE, P.; PEROTTO, S. 1995. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. New Phytologist 130: 3-21
- BONFANTE-FASOLO, P. 1984. Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. (eds.) VA Mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, pp. 5-33
- DANIELS, B.A.; MENGE, J.A. 1980. Hyperparasitism of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Phytopath.* 70 (7): 584-588.
- DEMETER. 2001. Richtlinien Erzeugung aus biologisch-dynamischem Landbau, Stand Februar 2001. Demeterbund Darmstadt
- DODD, J. C. 1994. Approaches to the Study of the Extraradical Mycelium of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. in: GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. (eds.) Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin
- DUMAS-GAUDOT, E.; FURLAN, V.; GRENIER, J.; ASSELIN, A. 1992. New acidic chitinase isoforms induced in tobacco roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza 1: 133-136
- EL-TOHAMY, W.; SCHNITZLER, W.H.; EL-BEHAIRY, U.; EL-BELTAGY, M.S. 1999. Effect of VA Mycorrhiza on Improving Drought and Chilling Tolerance of Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Applied Botany – Angewandte Botanik 73: 178-183
- FELDMANN, F. 1998. Arbuskuläre Mykorrhiza im Gartenbau. Thalacker Medien, Braunschweig
- FELDMANN, F. 1998. Symbiontenttechnologie in der Praxis: Arbuskuläre Mykorrhiza im Gartenbau. Thalacker, Braunschweig

## Literatur

- FELDMANN, F. 1999. Mykorrhizaeinsatz im Pflanzenbau. Deutscher Gartenbau 17/99, 24 – 26
- FELDMANN, F.; KRUSE, W.; BOYLE, C.; LIEBEREI, R. 1998. The strain-inherent variability of arbuscular mycorrhizal effectiveness: I. Development of a test system using *Petroselinum crispum* Hoffm. as host. Symbiosis 25: 115-129
- FELDMANN, F.; WERITZ, J.; BOYLE, C.; BACKHAUS, G.F. 1996. Symbiontische Mykorrhizapilze im Pflanzenbau. Deutscher Gartenbau 1/96: 10-13
- FISCHER, P.; SCHMITZ, H.-J.; MEINKEN, E. 1993. Verhalten von Horndünger in torfhaltigem Substrat. Gartenbau-Magazin 6/93: 45-47
- FITTER, A.H.; GARBAYE, J. 1994. Interactions between Mycorrhizal Fungi and other Soil Organisms. Plant and Soil 159: 123-132.
- FRANK, B. 1885. Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Ber Deutsch Bot Ges 3: 128-145
- FRANKEN, P.; GNADINGER, F. 1994. Analysis of parsley arbuscular endomycorrhiza: infection development and mRNA levels of defense related genes. Molecular Plant and Microbe Interaction 7: 612-620
- FRIESE, C.F.; ALLEN, M.F. 1992. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture. Mycologia 83: 409-418
- GALLI, U.; SCHÜEPP, H. 1996. Die Wurzelpilzsymbiose unserer Gräser und Kräuter. Agrarforschung 3 (3): 109-112
- GENRE, A.; BONFANTE, P. 1997. A mycorrhizal fungus changes microtubule orientation in tobacco root cells. Protoplasma 199: 30-38
- GEORGE, E.; HÄUSSLER, K.-U.; VETTERLEIN, D.; MARSCHNER, H. 1992. Water and nutrient translocation by hyphae of *Glomus mosseae*. Canadian Journal of Botany 70: 2130-2137
- GEORGE, E.; MARSCHNER, H.; JAKOBSEN, I. 1995. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Uptake of Phosphorus and Nitrogen from Soil. Critical Reviews in Biotechnology 15 (3/4): 257-270
- GIANINAZZI-PERASON, V.; GIANINAZZI, S. 1986. The physiology of improved phosphate nutrition in mycorrhizal plants, In: GIANINAZZI-PERASON, V.; GIANINAZZI, S. (eds) Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, INRA, Paris, pp 101-109

## Literatur

- GIANINAZZI, S.; TROUVOLET, A.; GIANINAZZI-PEARSON, V. 1990. Role and use of mycorrhizas in horticultural crop production. 27 August – 1 September, XXIII Horticultural Congress, Florence. pp. 25-30
- GIANINAZZI, S. 1991. Vesicular-arbuscular (endo-) mycorrhizas: cellular, biochemical and genetic aspects. *Agricult., Ecosys. Environm.* 35: 105-119
- GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. 1983. The Physiology of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Roots. *Plant and Soil* 71: 197-209
- GRAHAM, J. H.; EISSENSTAT, D. M., 1994. Host Genotype and the Formation and Function of VA Mycorrhizae. *Plant and Soil* 159: 179-185
- HALL, I.R. 1984. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. (eds.) *VA Mycorrhiza*. CRC Press, Boca Raton, pp. 57-94
- HARDIE, K. 1986. The Role of Extraradical Hyphae in Water Uptake by Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Plants. In: *Mycorrhizae: Physiology and Genetics – Les Mycorrhizes: Physiologie et Génétique*. 1<sup>st</sup> ESM / 1<sup>er</sup> SEM, Dijon, 1-5 July 1985. – INRA, Paris. p. 651 – 655
- HARRISON, M.J.; DIXON, R.A. 1994. Spatial patterns of expression of flavonoid/isoflavonoid pathway genes during interaction between roots of *Medicago truncatula* and the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Plant Journal* 6: 9-20
- HODGE, A.; CAMPBELL, C.D.; FITTER, A.H. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic materials. *Nature* 413: 297-299
- JAKOBSON, I.; ROSENDAHL, L. 1990. Carbon flow into soil an external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist* 115: 77-83s
- JAKOBSON, I.; ABBOT, L.K.; ROBSON, A.D. 1992a. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist* 120: 371-380
- JAKOBSON, I.; ABBOT, L.K.; ROBSON, A.D. 1992b. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 2. Hyphal transport of <sup>32</sup>P over defined distances. *New Phytologist* 120: 509-516
- JAKOBSEN, I. 1995. Transport of phosphorus and carbon in VA mycorrhizas. In: VARMA, A.; HOCK, B. (eds.) *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, pp. 297-324
- JEFFRIES, P.; BAREA, J. M. 1994. Biogeochemical Cycling and Arbuscular Mycorrhizas in the Sustainability of Plant – Soil Systems. in: GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. (eds.)



## Literatur

Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin

- JOHANSEN, A.; FINLAY, R.D.; OLSSON, P.A. 1996 Nitrogen Metabolism of External Hyphae of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus intraradices*. *New Phytologist* 133: 705-712
- JOHANSEN, A.; JAKOBSEN, I.; JENSEN, E.S. 1992. Hyphal Transport of <sup>15</sup>N-labelled Nitrogen by a Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Its Effects on Depletion of Inorganic Soil N. *New Phytologist* 122: 281-288
- JOHANSEN, A.; JAKOBSEN, I.; JENSEN, E.S. 1993. External Hyphae of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated With *Trifolium subterraneum* L. *New Phytologist* 124: 61-68
- JOHANSEN, A.; JAKOBSEN, I.; JENSEN, E.S. 1994. Hyphal N Transport by a Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus Associated with Cucumber Grown at Three Nitrogen Levels. *Plant and Soil* 160: 1-9
- KÖHLER, W.; SCHACHTEL, G.; VOLESKE, P. 1995. Biostatistik, Einführung in die Biometrie für Biologen und Agrarwissenschaftler. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- KORMANIK, P.P.; MCGRAW, A.C. 1984. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: SCHENCK, N.C. (ed.) *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, pp. 37-45
- KORMANIK, P.P.; MCGRAW, A.C. 1984. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: SCHENCK, N.C. (ed.) *Methods and principles of mycorrhizal research*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, pp. 37-45
- KULLMANN, F.; SCHNITZLER, W.H. 1999. Anzucht von Gemüsejungpflanzen in mykorrhizierten Substraten / Production of Vegetable Transplants in Mycorrhized Substrates. In: *Arbuskuläre Mykorrhiza in der Pflanzenproduktion: Praxisbeispiele und Perspektiven / Arbuscular Mycorrhiza in Plant Production: Examples and Perspectives for Practical Application*. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Heft 363, 39-44
- LELLEY, J.I. 1997. Einsatz von Mykorrhizapilzen. Ein ökologischer und ökonomischer Vorteil für den Gartenbau. *Gemüse* 2: 134-136
- LI, X.-L.; GEORGE, E.; MARSCHNER, H. 1991a. Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. *Plant Soil* 136: 41-48

## Literatur

- LI, X.-L.; GEORGE, E.; MARSCHNER, H. 1991b. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA-mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytologist* 136: 41-48
- LIM, D., 1998. *Microbiology*. McGraw-Hill, Boston, Burr Ridge, Dubuque, Madison, New York, San Francisco, St. Louis. 2. Auflage
- MÄDER, P. 1996. Stickstoffversorgung durch Mykorrhizapilze. *Ökologie & Landbau* 97: 36
- MÄDER, P. 1999. Mykorrhizen fördern die Stickstoffgehalte der Pflanzen. *Ökologie & Landbau* 111: 40-42
- MAKAS, M., F. KULLMANN, J. BÖHM, G. WEGENER, W.H. SCHNITZLER, B. HOCK. 2001. Holz und Holzfasern als Mischkomponente zu Grüngutkomposten. AZ 08205. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
- MARSCHNER, H. 1993. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Ltd. London
- MARSCHNER, H.; DELL, B. 1994. Nutrient Uptake in Mycorrhizal Symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102
- MCALLISTER, C.B.; GARCÍA-ROMERA, I.; GODEAS, A.; OCAMPO, J.A. 1994. Interactions between *Trichoderma koningii*, *Fusarium solani* and *Glomus mosseae*: Effects on Plant Growth, Arbuscular Mycorrhizas and the Saprophytic Inoculants. *Soil Biology and Biochemistry* 26 (10): 1363-1397
- MILLER, R.L.; JACKSON, L.E. 1998. Survey of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae in Lettuce Production in Relation to Management and Soil Factors. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 130: 173-182
- MONZON, A.; AZCÓN, R. 1996. Relevance of Mycorrhizal Fungal Origin and Host Plant Genotype to Inducing Growth and Nutrient Uptake in *Medicago* Species. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60: 9-15
- MORTON, J.B.; BENNY, G.L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471-491
- NATURLAND 1999. Richtlinien für den naturgemäßen Gartenbau (incl. Pilzanbau, Zierpflanzenbau und Obstbau), Stand Mai 1999. Naturland Verband für naturgemäßen Landbau e.V. Gräfelfing
- PAU-JU, L. ; KOSKE, R.E. 1994. *Gigaspora gigantea*: Parasitism of Spores by Fungi and *Actinomycetes*. *Mycol. Res.* 98 (4): 458-466

## Literatur

- PETERSON, R.L.; BRADBURY, S.M. 1995. Use of plant mutants, intraspecific variants, and non-hosts in studying mycorrhiza formation and function. In: VARMA, A.; HOCK, B. (eds.) Mycorrhiza. Springer, Berlin, pp. 157-180
- PETERSON, R.L.; FARQUHAR, M.L. 1994. Mycorrhizas - integrated development between roots and fungi. *Mycologia* 86: 311-326
- PIROZYNSKI, K.A.; MALLOCH, D.W. 1975. The origin of land plants: a matter of mycotrophism. *Biosystems* 6: 153-164
- PLASSARD, C.; MARTIN, F.; MOUSAIN, D.; SALSAC, L. 1986. Physiology of Nitrogen Assimilation by Mycorrhiza. In: *Mycorrhizae: Physiology and Genetics – Les Mycorhizes: Physiologie et Génétique*. 1<sup>st</sup> ESM / 1<sup>er</sup> SEM, Dijon, 1-5 July 1985. – INRA, Paris. p. 111 – 120
- REMY, W.; TAYLOR, T.N.; HASS, H.; KERP, H. 1994. Four hundred-million-year old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 91: 11841-11843
- RICHTER, G. 1996. *Biochemie der Pflanzen*. Thieme, Stuttgart, New York
- ROSENDAHL, S.; DODD, J.C.; WALKER, C. 1994. Taxonomy and phylogeny of the Glomales. In: GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. (eds.) *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*. Birkhäuser, Basel, pp. 1-12
- ROSS, J.P. ; RUTTENCUTTER, R. 1977. Population Dynamics of Two Vesicular-Arbuscular Endomycorrhizal Fungi and the Role of Hyperparasitic Fungi. *Phytopathology* 67: 490-496
- RUIZ-LOZANO, J. M.; AZCÓN, R. 1996. Mycorrhizal Colonization and Drought Stress as Factors Affecting Nitrate Reductase Activity in Lettuce Plants. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60: 175-181
- Ruiz-Lozano, J.M.; Azcón, R., 1995. Hyphal Contribution to Water Uptake in Mycorrhizal Plants as Affected by the Fungal Species and Water Status. *Physiologia Plantarum* 95: 472-478
- RUIZ-LOZANO, J.M.; AZCÓN, R.; GÓMEZ, M. 1995b. Effects of Arbuscular-Mycorrhizal *Glomus* Species on Drought Tolerance: Physiological and Nutritional Plant Responses. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 456-460
- RUIZ-LOZANO, J.M.; GÓMEZ, M.; AZCÓN, R. 1995a. Influence of Different *Glomus* species on the Time-Course of Physiological Plant Responses of Lettuce to Progressive Drought Stress Periods. *Plant Science* 110: 37-44

## Literatur

- SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; HONRUBIA, M. 1994. Water Relations and Alleviation of Drought Stress in Mycorrhizal Plants. in: GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. (eds.) Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. 1994. Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart
- SCHENCK, N.C.; PEREZ, Y. 1990 Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. Synergistic Publications, Gainesville
- SCHMITZ, H.-J.; FISCHER, P.; JAKSCH, T., FRENZ, F.-W.; 1997. Wie Gewürzkräuter düngen? Deutscher Gartenbau 51(48), Spezial Kulturtechnik: 15-17
- SCHNITZLER, W.H.; MICHALSKY, F. 1996. Anbau in Substratkultur mit Mykorrhiza. ZVG Gartenbaureport 22(3): 20, 29
- SCHNITZLER, W.H. 1997. Growth of Tomatoes in Substrates with and without Mycorrhiza. In: 50<sup>th</sup> Anniversary of Horticultural University Studies and 85<sup>th</sup> Anniversary of Mendelum Foundation in Lednice na Morave, 9.-12.09.1997. Band 2: 234-238
- SIMON, L; BOUSQUET, J.; LEVESQUE, R.C.; LALONDE, M. 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. Nature 363: 67-69
- SMITH, F.A.; SMITH, S.E.; ST. JOHN, B.J.; NICHOLAS, D.J.D. 1986. Inflow of N and P into Roots of Mycorrhizal and Non-Mycorrhizal Onions. In: Mycorrhizae: Physiology and Genetics – Les Mycorrhizes: Physiologie et Génétique. 1<sup>st</sup> ESM / 1<sup>er</sup> SEM, Dijon, 1-5 July 1985. – INRA, Paris. p. 371-375
- SMITH, S.; READ, D. J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, San Diego, London, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto
- SMITH, S.E. 1995. Discoveries, discussions and directions in mycorrhizal research. In: Varma, A.; Hock, B. (eds.) Mycorrhiza. Springer, Berlin, pp. 3-24
- SMITH, S.E.; GIANINAZZI-PEARSON, V. 1988 Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 39: 221-244
- SMITH, S.E.; READ, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, San Diego
- STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHENCK, H.; SCHIMPER, A.F.W. 1991. Lehrbuch der Botanik. Fischer, Stuttgart, Jena, New York
- TAWARAYA-KEITARO; HASHIMOTO-KAZUKO; WAGATSUMA-TADAO. 1998. Effect of root exudate fractions from P-deficient and P-sufficient onion plants on root colonisation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. Mycorrhiza 8(2): 67-70

## Literatur

- TOBAR, R.; AZCÓN, R.; BAREA, J.M. 1994. Improved Nitrogen Uptake and Transport from <sup>15</sup>N-labelled Nitrate by External Hyphae of Arbuscular Mycorrhiza under Water-Stressed Conditions. *New Phytologist* 126: 119-126
- WALKER, C. 1992. Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales) - a possible way forward. *Agronomie* 12: 877-897
- WEBER, H. (Hrsg.) 1997. Wörterbuch der Mikrobiologie. G. Fischer, Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm
- WEISSENHORN, I.; FELDMANN, F. 1999. Perspektiven der Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza im niederländischen Gartenbau unter Glas. in: BACKHAUS, G.F.; FELDMANN, F. 1999. Arbuskuläre Mykorrhiza in der Pflanzenproduktion: Praxisbeispiele und Perspektiven. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Berlin-Dahlem). Parey, Berlin
- WWW.NATURKOST.DE. 2000. Pressemitteilung vom 21.12.2000.  
<http://www.naturkost.de/2000/001221e1.htm>
- Wyss, P.; Boller, T.; Wienken, A. 1992. Testing the effect of biological control agents on the formation of vesicular arbuscular mycorrhizae. *Plant and Soil* 147(1): 159-162
- ZMP-Marktbilanz Gemüse 1994. Deutschland - EU - Weltmarkt. 1994. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (Hrsg.). S. 29-35. Bonn
- ZMP-Marktbilanz Gemüse 1997. Deutschland - EU - Weltmarkt. 1997. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (Hrsg.). S. 54-60. Bonn
- ZMP-Marktbilanz Gemüse 2001. Deutschland - EU - Weltmarkt. 2001. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH (Hrsg.). S. 52-60. Bonn

# Lebenslauf

## Lebenslauf

Folko Kullmann  
Hasenbergsteige 92 B  
70197 Stuttgart  
geboren am 05.01.1972 in Stuttgart

## Ausbildung und beruflicher Werdegang

<b>1978-1982</b>	Spitalschule (Leonberg)
<b>1982-1991</b>	Albert-Schweitzer-Gymnasium (Leonberg)
<b>1991-1992</b>	Zivildienst beim Deutschen Roten Kreuz Rettungshelfer im Rettungsdienst und Krankentransport
<b>1992-1998</b>	Technische Universität München Studium der Gartenbauwissenschaften
1995	Diplomvorprüfung Praktikum (6 Monate) bei Fa. Joh. Bruns Deutsche Exportbaumschulen, Oldenburg
1996	Praktikum (3 Monate) im Botanischen Garten Kew, London, UK
1998	Diplomhauptprüfung
<b>1998-2002</b>	Technische Universität München, Lehrstuhl für Gemüsebau wissenschaftlicher Mitarbeiter
1998-2000	Betreuung des Forschungsprojektes „Holz und Holzfasern als Mischkomponente zu Grüngutkomposten“
2000-2002	Anfertigung der Dissertation
<b>seit 01.08.2002</b>	Franck-Kosmos Verlags-Gesellschaft mbH, Stuttgart Redaktion Garten