

# **Einfluss von Komposten auf Stickstoffdynamik und -haushalt, Wachstum und Ertrag von Spargel (*Asparagus officinalis* L.)**

---

Vom Fachbereich Gartenbau  
der Universität Hannover  
zur Erlangung des akademischen Grades einer  
Doktorin der Gartenbauwissenschaften  
– Dr. rer. hort. –  
genehmigte Dissertation

von  
Dipl.-Ing. agr. Petra Bloom  
geboren am 20.01.1965 in Lingen (Ems)

2003

Referent

Prof. Dr. Hartmut Stützel

Korreferent

Prof. Dr. Peter-Jürgen Paschold

Tag der Promotion

06. November 2003

## KURZFASSUNG

Petra Bloom: Einfluss von Komposten auf Stickstoffdynamik und -haushalt, Wachstum und Ertrag von Spargel (*Asparagus officinalis* L.)

Schlagworte: Kompost, organische Düngung, Spargel

Der Anbau von Bleichspargel (*Asparagus officinalis* L.) erfolgt in Deutschland aus kulturtechnischen Gründen vornehmlich auf sorptionsschwachen Sandstandorten. Zur Erhaltung und Verbesserung des Humusstatus der Böden werden zur Neupflanzung von Spargelkulturen bis zu 1000 dt/ha an organischen Düngern ausgebracht. Hierbei handelt es sich, neben traditionell eingesetzten Wirtschaftsdüngern wie Pferdemist, vermehrt um Sekundärrohstoffdünger wie Komposte aus der getrennten Erfassung und Behandlung von kommunalen Bio- und Grüngutabfällen. Die Verwendung von Komposten ist zwar gesetzlich reglementiert, die spezifische Wirkung auf Spargelkulturen wurde jedoch bislang nicht untersucht. Ziel dieser Arbeit war daher, auf der Basis von empirischen Untersuchungen zu N-Dynamik und -Haushalt, Wachstum und Ertrag von Spargel praxisnahe Anwendungsempfehlung für den Komposteinsatz im Spargelanbau zu erarbeiten.

Dazu wurden in den Jahren 1997 bis 2000 in einem Feldversuch und 2000 in einem Gefäßversuch die Wirkungen verschiedener organischer Dünger (Pferdemist, Bioabfall- und Grüngutkompost, abgetragenes Champignonkultursubstrat, Frisch- und Fertigungskompost) auf Wachstum, Ertrag und N-Haushalt von Spargelpflanzen im ersten bis dritten Standjahr untersucht. Parallel dazu wurden in Inkubationsversuchen in situ und unter kontrollierten Bedingungen in Klimakammern die Netto-Mineralisation in den Gemischen aus organischem Dünger und Boden analysiert.

Der Feldversuch erfolgte unter Praxisbedingungen mit der betriebsüblichen jährlichen Grunddüngung. In den Pferdemist-Varianten wurden aufgrund der höchsten Netto-Mineralisation jeweils die größten Pflanzenmassen und Erträge ermittelt. Die Mineralisation aus den Komposten verlief insgesamt langsamer und kontinuierlicher, was auf deren strukturelle Zusammensetzung und Abbaubarkeit zurückgeführt wurde.

In den Frisch- und Grüngutkompost-Varianten kam es im Anwendungsjahr aufgrund der N-Immobilisierung zunächst zu geringeren Aufwüchsen. Im Feldversuch hatte das im zweiten Standjahr in den Grüngutkompost-Varianten geringere Erträge im Vergleich zu den anderen organischen Düngern zur Folge, was allerdings für den Gesamtertrag der Dauerkultur von geringer Bedeutung ist.

Die Untersuchungen zum N-Haushalt ergaben aufgrund der Netto-Mineralisation in den Pferdemist-Varianten jeweils die größten N-Überschüsse. Ob es sich hierbei um Auswaschungsverluste handelte, konnte nicht abschließend geklärt werden. Grundsätzlich sind bei der Beurteilung des N-Haushaltes von organisch gedüngten Spargelfeldern bewirtschaftungsspezifische Maßnahmen wie Bodenbearbeitung und mineralische Ergänzungsdüngung zu berücksichtigen, da durch eine Variation dieser Faktoren die Mineralisation gesteuert und somit N-Überschüsse vermieden werden können.

Im Rahmen der hier vorgestellten Versuchsfragen werden Komposte als geeignete organische Dünger für den Spargelanbau beurteilt. Vorauszusetzen ist dabei die termin- und bedarfsgerechte N-Ergänzungsdüngung nach der Ernte, bzw. zum Austrieb bei Junganlagen. Neben den pflanzenbaulichen Aspekten spielen aber auch Kompostqualität und -image eine bedeutende Rolle für deren Anwendung im Spargelanbau.

## ABSTRACT

Petra Bloom: Influence of Compost on Nitrogen Dynamics and Balance, Growth and Yield of *Asparagus officinalis* L.

Keywords: compost, organic fertilization, white asparagus

For technical cultivation reasons, white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) in northern Germany is particularly grown on poorly absorptive weak sandy soils. To conserve and increase the content of organic matter in soil, high amounts of organic fertilizers, up to 100 tons/ha, are applied to newly established asparagus fields. Besides the traditionally used farm manures, these include secondary raw material fertilizers, such as composts from the separate collection and treatment of organic wastes. Although the use of composts is regulated by a federal ordinance, their specific effects on asparagus production have not been investigated yet. Thus the object of this study was to develop a practice-related recommendation, based on empirical research on the use of composts in N-dynamics, N-balance, growth and yield of asparagus.

For this purpose the effects of different organic fertilizers (horse manure, bio waste compost, green waste compost, spent mushroom compost, non-mature and mature compost) on growth, yield and nitrogen balance of white asparagus from the first to the third year of cultivation were investigated in field and pot experiments conducted in 1997 to 2000. Parallel to this, nitrogen mineralization rates from a mixture of soil and organic fertilizers were analysed by incubation experiments under field and laboratory conditions.

The field experiment was amended with the standard annual mineral basal fertilizer application (P, K, Mg) used under local farming conditions. The highest total plant biomass and spear yield in each case were obtained in the horse manure treatments, as attributed to the highest rate of mineralization in horse manure treatments. In the compost treatments, mineralization occurred more slowly and continuously, due to their structural composition and lower extent of decomposition in soils.

Because of the nitrogen immobilization in non-mature and green waste compost treatments, less fern production was observed in the first year of asparagus growth. In the field experiments, this led to slightly less spear yield in the second year of culti-

vation, compared with the other organic fertilizers, but the effect was insignificant for the yield survival over the long term culture.

The investigation of nitrogen balance also showed the highest N surplus in horse manure treatments, due to higher net mineralization rate. Whether this surplus means a nitrogen loss, could not be clarified definitively. For the assessment of nitrogen balances in asparagus fields which are amended with organic fertilizers, other operations such as soil management and mineral fertilizers must be considered. Through optimal variation of these factors, mineralization can be controlled to avoid nitrogen losses.

The present work indicates that composts are appropriate organic fertilizers in asparagus production. To ensure optimal crop growth, supplemental N fertilization, adjusted for soil-N is needed at the end of the harvest period, or with beginning fern development in the first year. Besides the cropping aspects of composts, requirements to organic waste quality must be considered in asparagus production.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG .....	1
1.1	Humus- und Nährstoffversorgung im Spargelanbau .....	1
1.2	Lösungsansätze zur umweltschonenden Anwendung organischer Dünger im Spargelbau.....	10
1.3	Zielsetzung der Forschungsprojekte .....	13
2	MATERIAL UND METHODEN .....	16
2.1	Versuchsaufbau und Durchführung.....	16
2.1.1	Feldversuch.....	16
2.1.2	Gefäßversuch.....	20
2.1.3	Inkubationsversuche .....	22
2.2	Organische Dünger .....	27
2.2.1	Ausgangsstoffe und Definitionen.....	27
2.2.2	Chemische und physikalische Eigenschaften .....	27
2.2.3	Nährstofflieferungen.....	31
2.3	Datenerfassung.....	32
2.3.1	Standortparameter .....	32
2.3.2	N <sub>min</sub> -Untersuchungen .....	34
2.3.3	Berechnung der Stickstoff-Mineralisation.....	35
2.3.4	Pflanzenparameter.....	36
2.4	Analytik.....	37
2.5	Statistische Auswertung.....	39
3	N-MINERALISATION AUS ORGANISCHEN DÜNGERN FÜR DEN SPARGELANBAU .....	40
3.1	Einführung.....	40
3.2	Material und Methoden .....	43
3.2.1	Inkubationsversuche .....	44
3.2.2	Berechnung und Darstellung der Stickstoffmineralisation .....	46
3.3	Ergebnisse .....	49
3.3.1	Eigenschaften der Ausgangssubstrate und der organischen Dünger ...	49
3.3.2	Mineralisationsverläufe im Feldversuch .....	50
3.3.3	Mineralisationsverläufe im Gefäß- und Klimakammerversuch .....	56

3.3.4	Netto-Mineralisation in Bezug zum C/N-Verhältnis im Boden .....	62
3.4	Diskussion.....	63
3.4.1	Feldversuch.....	63
3.4.2	Gefäß- und Klimakammerversuch.....	68
3.4.3	Abschließende Betrachtung .....	70
4	EINFLUSS ORGANISCHER DÜNGER AUF WACHSTUM UND ERTRAG VON SPARGEL.....	72
4.1	Einführung.....	72
4.2	Material und Methoden .....	79
4.2.1	Versuchsaufbau und Durchführung.....	79
4.2.2	Nährstofffrachten der organischen Dünger .....	80
4.2.3	Versuchsauswertung.....	81
4.3	Ergebnisse .....	84
4.3.1	Gefäßversuch.....	84
4.3.2	Feldversuch im ersten Standjahr.....	90
4.3.3	Feldversuch im zweiten Standjahr .....	91
4.4	Diskussion.....	95
4.4.1	Gefäßversuch.....	96
4.4.2	Feldversuch.....	101
4.4.3	Abschließende Betrachtung .....	105
5	EINFLUSS ORGANISCHER DÜNGER AUF DEN N-HAUSHALT VON SPARGEL.....	106
5.1	Einführung.....	106
5.2	Material und Methoden .....	112
5.2.1	Versuchsaufbau und -durchführung .....	112
5.2.2	Versuchsauswertung.....	113
5.2.3	Berechnung der N-Bilanz .....	115
5.3	Ergebnisse .....	116
5.3.1	N <sub>min</sub> -Gehalte in der durchwurzelten Bodenschicht .....	116
5.3.2	N-Akkumulation in den Pflanzen .....	117
5.3.3	N-Bilanz .....	119
5.4	Diskussion.....	120
5.4.1	Erstes Standjahr 1997.....	120

---

5.4.2	Zweites Standjahr 1998 .....	123
5.4.3	Drittes Standjahr 1999 .....	126
5.4.4	Abschließende Betrachtung .....	126
6	PRAKTISCHE HINWEISE ZUM KOMPOSTEINSATZ IM SPARGELANBAU ..	129
6.1	Rechtliche Rahmenbedingungen und Qualitätssicherung.....	129
6.2	Kompostqualität und -image.....	130
6.3	Aufwandmengen .....	134
6.4	Nährstoff- und Humusfrachten .....	135
7	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND ABSCHUSSBETRACHTUNG.....	138
8	LITERATUR.....	141
9	ANHANG .....	158

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AAS	Atom-Adsorptions-Spektralphotometer
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
BAK	Bioabfallkompost
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutzverordnung
BGK	Bundesgütegemeinschaft Kompost eV.
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
C/N	Verhältnis aus Gesamt-Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoffgehalt
ChamKo	gebrauchtes Champignonkultursubstrat „Champost“
C <sub>org</sub>	Organisch gebundene C-Fraktion im Boden
C <sub>t</sub>	Gehalt an Gesamtkohlenstoff im Boden, der sich aus dem Carbonat-Kohlenstoff und dem organisch gebundenen Kohlenstoff zusammensetzt. Kann in erster Annäherung zur Charakterisierung des Humusgehaltes herangezogen werden: Humus enthält ca. 58 % C <sub>org</sub> .
d <sub>B</sub>	Lagerungsdichte des Bodens in g/cm <sup>3</sup>
dt	Dezitonne = 100 kg
DüngeVO	Düngeverordnung
FerKo	Fertigkompost
FG	Frischgewicht
FM	Frischmasse
FriKo	Frischkompost
FV	Feldversuch
Gew.- %	Gewichtsprozente
GK	Grüngutkompost
GV	Gefäßversuch
InkuFV	Inkubationsversuch in situ im Feld („Runge-Proben“)
InkuKlika	Inkubationsversuch in der Klimakammer
Klika	Klimakammer
n.b.	nicht bestimmt
N <sub>ges</sub>	Gesamtstickstoffgehalt in Düngern, Summe aus organisch gebundenem und mineralischem Stickstoff
N <sub>min</sub>	Mineralischer Stickstoff, Summe aus Ammonium- und Nitrat-N
N <sub>org</sub>	organisch gebundener Stickstoff im Boden
N <sub>t</sub>	Gesamtstickstoffgehalt im Boden, Summe aus organisch gebundenem und Mineralstickstoff
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxin / Dibenzofuran
PE	Polyethylen

---

PferMi	Pferdemist in den Versuchen des Jahres 2000
PflSchG	Pflanzenschutzgesetz
PM	Pferdemist in den Versuchen der Jahre 1997 bis 1999, bzw. der Fortführung des Feldversuches im Jahr 2000 (FV 2000alt)
PP	Polypropylen
QLA	Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung
SchALVo	Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung des Landes Baden-Württemberg
TDR	Time-Domain-Reflektometrie
TE	TCDD-Toxizitätsäquivalente laut AbfKlärV (Anonym, 1992)
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
Vol.- %	Volumenprozent
Vol. gew.	Volumengewicht
WG <sub>grav</sub>	Gravimetrischer Wassergehalt
WG <sub>vol</sub>	Volumetrischer Wassergehalt
WK	Wasserkapazität im Gefäßversuch

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1.1:	Humusreproduktionskoeffizienten verschiedener organischer Dünger.....	5
Tab. 1.2:	Nährstoffgehalte (% in TS) und Nährstofffrachten (kg/ha) bei einer Aufwandmenge von 500 dt/ha Frischmasse von verschiedenen Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern .....	6
Tab. 2.1:	Faktoren und Stufen im Feldversuch (FV 97-99).....	17
Tab. 2.2:	Faktoren und Stufen im Feldversuch 2000 (FV 2000neu) .....	19
Tab. 2.3:	Faktoren und Stufen im Gefäßversuch (GV 2000).....	20
Tab. 2.4:	Faktoren und Stufen im Klimakammerversuch (Klika 2000).....	25
Tab. 2.5:	Chemische und physikalische Eigenschaften der organischen Dünger....	28
Tab. 2.6:	Aufwandmengen und Nährstofffrachten (kg/ha) der organischen Dünger	31
Tab. 2.7:	Nährstoffgehalte im Feldversuch und Zuordnung zu Bodengehaltsklassen*; Mittelwerte über alle Parzellen .....	32
Tab. 2.8:	Nährstoffgehalte in den Substraten im Gefäßversuch zum Versuchsbeginn am 29. März 2000 und Zuordnung zu Bodengehaltsklassen* .....	33
Tab. 2.9:	Begriffe und Definitionen zur Charakterisierung der N-Freisetzung.....	35
Tab. 2.10:	Termine, Mess- und Probengrößen der Pflanzenuntersuchungen im Feldversuch und Gefäßversuch.....	36
Tab. 3.1:	Übersicht über die Inkubationsversuche.....	43
Tab. 3.2:	Mineralisationszeiträume, Dauer, Temperatursummen (°C) und N <sub>t</sub> -Gehalte (kg/ha) in den Inkubationsversuchen im Feldversuch sowie im Gefäß- und Klimakammerversuch .....	48
Tab. 3.3:	Gehalte an C <sub>t</sub> und N <sub>t</sub> (% in TS) und C/N-Verhältnis im Boden im Feldversuch sowie im Kontrollsubstrat von Gefäß- und Klimakammerversuch .....	49
Tab. 3.4:	Organische Dünger, Aufwandmengen, C- und N-Frachten in Feldversuch, Klimakammer- und Gefäßversuch .....	50
Tab. 3.5:	Relative Netto-Mineralisation (% N <sub>t</sub> ) in den Bebrütungszeiträumen der Inkubationsversuche in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu) und Klimakammer (InkuKlika 98-99). Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05) .....	54
Tab. 3.6:	Steigungsmaß a und Bestimmtheitsmaß r <sup>2</sup> der linearen Regression von relativer Netto-Mineralisation (% N <sub>t</sub> ) und Temperatursummen (Tage * °C) im Feldversuch (alle Datensätze InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu und InkuKlika 98-99).....	56
Tab. 3.7:	Ratenkonstante k und Kapazitätsparameter N <sub>A</sub> und deren 95 %-ige asymptotische Konfidenzintervalle bei der nicht-linearen Modellierung von Temperatursummen (Tage * °C) und relativer Netto-Mineralisation (% N <sub>t</sub> ) im Gefäß- und Klimakammerversuch (Aufwandmenge 4000 kg/ha C) .....	61
Tab. 4.1	Übersicht über verschiedene Düngeempfehlungen (kg/ha) für Spargelanlagen.....	75

Tab. 4.2	Übersicht über die Versuche zur Erfassung von Pflanzenparametern.....	79
Tab. 4.3:	Nährstofffrachten (kg/ha) der organischen Dünger im Feldversuch und im Gefäßversuch .....	80
Tab. 4.4:	Betriebsübliches Sortierschema für Spargelstangen .....	83
Tab. 4.5:	Triebblängen, Triebzahlen und Pflanzenmassen im oberirdischen Aufwuchs im Gefäßversuch am Endauswertungstermin; Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	85
Tab. 4.6:	Kronenmassen im Gefäßversuch am Endauswertungstermin, Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	86
Tab. 4.7:	Nährstoffgehalte in der Pflanzenmasse (% in TS) im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	88
Tab. 4.8:	Nährstoff- und Humusgehalte im Boden im Gefäßversuch am Endauswertungstermin; Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	89
Tab. 4.9:	Triebblängen, Triebzahlen und Pflanzenmassen im oberirdischen Aufwuchs im Feldversuch am 15. September 1997; Mittelwerte über organische Düngung, Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	90
Tab. 4.10:	Erntemengen (Rohertrag in dt/ha) im Feldversuch 1998 und 1999; Mittelwerte über organische Düngung, Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) ....	92
Tab. 4.11:	Nährstoffgehalte (% in TS) in den Kronen im Feldversuch 1998; Mittelwerte über organische Düngung, Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) ....	94
Tab. 5.1	Stickstoffbilanz (kg/ha N) im Feldversuch 1998 in den Parzellen der Aufwandmenge 600 dt/ha; Mittelwerte über die Mineral-N-Stufen.....	119
Tab. 9.1:	Messreihen der Inkubationsversuche in situ („Runge-Proben“)	158
Tab. 9.2:	$N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha) im Gefäßversuch .....	159
Tab. 9.3:	Netto-Mineralisation (kg/ha) im Gefäß- und Klimakammerversuch.....	160
Tab. 9.4:	Relative Netto-Mineralisation (% $N_t$ ) und Faktoren der Temperaturerhöhung im Klimakammerversuch.....	161
Tab. 9.5:	C/N-Verhältnisse und Netto-Mineralisation in den Inkubationsversuchen; Mittelwerte über die organischen Dünger .....	162
Tab. 9.6:	Durchschnittliche tägliche Netto-Mineralisationsraten (kg/ha) im Inkubationsversuch in situ im Feldversuch 1998; die Werte gelten jeweils bis zu dem im Spaltenkopf angegebenen Termin.....	163
Tab. 9.7:	Durchschnittliche tägliche Netto-Mineralisationsraten (kg/ha) im Inkubationsversuch in situ im Feldversuch 1999; die Werte gelten jeweils bis zu dem im Spaltenkopf angegebenen Termin.....	164

Tab. 9.8: Relative Netto-Mineralisation (% $N_t$ ) aus den organischen Düngern im Klimakammerversuch; $N_{min}$ -Gehalte nach Abzug der Startwerte sowie der $N_{min}$ -Gehalte im Kontrollsubstrat zum jeweiligen Termin, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	165
Tab. 9.9: Mittelwerte des oberirdischen Aufwuchs im Feldversuch 1998, Probenahme im August und September 1998, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ ) .....	166
Tab. 9.10: Mittelwerte der Kronenmasse im Feldversuch 1998, Probenahme vom 15. bis 22. Sept. 1998, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ ) .....	166
Tab. 9.11: Mittelwerte der N-Gehalte im oberirdischen Aufwuchs im Feldversuch 1997 und 1998, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ ) .....	166
Tab. 9.12: Mittelwerte der Nährstoffgehalte im Boden im Feldversuch 1999; Probenahme am 14. Jan. 1999, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )	167
Tab. 9.13: Prozentualer Anteil der Nährstofffrachten der organischen Dünger im Feldversuch am Düngebedarf von Spargel im Ausbringungsjahr 1997*.	167
Tab. 9.14: Trockenmassen, N-Gehalte und N-Entzüge der ober- und unterirdischen Pflanzenteile im Feldversuch 1998 .....	168
Tab. 9.15: Rohertrag, N-Gehalt und N-Entzug durch das Erntegut im Feldversuch 1998 .....	169

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.1: Schematische Darstellung von Umweltproblematik und Lösungsansätzen bei der organischen Düngung im Spargelanbau.....	9
Abb. 1.2: Kompost als Element eines integrierten Spargelanbausystems .....	14
Abb. 2.1: Schematische Darstellung der Entnahme der „Runge-Proben“ .....	23
Abb. 2.2: Prozentualer Anteil der Schwermetallgehalte organischer Dünger an den Schadstoffhöchstgehalten in § 4, Abs. 3, Satz 2 BioAbfV.....	30
Abb. 3.1: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt) in den Sommerhalbjahren; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	51
Abb. 3.2: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt) in den Winterhalbjahren; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	52
Abb. 3.3: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch in situ (FV 2000neu); kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	52
Abb. 3.4: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch bei paralleler Inkubation in der Klimakammer bei 20 °C (InkuKlika 98-99). Bebrütungszeiträume vom Sommer 1998 bis zum 31.12.1999; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	53
Abb. 3.5: Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage * °C) und relativer Netto-Mineralisation (% $N_t$ ). Eingezeichnete Linien repräsentieren von oben nach unten die Regressionsgeraden von PM, PferMi, FriKo, FerKo, BAK und GK; Datensätze: InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu und InkuKlika 98-99).....	55
Abb. 3.6: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Gefäßversuch; Mittelwerte aus den Bewässerungsstufen 45 und 60 % Wasserkapazität, kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	57
Abb. 3.7: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Klimakammerversuch (Aufwandstufe 4000 kg/ha C). Oben Bebrütungstemperatur 10 °C, unten 20 °C; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....	58
Abb. 3.8: Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage * °C) und relativer Netto-Mineralisation (% $N_t$ ) im Klimakammerversuch (Aufwandstufe 4000 kg/ha C). Eingezeichnete Linien repräsentieren die Regressionsgerade	59
Abb. 3.9: Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage * °C) und relativer Netto-Mineralisation (% $N_t$ ) im Gefäß- und Klimakammerversuch	

(Aufwandstufe 4000 kg/ha C). Eingezeichnete Linien repräsentieren die nicht-linearen Regressionen .....	61
Abb. 3.10: Zusammenhang zwischen C/N-Verhältnis im Boden und relativer Netto-Mineralisation (% N <sub>t</sub> ). Die eingezeichnete Linie repräsentiert die Regressionsgerade. Datensätze: InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu (Sommerhalbjahre), InkuKlika 98-99, GV 2000 und Klika 2000 (4000 kg/ha C, 20 °C) .....	62
Abb. 4.1: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Assimilatproduktion, -speicherung und Ertrag bei Spargel .....	74
Abb. 4.2: Kumulierte Triebblängen (Summe aller Triebe) und Triebanzahl pro Pflanze im Gefäßversuch; Mittelwerte über Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05) .....	84
Abb. 4.3: Trockengewichte der Pflanzenorgane im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05) .....	86
Abb. 4.4: Stickstoffgehalte in den Pflanzen (g N/Pfl.) im Gefäßversuch (Mittelwerte über Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05) .....	88
Abb. 4.5: Trockengewichte der Pflanzenorgane im Feldversuch 1998; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Unterschiede nicht signifikant (p<0,05) .....	91
Abb. 4.6: Prozentualer Anteil der Handelsklassen am Ertrag im Feldversuch 1998 und 1999; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Unterschiede nicht signifikant (p<0,05).....	93
Abb. 5.1: Modell zur N-Dynamik im Boden (verändert nach Jansson, 1971 in Schachtschabel <i>et al.</i> , 1998) .....	106
Abb. 5.2: Verlauf der N <sub>min</sub> -Gehalte (kg/ha in 0-90 cm Tiefe) im Feldversuch 1997-1999; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05), Pfeile kennzeichnen die Termine der mineralischen N-Düngung .....	116
Abb. 5.3: N-Akkumulation durch Pflanzenwachstum im August/September und N-Entzug durch das Erntegut im Mai (jeweils in kg/ha) im Feldversuch 1998; Mittelwerte über Aufwandmenge und Mineral-N-Stufe, Fehlerbalken kennzeichnen Standardabweichungen .....	118
Abb. 7.1: Schematische Darstellung von Chancen und Risiken der Anwendung von Komposten als organische Dünger im Spargelanbau.....	140
Abb. 9.1: Kumulierte Triebblängen (Summe aller Triebe) und Triebanzahl im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05) .....	170
Abb. 9.2: Trockengewichte der Pflanzenorgane im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Unterschiede nicht signifikant (p<0,05).....	170
Abb. 9.3: Kumulierter Wasserverbrauch in den bepflanzten Gefäßen im Gefäßversuch vom 18. Mai bis 09. Oktober 2000; Mittelwerte über Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05) .....	171

- Abb. 9.4: N-Gehalte (g N/Pfl.) in den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) .....171
- Abb. 9.5: Stickstoffgehalte in den Pflanzen (g N/Pfl.) im Feldversuch; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ ) .....172
- Abb. 9.6: Ausgewählte Pflanzenparameter im Gefäßversuch bei 45 % WK; Mittelwert aus drei Pflanzen, Fehlerbalken kennzeichnen Standardabweichungen .....172
- Abb. 9.7: Verlauf der  $N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha in 0-90 cm Tiefe) im Feldversuch 1997-1999; Mittelwerte über organische Düngung und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ), Pfeile kennzeichnen die Termine der mineralischen N-Düngung .....173
- Abb. 9.8: Verlauf der  $N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha in 0-90 cm Tiefe) im Feldversuch 1997-1999; Mittelwerte über organische Düngung und Aufwandmengen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ), Pfeile kennzeichnen die Termine der mineralischen N-Düngung .....173
- Abb. 9.9:  $N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha) im Feldversuch 1998 in den Parzellen der Aufwandmenge 600 dt/ha in den Bodenschichten 0-30, 30-60, 60-90 cm; Mittelwerte über Mineral-N-Stufen .....174
- Abb. 9.10:  $NH_4$ -N und  $NO_3$ -N Anteile (kg/ha) in 0-30 cm Tiefe an den  $N_{\min}$ -Gehalten im Feldversuch 1998, Mittelwerte über alle Faktoren .....175
- Abb. 9.11: Verlauf der  $N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha) in 0-90 cm Tiefe und kumulierte Niederschlagsmengen zwischen den Untersuchungsterminen im Feldversuch 1998; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen .....175
- Abb. 9.12: Nährstoffgehalte (mg/100g Boden), pH-Wert und organische Substanz (%) im Feldversuch im Laufe der Versuchsdauer; Mittelwert aus allen Varianten .....176

# 1 Einleitung

## 1.1 Humus- und Nährstoffversorgung im Spargelanbau

Spargel (*Asparagus officinalis* L., Liliaceae) nimmt unter den Gemüsekulturen einen Sonderstatus ein. Die Dauerkultur mit ihren spezifischen Anforderungen an die maschinelle Bodenbearbeitung und hohem Arbeitskräftebedarf wird hauptsächlich in landwirtschaftlichen Betrieben angebaut. In den vergangenen Jahren hat sich der Spargelanbau weltweit stark ausgeweitet (Benson, 1999). Dabei wird der europäische Markt für frischen Spargel hauptsächlich von der europäischen Produktion bestimmt. Vor allem in Deutschland sind in den vergangenen Jahren deutliche Produktionszuwächse verzeichnet worden, die Ertragsflächen nahmen seit 1992 um mehr als 50 % zu (Behr, 2001; Behrendt, 2002). In Niedersachsen ist Spargel die anbaustärkste Gemüseart, ca. 1/3 der gesamten Gemüsefreilandfläche wird für Spargel genutzt (Anonym, 2001a). Obwohl auch im Spargelanbau die Tendenz in Richtung Großbetriebe geht, sind Kleinbauern mit Flächengrößen unter einem Hektar weiterhin bedeutend vertreten (Anonym, 1998c).

Beim Freilandanbau von Gemüse ist eine ausreichende Humusversorgung unabdingbar für die Erzeugung hochwertiger Produkte. Schließlich werden durch die Belastung des Bodens bei intensiver Bodenbearbeitung durch häufige Pflege- und Erntearbeiten Umsetzungs- und Abbauvorgänge angeregt, die eine Reproduktion der organischen Substanz erforderlich machen. Baumann *et al.* (1991) gehen in ihren Humusbilanzen für gemüsebaulich genutzte Böden von einem mittleren jährlichen Humusersatzbedarf von etwa 40 bis 45 dt/ha TM Stallmist aus.

Obwohl zwischen der organischen Bodensubstanz und den fruchtbarkeitsbestimmenden Bodeneigenschaften eine enge Korrelation besteht (Körschens, 1999a), gibt es – im Gegensatz zu mineralischen Pflanzennährstoffen – keine Richtwerte für optimale Humusgehalte. In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen, der Bodenart und -nutzung stellt sich im Boden ein Gleichgewicht zwischen Abbau und Anlieferung von organischer Substanz ein, dessen Niveau in Deutschland zwischen 1 und 4 % liegt. Höhere Humusgehalte in Gemüse- oder Baumschulböden sind nutzungsbedingt (Bohne, 2002).

Für die Beurteilung des Humusstatus eines Bodens ist der Humusgehalt allein nicht ausreichend, wichtig ist auch die Humusform. Neben der labilen „Nährhumusfraktion“, die leicht durch Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie z. B. die Einarbeitung von Ernterückständen, beeinflussbar ist, hat besonders der schwer abbaubare „Dauerhumus“ einen positiven Einfluss auf chemische, physikalische und biologische Bodeneigenschaften, die in ihrer Gesamtheit als Bodenfruchtbarkeit bezeichnet werden. Durch die Verbesserung des Wasserhaushaltes sind Humuswirkungen besonders auf sandigen Böden zu erwarten. Der Gehalt an schwer abbaubaren Humusbestandteilen ist eng mit dem Tongehalt im Boden korreliert (Körschens *et al.*, 1998). So gilt ein Humusgehalt von 1,5 % im Sandboden als ausreichend, im Lehmboden hingegen als zu gering.

Der Anbau von Spargel erfolgt üblicherweise auf sorptionsschwachen Sandböden mit einem geringen Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen und geringen Humusgehalten. Durch die intensive Bodenbelüftung beim Auf- und Abdämmen und den langen Zeitraum ohne Bewuchs wird der Humusabbau bei Spargel stärker gefördert als in anderen Gemüsekulturen. Ziegler (2002) schätzt den jährlichen Humusersatzbedarf von Spargel mit 30 bis 50 dt/ha organischer Trockenmasse ca. 5 bis 10 dt/ha höher als bei gemüsebaulich (Baumann *et al.*, 1991) oder landwirtschaftlich (Baeumer, 1992) genutzten Böden. Der Humusabbau hat negative Auswirkungen auf die langjährigen Erträge einer Spargelanlage (Espejo *et al.*, 1997; Hartmann und Hermann, 1986).

Wird hingegen der Humusstatus durch geeignete Maßnahmen aufrechterhalten, kann nicht zuletzt aufgrund der Erhöhung der Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität und der Verbesserung der Bodenstruktur (Bachmann und Zhang, 1991; Gerzabek *et al.*, 1995; Giusquiani *et al.*, 1995; Körschens, 1999; Steffens *et al.*, 1996) das Ertragspotenzial einer Spargelanlage langfristig gesichert werden.

- Organische Substanz im Boden erhöht grundsätzlich das Speichervermögen für Nährstoffe. Darüber hinaus können die direkt pflanzenverfügbaren Nährstofffrachten organischer Dünger (Fischer und Jauch, 1991; Fricke und Vogtmann, 1990) sowie die potenzielle Nährstofffreisetzung bei Mineralisationsvorgängen einen wichtigen Beitrag zur Deckung des Nährstoffbedarfs der Spar-

gelkultur liefern. Dieses ist besonders wichtig für den ökologischen Anbau, wo auf den Einsatz von synthetischen Düngemitteln verzichtet werden muss.

- Für Spargelflächen, die nicht bewässert werden können, sind hohe Humusgehalte besonders wichtig, da Humus das 3 bis 5-fache seines Eigengewichtes an Wasser speichern kann (Schachtschabel *et al.*, 1998). Durch eine Anhebung des Humusgehaltes in Sandböden von 0,5 auf 1,5 % erhöht sich die nutzbare Feldkapazität um 0,5 Vol.- % (Finnern *et al.*, 1994).
- Aufgrund der intensiven Bodenbearbeitung und für die Erhaltung der Spargeldämme während der Ernte sind die Verbesserung von Aggregatstabilität (Giusquiani *et al.*, 1995; Steffens *et al.*, 1996) und mechanischer Festigkeit (Bachmann und Zhang, 1991; Zhang, 1991) durch organische Substanz in Spargelböden besonders wichtig.
- Durch die dunkle Farbe erwärmt sich humoser Boden im Frühjahr schneller (Kuntze, 1994). Unter günstigen Bedingungen kann die Spargelernte früher, das heißt im Zeitraum höherer Preise erfolgen.
- Die Verbesserung der Bodenstruktur durch Erhöhung des Humusgehaltes kann das Befallsrisiko durch Wurzelfäule (*Fusarium* spp.) reduzieren, das unter anderem auf mangelnde Bodendurchlüftung und Staunässe zurückzuführen ist (Biesel, 1981).

In der Literatur gibt es keine präzisen Angaben über optimale Humusgehalte auf Spargelflächen. Die Vereinigung der Spargelanbauer in Niedersachsen e. V. (Anonym, 2001b) empfiehlt Humusgehalte zwischen 1 und 5 %. Die bei Biesel (1981) angegebene unterste Grenze von 0,9 % liegt dabei noch unterhalb der Orientierungswerte von Körschens *et al.* (1998). Zur Deckung des Humusbedarfes werden insbesondere zur Neupflanzung von Spargelflächen bis zu 1000 dt/ha Frischmasse an organischen Düngern ausgebracht. Ältere Quellen empfehlen 400 bis 1000 dt/ha zur Spargelpflanzung sowie weitere 300 bis 600 dt/ha im dreijährigen Turnus (Übersicht bei Kaufmann *et al.*, 1977). Andere geeignete Maßnahmen zur Erhöhung des Humusstatus in Ertragsanlagen, wie die Einarbeitung von abgestorbenem Spargelkraut, Fahrgassenbegrünung im Herbst oder die Einbringung von Stroh in die Laufgassen in der Erntezeit, werden hier nicht weiter betrachtet.

Ergebnisse einer Umfrage in niedersächsischen Spargelbetrieben (1991) ergaben, dass in der Praxis organische Dünger im einjährigen Rhythmus in Höhe von ca. 90 dt/ha ausgebracht werden (Krug, 1998). Mehwald (1991) empfiehlt jährlich direkt im Anschluss an die Ernteperiode ca. 100 dt/ha verrotteten Stallmist beim Abpflügen der Dämme einzuarbeiten. Da heutzutage jedoch ein großer Teil der Spargelfläche erst im Herbst abgepflügt wird (Anonym, 2001b), ist diese Form der turnusmäßigen Einbringung von organischen Düngern in Ertragsanlagen nicht mehr möglich.

Bei den im Spargelanbau eingesetzten organischen Düngern handelt es sich je nach Betriebsstruktur um eigene Wirtschaftsdünger wie Stallmist und Gülle, oder – in Abhängigkeit vom lokalen oder überregionalen Angebot – um Hühnertrockenkot, Putenmist oder ähnliches. Auch Sekundärrohstoffdünger wie abgetragenes Pilzsubstrat aus der Speisepilzproduktion (Champost) oder Komposte aus kommunalen Kompostierungsanlagen werden eingesetzt (Anonym, 2001b; Komnik, 1994; Krug, 1998).

Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger sind natürliche Abfallprodukte aus verschiedenen Lebens- und Produktionsbereichen und somit sehr unterschiedlich hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Zusammensetzungen. Wichtige Parameter für die landwirtschaftliche Verwertung organischer Dünger sind deren Humusreproduktionsleistung und Nährstoffgehalte bzw. -frachten.

Die Humusreproduktionsleistung wird bestimmt durch den Dauerhumusanteil, der im Gegensatz zum Nährhumusanteil nach der Einarbeitung im Boden nur langsam ab- und umgebaut wird und in seinen strukturellen und chemischen Eigenschaften dem ursprünglichen Bodenhumus ähnelt. In einer Übersicht bei Gutser und Ebertseder (2002) wird die höchste Humusreproduktionsleistung – nach Niedermoortorf – den Komposten zugeschrieben, deren leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen bereits im Kompostierungsvorgang mineralisiert wurden (Tab. 1.1). Aufgrund unterschiedlicher Abbau- oder Rottegrade muss allerdings zwischen Frisch- und Fertigungskomposten differenziert werden.

Verbunden mit den hohen Aufwandmengen können durch organische Dünger erhebliche Nährstoffmengen auf die Böden gelangen, die den Bedarf einer Spargelanlage zum Teil decken (Poletschny, 1994).

Tab. 1.1: Humusreproduktionskoeffizienten verschiedener organischer Dünger

	<b>Humusreproduktionskoeffizient*</b> t Humus-C / t Dünger-C
Gründüngung	0,12 - 0,20
Stroh	0,24
Stallmist	0,35
Kompost	0,43
Niedermoortorf	0,51

\* nach Asmus (1992) und Kundler (1986)

Nach den Grundsätzen der „guten fachlichen Praxis“ müssen Nährstofffrachten aus organischer Düngung grundsätzlich in die Düngeplanung einbezogen werden (Düngeverordnung, Anonym, 1996). Dies erweist sich als schwierig, wenn Wirtschaftsdünger von Entsorgungsfirmen bezogen werden und keine Informationen über genaue Aufwandmenge und Nährstofffrachten mitgeliefert wurden. Auch die häufig praktizierte Schätzung von Nährstofffrachten organischer Dünger anhand von durchschnittlichen Nährstoffgehalten oder Faustzahlen ist für eine bedarfsgerechte Düngeplanung nicht geeignet.

Anhand der in Tab. 1.2 dargestellten Beispiele wird deutlich, dass geringe Unterschiede in den Nährstoffgehalten in der Trockensubstanz (% in TS) in Abhängigkeit vom TS-Gehalt bei gleicher Aufwandmenge (z. B. 500 dt/ha Frischmasse) erheblich voneinander abweichende Nährstofflieferungen zur Folge haben können. So unterschieden sich beispielsweise die N-Frachten zweier in eigenen Versuchen angewendeter Pferdemiste bei einer Aufwandmenge von 500 dt/ha Frischmasse trotz gleicher Gehalte von 1,8 %  $N_{ges}$  in TS um 43 kg/ha  $N_{ges}$  (Tab. 1.2).

Ein weiteres Problemfeld ist die Kalkulation der Verfügbarkeit der Nährstoffe in organischen Düngern. Während in Komposten beispielsweise von einer zügigen und mittelfristig vollständigen Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor und Kalium ausgegangen werden kann (Gutser und Ebertseder, 2002; Kasten, 2001), unterliegt die Stickstofffreisetzung oder Mineralisation einer Vielzahl von Faktoren. Neben Art und Zusammensetzung des Ausgangsmaterials von organischen Düngern spielen deren Rottegrad sowie die Abbaubedingungen im Boden nach der Ausbringung und Einarbeitung eine bedeutende Rolle für Zeitraum und Höhe der N-Freisetzung (Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Diese zu kalkulieren und in eine bedarfsgerechte Düngeplanung zu integrieren, ist äußerst schwierig.

Tab. 1.2: Nährstoffgehalte (% in TS) und Nährstofffrachten (kg/ha) bei einer Aufwandmenge von 500 dt/ha Frischmasse von verschiedenen Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern

		<b>N<sub>ges</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>% TS</b>	<b>N<sub>ges</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
		% in TS				Frachten bei 500 dt/ha		
Champost*	n=3-6	1,2	1,4	2,2	39,4	239	276	434
Champost**	n=1	2,1	1,5	2,9	31,9	335	239	463
Stallmist*	n=4	2,8	2,9	3,6	26,3	368	381	473
Rindermist*	n=153	4,6	1,8	4,8	10,8	248	97	259
Pferdemist**	n=1	1,6	1,0	1,6	24,3	194	122	194
Pferdemist**	n=1	1,8	1,1	1,2	35,6	320	196	214
Pferdemist**	n=1	1,8	1,3	4,5	31,9	287	207	718
Putenmist*	n=4	2,7	1,7	3,5	27,9	381	237	488
Frischkompost**	n=1	1,5	0,8	1,2	73,2	549	293	439
Frischkompost**	n=1	1,4	0,6	0,9	67,0	469	201	302
Frischkompost**	n=1	1,6	0,3	0,2	76,9	615	115	77
Fertigkompost**	n=1	1,0	0,3	0,4	73,6	368	110	147
Fertigkompost**	n=1	1,1	0,5	1,2	48,4	266	121	290
Fertigkompost**	n=1	1,3	0,6	0,8	58,3	379	175	233

\* Datenbank organisch/mineralische Abfälle und Wirtschaftsdünger (Eurich-Menden und Döhler, 2000)

\*\* Organische Dünger aus eigenen Versuchen

Grundsätzlich sind die Ab- und Umbauprozesse des organisch gebundenen Stickstoffs aus Gründen der Pflanzenernährung und des Grundwasserschutzes von besonderer Relevanz. Die biochemischen Vorgänge bei Mineralisation und auch Immobilisierung werden bedingt durch die Mikroorganismen-tätigkeit (Filip *et al.*, 1998; Haider und Martin, 1979) und durch Umweltfaktoren wie Bodentemperatur und Bodenwassergehalt (Chodak *et al.*, 2001; De Neve *et al.*, 1996; Malkomes, 1991; Ruppel und Makswitat, 1999; Stadelmann *et al.*, 1983). Da die Mineralisation auch außerhalb der Zeiträume stattfindet, in denen Pflanzen Stickstoff aufnehmen, sind im Herbst oder Winter hohe Nitrat-Restgehalte im Boden möglich, die der Auswaschungsfahr unterliegen (Duynisveld und Strebel, 1990; Springob und Mohnke, 1995). Mit der organischen Düngung kann also das Risiko der Nitratauswaschung steigen. Andererseits kann der Einbau von frisch mineralisierten Stickstoffverbindungen in Bakterienmasse oder neu gebildete Humussubstanzen zeitweise zur Mangelversorgung bei den Pflanzen führen.

Die bedarfsgerechte Düngung von Spargel wird darüber hinaus durch dessen botanische Besonderheit als perennierende Pflanze erschwert und ist im Hinblick auf Nährstoffbedarf und Düngung nicht mit anderen, einjährigen Gemüsekulturen vergleichbar. Spargelpflanzen bilden im Pflanzjahr den Grundstock für das unterirdische Speichersystem, das im Folgenden als „Krone“ bezeichnet wird. Diese Kronen bestehen aus der stark gestauchten waagrecht und sympodial wachsenden Sprossachse (Rhizom), Speicher- und Saugwurzeln, Niederblättern und Knospen (Drost, 1997; Hartmann, 1989). Im Herbst werden die Nährstoffe aus den Trieben in die Kronen verlagert, die bis zum Frühjahr im Ruhestadium verbleiben (Krug, 1996). Der Frühlingsaustrieb aus den Ruheknospen an den Rhizomen wird ab dem zweiten Standjahr kurzzeitig und ab dem dritten Standjahr voll geerntet. Nach Ende der Ernteperiode wachsen die Triebe durch, assimilieren und bilden Reservestoffe für den Austrieb im kommenden Frühjahr.

Der Zusammenhang zwischen Düngung und Ertrag ist somit indirekter Natur. Die Austriebsleistung der Ruheknospen, die den Ertrag bestimmt, ist abhängig vom Reservestoffspeicher in den Kronen, der wiederum durch die Assimilationsleistung im Vorjahr bestimmt wird (Ernst und Krug, 1998; Martin, 1989). Die optimale Entwicklung des Speichersystems ist somit ein wichtiger Faktor für die Ertragsfähigkeit einer Spargelanlage. Mit dem Aufbau der Kronen ändert sich auch der Nährstoffbedarf im Laufe der Kulturdauer, wobei das erste Standjahr von besonderer Bedeutung für den Aufbau der Kronen ist (Paschold, 2001). Deren Entwicklung und der davon abhängige Ertrag wird signifikant durch Stickstoff beeinflusst (Waters *et al.*, 1990). Obwohl die N-Entzüge von Spargel eher gering sind (Ziegler, 2002), wird das Pflanzenwachstum am meisten durch Stickstoff limitiert.

Die Bemessung der optimalen N-Düngung von Spargel wird demnach einerseits durch die Besonderheiten des N-Haushaltes im Boden, andererseits durch die Ausbildung und Nutzung des Speichersystems in den Kronen erschwert. Dementsprechend reichten die N-Düngeempfehlungen von 54 bis 600 kg/ha N (zitiert bei Pitman *et al.*, 1991). Rohmann *et al.* (1993) legen für die Erzielung optimaler Spargelerträge (70 bis 80 dt/ha) und -qualitäten in Ertragsanlagen einen N-Bedarf von 80 und 100 kg/ha N zugrunde. Zuzüglich eines während der Vegetationsperiode im Wurzelraum erforderlichen Mindestnitratgehaltes von etwa 30 kg/ha N ergeben sich somit Sollwerte zwischen 110 und 130 kg/ha N.

Die derzeit von der Officialberatung in Niedersachsen (Anonym, 2001b) vorgegebenen Sollwerte für Stickstoff liegen bei 90 kg/ha N im Pflanzjahr, 120 kg/ha N im zweiten und 100 kg/ha N ab dem dritten Standjahr. Paschold (2001) empfiehlt, die N-Düngung auf das deutlich erhöhte Wachstumspotenzial der neuen Sorten, Bestandesdichten und Wachstumsbedingungen, wie Humusgehalte und Beregnungsmöglichkeit, abzustimmen. Ab dem dritten Standjahr wird ein Sollwert von 90 kg/ha N ohne Abzug für Mineralisation empfohlen (Paschold *et al.*, 1999), da höhere N-Mengen unter Umständen zu verminderten Stangenstärken führen, die zwar den Arbeitsaufwand, nicht aber die Erlöse erhöhen.

Bei Spargeljungpflanzen hat das N-Angebot noch keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf Wurzelmasse oder Knospenanzahl, wohl aber auf den N-Gehalt in den Kronen (Krug *et al.*, 1993). Auch in Ertragsanlagen führte eine Düngesteigerung über 100 kg/ha N zu keiner weiteren Ertragssteigerung (Hartmann *et al.*, 1987).

In der Praxis wird zur Vermeidung von vermeintlichen Ertragsdepressionen aus Sicherheitsgründen dennoch häufig mehr Stickstoff gedüngt also erforderlich. Umfragen in niedersächsischen Spargelbetrieben zeigten, dass bei 68 % der befragten Betriebe das  $N_{\min}$ -Angebot aus der Gesamtdüngung (organisch + mineralisch) den empfohlenen Bereich überstieg (Krug, 1998). In eigenen Untersuchungen wurden auf einer Spargelfläche im ersten Standjahr  $N_{\min}$ -Mengen bis 500 kg/ha gefunden.

Die Stickstoffaufnahme der Spargelpflanzen erfolgt in relativ kurzen Zeiträumen, in Junganlagen von April bis Ende September und in Ertragsanlagen von Juni bis Ende September (Paschold *et al.*, 1999). Aus diesem Grund ist in Spargelböden nicht nur in der vegetationsfreien Zeit, sondern auch im Frühjahr und Sommer – im Zusammenspiel von künstlicher Beregnung und starken natürlichen Niederschlägen – mit Nitratauswaschung zu rechnen. Das Problem der Nitratauswaschung zeigte sich deutlich, als Mitte der achtziger Jahre in Spargelböden in Wasserschutzgebieten Baden-Württembergs stark überhöhte Nitratwerte bis 1000 kg/ha N gefunden wurden. Nachdem im Rahmen der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung „SchALVO“ ein Pilotprojekt zum grundwasserschonenden Spargelanbau gestartet wurde, sank das Nitratauswaschungspotenzial von 250 kg/ha im Jahr 1992 auf 70 kg/ha im Jahr 1998 (Rohmann *et al.*, 1993).

In Abb. 1.1 sind die Problematik der gängigen Düngepraxis im Spargelanbau, die daraus resultierenden negativen Auswirkungen auf die Umwelt sowie die teilweise vorgeschriebenen und praktizierten Lösungsansätze noch einmal zusammenfassend dargestellt. Aus diesen Zusammenhängen leitet sich das Konzept der hier vorgestellten Arbeit ab, die Eignung alternativer organischer Dünger für den Spargelanbau zu überprüfen.

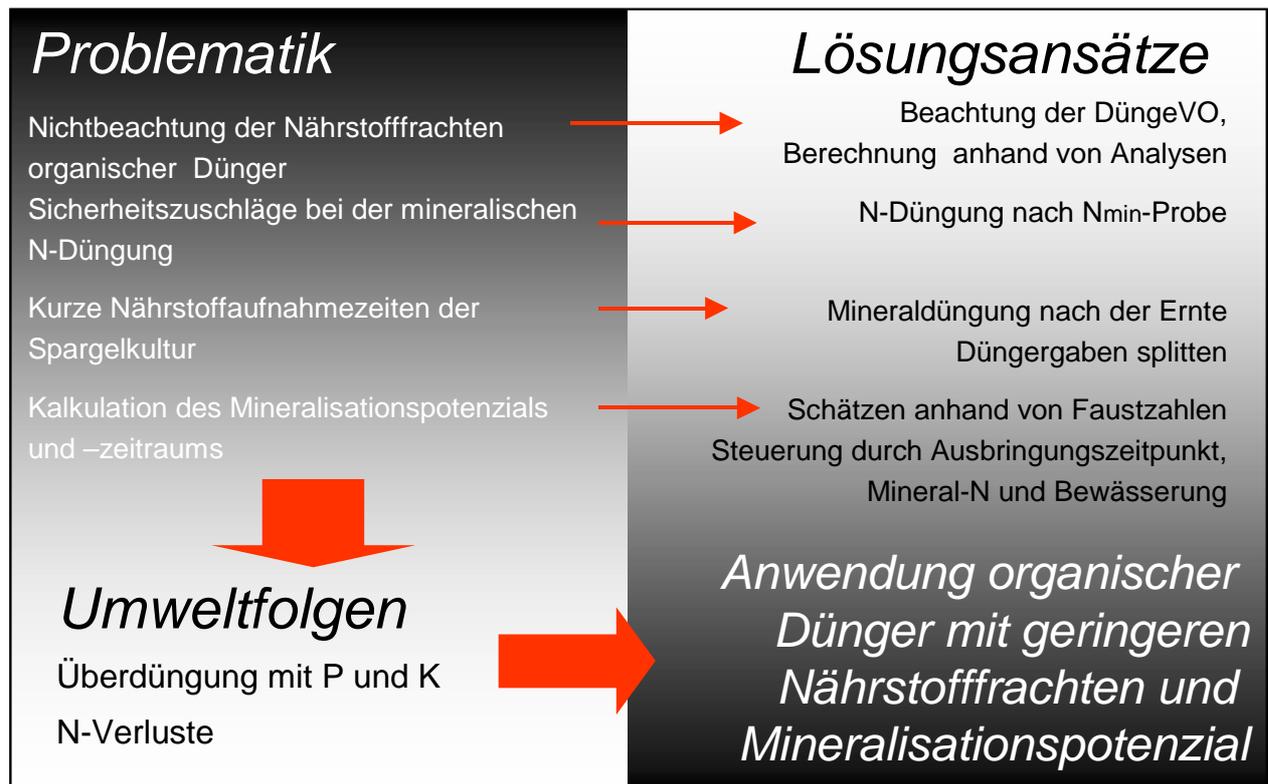


Abb. 1.1: Schematische Darstellung von Umweltproblematik und Lösungsansätzen bei der organischen Düngung im Spargelanbau

## 1.2 Lösungsansätze zur umweltschonenden Anwendung organischer Dünger im Spargelbau

Die nachhaltige Sicherung der Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit von Böden als natürliche Ressource ist Ziel des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG, Anonym, 1998b), auf dessen Grundlage Handlungsempfehlungen für die Praxis erarbeitet wurden. Die Erhaltung der standorttypischen Humusgehalte durch ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität ist dabei ein wichtiger Bestandteil der „guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung“ (Anonym, 1999b).

Als Lösungsansatz zur Vermeidung von Umweltschäden durch Düngemaßnahmen haben die gesetzlichen Anforderungen der Düngeverordnung (DüngeVO, Anonym, 1996) in der Praxis bereits ein Umdenken weg vom Sicherheitszuschlag hin zur bedarfsgerechten Düngung eingeleitet. Auch pflanzenbauliche Maßnahmen wie bedarfsgerechte Düngung nach  $N_{\min}$ -Sollwert oder Splitten der Düngegaben werden grundsätzlich empfohlen. Nach Ansicht der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) müssen die Anforderungen an die „gute fachliche Praxis“ im Hinblick auf die Düngebedarfsermittlung jedoch noch konsequenter umgesetzt werden (zitiert bei Neidhart, 2001).

Ein bislang wenig beachteter Aspekt im Hinblick auf eine umweltschonende Spargelproduktion ist die Anwendung von organischen Düngern mit hohem Humusreproduktions- und geringerem Mineralisationspotenzial, wie beispielsweise Kompost. Neben den allgemein genannten positiven Wirkungen von organischen Düngern auf die biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften bieten Komposte gegenüber anderen Maßnahmen zum Ausgleich des Humushaushaltes folgende Vorteile:

- Durch den Kompostierungsvorgang sind die leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen der Bio- und Grünabfälle weitgehend mineralisiert und die schwer abbaubaren in stabile Humusstoffe überführt worden. Insbesondere Fertigungskomposte zeichnen sich daher durch einen hohen Anteil (50 %) an stabilen Humuskomponenten in der organischen Substanz aus. Frischkomposte und Stallmist haben einen Dauerhumusanteil von 30 %, Gülle und Stroh von 20 % und Gründüngung von 10 % (Kasten, 2001). Der Dauerhumusanteil vom abgestorbenen Spargelkraut liegt bei ca. 20 % (Ziegler, 2002).

- Nach der Einarbeitung in den Boden wird die organische Substanz von Komposten in vergleichsweise langsamen Ab- und Umbauprozessen mineralisiert. Die Abbaurate unterscheidet sich kaum von jener der organischen Bodensubstanz, so dass insbesondere Fertigungskomposte eine hohe Humusanreicherung bewirken.
- Verbunden mit der langsameren Umsetzung der Dauerhumusbestandteile in Komposten verläuft auch die Stickstoffmineralisation langsamer. Im Vergleich mit dem im Spargelanbau häufig eingesetzten Pferdemist verfügen Komposte mit 5 bis 10 % statt 15 % des  $N_{ges}$  über geringere N-Nachlieferungsraten im Anwendungsjahr (Gutser und Claassen, 1994; Heller, 1999; Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Die langsamen Stickstoffflüsse sind pflanzenbaulich besser nutzbar und durch N-Zusatzdüngung steuerbar. Darüber hinaus ist eine N-Sperre durch Inkorporation von frisch mineralisiertem N in Biomasse nur nach der Ausbringung von Frischkompost zu erwarten (Chodak *et al.*, 2001; Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996).
- Komposte aus kommunalen Abfällen verfügen über geringere Frachten an pflanzenverfügbaren Nährstoffen als Wirtschaftsdünger (Eurich-Menden und Döhler, 2000).
- Durch eine langjährige Kompostanwendung kann das antiphytopathogene Potenzial im Boden gestärkt werden (Pfozter, 1998; Schüler *et al.*, 1990). Die phytosanitären Effekte von Komposten erfahren vor dem Hintergrund des novellierten Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG, Anonym, 1998a) und den damit verbundenen Indikationslücken eine neue Aktualität.

Aufgrund geringerer Nährstofffrachten und geringerer N-Verluste in Verbindung mit höherer Humusreproduktion scheinen Komposte als organische Dünger für den Spargelanbau bestens geeignet zu sein. Die Wirkung von Komposten auf Wachstum und Ertrag sowie den N-Haushalt der Spargelkultur wurde bislang noch nicht untersucht und ist daher Inhalt der hier vorgestellten Forschungsprojekte. Das Projekt „Komposteinsatz im Spargelanbau“ wurde im Rahmen des Verbundprojektes „Förderung der Bioabfallverwertung“ von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unterstützt. Hintergrund des Verbundprojektes war die Suche nach sinnvollen Verwertungswegen für die steigenden Kompostmengen, die aufgrund der getrennten Erfassung und Behandlung nativ-organischer Abfälle anfallen (Kern *et al.*, 1998).

Derzeit werden jährlich etwa 3 bis 4 Mio. t Kompost produziert, die zu ca. 31 % als Bodenverbesserungsmittel auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Ca. 35 % der Komposte gelangen in den Garten- und Landschaftsbau, jeweils 13 % in Rekultivierung und Hobbygartenbau und jeweils 2 % in Erwerbsgartenbau und Sonderkulturen (Dickel, 2001). Durch den Einsatz von Komposten können endliche Ressourcen wie Torf, Phosphat und Wasser geschont und umweltschädliche Emissionen, wie Nitratauswaschung oder Ammoniakverflüchtigung, vermindert werden. Darüber hinaus leistet die Rückführung von Nährstoffen in den Naturkreislauf (Nährstoffrecycling) einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft.

Die Anwendung von Komposten ist durch die Bioabfallverordnung (BioAbfV, Anonym, 1998d) geregelt. Die maximal zulässigen Ausbringungsmengen sind aus abfallrechtlichen Gesichtspunkten und aus Gründen des Bodenschutzes an die Schwermetallgehalte gekoppelt. Bei guten Kompostqualitäten (Schadstoffhöchstgehalte laut § 4 Abs. 3, Satz 2 BioAbfV) dürfen maximal 30 t Trockensubstanz (TS) pro Hektar in drei Jahren ausgebracht werden, bei höher befrochteten Komposten (Schadstoffhöchstgehalte laut § 4, Abs. 3, Satz 1 BioAbfV) maximal 20 t TS/ha in drei Jahren. Auf Spargelflächen werden mit Ausnahmegenehmigung der landwirtschaftlichen Fachbehörde bis zu 200 m<sup>3</sup> bzw. 90 t TS/ha zur Flächenvorbereitung ausgebracht (Kompotec Gütersloh, 2001 persönliche Mitteilung).

Bislang gibt es nur wenige kulturspezifische Anwendungsempfehlungen für Komposte in landwirtschaftlichen und gärtnerischen Produktionsverfahren. Die Forschungsschwerpunkte bei gartenbaulichen Kulturen liegen derzeit hauptsächlich im Bereich Substratzuschlag bzw. Torfersatz (Papenhagen und Hoverath, 1999; Popp und Fischer, 1999; Schäfer *et al.*, 1999) und Pflanz- und Rekultivierungssubstrat im Garten- und Landschaftsbau (Jauch und Fischer, 1998). Im konventionellen Gemüsebau finden Komposte als Substrate oder Substratzuschlag in der Jungpflanzenproduktion (Roe *et al.*, 1997) oder als Mulch zur Unkrautunterdrückung Anwendung (Ozores-Hampton *et al.*, 2001; Roe *et al.*, 1993a;b). Bei der ökologischen Gemüseproduktion werden Komposte darüber hinaus als organische Düngemittel eingesetzt (Tenholtern und Reiners, 1995; von Sothen, 2000).

Ziel dieser Arbeit war daher, auf der Basis von empirischen Untersuchungen zu N-Dynamik und -Haushalt, Wachstum und Ertrag von Spargel praxisnahe Anwendungsempfehlung für den Komposteinsatz im Spargelanbau zu erarbeiten.

### 1.3 Zielsetzung der Forschungsprojekte

Vor dem Hintergrund der oben genannten Problemfelder a) Erhaltung des Humusstatus, b) Reduktion des N-Eintrages und c) Formulierung von Anwendungsempfehlungen für Komposte im Spargelanbau, wurden am Institut für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover zwei von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte Forschungsprojekte zur organischen Düngung im Spargelanbau durchgeführt.

Das Projekt „**Komposteinsatz im Spargelanbau**“ im Rahmen des DBU-Verbundprojektes „Förderung der Bioabfallverwertung“ (DBU AZ 08738, Dauer 1997-2000), wurde im Frühjahr 2000 abgeschlossen. Ziel des Projektes war die Prüfung der generellen Eignung von Komposten als organische Dünger im Spargelanbau im Vergleich zum konventionell angewendeten Pferdemist. In Feldversuchen in Praxisbetrieben wurden Mineralisationsverläufe, N-Haushalt sowie Wachstum und Ertrag der Spargelkultur in Abhängigkeit von Art und Menge der organischen Düngung und Höhe der zusätzlichen mineralischen N-Düngung miteinander verglichen. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

Aufbauend auf dieses Projekt wurde im Jahr 2000 das Forschungsprojekt „**Umweltgerechte Spargelproduktion**“ (DBU AZ 17046, 2000-2003), mit Fokus auf die positiven Wechselwirkungen zwischen organischer Düngung und bedarfsgerechter Bewässerung, beantragt. In Feldversuchen auf Praxisflächen, Gefäßversuchen in einer Vegetationshalle und Inkubationsversuchen in Klimakammern soll der ökologische und ökonomische Nutzen organischer Dünger auf Wasser- und Stickstoffhaushalt und antiphytopathogenes Potenzial im Gesamtsystem Spargel überprüft werden. Es wird erwartet, dass die direkten positiven Wirkungen organischer Dünger im Hinblick auf reduzierte Auswaschungsverluste und Infektionsrisiken durch Synergismen zwischen Wasser- und Stickstoffeinsparung bzw. Wasser- und Pflanzenschutzmitteleinsparung noch verstärkt werden können (Abb. 1.2). Im Rahmen dieser Arbeit werden Teilergebnisse des Projektes aus dem Jahr 2000 vorgestellt.

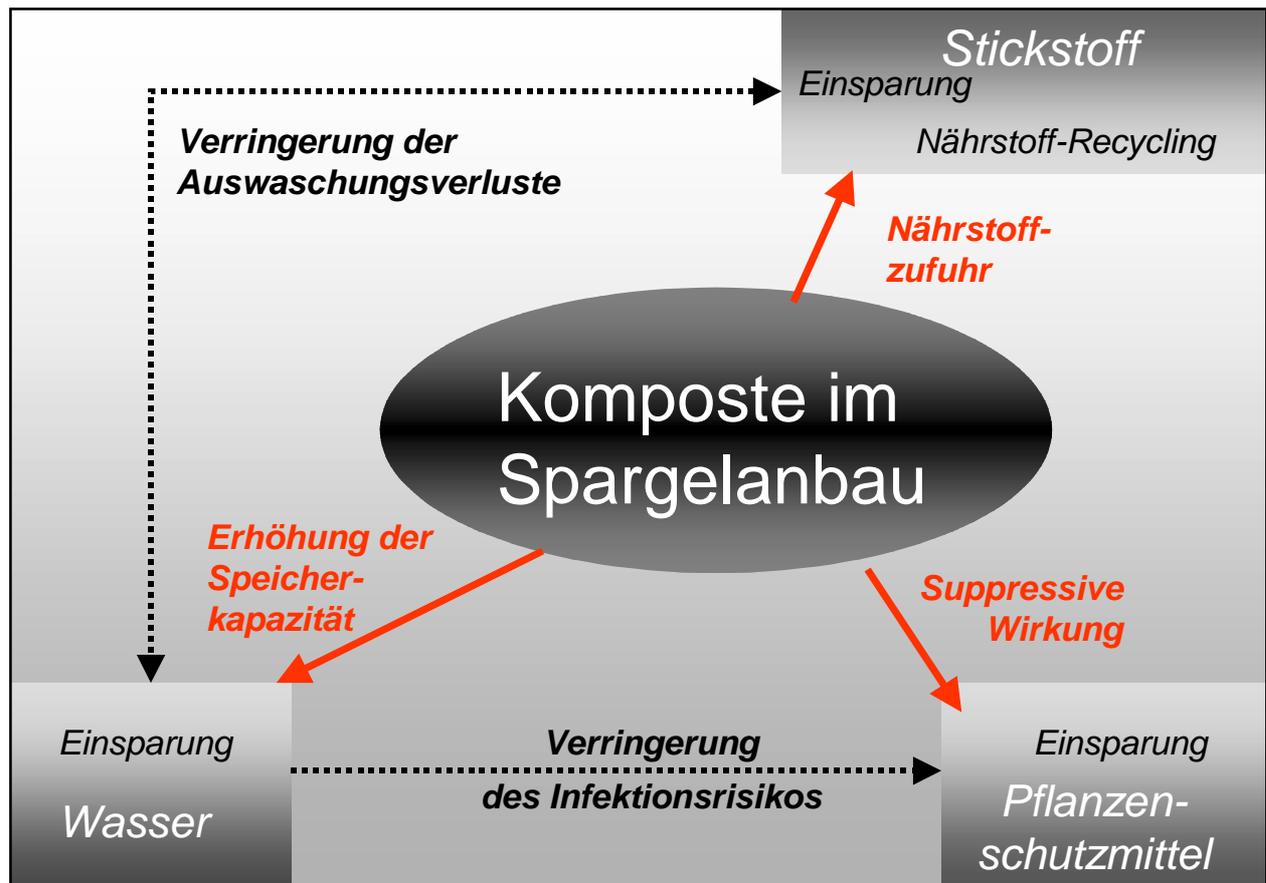


Abb. 1.2: Kompost als Element eines integrierten Spargelanbausystems

Vor dem Hintergrund der oben genannten Zielsetzungen mussten die Faktoren, die durch die organische Düngung im Spargelanbau beeinflusst werden, mit Hilfe von Versuchen erfasst werden. Die angewandten Methoden sind in folgender Übersicht schematisch zusammengestellt.

### I-1 Feldversuch Fuhrberg 1997 bis 1999 (FV 97-99)

Anlage eines dreifaktoriellen Feldversuches in einem Praxisbetrieb mit den Faktoren Art der organischen Düngung (Pferdemist, Bioabfallkompost, Grün- gutkompost), Aufwandmenge (200 und 600 dt/ha) und zusätzliche minerali- sche N-Düngung (Sollwert 80 und 120 kg/ha N).

**I-2 Feldversuch Fuhrberg Fortführung 2000 (FV 2000alt)**

Im Rahmen des Folgeprojektes wurden die Inkubationsversuche in den im Jahr 1997 mit 600 dt/ha beaufschlagten Parzellen weitergeführt. Sie erhielten keine neue organische Düngung.

**I-3 Feldversuch Fuhrberg (FV 2000neu)**

Die im Jahr 1997 mit 200 dt/ha beaufschlagten Parzellen wurden im Frühjahr 2000 erneut organisch gedüngt. Als organische Dünger\* wurden Pferdemist, Frisch- und Fertigungskompost ausgebracht, auf eine Variation der Mineraldüngung wurde verzichtet.

**I-4 Feldversuch Altenwalingen 1998 bis 1999**

Anlage eines dreifaktoriellen Feldversuches in einem Praxisbetrieb mit den Faktoren Art der organischen Düngung (Pferdemist, Bioabfallkompost, Grün- gutkompost), Aufwandmenge (400 und 1200 dt/ha) und zusätzliche mineralische N-Düngung (Sollwert 80 und 120 kg/ha N). Nachdem der Betriebsinhaber auf der Versuchsfläche ohne Absprache mit dem Versuchsansteller Hühnertrockenkot ausgebracht hatte, wurde der Versuch im Frühjahr 1999 abgebrochen.

**II-1 Gefäßversuch Herrenhausen März bis Oktober 2000 (GV 2000)**

Zweifaktorieller Gefäßversuch mit einjährigen Spargeljungpflanzen in einer überdachten Vegetationshalle des Institutes für Gemüse- und Obstbau. Faktoren: organische Dünger\* (Pferdemist, Frisch- und Fertigungskompost, gebrauchtes Champignonkultursubstrat, Kontrolle) und Wasserstufen (45, 60 und 90 % der Wasserkapazität des Gefäßes).

**II-2 Klimakammerversuch Herrenhausen Frühjahr 2000 (Klika 2000)**

Zweifaktorieller Inkubationsversuch in Klimakammern des Institutes für Gemüse- und Obstbau. Bebrütung bei 10 und 20 °C über 70 Tage. Faktoren: organische Dünger\* (Pferdemist, Frisch- und Fertigungskompost, gebrauchtes Champignonkultursubstrat, Kontrolle), Kohlenstofffracht (4000 und 8000 kg/ha C).

\* In den Versuchen im Jahr 2000 wurden jeweils die gleichen organischen Dünger verwendet.

## 2 Material und Methoden

Im Folgenden wird eine Übersicht über die durchgeführten Feld-, Klimakammer- und Gefäßversuche und die angewendeten Materialien und Methoden gegeben. Die detailliertere Beschreibung der speziellen Versuchsbedingungen erfolgt in den Kapiteln 3 bis 5.

### 2.1 Versuchsaufbau und Durchführung

#### 2.1.1 Feldversuch

An zwei Standorten mit vergleichbaren Bodeneigenschaften und Klimabedingungen wurden 1997 und 1998 zwei Feldversuche in Spargelneuanlagen angelegt. Der Feldversuch in Altenwalingen lieferte aufgrund von zusätzlichen Düngemaßnahmen durch den Betriebsinhaber keine verwertbaren Ergebnisse und musste im Frühjahr 1999 abgebrochen werden. Die im Folgenden beschriebenen Methoden und Ergebnisse beziehen sich daher auf den Feldversuch in Fuhrberg.

#### **Feldversuch (FV 97-99)**

Der Feldversuch (FV 97-99) wurde im Frühjahr 1997 angelegt und bis zum Spätherbst 1999 untersucht. Die Versuchsfläche ist Teil einer 10 ha großen Spargelfläche eines landwirtschaftlichen Betriebes in Fuhrberg, ca. 30 km nördlich der Landeshauptstadt Hannover, im Fuhrberger Feld gelegen. Es handelt sich um einen durch Vorkultur und Bodenvorbereitung bis in ca. 60 cm Tiefe reichenden humosen Sand. Die gemessenen Humuswerte lagen zu Versuchsbeginn bei 1,71 % organische Substanz (1,02 %  $C_t$  in TM). Die Bodenreaktion lag bei pH 5,6, die Lagerungsdichte  $d_B$  betrug 1,58 g/cm<sup>3</sup> und das Porenvolumen 41,5 %.

Bei der Versuchsanlage handelt es sich um einen dreifaktoriellen Blockversuch mit zwei Wiederholungen. Der Versuch umfasst insgesamt 7 Spargelreihen mit einer Länge von 322 m. Aus der Parzellenlänge von 24 m und -breite von 6,3 m ergibt sich eine Parzellenfläche von 151,2 m<sup>2</sup>. In der Blockanlage liegen zwei Versuchspartzellen nebeneinander, die Reihen 1, 4 und 7 sind Randreihen. Innerhalb der Parzellen wurden jeweils 16 m ausgewertet, so dass die Nettoparzellen 57,6 m<sup>2</sup> groß waren.

Die Versuchsvarianten sind Tab. 2.1 zu entnehmen. Als organische Dünger wurden Pferdemist, Bioabfallkompost („Biotonne“ und Grüngutanteil, Rottegrad 4, C/N 13) und Grüngutkompost (100 % Grüngutabfall, Rottegrad 3, C/N 26) eingesetzt, die in Kapitel 2.2 genauer beschrieben werden.

Kriterium für die Berechnung der Ausbringungsmengen war die Kohlenstofffracht der betriebsüblichen Pferdemistgabe. Auf den Kompostparzellen sollten die gleichen Kohlenstofffrachten ausgebracht werden, wie auf den „konventionellen“ Pferdemistparzellen. Die Aufwandmengen wurden in Anlehnung an betriebsübliche Mengen (600 dt/ha Pferdemist für den gesamten Kulturzeitraum) errechnet, die Aufwandmenge 200 dt/ha repräsentierte einen Ausbringungsrhythmus von drei Jahren. Die ausgebrachten Mengen und Nährstofffrachten sind Tab. 2.6 zu entnehmen.

Tab. 2.1: Faktoren und Stufen im Feldversuch (FV 97-99)

Faktoren	Stufen	Abkürzung
Art der organische Düngung	Pferdemist	PM
	Bioabfallkompost**	BAK
	Grüngutkompost**	GK
Aufwandstufe	Entsprechend 200 dt/ha Pferdemist*	200
	Entsprechend 600 dt/ha Pferdemist*	600
Mineralische N-Düngung	Sollwert 80 kg N/ha	1
	Sollwert 120 kg N/ha	2
Wiederholungen	Block 1	1
	Block 2	2

\* Berechnung der Kompostmengen anhand der C-Gehalte im Verhältnis zum Pferdemist

\*\* Gütegesichert entsprechend der Richtlinien der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.

Da in der Analyse der Untersuchungsanstalt (LUF A Münster) für den Bioabfallkompost zunächst ein falscher Kohlenstoffgehalt ausgewiesen wurde, erhielten die Bioabfallkompost-Varianten nur etwa die Hälfte der ursprünglich geplanten C-Fracht. Bei korrekter Bestimmung des C-Gehaltes wären Aufwandmengen und Nährstofffrachten ca. 70 % höher gewesen, die Aufwandmengen hätten den Grüngutkompost-Varianten entsprochen.

Die Flächenvorbereitung für die Spargelneupflanzung begann im Herbst 1996 mit dem Tiefspaten der Fläche und nachfolgender Einsaat einer Gründüngung (Gelbsenf). Im folgenden Frühjahr wurden die organischen Dünger, der Pferdemist am

27. Februar und die Komposte am 06. März 1997, mit einem Großflächenstreuer ausgebracht und ca. 30 cm tief eingepflügt. Am 11. März wurden einjährige Spargelpflanzen (*Asparagus officinalis* L. ‚Gijnlim‘) in einem Abstand von 180 cm zwischen den Reihen und von 33 cm innerhalb der Reihe, ca. 25 cm tief gepflanzt. Die Bestandesdichte beträgt ca. 16.800 Pflanzen pro Hektar. Die erforderlichen Kulturmaßnahmen wie Grunddüngung, Bodenbearbeitung, Ernteverfrühung, Bewässerung und Pflanzenschutz erfolgten in betriebsüblicher Form. Die Nährstoffgehalte der Versuchsfläche wurden jährlich untersucht (Tab. 2.7). Neben der Erhaltungsdüngung (P, K, Mg) erfolgte jeweils in den Wintermonaten ein Erhaltungskalkung.

Zur Einstellung der im Versuchsplan vorgegebenen Mineralstickstoffstufen wurde entsprechend der  $N_{\min}$ -Methode (Wehrmann und Scharpf, 1979) nach vorheriger Untersuchung des  $N_{\min}$ -Gehaltes im Boden (0-90 cm) zu Versuchsbeginn (20.03.97) mit Kalkammonsalpeter und in den folgenden Jahren nach der Ernte (13.05.98 und 01.07.99) mit Harnstoff auf die Sollwerte 80 und 120 kg N/ha aufgedüngt.

Die Unkrautbekämpfung erfolgte im ersten Jahr mechanisch durch Grubbern und Hacken sowie in den folgenden Jahren chemisch durch Spritzen mit ‚Roundup WG Ultra‘ (Wirkstoff Glyphosat) nach Abnahme der Folie, sowie mit ‚Sencor WG‘ (Wirkstoff Metribuzin) und ‚Lentagran WP‘ (Wirkstoff Pyridat) gegen auflaufende Unkräuter. Darüber hinaus wurde während der Vegetationsperioden nach Bedarf gegen Spargelfliegen (*Platyparea poeciloptera*) mit dem Wirkstoff Dimethoat und gegen den pilzlichen Erreger *Stemphylium botryosum* mit ‚Bardos‘ (Wirkstoff Difenoconazol) und ‚Cuprozin WP‘ (Wirkstoff Kupferhydroxid) gespritzt.

Im zweiten und dritten Versuchsjahr wurde die Spargelanlage zur Ernteverfrühung mit transparenter Antitaufolie abgedeckt. Im ersten Ertragsjahr 1998 wurde ca. drei Wochen lang zwei mal täglich geerntet, im zweiten Ertragsjahr 1999 etwa sechs Wochen lang. Nach Beendigung der Ernte wurde die Folie entfernt und der mineralische Stickstoffdünger ausgebracht. Die Fläche wurde erst im Spätherbst, zeitgleich mit dem Schlegeln und Einfräsen des vergilbten Krautes, abgedämmt. Die Bewässerung erfolgte in allen Versuchsjahren nach Bedarf mit Beregnungsmaschinen.

### Feldversuch 2000 (FV 2000neu)

Der Feldversuch wurde ab dem Frühjahr 2000 im Rahmen des Projektes „Umweltgerechte Spargelproduktion“ weitergeführt. Ziel war hierbei die Betrachtung der langfristigen Nährstoffdynamik in der 1997 organisch gedüngten Versuchsanlage. Die ehemals mit 600 dt/ha, d. h. der Menge für den gesamten Kulturzeitraum, beaufschlagten Parzellen blieben dabei unverändert, während die ehemals 200 dt/ha Varianten entsprechend einer organischen Düngung im dreijährigen Turnus erneut organische Dünger erhielten (Tab. 2.2).

Auf mineralische Düngestufen wurde verzichtet, so dass sich in jedem Block zwei Parzellen mit gleicher Behandlung befanden, deren Untersuchungsergebnisse vor der statistischen Verrechnung jeweils zu einem Mittelwert zusammengezogen wurden. Zur Unterscheidung der organischen Düngern werden diese mit unterschiedlichen Abkürzungen bezeichnet. Da der im Feldversuch (FV 97-99, FV 2000alt) mit der Abkürzung „PM“ bezeichnete Pferdemist unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften aufweist (Tab. 2.5), als der im Gefäß- und Klimakammerversuch, sowie im FV 2000neu angewandte, wird letzterer im Folgende als PferMi bezeichnet.

Tab. 2.2: Faktoren und Stufen im Feldversuch 2000 (FV 2000neu)

Faktoren	Stufen	Abkürzung
Art der organischen Düngung	Pferdemist	PferMi
	Frischkompost*	FriKo
	Fertigkompost*	Ferko
Aufwandstufe	Entsprechend 200 dt/ha Pferdemist**	200
	Keine neue organische Düngung	Ohne
Wiederholungen	Block 1	1
	Block 2	2

\* Gütegesichert entsprechend der Richtlinien der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.

\*\* gleiches Ausbringungsvolumen

Die Ausbringungs- und Nährstoffmengen des Feldversuches 2000 sind der Tab. 2.6 zu entnehmen. Da zum Ausbringungstermin weder eine Analyse für den Pferdemist vorlag, noch die Möglichkeit bestand, die Ausbringungsmengen zu wiegen, erhielten alle Parzellen das gleiche Volumen an organischen Düngern, nämlich acht Schub-

karren pro Parzellen, was einem Liefervolumen von ca. 32 m<sup>3</sup> pro Hektar entspricht. Diese Vorgehensweise entspricht der landwirtschaftlichen Praxis, die organische Düngung anhand des Volumens des Streufahrzeuges zu dokumentieren. Die organischen Dünger wurden manuell auf den Parzellen verteilt. Die Ausbringungstermine lagen in Abhängigkeit von der Lieferung des Materials zwischen dem 16. und 22. März 2000. Auf die vormals Bioabfallkompost-Parzellen wurde ein Frischkompost (70 % Bioabfall, Rottegrad 3, C/N 19) ausgebracht, die vormals Grüngutkompost-Varianten erhielten Fertigkompost (100 % Grüngutabfall, Rottegrad 5, C/N 13).

### 2.1.2 Gefäßversuch

Der Gefäßversuch wurde im Rahmen des zweiten Projektes „Umweltgerechte Spargelproduktion“ als Vorversuch zur Entwicklung einer umweltgerechten Bewässerungsstrategie durchgeführt. Der Einfluss organischer Dünger auf den Wasserhaushalt und die damit verbundenen Wachstums- und Entwicklungsvorgänge von einjährigen Spargeljungpflanzen wurden untersucht.

Der Gefäßversuch wurde Ende März 2000 in einer überdachten Vegetationshalle ohne Seitenwände im Institut für Gemüse- und Obstbau am Standort Hannover Herrenhausen durchgeführt. Die einjährigen Spargeljungpflanzen wurden in 25-l Gefäße in Substratmischungen aus Kontrollboden mit verschiedenen organischen Düngern bei variierenden Wassergehalten bis Anfang Oktober kultiviert (Tab. 2.3).

Tab. 2.3: Faktoren und Stufen im Gefäßversuch (GV 2000)

Faktoren	Stufen	Abkürzung
Organische Düngung	Friskompost	FriKo
	Fertigkompost	FerKo
	Pferdemist	PferMi
	Gebrauchtes Champignonkultursubstrat	ChamKo
	Kontrolle ohne organische Düngung	Kontrolle
Wasserstufe	45 % Wasserkapazität des Gefäßes	45
	60 % Wasserkapazität des Gefäßes	60
	90 % Wasserkapazität des Gefäßes	90
Wiederholungen	3	

Der Versuchsaufbau bestand aus einer zweifaktoriellen Blockanlage mit drei Wiederholungen und jeweils einem bepflanztem Gefäß pro Wiederholung ( $n=45$ ). Zur Quantifizierung der Netto-Mineralisation der organischen Dünger wurden in die Versuchsanlage weitere 30 unbepflanzte Gefäße integriert, aus denen fortlaufend  $N_{\min}$ -Proben entnommen wurden.

Als Ausgangssubstrat, im Folgenden als „Kontrolle“ bezeichnet, diente ein lehmiger Sand (2,06 %  $C_t$  und 0,12 %  $N_t$  in TM,  $C/N = 17,2$ ,  $pH = 5,5$ , pflanzenverfügbare  $N = 0,94$  %  $N_t$ , Lagerungsdichte  $d_B=1,37$  g/cm<sup>3</sup>, Porenvolumen 48 %). Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der organischen Dünger sind in Tab. 2.5 zusammen gestellt. Mischungskriterium war eine einheitliche Kohlenstofffracht in Höhe von 4000 kg C/ha.

Vor dem Mischen der Substrate am 20. März wurde der Kontrollboden von Steinen und Wurzelunkräutern befreit und mit Hilfe einer Erdschleuder homogenisiert. Der strohreiche Pferdemist wurde vorab zerkleinert. Die Substrate wurden in drei Schichten von ca. 5 bis 7 cm, die jeweils leicht angedrückt wurden, in die Versuchsgefäße gefüllt. Es handelte sich um schwarze Kunststoffgefäße mit 25 l Volumeninhalt (Höhe 30 cm, Durchmesser unten 28 cm, oben 38 cm) in die jeweils 20 kg Substrat eingefüllt wurde.

Am 29. März wurde pro Gefäß eine einjährige Spargeljungpflanze (*Asparagus officinalis* L. ‚Gijnlim‘) gepflanzt. Die Jungpflanzen hatten ein durchschnittliches Frischgewicht von ca. 60 g, verfügten über ca. 16 Speicherwurzeln (> 10 cm Länge) und 3,4 Knospen. Das Rhizom wurde in der Mitte des Gefäßes auf die Bodenoberfläche gelegt und die Speicherwurzeln radial verteilt. Anschließend wurde der Vegetationspunkt ca. 5 cm hoch mit Substrat bedeckt, wobei die Gefäße auf ein Bruttogewicht von 30 kg aufgewogen wurden. Die Gefäße wurden auf eine mobile Kleinlysimeteranlage gestellt. In diese fahrbaren Tische sind quadratische Metallgefäße so eingehängt, dass sie mit einer unterhalb fahrenden anhebbaren Waage gewogen werden können. Pro Tisch wurden in zwei Reihen 10 Versuchsgefäße in einem Abstand von ca. 10 cm auf die Metallgefäße gestellt.

Von Anfang April bis Mitte Mai wurden alle Versuchsglieder einmal pro Woche mit der gleichen Wassermenge gegossen. Nachdem die Phyllokladien des ersten Triebes voll entfaltet waren, wurden ab Mitte Mai die Bewässerungsstufen eingestellt. In einem Vorversuch waren die Sollgewichte der Gefäße bei 45, 60 oder 90 % Wasser-

kapazität ermittelt worden, so dass jeweils die Wassermenge zugegeben wurde, die aufgrund des tatsächlichen Istgewichtes zur Erlangung des Sollgewichtes erforderlich war. Die Gefäße wurden zweimal pro Woche gewogen und gegossen.

### 2.1.3 Inkubationsversuche

Zur Bestimmung der Stickstoff-Mineralisation aus den organischen Düngern wurden folgende Versuche und Methoden angewandt:

- (a) Inkubationsversuche in situ mit „Runge-Proben“ im Feldversuch (InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu)
- (b) Parallele Inkubation des Probenmaterials aus (a) in der Klimakammer bei 20 °C (InkuKlika 98-99)
- (c) Fortlaufende  $N_{\min}$ -Untersuchungen in den unbepflanzten Gefäßen des Gefäßversuches in der überdachten Vegetationshalle (GV 2000)
- (d) Klimakammerversuche 2000 bei 10 und 20 °C (Klika 2000)

Die Berechnung der Mineralisation wird in Kapitel 2.3.3 beschrieben.

#### **Inkubationsversuche in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu)**

Die Bestimmung der Netto-Stickstoffmineralisation von Bodenmaterial unter Feldbedingungen erfolgte in Anlehnung an die Methode von Runge (1970). Hierbei werden möglichst ungestörte Bodenproben in Polyethylen (PE) Beutel verpackt und an der Entnahmestelle ca. sechs bis acht Wochen im Feld inkubiert (InkuFV 98-99). Die Entnahme der Proben erfolgte aus dem Oberboden in 5 bis 20 cm Tiefe, in der die biologische Aktivität noch nicht durch behinderten Gasaustausch beschränkt ist (Richter, 1986). Da PE-Folien durchlässig für  $CO_2$  und  $O_2$ , jedoch kaum durchlässig für Wasserdampf und undurchlässig für flüssiges Wasser sind, wird die Mineralisation während einer Inkubationsdauer von sechs bis acht Wochen nicht durch den behinderten Gasaustausch beeinflusst.

Unter Feldbedingungen sind die höchsten Mineralisationsraten nach hohen organischen und mineralischen Düngergaben zu erwarten. Aus diesem Grund erfolgte die Probennahme und Inkubation in situ in den hoch gedüngten Parzellen (Aufwand-

menge 600 dt/ha, Mineraldüngung 120 kg/ha N). In jeweils einer Parzelle pro Düngertyp wurden in Block 1 im Abstand von zwei Metern Proben entnommen. Ein Teil der Proben wurde zur Bestimmung des  $N_{\min}$ -Anfangsgehaltes ins Labor gebracht. Der andere Teil wurde in PE-Beutel gefüllt und an der Entnahmestelle eingegraben. Nach sechs- bis achtwöchiger Inkubation im Feld wurden die Beutel ausgegraben und der  $N_{\min}$ -Endgehalt, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, analysiert.

Im Jahre 1998 wurden die Proben etwa 40 bis 50 cm neben der Pflanzreihe entnommen. Da aufgrund der unterschiedlich starken Bodendurchmischung beim Aufdämmen, sowie der unterschiedlichen Erwärmung unter der Folienabdeckung während der Ernteperiode, mit unterschiedlichen Mineralisationsverläufen zu rechnen war, erfolgte die Probenahme ab 1999 diagonal zwischen den Pflanzreihen. Es wurden Proben aus dem Damm, aus dem Weg direkt neben dem Damm sowie aus der Mitte des Weges genommen (Abb. 2.1).

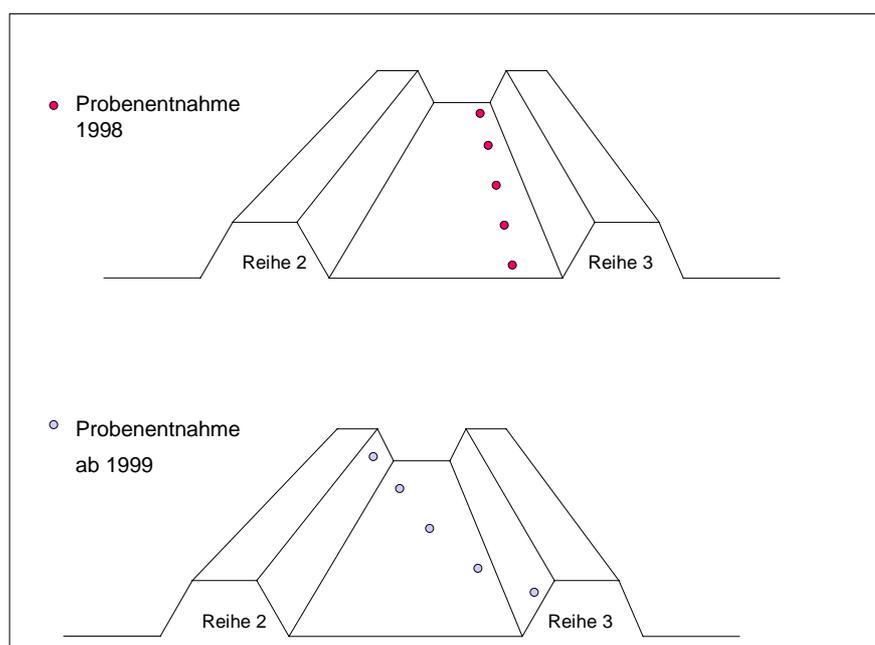


Abb. 2.1: Schematische Darstellung der Entnahme der „Runge-Proben“

Um eine engere Staffelung der Mineralisationsdaten zu erhalten, wurde alle drei bis vier Wochen eine neue Serie von Proben eingegraben, so dass sich zwei Runge-Serien jeweils überschneiden. Die Termine sind Tab. 9.1 im Anhang zu entnehmen. Aus den sich überschneidenden Serien wurde die durchschnittliche tägliche Mineralisa-

tionsrate ermittelt, von der durch Aufsummierung auf Mineralisationsraten in verschiedenen Zeiträumen geschlossen werden kann (Meins, 1996).

In einigen Versuchsreihen wurde eine starke Streuung der Einzelwerte beobachtet. Diese Schwankungen wurden auf in den Proben enthaltene Wurzelstücke und gröbere Reste der organischen Dünger, schlecht verschlossene Tüten oder Vernässung der Proben zurückgeführt. Kritische Werte wurden aus der Mittelwertberechnung herausgenommen.

### **Inkubation in der Klimakammer (InkuKlika 98-99)**

Analog zur Inkubation in situ im Feldversuch wurden in den Versuchsjahren 1998 und 1999 Teilproben in einer Klimakammer des Institutes für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover unter konstanten Temperaturbedingungen bei 20 °C ohne Belichtung bebrütet. Hierzu wurden jeweils 200 g der feldfrischen Bodenproben in 500 ml Becher aus transparentem Polypropylen (PP) gefüllt. Die Becher wurden mit transparenten PP-Deckeln verschlossen, in die zur Gewährleistung des Gasaustausches sechs Löcher mit einem Durchmesser von ca. 4 mm gestanzt waren. Die Bebrütung erfolgte über den gleichen Zeitraum wie im Feld, der Wassergehalt wurde durch wöchentliches Aufgießen auf das Ausgangsgewicht von 200 g konstant gehalten. Zum Ende des Inkubationszeitraumes wurden die Proben aus der Klimakammer genommen und der  $N_{\min}$ -Gehalt analysiert.

### **Gefäßversuch in der Vegetationshalle (GV 2000).**

Im Rahmen des in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Gefäßversuches wurde in un bepflanzten Gefäßen bei 45 und 60 % WK der Mineralisationsverlauf ermittelt. Hierzu wurde im vierwöchigen Abstand mit drei Einstichen pro Gefäß Bodenmaterial entnommen, das zu einer Mischprobe vereinigt und auf  $N_{\min}$ -Gehalte analysiert wurde. Um den Mineralisationsverlauf im Gefäß nicht zu beeinflussen, wurden die verbleibenden Löcher verfüllt. Die Analysenergebnisse wurden zur Bestimmung des Mineralisationsverlaufes herangezogen. Die Versuchsdauer betrug insgesamt 190 Tage und begann am 28. März 2000.

### Klimakammerversuch 2000 (Klika2000)

In 2000 wurden weitere Inkubationsversuche in Klimakammern mit den gleichen Substratkomponenten wie im Gefäßversuch (GV 2000), jedoch unterschiedlichen C-Frachten und Bebrütungstemperaturen durchgeführt. Die Faktoren und Stufen der Klimakammerversuche sind in Tab. 2.4 dargestellt.

Tab. 2.4: Faktoren und Stufen im Klimakammerversuch (Klika 2000)

Faktoren	Stufen	Abkürzungen
Organische Düngung	Frischkompost *	FriKo
	Fertigkompost *	FerKo
	Pferdemist	PferMi
	Gebrauchtes Champignonkultursubstrat	ChamKo
	Kontrolle ohne organische Düngung	Kontrolle
Temperatur	10 °C	10
	20 °C	20
Kohlenstofffracht	4000 kg C/ha	4000
	8000 kg C/ha	8000
Wiederholungen	5	

\* Gütegesichert entsprechend der Richtlinien der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.

Vor dem Mischen wurden der Kontrollboden und die organische Dünger mit Hilfe einer Erdschleuder homogenisiert. Die Mengen der zugemischten organischen Dünger bezogen sich auf Kohlenstofffrachten von 4000 und 8000 kg C/ha, die genauen Aufwandmengen und Nährstofflieferungen sind in Tab. 2.8 aufgeführt.

Jeweils ein Kilo der Gemische aus Boden und organischem Dünger wurde in perforierte Polyethylenbeutel (PE) eingewogen. Die Perforation am oberen Rand der PE-Beutel sollte einen CO<sub>2</sub>-Austausch während der Bebrütung gewährleisten. Die PE-Beutel wurden verschlossen, in Kunststoffkisten gestellt, und die Kisten nach geplantem Auswertungstermin geordnet in zwei unbeleuchtete Klimakammern (10 und 20 °C) gestapelt. Einem Einfluss von Temperaturgradienten in den Klimakammern wurde durch kontinuierliches Randomisieren und Umstellen der Kisten in allen drei Dimensionen entgegen gewirkt. Die relative Luftfeuchte in den Kammern wurde durch die ständige Befeuchtung des Fußbodens konstant gehalten.

Der Bebrütungszeitraum betrug insgesamt 70 Tage. Am 23. Tag wurden die Proben in der 20 °C Klimakammer mit jeweils 40 ml Wasser nachbefeuchtet. Die Auswertung der Proben ( $N_{\min}$ -Analysen) erfolgte an acht Terminen an den Tagen 0, 3, 7, 14, 21, 32, 50 und 70 der Bebrütung. Aufgrund der zu erwartenden höheren N-Dynamik zu Beginn der Bebrütung wurden die Analysetermine in der Anfangsphase enger gewählt.

## 2.2 Organische Dünger

### 2.2.1 Ausgangsstoffe und Definitionen

Die in den Versuchen eingesetzten organischen Dünger Pferdemist, Kompost und Champost werden im Folgenden genauer beschrieben.

- Die Pferdemiste (PM, PferMi) wurden jeweils vom Betriebsinhaber vor Ort besorgt. Da in der Region um Fuhrberg viele Reitställe existieren, steht strohreicher, fäkalienarmer Pferdemist in ausreichender Menge zur Verfügung.
- Das abgetragene Champignonkultursubstrat (ChamKo) wurde von einem Entsorgungsunternehmen zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um abgetragenes Substrat aus der Champignonzucht, dessen Zusammensetzung nicht genau bekannt ist. Ausgangsstoffe können Pferdemist und Stroh und verschiedene Zuschlagstoffe wie Hühnerkot, Rizinusschrot, Zuckerrübenschnitzel, Kalk etc. sein. Abgetragene Champignonkultursubstrat ist gekennzeichnet durch einen vergleichsweise hohen Nährstoff- und Salzgehalt (Poletschny, 1994).
- Die Komposte (BAK, GK, FriKo, FerKo) stammten aus verschiedenen Kompostierungsanlagen, in denen nativ-organische Bestandteile aus der getrennten Sammlung kommunaler Abfälle (Biotonne) und/oder Grünabfälle aus der Garten- und Landschaftspflege wie Gras- und Strauchschnitt usw. kompostiert werden (Fricke, 1994). Die Komposte entsprachen den Qualitätskriterien der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (Anonym, 1999c).

### 2.2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften

Die Nährstoff- und Schwermetallgehalte sowie einige physikalischen Eigenschaften der organischen Dünger sind in Tab. 2.5 zusammen gestellt.

Tab. 2.5: Chemische und physikalische Eigenschaften der organischen Dünger

Versuch		FV 1997			FV 2000 / GV 2000 / Klika 2000			
		PM	BAK	GK	PferMi	FriKo 70 % BAK	FerKo 100 % GK	ChamKo
Herkunft		n.b.*	Gütersloh	Wesendorf	n.b.*	Wesendorf	Leese	n.b.**
Analytik		***	LUFA Münster	LUFA Hameln	***	***	***	***
Probenahme		25.2.97	5.2.97	27.1.97	24.2.00	24.2.00	24.2.00	24.2.00
Vol. gew.	g/l FM	132	705	401	303	568	657	489
% TS		24,3	73,2	73,6	31,1	48,4	67,0	31,9
pH-Wert		n.b.	8,2	4,7	7,8	7,6	7,8	7,8
Salz	g/l	n.b.	6,8	1,9	n.b.	1,4	3,4	8,6
Rottegrad		n.b.	4	3	n.b.	3	5	5
C/N		26	13	21	18	19	13	14
C <sub>t</sub>	% in TM	42,7	19,5	20,2	32,1	27,6	14,3	30,3
org. Sub.	% in TM	85,6	33,6	40,4	73,4	46,1	24,7	57,1
N <sub>ges</sub>	% in TM	1,6	1,5	1,0	1,8	1,4	1,1	2,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	% in TM	n.b.	0,11	0,04	0,03	0,00	0,03	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% in TM	1,0	0,8	0,3	1,3	0,6	0,5	1,5
K <sub>2</sub> O	% in TM	1,6	1,2	0,4	4,5	0,9	1,2	2,9
MgO	% in TM	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4
CaO	% in TM	1,7	3,1	1,8	3,7	2,3	2,5	12,5
Blei	mg/kg TM	n.b.	44,1	36,4	6,7	29,6	38,6	12,9
Cadmium	mg/kg TM	n.b.	0,5	0,5	0,9	0,7	0,9	1,3
Chrom	mg/kg TM	n.b.	15,7	16,4	2,8	8,9	13,9	3,8
Kupfer	mg/kg TM	n.b.	52,7	21,4	39,7	31,7	30,4	31,6
Nickel	mg/kg TM	n.b.	7,0	6,2	3,8	8,3	11,5	6,9
Quecksilber	mg/kg TM	n.b.	0,08	0,10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	mg/kg TM	n.b.	160	159	215	113	122	153
PCB 28	mg/kg TM	n.b.	0,004	0,002	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PCB 52	mg/kg TM	n.b.	0,002	0,002	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PCB 101	mg/kg TM	n.b.	0,009	0,008	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PCB 138	mg/kg TM	n.b.	0,017	0,014	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PCB 153	mg/kg TM	n.b.	0,015	0,012	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PCB 180	mg/kg TM	n.b.	0,009	0,007	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
PCDD/F	TE ng/kg TM	n.b.	11,1	5,8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

\* vom Betriebsinhaber bereitgestellt, Herkunft nicht genau bekannt,

\*\* von einem Verwertungsunternehmen bereitgestellt, Herkunft nicht genau bekannt,

\*\*\* Labor des Instituts für Gemüse- und Obstbau, Universität Hannover

Im ersten Projekt wurden zur Charakterisierung der organischen Dünger Analyseergebnisse herangezogen, die von den Kompostwerken vor dem Hintergrund der RAL-Gütesicherung in Auftrag gegeben wurden. Der Pferdemist wurde im Labor der Abteilung Gemüsebau nach den in Kapitel 2.4 beschriebenen Methoden analysiert.

Im Versuchsjahr 2000 wurden trotz vorliegender Fremduntersuchungszeugnisse alle organischen Dünger des zweiten Projektes im institutseigenen Labor analysiert. Der aktuelle Nährstoffstatus der organischen Dünger zu Versuchsbeginn war somit bekannt.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der organischen Dünger wichen teilweise deutlich voneinander ab. Besondere Bedeutung im Rahmen dieser Arbeit haben dabei die unterschiedlichen C/N-Verhältnisse und Nährstofffrachten (Kapitel 2.2.3).

Da bei Komposten häufig die vermeintlichen Schadstoffgehalte diskutiert werden, sind in Abb. 2.2 die Schwermetallgehalte der organischen Dünger (mit Ausnahme vom Pferdemist des ersten Projektes) in Relation zu den Schadstoffhöchstgehalten der Bioabfallverordnung (BioAbfV, Anonym, 1998d) dargestellt. Die Unterschreitung dieser Höchstgehalte ist Voraussetzung für die landwirtschaftliche Verwertung von Komposten, die maximal zulässige Ausbringungsmenge von "schadstoffarmen" Komposten beträgt 30 t Trockensubstanz pro Hektar in drei Jahren.

Die im ersten Projekt angewandten Komposte haben die Richtwerte der zum Ausbringungszeitpunkt noch nicht in Kraft getretenen BioAbfV zu maximal 75 % ausgeschöpft, wobei die Schwermetallgehalte im Grüngutkompost mit Ausnahme vom Kupfer nicht wesentlich unter den Werten des Bioabfallkompostes lagen.

Auch die im zweiten Projekt verwendeten Komposte lagen unterhalb der Richtwerte der BioAbfV. Die Kupfer- und Zinkgehalte im Pferdemist waren deutlich höher als in den Komposten und der Cadmiumgehalt des Champignonkultursubstrates lag sogar oberhalb der zulässigen Werte (Kategorie I) der BioAbfV. Unterläge der ChamKo den Regelungen der BioAbfV, wäre eine uneingeschränkte Anwendung im Pflanzenbau nicht zulässig gewesen.

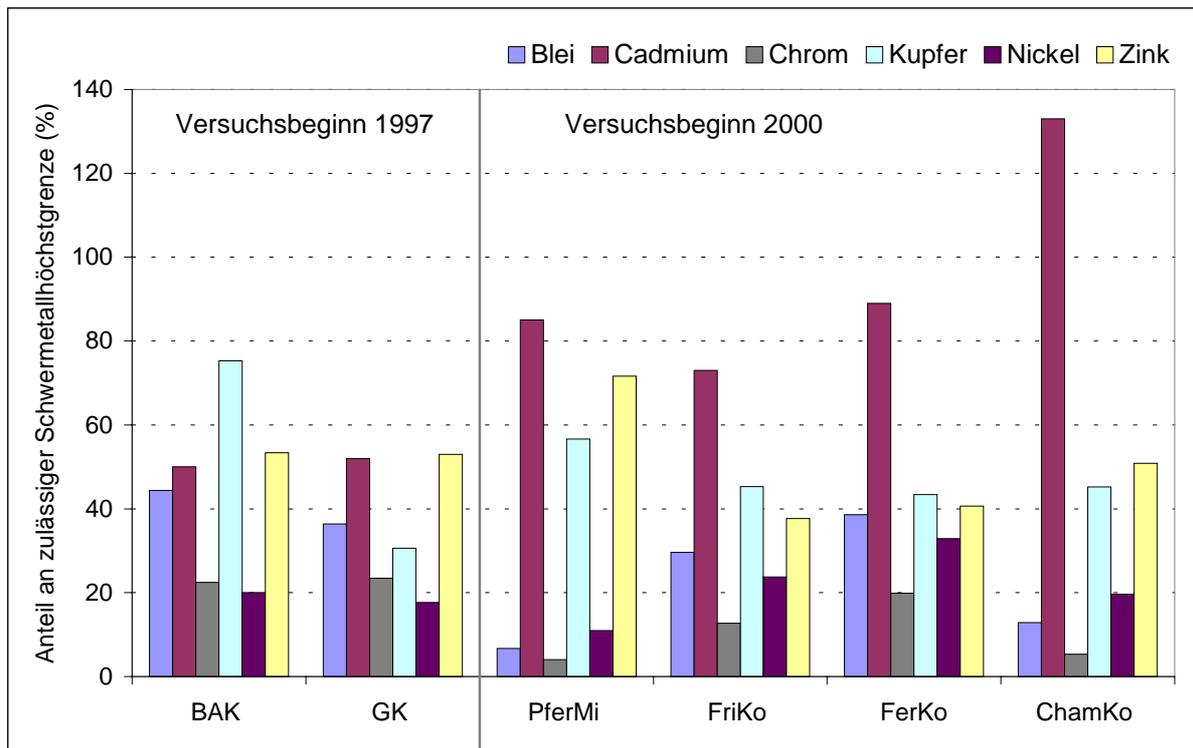


Abb. 2.2: Prozentualer Anteil der Schwermetallgehalte organischer Dünger an den Schadstoffhöchstgehalten in § 4, Abs. 3, Satz 2 BioAbfV

Die Untersuchung von organischen Schadstoffen ist bei organischen Düngern zur Zeit nur für Klärschlämme in der Klärschlammverordnung vorgeschrieben (AbfKlärV, Anonym, 1992). Im Rahmen des ersten Projektes wurden die eingesetzten Komposte in Anlehnung an die AbfKlärV auf ihre Gehalte an Polychlorierten Biphenylen (PCB), Dioxinen und Furanen (PCDD/F) untersucht. Die Richtwerte der AbfKlärV für die Gehalte an diesen Stoffen, die für PCB jeweils bei 0,2 mg/kg TS und für PCDD/F bei 100 ng TE/100 g TS betragen (TE=TCDD-Toxizitäts-Äquivalente), wurden dabei weit unterschritten (Tab. 2.5.).

### 2.2.3 Nährstofflieferungen

Tab. 2.6 enthält die Nährstofffrachten, die durch die organische Düngung auf die Böden gelangt sind. Hierbei handelt es sich um das rechnerische Produkt aus Aufwandmenge und Nährstoffgehalt. Aufgrund der Bezugsbasis „gleiche C-Fracht“ ergeben sich teilweise erhebliche Unterschiede in Aufwandmenge und Nährstofffrachten.

Tab. 2.6: Aufwandmengen und Nährstofffrachten (kg/ha) der organischen Dünger

<b>FV 97</b>	<b>PM</b>		<b>BAK</b>		<b>GK</b>			
FM (dt/ha)	200	600	90	270	164	493		
TM (t/ha)	4,9	14,6	6,3	18,8	10,3	30,9		
C	2074	6222	1221	3664	2079	6237		
N <sub>ges</sub>	79	236	101	303	115	345		
NH <sub>4</sub> -N	n.b.	n.b.	7	21	4	13		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	51	152	51	154	39	116		
K <sub>2</sub> O	78	233	82	245	52	156		
MgO	17	51	26	79	29	87		
CaO	83	249	203	608	219	657		
<b>FV 2000</b>	<b>PfeMi</b>		<b>FriKo</b>		<b>FerKo</b>			
FM (dt/ha)	96		180		209			
TM (t/ha)	3,0		8,7		14,0			
C	960		2412		2000			
N <sub>ges</sub>	55		125		154			
NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	1		0,24		4,16			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	39		48		67			
K <sub>2</sub> O	134		75		167			
MgO	12		25		26			
CaO	1972		197		347			
<b>GV und Klika 2000</b>	<b>PferMi</b>		<b>FriKo</b>		<b>FerKo</b>		<b>ChamKo</b>	
FM (dt/ha)	401	801,8	299	598	417	834,2	414	829
TM (t/ha)	12,5	24,9	14,5	28,9	27,9	55,9	13,2	26,4
C	4001	8000	4000	8000	3999	8000	3995	8000
N <sub>ges</sub>	227	455	207	414	308	617	279	559
NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	3,56	7,11	0,39	0,78	8,32	16,65	17	33,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	161	322	80	160	135	269	202	405
K <sub>2</sub> O	558	1115	124	249	333	666	378	758
MgO	52	103	41	83	52	105	51	103
CaO	459	918	327	654	694	1389	1655	3314

## 2.3 Datenerfassung

### 2.3.1 Standortparameter

#### 2.3.1.1 Nährstoff- und Humusgehalte

Zur Überprüfung des Nährstoffangebotes im Boden wurden in den Feldversuchen jeweils im Winterhalbjahr Proben aus dem Oberboden entnommen (0-30 cm). Die Ergebnisse der Grundnährstoffuntersuchung (P, K, Mg, CaO,) sowie des pH-Wertes dienten dem Betriebsleiter als Basis für die Düngung (Tab. 2.7).

Die Phosphat- und Magnesiumgehalte lagen gemäß den Empfehlungen der niedersächsischen Officialberatung (Anonym, 2001b) während des gesamten Versuchszeitraumes in der optimalen Gehaltsklasse C, während die Kaliumgehalte im niedrigen bis mittleren Bereich lagen. Der pH-Wert des Bodens lag ab dem zweiten Versuchsjahr im optimalen Bereich (pH 5,8 bis 6,2).

Tab. 2.7: Nährstoffgehalte im Feldversuch und Zuordnung zu Bodengehaltsklassen\*; Mittelwerte über alle Parzellen

		27.02.97		10.01.98		14.01.99		28.12.99	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100 g TM	19	C	16,2	C	14,55	C	13,7	C
K <sub>2</sub> O	mg/100 g TM	5	A	4,4	A	6,73	B	6,37	B
MgO	mg/100 g TM	5,5	C	5,8	C	7,43	D	6,91	C
CaO	mg/100 g TM	52,5		62,7		n.b.		73,11	
pH	CaCl <sub>2</sub>	5,63		6		6,07		5,83	
Org. Subst.	Glühverlust	1,71		2,1		2,18		2,32	

\* Richtwerte für den Spargelanbau (Anonym, 2001b)

Des Weiteren wurden an einigen Terminen die Gesamtgehalte an Kohlenstoff (C<sub>t</sub>) und Stickstoff (N<sub>t</sub>) im Boden analysiert (Tab. 3.3, S.49), die in erster Annäherung zur Charakterisierung der organischen Bodensubstanz herangezogen werden können (Baeumer, 1992). Die Untersuchungsmethoden sind in Kapitel 2.4 beschrieben.

Die Nährstoffgehalte der Substrate im Gefäßversuch (GV 2000) zu Versuchsbeginn sind in Tab. 2.8 zusammen gestellt. Durch das Zumischen der organischen Dünger wurden die Phosphat- und Kaliumgehalte des Kontrollsubstrates um eine Gehaltsklasse angehoben. Die Phosphatgehalte lagen gemäß den Empfehlungen der

niedersächsischen Officialberatung (Anonym, 2001b) in der optimalen Gehaltsklasse C, während die Kalium- und Magnesiumgehalte im niedrigen bis mittleren Bereich lagen. Auch die pH-Werte der Substrate waren unterhalb des optimalen Bereiches von 5,8 bis 6,2.

Die  $N_{\min}$ -Gehalte zu Versuchsbeginn differierten in Abhängigkeit von den Frachten an löslichem Stickstoff in den organischen Düngern. Durch die Zumischung von Frischkompost kam es offensichtlich zunächst zur N-Immobilisierung. Der  $N_{\min}$ -Sollwert für Spargel, der im ersten Standjahr 90 kg/ha in 0-60 cm beträgt, sollte durch die N-Mineralisation sowie eine N-Kopfdüngung in Höhe von 50 kg/ha N im August erreicht werden.

Tab. 2.8: Nährstoffgehalte in den Substraten im Gefäßversuch zum Versuchsbeginn am 29. März 2000 und Zuordnung zu Bodengehaltsklassen\*

		<b>FriKo</b>	<b>FerKo</b>	<b>ChamKo</b>	<b>PferMi</b>	<b>Kontrolle</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100 g TM	11,97 C	13,06 C	12,87 C	12,33 C	10,80 B
K <sub>2</sub> O	mg/100 g TM	4,59 A	9,04 B	6,90 B	3,95 A	1,96 A
MgO	mg/100 g TM	4,10 B	4,58 B	5,02 B	3,77 B	3,15 B
CaO	mg/100 g TM	105,18	98,35	113,58	99,40	106,40
$N_{\min}$	kg/ha	35,96	49,55	69,18	44,39	40,95
pH	(CaCl <sub>2</sub> )	5,62	5,54	5,75	5,58	5,54
Salz	% TS	0,02	0,03	0,06	0,02	0,02

\* Richtwerte für den Spargelanbau (Anonym, 2001b)

### 2.3.1.2 Klimadaten

Die Klimadaten Temperatur, Strahlung, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Windgeschwindigkeit wurden stündlich durch eine Unidata Starlog Wetterstation (UNIDATA Europe GmbH, Gerholzofen) auf der Hofstelle des Betriebes in Fuhrberg aufgezeichnet. Fehlende Daten wurden durch Wetterdaten des Standortes Dasselsbruch, ca. 7 km östlich von Fuhrberg ergänzt, die freundlicherweise vom Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Hannover zur Verfügung gestellt wurden.

### 2.3.2 $N_{\min}$ -Untersuchungen

Bei der  $N_{\min}$ -Untersuchung wird der aktuelle Mineral-Stickstoffgehalt im Boden analytisch bestimmt.

In den Feldversuchen (FV 97-99) wurden mit dem Pürckhauer-Bohrstock Einzelproben bis zu einer Bodentiefe von 90 cm entnommen. Die Bohrkern der Bodenschichten in 0-30, 30-60 und 60-90 cm Tiefe wurden jeweils zu einer Mischprobe vereinigt und bis zur Analyse gekühlt oder tiefgefroren. Pro Versuchsparzelle wurden in fünf bis sieben Einstichen in einem diagonalen Streifen zwischen und entlang der mittleren Auswertungsreihen in den Nettoparzellen Bodenmaterial entnommen. Die Probenentnahme erfolgte von März bis Dezember 1997 in ca. fünfwöchigem Abstand. 1998 und 1999 wurde der Abstand zwischen den Untersuchungen auf sechs Wochen ausgedehnt. Aufgrund der Witterungsverhältnisse wurde auf Untersuchungen im Januar/Februar verzichtet. Ab dem Frühjahr 2000 erfolgten die  $N_{\min}$ -Untersuchungen im achtwöchigen Rhythmus.

Im Gefäßversuch (GV 2000) wurden aus den unbepflanzten Gefäßen im vierwöchigen Abstand Bodenproben gezogen. Mit Hilfe eines speziellen Bohrstocks wurden pro Gefäß mit drei Einstichen Bodenmaterial entnommen, zu einer Mischprobe vereinigt und bis zur Analyse gekühlt oder tiefgefroren. Um den Mineralisationsverlauf im Gefäß nicht zu beeinflussen, wurden die verbleibenden Löcher mit Plastikröhren oder Sand gefüllt.

Im Klimakammerversuch (Klika 2000) wurde an den jeweiligen Auswertungsterminen die in PE-Tüten verpackten Bodengemischen aus den Klimakammern entnommen, aufbereitet und analysiert.

Die analytische Bestimmung der Stickstoffgehalte der Bodenproben wird in Kapitel 2.4 beschrieben. Die analysierten  $N_{\min}$ -Gehalte stellen jeweils den aktuellen Stickstoff-Gehalt zum Untersuchungstermin dar. Sie beinhalten den  $N_{\min}$ -Vorrat zu Versuchbeginn, den seit Versuchbeginn aus organischer Bodensubstanz und aus organischer Düngung mineralisierten Stickstoff sowie den gegebenenfalls durch organische und mineralische Düngung zugeführten mineralischen Stickstoff.

### 2.3.3 Berechnung der Stickstoff-Mineralisation

Die zur Bestimmung der Stickstoff-Mineralisation aus organischen Düngern durchgeführten Inkubationsversuche wurden in Kapitel 2.1.3 detailliert beschrieben. Die Berechnung der mineralisierten Stickstoffmengen erfolgte auf verschiedenen Wegen:

- Bei den Inkubationsversuchen in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt und FV 2000 neu) sowie der parallelen Inkubation in Klimakammern (InkuKlika 98-99) wurde die mineralisierte Stickstoffmenge aus der Differenz zwischen  $N_{\min}$ -Gehalt zu Beginn und zum Ende der Inkubation ermittelt.
- Im Gefäß- und Klimakammerversuch im Jahr 2000 (GV 2000, Klika 2000) errechnet sich die Mineralisation aus den Verläufen der  $N_{\min}$ -Gehalte.

Zur weiteren Charakterisierung der N-Freisetzung werden folgende Begriffe benutzt (Tab. 2.9):

Tab. 2.9: Begriffe und Definitionen zur Charakterisierung der N-Freisetzung

Begriff	Definition	Betreffende Versuche
Netto-Mineralisation (kg/ha)	Differenz zwischen $N_{\min}$ -Werten zum Anfang und zum Ende der Inkubation	Inkubationsversuche in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu) Klimakammerversuche (InkuKlika 98-99)
	aktueller $N_{\min}$ -Wert abzüglich des $N_{\min}$ -Wertes zum Beginn der Inkubation	Gefäßversuch (GV 2000) Klimakammerversuch (Klika 2000)
Netto-Mineralisationsraten (kg/ha · Tag)	Netto-Mineralisation bezogen auf eine Zeiteinheit (z. B. Tag oder Monat)	alle Versuche
Kumulierte Netto-Mineralisation (kg/ha)	Aufaddierung von täglichen Mineralisationsraten über bestimmte Zeiträume	alle Versuche
Relative Netto-Mineralisation (% $N_i$ )	Kumulierte Netto-Mineralisation in Bezug zum Gesamt-N-Gehalt ( $N_i$ ) im Boden	alle Versuche

### 2.3.4 Pflanzenparameter

Zur Quantifizierung des Einflusses der organischen Düngung auf die Spargelpflanzen wurden Wachstums- und Ertragsgrößen gemessen. Das Wachstum wurde anhand von zerstörungsfreien Bonituren des oberirdischen Aufwuchses sowie durch die Entnahme von ganzen Pflanzen bestimmt. Die Pflanzen wurden getrennt in oberirdischem Aufwuchs (Phyllokladien, Stängel und Stiele), unterirdischen Stängeln (Strünke) und Kronen (Rhizome, Knospen, Speicher- und Saugwurzeln) gemessen, gewogen und analysiert. Im zweiten und dritten Standjahr wurden im Feldversuch die Erträge und Qualitäten des Erntegutes festgehalten. Die Untersuchungstermine, Mess- und Probengrößen sind Tab. 2.10 zu entnehmen.

Tab. 2.10: Termine, Mess- und Probengrößen der Pflanzenuntersuchungen im Feldversuch und Gefäßversuch

Pflanzen- teil	Versuch	Stand- jahr	Termin	Messgröße	Probengröße
Oberirdischer Aufwuchs	FV 97-99	1.	15.09.97	Triebanzahl, -länge FM, TM, % TS, % N	jede zehnte Pflanze, n=20 Pflanzen pro Parzelle Mischprobe aus je einem Trieb von jeder zehnten Pflanze n=20 Triebe
	FV 97-99	2.	06.08.98	Triebanzahl, -länge	jede zehnte Pflanze, n=20 Pflanzen pro Parzelle
			02.09.98	FM, TM, % TS, % N	Mischprobe aus je einem Trieb von jeder zehnten Pflanze n=20 Triebe
			04.09.98	Triebanzahl, -länge, -durchmesser	zwei Pflanzen pro Parzelle
			04.09.98	FM, TM, % TS, % N	zwei Pflanzen pro Parzelle
GV 2000	1.	14-tägig 11.10.00	Triebanzahl, -länge FM, TM, % TS, % N	alle Pflanzen alle Pflanzen	
Kronen	FV 97-99	2.	18.09.98	FM, TM, % TS, % N, P, K, Ca, Mg	zwei Pflanzen pro Parzelle
	GV 2000	1.	24.10.00	FM, TM, % TS, % N, P, K, Ca, Mg	alle Pflanzen
Spargel- stangen	FV 97-99	2.	04.05.98	FM, TM, % TS, % N	Mischprobe aus drei Stangen pro Parzelle
	FV 97-99	3.	26.05.99	FM, TM, % TS, % N	Mischprobe aus drei Stangen pro Parzelle
Sonsti- ges	FV 97-99	2.	22.09.98	% N in TS	Abgefallene Phyllokladien
		2.	21.10.98	% N in TS	Abgestorbenes Kraut, ohne Phyllokladien

## 2.4 Analytik

### Bodenuntersuchungen

Die Bodenuntersuchungen erfolgten im Labor des Institutes für Gemüse- und Obstbau in Anlehnung an die Methoden des VDLUFA (Anonym, 1991a):

**N<sub>min</sub>-Gehalte** Extraktion von 50 g feldfeuchtem Boden mit 100 ml 0,1 mol KCl-Lösung, photometrische Bestimmung von NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-gebundenem N (Methode A 6.1.4.1 nach VDLUFA) und NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (DIN 38406). Umrechnung in kg/ha bezogen auf eine Schichtdicke von jeweils 30 cm unter der Annahme einer Lagerungsdichte von 1,4 g/cm<sup>3</sup> in 0-30 cm und 1,7 g/cm<sup>3</sup> in 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe

**pH-Wert** Suspension mit 0,025 n CaCl<sub>2</sub>-Lösung, pH-Elektrode

**Salzgehalt** Wassereextrakt (1:10), elektrischen Leitfähigkeit

**Org. Substanz** Veraschung bei 550 °C, Muffelofen

$$\text{Org. Subst.} = \frac{(\text{TrockengewichtBoden} - \text{RestgewichtBoden})}{\text{TrockengewichtBoden}} * 100 \quad (\%)$$

$$C_{\text{rechnerisch}} = \text{org. Subst.} * 0,58 \quad (\%)$$

**Phosphat** Pflanzenverfügbare Phosphor als P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Extraktion CAL-Methode, photometrisch

**Kalium** Pflanzenverfügbares Kalium als K<sub>2</sub>O, Extraktion CAL-Methode, Atom-Absorptions-Spektralphotometer (AAS)

**Magnesium** Pflanzenverfügbares Magnesium als MgO, Extraktion mit 0,025 n CaCl<sub>2</sub>-Lösung, AAS

**CaO** Austauschbares Ca als CaO, Extraktion mit 0,5 n Natriumacetat (pH 8,2), AAS

**C<sub>t</sub> und N<sub>t</sub>** Elementaranalyse nach Dumas

**WG<sub>grav</sub>** Trocknung feldfeuchter Bodenproben (FG=Frishgewicht) bei 105 °C, zurückwiegen (TG=Trockengewicht). Berechnung des gravimetrischen (WG<sub>grav</sub>) und volumetrischen (WG<sub>vol</sub>) Wassergehaltes nach Ehlers (1996):

$$\text{WG}_{\text{grav}} = \frac{(FG - TG)}{TG} * 100 \quad (\text{Gew.-%})$$

$$\text{WG}_{\text{vol}} = \text{WG}_{\text{grav}} * d_B \quad (\text{Vol.-%})$$

(d<sub>B</sub>=Lagerungsdichte des Bodens)

## Untersuchung der organischen Dünger

Im ersten Projekt wurde der Pferdemist im Labor des Instituts für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover analysiert. Folgende Methoden wurden angewandt:

N <sub>ges</sub>	nach Kjeldahl
Phosphor	Pflanzenverfügbares P als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Extraktion CAL-Methode, photometrisch
Kalium	Pflanzenverfügbares K als K <sub>2</sub> O, Extraktion CAL-Methode, Atom-Adsorptions-Spektralphotometer (AAS)
Mg	Pflanzenverfügbares Mg als MgO, Extraktion mit 0,025 n CaCl <sub>2</sub> -Lösung, AAS
Ca	Austauschbares Ca als CaO, Extraktion mit 0,5 n Natriumacetat (pH 8,2), AAS

Die Untersuchung der organischen Dünger des zweiten Projektes erfolgte in Anlehnung an die Güte- und Prüfbestimmungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost (Anonym, 1994):

P, K, Mg, Ca	Königswasseraufschluß (Methodenbuch Kap. II. 13.2)
Schwermetalle	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn Königswasseraufschluß (Methodenbuch Kap. II. 12) Hg wurde nicht untersucht
C <sub>t</sub> und N <sub>t</sub>	Elementaranalyse nach Dumas
NH <sub>4</sub> -N + NO <sub>3</sub> -N	Extraktion mit 0,1 mol KCl-Lösung, Destillation

Salzgehalt, pH-Wert, organische Substanz, Volumengewicht, Wassergehalt (TS-Gehalt) und Rottegrad wurden, wie im Methodenbuch (Anonym, 1991a) beschrieben, bestimmt.

## Pflanzenuntersuchungen

Zur Bestimmung der Stickstoffgehalte im Pflanzenmaterial wurden die Proben zunächst getrocknet. Aufgrund des hohen Wassergehaltes wurden die Spargelstangen gefriergetrocknet, die anderen Pflanzenteile wurden im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet und vermahlen. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes erfolgte durch die Kjeldahlanalyse mit Nitratreduktion (Nelson und Sommers, 1973).

Zur Bestimmung der Nährstoffgehalte in den Kronen wurde die getrocknete und gemahlene Pflanzensubstanz bei 500 °C im Muffelofen trocken verascht. Die Bestimmung des P-Gehaltes erfolgte photometrisch mit der Vanadat-Methode (Scheffer und Pajenkamp, 1951), K, Mg und Ca wurden am AAS bestimmt.

## 2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Softwareprogramm SAS<sup>®</sup> 8.1 (SAS Institute Inc.).

Die erhobenen Daten wurden zunächst mit der SAS-Prozedur PROC GLM varianzanalytisch verrechnet. Ergab sich eine signifikante Wirkung, erfolgten Mittelwertvergleiche zum Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$ . Voraussetzung hierfür waren Normalverteilung und Varianzhomogenität der Daten. Die Mittelwertvergleiche erfolgten mit dem TUKEY-Test sowie bei der Netto-Mineralisation im Feldversuch aufgrund unbalancierter Daten nach TUKEY-KRAMER.

Da die Mineralisation im Klimakammerversuch keine durchgehende Normalverteilung und Varianzhomogenität zeigten, wurde hier der alpha-adjustierte t-Test (Bonferroni-Prinzip) zur Erhaltung des multiplen Niveaus bei  $\alpha=0,05$  gewählt.

Die Parameter für das Mineralisationsmodell wurden mit den Prozeduren PROC REG für lineare und PROC NLIN für nicht-lineare Regression jeweils zum Signifikanzniveau  $\alpha=0,05$  geschätzt.

Sofern in den zwei- oder dreifaktoriellen Versuchen keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Versuchsfaktoren auftraten, wurden die Mittelwerte über die Faktoren in Tabellen und Diagrammen dargestellt. Statistische Unterschiede der Versuchsvarianten sind durch unterschiedliche Buchstaben, n.s. (nicht signifikant) oder einem Sternchen (\*) gekennzeichnet. Darüber hinaus sind in den Mineralisationsverläufen die Standardabweichungen durch Fehlerbalken dargestellt.

## 3 N-Mineralisation aus organischen Düngern für den Spargelanbau

### 3.1 Einführung

Organische Dünger werden oftmals mit dem Ziel ausgebracht, den Humushaushalt im Boden zu erhalten oder zu erhöhen (Leithold und Hülsbergen, 1998; Sanftleben, 1991). Neben der Nährstofflieferung werden durch organische Dünger die biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften von Ackerböden verbessert (Becher, 1996; Brechelt, 1990; Gerzabek *et al.*, 1995; Giusquiani *et al.*, 1995; Stefens *et al.*, 1996), was sich positiv auf die Bodenfruchtbarkeit und den Ertrag auswirkt (Körschens, 1999a). Da die optimalen Humusgehalte von Böden jedoch sehr eng begrenzt sind, können zu hohe Gehalte negative Umweltwirkungen in der Atmosphäre und im Grundwasser zur Folge haben (Körschens *et al.*, 1998).

Die organische Düngung hat eine Vielzahl von Auf-, Um- und Abbauprozessen der organischen Bodensubstanz zur Folge. Parallel zur Erhöhung der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte im Boden (Dressel *et al.*, 1991; Körschens, 1998; Görlitz *et al.*, 1991) wird die mikrobielle Aktivität und die Umsetzung der bestehenden organischen Bodensubstanz gefördert (Olfs *et al.*, 1990). Bisher gebundene Kohlenstoff- und Stickstoffquellen können hierbei freigesetzt, in neu gebildete Humusstrukturen oder in die Biomasse eingebaut werden.

Der als Humus bezeichnete abgestorbene Anteil der organischen Bodensubstanz wird nach Abbaubarkeit und Funktion in die schnell abbaubare Nährhumus- und die langsam abbaubare Dauerhumusfraktion unterteilt. Während der Nährhumus aufgrund seiner geringen Resistenz gegen mikrobiellen Abbau kurzfristig mineralisierbar ist, besteht der Dauerhumus aus hochmolekularen Huminstoffen (Humin- und Fulvosäuren), in denen der Stickstoff heterozyklisch gebunden und somit schwer mineralisierbar ist. Der Humusgehalt ist eng mit dem Stickstoff-Gesamtgehalt ( $N_t$ ) im Boden korreliert und maßgeblich für die jährliche Mineralisation aus dem Boden-Stickstoffvorrat verantwortlich (Asmus und Görlitz, 1991).

In gleichem Maße wie der Abbau der organischen Bodensubstanz wird auch deren Aufbau durch die organische Düngung beeinflusst. Organische Dünger, die bereits einer weitgehenden mikrobiellen Umsetzung durch einen Rottevorgang unterlagen

und einen vergleichsweise hohen Humifizierungsgrad aufweisen, werden dabei hauptsächlich in die Dauerhumusfraktion des Bodens eingebaut (Leifeld *et al.* 1998). Rottemist oder Komposte mit hohem Rottegrad (Fertigkompost) können somit die Humifizierung der organischen Bodensubstanz beschleunigen, während huminstofffreie Ernterückstände, Stroh und Gründüngung kurzfristig fast vollständig mineralisiert werden (Gottschall, 1992). Die Dynamik der stofflichen Umsetzung wird dabei durch Bodeneigenschaften, Bodennutzung, Mikroorganismenaktivität und klimatischen Verhältnisse usw. bestimmt (Haider, 1999; Küster, 1979). Nach der Zufuhr von organischer Substanz kann es in Abhängigkeit vom C/N-Verhältnis im Boden zu einer starken Konkurrenz zwischen mikrobieller Biomasse und Pflanzen um leicht verfügbare N-Quellen und zur Immobilisierung kommen (Olfs *et al.*, 1990).

Organische Dünger unterscheiden sich besonders im Anwendungsjahr in ihrer N-Verfügbarkeit. Ursachen liegen in den unterschiedlichen Anteilen an mineralischem und organischem Stickstoff und in der Abbaubarkeit der Kohlenstoffverbindungen. So verfügt beispielsweise Grüngutkompost aufgrund seiner Holzanteile (Lignin) im Vergleich zu strohareichem Stallmist (Cellulose) über stabilere Humusstrukturen (Leifeld *et al.*, 1998) und wird folglich weniger schnell mineralisiert (Vogtmann *et al.*, 1991).

Im Anwendungsjahr werden jeweils 5 bis 10 % des  $N_{\text{ges}}$  von Komposten und etwa 15 % des  $N_{\text{ges}}$  von Stallmist freigesetzt (Gutser und Claassen, 1994; Heller, 1999; Kögel-Knabner *et al.* 2000). Im zweiten Jahr nach Ausbringung beträgt die Mineralisation aus Komposten etwa 3 bis 4 % des  $N_{\text{ges}}$  und ca. 8 % aus Stallmist, ab dem dritten Folgejahr jeweils 3,5 % (Gutser und Claassen, 1994).

Im Spargelanbau dient die organische Düngung in erster Linie der Erhaltung und Erhöhung des Humusstatus im Boden. Durch einen ausgeglichenen Humushaushalt soll die langjährige Spargelproduktion und das Erzielen hoher Erträge auf den weniger leistungsfähigen Sandstandorten gesichert werden (Hartmann und Hermann, 1986; Paschold *et al.*, 2000). Auch die im Spargelanbau eingesetzten Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger haben je nach stofflicher Zusammensetzung, Abbaugrad und Aufwandmenge unterschiedliche Auswirkungen auf den Humus- und Stickstoffhaushalt. Aufgrund der mitunter sehr hohen Ausbringungsmengen, die im Spargelanbau bis zu 1000 dt/ha betragen können, gelangen erhebliche Nährstoffmengen auf die Böden, durch die der Bedarf des Bestandes für bestimmte Nährstoffe vollkommen gedeckt werden kann (Poletschny, 1994).

Besonders die Kalkulation der N-Nachlieferung bereitet hierbei Schwierigkeiten (Scharpf, 1999). Etwa 90 bis 95 % des im Boden vorliegenden  $N_T$ -Gehaltes sind organisch gebunden, wovon jährlich zwischen 1 und 3 % mineralisiert werden (Asmus und Görlitz, 1991). Da die Mineralisation nur selten linear, sondern in Phasen mit gesteigerter, konstanter und stagnierender Umsatzrate verläuft (Stadelmann *et al.*, 1983), und von einer Vielzahl externer Faktoren abhängt, sind in der Praxis häufig grobe Schätzfehler die Folge (Paschold *et al.*, 1999). Für die N-Versorgung der Pflanzen ist somit nicht nur die Höhe, sondern auch der zeitliche Verlauf der Mineralisation relevant. Darüber hinaus spielen Mineralisations- und Immobilisierungsvorgängen nicht nur aus der Sicht der Pflanzenernährung, sondern auch aus Gründen des Grundwasserschutzes eine besondere Rolle.

Zur Bestimmung der N-Nachlieferung aus Böden werden verschiedene methodische Ansätze wie Bracheparzellen und N-Nullparzellen-Methode zur Messung der Mineralisation im Freiland herangezogen (Olf und Werner, 1993). Inkubations- oder Brutversuche ermöglichen den Vergleich der potenziellen Mineralisation verschiedener oder verschieden behandelter Böden unter standardisierten, reproduzierbaren Laborbedingungen (Keeney und Bremner, 1966; Stanford und Smith, 1972; Zöttl, 1958). Des Weiteren wird der Vorgang der N-Mineralisation durch verschiedene Modellansätze beschrieben (Übersicht bei Engel *et al.*, 1993).

Ziel der hier dargestellten Untersuchungen war es, mit Hilfe von Inkubationsversuchen *in situ* und unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer praxisnahe Aussagen über die N-Freisetzung aus im Spargelanbau angewandten organischen Düngern sowie deren Auswirkungen auf den Humushaushalt zu erhalten. Im Vordergrund stand dabei die Wirkung von Komposten aus der getrennten Sammlung und Behandlung kommunaler Bio- und Grüngutabfälle im Vergleich zum traditionell eingesetzten Pferdemit. Hieraus sollen Empfehlungen für die bedarfs- und umweltgerechte Anwendung von Komposten im Spargelanbau abgeleitet werden.

### 3.2 Material und Methoden

Im Rahmen der Forschungsprojekte „Komposteinsatz im Spargelanbau“ und „Umweltgerechte Spargelproduktion“ wurde die N-Nachlieferung im Feldversuch in situ bzw. unter standardisierten Bedingungen in Klimakammern und im Gefäßversuch untersucht (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Übersicht über die Inkubationsversuche

Versuch	Inkubation	Abkürzung	
Feldversuch	Inkubation in situ „Runge-Proben“	InkuFV 98-99	
	Inkubation in Klimakammer	InkuKlika 98-99	
	Fortsetzung ungedüngt	Inkubation in situ „Runge-Proben“	FV 2000alt
	Fortsetzung mit neuer organische Düngung	Inkubation in situ „Runge-Proben“	FV 2000neu
Gefäßversuch	Verlauf der Mineralisation in unbepflanzten Gefäßen	GV 2000	
Klimakammerversuch	Inkubation in Klimakammern bei 10 und 20 °C	Klika 2000	

Im Feldversuch wurde das Mineralisationsverhalten von organischen Düngern ab dem zweiten Jahr nach Ausbringung in situ überprüft. Durch die parallele Bebrütung von Teilproben in Klimakammern bei 20 °C sollten Aussagen über die N-Freisetzung bei standardisierten Mineralisationsbedingungen erzielt werden.

Der Gefäßversuch wurde als Vorversuch für einen ab dem Jahr 2002 geplanten neuen Feldversuch angelegt, in dem die Wechselwirkungen aus Bewässerung und organischer Düngung im Fokus stehen sollen. Ziel des Gefäßversuches war hier unter anderem, den Verlauf der volumetrischen Wassergehalte mit Hilfe von TDR-Wellenleitern (Trase-Bodenfeuchtemesssystem der Firma Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA) bei vorgegebenen Bewässerungsstufen in Gefäßen zu kalibrieren. Da im Feldversuch im ersten Standjahr keine Parameter zum Kronenwachstum erhoben werden konnten, sollten darüber hinaus aus dem Gefäßversuch detailliertere Erkenntnisse über die Wirkung von organischen Düngern auf das Wachstum einjähriger Spargelpflanzen gezogen werden (Kapitel 4). Bei der Untersuchung der  $N_{\min}$ -Gehalte wäre in den bepflanzten Gefäßen eine Verletzung der Kronen unvermeidbar gewesen, so dass die Mineralisationsverläufe in unbepflanzten Gefäßen (bei verschiedenen Wassergehaltsstufen) bestimmt wurde.

Im Klimakammerversuch wurden die gleichen organischen Dünger wie im Gefäßversuch verwandt. Hier sollte überprüft werden, wie sich verschiedenen C-Frachten und Temperaturstufen im Inkubationsversuch auf die Mineralisationsverläufe auswirken. Darüber hinaus sollte der Mineralisationsverlauf mit Hilfe eines einfachen Modells beschrieben werden, um das Ausmaß der zu erwartenden Mineralisation zu verdeutlichen.

Eine detaillierte Beschreibung von Aufbau und Durchführung der Versuche sowie der angewandten organischen Dünger erfolgte in den Kapiteln 2.1 und 2.2. Der Übersicht halber werden die wesentlichen Punkte hier kurz wiederholt.

### **3.2.1 Inkubationsversuche**

#### **Feldversuch**

Auf einer Fläche eines Spargelbetriebes in Fuhrberg, ca. 30 km nördlich von Hannover gelegen, wurde 1997 ein Feldversuch angelegt (FV 97-99), in dem die Wirkung kommunal erzeugter Bioabfall- und Grüngutkomposte (BAK, GK) auf Stickstoffhaushalt, Wachstum und Ertrag der Spargelkultur mit der traditionellen Pferdemistdüngung (PM) verglichen werden sollte (Tab. 2.1, S. 17). Die Ausbringung der organischen Dünger erfolgte auf Basis gleicher Kohlenstofffrachten im Frühjahr 1997 zur Neupflanzung der Spargelanlage.

Die N-Mineralisation aus den organischen Düngern wurde ab dem zweiten Versuchsjahr mit Hilfe von Inkubationsversuchen im Feld (in situ) und paralleler Bebrütung unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer bestimmt. Diese Inkubationsversuche erfolgten jeweils in den hoch gedüngten Parzellen (Aufwandmenge 600 dt/ha, Mineraldüngung 120 kg/ha N).

- **Inkubation in situ**

Zur Bestimmung der Mineralisation im Feld wurden ab dem Frühjahr 1998 in Anlehnung an die Methode von Runge (1970) möglichst ungestörte Bodenproben in Polyethylenbeutel verpackt und ca. sechs bis acht Wochen an der Entnahmestelle im Feld inkubiert (InkuFV 98-99). Die Mineralisationsverläufe im Feldversuch wurden im Rahmen des Nachfolgeprojektes „Umweltgerechte Spargelproduktion“ im Jahr 2000 weiter untersucht. Die bislang untersuchten mit 600 dt/ha

„hoch gedüngten“ Parzellen wurden dabei keiner neuen Behandlung unterzogen (FV 2000alt), während die zu Versuchsbeginn 1997 mit 200 dt/ha beaufschlagten Parzellen Ende März 2000 jeweils das gleiche Aufwandvolumen von Pferdemist (PferMi), Frisch- und Fertigkomposte (FriKo, FerKo) erhielten (FV 2000neu). Die Mineralisation wurde wie in den vorangegangenen Jahren in Anlehnung an die Methode von Runge (1970) bestimmt.

- **Inkubation in einer Klimakammer (InkuKlika 98-99)**

Parallel zu der Bebrütung im Feld wurden die Proben 1998 und 1999 unter konstanten Temperaturbedingungen bei 20 °C ohne Belichtung in einer Klimakammer des Institutes für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover bebrütet. Die Inkubation erfolgte über den gleich Zeitraum wie im Feld, der Wassergehalt wurde durch wöchentliches Aufgießen auf das Ausgangsgewicht konstant gehalten.

Im Jahr 2000 wurde im Rahmen des Nachfolgeprojektes „Umweltgerechte Spargelproduktion“ die Stickstoffwirkung der organischen Dünger Pferdemist (PferMi), Frischkompost (FriKo), Fertigkompost (Ferko) sowie gebrauchtes Champignonkultursubstrat (ChamKo) im Gefäßversuch (GV 2000) sowie in Klimakammerversuchen (Klika 2000) im Anwendungsjahr überprüft.

### **Gefäßversuch**

Im Gefäßversuch (GV 2000) wurden jeweils 30 kg einer Substratmischung aus Kontrollboden mit Pferdemist, Frisch- und Fertigkompost oder abgetragendem Champignonkultursubstrat in geschlossene schwarze Kunststoffgefäße (25 l-Volumeninhalte) gefüllt und auf eine mobile Kleinlysimeteranlage in einer überdachten Vegetationshalle aufgestellt. Die Gefäße wurden auf 45, 60 und 90 % Wasserkapazität aufgewässert. Mischungskriterium für die organischen Dünger war eine gleiche Kohlenstofffracht in Höhe von 4000 kg/ha C. Zur Bestimmung der Mineralisationsverläufe wurden in vierwöchigen Abständen aus den unbepflanzten Gefäßen  $N_{\min}$ -Proben entnommen. Der beobachtete Mineralisationszeitraum („Bebrütungszeitraum“) in der Vegetationshalle betrug 190 Tage.

### Klimakammerversuch

Parallel zum Gefäßversuch wurden die gleichen Mischungen aus Ausgangssubstrat und organischen Düngern (C-Fracht 4000 und 8000 kg/ha) in Klimakammern inkubiert (Klika 2000). Hierzu wurde jeweils ein Kilo des Bodengemisches in perforierte Polyethylenbeutel eingewogen. Die Beutel wurden verschlossen, in Kunststoffkisten gestellt und bei 10 und 20 °C über 70 Tage bebrütet. Die Auswertung der Proben ( $N_{\min}$ -Analysen) erfolgte an acht Terminen.

Eine genauere Beschreibung der Methodik der Inkubationsversuche erfolgte in Kapitel 2.1.3.

### 3.2.2 Berechnung und Darstellung der Stickstoffmineralisation

In den Inkubationsversuchen des Feldversuches wurden in Anlehnung an die Methode von Runge (1970) Bodenproben über einen Zeitraum von ca. 6 bis 8 Wochen in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu) bzw. in der Klimakammer (InkuKlika 98-99) bebrütet. Die Differenz aus  $N_{\min}$ -Gehalt zu Beginn und zum Ende der Bebrütung gilt als Netto-Mineralisation für den Bebrütungszeitraum. Im Gefäß- und Klimakammerversuch (GV 2000 und Klika 2000) wurde die Dynamik der N-Mineralisierung anhand der zeitlichen Verläufe der  $N_{\min}$ -Gehalte ermittelt. Die Netto-Mineralisation für die definierten Zeiträume errechnet sich aus der Differenz zwischen dem  $N_{\min}$ -Gehalt zum Ende des Bebrütungszeitraumes und dem  $N_{\min}$ -Startwert.

Die Mineralisation wurde jeweils in dem Gemisch aus Boden und organischem Dünger ermittelt. Wechselwirkungen zwischen Boden und organischem Dünger, wie der „priming effect“ (Trolldenier, 1990) konnten nicht berücksichtigt werden, so dass von additiven Beziehungen ausgegangen wird. Somit wird hier unter Netto-Mineralisation die N-Mineralisation abzüglich der N-Menge, die Mikroorganismen beim Abbau der organischen Substanz assimilieren, verstanden. Die Division der Netto-Mineralisation durch die Inkubationsdauer in Tagen ergibt tägliche Netto-Mineralisationsraten. Aus zwei zeitversetzt beginnenden, parallel verlaufenden Reihen von „Runge-Proben“ wurden die durchschnittlichen täglichen Netto-Mineralisationsraten für den Überschneidungszeitraum errechnet. Durch Kumulation von durchschnittlichen täglichen Netto-Mineralisationsraten kann die Dynamik der Netto-Mineralisation in definierten Zeiträumen betrachtet werden.

Die hier betrachteten Mineralisationszeiträume wurden an die Rhythmik des Spargelwachstums angepasst (Paschold *et al.*, 1999). Ausgehend von der Wachstumsphase im Frühjahr/Sommer (Mobilisierung der Reservestoffe, Nährstoffaufnahme und Wachstum von Mitte März bis Ende September) und der Ruhephase im Herbst/Winter (Nährstoffverlagerung in die Kronen, beginnende Seneszenz der oberirdischen Sprosssteile ab Ende September und Wachstumsruhe in den Wintermonaten) werden jeweils zwei Mineralisationszeiträume im Jahresverlauf, im Sommer und im Winter, betrachtet (Tab. 3.2).

Nach Abzug der  $N_{\min}$ -Anfangswerte zu Beginn der Bebrütung erhält man die kumulierte Netto-Mineralisation, die in Form von Zeitkurven dargestellt wird. Im Feldversuch wurde die Nachlieferung vom zweiten (1998) bis vierten (2000) Versuchsjahr betrachtet. Für das erste Versuchsjahr 1997 liegen keine Daten zur Bestimmung der Netto-Mineralisation vor.

Zur Beurteilung der Mineralisation aus dem Boden-N-Vorrat, der eng mit dem Humusgehalt korreliert ist (Asmus und Görlitz, 1991; Kersebaum, 1989), wird die relative Netto-Mineralisation auf der Basis von Gesamt-N-Gehalten ( $N_t$ ) zu Beginn der Bebrütungszeiträume und Temperatursummen (Tab. 3.2) errechnet. Die Berechnung der Temperatursummen erfolgte durch Aufsummierung der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (in °C) über den Bebrütungszeitraum. Temperaturen unter 5 °C wurden nicht in die Summierung aufgenommen (Heller, 1999). Die Temperatur wurde in der Nähe des Versuchsfeldes in Fuhrberg, bzw. am Standort Hannover Herrenhausen gemessen. Die Berechnung der Temperatursummen in den Klimakammern erfolgte durch Multiplikation der Klimakammertemperatur mit der Bebrütungsdauer (Tage \* °C).

Tab. 3.2: Mineralisationszeiträume, Dauer, Temperatursummen (°C) und N<sub>t</sub>-Gehalte (kg/ha) in den Inkubationsversuchen im Feldversuch sowie im Gefäß- und Klimakammerversuch

Zeitraum	Beginn	Dauer Tage	Temp.- summe	N <sub>t</sub> -Gehalte (kg/ha) <sup>***</sup> im Boden				
				Ferdemist		Bioabfall- kompost	Grüngut- kompost	
<b>Feldversuch</b>				Ferdemist		Bioabfall- kompost	Grüngut- kompost	
Sommer 98*	25.03.98	194	2576 °C	1995		2472	2589	
Winter 98/99*	05.10.98	164	500 °C	2164		3050	3065	
Sommer 99*	18.03.99	181	2629 °C	2131		3010	3028	
Winter 99/00*	15.09.99	190**	947 °C	1807		2966	2685	
Sommer 00	24.03.00	192	2797 °C	1769		2939	2657	
<b>Versuche 2000</b>				<b>PferMi</b>	<b>FriKo</b>	<b>FerKo</b>	<b>ChamKo</b>	<b>Kontrolle</b>
FV 2000neu	24.03.00	192	2797 °C	2336 <sup>***</sup>	2361 <sup>***</sup>	2318 <sup>***</sup>	-	-
GV 2000	28.03.00	190	2917 °C	4433	4421	4509	4460	4250
Klika 2000	28.03.00	70	1400 °C	4519	4498	4599	4570	4291
Klika 2000****	28.03.00	70	1400 °C	4747	4705	4908	4850	4291

\* parallele Bebrütung in der Klimakammer (InkuKlika 98-99). Klimakammertemperatur 20 °C

\*\* InkuKlika 99: Ende 31.12.99, Dauer 107 Tage

\*\*\* Berechnung N<sub>t</sub>: Elementaranalyse der Bodenuntersuchung vom 15.04.98, 22.09.98, 28.12.99, bezogen auf 30 cm Oberboden, ggf. zu- oder abzüglich Mineralisation bis zum Starttermin, N-Lieferung aus organischer Düngung, N<sub>min</sub>-Gehalt am Starttermin

\*\*\*\* Aufwandmenge 8000 kg/ha C

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Eigenschaften der Ausgangssubstrate und der organischen Dünger

##### 3.3.1.1 Ausgangssubstrate

Bei dem Boden im Feldversuch handelt es sich um einen durch Vorkultur und Bodenvorbereitung bis in ca. 60 cm Tiefe reichenden humosen Sand. Die gemessenen Humuswerte lagen zu Versuchsbeginn im Frühjahr 1997 bei 1,71 % organischer Substanz (Veraschung bei 550 °C), die Bodenreaktion lag bei pH 5,6, die Lagerungsdichte  $d_B$  betrug 1,58 g/cm<sup>3</sup> und das Porenvolumen 41,5 %.

Das im Gefäß- und Klimakammerversuch 2000 eingesetzte Ausgangssubstrat, ein lehmiger Sand mit einem Humusgehalt von 3,88 %, wird im Folgenden als Kontrollsubstrat bezeichnet. Die Bodenreaktion lag bei pH 5,5, die Lagerungsdichte  $d_B$  betrug 1,37 g/cm<sup>3</sup> und das Porenvolumen 48 %.

Die Ausgangssubstrate unterschieden sich deutlich in ihren Gehalten an Gesamtkohlenstoff, -Stickstoff sowie in ihren C/N-Verhältnissen. Die  $C_t$ - und  $N_t$ -Gehalte wurden zu Beginn des Gefäß- und Klimakammerversuches sowie an verschiedenen Terminen im Laufe des Feldversuches analysiert (Tab. 3.3).

Tab. 3.3: Gehalte an  $C_t$  und  $N_t$  (% in TS) und C/N-Verhältnis im Boden im Feldversuch sowie im Kontrollsubstrat von Gefäß- und Klimakammerversuch

	Probenahme	$C_t$ (% in TS)	$N_t$ (% in TS)	C/N
FV 97-99	15.04.1998	1,07	0,05	21,26
	22.09.1998	1,18	0,06	19,10
FV 2000alt und 2000neu	28.12.1999	0,87	0,05	19,25
GV 2000, Klika 2000	28.03.2000	2,06	0,12	17,17

##### 3.3.1.2 Organische Dünger

Detaillierte Angaben zu den verwendeten organischen Düngern sind Kapitel 2.2 zu entnehmen. Der Übersicht halber sind die Aufwandmengen in den Inkubationsversuchen (als Frisch- und Trockenmasse) sowie die darin enthaltenen Kohlenstoff- und Stickstofffrachten in Tab. 3.4 zusammengestellt.

Tab. 3.4: Organische Dünger, Aufwandmengen, C- und N-Frachten in Feldversuch, Klimakammer- und Gefäßversuch

Versuch	Org. Dünger	Frischmasse (dt/ha)	Trockenmasse (t/ha)	C-Fracht (kg/ha)	N <sub>ges</sub> -Fracht (kg/ha)
FV 97-99*	Pferdemist	600	14,6	6222	236
FV 2000alt*	Bioabfallkompost	270	18,8	3664**	303
	Grüngutkompost	493	30,9	6237	345
FV 2000neu***	PferMi	96	3	960	55
	FriKo	180	8,7	2412	125
	FerKo	209	14	2000	154
GV 2000*** Klika 2000***	PferMi	401	12,5	4000	227
	FriKo	299	14,5	4000	207
	FerKo	417	27,9	4000	308
	ChamKo	414	13,2	4000	279
Klika 2000***	PferMi	802	24,9	8000	455
	FriKo	598	28,9	8000	414
	FerKo	834	55,9	8000	617
	ChamKo	829	26,4	8000	559

\* Einmalige Ausbringung im Frühjahr 1997

\*\* C-Fracht war aufgrund eines Analysefehlers zu gering

\*\*\* In den Versuchen 2000 wurden jeweils die gleichen organischen Dünger ausgebracht

### 3.3.2 Mineralisationsverläufe im Feldversuch

Im Sommer 1998 wurden im Mittel zwischen 110 und 117 kg/ha N aus den Komposten und 156 kg/ha N aus dem Pferdemist freigesetzt (Abb. 3.1). Die Netto-Mineralisation in den Pferdemist-Varianten lag demnach signifikant um ca. 40 kg/ha N über den Komposten. Im Sommer 1999 kam es zu einem starken Anstieg der Netto-Mineralisation bis 213 kg/ha N in der Bioabfallkompost-Variante. Die Netto-Mineralisation in der Pferdemist- und Grüngutkompost-Variante lag auf dem gleichen Niveau wie im Vorjahr. Die Netto-Mineralisation in der Grüngutkompost-Variante war mit 88 kg/ha N signifikant am niedrigsten. Im Sommer 2000 konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Varianten mehr festgestellt werden. Es wurden 94 bis 137 kg/ha N freigesetzt, die höchsten Werte wurden in der Grüngutkompost-Variante gefunden, die niedrigsten in der Bioabfallkompost-Variante.

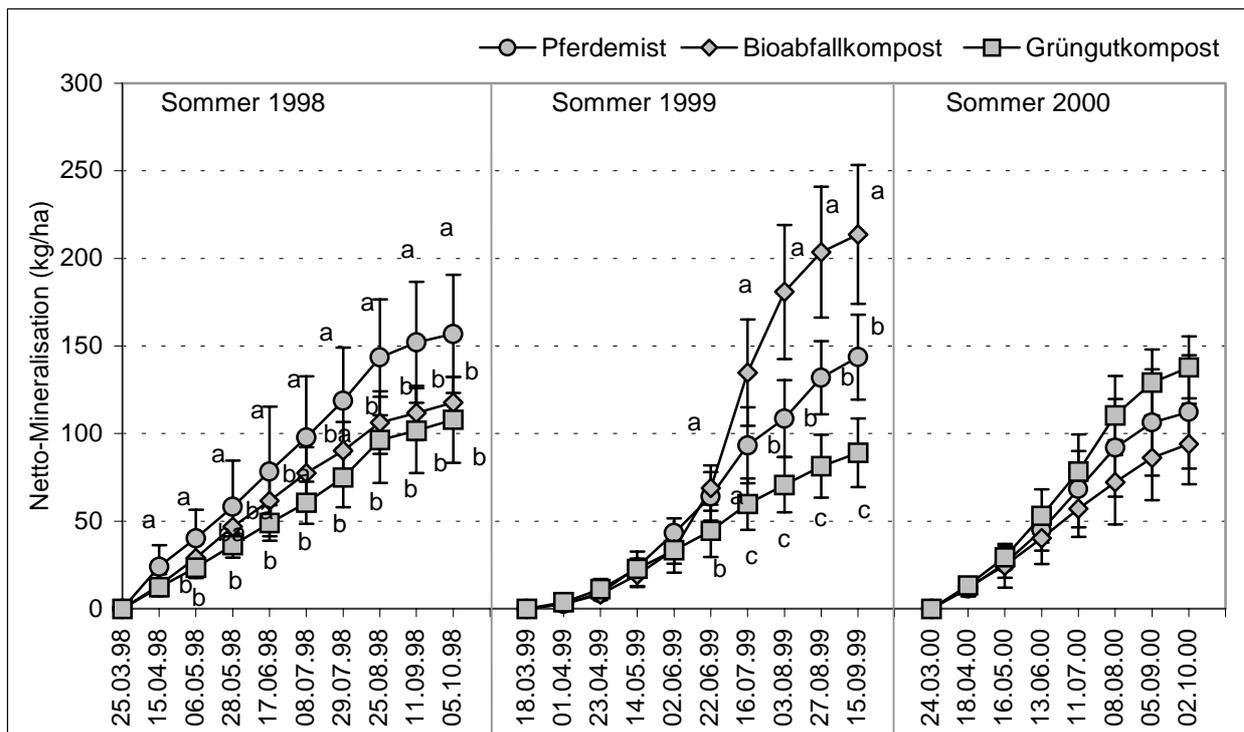


Abb. 3.1: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt) in den Sommerhalbjahren; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

In den Wintermonaten 1998/99, 1999/2000 und 2000/01 wurden jeweils zwischen 15 und 50 kg/ha N freigesetzt (Abb. 3.2). Generell war eine Abnahme des Mineralisationsniveaus zu beobachten. In den Jahren 1998/99 und 1999/2000 lag die Netto-Mineralisation in den Pferdemist-Varianten jeweils signifikant um 10 bis 15 kg/ha N über den Werten der Kompost-Varianten, die mit 37 und 38, bzw. 20 und 24 kg/ha N ungefähr gleich waren. Im Winter 2000/2001 konnten keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt werden, die Netto-Mineralisation lag jeweils bei ca. 15 kg/ha N.

Im Jahr 2000 wurden in den neu gedüngten Varianten im Feldversuch (FV 2000neu) im Sommer zwischen 94 kg/ha in der FerKo- und 122 kg/ha N in der PferMi-Variante mineralisiert (Abb. 3.3). Trotz der geringsten  $N_{\text{ges}}$ -Fracht in der PferMi-Variante (Tab. 3.4) erfolgte hier die signifikant höchste N-Freisetzung. Die Netto-Mineralisation unterschied sich nicht von den ungedüngten Parzellen (FV 2000alt, Abb. 3.1). Im Winter 2000/2001 wurden zwischen 19 und 26 kg/ha N mineralisiert, die Unterschiede waren nicht statistisch gesichert, die Netto-Mineralisation lag jeweils etwa 10 kg/ha über den ungedüngten Parzellen (Abb. 3.3).

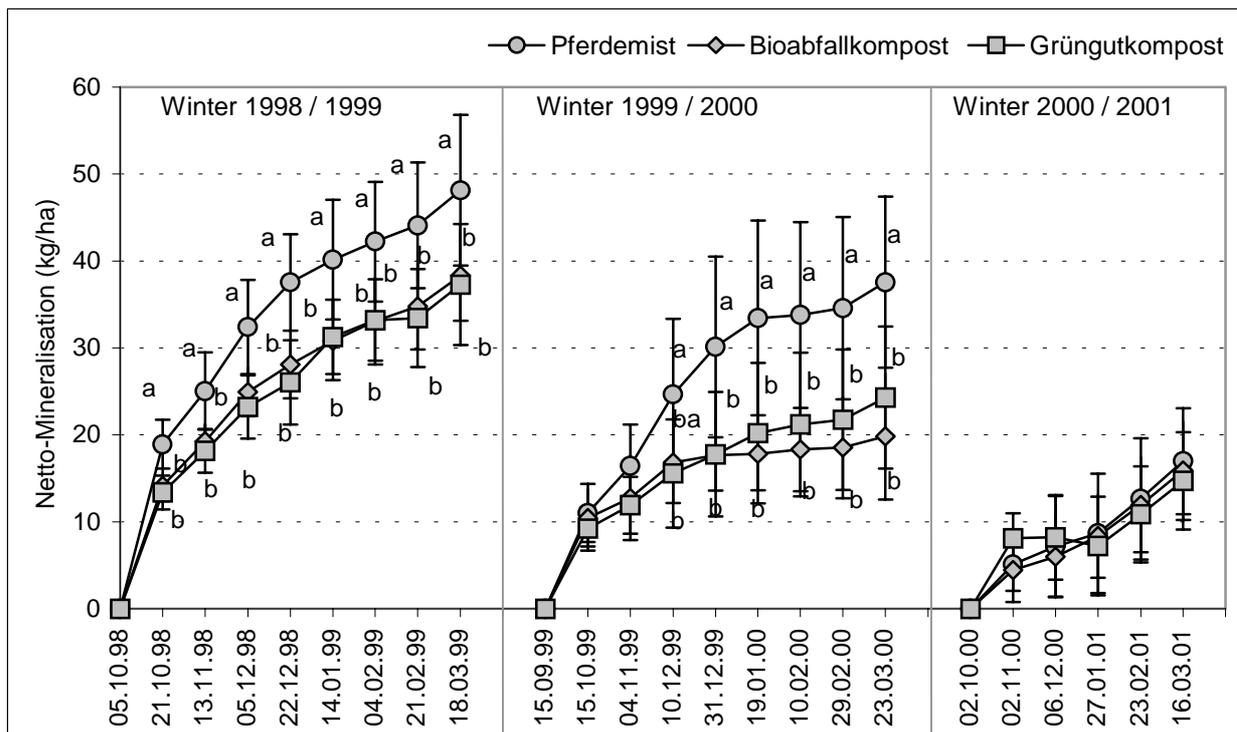


Abb. 3.2: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt) in den Winterhalbjahren; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

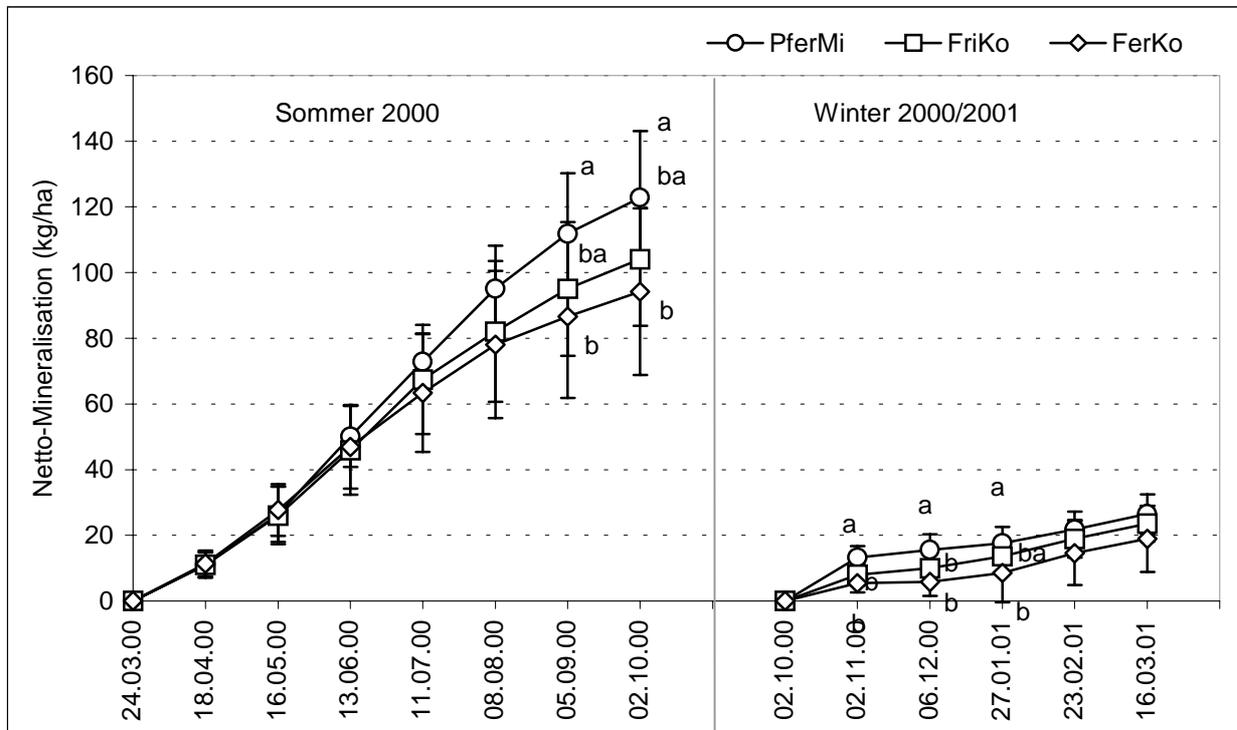


Abb. 3.3: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch in situ (FV 2000neu); kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Die parallele Bebrütung der Proben in der Klimakammer (InkuKlika 98-99) ermöglichte die Beschreibung der Netto-Mineralisation unter standardisierten Temperatur- und Feuchtebedingungen (Abb. 3.4). Die Bebrütungsdauer lag zwischen 164 und 194 Tagen, davon ausgenommen war der Zeitraum im Winter 1999/2000 mit nur 107 Tagen (Tab. 3.2).

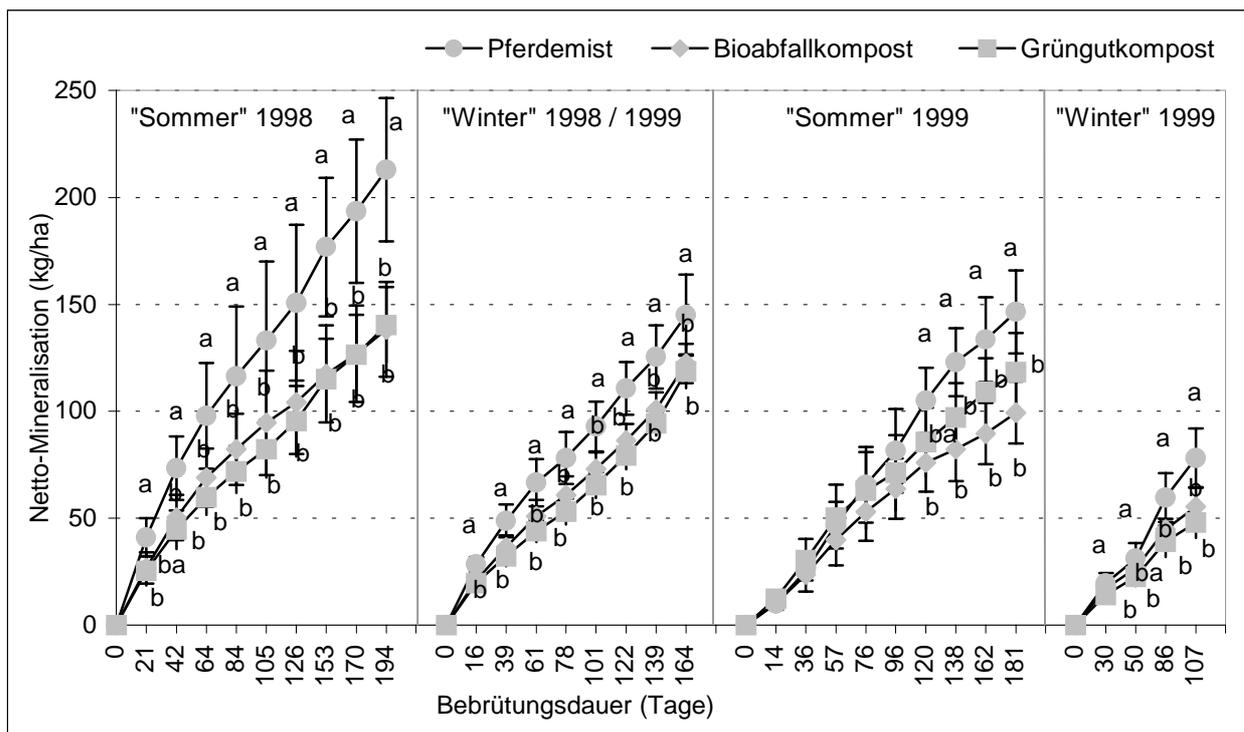


Abb. 3.4: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Feldversuch bei paralleler Inkubation in der Klimakammer bei 20 °C (InkuKlika 98-99). Bebrütungszeiträume vom Sommer 1998 bis zum 31.12.1999; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Bei der Bebrütung in der Klimakammer war die Netto-Mineralisation aus der Pferdemist-Variante in allen Bebrütungszeiträumen jeweils signifikant am höchsten. Zwischen den Komposten konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede festgestellt werden. Nach ca. 160 Tagen Bebrütung wurden jeweils zwischen ca. 90 bis 190 kg/ha N freigesetzt. Die Netto-Mineralisation nahm insgesamt ab, wobei die Abnahme in der Pferdemist-Variante am deutlichsten war.

Für die N-Versorgung der Spargelpflanzen, bzw. die N-Überschüsse ist nicht die Mineralisation aus den organischen Düngern allein, sondern aus dem Gemisch aus Boden und eingebrachtem organischen Dünger verantwortlich. Die Mineralisation korreliert somit mit dem  $N_t$ -Gehalt, der wiederum von der organischen Düngung, deren C- und N-Fracht sowie Umsatzrate im Boden abhängt. Da die Kohlenstofffracht in den Versuchen – mit Ausnahme von FV 2000neu – normiert wurde, unterschieden sich bei unterschiedlichen C/N-Verhältnissen die N-Frachten der organischen Dünger teilweise erheblich (Tab. 3.4). Zur Beurteilung der Netto-Mineralisation aus dem Boden mit eingemischtem organischen Dünger wird daher im Folgenden als Bezugsbasis der Gesamtstickstoff-Gehalt im Boden ( $N_t$ ) zu Beginn des jeweiligen Bebrütungszeitraumes herangezogen (Tab. 3.2). Hierdurch können auch die verschiedenen Mineralisationszeiträume miteinander verglichen werden.

In den Inkubationsversuchen in situ und in der Klimakammer war die relative Netto-Mineralisation in %  $N_t$  zum Ende des Bebrütungszeitraumes trotz unterschiedlicher Bebrütungsdauer und -temperatursumme in der Pferdemit-Variante meist signifikant am höchsten (Tab. 3.5).

Tab. 3.5: Relative Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) in den Bebrütungszeiträumen der Inkubationsversuche in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu) und Klimakammer (InkuKlika 98-99). Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Inkubation in situ		Temp.- Dauer	Temp.- summe	PM	BAK	GK
Sommer	1998 25.03.-05.10.98	194	2576	7,87 a	4,76 b	4,17 b
	1999 18.03.-15.09.99	181	2629	6,74 a	7,10 a	2,94 b
	2000 24.03.- 02.10.00	192	2797	6,35 a	3,20 b	5,19 ba
Winter	1998 05.10.98-18.03.99	164	500	2,25 a	1,32 b	1,22 b
	1999 15.09.99-23.03.00	190	947	2,08 a	0,67 b	0,90 b
	2000 02.10.00-16.03.01	165	867	0,95	0,73	0,75
<b>FV 2000neu</b>				<b>PferMi</b>	<b>FriKo</b>	<b>FerKo</b>
Sommer	2000 24.03.- 02.10.00	192	2797	5,25	4,56	4,17
Winter	2000 02.10.00-16.03.01	165	867	1,38	1,22	0,93
<b>Inkubation in Klimakammer</b>				<b>PM</b>	<b>BAK</b>	<b>GK</b>
	1998 25.03.-05.10.98	194	3880	10,68 a	5,59 b	5,42 b
	1999 18.03.-15.09.99	181	3620	6,87 a	3,30 b	3,91 b
	1998 05.10.98-18.03.99	164	3280	6,70 a	4,03 b	3,88 b
	1999 15.09.- 31.12.99	107	2140	4,32 a	1,87 b	1,79 b

Während in den Sommermonaten im Feld 7,87 bis 6,35 % des  $N_t$ -Gehaltes im Boden mineralisiert wurden, waren es in den Wintermonaten 2,25 bis 0,95 %. In den Kompost-Varianten war die relative Netto-Mineralisation mit Ausnahmen signifikant niedriger. Im FV 2000neu wurden im Sommer 2000 zwischen 4,17 in der FerKo-Variante und 5,25 %  $N_t$  in der PferMi-Variante freigesetzt.

In allen Varianten war im Laufe der Jahre ein Rückgang der relativen Netto-Mineralisation zu verzeichnen. Dieses gilt besonders für die Inkubation in Klimakammern. Hier war die relative Netto-Mineralisation in der Pferdemist-Variante jeweils etwa doppelt so hoch wie in den Kompost-Varianten.

Die Darstellung des Zusammenhangs zwischen relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) und Temperatursummen (Tage \* °C) ermöglicht den Vergleich der Inkubationsversuche in situ mit denen in der Klimakammer bei gleichzeitiger Eliminierung des Einflusses der Jahreszeiten (Abb. 3.5).

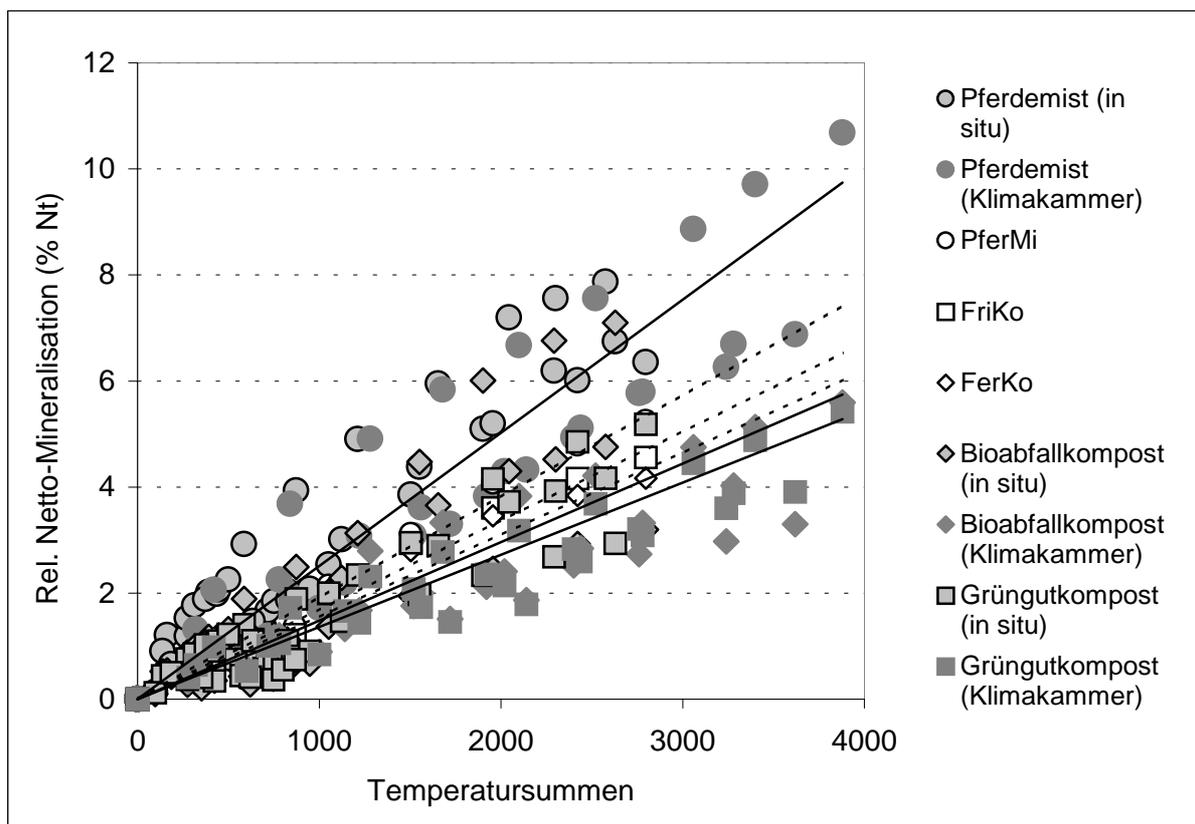


Abb. 3.5: Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage \* °C) und relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ). Eingezeichnete Linien repräsentieren von oben nach unten die Regressionsgeraden von PM, PferMi, FriKo, FerKo, BAK und GK; Datensätze: InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu und InkuKlika 98-99)

Es besteht ein enger linearer Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage \* °C) und relativer Mineralisation in %  $N_t$  (Tab. 3.6). Das Bestimmtheitsmaß der Bioabfallkompost-Varianten ist aufgrund der außergewöhnlich hohen Mineralisation in situ im Sommer 1999 etwas niedriger, als bei Pferdemit und Grüngutkompost.

Tab. 3.6: Steigungsmaß  $a$  und Bestimmtheitsmaß  $r^2$  der linearen Regression von relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) und Temperatursummen (Tage \* °C) im Feldversuch (alle Datensätze InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu und InkuKlika 98-99)

	$a$	$r^2$
Pferdemist (PM)	0,0025	0,8712
Bioabfallkompost (BAK)	0,0015	0,703
Grüngutkompost (GK)	0,0014	0,8646
PferMi	0,0019	0,9777
FriKo	0,0017	0,9628
FerKo	0,0016	0,9236

### 3.3.3 Mineralisationsverläufe im Gefäß- und Klimakammerversuch

Im Gefäßversuch (GV 2000) kam es aufgrund eines Berechnungsfehlers in den 90 % WK-Varianten zur Staunässe, in deren Folge es offensichtlich zu reduzierenden Bedingungen und zu Denitrifikationsverlusten kam (Tab. 9.2 im Anhang). Die  $N_{\min}$ -Werte in der 90 % WK-Variante waren somit für die Berechnung der Mineralisation ungeeignet. Da sich die  $N_{\min}$ -Werte in den 45 und 60 % WK-Varianten nicht unterschieden, wurden sie zu einem Mittelwert zusammengezogen, der jeweils in die folgenden Berechnungen einging.

In den Mineralisationsverläufen im Gefäßversuch sind keine einheitlichen Tendenzen erkennbar (Abb. 3.6). Im Kontrollsubstrat und in der FerKo- und PferMi-Variante verlief die Netto-Mineralisation nahezu linear, während in den Friko- und ChamKo-Varianten zeitweise zur Immobilisierung kam. Die höchsten Werte am Ende des Bebrütungszeitraums wurden mit 86 kg/ha N in der ChamKo-Variante gemessen, die geringsten in der ungedüngten Kontrolle mit 46 kg/ha N.

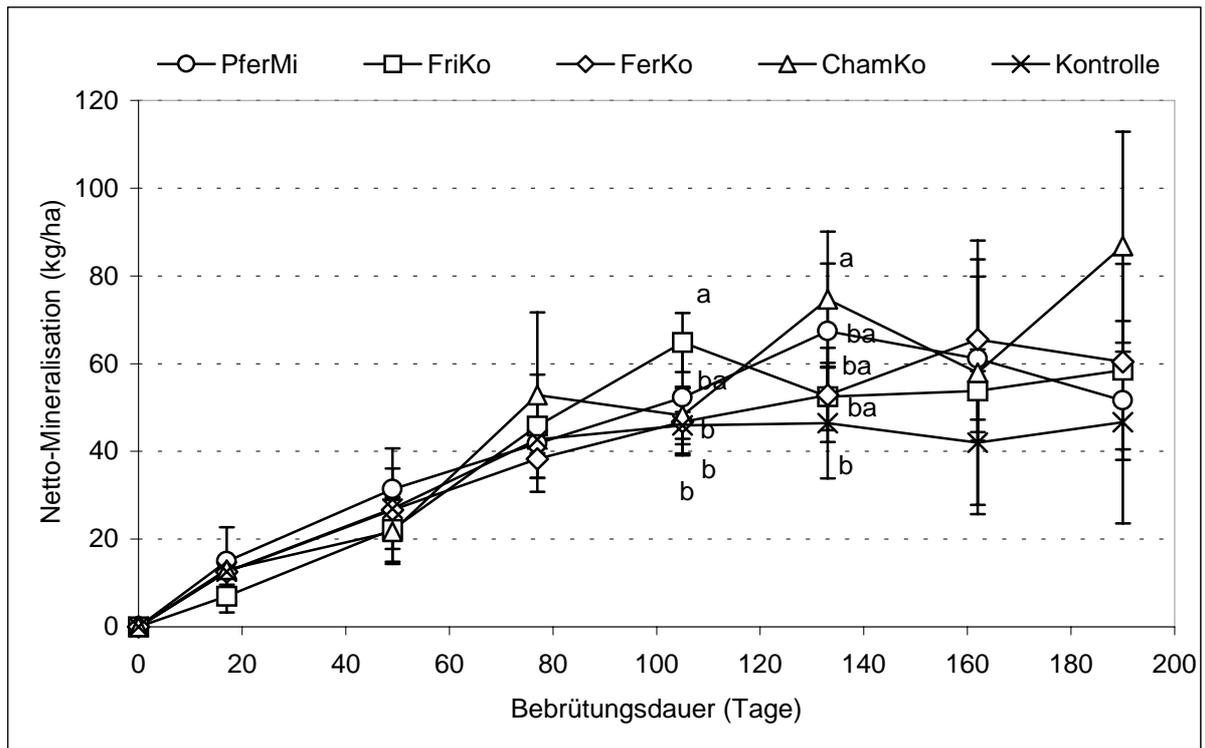


Abb. 3.6: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Gefäßversuch; Mittelwerte aus den Bewässerungsstufen 45 und 60 % Wasserkapazität, kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Im Klimakammerversuch (Klika 2000) wurden innerhalb von 70 Tagen bei 10 °C unabhängig vom Substrat ca. 30 bis 50 kg/ha N und bei 20 °C ca. 80 bis 95 kg/ha N freigesetzt (Abb. 3.7). Bei 10 °C war die Netto-Mineralisation in der ChamKo-Variante signifikant höher als in der FriKo-Variante, die Verläufe in der FerKo-, PferMi- und Kontroll-Variante unterschieden sich nicht. Verläufe unterhalb der Kontroll-Variante (FriKo, FerKo, PferMi) weisen auf eine Stickstoffimmobilisierung hin.

Bei 20 °C waren die Kurvenverläufe steiler und die Werte lagen weiter auseinander. Wegen der Streuung der Einzelwerte unterschieden sich nur die Mineralisationsverläufe in der FriKo-Variante – mit Ausnahme vom Tag 70 – signifikant von der ChamKo-Variante, wo die Mineralisation tendenziell jeweils am höchsten war. Die Verläufe in der FerKo- und Kontroll-Variante waren nahezu identisch. Die Werte der Netto-Mineralisation bei der Aufwandmenge 8000 kg/ha C sind der Tab. 9.3 im Anhang zu entnehmen.

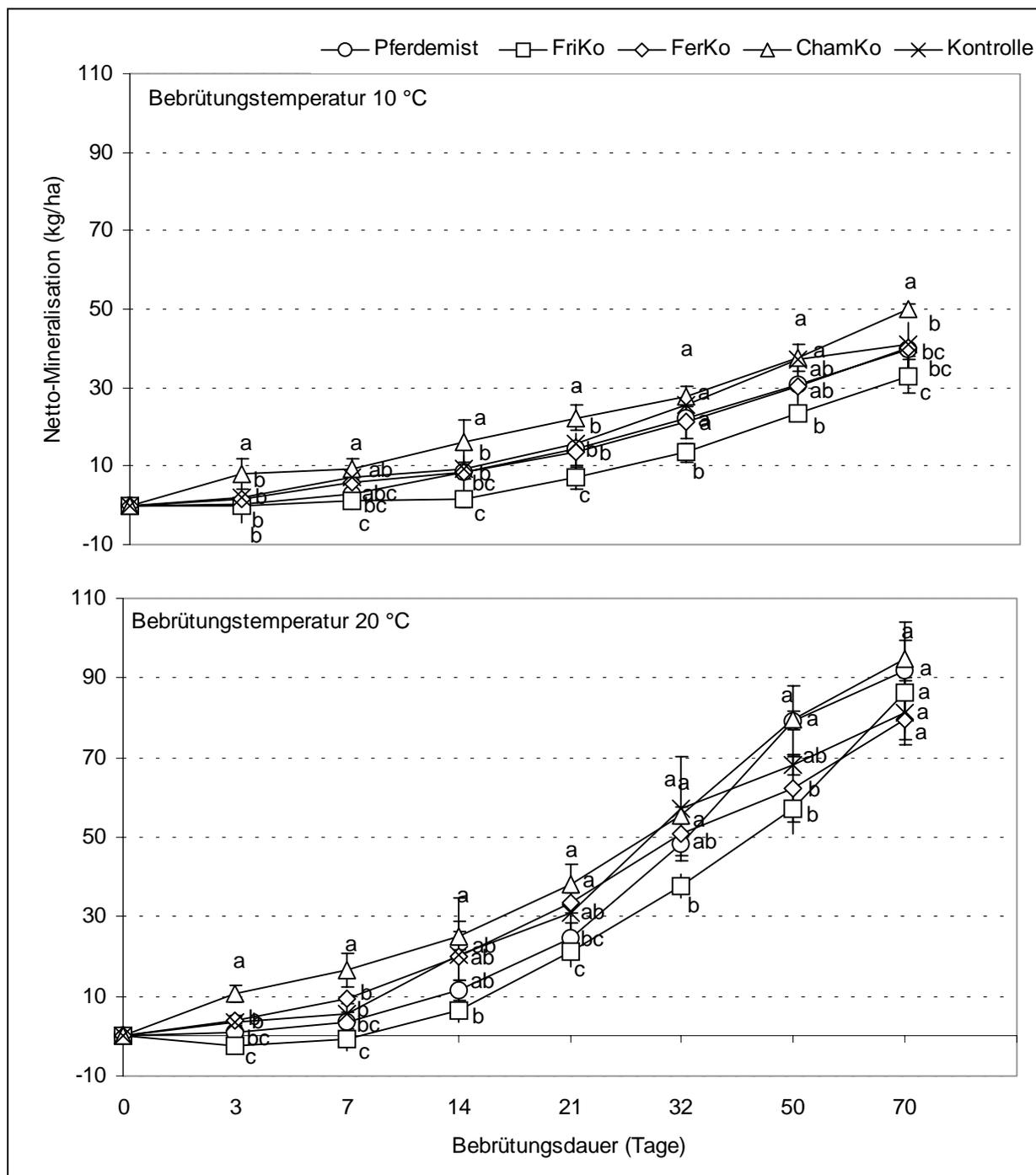


Abb. 3.7: Zeitlicher Verlauf der Netto-Mineralisation (kg/ha) im Klimakammerversuch (Aufwandstufe 4000 kg/ha C). Oben Bebrütungstemperatur 10 °C, unten 20 °C; kumulierte Werte, Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Der Bezug der Netto-Mineralisation zum Boden-N-Vorrat ( $N_t$ ) ermöglichte auch im Klimakammerversuch den direkten Vergleich der Versuchsvarianten (Tab. 9.4 im Anhang). Die Aufwandmenge hatte an keinem Auswertungstermin einen statistisch gesicherten Einfluss auf die relative Netto-Mineralisation in %  $N_t$ .

Die Regressionsrechnung ergab eine enge Beziehung zwischen Temperatursummen und relativer Netto-Mineralisation im Klimakammerversuch (Abb. 3.8). In einem weiteren Schritt wurden einfache Mineralisationsmodelle an die beobachteten Mineralisationsverläufe angepasst.

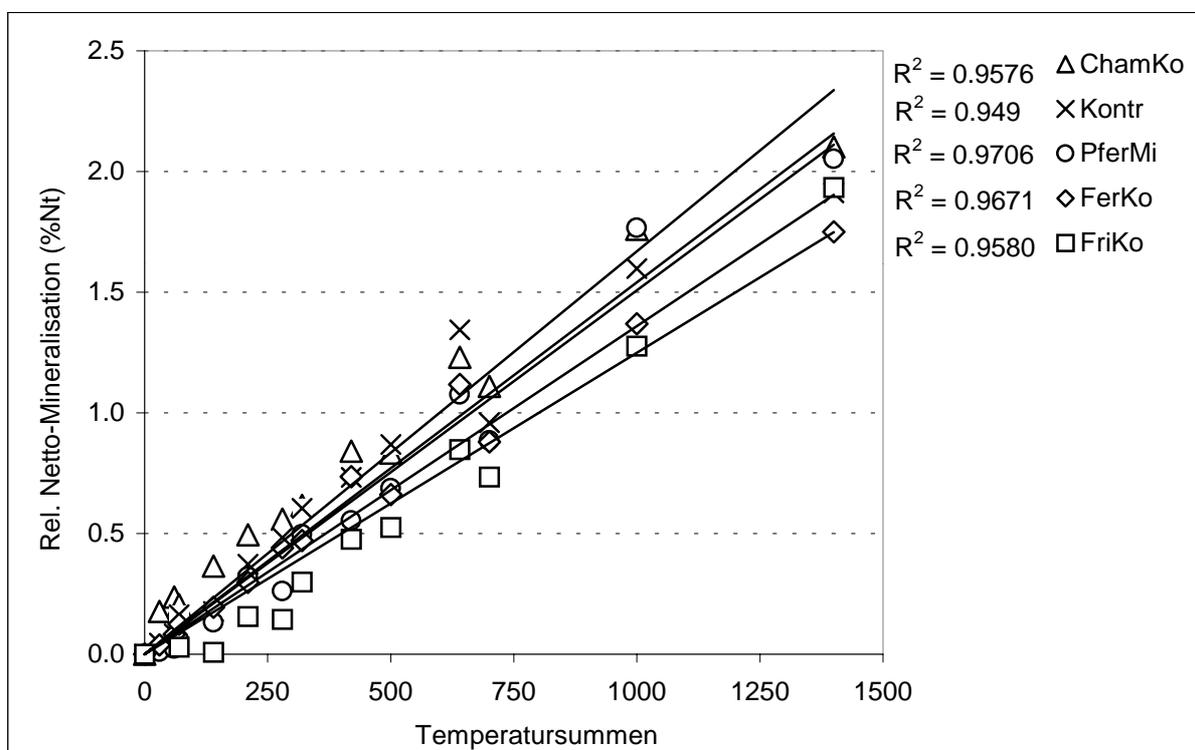


Abb. 3.8: Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage \* °C) und relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) im Klimakammerversuch (Aufwandstufe 4000 kg/ha C). Eingezeichnete Linien repräsentieren die Regressionsgerade

Mineralisationsvorgänge im Boden werden mit einer Kinetik erster Ordnung beschrieben (Richter, 1986; Stanford und Smith, 1972). Aufgrund der unterschiedlichen Zersetzbarkeit von organischen Substanzen und der Freisetzungsgeschwindigkeit des darin enthaltenen Stickstoffs erfolgt für eine optimale Anpassung zunächst eine Fraktionierung in unterschiedlich schnell abbaubare N-Pools.

Der schnell umsetzbare kleinere Pool besteht dabei aus dem Nährhumus, während sich der langsam abbaubare N-Pool aus dem Dauerhumus und den schwer abbaubaren Bestandteilen der organischen Dünger zusammensetzt. Im Folgenden wird nur der potenziell mineralisierbare Stickstoffpool betrachtet. Die Anpassung der Mineralisationsverläufe im Klimakammer- und Gefäßversuch erfolgte auf Basis der Funktion für monomolekulares Wachstum (Thornley und Johnson, 1990).

$$y(t) = N_A * \left(1 - \exp^{-k*t}\right) \quad (3.1)$$

$t$  = Thermalzeit ( $Tage * ^\circ C$ )

$N_A$  = Kapazitätsparameter ( $\% N_t$ )

$k$  = Ratenkonstante ( $\frac{1}{Tage * ^\circ C}$ )

Die jeweils vorhandene Menge an mineralisierbarem Stickstoff ( $N_A$ ) gibt an, wie viel Stickstoff der Kultur tatsächlich zur Verfügung steht und der temperaturabhängige Ratenparameter  $k$  gilt als Maß für die Mineralisationsgeschwindigkeit.

In Abb. 3.9 sind die für den Klimakammer- und Gefäßversuch angepassten Modelle dargestellt. Die geschätzten Parameter  $k$  und  $N_A$ , sowie deren 95 %-ige Konfidenzintervalle sind Tab. 3.7 zu entnehmen. Die Konfidenzintervalle geben die Bereiche an, in denen der Schätzwert mit 95 %-iger Wahrscheinlichkeit liegt. Wird hierbei der Wert 0 eingeschlossen, ist der Parameter nicht signifikant von Null zu unterscheiden.

Die dem Klimakammerversuch angepassten Kurven verlaufen insgesamt steiler als im Gefäßversuch. Die Schätzung der Parameter für FriKo und PferMi war hier mittels der monomolekularen Wachstumsfunktion nicht möglich, so dass in der Grafik die linearen Verläufe dargestellt sind. Die Kapazitätsparameter liegen im Klimakammerversuch auf dem gleichen Niveau (Tab. 3.7). Etwa 4 % des  $N_t$  in den Gemischen aus organischem Dünger und Boden sowie aus dem Kontrollboden können mineralisiert werden, auch die Ratenparameter sind einheitlich. Im Gefäßversuch sind die Parameter für FerKo und ChamKo nicht signifikant von Null zu unterscheiden. Die Mineralisationskapazität liegt zwischen 1,2 % im Kontrollsubstrat und 2,1 % im FriKo. Über die Ratenparameter ist keine eindeutige Aussage möglich.

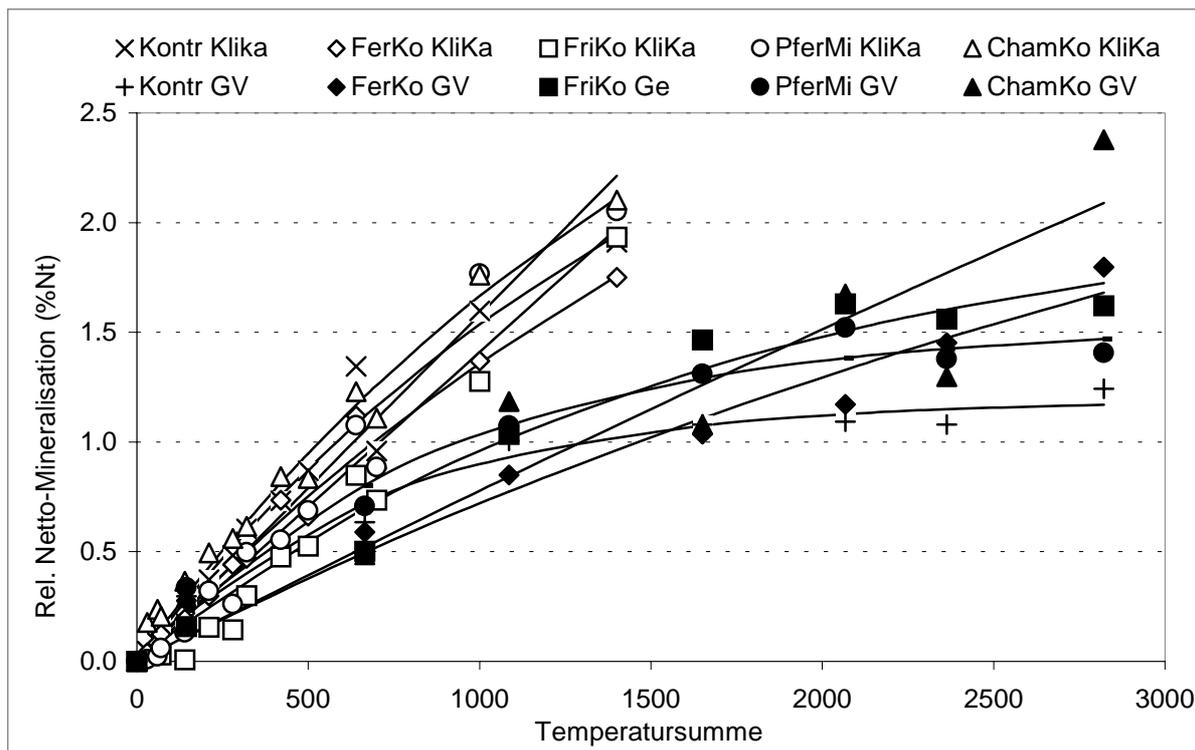


Abb. 3.9: Zusammenhang zwischen Temperatursumme (Tage \* °C) und relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) im Gefäß- und Klimakammerversuch (Aufwandstufe 4000 kg/ha C). Eingezeichnete Linien repräsentieren die nicht-linearen Regressionen

Tab. 3.7: Ratenkonstante  $k$  und Kapazitätsparameter  $N_A$  und deren 95 %-ige asymptotische Konfidenzintervalle bei der nicht-linearen Modellierung von Temperatursummen (Tage \* °C) und relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) im Gefäß- und Klimakammerversuch (Aufwandmenge 4000 kg/ha C)

	Klimakammerversuch		Gefäßversuch	
	$N_A$	$k$	$N_A$	$k$
FriKo	n.b.	n.b.	2,1 1,3 / 2,9	0,0006 0,00016 / 0,00105
FerKo	3,9 1,4 / 6,4	0,00043 0,00009 / 0,000777	3,6 -1,4 / 8,6	0,00022 -0,00018 / 0,00062
ChamKo	3,9 2,2 / 5,6	0,00055 0,00024 / 0,00087	14,9 -182,2 / 221,0	0,00005 -0,0007 / 0,0008
PferMi	n.b.	n.b.	1,5 1,3 / 1,8	0,00111 0,00063 / 0,0016
Kontrolle	3,5 1,6 / 5,6	0,00057 0,00015 / 0,00099	1,2 1,1 / 1,3	0,00139 0,00081 / 0,00196

### 3.3.4 Netto-Mineralisation in Bezug zum C/N-Verhältnis im Boden

Zur abschließenden Beurteilung der organischen Dünger, die in den verschiedenen Versuchen eingesetzt wurden, wurde die relative Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) in den angegebenen Bebrütungszeiträumen (Tab. 3.2) in Beziehung zum C/N-Verhältnis im Boden bzw. Ausgangssubstrat gesetzt. Die Ausgangswerte sind der Tab. 9.5 im Anhang zu entnehmen. Der Regressionsrechnung wurde die relative Netto-Mineralisation in den Sommermonaten in situ und Klimakammer im Feldversuch, sowie im Gefäß- und Klimakammerversuch 2000 zugrunde gelegt. Das Bestimmtheitsmaß weist darauf hin, dass bei den vorliegenden Untersuchungen offensichtlich nicht die Art der organischen Dünger, sondern die Abbauverhältnisse im Boden für die Höhe der Stickstofffreisetzung ausschlaggebend waren.

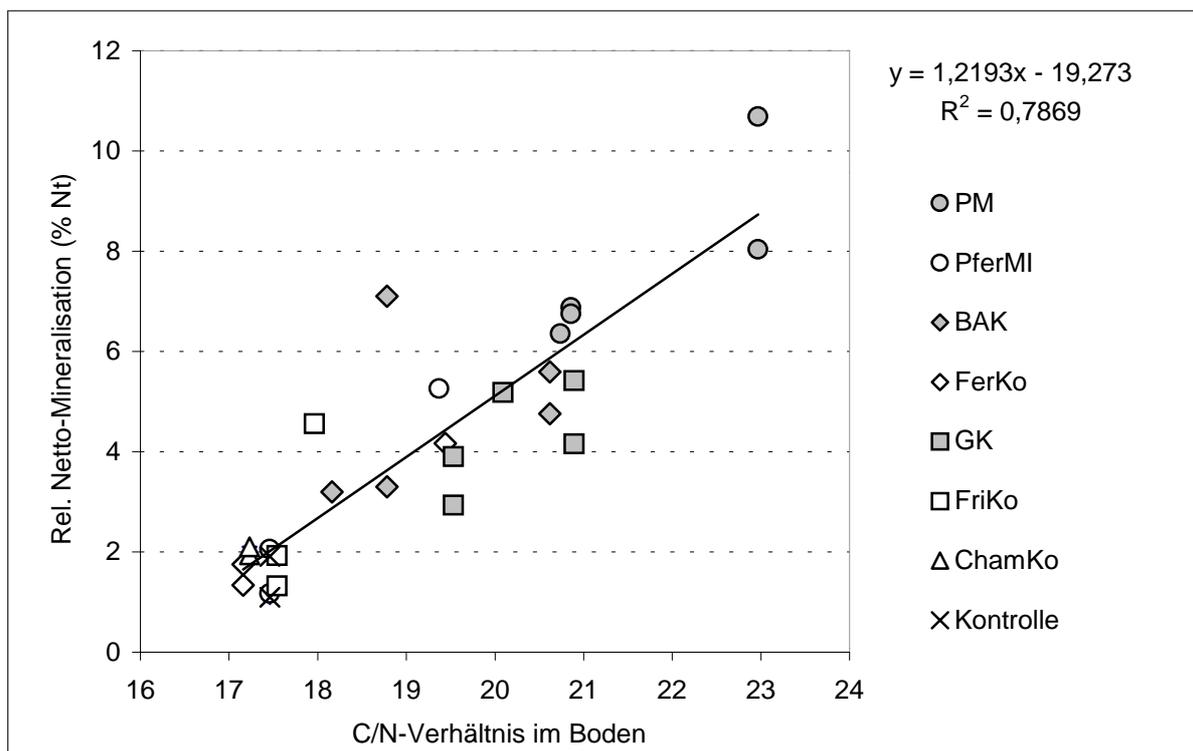


Abb. 3.10: Zusammenhang zwischen C/N-Verhältnis im Boden und relativer Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ). Die eingezeichnete Linie repräsentiert die Regressionsgerade. Datensätze: InkuFV 98-99, FV 2000alt, FV 2000neu (Sommerhalbjahre), InkuKlika 98-99, GV 2000 und Klika 2000 (4000 kg/ha C, 20 °C)

### 3.4 Diskussion

#### 3.4.1 Feldversuch

Im Feldversuch wurden in den Sommermonaten 1998 bis 2000 in Mineralisationszeiträumen von 181 bis 194 Tagen zwischen ca. 100 und 160 kg/ha N freigesetzt (Abb. 3.1). Rohmann *et al.* (1993) stellten in Spargelflächen eine mittlere Netto-Mineralisation von 70 kg/ha fest, davon 30 kg/ha N bis zum Düngetermin Ende Juni und weitere 40 kg/ha N bis Mitte September. Krug und Kailuweit (1999) ermittelten ab dem Ende der Stechzeit bis Anfang September eine Netto-Mineralisation von 50 bis 70 kg/ha N, es wurden aber auch Werte über 100 kg/ha N gefunden. Moje (1996) fand im Verlauf der Vegetationsperiode auf Möhrenstandorten eine durchschnittliche Netto-Mineralisation von 118 kg/ha N. Bei den landwirtschaftlichen Kulturen Winterweizen, Wintergerste und Zuckerrübe ermittelten Engels und Kuhlmann (1993) innerhalb der Kulturzeiträume eine Netto-Mineralisation von 70, 62 und 160 kg/ha N.

Scharpf (1999) rechnet in der Vegetationsperiode mit täglichen Mineralisationsraten von 0,5 bis 0,75 kg/ha N in landwirtschaftlich und ca. 0,7 kg/ha N in gemüsebaulich genutzten Böden. Schrage (1990) kalkuliert von Mai bis September tägliche Mineralisationsraten aus dem stabilen Bodenumus in Höhe von 0,67 kg/ha N. Im Feldversuch in Fuhrberg unterlagen die durchschnittlichen täglichen Netto-Mineralisationsraten von Mitte April bis Mitte September in Abhängigkeit von organischer Düngung und Jahr starken Schwankungen (0,3 bis 2,5 kg/ha und Tag). Die Werte sind den Tab. 9.6 und Tab. 9.7 im Anhang zu entnehmen.

Die N-Mineralisation ist eng mit dem Humusgehalt korreliert (Asmus und Görlitz, 1991; Kersebaum, 1989). Aufgrund der unterschiedlichen Zersetzbarkeit von organischer Bodensubstanz trennt Nuske (1983) den darin enthaltenen mineralisierbaren Stickstoff in eine leicht (schnell) und eine schwer (langsam) abbaubare Fraktion. Der potenziell leicht verfügbare N-Pool setzt sich dabei aus der mikrobiellen Bodenbiomasse und den Wurzelausscheidungen, sowie den in Pflanzenrückständen und organischen Düngemitteln vorhandenen leicht abbaubaren N-Verbindungen wie Proteine, Proteide, Aminosäuren, etc. zusammen (Stadelmann *et al.*, 1983). Der größere schwer verfügbare N-Pool setzt sich aus dem Stickstoff in der organischen Bodensubstanz und den schwer abbaubaren Verbindungen der organischen Dünger zusammen.

Im Feldversuch sind die leicht abbaubaren Bestandteile der organischen Dünger vermutlich bereits im Ausbringungsjahr 1997 abgebaut worden (Haider, 1999). Im Gegensatz zu gemüsebaulich genutzten Böden, wo in Abhängigkeit von Ertragshöhe und Kulturart leicht mineralisierbare Ernterückständen mit einer N-Fracht zwischen 10 kg/ha (Radies) und 260 kg/ha N (Rosenkohl) auf dem Feld verbleiben (Fink *et al.*, 1999), fallen im Spargelanbau kaum frische Erntereste an. In landwirtschaftlichen Kulturen verbleiben mit den Ernte- und Wurzelrückständen leicht mineralisierbare N-Mengen in Höhe von 30 bis über 100 kg/ha N auf den Böden (Körschens, 1987).

Das abgestorbene Spargelkraut enthält im Mittel 25 kg/ha N (Hartmann, 1988; Ledgard *et al.*, 1994). Da die Einarbeitung erst im späten Herbst erfolgte, stammt die Mineralisation in den Sommermonaten ab dem zweiten Standjahr wahrscheinlich hauptsächlich aus der stabilen Humusfraktion. Diese ist, sofern keine frische organische Substanz eingearbeitet wurde, relativ standortstabil (Scharpf, 1999). Damit ließe sich auch das relativ gleichmäßige Mineralisationsniveau im Feldversuch in den Sommerhalbjahren im Laufe der Jahre erklären.

In den Wintermonaten betrug die Netto-Mineralisation im Feldversuch zwischen 38 und 48 kg/ha N in 164 Tagen (InkuFV 98-99) und sank im Winter 2000/2001 auf durchschnittliche 16 kg/ha N in 165 Tagen (FV 2000alt) ab (Abb. 3.2). In den neu beaufschlagten Parzellen (FV 2000neu) wurden im gleichen Zeitraum durchschnittlich 23 kg/ha N freigesetzt (Abb. 3.3). Untersuchungen zur winterlichen Mineralisation im Fuhrberger Feld von Springob und Mohnke (1995) ergaben wöchentliche Mineralisationsraten von durchschnittlich 2 kg/ha N. Innerhalb einer Bebrütungsdauer von 73 Tagen wurden 6 bis 40 kg/ha N mineralisiert. Meins (1996) ermittelte in niedersächsischen Ackerböden eine durchschnittliche winterliche Netto-Mineralisation von 67 kg/ha N in dem Zeitraum von Anfang November bis Ende April. Uhte (1993) kam in seinen Modellrechnungen zu dem Ergebnis, dass in den Wintermonaten nichts aus der stabilen Humusfraktion mineralisiert.

Auf den ersten Blick scheint die Mineralisation in den Wintermonaten hauptsächlich auf den Abbau der eingearbeiteten Krautreste zurückzuführen sein, die in Hinblick auf ihre Abbaubarkeit mit Stroh vergleichbar (Ziegler, 2002) und somit leicht mineralisierbar sind. Der signifikante Einfluss der organischen Dünger auf die winterliche Netto-Mineralisation (Abb. 3.2) weist jedoch darauf hin, dass die Krautreste nicht alleinige Ursache für die Netto-Mineralisation im Winter sein können. Offensichtlich

hatten die organischen Dünger unterschiedliche Auswirkungen auf die Zusammensetzung und Abbaubarkeit der organischen Bodensubstanz (Leifeld *et al.*, 1998). Im Modellversuch von Vilsmeier und Gutser (1988) erfolgte die Mineralisation von im Herbst eingebrachten leicht abbaubaren Zwischenfrüchten erst im kommenden Frühjahr.

In den Wintermonaten ist das Mineralisationsniveau im Feldversuch im Laufe der Jahre um die Hälfte zurück gegangen. Betrachtet man den gesamten Versuchszeitraum, wird deutlich, dass die Netto-Mineralisation ca. drei Jahre lang signifikant durch die Nachwirkungen der organischen Düngung aus dem Frühjahr 1997 beeinflusst wurde. Erst ab dem Sommer 2000 waren keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten mehr nachzuweisen. Asmus und Görlitz (1991) bezeichnen eine solche auf nicht unmittelbar vorangegangene organische Düngung zurückzuführende Nachwirkung als mittelfristige N-Nachlieferung. Etwa zwei bis drei Jahre nach der organischen Düngung ist die dadurch zugeführte organische Substanz weitgehend humifiziert.

Im Hinblick auf die Art der eingesetzten organischen Dünger ergaben sich im Feldversuch folgende Unterschiede. Die signifikant höchste Netto-Mineralisation wurde bei der Bebrütung in situ (InkuFV 98-99, FV 2000alt) jeweils in den Pferdemist-Varianten ermittelt, während sich die Komposte nicht signifikant voneinander unterscheiden (Abb. 3.1, Abb. 3.2). Hiervon ausgenommen ist die extrem hohe Netto-Mineralisation bis 213 kg/ha N in der Bioabfallkompost-Varianten im Sommer 1999, deren Ursache nicht geklärt ist. Da bei der parallelen Bebrütung unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer (InkuKlika 98-99) entsprechend hohe Werte nicht auftraten (Abb. 3.4), ist bei der Bebrütung im Feld möglicherweise ein methodischer Fehler unterlaufen. Auch bei der Bebrütung in der Klimakammer war die Netto-Mineralisation in den Pferdemist-Varianten jeweils signifikant am höchsten, während sich die Komposte nicht unterscheiden.

Die Wirkungen organischer Dünger auf Mineralisationsprozesse sind von mehreren Faktoren abhängig (Haider, 1999; Küster, 1979). Eine entscheidende Rolle für die Humifizierungsprozesse sowie den Humusabbau im Boden spielt dabei die strukturelle Zusammensetzung und Abbaubarkeit der Humusbestandteile der organischen Dünger.

Die im Feldversuch eingesetzten Komposte unterschieden sich gemäß der Produktcharakterisierung von Gottschall und Stöppler-Zimmer (1993) nicht nur im Ausgangsmaterial (Kompostart), sondern auch im Rottegrad (Komposttyp) und haben vermutlich bereits im Ausbringungsjahr zu unterschiedlicher Netto-Mineralisation geführt. Für das erste Versuchsjahr 1997 liegen zwar keine Mineralisationsdaten vor, die  $N_{\min}$ -Verläufe (Abb. 5.2, S. 116) weisen jedoch auf eindeutige Unterschiede zwischen den Komposten hin (Kapitel 5.4.1, S. 120).

Wird dem Boden mit Frischkompost ein ligninreiches, im Vergleich zur organischen Bodensubstanz weniger stark humifiziertes Material zugeführt, nimmt der Humifizierungsgrad der organischen Bodensubstanz kurzfristig ab (Leifeld *et al.* 1998). Die mikrobielle Aktivität steigt rapide an und leicht verfügbaren Komponenten werden in humusähnliche Substanzen eingebaut (Chodak *et al.*, 2001). Nach der Anwendung von Frischkompost kommt es somit zunächst zu einer N-Immobilisierung (Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996). Im Laufe der Zeit stirbt die mikrobielle Biomasse jedoch weitgehend ab, wodurch der inkorporierte Stickstoff verstärkt freigesetzt wird (Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Im Feldversuch kann anhand der  $N_{\min}$ -Verläufe auf eine vorübergehende Immobilisierung im ersten Versuchsjahr in den Grüngutkompost-Varianten (Frischkompost mit Rottegrad 3) geschlossen werden (Abb. 5.2, S. 116).

Im Gegensatz hierzu sind die leicht verfügbaren Humuskomponenten von Fertigkomposten (Cellulose) während des Rottevorgangs bereits weitgehend durch Mikroorganismen umgesetzt worden. Nach der Ausbringung von Fertigkomposten bleiben diese Humuskomponenten im Boden relativ stabil. Die Mikroorganismenpopulation stirbt hingegen ab und dient als Substrat für den weiteren mikrobiellen Abbau. Der organische Stickstoff ist im Fertigkompost weitgehend in stabilen Huminstoffkomplexen gebunden (Gottschall, 1992; Grundmann, 1991). Aufgrund der weitgehenden Umsetzung beim Rottevorgang verfügen Fertigkomposte im Vergleich zu Frischkomposten über höhere  $NH_4$ -N-Gehalte, die nach der Ausbringung und Einarbeitung in Böden direkt nitrifiziert werden (Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Eine solche sofortige Freisetzung großer N-Mengen wurde im ersten Versuchsjahr in den Bioabfallkompost-Varianten (Fertigkompost, Rottegrad 3) beobachtet (Abb. 5.2, S. 116).

Die Humifizierung der organischen Bodensubstanz unterscheidet sich aufgrund des Abbaugrades der schnell verfügbaren Celluloseverbindungen somit in Abhängigkeit vom Komposttyp (Leifeld *et al.*, 1998). In den Pferdemit-Varianten kam im Ausbrin-

gungsjahr aufgrund der leicht verfügbaren Cellulosebestandteile in dem strohreichen, kaum verrotteten Material zunächst zur Immobilisierung (Vogtmann *et al.*, 1991). Die Netto-Mineralisation wurde hier jedoch weniger stark verzögert als beim Grüngutkompost, was auf unterschiedliche Humifizierungsvorgänge hinweist. In Untersuchungen von Stumpe *et al.*, (2000) wurden durch Stallmistanwendung kaum stabile Huminstoffe im Boden angereichert. Eine Bestimmung der Humusstrukturen war im Rahmen der hier vorgestellten Forschungsprojekte nicht vorgesehen.

Je höher der Humifizierungsgrad von organischen Düngern, desto größer ist die Abbauresistenz (Zaied und van den Wegh, 2000) und desto geringer ist folglich die N-Mineralisation. Hierdurch ist zu erklären, dass hohe organische Düngung nicht zwangsläufig hohe  $N_{\min}$ -Gehalte zur Folge haben muss, wie beispielsweise auch Rohmann und Timmermann (1990) auf Spargelfeldern beobachteten.

Als Maß für die Zersetzbarkeit von organischen Düngern wird häufig deren C/N-Verhältnis angegeben (Olfs *et al.*, 1990). Während der Abbau organischer Substanz durch ein enges C/N-Verhältnis grundsätzlich gefördert wird, kann ein C/N-Verhältnis  $> 20$  zur Immobilisierung führen. Aber auch hier gilt, dass bei organischen Düngern, die bereits einen Rottevorgang durchlaufen haben, die N-Mineralisierung trotz des engen C/N-Verhältnisses durch den hohen Anteil an schwer abbaubaren Huminstoffen und geringen Anteil an leicht verfügbaren Komponenten verzögert sein kann, da nur wenige Mikroorganismen zum Abbau von Huminstoffen befähigt sind (Gottschall, 1992). Dieser Effekt zeigte sich im FV 2000neu, wo die Mineralisation in der FerKo-Variante trotz des engsten C/N-Verhältnisses am geringsten war (Abb. 3.3).

Die relative Netto-Mineralisation lag im Feldversuch in den Sommermonaten zwischen ca. 3 und 8 %  $N_t$  und in den Wintermonaten zwischen 1 und 2 %  $N_t$  (Tab. 3.5). Das entspricht dem bei Engel *et al.* (1993) beschriebenen Mineralisationsniveau, demzufolge im Laufe des Jahres 2 bis 3 %  $N_t$  aus der stabilen Humusfraktion freigesetzt werden. In allen betrachteten Mineralisationszeiträumen war die relative Netto-Mineralisation in den Pferdemist-Varianten jeweils am höchsten (Tab. 3.5). Die Höhe der relativen Netto-Mineralisation nahm hier im Laufe der Jahre stärker ab, als in den Kompost-Varianten.

Die Regression aus Temperatursummen und relativer Netto-Mineralisation, der Daten aus allen Inkubationsversuchen zugrunde lagen, ergab in den Kompost-Varian-

ten jeweils ein geringeres Steigungsmaß im Vergleich zu den Pferdemisten (Abb. 3.5). Daraus kann auf eine jeweils langsamere aber auch kontinuierlichere Mineralisation aus den Komposten im Laufe der Jahre geschlossen werden. Komposte werden im Allgemeinen als langsam wirkende N-Quelle charakterisiert (Kögel-Knabner *et al.*, 2000).

Im Jahr 2000 unterschied sich die Netto-Mineralisation im Feldversuch nach der Ausbringung neuer organischer Dünger (FV 2000neu) nicht von den ungedüngten Parzellen (FV 2000alt). Das ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die Aufwandmengen, C- und N-Frachten sehr gering waren (Tab. 3.4). Die Netto-Mineralisation wurde offensichtlich weniger durch die organischen Dünger sondern eher durch das C/N-Verhältnis im Boden bestimmt. (Abb. 3.10). Kögel-Knabner *et al.* (2000) folgern aus Feldversuchen, dass sich die Kompostanwendung zwar mittelfristig modifizierend auf die Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz auswirkt, der Standort jedoch einen stärkeren Einfluss ausübt.

Von einem spezifischen Einfluss des Standortes auf die Zusammensetzung der organischen Bodensubstanz und somit auf die Mineralisationsbedingungen berichten Leifeld *et al.* (1998). Eine wichtige Rolle spielt hierbei der Tongehalt, da organischer Stickstoff im Boden zu mehr als 80 % als Amid-N vorliegt und u.a. durch die Bindung an Tonminerale stabilisiert wird (Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Folglich sinkt mit steigendem Tongehalt die Mineralisation aus dem leicht abbaubaren N-Pool, während in sandigen Böden die Mineralisation aus dem schwer abbaubaren N-Pool geringer ist (Nordmeyer und Richter, 1985). Asmus und Görlitz (1991) führen die geringeren Mineralisationsraten aus sandigen Böden auch auf deren standorttypisch niedrigen Humus- und Stickstoffvorräte zurück.

### **3.4.2 Gefäß- und Klimakammerversuch**

Im Gefäß- und Klimakammerversuch sollte die Wirkung von organischen Düngern im Anwendungsjahr, auch im Vergleich zum unbehandelten Boden untersucht werden. Ein direkter Vergleich mit den Mineralisationsverläufen im FV 2000neu ist aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssubstrate und Aufwandmengen nicht möglich. Besonders im Klimakammerversuch war der Bebrütungszeitraum mit 70 Tagen für ei-

nen Vergleich mit den im Spargelanbau relevanten Mineralisationszeiträumen zu kurz. Aufgrund eines logischen Fehlers in der Versuchsplanung des Gefäßversuches, der denitrifizierende Verhältnisse in den 90 % WK-Varianten zur Folge hatte, konnte ein Einfluss der Wasserstufen auf die Mineralisation aus organischen Düngern nicht wie geplant untersucht werden. Die Mineralisationsverläufe im Gefäß- und Klimakammerversuch zeigten nur wenige Übereinstimmungen (Abb. 3.6 und Abb. 3.7).

Im Klimakammerversuch ergaben sich bis zum 70. ten Tag bei keiner Temperaturstufe eindeutige Einflüsse der organischen Dünger. Hiervon ausgenommen ist die FriKo-Variante, in der die Netto-Mineralisation fast immer signifikant am geringsten war. Dies entspricht dem typischen Immobilisierungsverhalten von Frischkomposten (Chodak *et al.*, 2001; Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996). Die Netto-Mineralisation war in den ChamKo-Varianten jeweils in der Tendenz am höchsten. Über das Abbauverhalten in den Gemischen mit Pferdemist sind keine eindeutigen Aussagen möglich, die Verläufe unterschieden sich hier kaum von den FerKo-Varianten.

Die nicht-lineare Modellierung der Mineralisierungsverläufe im Klimakammerversuch ermöglicht folgende Interpretation der Mineralisationsverläufe (Abb. 3.9). Durch die Zugabe von FerKo und ChamKo wurde der Anteil des kurzfristig mineralisierbaren Stickstoffs im Vergleich zur Kontrolle erhöht, da die Kapazitätsparameter  $N_A$  (jeweils 3,9 %  $N_t$ ) über den Werten der Kontrolle (3,5 %  $N_t$ ) lagen (Tab. 3.7). Eine Parameterschätzung für die FriKo- und PferMi-Varianten war nicht möglich, was möglicherweise auf deren sigmoide Mineralisationsverläufe (Abb. 3.7) zurückzuführen ist. Hier hätte die Anpassung eines Modells 2. Ordnung möglicherweise zu besseren Ergebnissen geführt (Richter, 1986). Die Ratenkonstanten (k-Werte) weisen darauf hin, dass in der ChamKo-Variante aufgrund deren höheren Gehalte an  $NH_4-N$  (Tab. 2.6) schneller mineralisierbare Bestandteile vorlagen als im Fertigkompost. Darüber hinaus war der im Huminstoffkomplex des Fertigkompostes gebundene Stickstoff möglicherweise resistenter gegen den mikrobiellen Abbau (Zaied und van den Wegh, 2000).

Aufgrund der großen Streuung ist eine eindeutige Interpretation der Mineralisationsverläufe im Gefäßversuch (Abb. 3.6) ab dem 80. ten Tag der Bebrütung nicht möglich. Die nicht-lineare Regression ergab nur für die FriKo-, PferMi- und Kontroll-Variante signifikant von Null zu unterscheidende Werte (Tab. 3.7). Bei der Parameter-

schätzung in der Chamko-Variante ergaben sich deutliche Unterschiede zu den anderen Varianten, die nicht zu klären sind. Laut Nuske (1983) deuten kleinere Ratenkonstanten darauf hin, dass der jeweilige N-Pool schwerer abbaubar ist. Demzufolge war im Gefäßversuch der organisch gebundene Stickstoff in den Kompost-Varianten schwerer abbaubar als der in der PferMi- und Kontroll-Variante.

Die Werte für die Kapazitätsparameter und die Ratenkonstanten lagen im Klimakammerversuch um das zwei- bis dreifache über den Werten im Gefäßversuch. Die Ursachen hierfür konnten nicht abschließend geklärt werden. Möglicherweise wurde im Klimakammerversuch hauptsächlich der leicht abbaubare N-Pool umgesetzt, während im Gefäßversuch bereits Teile des schwer abbaubare N-Pool mineralisiert wurden. Dagegen spricht jedoch, dass während der Inkubationsdauer von 190 Tagen der potenziell mineralisierbare Stickstoff in der PferMi- (1,5 %  $N_t$ ) und Kontroll-Variante (1,2 %  $N_t$ ) fast vollständig abgebaut wurde (Abb. 3.9).

Kögel-Knabner *et al.* (2000) beschreiben N-Mineralisationsverläufe in verschiedenen Böden nach Zumischung von Frisch- und Fertigkomposten. In unbehandelten Kontrollböden wurden eine nicht-lineare Mineralisierung ermittelt, was mit den Ergebnissen der hier beschriebenen Untersuchungen übereinstimmt. Die unterschiedlichen Verläufe der N-Dynamik von Komposten wird mit deren Rottegrad und der Bodenart in Zusammenhang gebracht.

### 3.4.3 Abschließende Betrachtung

Im Feldversuch haben sich die Gehalte an organischer Substanz im Laufe der Versuchsjahre nur geringfügig verändert (Abb. 9.12). Auch Kremer (2000), der dieselben organischen Dünger in Baumschulkulturen eingesetzt hat, konnte in seinen Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Humusgehalten von behandelten und unbehandelten Varianten feststellen. Veränderung im Humushaushalt verlaufen sehr langsam und betreffen fast ausschließlich den umsetzbaren Anteil der organischen Bodensubstanz (Körschens, 1999a). Im Feldversuch konnte im Laufe der Versuchsdauer eine Veränderung der  $C_t$ - und  $N_t$ -Gehalte beobachtet werden (Tab. 3.3), die auf die Abbau- und Umbauprozesse nach der organischen Düngung, Mineraldüngung, Kalkgaben, Pflanzenaufnahme und Auswaschung etc. zurück zu führen sind.

Die Mineralisation erfolgte in Abhängigkeit von der Art des organischen Düngers und dessen Einfluss auf die Humusstruktur im Boden (Leifeld *et al.*, 1998). Bei den Komposten war im Anwendungsjahr ein deutlicher Einfluss der Rottegrade erkennbar (Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Ab dem zweiten Versuchsjahr waren keine Unterschiede zwischen den Komposten mehr nachweisbar. Die höchste Netto-Mineralisation wurde jeweils in den Pferdemist-Varianten gefunden.

Die Netto-Mineralisation im Feldversuch entsprach durchschnittlichen Mineralisationsraten in gemüsebaulich oder landwirtschaftlich genutzten Böden (Engels und Kuhlmann, 1993; Krug und Kailuweit, 1999; Moje, 1996). Bis zum dritten Jahr nach Ausbringung konnten spezifische Nachwirkungen der organischen Dünger festgestellt werden. Darüber hinaus bestand unabhängig von der Art des organischen Düngers und der Zeit nach Ausbringung eine enge Korrelation zwischen dem C/N-Verhältnis im Boden und der relativen Netto-Mineralisation in %  $N_t$ .

Im Klimakammer- und Gefäßversuch konnten keine eindeutigen signifikanten Unterschiede zwischen den organischen Düngern festgestellt werden. Die Werte wiesen jedoch in der Tendenz die größten Werte in der ChamKo-Variante aus.

Beim Einsatz von Komposten als organische Dünger zur Neupflanzung von Spargelanlagen sollten Ausbringungszeitraum und Kompostart aufeinander abgestimmt werden. Bei der Ausbringung von Frischkompost im Rahmen der Bodenvorbereitung im Herbst können Nitratüberschüsse durch die zu erwartenden Immobilisierung ggf. gesenkt werden. Erfolgt die Kompostanwendung jedoch direkt vor der Pflanzung im Frühjahr, sollten zur Vermeidung von Wachstumsdepressionen durch N-Immobilisierung Fertigkomposte eingesetzt werden, deren  $NH_4$ -N-Fracht und umgehende Mineralisation dem anwachsenden Spargelbestand sofort zur Verfügung steht.

## 4 Einfluss organischer Dünger auf Wachstum und Ertrag von Spargel

### 4.1 Einführung

Der Anbau der Dauerkultur Spargel unterscheidet sich grundlegend von den anderen, meist einjährigen Gemüsearten (Hartmann, 1989). Botanisch gehört Spargel (*Asparagus officinalis* L.) zu den mehrjährigen krautigen Gewächsen (Stauden) und bildet im Laufe der 8 bis 10-jährigen Kulturdauer ein großes unterirdisches Speichersystem aus Rhizomen, Speicher- und Saugwurzeln und Knospen, das als Krone bezeichnet wird (Drost, 1997).

In den gemäßigten Klimazonen Mitteleuropas ist das Wachstum der Spargelpflanze durch einen charakteristischen Wechsel von Ruhe und Aktivität gekennzeichnet (Krug, 1996). Das Hauptwachstum der ober- und unterirdischen Pflanzenteile findet im Frühjahr und Sommer statt. Ab September werden die während der Vegetationsperiode gebildeten Reservestoffe in die Kronen verlagert. Die Kurztriebe (Phyllokla dien) vergilben und fallen ab (Seneszenz). Gleichzeitig geht der Trockensubstanzgehalt des Krautes zurück, während das Kronenwachstum bis zum völligen Absterben der Triebe im Dezember weiter zunimmt. Über Winter verbleiben die Kronen im Ruhestadium (Dormanz) (Krug, 1996). Ab März lösen steigende Bodentemperaturen das Austreiben der Erneuerungsknospen am Rhizom aus und regen das Sprosswachstum an (Liebig und Wiebe, 1982; Poll, 1996). Diese Austriebsleistung im Frühjahr stellt gleichzeitig das Ertragspotenzial in der Ernteperiode dar. In Mitteleuropa findet die Spargelernte in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen vom zeitigen Frühjahr bis zum Frühsommer statt. Nach Beendigung der Ernteperiode treiben die Triebe durch, entfalten sich oberirdisch und assimilieren.

Auch der Kohlenhydratstatus in den Kronen unterliegt jahreszeitlich bedingten Schwankungen (Cloughley *et al.*, 1999; Haynes, 1987; Pressman *et al.*, 1993). Nach der Ruhephase nimmt der Pool an Reservekohlenhydraten (Fruktane verschiedenen Polymerisationsgrades) durch den Knospenaustrieb im Frühjahr zunächst ab, um dann im Laufe der Vegetationsperiode durch die Assimilation des Bestandes wieder aufgefüllt zu werden (Robb, 1984).

Martin (1989) beschreibt die jahreszeitliche Rhythmik im Kohlenhydratstoffwechsel der Kronen wie folgt. Von März bis Juni werden die Reservekohlenhydrate weitgehend abgebaut, da den Erneuerungsknospen zum Austrieb Energie in Form von freien Zuckern vorliegen muss. Im Juni erreicht der Gehalt an freien Zuckern (Glucose, Fructose, Saccharose) ein Maximum. Von Juli bis Oktober werden die aus dem oberirdischen Austrieb abgeleiteten Assimilate zu nieder- oder höhermolekularen Fruktanen polymerisiert, wodurch der Fruktangehalt in den Kronen wieder ansteigt. In den Wintermonaten Dezember bis Februar erfolgt eine zunehmende Mobilisierung der Fruktane zu den Monosen Glucose und Fructose, die als Osmoseregulatoren die Frostresistenz der Pflanze erhöhen.

Stickstoff wird im Winter in Form der freien Aminosäuren Arginin und Asparagin in den Kronen gespeichert (Haynes, 1987). Im Frühjahr wird dieser Speicher für den Aufbau von Proteinen und anderen komplexen N-Verbindungen für das Triebwachstum benötigt. Im Laufe der Vegetationsperiode nimmt Spargel aus dem Boden Stickstoff auf und bindet ihn in Form von Proteinen im oberirdischen Aufwuchs (Hartmann, 1989). Mit beginnenden Seneszens wird der Stickstoff im Herbst remobilisiert und in die Kronen transloziert (Ledgard *et al.*, 1994).

Der Austrieb der Ruheknospen und das beginnende Sprosswachstum im Frühjahr wird also durch die Kohlenhydratreserven in den Speicherwurzeln gewährleistet (Robb, 1984). Verbunden mit der Austriebsleistung wird auch der Ertrag einer Spargelanlage durch den Kohlenhydratspeicher in den Kronen bestimmt (Ernst und Krug, 1998; Martin, 1989). Im Gegensatz zu anderen einjährigen Gemüsekulturen besteht somit beim Spargel kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Düngung und dem Ertrag (Abb. 4.1).

Trotzdem ist die bedarfsgerechte Versorgung des Spargelbestandes mit Nährstoffen und Wasser während der Vegetationsperiode Voraussetzung für den Aufbau eines leistungskräftigen Photosyntheseapparates (Hartmann, 1981; Paschold, 2001; Pitman *et al.*, 1991). Je besser die Bedingungen für die Nährstoffaufnahme, desto größer ist die Assimilatproduktion und der damit zu erwartende Ertrag im Folgejahr.

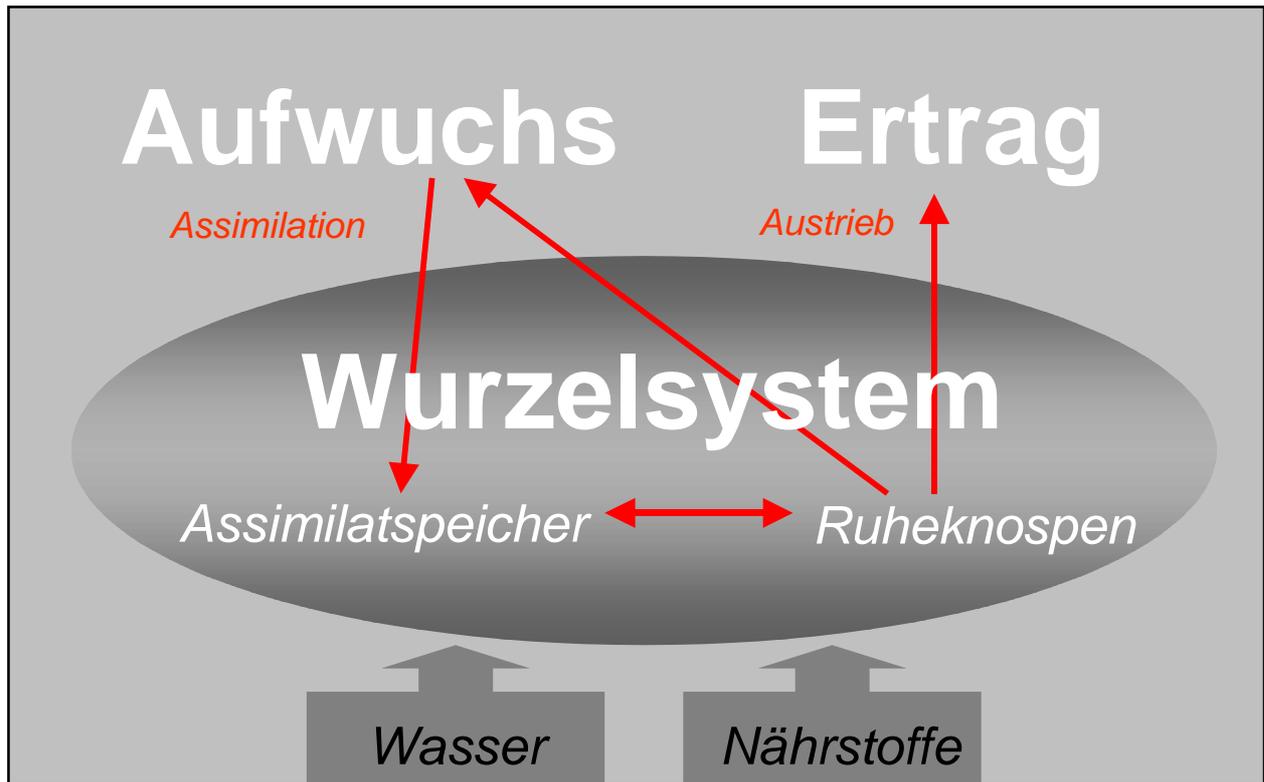


Abb. 4.1: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Assimilatproduktion, -speicherung und Ertrag bei Spargel

In einjährigen Gemüsekulturen wird zur Ermittlung des Düngbedarfes unter anderem der Verlauf und die Gesamthöhe des Nährstoffentzugs herangezogen, der anhand der Nährstoffgehalte in den Pflanzenorganen errechnet werden kann (Schrage, 1990). Das ist bei Spargel aufgrund der botanischen Besonderheiten kaum möglich, da das Wurzelssystem den größeren Anteil an der Gesamtnährstoffaufnahme hat. Kaufmann und Kaufmann (1967) haben bei Untersuchungen zur Nährstoffversorgung von Grünspargelbeständen in Junganlagen bis zu 50 % und in Ertragsanlagen 60 bis 90 % der jährlichen Nährstoffgehaltszunahme in der Kronenmasse nachgewiesen. Bevor sich die oberirdische Pflanzenmasse entwickelt, baut Spargel zunächst das Wurzelssystem (Kronen) auf, das gleichzeitig als Nährstoffspeicher fungiert und die Nährstoffversorgung in Mangelsituationen sicherstellt (Hartmann *et al.*, 1987).

Die Beurteilung dieses Nährstoffspeichers ist nicht zuletzt aufgrund des erheblichen Arbeitsaufwandes bei der Entnahme des Wurzelsystems kaum möglich.

Aufgrund der Nährstoffverlagerung zwischen Spross und Wurzeln ist auch der Entnahmeterrmin der Pflanzenproben von Bedeutung (Gardener und Roth, 1989). In Er-

tragsanlagen sollte der oberirdische Aufwuchs im Zeitraum des größten Wachstums Ende August (Hartmann, 1989), bzw. beginnender Reservestoffverlagerung, kurz vor dem Abreifen der Triebe beprobt werden. Diese Entwicklungsstadien sind wiederum von den klimatischen Verhältnissen und dem Ernährungszustand der Anlage abhängig (Krug, 1999b). Grundsätzlich lässt sich der Ernährungszustand von Spargel – mit Ausnahme von Magnesium (Born und Hartmann, 1982) – jedoch nicht aus der oberirdischen Krautmasse ableiten (Hartmann *et al.*, 1990).

Neben der allgemein gültigen Beeinflussung von Nährstoffentzügen durch Klima, Düngung und pflanzenverfügbarem Nährstoffvorrat im Boden, spielt beim Spargel auch das Alter des Bestandes eine bedeutende Rolle. Vor diesem Hintergrund erklären sich die teilweise sehr widersprüchlichen Literaturangaben über die Nährstoffentzüge der Spargelkultur (Kaufmann und Kaufmann, 1967; Warman, 1991) sowie die daraus abgeleiteten Düngeempfehlungen (Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Übersicht über verschiedene Düngeempfehlungen (kg/ha) für Spargelanlagen

	Quelle	N <sub>min</sub> - Sollwert	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	K <sub>2</sub> O*	MgO*
Jung- anlagen	Kaufmann und Kaufmann, 1967	100	80	230	40-50
	Komnik, 1994	120			
	Ziegler und Hartmann, 1995	90	50	150	60
	Anonym, 2001	90	50	150	60
Ertrags- anlagen	Kaufmann und Kaufmann, 1967	200	80	300	40-50
	Ziegler und Hartmann, 1995	120	50	150	60
	Anonym, 2001	100	50	150	60

\* jeweils für die Bodengehaltsklasse C

Die Düngeempfehlungen für Spargel haben sich seit den 60er Jahren stark verändert, auch die Ansicht, dass Spargel zu den Starkzehrern gehört, wurde revidiert (Ziegler und Hartmann, 1995). Insbesondere die Empfehlungen für Stickstoff und Kalium haben sich halbiert. Aufgrund des zunehmenden Anbaus leistungsfähiger (holländischer) Spargelsorten und der veränderten Bestandesdichten fordert Paschold (2001) eine neuerliche Aktualisierung der Düngeempfehlungen.

Die Bedeutung der Grundnährstoffe wird in der Literatur wie folgt beschrieben:

- Beim Spargel wird das Wachstum der Kronenmasse und der davon abhängige Ertrag signifikant durch Stickstoff beeinflusst (Waters *et al.*, 1990).
- Die Wirkung von Phosphor wird im Hinblick auf Düngerausnutzung und Ertrag bei Spargel allgemein als sehr gering eingeschätzt (Hartmann *et al.*, 1987). In Anbauregionen mit schlechter P-Verfügbarkeit im Boden spielt die Phosphatversorgung jedoch eine wichtigere Rolle (Espejo *et al.*, 1997).
- Bei Kalium wird in der Literatur häufig die Bedeutung für den langjährigen Ertrag betont (Douglas und Follett, 1996; Sanders, 1999). Die von Hartmann *et al.* (1987) im Düngungsversuch durch K-Gaben von 350 kg/ha ermittelte Ertragssteigerung liegt weit über der aktuellen Empfehlung (Tab. 4.1).
- Eine Unterversorgung mit Magnesium (Born und Hartmann, 1982; Hartmann *et al.*, 1983) und Bor (Douglas *et al.*, 1989) kann bei Spargel Mangelsymptome hervorrufen.

Spargel erfordert als Dauerkultur ein spezialisiertes Anbauverfahren auf leichten Sandböden, die im Frühjahr schnell abtrocknen, gut maschinell zu bearbeiten sind und sich schnell erwärmen. Zur Erhaltung des Humusstatus und zur Verbesserung der Wasser- und Nährstoffspeicherung im Boden werden zur Neupflanzung von Spargelanlagen große Mengen an organischen Düngern ausgebracht. Hiermit werden unter Umständen erhebliche Nährstofffrachten geliefert, deren Verfügbarkeit besonders im Hinblick auf die Stickstoffmineralisation (Kapitel 3) schwer zu kalkulieren sind. Da der Nährstofflieferung aus der organischen Düngung bislang wenig Beachtung geschenkt wurde, werden zur Deckung des Nährstoffbedarfs in erster Linie Mineraldünger eingesetzt. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des kontrolliert biologischen Anbaus, der auch im Spargelanbau den Einsatz von synthetischen Düngemitteln ausschließt, sowie dem Inkrafttreten der Düngeverordnung (DüngeVO, Anonym, 1996) muss hinsichtlich der Nährstofflieferung aus organischen Düngern ein Umdenken stattfinden.

Zur Deckung des Wasserbedarfs von Spargel ist auf sorptionsschwachen Sandböden in Trockenperioden oft eine Zusatzbewässerung erforderlich, während auf Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität auch ohne Zusatzbewässerung ausreichende Erträge erzielt werden können (Drost, 1999). Sofern eine Bewässerung aus

technischen Gründen nicht möglich ist, bzw. bei schwereren Böden mit Staunässe eine erhöhte Infektionsgefahr durch Fusariosen besteht (Heupel, 2001), kann die Wasserspeicherkapazität der Böden durch Humusgaben erhöht werden (Paschold *et al.*, 2000). Die Verbesserung der Wasserspeicherkapazität sichert besonders in Trockenperioden die Assimilationsleistung des Grünaufwuchses.

Im Gegensatz zu vergleichenden Versuchen mit rein mineralischen und organischen Düngesystemen in Gemüsefruchtfolgen, in denen die ertragssteigernde Wirkung organischer Dünger festgestellt wurde (Baumann, 1980), gibt es bislang nur wenige entsprechende Untersuchungen im Spargelanbau (Warman, 1991). Hartmann (1989) zitiert ältere Literaturquellen, in denen Stallmistgaben den Ertrag von Spargelanlagen mehr steigern als eine alleinige mineralische Düngung.

Bei Spargel wird die ertragssteigernde Wirkung von organischen Düngern in erster Linie mit der Verbesserung der chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften durch erhöhte Humusgehalte begründet (Biesel, 1981; Kaufmann *et al.*, 1977). In Versuchen von Warman (1991) beeinflussten Mineraldüngergaben in einem humusreichen Boden die Nährstoffgehalte im Spargelkraut weniger stark als in einem humusarmen Boden. Hartmann und Hermann (1986) sowie Pandita und Bhan (1992) konnten in Langzeituntersuchungen über den gesamten Kulturzeitraum durch organische Düngung sowohl eine Ertragssteigerung als auch eine Verzögerung der Alterung der Anlage, d. h. eine Verzögerung der Qualitätsverschiebung in Richtung dünnerer Stangen, nachweisen.

Seit einigen Jahren werden zur Neupflanzung von Spargelanlagen neben den traditionell eingesetzten Wirtschaftsdüngern vermehrt auch Sekundärrohstoffdünger wie Komposte aus kommunalen Kompostierungsanlagen oder abgetragenes Champignonkultursubstrat angewendet. Da bislang keine Forschungsergebnisse über die Wirkung dieser Materialien im Spargelanbau vorlagen, wurden sie in den hier beschriebenen Forschungsprojekten (Übersicht in Kapitel 1.3) mit dem traditionell eingesetzten Pferdemist verglichen.

Neben den Auswirkungen der organischen Düngung auf Mineralisationsvorgänge (Kapitel 3) und Stickstoffhaushalt (Kapitel 5) im Boden war die Untersuchung der Wirkungen auf Wachstum und Ertrag der Spargelkultur Ziel der Versuche.

Aufgrund der begrenzten Projektlaufzeit konnten im Feldversuch nur zwei Ernteperioden ausgewertet werden, was zur umfassenden Charakterisierung des Ertrags-

potenzials der Dauerkultur Spargel nicht ausreicht. Besonderes Augenmerk wurde daher auf das Wachstum von Kraut und Kronen gelegt. Hierzu wurden an verschiedenen Auswertungsterminen Triebanzahl, -durchmesser und -länge, sowie Frisch- und Trockenmasse und Nährstoffgehalte von Trieben und Kronen ermittelt.

Im Rahmen des zweiten Projektes wurde – als Vorversuch für einen für 2002 geplanten Bewässerungsversuch im Freiland – ein Gefäßversuch mit einjährigen Spargelpflanzen angelegt, in dem der Einfluss verschiedener organischer Dünger und Bewässerungsstufen sowie deren Wechselwirkungen auf das Wachstum von Trieben und Kronen untersucht wurde.

Des Weiteren sollte hier überprüft werden, ob die in der Literatur auf N-Immobilisierung, Salzfrachten, oder phytotoxische Substanzen zurückgeführte Pflanzenunverträglichkeit von Kompost (Hartz *et al.*, 1996; Pill und Evans, 1993; Ozores-Hampton *et al.*, 1998) auch bei einjährigen Spargelpflanzen zu beobachten ist.

## 4.2 Material und Methoden

Die Tab. 4.2 gibt eine Übersicht über die Feld- und Gefäßversuche, mit deren Hilfe der Einfluss organischer Dünger auf Wachstum und Ertrag von Spargel überprüft werden sollte. Eine detaillierte Beschreibung von Aufbau und Durchführung der Versuche sowie der angewandten organischen Dünger erfolgte in den Kapiteln 2.1 und 2.2. Der Übersicht halber werden die wesentlichen Punkte kurz wiederholt.

Tab. 4.2 Übersicht über die Versuche zur Erfassung von Pflanzenparametern

Versuch	Untersuchte Pflanzenparameter	Jahr
Feldversuch (FV 97-99)	Oberirdischer Aufwuchs	1997 und 1998
	Krone (Rhizom + Wurzeln)	1998
	Ertrag	1998 und 1999
Gefäßversuch (GV 2000)	Oberirdischer Aufwuchs	2000
	Krone (Rhizom + Wurzeln)	2000

### 4.2.1 Versuchsaufbau und Durchführung

#### Feldversuch (FV 97-99)

Auf der Fläche eines Spargelbetriebes in Fuhrberg wurde im Frühjahr 1997 ein dreifaktorieller Feldversuch mit den Faktoren Art und Menge der organischen Düngung und Menge der Mineralstickstoffdüngung angelegt.

Zur Neupflanzung einer Spargelfläche wurden die organischen Dünger Pferdemist (PM), Bioabfallkompost (BAK) und Grüngutkompost (GK) ausgebracht. Die Aufwandstufen bezogen sich auf die Kohlenstofffracht von 200 und 600 dt/ha Pferdemist. Zudem wurde jährlich auf die Sollwerte 80 und 120 kg/ha N aufgedüngt. Die Versorgung mit den Grundnährstoffen P, K, Mg und CaO war durch die betriebsübliche Grunddüngung auf allen Parzellen gleich, so dass unterschiedliche Bodengehalte auf die organische Düngung zurückzuführen sind.

#### Gefäßversuch (GV 2000)

Im Frühjahr 2000 wurde in der überdachten Vegetationshalle der Abteilung Gemüsebau der Universität Hannover ein zweifaktorieller Gefäßversuch mit einjährigen Spargeljungpflanzen und den Faktoren Art der organischen Düngung und Wassergehaltstufe angelegt.

Als Kultursubstrat wurde ein humoser Sand (Kontrolle) mit den organischen Düngern Frisch- und Fertigkompost (FriKo, FerKo), Pferdemist (PferMi) und abgetragenes Champignonkultursubstrat (ChamKo) vermischt. Mischungskriterium war eine einheitliche Kohlenstofffracht in Höhe von 4000 kg/ha C. Die Substrate wurden in 25-l Gefäße gefüllt, die mit einjährigen Spargeljungpflanzen bepflanzt und in eine mobile Kleinlysimeteranlage gestellt wurden. Nach dem Entfalten der Phyllokladien der ersten Triebe wurden die Gefäße jeweils auf die Bewässerungsstufen 45, 60 und 90 % Wasserkapazität (WK) gegossen. Am 10. August 2000 erhielten alle bepflanzt Gefäße eine Kopfdüngung in Höhe von 50 kg/ha N (1,2 g Harnstoff pro Gefäß), auf eine mineralische P-, K-, Mg-Düngung wurde verzichtet.

#### 4.2.2 Nährstofffrachten der organischen Dünger

Die Nährstofffrachten der im Feld- und Gefäßversuch angewandten organischen Dünger sind Tab. 4.3 zu entnehmen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Werte wurden die Nährstoffgehalte in den Gefäßen auf Gehalte in kg/ha umgerechnet.

Tab. 4.3: Nährstofffrachten (kg/ha) der organischen Dünger im Feldversuch und im Gefäßversuch

	Feldversuch						Gefäßversuch			
	PM		BAK		GK		PferMi	FriKo	FerKo	ChamKo
FM (dt/ha)	200	600	90	270	164	493	401	299	417	414
TM (t/ha)	4,9	14,6	6,3	18,8	10,3	30,9	12,5	14,5	27,9	13,2
C	2074	6222	1221	3664	2079	6237	4001	4000	3999	3995
N <sub>ges</sub>	79	236	101	303	115	345	227	207	308	279
NH <sub>4</sub> -N			7	21	4	13	3,56	0,39	8,32	17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	51	152	51	154	39	116	161	80	135	202
K <sub>2</sub> O	78	233	82	245	52	156	558	124	333	378
MgO	17	51	26	79	29	87	52	41	52	51
CaO	83	249	203	608	219	657	459	327	694	1655

### 4.2.3 Versuchsauswertung

Im Feldversuch wurde im ersten und zweiten Standjahr (1997 und 1998) das oberirdische Wachstum untersucht. Darüber hinaus wurden 1998 jeweils zwei Pflanzen pro Parzelle einschließlich der Kronen ausgegraben und ausgewertet. Im zweiten und dritten Standjahr wurden zusätzlich Ertragshöhe und Qualität des Erntegutes erfasst. Im Gefäßversuch erfolgte die Aufwuchsbonitur regelmäßig von Mitte Mai bis zur Endauswertung im Oktober 2000. Eine Übersicht über die untersuchten Pflanzenteile und Entnahmetermine liefert Tab. 2.10 (S. 36), die angewandten Methoden werden im Folgenden beschrieben.

#### 4.2.3.1 Oberirdischer Aufwuchs

Im Feldversuch wurde jeweils im Spätsommer des ersten und zweiten Standjahres (15.09.97 und 06.08.98) die oberirdische Krautmasse des Spargelbestandes bonitiert. Hierzu wurde an 20 Pflanzen pro Parzelle die Anzahl der Triebe gezählt und die Längen der Einzeltriebe gemessen. In 1997 wurde der zehnte Trieb jeder dieser Pflanzen abgeschnitten, gewogen und der Trockensubstanz- und Gesamt-N-Gehalt bestimmt. Im zweiten Standjahr erfolgte das Schneiden der Einzeltriebe ca. vier Wochen nach der Aufwuchsbonitur. An den Einzeltrieben wurden jeweils Frisch- und Trockengewicht (TS-Gehalt) sowie Trieb länge und -durchmesser an der Stängelbasis gemessen. Die N-Gehalte wurden in der Mischprobe der Einzeltriebe bestimmt. Bei der Entnahme der Gesamtpflanzen im zweiten Standjahr wurde Anfang September 1998 zunächst der Aufwuchs direkt an der Bodenoberfläche abgeschnitten, das Roden der Kronen erfolgte ca. zwei Wochen später (Kapitel 4.2.3.2).

Durch Multiplikation des mittleren Gewichtes der Einzeltriebe mit der mittleren Triebanzahl aller bonitierten Pflanzen pro Parzelle wurden Frisch- und Trockenmassen in g pro Pflanze hochgerechnet. Nach weiterer Multiplikation mit der Bestandesdichte (16.800 Pfl./ha) wurde auf die gesamte Frischmasse in dt/ha geschlossen.

Im Gefäßversuch (GV 2000) wurde ab Mitte Mai im vierzehntägigen Abstand in allen Gefäßen die Triebanzahl und -länge gemessen. Am 11. Oktober 2000 wurden die oberirdischen Triebe komplett abgeschnitten, vermessen (Triebanzahl und -länge), gewogen (Frisch- und Trockenmasse) und der N-Gehalt analysiert.

#### 4.2.3.2 Kronenmasse

Im Feldversuch wurden im zweiten Standjahr zwischen dem 15. und 22. September die unterirdischen Triebe (Strünke) und Kronen (Rhizome und Wurzeln) gerodet. Hierfür wurde um die Pflanze ein 33 x 180 cm (0,594 m<sup>2</sup>) breiter und 50 cm tiefer Graben ausgehoben. Aus dem Bodenaushub wurden alle Wurzelteile herausgesiebt. Die Strünke wurden direkt über dem Rhizom abgeschnitten und gewogen. Die Kronen wurden gründlich gewaschen und Frisch- und Trockenmasse sowie Trockensubstanzgehalt bestimmt.

Im Gefäßversuch (GV 2000) wurden am Endauswertungstermin am 24. Oktober 2000 die unterirdischen Pflanzenteile ausgesiebt und gewaschen. Nach dem Wiegen der gesamten Krone wurden die Saug- und Speicherwurzeln von den Rhizomen entfernt, jeweils einzeln gewogen und die Anzahl der Knospen (> 5 mm) am Rhizom gezählt.

#### 4.2.3.3 Ertrag und Qualität im Feldversuch

Im zweiten Standjahr (1998) wurde der Feldversuch nach vorheriger Abdeckung mit transparenter Antitaufolie 20 Tage lang zweimal täglich beerntet. Die Ernte erfolgte vom 20. April bis zum Erreichen des vom Betriebsinhaber vorgegebenen Ertragsziels in Höhe von 20 dt/ha am 9. Mai 1998. Der Ertrag über den gesamten Erntezeitraum wurde ausgewertet. Im dritten Standjahr wurde vom 25. April bis zum 6. Juni 1999 sechs Wochen lang geerntet. Der Gesamtertrag der Fläche betrug ca. 50 dt/ha. Die Erträge in den Versuchspartzellen wurden an jedem dritten Tag zweimal täglich ausgewertet, so dass etwa 1/3 des Gesamtertrages erfasst wurde.

Die ermittelten Ertragsgrößen waren Anzahl der Einzelstangen sowie das Gesamtgewicht aller Stangen pro Parzelle. Der Hektarertrag errechnet sich durch Multiplikation mit der Bestandesdichte von 16.800 Pflanzen/ha. Es handelt sich jeweils um Roherträge, da vor dem üblichen Einkürzen der Spargelstangen auf die Normlänge gewogen wurde.

In beiden Erntejahren wurde jeweils an drei Terminen die Erntequalität bonitiert. Das Erntegut wurde dem betriebsüblichen Sortierschema zugeordnet (Tab. 4.4). Abweichend von den Kriterien der EU-Qualitätsnorm für Spargel (Anonym, 1997a) erfolgte

die Sortierung hier einzig nach dem Durchmesser an der Stangenbasis und der Wuchsform. Erntebedingte Qualitätseinschränkungen wie abgebrochene, aufgeblühte oder violette Köpfe wurden ebenso wenig berücksichtigt, wie Berostung oder Verletzungen.

Tab. 4.4: Betriebsübliches Sortierschema für Spargelstangen

Sortierung	Durchmesser an der Stangenbasis
Super	> 26 mm
Extra	16 - 26 mm
HKI I	12 - 16 mm
HKI II	8 - 12 mm
HKI III	Krumm, Rillen, u. ä.

#### 4.2.3.4 Wasserverbrauch im Gefäßversuch

Im Gefäßversuch wurden die Spargelpflanzen in drei unterschiedlichen Bewässerungsstufen kultiviert. Hierzu wurden die Gefäße ab Mitte Mai zweimal pro Woche auf die in einem Vorversuch festgelegten Sollgewichte von 45, 60 und 90 % der Wasserkapazität aufgegonnen. Die Differenz der Gefäßgewichte vor und nach dem Gießen ergab die zugegebene Wassermenge, die über den gesamten Versuchszeitraum kumuliert wurde.

#### 4.2.3.5 Nährstoffgehalte in Pflanzen und Boden

Für die Bestimmung der Stickstoffgehalte in den Pflanzen wurden unterschiedliche Pflanzenteile verschiedenen Alters entnommen (Tab. 2.10, S. 36). Darüber hinaus wurden in den Kronen die P-, K-, Mg- und Ca-Gehalte analysiert. Die Methoden zur Bestimmung der Nährstoffgehalte im Boden sind in Kapitel 2.4 detailliert beschrieben. Die prozentualen Nährstoffgehalte in der Trockensubstanz (% N in TS) ergeben nach Multiplikation mit der Trockenmasse die N-Gehalte in g pro Pflanze, nach weiterer Multiplikation mit der Bestandesdichte von 16.800 Pfl./ha errechnet sich die in der Pflanzenmasse gebundene Nährstoffmenge in kg/ha.

## 4.3 Ergebnisse

### 4.3.1 Gefäßversuch

#### 4.3.1.1 Pflanzenmassen

Im Gefäßversuch wurde der oberirdische Aufwuchs fortlaufend gemessen. Die kumulierten Triebblängen, d. h. die Summe aller Triebe, sowie die Triebanzahl pro Pflanze sind Abb. 4.2 zu entnehmen.

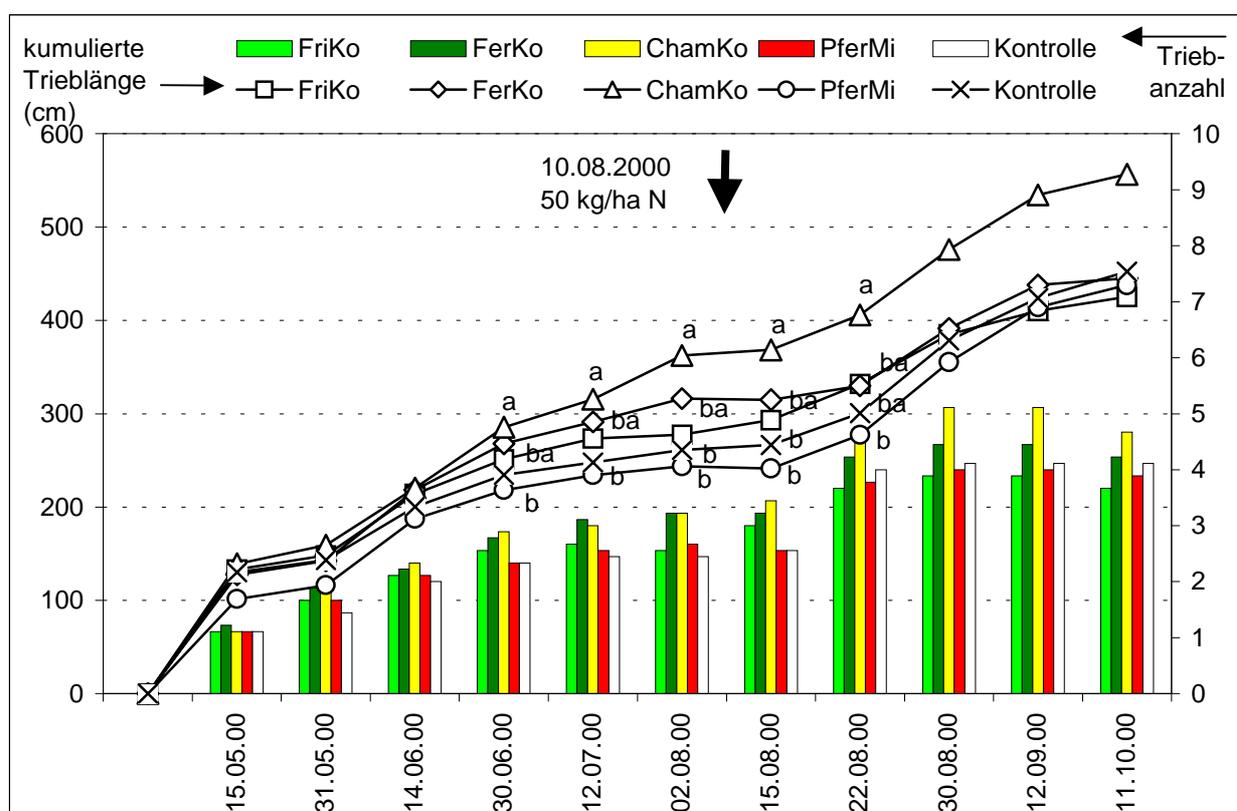


Abb. 4.2: Kumulierte Triebblängen (Summe aller Triebe) und Triebanzahl pro Pflanze im Gefäßversuch; Mittelwerte über Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Die Triebblängen waren in der ChamKo-Variante teilweise signifikant am höchsten, in der PferMi- und Kontroll-Variante hingegen am geringsten. Mit Ausnahme der ChamKo-Variante stagnierte das Wachstum in allen Varianten ab Mitte Juli, wurde jedoch durch die N-Kopfdüngung im August wieder angeregt. Ein signifikanter Einfluss der organischen Dünger auf die Triebanzahl konnte nicht festgestellt werden. Ab Mitte Juni wurde das Wachstum stark durch die unterschiedlichen Wasserstufen beein-

flusst. Triebanzahl und Trieblänge waren ab dem dritten Boniturtermin bei 90 % Wasserkapazität (WK) jeweils signifikant am höchsten, während zwischen 45 und 60 % WK keine statistisch gesicherten Unterschiede festgestellt werden konnten (siehe Abb. 9.1 im Anhang).

Am Endauswertungstermin waren alle gemessenen Parameter des oberirdischen Aufwuchses in der ChamKo-Variante am größten (Tab. 4.5). Deutlich geringere Frisch- und Trockenmassen wurden in den Kompost-Varianten gemessen, die Werte lagen in der FerKo-Variante noch unterhalb der ungedüngten Kontrolle. Die Unterschiede waren nicht statistisch absicherbar.

Tab. 4.5: Triebhöhen, Triebzahlen und Pflanzenmassen im oberirdischen Aufwuchs im Gefäßversuch am Endauswertungstermin; Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	Mittlere Trieb- länge (cm/Trieb)	Kumulierte Triebhöhe (cm/Pfl.)	Triebanzahl (Stück)	Frischmasse Aufwuchs (g/Pfl.)	Trockenmasse Aufwuchs (g/Pfl.)
FriKo	116,78	425,2	3,7	91,24	26,13
FerKo	103,67	445,2	4,2	88,79	25,89
ChamKo	119,47	556,7	4,7	102,49	28,98
PferMi	109,03	438,0	3,9	99,89	28,14
Kontrolle	110,90	452,3	4,1	92,06	26,07
45 % WK	106,52	287,5 b	2,7 b	57,83 c	17,51 c
60 % WK	109,76	385,3 b	3,5 b	79,28 b	23,52 b
90 % WK	119,64	717,7 a	6,1 a	147,57 a	40,10 a

Die größte Kronenfrischmasse und Knospenanzahl wurde in der PferMi-Variante gebildet, wobei der Unterschied zur ChamKo-Variante nicht signifikant war (Tab. 4.6).

Die Kronenmasse der Kompost-Varianten war jeweils größer als in der Kontroll-Variante. Die Wasserstufen hatten einen signifikanten Einfluss auf das ober- und unterirdische Wachstum (Tab. 4.5, Tab. 4.6). Die signifikant geringsten Frischmassen in Aufwuchs und Krone sowie Knospenanzahl wurden jeweils bei 45 % WK gemessen.

Tab. 4.6: Kronenmassen im Gefäßversuch am Endauswertungstermin, Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	Frischmasse Speicherwurzeln (g/Pfl.)	Frischmasse Rhizom (g/Pfl.)	Frischmasse Gesamte Krone (g/Pfl.)	Trockenmasse Krone (g/Pfl.)	Knospen- anzahl (Stück)
FriKo	300,96	29,67 ba	472,07 ba	104,50	10,4 b
FerKo	324,37	28,83 ba	481,51 ba	108,58	12,9 ba
ChamKo	335,12	32,52 a	531,74 ba	116,94	14,7 ba
PferMi	337,98	31,98 a	535,94 a	119,44	15,4 a
Kontrolle	281,15	25,91 b	451,00 b	103,82	13,1 ba
45 % WK	285,84 b	22,64 c	417,89 b	96,47 b	10,9 b
60 % WK	344,72 a	29,64 b	539,50 a	125,54 a	14,2 a
90 % WK	317,19 ba	37,06 a	525,97 a	109,96 b	14,8 a

Bei den höheren Wasserstufen wurde zwar insgesamt die gleiche Gesamttrockenmasse gebildet (Abb. 4.3), das Aufwuchs/Kronen-Verhältnis unterschied sich hingegen deutlich. Es betrug bei 45 % WK 0,18, bei 60 % WK 0,19 und war bei 90 % WK mit 0,36 etwa doppelt so groß.

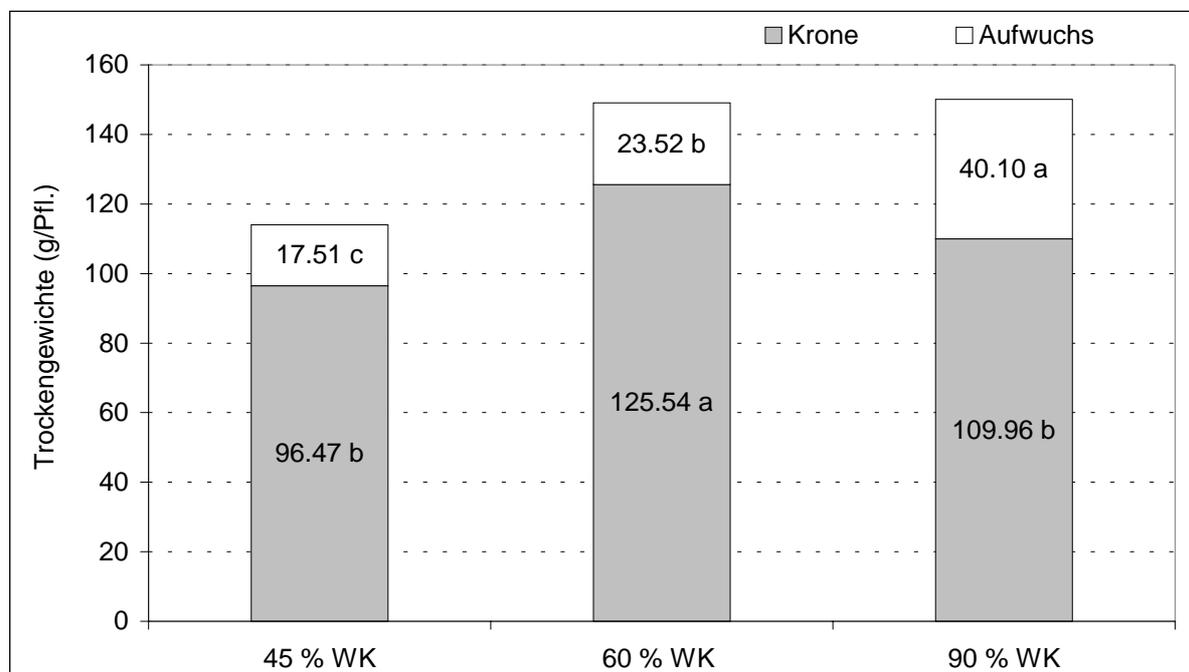


Abb. 4.3: Trockengewichte der Pflanzenorgane im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Im Gefäßversuch wurde bis Mitte Oktober eine mittlere Frischmasse von ca. 590 g/Pfl. gebildet (95 g Aufwuchs und 495 g Krone). Umgerechnet auf eine theoretische Bestandesdichte von 16.800 Pfl./ha (Pflanzweite 33\*180 cm) im Feld, entspräche dies einer Frischmassenbildung von ca. 100 dt/ha. Die mittlere Trockenmasse betrug 138 g/Pfl., davon 27 g im Aufwuchs und 100 g in der Krone (Abb. 9.2 im Anhang).

#### 4.3.1.2 Wasserverbrauch

In Abhängigkeit von den gewählten Bewässerungsstufen wurden in den bepflanzten Gefäßen des Gefäßversuches vom 18. Mai bis 19. Oktober in den 45 % WK-Varianten insgesamt 25,1 l, in 60 % WK 39,2 l und in 90 % WK 67,7 l Wasser zugegeben. Im Mittel über die Wasserstufen war der Verbrauch in den Gefäßen der ChamKo-Variante mit 47,85 l signifikant am höchsten (siehe Abb. 9.3 im Anhang).

#### 4.3.1.3 Nährstoffgehalte in den Pflanzen

Die Nährstoffgehalte in den Pflanzen am Endauswertungstermin des Gefäßversuches sind Tab. 4.7 zu entnehmen. Die durchschnittlichen N-Gehalte betragen 1,59 % im Aufwuchs und 0,6 % in der Krone. Sie unterschieden sich nicht signifikant, die tendenziell höchsten Werte wurden allerdings in der ChamKo-Variante gefunden. Die P-, K-, Mg- und Ca-Gehalte waren jeweils in der ChamKo-Variante signifikant am höchsten und in der Kontrolle bei P und K signifikant am geringsten.

Die Wasserstufen hatten eine unterschiedliche Wirkung auf die Nährstoffgehalte in den Kronen. Während die N und Ca-Gehalte bei 45 % WK signifikant am höchsten und bei 90 % am geringsten waren, wurden die höchsten P und K-Gehalte bei 90 % WK gemessen.

Aufgrund der geringen Aufwuchs- und Kronenmassen wurden im Gefäßversuch insgesamt nur ca. 1 bis 1,2 g N pro Pflanze gebunden (Abb. 4.4). Grundsätzlich unterschieden sich die N-Gehalte in der Pflanzenmasse (Summe aus Aufwuchs und Krone) nicht signifikant, tendenziell waren die N-Gehalte jedoch in der ChamKo-Variante am höchsten, im Aufwuchs sogar signifikant. Die geringsten N-Mengen wurden in den Kompost-Varianten und in der Kontrolle gefunden. Einen signifikanten Einfluss

auf die N-Gehalte in den Pflanzenteilen hatten die Wasserstufen (siehe Abb. 9.4 im Anhang). Die größte N-Menge wurde bei 60 % WK gebunden.

Tab. 4.7: Nährstoffgehalte in der Pflanzenmasse (% in TS) im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	Aufwuchs		Krone									
	N		N	P	K		Mg *		Ca *			
FriKo	1,70		0,60	0,160	ba	0,691	b	0,055	ba	0,023	b	
FerKO	1,75		0,59	0,157	bc	0,742	b	0,055	ba	0,026	ba	
ChamKo	1,76		0,67	0,179	a	1,043	a	0,059	a	0,033	a	
PferMi	1,77		0,60	0,172	ba	0,808	b	0,054	b	0,022	b	
Kontrolle	1,63		0,61	0,137	c	0,451	c	0,054	b	0,030	ba	
45 % WK	1,99	a	0,75	a	0,158		0,753	ba	0,056		0,031	a
60 % WK	1,74	b	0,61	b	0,158		0,686	b	0,056		0,026	b
90 % WK	1,43	c	0,48	c	0,167		0,803	a	0,054		0,023	c

\* Wechselwirkungen zwischen organischer Düngung und Wasserstufe

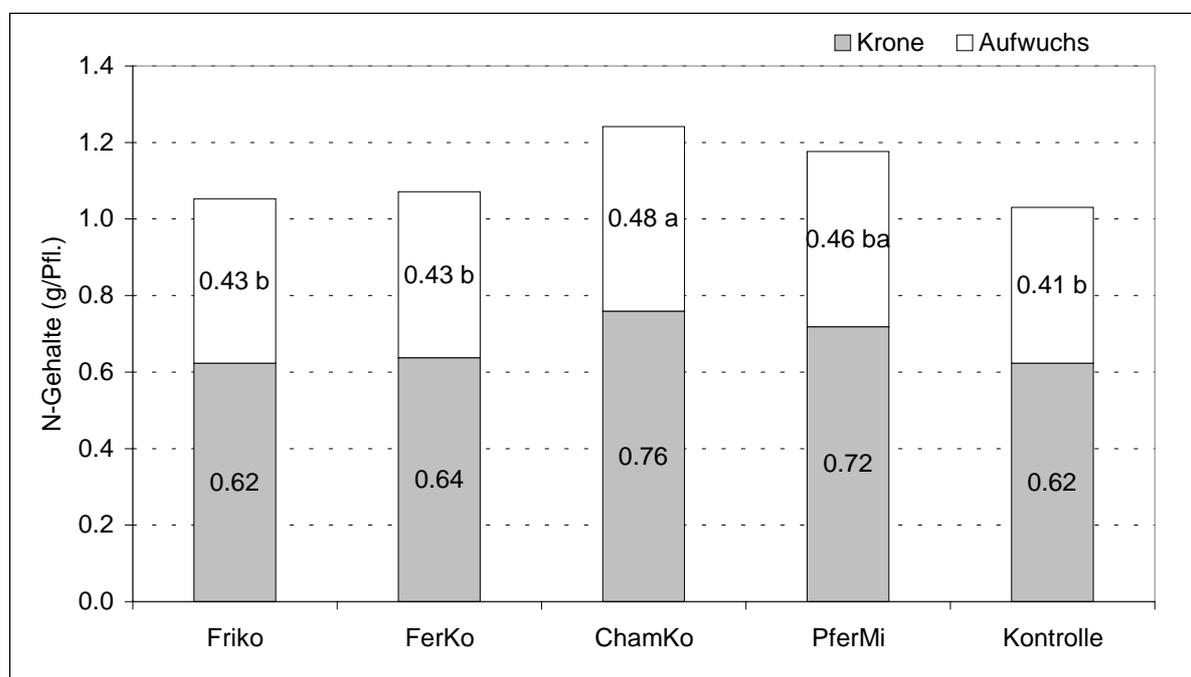


Abb. 4.4: Stickstoffgehalte in den Pflanzen (g N/Pfl.) im Gefäßversuch (Mittelwerte über Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ))

## 4.3.1.4 Nährstoffgehalte im Boden

Im Gefäßversuch wurden zeitgleich mit der Entnahme der Kronen die Nährstoffgehalte im Boden untersucht (Tab. 4.8). Die Gehalte unterschieden sich signifikant in Abhängigkeit von der organischen Düngung. Sie waren in der ChamKo-Variante jeweils am höchsten und in der Kontroll-Variante am geringsten. Die  $P_2O_5$ -Gehalte entsprachen der Nährstoffgehaltsklasse C, die  $K_2O$ -Gehalte der Klasse A und die MgO-Gehalte der Klasse B der Richtwerte für den Spargelanbau in Niedersachsen (Anonym, 2001b). Die Substrate müssen daher eher als gering versorgt beurteilt werden.

Die  $N_{min}$ -Reste in den bepflanzten Gefäßen unterlagen einer starken Streuung. Tendenziell wurden die geringsten Werte in den Kompost-Varianten gefunden. Der hohe Wert in der Kontrolle ist auf zwei Ausreißer zurückzuführen.

In der niedrigen Wasserstufe waren die Nährstoffgehalte teilweise signifikant am höchsten. Anders verhielten sich die MgO-Gehalte, die bei 45 % WK am geringsten waren.

Tab. 4.8: Nährstoff- und Humusgehalte im Boden im Gefäßversuch am Endauswertungstermin; Mittelwerte über organische Düngung und Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	$P_2O_5$ (mg/100g)	$K_2O$ (mg/100g)	MgO (mg/100g)	$N_{min}$ -Rest (kg/ha)	Org. Subst. (% Glühverlust)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Salz (%)
FriKo	12,28 ba	1,42 bc	4,08 b	6,00	3,92 ba	5,70 b	0,042 b
FerKO	12,02 ba	1,56 bac	4,00 b	4,83	3,93 ba	5,68 b	0,039 b
ChamKo	13,67 a	2,04 a	4,69 a	23,64	3,96 a	5,90 a	0,064 a
PferMi	12,92 ba	1,66 bac	4,30 ba	19,36	3,95 ba	5,73 b	0,043 b
Kontrolle	11,43 b	1,05 c	3,28 c	22,93	3,83 b	5,60 c	0,040 b
45 % WK	13,15	1,89 a	3,84 b	22,83	3,91	5,61 c	0,042 b
60 % WK	12,18	1,37 b	3,88 b	16,88	3,90	5,69 b	0,042 b
90 % WK	12,06	1,39 b	4,47 a	6,34	3,95	5,87 a	0,053 a

### 4.3.2 Feldversuch im ersten Standjahr

#### 4.3.2.1 Pflanzenmassen

Im ersten Standjahr wurden im Feldversuch die längsten Triebe in den Bioabfallkompost-Varianten gemessen (Tab. 4.9). Die Frisch- und Trockenmassen waren in den Pferdemit-Varianten in der Tendenz am größten und in den Grüngutkompost-Varianten am geringsten. Insgesamt hatten die organischen Dünger jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den oberirdischen Aufwuchs.

Tab. 4.9: Trieb­längen, Trieb­zahlen und Pflanzenmassen im oberirdischen Aufwuchs im Feldversuch am 15. September 1997; Mittelwerte über organische Düngung, Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	Mittlere Trieb­länge (cm/Trieb)	Kumulierte Trieb­länge (cm/Pfl.)	Trieb­ anzahl (Stück)	Frischmasse Aufwuchs (g/Pfl.)	Trockenmasse Aufwuchs (g/Pfl.)	Kraut­ masse (dt/ha)
Pferdemist	73,5	511,7	7,2	379,8	101,9	63,8
Bioabfallkompost	74,8	533,9	7,1	369,5	95,6	62,1
Grüngutkompost	73,6	497,3	6,8	343,8	91,6	57,8
200 dt/ha	73,8	538,1	7,4 a	373,3	99,9	62,7
600 dt/ha	74,1	490,5	6,8 b	355,4	92,8	59,7
80 kg/ha N	71,3 b	478,2 b	6,8	325,4 b	86,0	54,7 b
120 kg/ha N	76,7 a	550,4 a	7,3	403,3 a	106,7	67,8 a

Die Aufwandmenge hatte signifikanten Einfluss auf die Triebanzahl, die bei der geringeren Menge größer war als bei der hohen. Auch Trieb­länge, Frisch- und Trockenmasse entsprachen dieser Tendenz. Des Weiteren hatte die Mineraldüngung einen signifikanten Einfluss auf Trieb­längen, Frisch- und Krautmassen.

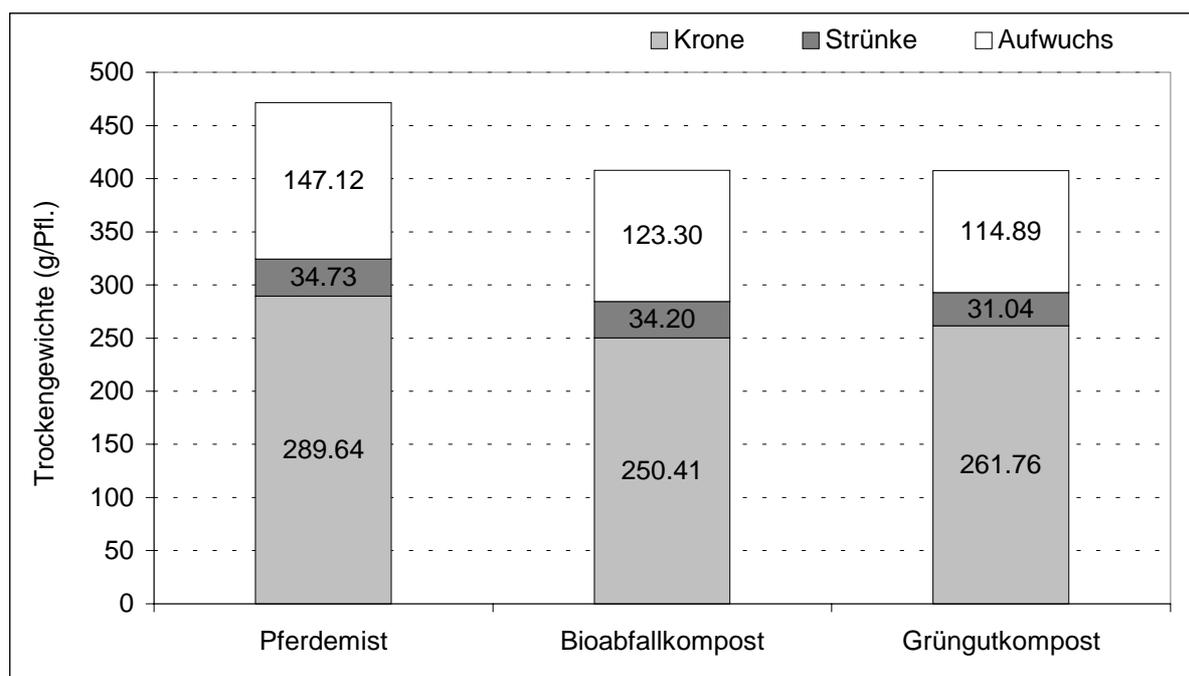
### 4.3.3 Feldversuch im zweiten Standjahr

Für die Beurteilung des Spargelwachstums im zweiten Standjahr stehen Ergebnisse aus dem Feldversuch zur Verfügung. Nachdem zunächst im August 1998 der Aufwuchs analog zur Aufwuchsbonitur im ersten Standjahr bonitiert wurde, wurden im September 1998 jeweils zwei Pflanzen pro Parzelle komplett entnommen. Die Pflanzen wurden getrennt in oberirdisches Kraut, unterirdische Strünke und Kronen (Rhizome, Speicher- und Faserwurzeln) untersucht.

#### 4.3.3.1 Pflanzenmassen

Im zweiten Standjahr konnte im Feldversuch kein signifikanter Einfluss der Versuchsfaktoren auf das Kraut- und Kronenwachstum festgestellt werden (Abb. 4.5). Lediglich in der Tendenz waren der Aufwuchs und Kronenmasse in den Pferdemit-Varianten am größten (Tab. 9.9 und Tab. 9.10 im Anhang). Es wurde eine mittlere Frischmasse von ca. 310 dt/ha (Aufwuchs + Krone) gebildet. Das mittlere Trockengewicht betrug demnach 429 g/Pfl. (128,4 g Kraut, 33,3 g Strünke, 267,3 g Krone).

Abb. 4.5: Trockengewichte der Pflanzenorgane im Feldversuch 1998; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )



#### 4.3.3.2 Ertrag und Qualität des Erntegutes

Im zweiten Standjahr (1998) wurde im Feldversuch signifikante Einflüsse der organischen und mineralischen Düngung auf den Rohertrag festgestellt (Tab. 4.10). Die größten Erträge wurden in den Pferdemit-Varianten gemessen. Der Unterschied zu den geringsten Erträgen in den Grüngutkompost-Varianten ist statistisch gesichert. Auch im dritten Standjahr gab es eine analoge Abstufung zwischen organischen Düngern, die allerdings nicht statistisch gesichert ist. Die höhere Aufwandmenge hatte im zweiten Standjahr scheinbar einen positiven Einfluss auf die Ertragshöhe. Statistisch abgesichert ist jedoch nur der Zusammenhang zwischen höherem Ertrag und höherer Mineralstickstoffstufe im zweiten Standjahr.

Tab. 4.10: Erntemengen (Rohertrag in dt/ha) im Feldversuch 1998 und 1999; Mittelwerte über organische Düngung, Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	2. Standjahr *	3. Standjahr **
Pferdemist	21,18 a	16,99
Bioabfallkompost	18,21 ba	16,49
Grüngutkompost	17,83 b	15,69
200 dt/ha	18,82	16,64
600 dt/ha	19,32	16,15
80 kg/ha N	17,79 b	15,47
120 kg/ha N	20,35 a	17,31

\* Erntezeitraum vom 20. April bis 9. Mai 1998 (20 Tage)

\*\* Erntezeitraum vom 25. April bis 6. Juni 1999,  
Ertragserfassung an jedem dritten Tag

Die Qualität der geernteten Spargelstangen wurde durch die Sortierung in die betriebsüblichen Klassen an jeweils drei Stichterminen beurteilt (Abb. 4.6).

Grundsätzlich war in beiden Erntejahren der Anteil dicker Stangen mit einem Durchmesser größer als 12 mm, d. h. Handelsklasse (HKI) 1 und besser, mit über 80 % hoch. Stangendurchmesser über 26 mm („Super“), sind zwar arbeitswirtschaftlich positiv zu bewerten, jedoch schwer zu vermarkten (Paschold, 2002). Die Unterschiede zwischen den organischen Düngern sind nicht signifikant.

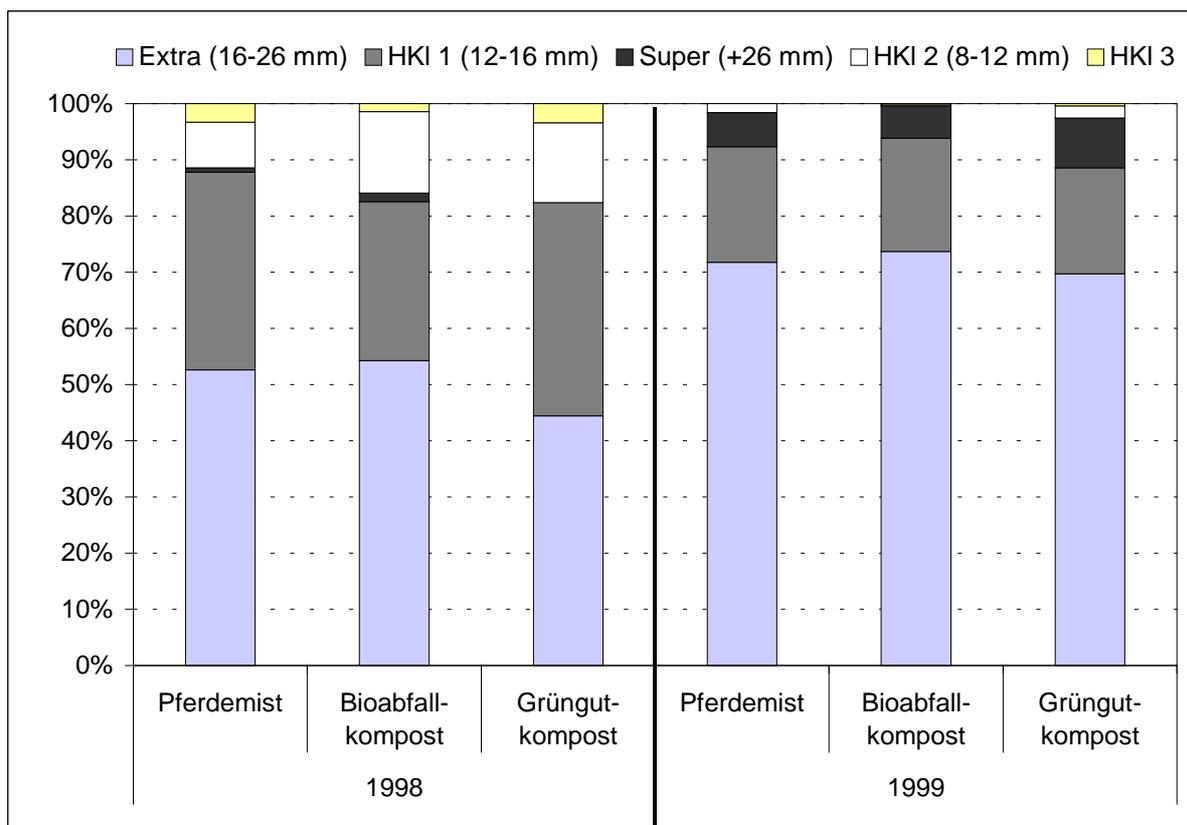


Abb. 4.6: Prozentualer Anteil der Handelsklassen am Ertrag im Feldversuch 1998 und 1999; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

#### 4.3.3.3 Nährstoffgehalte in den Pflanzen

In keinem Versuchsjahr wurden signifikante Einflüsse der Versuchsfaktoren auf die N-Gehalte im Aufwuchs festgestellt. Im zweiten Standjahr 1998 lagen die Gehalte mit 2,36 % N in TS etwas unterhalb der Werte von 1997, wo im Aufwuchs 2,49 % N in TS analysiert wurden (Tab. 9.11 im Anhang). Die N-Gehalte der Krone (% in TS) hingegen waren jeweils bei der höheren Aufwandmenge und Mineraldüngestufe signifikant höher (Tab. 4.11). Die N-Gehalte in g pro Pflanze, die sich durch Multiplikation der N-Konzentration mit den Trockenmassen der ober- und unterirdischen Pflanzenteilen ergeben, sind in Abb. 9.5 im Anhang dargestellt. Hierbei wurden die durchschnittlichen N-Gehalte der Strünke auf 2 % N in TS geschätzt.

Die Gesamtnährstoffgehalte in den Kronen sind Tab. 4.11 zu entnehmen. Die Versuchsfaktoren hatten einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtnährstoffgehalte.

Die P-, K- und Mg-Gehalte in den Pferdemist- und Bioabfallkompost-Varianten unterschieden sich nicht, sind jedoch in den Grüngutkompost-Varianten signifikant niedriger. Auch die höhere Aufwandmenge und Mineralstickstoffdüngung hatte (teilweise) signifikant höhere Nährstoffgehalte in den Kronen zur Folge. Hiervon ausgenommen sind jeweils die Ca-Gehalte, die sich nicht voneinander unterschieden.

Tab. 4.11: Nährstoffgehalte (% in TS) in den Kronen im Feldversuch 1998; Mittelwerte über organische Düngung, Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>
Pferdemist	1,62	0,259 a	1,698 a	0,073 a	0,031
Bioabfallkompost	1,62	0,253 a	1,656 a	0,072 a	0,031
Grüngutkompost	1,51	0,233 b	1,547 b	0,069 b	0,032
200 dt/ha	1,54 b	0,238 b	1,585 b	0,070 b	0,032
600 dt/ha	1,64 a	0,259 a	1,682 a	0,073 a	0,031
80 kg/ha N	1,54 b	0,246	1,611	0,070 b	0,031
120 kg/ha N	1,64 a	0,251	1,657	0,07 a	0,031

#### 4.3.3.4 Nährstoffgehalte im Boden

Im Feldversuch wurden die Grundnährstoffe im Rahmen der jährlichen Nährstoffuntersuchung im Januar 1999, d. h. im Winter nach der Pflanzenentnahme, analysiert. Erwartungsgemäß wurden aufgrund der jährlichen Grunddüngung keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt. Die  $P_2O_5$ -Gehalte entsprechen der Gehaltsklasse C, die  $K_2O$ -Gehalte der Klasse B und die MgO-Gehalte der Klasse D (Anonym, 2001b). Die Nährstoffgehalte sind der Tab. 9.12 im Anhang zu entnehmen.

#### 4.4 Diskussion

Durch organische Düngung wird die Bodenfruchtbarkeit positiv beeinflusst, was sich langfristig auf Wachstum und Ertrag der angebauten Kulturen auswirkt (Körschens, 1999b). Die hier vorgestellten Untersuchungszeiten geben nur einen dreijährigen Ausschnitt einer Spargelkultur wieder, der grundsätzlich zu kurz ist, um das System organische Düngung/Spargelanbau abschließend zu beurteilen. Auch reichen zwei Ernteperioden bei weitem nicht aus, um das Ertragspotenzial der Dauerkultur hinreichend zu charakterisieren.

Zur Beurteilung der Wirkung organischer Dünger auf Wachstum und Ertrag mussten sich die Untersuchungen in beiden Versuchen daher zwangsläufig auf das ober- und unterirdische Spargelwachstum konzentrieren. Dabei ist zu beachten, dass aus versuchstechnischen Gründen im Gefäßversuch jeweils nur drei und im Feldversuch im zweiten Standjahr nur vier (ganze) Pflanzen pro Variante untersucht werden konnten. Spargelpflanzen unterliegen jedoch einer sehr großen Heterogenität (Sinton und Wilson, 1999). Diese sollte im Gefäßversuch durch die Auswahl gleich schwerer Jungpflanzen vermieden werden, auf die Auswahl der Pflanzen im Feldversuch konnte hingegen kein Einfluss genommen werden.

Prinzipiell ist das Wachstum der Spargelpflanzen im Gefäß- und Feldversuch nicht miteinander vergleichbar, weil u. a. das durchwurzelbare Bodenvolumen in Gefäßen stark eingeschränkt ist. Neben den unterschiedlichen klimatischen Bedingungen im Gefäßversuch, insbesondere Temperatur und Einstrahlung in der Vegetationshalle, führte auch die Aufstellung der Gefäße in der Kleinlysimeteranlage zwangsweise zu unterschiedlichen Wachstumsbedingungen. Die Pflanzen standen ca. 1 m über der Bodenoberfläche, es gab keine Randpflanzen und auch die Abstände zueinander waren größer als unter Feldbedingungen. Darüber hinaus erhielten die Spargelpflanzen – mit Ausnahme der N-Kopfdüngung im August – keine zusätzliche Mineraldüngung. Aufgrund der unterschiedlichen Versuchsfragen und Wachstumsbedingungen werden die Ergebnisse aus Gefäß- und Feldversuch somit im Folgenden getrennt voneinander diskutiert.

#### 4.4.1 Gefäßversuch

Das Wachstum der Spargelpflanzen im Gefäßversuch war sehr spärlich. So betrug beispielsweise der Aufwuchs im Gefäßversuch (Tab. 4.5) nur ca. 1/3 der im Feldversuch gemessenen Frischmasse (Tab. 4.9). In von Paschold *et al.* (2001) veröffentlichten Untersuchungsdaten von einjährigen Spargelbeständen aus verschiedenen Regionen betragen die ermittelten Frischmassen (Aufwuchs + Krone) im Oktober durchschnittlich 230 dt/ha, im Gefäßversuch wurden hochgerechnet auf eine theoretische Bestandesdichte von 16.800 Pfl./ha nur ca. 100 dt/ha gebildet.

Die geringe Massebildung im Gefäßversuch kann sowohl auf die geringe Nährstoffversorgung als auch bei den 45 % WK-Varianten auf die unzureichende Wasserversorgung zurückgeführt werden.

Die Grundnährstoffgehalte (P, K, Mg) des Kontrollsubstrates (Tab. 2.8 S. 33) lagen zu Versuchsbeginn in den Gehaltsklassen A und B und somit im niedrigen bis mittleren Bereich. Durch die organische Düngung konnten jeweils die P-Gehalte und teilweise die K-Gehalte um eine Gehaltsklasse angehoben werden, die Mg-Gehalte blieben unverändert in Klasse B.

Die von der Officialberatung (Anonym, 2001b) empfohlene K-Düngung in der Gehaltsklasse A wurde durch PferMi, ChamKo und FerKo geliefert (Tab. 4.3). Kalium ist in organischen Düngern zu 100% direkt pflanzenverfügbar (Gutser und Ebertseder, 2002). Zum Versuchsende lagen die K-Gehalte wieder in der Gehaltsklasse A (Tab. 4.8) und somit weit unterhalb der für eine ausreichende Versorgung erforderlichen K<sub>2</sub>O-Gehalte von über 10 mg/100 g Boden (Hartmann, 1994). Eine solche Unterversorgung hätte unter Feldbedingungen vermutlich negative Auswirkungen auf den langjährigen Spargelertrag zur Folge (Douglas und Follett, 1996; Hartmann *et al.*, 1987; Sanders, 1999).

Unter den Bedingungen des Gefäßversuches, wo ein gering mit Nährstoffen versorgter Boden als Ausgangs- bzw. Kontrollsubstrat diente, reichte die alleinige Nährstofflieferung aus den organischen Düngern somit nicht aus, um den Bedarf der Spargelkultur im ersten Standjahr zu decken. Eine Übertragung der Ergebnisse auf gut bis sehr gut versorgte Ackerböden unter Feldbedingungen ist allerdings nicht möglich.

Analog zu den geringen Nährstoffgehalten im Boden waren auch die Nährstoffgehalte in den Pflanzenorganen gering (Tab. 4.7). Eine Korrelation zwischen Nährstoff-

konzentrationen in Kronen und Hauptwurzelschicht im Boden wird auch von Hartmann *et al.* (1990) beschrieben. In den Spargelkronen wurden nur ca. 54 % der P-, 42 % der K- und 55 % der Mg-Gehalte der von Paschold *et al.* (2001) unter Praxisbedingungen an verschiedenen Standorten ermittelten Werten gefunden.

Ein weiteres Ziel des Gefäßversuches war die Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen organischer Düngung und Bewässerung. Hierzu wurden als Vorversuch für einen geplanten Bewässerungsversuch im Feld in bepflanzten Gefäßen die volumetrischen Bodenwassergehalte bei vorgegebenen Wasserstufen gemessen. Um hierbei einen möglichst breiten Messbereich abdecken zu können, wurde mit 45 und 90 % WK eine weite Spreizung zwischen den Wasserstufen gewählt.

Im Laufe der Versuchsdauer stellte sich dabei heraus, dass die Wasserstufe 45 % WK für die Entwicklung der Pflanzen nicht ausreichte. Die Trockenmassen von Aufwuchs und Kronen waren hier jeweils signifikant am geringsten (Abb. 4.3). Des Weiteren war zu beobachten, dass sich die ober- und unterirdischen Pflanzenteile in Abhängigkeit von der Wasserstufe unterschiedlich entwickelten. Hirsch (1985) bezeichnet die grundsätzlich größere unterirdische Kronenmasse bei Spargel als typische Wachstumsreaktion der an Trockenstandorte angepassten Pflanzen. Diese versorgen primär ihr Speichersystem und bilden je nach Umweltbedingungen die oberirdische Pflanzenmasse aus. Im Gefäßversuch zeigte sich deutlich, wie durch die Verbesserung der Wachstumsbedingungen, hier Bewässerungsstufe, das Krautwachstum stärker gefördert wurde. Der signifikant höchste Wasserverbrauch in den ChamKo-Varianten (Abb. 9.3 im Anhang) kann auf die große Transpirationsoberfläche der Pflanzen zurückgeführt werden. Eine weiterer Grund für das geringe Wachstum in der 45 % WK-Variante liegt möglicherweise in der geringeren N-Verfügbarkeit im Boden.

Obwohl die höchsten N-Konzentrationen in Aufwuchs und Krone (% N in TS) jeweils bei 45 % WK gefunden wurden (Tab. 4.7), unterschieden sich die N-Gehalte in g/Pfl. (Summe aus Aufwuchs und Krone) aufgrund der insgesamt geringeren Trockenmassebildung in der niedrigen Wasserstufe nicht (siehe Abb. 9.4 im Anhang). Dass bei 90 % WK die N-Gehalte im Aufwuchs am höchsten und in den Kronen am geringsten waren, kann als Hinweis darauf gesehen werden, dass hier die N-Verlagerung in die Wurzeln noch nicht abgeschlossen war (Ledgard *et al.*, 1994).

Im Gefäßversuch wurden sehr geringe Stickstoffgehalte in Aufwuchs und Krone ermittelt (Abb. 4.4). Umgerechnet auf eine theoretische Bestandesdichte von 16.800 Pfl./ha entspräche der mittlere N-Gehalt von ca. 1 g pro Pflanze einer N-Bindung des Bestandes von ca. 18 kg/ha. Paschold *et al.* (2001) kalkulieren für den April des ersten Standjahres eine N-Bindung von 10 kg/ha und für den August 80 kg/ha. Die bei Hirsch (1985) beschriebenen N-Mangelsymptome, wie gleichmäßig hellgelber Aufwuchs und geringe Triebhöhe, konnten allerdings im Gefäßversuch nicht spezifiziert werden. Aufgrund der klimatischen Bedingungen bildeten sich im Gefäßversuch sogar um ca. 40 cm längere Triebe als im ersten Standjahr im Feldversuch.

Ob die N-Versorgung im Gefäßversuch, die sich aus  $N_{\min}$ -Gehalt zu Versuchsbeginn (36 bis 70 kg/ha N in Abhängigkeit vom organischen Dünger, siehe Tab. 2.8, S. 33), Kopfdüngung (50 kg/ha N am 10. August) und N-Mineralisation zusammensetzt, ausreichend war, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Grundsätzlich weisen die im Vergleich zu Literaturwerten geringen Pflanzenmassen jedoch darauf hin, dass die N-Versorgung bereits in den ersten Monaten des Gefäßversuches zu niedrig war.

Die Officialberatung empfiehlt für einjährige Spargeljungpflanzen einen  $N_{\min}$ -Sollwert in Höhe von 90 kg/ha N in 0-60 cm Tiefe zum Austrieb im Mai (Anonym, 2001b). Aufgrund der geringen Anzahl an Prüfgliedern konnten die  $N_{\min}$ -Gehalte in den bepflanzten Gefäßen des Gefäßversuches nicht bestimmt werden, da die Probenentnahme eine Beschädigung der Wurzeln zur Folge gehabt hätte. Somit war auch eine Überprüfung der Mineralisation in den bepflanzten Gefäßen nicht möglich. Statt dessen wurden zur Schätzung der Netto-Mineralisation die  $N_{\min}$ -Verläufe aus den unbepflanzten Gefäßen herangezogen (Kapitel 3.3.3). Die mittlere Netto-Mineralisation lag hier von Ende März bis Mitte Mai zwischen 22 und 32 kg/ha N (Mittelwert aus 45 und 60 % WK, Abb. 3.6, S. 57), so dass das N-Angebot aus  $N_{\min}$ -Anfangsgehalt und Netto-Mineralisation in diesem Zeitraum ungefähr in der Größenordnung zwischen 58 kg/ha N in der FriKo- und 90 kg/ha N in der ChamKo-Variante lag.

Bei der Schätzung der Netto-Mineralisation ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die gleichen Bewässerungsstufen, d. h. die gleichen Sollgewichte der bepflanzten und unbepflanzten Gefäße, aufgrund der Pflanzenverdunstung zu völlig unterschiedlichen tatsächlich zugeführten Bewässerungsmengen und folglich zu unterschiedlichen Mineralisationsbedingungen führten. Ein direkter Vergleich der Netto-

Mineralisation, bzw. die Übertragung der Daten von den unbepflanzten auf die bepflanzen Gefäße ist daher nicht sinnvoll.

Durch die organische Düngung sind die Humusgehalte in den Substraten des Gefäßversuches teilweise signifikant erhöht worden (Tab. 4.8). Im Vergleich zur Kontrolle waren die Gehalte an organischer Substanz (in % Glühverlust) in den organisch gedüngten Varianten zu Versuchsende jeweils ca. 0,1 % höher. Unter trockenen Verhältnissen, wie sie im vorliegenden Versuch mit der Wasserstufe 45 % WK simuliert wurden, scheint sich die organische Düngung besonders positiv auf das Pflanzenwachstum ausgewirkt zu haben. Insbesondere die Kronenfrischgewichte waren im Vergleich zu den Pflanzen im ungedüngten Kontrollsubstrat deutlich höher (Abb. 9.6 im Anhang). Dies kann als Indiz dafür betrachtet werden, dass sich ein erhöhter Humusgehalt besonders bei Trockenheit positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt (Paschold *et al.*, 2000). Auch hier ist zu beachten, dass jeweils nur drei Pflanzen in die Mittelwertsberechnung eingeflossen sind.

Zur Beurteilung des Einflusses der Art der organischen Dünger auf das Wachstum der Spargelpflanzen im Gefäßversuch werden im Folgenden die Mittelwerte über die Bewässerungsstufen betrachtet. Die tendenziell geringsten oberirdischen Aufwüchse (Frisch- und Trockenmassen) wurden jeweils in den Kompost-Varianten gemessen (Tab. 4.5). Die oberirdische Frischmasse sowie die Knospenanzahl war in der FriKo-Variante sogar noch geringer als in der ungedüngten Kontrolle. Im Vergleich zu den anderen organischen Düngern handelt es sich in Anbetracht der geringeren Nährstofffracht (Tab. 4.3) vermutlich um einen Nährstoffeffekt.

Darüber hinaus hat möglicherweise die N-Immobilisierung in der FriKo-Variante (3.3.3) eine Wachstumsdepression verursacht. Die durch Frischkompost induzierte biologische Aktivität kann Wachstums- und Ertragsdepressionen zur Folge haben, wenn es zwischen den Mikroorganismen im Boden und den Pflanzen zur Konkurrenz um verfügbare N-Quellen kommt (Voelker, 1990). Ein weiterer negativer Effekt kann sich grundsätzlich aus der Salzfracht von Komposten ergeben (Pill und Evans, 1993). Da das Ursprungsgebiet von Spargel vermutlich in den Salzsteppen Osteuropas und Vorderasiens liegt, gehört er zu den salztoleranten Arten (Krug *et al.*, 2002). Erhöhte Salzgehalte in organischen Düngern sind somit als Ursache für Wachstumsdepressionen auszuschließen. Im Gefäßversuch wurden die größten oberirdischen

Aufwüchse trotz der höchsten Salzgehalte (Tab. 2.5, S. 28) in der ChamKo-Variante gebildet (Tab. 4.6).

Die Kronen-Frischgewichte und Knospenanzahl waren dagegen in der PferMi-Variante signifikant am höchsten. Die Anzahl der Erneuerungsknospen gilt das Maß für die Verfügbarkeit von Kohlenhydratreserven, und letztendlich für das Austriebspotenzial in der kommenden Vegetationsperiode (Wilson *et al.*, 1999).

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Gefäßversuch können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das Pflanzenwachstum war in starkem Ausmaß von den Wassergehaltsstufen beeinflusst, die größten Pflanzenmassen wurden bei 90 % WK gebildet.
- Die Grundnährstofflieferung aus den organischen Düngern reichte – insbesondere im Hinblick auf die Kaliumgehalte – nicht aus, um eine volle Bestandesentwicklung zu gewährleisten. Im Hinblick auf das als nährstoffarm einzustufende Ausgangs- oder Kontrollsubstrat hätte eine mineralische Grunddüngung die Wachstumsbedingungen erheblich verbessern können. Auch die N-Versorgung ist im Gefäßversuch eher als zu gering einzustufen, die Kopfdüngung im August hätte früher erfolgen müssen.
- Die Erhöhung der organischen Substanz durch organische Düngung ermöglichte in der trockenen Versuchsvariante bei 45 % WK höhere Wurzelgewichte.
- Unter der hier gewählten Prämisse, die Ausbringungsmengen auf Basis gleicher Kohlenstofffrachten in Höhe von 4000 kg/ha C zu berechnen, erlangen der Pferdemist und das abgetragene Champignonkultursubstrat als organische Dünger die positivste Bewertung. Die Kraut- und Kronenmassen, sowie die Stickstoff- und Gesamtnährstoffgehalte in den Pflanzen waren hier jeweils am höchsten, was einerseits auf die höhere Netto-Mineralisation (Kapitel 3), andererseits auf die höheren P- und K-Frachten zurückzuführen ist (Tab. 4.3).

#### 4.4.2 Feldversuch

Im ersten Standjahr des Feldversuches wurde Mitte September 1997 der oberirdische Aufwuchs bonitiert und analysiert. Da dieser nur unzureichende Informationen über den Ernährungszustand und die Leistungsfähigkeit einer Spargelanlage bietet (Hartmann *et al.*, 1990), hätte grundsätzlich die gesamte Pflanze betrachtet werden müssen. Aufgrund des großen Arbeitsaufwandes beim Ausgraben der unterirdischen Kronen und der damit verbundenen Schwächung des Ertragspotenzials des Bestandes war dies jedoch nur im zweiten Standjahr möglich.

Bei der alleinigen Betrachtung des Krautes spielt aufgrund der Nährstoffverlagerung zwischen den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen der Probenahmetermin eine besondere Rolle (Hartmann *et al.*, 1987). Die Krautproben wurden in beiden Versuchsjahren Anfang bzw. Mitte September entnommen. Die Phyllokladien zeigten zwar zu diesem Zeitpunkt keine Anzeichen von Vergilbung, ob die Probenahme jedoch bereits bei beginnender Seneszenz erfolgte, bleibt offen. Krug (1999a) definiert die „Krautreife“ d. h. eine mittlere Vergilbung, als Ausdruck der Seneszens. Sie wird bei einem Temperaturoptimum von 5 bis 12 °C induziert und durch vorangegangene hohe Temperaturen beschleunigt. Dementsprechend ist auch die Nährstoffverlagerung temperaturabhängig.

Wie in vielen Freilandversuchen üblich, musste auch bei den hier beschriebenen Pflanzenuntersuchungen ein Kompromiss zwischen Kosten, Arbeitsaufwand und eigentlich statistisch notwendigem Probenumfang gefunden werden. Aufgrund der geringen Anzahl der ausgewerteten Pflanzen sowie der großen Variabilität der Spargelpflanzen konnten die gefunden Unterschiede zwischen den Versuchsfaktoren daher nur selten statistisch abgesichert werden. In der Tendenz waren jedoch durchaus Unterschiede erkennbar, die im Folgenden diskutiert werden.

Im ersten Standjahr entsprachen die Aufwüchse (Tab. 4.9) den mittleren Aufwüchsen von 320 g FM/Pfl. in unbewässerter Praxisbestände (Paschold *et al.*, 2001). Im zweiten Standjahr hingegen waren die Aufwüchse mit durchschnittlich 429 g Trockenmasse pro Pflanze (Abb. 4.5) eher gering. Hirsch (1985) hatte entsprechende Werte zwischen 430 bzw. 478 g Gesamttrockenmasse pro Pflanze nur in den schwach gedüngten (N0 und N50) Varianten eines Düngesteigerungsversuches ermittelt.

In beiden Standjahren zeigten sich keine gesicherten Unterschiede zwischen den organischen Düngern. Tendenziell wurden die größten ober- und unterirdischen Pflanzenparameter jeweils in den Pferdemit-Varianten ermittelt. Das ist wahrscheinlich auf die signifikant höhere Netto-Mineralisation in den Pferdemit-Varianten im Sommerhalbjahr 1998 zurückzuführen (siehe Abb. 3.1, S. 51). Auch die Erträge in der Pferdemit-Variante waren im zweiten Standjahr signifikant am höchsten (Tab. 4.10). Analog dazu hatten die tendenziell geringen Aufwüchse in der Grüngutkompost-Variante im ersten Standjahr (Tab. 4.9), die auf eine vorübergehende Immobilisierung zurückzuführen sind (siehe Kapitel 5.4.1), negative Auswirkungen auf den Ertrag im zweiten Standjahr. Obwohl der Kohlenhydratstatus in den Kronen nicht analysiert wurde, muss davon ausgegangen werden, dass die Assimilatreserven in den Kronen hier geringer waren, als in den Bioabfallkompost- und Pferdemit-Varianten (Robb, 1984).

Grundsätzlich ist der Ertrag im zweiten Standjahr nur von geringer Bedeutung für die Dauerkultur Spargel. Die Bestände werden nur über einen kurzen Zeitraum, meist ca. drei Wochen gestochen und können dann durchtreiben. Noch vor einigen Jahren wurden Spargelbestände erst ab dem dritten Standjahr beerntet. Im Feldversuch konnten bereits ab dem dritten Standjahr keine Ertragsunterschiede zwischen den organischen Düngern mehr festgestellt werden (Tab. 4.10). Aus diesem Grunde darf die vermeintliche „Ertragsdepression“ in den Grüngutkompost-Varianten nicht überbewertet werden.

Die höhere Aufwandmenge (600 dt/ha) wirkte sich tendenziell negativ auf das oberirdische Wachstum aus (Tab. 4.9). Im ersten Standjahr war die Krautmasse bei der höheren Aufwandstufe auf 95 % gegenüber der geringeren Aufwandstufe reduziert, die Triebanzahl war signifikant geringer. Im zweiten Standjahr wurde in der höheren Aufwandstufe eine Tendenz zu geringeren Kronenmassen festgestellt (Tab. 9.10 im Anhang).

In der Literatur werden Wachstumshemmungen nach Kompostanwendung auf verschiedene Ursachen wie N-Sperre bei weitem C/N-Verhältnis, phytotoxische Substanzen bei geringen Rottegraden sowie hohe Salzgehalte und pH-Werte zurückgeführt (Hartz *et al.*, 1996; Kazemi, 1985; Oehmichen *et al.*, 1990; Ozores-Hampton *et al.*, 1998).

Der Pferdemist hatte von den im Feldversuch eingesetzten organischen Düngern das weiteste C/N-Verhältnis (26). Die im Ausbringungsjahr beobachtete vorübergehende N-Immobilisierung (siehe Kapitel 5) wirkte sich jedoch nicht nachhaltig auf das Wachstum aus. Anders hingegen beim „frischen“ Grüngutkompost (Rottegrad 3, C/N 21), wo neben der vorübergehenden Immobilisierung auch andere Faktoren zu einer Wachstumshemmung geführt haben können. So hatte in Versuchen von Kazemi (1985) die noch vorhandene biologische Aktivität von Frischkompost einen starken Pilzbefall und das Absterben von Keimlingspflanzen zur Folge. Ob ein ähnlicher Effekt beim Spargel aufgetreten ist, beispielsweise das Absterben von jungen Trieben im Pflanzjahr, wurde im Feldversuch nicht bonitiert. Bei der Pflanzenuntersuchung im ersten Standjahr konnte jedoch in den Grüngutkompost-Varianten eine tendenziell geringere Triebanzahl festgestellt werden. Im Gefäßversuch, wo das Wachstum im ersten Standjahr intensiv beobachtet wurde, ergaben sich in keiner organischen Düngevariante Wachstumsdepressionen, die auf phytotoxische Substanzen hinweisen. Die Untersuchung auf solche Stoffe gehörte allerdings auch nicht zum Untersuchungsprogramm der hier vorgestellten Versuche.

Salzgehalte sind als Ursache für Wachstumsdepression auszuschließen, zumal die Salzfrachten pro Hektar trotz unterschiedlicher absoluter Salzgehalte in g/l FM etwa gleich waren (Tab. 2.5, S. 28). Auch die pH-Werte lagen über den gesamten Kulturzeitraum innerhalb des für Spargel empfohlenen Bereiches zwischen 5,8 und 6,2.

Die mineralische N-Düngung hatte teilweise signifikante Auswirkungen auf Wachstum und Ertrag. Um mögliche Effekte zu verdeutlichen, wurden bei der Versuchsplannung Sollwerte gewählt, die mit 80 und 120 kg/ha entweder unter oder über den Empfehlungen der Officialberatung (90 kg/ha in Junganlagen, 100 kg/ha in Ertragsanlagen, Anonym, 2001b) lagen. Die oberirdische Frischmasse war im ersten Standjahr bei der höheren N-Stufe um 24 % erhöht (Tab. 4.9), im zweiten Standjahr nur noch um 2 %. Die Kronenmasse war um 6 % erhöht (Tab. 9.9 und Tab. 9.10 im Anhang). Folglich stiegen auch die Erntemengen durch die Mineraldüngung, im zweiten Standjahr signifikant um 14 % und im dritten Standjahr um 12 % (Tab. 4.10).

Die im Feldversuch bonitierte Qualität des Erntegutes bezog sich auf die Stangendurchmesser und wurde nicht durch die organischen Dünger beeinflusst. Generell sind die höchsten Erträge mit der Stangendicke korreliert (Warman, 1991). Wie sich die Stangendurchmesser im weiteren Verlauf der Kultur entwickeln, konnte aufgrund

des begrenzten Versuchszeitraumes nicht weiter beobachtet werden. Die Alterung einer Spargelanlage, d. h. der zunehmende Anteil dünner Spargelstangen soll durch organische Düngung um vier Jahre verzögert werden (Hartmann und Hermann, 1986).

Die N-Konzentrationen im Kraut (% in TS) lagen in beiden Versuchsjahren im Bereich von Literaturwerten (Hirsch, 1985; Kaufmann und Kaufmann, 1967). Im zweiten Versuchsjahr waren die N-Konzentrationen im Kraut etwas geringer als im ersten (Tab. 4.7 und Tab. 9.11 im Anhang). Fehér-Barvinkó (1995) fand zwar ebenfalls im Laufe des Anlagenalters abnehmende N-Gehalte im Kraut, die Unterschiede können jedoch auch auf die witterungsbedingte Stoffumlagerung zwischen Kraut und Krone zurückzuführen sein (Krug, 1999b).

Die im zweiten Standjahr ermittelten N-Gehalte in den Pflanzen (Abb. 9.5 im Anhang) lagen im Bereich der von Hirsch (1985) in einem Düngesteigerungsversuch vorgefundenen Entzüge bei höherem N-Niveau (N250, Sandboden). Bedingt durch die höheren Kronengewichte und N-Konzentrationen im Kraut lagen die N-Gehalte in den Pflanzen der Pferdemist-Variante (nicht signifikant) um ca. 16 bis 19 % über den Kompost-Varianten, was auf die erhöhte Netto-Mineralisation zurückzuführen ist.

Zu dem im Gefäßversuch beschriebenen Mangel an den Grundnährstoffen P, K und Mg kam es im Feldversuch nicht, weil alle Parzellen jeweils zu Jahresbeginn die gleiche Grunddüngung erhielten. Die unterschiedlichen Nährstoffgehalte in den Kronen sind auf die Versuchsvarianten zurück zu führen (Tab. 4.11). Sie wurden signifikant durch die Art der organischen Düngung und ihre Aufwandmenge beeinflusst und korrelieren mit den Nährstofffrachten der organischen Dünger (Tab. 4.3).

Die Nährstofffrachten spielten bei der organischen Düngung im Spargelanbau bislang eher eine untergeordnete Rolle. Dabei haben die vorliegenden Ergebnisse aus dem Feldversuch gezeigt, dass der Bedarf einer Spargelanlage – beispielsweise durch die Kaliumfracht der organischen Dünger – vollkommen gedeckt werden kann. Ein Vergleich der Grundnährstofflieferungen der organischen Dünger aus dem Feldversuch (Tab. 4.3) mit dem Düngebedarf im ersten Standjahr (Empfehlung in der Bodengehaltsklasse C nach Anonym, 2001) unter Annahme einer Nährstoffausnutzung von 35 % bei  $P_2O_5$  und jeweils 100 % bei  $K_2O$  und  $MgO$  (Gutser und Ebertseider, 2002) bestätigt, dass die Nährstofffrachten der organischen Dünger besonders bei der höheren Aufwandstufe fast immer ausreichten, um den Düngebedarf zu

decken (Tab. 9.12 im Anhang). Im Gefäßversuch traf dies allerdings nicht zu, weil der Nährstoffgehalt im Ausgangssubstrat zu gering war. Es wird also deutlich, dass die Nährstofffrachten organischer Dünger im Hinblick auf eine umweltgerechte Spargelproduktion auf jeden Fall in die Düngebilanzierung eingehen sollten. Gleichzeitig reduziert sich durch die organische Düngung der Mineraldüngerbedarf, was auch ein ökonomischer Vorteil ist, da Kosten für die Ausbringung von Mineraldüngern eingespart werden können (Ries und Oetjen-Dehne, 1998).

#### 4.4.3 Abschließende Betrachtung

Im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchungen sollte die Wirkung von Komposten auf Wachstum und Ertrag von Spargelpflanzen im Vergleich zum traditionell angewandten Pferdemist überprüft werden. Im Feldversuch wurden im ersten und zweiten Standjahr 1997 und 1998 folgende Ergebnisse erzielt:

Bei den Pflanzenuntersuchungen konnten aufgrund des geringen Stichprobenumfangs – mit Ausnahmen von Erträgen und Nährstoffgehalten in den Kronen – keine statistisch gesicherten Unterschiede festgestellt werden. Tendenziell wurden die größten ober- und unterirdischen Pflanzenparameter jeweils in den Pferdemist-Varianten gefunden. Diese Unterschiede sind in erster Linie auf die unterschiedliche Netto-Mineralisation aus den organischen Düngern, besonders im Ausbringungsjahr 1997 zurückzuführen (Kapitel 5). Die vorübergehende Immobilisierung in den Grüngutkompost-Varianten hat die Entwicklung des oberirdischen Aufwuchs im ersten Standjahr negativ beeinflusst. Aufgrund der geringeren Assimilationsleistung war auch der Ertrag im zweiten Standjahr, der grundsätzlich für die Ertragsleistung der Dauerkultur wenig aussagekräftig ist, in den Grüngutkompost-Varianten reduziert.

Durch die Nährstofffrachten der organischen Dünger konnte unter den im Feldversuch gegebenen Bedingungen (Bodengehaltssklasse C) der P- und K-Bedarf der Spargelkultur im Ausbringungsjahr fast vollständig gedeckt werden.

Abschließend ist somit festzustellen, dass Komposte unter den hier beschriebenen Bedingungen und unter Voraussetzung einer bedarfsgerechten mineralischen Stickstoffergänzungsdüngung für den Einsatz als organische Dünger geeignet sind.

## 5 Einfluss organischer Dünger auf den N-Haushalt von Spargel

### 5.1 Einführung

Die Stickstoffdynamik im Boden ist durch eine Vielzahl von Prozessen miteinander verknüpft (Abb. 5.1).

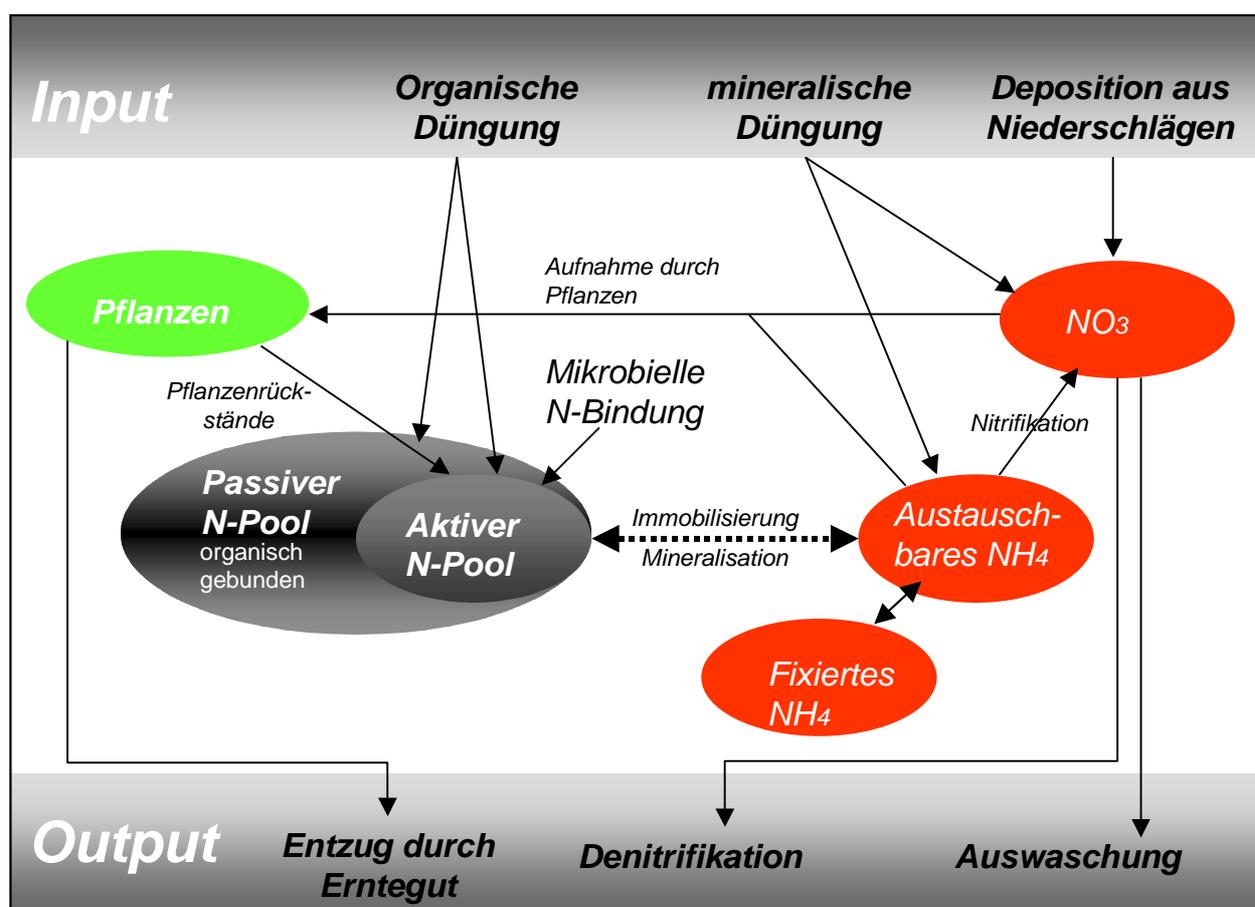


Abb. 5.1: Modell zur N-Dynamik im Boden (verändert nach Jansson, 1971 in Schachtschabel *et al.*, 1998)

In pflanzenbaulich genutzten Böden ist der größte Teil des Stickstoffs aktiv oder passiv in der Biomasse des Bodens oder in den Pflanzen gebunden. Diese Pools sind untereinander mit Umwandlungsprozessen, sowie mit Input- und Outputfaktoren verbunden. Während der passive N-Pool im Boden kaum an Umsetzungsprozessen teilnimmt, unterliegt der aktive Pool in Abhängigkeit von Mikroorganismen-tätigkeit (Mineralisation und Immobilisierung) sowie Tonmineral- und Humusgehalt (Fixierung

und Nachlieferung) einem ständigen Wandel. Durch Denitrifikation, Auswaschung und Pflanzenentzug wird dem Boden Stickstoff entzogen. Diesen Outputgrößen steht wiederum der Stickstoff-Input durch organische und mineralische Düngung, sowie durch Deposition und mikrobielle N-Bindung gegenüber.

Seit den 50er Jahren des 20. Jh. hat die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion durch den Einsatz von Mineraldüngern und die Intensivierung der Viehhaltung zu hohen Stickstoffüberschüssen in der Landwirtschaft geführt. Diese Bilanzüberschüsse, die 1985 ca. 100 kg N/ha landwirtschaftliche Fläche betrug (Bach, 1987), hatten vielfältige negative Auswirkungen auf Agrarökosysteme zur Folge.

Insbesondere die Gefährdung des Trinkwassers durch die Nitratbelastung des Grundwassers hat zu einem Umdenken und zur Implementierung ökonomisch und ökologisch sinnvoller Maßnahmen zur Reduzierung der Stickstoffüberschüsse geführt. So konnten beispielsweise in den 90er Jahren im Rahmen eines Pilotprojektes zur „Schutzgebiets- und Ausgleichverordnung für Wasserschutzgebiete“ in Baden-Württemberg (SchALVO, Anonym, 1991b) die N-Überschüsse in Spargelanlagen von 250 auf 70 kg/ha N reduziert werden (Rohmann *et al.*, 1993).

Zur Vermeidung von umweltschädlichen N-Überschüssen und zur Erhöhung der N-Effizienz steht die Dynamik von Transport- und Transformationsprozessen des N-Haushaltes im Mittelpunkt pflanzenbaulicher Forschung. Dabei ist die Quantifizierung der N-Flüsse aufgrund der zahlreichen Wechselwirkungen im Boden, die ihrerseits durch eine Vielzahl von Faktoren, wie Bodenwasser, Temperatur, Tonmineral- und Humusgehalt, Mikroorganismenpopulation usw. beeinflusst werden, äußerst schwierig. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren verschiedene mathematische Simulationsmodelle entwickelt (Übersicht bei Engel *et al.*, 1993), mit deren Hilfe die Einzelprozesse sowie deren Zusammenwirken beschrieben werden sollen.

In einem vereinfachten Ansatz werden N-Überschüsse in landwirtschaftlichen und gemüsebaulichen Kulturen mit Hilfe von N-Bilanzen quantifiziert, indem die Zufuhr- und Abfuhrgrößen des N-Haushaltes gegenübergestellt und saldiert werden (Isermann, 1993; Rühlmann und Geyer, 2000). In die N-Bilanz des Systems organische Düngung – Spargelanbau gehen als Inputgrößen die Düngung, die Mengen an mobilen anorganischen N-Verbindungen ( $N_{\min}$ -Vorrat) sowie die Nachlieferung aus dem aktiven und passiven N-Pool im Boden (Netto-Mineralisation) und als Outputgrößen die N-Aufnahme durch die Pflanzen sowie die Auswaschungsverluste ein (Rohmann

*et al.*, 1993). Die vollständige Bilanzierung des N-Haushaltes eines Spargelbestandes über die gesamte Kulturdauer war bislang nicht möglich.

Krug und Kailuweit (1999) haben anhand einiger wichtiger Mess- und Schätzgrößen N-Bilanzen für ältere Spargelanlagen erstellt. Hier erwies sich besonders die Beurteilung der N-Akkumulation in den Kronen als schwierig, die ca. 150 bis 300 kg/ha N ab dem fünften Standjahr betragen kann. Da dieser N-Pool in Mangelsituationen als Nährstoffreserve herangezogen wird, ist ein direkter Zusammenhang zwischen aktueller Düngung und Nährstoffakkumulation in Spargelpflanzen nicht zwingend gegeben. Folglich kann im Prinzip die Wirkung der N-Düngung nur in langjährigen Untersuchungen beurteilt werden. Dementsprechend ist auch der Düngungseffekt in einem Standjahr nur eingeschränkt aussagefähig für die gesamte Kulturdauer von Spargel (Paschold *et al.*, 1999).

Bei der Quantifizierung der Input- und Outputfaktoren des N-Haushaltes von Spargel sind daher im Vergleich zu einjährigen landwirtschaftlichen oder gemüsebaulichen Kulturen folgende Besonderheiten zu berücksichtigen.

Neben der Mineraldüngung ist die Nachlieferung aus dem passiven N-Pool in der organischen Bodensubstanz die entscheidende Inputgröße im N-Haushalt von Spargel. Da der Spargelanbau vornehmlich auf den leichten Sandböden erfolgt, ist eine ausgeglichene Humusbilanz zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit besonders wichtig (Hartmann und Hermann, 1986; Paschold *et al.*, 2000). Zur Neupflanzung werden daher bis zu 1000 dt/ha an organischen Düngern wie Stallmist, Kompost oder gebrauchtes Champignonkultursubstrat ausgebracht. Die N-Verfügbarkeit der organische Dünger kann in Abhängigkeit von den Anteilen an mineralischem und organischem Stickstoff sowie aufgrund der unterschiedlichen Umsatz- und Abbaurate der Kohlenstoffverbindungen stark differieren (Chodak *et al.*, 2001; Gottschall, 1992; Leifeld *et al.*, 1998; Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996).

Die Nachlieferung aus dem aktivem N-Pool hingegen, insbesondere aus Ernterückständen, spielt im Spargelanbau nur eine untergeordnete Rolle. Im Gegensatz zu anderen Gemüsearten, wo beispielsweise bei Brokkoli und Lauch in Abhängigkeit von der Ertragshöhe über 100 t/ha an leicht zersetzbaren Wurzeln, Blättern und Strüngen auf dem Feld verbleiben (Fink *et al.*, 1999; Schrage, 1990), sind es bei der Spargelernte nur wenige verletzte oder stark deformierte Spargelstangen, deren N-Nachlieferung zu vernachlässigen ist. Ebenfalls von eher geringer Bedeutung sind mit ca.

25 kg/ha die N-Gehalte in den vergilbten Phyllokladien, abgestorbenen Stängeln und Strünken, die im Herbst beim Abdämmen in die obere Bodenschicht eingearbeitet werden (Hartmann, 1988; Ledgard *et al.*, 1994).

Der N-Eintrag durch Deposition, der 5 bis 50 kg/ha N betragen kann (Schachtschabel *et al.*, 1998), wird hier vernachlässigt. Auch die mikrobielle N-Bindung und der N-Eintrag durch Beregnungswasser sollte nur beim Anbau von Leguminosen bzw. bei entsprechender Belastung des Beregnungswassers in die Bilanz eingehen (Schrage, 1990).

Wesentlicher Outputfaktor im N-Haushalt von Spargel ist die N-Aufnahme der Pflanzen (Kapitel 4). Das ist gemäß der Definition von Rohmann und Timmermann (1990) die N-Menge, die während der Vegetationsperiode von den Pflanzen aufgenommen wird. Die N-Aufnahme beinhaltet somit auch den N-Entzug, der durch die Ernteprodukte dem Boden entzogen und vom Feld abgefahren wird. Beim Spargel unterliegt die N-Aufnahme aufgrund des Wechsels zwischen Wachstums- und Ruhephasen (Krug, 1996) nicht nur saisonalen, sondern durch die mehrjährige Standdauer auch altersabhängigen Schwankungen. Krug und Kailuweit (1999) setzen den Jahresbedarf in Bezug zu Entwicklungsstand und N-Gehalt der unterirdischen Kronenmasse und stellten einen erhöhten Bedarf vom zweiten bis fünften Standjahr und einen etwas niedrigeren Bedarf ab dem fünften Standjahr fest.

Grundsätzlich ist der N-Entzug mit dem Erntegut bei Spargel mit ca. 20 (Hartmann, 2002) bis 33 kg/ha N (Krug und Kailuweit, 1999) bei einer durchschnittlichen Ertrags Höhe von 80 dt/ha im Vergleich zu anderen Gemüsearten eher als gering einzustufen. Datenrecherchen von Fink *et al.* (1999a) zufolge liegen die Markterträge von Feldgemüseulturen in einer Spanne von 150 dt/ha bei Grünen Bohnen bis 800 dt/ha bei Weißkohl mit entsprechenden Entzügen von ca. 37,5 bis 160 N kg/ha.

Denitrifikationsverluste werden im Folgenden vernachlässigt, da denitrifizierende Verhältnisse in Sandböden unter Feldbedingungen nur bei extremen Wetterverhältnissen (Rohmann *et al.*, 1993) bzw. in gemüsebaulich genutzten Böden nach der Einarbeitung frischer Erntereste (Schloemer, 1991) festzustellen sind. Grundsätzlich gilt Staunässe in Spargelböden als schwerer Kulturfehler, der dringend zu vermeiden ist, weil es aufgrund der damit bedingten Gefahr des Befalles mit *Fusarium (F. oxysporum ssp.)* zu Totalausfällen in Spargelbeständen kommen kann (Heupel, 2001). Schätzungen von Schrage (1990) zufolge werden die schwer kalkulierbaren

Faktoren Immobilisierung, Denitrifikation und  $\text{NH}_3$ -Ausgasung durch den Input aus mikrobieller N-Bindung und Immissionen in etwa gleichen Größenordnungen aufgehoben.

Die Auswaschung von Nitrat, das heißt die Verlagerung in tiefere, nicht mehr durchwurzelte Bodenschichten findet hauptsächlich in der vegetationsfreien Periode statt und ist abhängig von Boden- und Klimaverhältnissen,  $N_{\text{min}}$ -Restwert nach der Ernte sowie der Netto-Mineralisation in den Wintermonaten (Duynisveld und Strebel, 1995). Untersuchungen von Nitrattiefenprofilen unter Spargelflächen ergaben im Vergleich zu Acker- oder Grünland eine erheblich höhere Sickerwasserbildung (Wessolek *et al.*, 1994). Die aktive Wasseraufnahmephase von Spargel beginnt ab März, während Transpirationsverluste erst nach Beendigung der Ernte durch den oberirdischen Aufwuchs erfolgen, so dass beim Spargel eine sehr enge Beziehung zwischen Niederschlägen und Sickerwasserbildung besteht.

Spargelpflanzen decken ihren N-Bedarf während der Ernteperiode hauptsächlich aus dem Stickstoffspeicher in den Kronen (Ledgard *et al.*, 1994). Erst mit dem oberirdischen Triebwachstum im Anschluss an die Ernteperiode erfolgt die N-Aufnahme aus dem Boden. Ledgard *et al.* (1994) ermittelten in Neuseeland tägliche N-Aufnahmeraten von ca. 5 kg/ha während der achtwöchigen Krautwachstumsphase im Sommer. Bis September ist das Krautwachstum weitgehend abgeschlossen (Krug, 1999b). Etwa 90 % des bis dahin gebundenen N-Gehaltes wird im Laufe der Triebabreife in die Kronen abgeleitet (Ledgard *et al.*, 1994). Ob und in welchem Ausmaß während dieser Zeit noch Stickstoff aufgenommen wird, ist unklar (Krug und Kailuweit, 1999).

Die N-Aufnahme von Spargel ist somit zeitlich sehr begrenzt. Junganlagen nehmen von April bis Ende September und Ertragsanlagen von Ende Juni bis Ende September Stickstoff aus dem Boden auf (Paschold *et al.*, 1999). Folglich kann es in Spargelanlagen bereits im Frühjahr mit beginnender Mineralisation bzw. im Spätsommer/Herbst zu N-Verlusten kommen. Auch während der Hauptwachstumsphase sind beim Zusammenspiel von Mineralisationsschüben nach Bodenbearbeitungsvorgängen und Beregnung oder nach starken Regenfällen Auswaschungsverluste möglich (Hirsch, 1985).

Für die genaue Quantifizierung dieser Nitratauswaschung wäre unter anderem eine Beurteilung der vertikalen Wasserbewegungen im Boden und der Nitratkonzentration

im Sickerwasser erforderlich, was allerdings im hier beschriebenen Feldversuch nicht abschließend möglich war.

Zur Klärung der Frage, ob es auch im Feldversuch im Laufe des Frühjahrs und Sommers zu einer Verminderung der  $N_{\min}$ -Gehalte in der durchwurzeltten Bodenschicht gekommen ist, wurde im zweiten Standjahr eine N-Bilanz errechnet. Für das erste und dritte Standjahr wurden die potenziellen N-Überschüsse anhand von  $N_{\min}$ -Verläufen identifiziert, die letztendlich aus dem Zusammenwirken von In- und Outputprozessen des N-Haushaltes resultieren.

Im Vordergrund des Interesses stand dabei der Einfluss verschiedener organischer Dünger auf die N-Freisetzung und den N-Haushalt von Spargel im ersten bis dritten Standjahr. Die Wirkung von Komposten aus der getrennten Sammlung und Behandlung von kommunalen Bio- und Grüngutabfällen sollte im Vergleich zum traditionell im Spargelanbau eingesetzten Pferdemit überprüft werden, um daraus Empfehlungen für deren bedarfs- und umweltgerechte Anwendung erarbeiten zu können.

## 5.2 Material und Methoden

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Komposteinsatz im Spargelanbau“ wurde ein dreijähriger Feldversuch (FV 97-99) durchgeführt, mit dessen Hilfe der Einfluss organischer Dünger auf den N-Haushalt von Spargel überprüft werden sollte. Eine detaillierte Beschreibung von Versuchsaufbau und Durchführung sowie der angewandten organischen Dünger erfolgte in den Kapiteln 2.1 und 2.2. Der Übersicht halber werden die wesentlichen Punkte hier wiederholt.

### 5.2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Im Frühjahr 1997 wurde zur Neupflanzung einer Spargelfläche in einem Praxisbetrieb in Fuhrberg bei Hannover ein Feldversuch mit den Faktoren organische Düngung (Pferdemist, Bioabfallkompost, Grüngutkompost), Aufwandmenge (analog zur Kohlenstofffracht von 200 und 600 dt/ha Pferdemist) und Mineralstickstoff (Sollwerte 80 und 120 kg/ha N) angelegt (Tab. 2.1, S. 17). Neben dem Einfluss der Versuchsvarianten auf N-Dynamik (Kapitel 3) und Wachstum und Ertrag der Spargelanlage (Kapitel 4) stand insbesondere der N-Haushalt im Vordergrund der Untersuchungen.

Hierzu wurden über den gesamten Versuchszeitraum (1997 bis 1999) in allen Parzellen regelmäßig die  $N_{\min}$ -Gehalte in der durchwurzelter Bodenschicht bis 90 cm analysiert. Zusätzlich wurden im zweiten und dritten Versuchsjahr in ausgewählten Parzellen die Netto-Mineralisation bestimmt. Um die Ertragsfähigkeit der Spargelanlage nicht allzu stark zu schwächen, konnten lediglich zwei Pflanzen pro Parzelle zur Bestimmung der N-Akkumulation in den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen komplett entnommen werden. Die Pflanzenentnahme erfolgte im Spätsommer/Herbst des zweiten Standjahres, nachdem die Fläche im Frühjahr bereits über einen kurzen Zeitraum beerntet worden war.

## 5.2.2 Versuchsauswertung

### 5.2.2.1 $N_{\min}$ -Gehalte im Boden

$N_{\min}$ -Gehalte stellen den aktuellen Mineralstickstoffgehalt im Boden ( $NH_4$ -N+ $NO_3$ -N) zum Untersuchungstermin dar, die den  $N_{\min}$ -Vorrat, den aus organischer Substanz mineralisierten, sowie den durch organische und mineralische Düngung zugeführten mineralischen Stickstoff beinhalten. Im Feldversuch erfolgte die Untersuchung der  $N_{\min}$ -Gehalte – mit Ausnahme der Wintermonate – in ca. sechswöchigen Abständen. Aus jeder Parzelle wurden in fünf Einstichen mit dem Pürckhauer-Bohrstock Bodenproben entnommen und die Mischproben der Schichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm im Labor auf ihre  $N_{\min}$ -Gehalte untersucht. Die analytische Bestimmung der Stickstoffgehalte ist in Kapitel 2.4 beschrieben. Die  $N_{\min}$ -Gehalte werden über den gesamten Versuchszeitraum als Verläufe dargestellt. Diese Verläufe geben Aufschluss über den aktuellen Stand der N-Versorgung sowie über mögliche Mineralisationsschübe und Auswaschungsverluste.

### 5.2.2.2 Netto-Mineralisation

Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation unter Feldbedingungen erfolgte in Anlehnung an die Methode von Runge (1970). Hierfür wurden in einigen Varianten (Aufwandstufen 600 dt/ha, Mineraldüngung 120 kg/ha) aus dem Oberboden in 5 bis 20 cm Tiefe mehrere möglichst ungestörte Bodenproben entnommen. Ein Teil der Proben wurde zur Bestimmung des  $N_{\min}$ -Anfangsgehaltes ins Labor gebracht und analysiert. Der andere Teil der Bodenproben wurde in Polyethylen-Beutel gefüllt, die verschlossen an der Entnahmestelle im Feld wieder eingegraben und sechs bis acht Wochen lang inkubiert wurden. Aus der Differenz zwischen  $N_{\min}$ -Gehalt zu Beginn und zum Ende der Bebrütung errechnet sich die Netto-Mineralisation für den definierten Zeitraum. Der Inkubationsversuch ist in Kapitel 2.1.3, die Berechnung der Netto-Mineralisation in Kapitel 2.3.3 und die Verläufe der Netto-Mineralisation in Kapitel 3.3.1 detailliert beschrieben.

### 5.2.2.3 Aufnahme durch Pflanzen

Die N-Akkumulation in der Pflanzenmasse setzt sich zusammen aus den N-Gehalten in der oberirdischen Krautmasse, den unterirdischen Strünken, der Kronenmasse (Rhizome, Knospen, Speicher- und Saugwurzeln) sowie dem N-Entzug durch das Erntegut. Für die Bestimmung der N-Gehalte im oberirdischen Aufwuchs (in kg/ha) wurden im Spätsommer 1998 die Frisch- und Trockenmassen der Triebe und deren N-Gehalt bestimmt und mit der Bestandesdichte von 16.800 Pfl./ha multipliziert.

Kurz vor der Abreife des Spargelkrautes wurden im Herbst 1998 jeweils zwei Pflanzen pro Parzelle gerodet. Kronenmassen und unterirdische Sprossreste (Strünke) wurden gewogen und deren N-Gehalt analysiert. Durch Multiplikation mit der Bestandesdichte wurde somit die N-Akkumulation in den unterirdischen Pflanzenteilen (in kg/ha N) ermittelt.

Der Feldversuch wurde bereits im zweiten Standjahr ca. 20 Tage lang beerntet. Der N-Gehalt im Erntegut wurde anhand einer Mischprobe aus drei Stangen/Parzelle ermittelt. Durch Multiplikation mit dem Ertrag (dt/ha) wurde der N-Entzug mit dem Erntegut errechnet.

Die Pflanzenuntersuchungen werden in den Kapiteln 2.3.4 und 4.2.3, die Analytik in Kapitel 2.4 detailliert beschrieben.

### 5.2.3 Berechnung der N-Bilanz

Zur Quantifizierung möglicher N-Verluste im Feldversuch wurde im zweiten Standjahr 1998 nach der Gleichung mit folgenden Größen eine N-Bilanz erstellt. Alle Größen beziehen sich auf kg/ha N.

$$N_{\min}\text{-Vorrat} + \text{Netto-Mineralisation} + \text{Düngung} - \text{Aufnahme} - N_{\min}\text{-Rest} - \text{Verluste} = 0$$

$N_{\min}$ -Vorrat:  $N_{\min}$ -Gehalt zu Beginn des Untersuchungszeitraums im März 1998

Netto-Mineralisation: kumulierte Netto-Mineralisation in der Vegetationsperiode von Mitte März bis Mitte Oktober 1998 (siehe Kapitel 3.3.1)

Düngung: Mineralische N-Düngung nach der Ernte im Mai 1998 (Sollwerte 80 und 120 kg/ha N) unter Berücksichtigung des aktuellen  $N_{\min}$ -Gehaltes im Boden

Aufnahme: N-Gehalte im Erntegut im Mai, sowie in Aufwuchs und Krone im September und Oktober 1998

$N_{\min}$ -Rest:  $N_{\min}$ -Gehalt zum Ende des Untersuchungszeitraums im Oktober 1998

Die Bestimmung der Netto-Mineralisation erfolgte, wie bereits beschrieben, nur in den sechs „hoch“ gedüngten Varianten (Aufwandmenge 600 dt/ha, Sollwert 120 kg/ha N). Zur Vereinheitlichung der Datenbasis wurden auch für die Bilanzgrößen  $N_{\min}$ -Vorrat, Düngung, Pflanzenaufnahme und  $N_{\min}$ -Rest nur die Messdaten aus den 12 Parzellen der Aufwandstufe 600 dt/ha herangezogen und jeweils über die Mineral-N-Stufe gemittelt. Somit unterscheiden sich die  $N_{\min}$ -Werte der Bilanz (Tab. 5.1) von den dargestellten Werten in Abb. 5.2 und Abb. 5.3, wo jeweils beide Aufwandstufen in den Mittelwert eingehen

## 5.3 Ergebnisse

### 5.3.1 $N_{\min}$ -Gehalte in der durchwurzelten Bodenschicht

Der Verlauf der  $N_{\min}$ -Gehalte im Feldversuch in der durchwurzelten Bodenschicht bis 90 cm Tiefe ist in Abb. 5.2 in Abhängigkeit von der organischen Düngung dargestellt. Die Verläufe in Abhängigkeit von Aufwandmenge und Mineraldüngung sind den Abb. 9.7 und Abb. 9.8 im Anhang zu entnehmen.

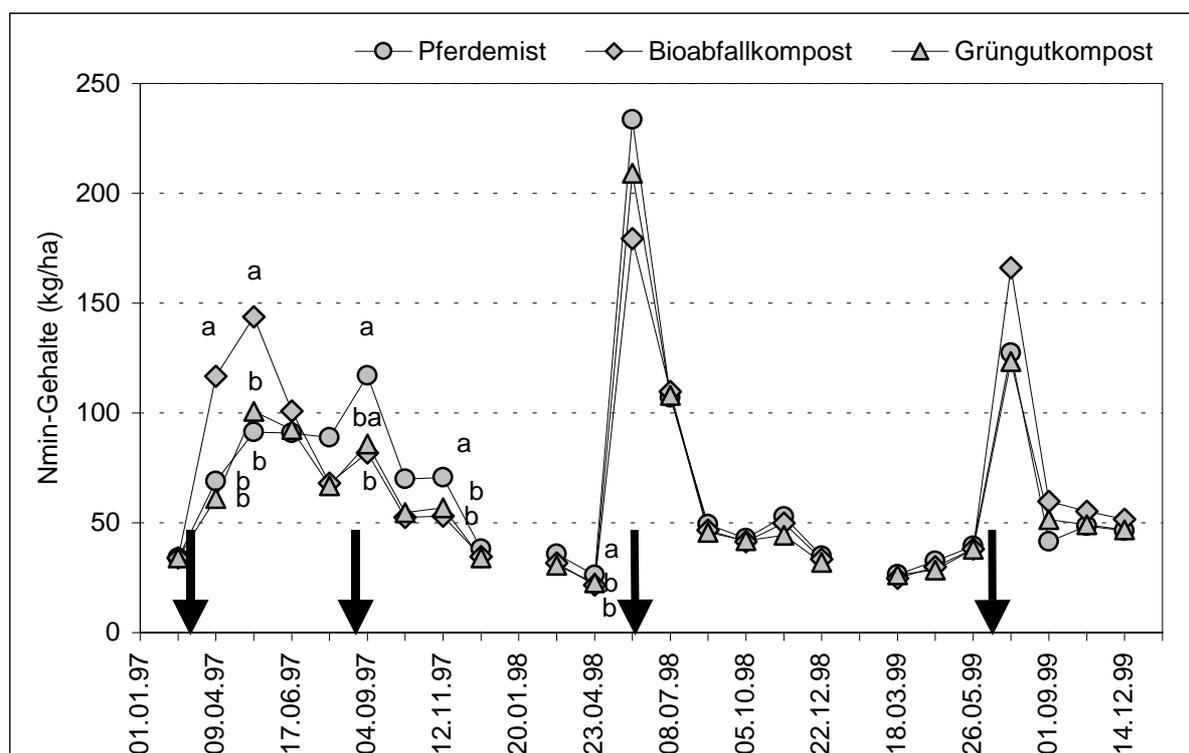


Abb. 5.2: Verlauf der  $N_{\min}$ -Gehalte (kg/ha in 0-90 cm Tiefe) im Feldversuch 1997-1999; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ), Pfeile kennzeichnen die Termine der mineralischen N-Düngung

In allen Versuchsjahren stiegen die  $N_{\min}$ -Gehalte, ausgehend von ca. 25 bis 35 kg/ha N im März im Frühsommer/Sommer durch Mineralisation und Mineraldüngung auf ein Maximum. Während sich die Werte im zweiten und dritten Versuchsjahr bereits ab Ende August/Anfang September auf ca. 50 bis 60 kg/ha N einpendelten, war im ersten Versuchsjahr durch die Kopfdüngung im August ein weiteres deutliches Maximum im September zu erkennen. Die Unterschiede zwischen den organischen Düngern waren hauptsächlich im Ausbringungsjahr statistisch gesichert.

Im Anwendungsjahr stiegen die  $N_{\min}$ -Werte nach der organischen und mineralischen Düngung im März 1997 in den Pferdemist- und Grüngutkompost-Varianten Anfang April auf 60 bis 70 kg/ha N, während beim Bioabfallkompost Werte bis 120 kg/ha N erreicht wurden. Bis zum Frühsommer lagen die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Biokompost-Varianten signifikant um ca. 40 bis 60 kg/ha N über den Gehalten in den Pferdemist- und Grüngutkompost-Varianten.

Mit zunehmendem Nährstoffentzug aus dem anwachsenden Jungpflanzenbestand nahmen die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Kompost-Varianten im Juli auf Werte bis ca. 65 kg/ha N ab. In den Pferdemist-Varianten blieben die Werte konstant bei ca. 90 kg/ha N. Durch die Kopfdüngung mit flüssigem Harnstoff (AHL-Lösung) in Höhe von 14 kg/ha N am 20. August wurden die  $N_{\min}$ -Werte in den Kompost-Varianten über 80 kg/ha angehoben. Bis in den November hinein lagen die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Pferdemist-Varianten um ca. 20 bis 30 kg/ha N über den Gehalten in den Kompost-Varianten.

1998 und 1999 konnten keine signifikanten Einflüsse der organischen Dünger mehr festgestellt werden, tendenziell lagen die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Pferdemist-Varianten jeweils leicht über den Gehalten in den Kompost-Varianten. Im dritten Standjahr lagen die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Bioabfallkompost-Varianten nach der Mineraldüngung tendenziell über den anderen Varianten, Mitte Juli sogar durchschnittlich um 40 kg/ha N.

### 5.3.2 N-Akkumulation in den Pflanzen

In Abb. 5.3 ist die Stickstoffakkumulation durch das Pflanzenwachstum sowie der Entzug durch das Erntegut in Abhängigkeit von der organischen Düngung im zweiten Standjahr 1998 dargestellt. Die durchschnittlichen N-Gehalte in den Stangen betragen 3,45 % N in TS (siehe Tab. 9.15 im Anhang). Durch das Erntegut wurden im zweiten Standjahr aufgrund der kurzen Ernteperiode und geringen Ertragsmengen von durchschnittlich 20 dt/ha nur etwa 4,8 kg/ha N entzogen (Tab. 9.15 im Anhang). Die größte N-Menge in den Pflanzen war mit bis zu 80 kg/ha in den Kronen akkumuliert. Im oberirdischen Aufwuchs waren zum Analysetermin Anfang September noch 47 bis 58 kg/ha N und im unterirdischen Strunk ca. 10 bis 12 kg/ha N gebunden.

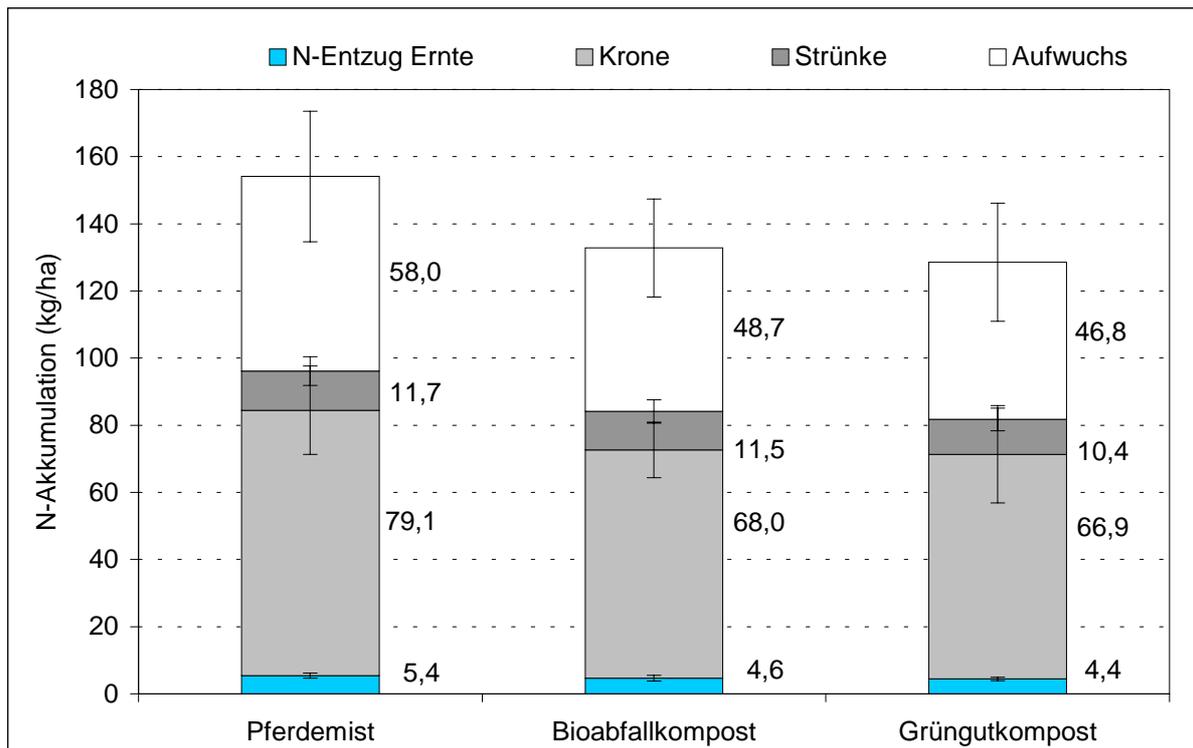


Abb. 5.3: N-Akkumulation durch Pflanzenwachstum im August/September und N-Entzug durch das Erntegut im Mai (jeweils in kg/ha) im Feldversuch 1998; Mittelwerte über Aufwandmenge und Mineral-N-Stufe, Fehlerbalken kennzeichnen Standardabweichungen

Die Versuchsfaktoren hatten keinen signifikanten Einfluss auf die N-Akkumulation in den Pflanzen. In der Summe über alle Pflanzenorgane wurden in den Pferdemist-Varianten durchschnittlich 154 kg/ha N festgelegt, das sind jeweils 21 bis 25 kg/ha mehr als in den Kompost-Varianten, in denen insgesamt 133 kg/ha N (Bioabfallkompost) und 129 kg/ha N (Grüngutkompost) akkumuliert wurden.

### 5.3.3 N-Bilanz

Die in Tab. 5.1 dargestellte N-Bilanz beruht auf einer Gegenüberstellung der Input- und Outputdaten in der Vegetationsperiode des zweiten Versuchsjahres. Der Stickstoff-Input, der hier in der Summe aus  $N_{\min}$ -Vorrat, Netto-Mineralisation und N-Düngung dargestellt ist, lag in den Pferdemit-Varianten ca. 40 bis 50 kg N/ha über den Kompost-Varianten, was auf die erhöhte Netto-Mineralisation in den Pferdemit-Varianten zurückzuführen ist (Abb. 3.1, S. 51). Die hier als Stickstoff-Output bezeichnete N-Akkumulation in Kraut und Krone war in den Grüngutkompost-Varianten ca. 15 bis 20 kg/ha N niedriger, während sich der N-Entzug durch das Erntegut kaum unterschied. Die  $N_{\min}$ -Reste Anfang Oktober unterschieden sich nicht. Folglich war der saldierte N-Überschuss in den Pferdemit-Varianten um etwa 35 kg N/ha höher, das heißt doppelt so hoch wie in den Kompost-Varianten. Diese Überschüsse wurden vermutlich ausgewaschen.

Tab. 5.1 Stickstoffbilanz (kg/ha N) im Feldversuch 1998 in den Parzellen der Aufwandmenge 600 dt/ha; Mittelwerte über die Mineral-N-Stufen

N-Bilanz		Pferde- mist	Bioabfall- kompost	Grüngut- kompost
Input	$N_{\min}$ -Gehalt (0-90cm) Mitte März	41,0	32,5	32,9
	Netto-Mineralisation Mitte März bis Anf. Okt.	156,9	117,6	107,8
	N-Düngung nach Ernte	70,6	76,7	76,0
	<b>Summe</b>	<b>268,5</b>	<b>226,8</b>	<b>216,8</b>
Output	N-Akkumulation im Aufwuchs	55,8	56,4	47,6
	N-Akkumulation im Strunk	12,3	14,2	10,4
	N-Akkumulation in der Krone	77,6	71,5	69,4
	N-Entzug durch Erntegut	5,3	5,0	4,4
	$N_{\min}$ -Rest (0-90cm) Anfang Oktober	45,4	44,4	46,1
<b>Summe</b>	<b>196,5</b>	<b>191,4</b>	<b>178,0</b>	
<b>Saldo Input-Output</b>		<b>72,1</b>	<b>35,4</b>	<b>38,8</b>

## 5.4 Diskussion

### 5.4.1 Erstes Standjahr 1997

Bereits im ersten Standjahr hat der N-Haushalt von Spargel eine besondere Bedeutung, weil für die Entwicklung des Speicherwurzelsystems, das die Grundlage für das Ertragspotenzial der kommenden Erntejahre bildet, eine ausreichende Nährstoffversorgung notwendig ist (Paschold, 2001). Andererseits ist der Boden aufgrund der noch relativ geringen Grünmasse, der großen Reihenabstände und der intensiven Bodenbearbeitung beim allmählichen Zuschütten der Pflanzgräben kaum mit Pflanzen bedeckt, so dass ungenutzte N-Überschüsse in den typischen leichten Spargelböden auch in der Vegetationsperiode der Auswaschungsgefahr unterliegen.

Um den Pflanzenbestand nicht zu schwächen, konnten im ersten Versuchsjahr nicht alle für eine Stickstoffbilanz erforderlichen Daten erfasst werden. N-Bilanzüberschüsse oder -defizite wurden daher anhand der  $N_{\min}$ -Verläufe identifiziert (Abb. 5.2). Im ersten Standjahr 1997 ist ein deutlicher, teilweise signifikanter Einfluss der organischen und mineralischen Düngung auf die  $N_{\min}$ -Gehalte erkennbar. Während die  $N_{\min}$ -Werte in den Bioabfallkompost-Varianten bereits am zweiten Bodenuntersuchungstermin Anfang April auf ca. 120 kg/ha N angestiegen waren, wurden in den Pferdemit- und Grüngutkompost-Varianten nur etwa die Hälfte analysiert. Am 17. und 20. März war auf Basis der  $N_{\min}$ -Untersuchung vom 23. Februar ohne Berücksichtigung der löslichen  $NH_4$ -N-Fracht der organischen Dünger und der bis dahin erfolgten Mineralisation mit 50 und 80 kg/ha N auf die Sollwerte aufgedüngt worden.

Da es sich beim Bioabfallkompost um einen Fertigkompost handelte, wurde im direkten Anschluss an die Ausbringung und Einarbeitung am 7. März 1997 Stickstoff freigesetzt (Kögel-Knabner *et al.*, 2000). Darüber hinaus verfügte der Bioabfallkompost über die höchste  $NH_4$ -N-Fracht (vgl. Tab. 2.6, S. 31). Die Mineraldüngung war bereits Anfang April in voller Höhe in den Bodenproben wiederzufinden. Im Gegensatz hierzu kam es in den Pferdemit- und Grüngutkompost-Varianten bereits im März zur Immobilisierung. Aufgrund der leicht abbaubaren Kohlenstoffquellen (Stroh, unvollständig verrotteter Grünschnitt) im Pferdemit und Grüngutkompost („Frischkompost“, Rottegrad 3) nutzten die Mikroorganismen den im Boden vorhandenen Mineralstickstoff zunächst zum Aufbau eigener Körpersubstanz, um die organischen Dünger abbauen zu können (Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996). Drei Wochen

nach der Ausbringung konnte nur etwa die Hälfte der im März ausgebrachten Minereraldüngung in den Bodenproben wiedergefunden werden. Ob die hohen  $N_{\min}$ -Werte in den Bioabfallkompost-Varianten im April und Mai (über 150 kg/ha N) allerdings von den Spargelpflanzen aufgenommen wurden, ist zu bezweifeln. Da Spargelpflanzen erst mit dem beginnenden Austrieb ab Mitte April Nährstoffe aufnehmen (Ledgard *et al.*, 1992), kam es möglicherweise bereits im Frühjahr 1997 in den Bioabfallkompost-Varianten zu Auswaschungsverlusten. Diese Vermutung wird durch das Abfallen der Werte auf ca. 100 kg/ha N Mitte Juni bestätigt.

In der Periode der höchsten Nährstoffaufnahme von Mai bis Juli sollten  $N_{\min}$ -Gehalte von 90 kg/ha N in 0-60 cm Tiefe nicht unterschritten werden (Anonym, 2001b). In den Kompost-Varianten sanken die Werte im Juli durch den Pflanzenentzug jedoch unter 70 kg/ha N in 0-90 cm Tiefe, was sich in den Grüngutkompost-Varianten negativ auf den Ertrag im Folgejahr auswirkte (Kapitel 4.3.3.2). Dass die Werte in den Pferdemit-Varianten trotz Pflanzenentzug von Mai bis Juli relativ konstant bei 90 kg/ha N blieben, weist nach anfänglicher Immobilisierung auf eine höhere Netto-Mineralisation aus dem Pferdemit, im Vergleich zu den Komposten, hin (Kapitel 3).

Durch die Kopfdüngung im August (14 kg/ha N) wurden die  $N_{\min}$ -Werte in allen Varianten auf über 80 kg/ha N angehoben. In der Pferdemit-Variante wurde dadurch offensichtlich ein weiterer Mineralisationsschub ausgelöst, da die  $N_{\min}$ -Werte um 30 kg/ha N zunahm. Ob der freigesetzte Stickstoff noch von den Pflanzen aufgenommen wurde, ist zu bezweifeln, weil das Hauptwachstum von Spargel bis Mitte September weitgehend abgeschlossen ist (Krug und Kailuweit, 1999). Daher wird vermutet, dass ein Teil des Stickstoffs in den Pferdemit-Varianten bereits im Herbst ausgewaschen wurde. Während die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Kompost-Varianten im September um ca. 30 kg/ha N zurückgegangen sind, waren es in den Pferdemit-Varianten ca. 50 kg/ha N.

Zusammenfassend ist für das erste Standjahr festzustellen, dass das unterschiedliche Mineralisationsverhalten der organischen Dünger den Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Boden (und das Pflanzenwachstum, siehe Kapitel 4) stark beeinflusst hat. Folgende Unterschiede werden aus den  $N_{\min}$ -Verläufen abgeleitet:

- In den Biokompost-Varianten wurde sofort Stickstoff freigesetzt, was in Kombination mit der Minereraldüngung bereits Anfang April zu unnötig hohen  $N_{\min}$ -Gehalten und möglicherweise zu Auswaschungsverlusten geführt hat. Die

Mineraldüngung im März war offensichtlich zu früh, der  $N_{\min}$ -Bezugstermin war nicht zeitnah genug und die Gabe von 80 kg/ha N zu hoch.

- Trotz anfänglicher Immobilisierung lagen die  $N_{\min}$ -Gehalte in den Pferdemist-Varianten in der Hauptwachstumszeit im optimalen Bereich, was sich positiv auf die Entwicklung der Kronen und den Ertrag im Folgejahr auswirkte (Kapitel 4). Die Kopfdüngung, die vom Betriebsleiter in Eigenregie ohne Absprache mit dem Versuchsansteller durchgeführt wurde, wäre in den Pferdemist-Varianten nicht erforderlich gewesen. Sie hatte bereits im September vermeidbare N-Verluste zur Folge, die etwa um 20 bis 30 kg/ha über den Verlusten in den Kompost-Varianten lagen.
- Durch die anfängliche Immobilisierung zeigten sich in den Grüngutkompost-Varianten bis Mitte Juni ähnliche Verläufe wie in den Pferdemist-Varianten. Das Absinken der Werte auf unter 70 kg/ha N in der Hauptwachstumsphase wirkte sich jedoch negativ auf Kronenwachstum und Ertrag im Folgejahr aus (Kapitel 4). Die Kopfdüngung hätte hier bereits früher erfolgen müssen.

In Anbetracht der Bedeutung der Nährstoffversorgung einer Spargelanlage im ersten Standjahr für die späteren Ertragsjahre (Paschold, 2001) und der Nitratauswaschungsgefahr in weitgehend unbedeckten Böden sollten organische und mineralische Düngungsmaßnahmen feiner aufeinander abgestimmt werden. Hierbei müssen die Eigenschaften der organischen Dünger, wie Anteil an löslichem Stickstoff, C/N-Verhältnis und Rottegrad, genauer betrachtet werden, um im Hinblick auf Mineralisations- und Immobilisierungsprozesse zu mehr Planungssicherheit zu gelangen. Da diese Umsetzungsprozesse jedoch von einer Vielzahl von exogenen Faktoren abhängen (Haider, 1999; Küster, 1979), sollte die Mineraldüngung im ersten Standjahr nur auf Basis von  $N_{\min}$ -gehalten erfolgen. Bei einer  $N_{\min}$ -Untersuchung Anfang April wird die Frühjahrsmineralisation miterfasst und die Mineraldüngung kann zeitnah zum beginnendem Austrieb ab Mitte April erfolgen. Als zweiter Untersuchungstermin bietet sich Mitte Juli an, weil zu diesem Zeitpunkt eine vermeintliche Unterversorgung noch rechtzeitig ausgeglichen werden kann. N-Gaben über 50 kg/ha sollten grundsätzlich gesplittet werden (Paschold, 2001).

#### 5.4.2 Zweites Standjahr 1998

Ab dem zweiten Standjahr 1998 hatte die organische Düngung keinen signifikanten Einfluss mehr auf die  $N_{\min}$ -Gehalte im Feldversuch. Die Gehalte folgten typischen Verläufen in Spargelböden bei N-Gaben bis 150 kg/ha (Hirsch, 1985; Rohmann *et al.*, 1993; Krug und Kailuweit, 1999): ausgehend von einem Startwert um 20 bis 30 kg/ha N im März/April nehmen die  $N_{\min}$ -Gehalte durch Mineralisation in der oberen Bodenschicht im Frühjahr um etwa 10 bis 40 kg/ha N zu. Nach der Ernteperiode kommt es in Abhängigkeit von der Mineraldüngergabe zunächst zu einer weiteren Zunahme. Im Juli/August sinken die  $N_{\min}$ -Gehalte durch Pflanzenentzug und Auswaschung nach Starkregenfällen um 60 bis 90 kg/ha und erreichen im September Werte um 50 kg/ha N.

Abweichend von den oben geschilderten Verläufen nahmen die  $N_{\min}$ -Gehalte im Feldversuch im Frühjahr 1998 zwischen März und April zunächst in allen Varianten um ca. 10 kg/ha N ab. Diese Abnahme stimmt nicht mit den Ergebnissen der Netto-Mineralisation aus den Inkubationsversuchen *in situ* (InkuFV 98) überein, wo innerhalb von 21 Tagen 24 kg/ha N in den Pferdemit- und 12 bzw. 13 kg/ha N in den Kompost-Varianten freigesetzt wurden (Abb. 3.1, S. 51). Wahrscheinlich ist diese Diskrepanz auf das vorangegangene Aufdämmen zurückzuführen, wo Bodenmaterial aus dem Bereich zwischen den Spargelreihen zum Damm aufgeschoben wurde. Hierdurch gelangte einerseits stickstoffreicher Oberboden in den Bereich, aus dem „Runge-Proben“ entnommen wurden, andererseits wurde durch die Bodenbelüftung die Mineralisation angeregt (Imhof und Baumann, 1999). Gleichzeitig wurde aus dem Bereich der  $N_{\min}$ -Probenahme zwischen den Dämmen das Niveau der untersuchten Bodenschichten um einige Zentimeter vertieft. Die Mineraldüngung am 13. Mai erfolgte dann auf Basis der als zu niedrig eingeschätzten  $N_{\min}$ -Werte von Anfang April.

Zwei Wochen später wurden extrem hohe  $N_{\min}$ -Werte gefunden, die in der Pferdemit-Variante 234 kg/ha N in 0-90 cm Tiefe erreichten. Diese Werte sind rechnerisch nicht nachvollziehbar, selbst wenn man den  $N_{\min}$ -Vorrat im März, die Netto-Mineralisation von Mitte März bis Ende Mai (Abb. 3.1, S. 51) und die Mineraldüngung summiert, ergeben sich Differenzen zum gemessenen  $N_{\min}$ -Gehalt in Höhe von 66 kg/ha N in der Pferdemit-Variante, 22 kg/ha N in der Bioabfallkompost-Variante und 65 kg/ha N in der Grüngutkompost-Variante. Der Mineralstickstoff hatte sich besonders

in der oberen Bodenschicht angehäuft (Abb. 9.9 im Anhang), was möglicherweise auf die breitwürfige Ausbringung des gepulverten Harnstoffs zurückzuführen ist. Der Dünger war von den Dämmen heruntergerollt und hatte sich zwischen den Dämmen angesammelt. Bei der  $N_{\min}$ -Probenahme wurden vermutlich Düngerteilchen mit erfasst, so dass die analysierten  $N_{\min}$ -Werte nicht den tatsächlichen Gehalten entsprachen. Darüber hinaus wurde der Amiddünger im Boden zunächst zu Ammonium abgebaut, was durch den mit über 80 % sehr hohen  $NH_4$ -N-Anteil am  $N_{\min}$ -Gehalt zwei Wochen nach der Düngung deutlich wurde (Abb. 9.10 im Anhang).

Der Abb. 3.1 (S. 51) ist zu entnehmen, dass die Netto-Mineralisation in den Pferdemit-Varianten in den Sommermonaten signifikant um 40 bis 50 kg/ha N über den Kompost-Varianten lag. Anfang Juli waren die  $N_{\min}$ -Gehalte in allen Varianten auf ca. 110 kg/ha N, bis Ende August um weitere 60 kg/ha N auf ca. 50 kg/ha N zurückgegangen. In diesem Zeitraum ist es vermutlich zu Auswaschungsverlusten gekommen, die in den Pferdemit-Varianten am höchsten waren. Ein Einfluss der Niederschlagssummen auf die Auswaschung in den Sommermonaten ist nicht zu erkennen (siehe Abb. 9.11 im Anhang).

Genauere Erkenntnisse über mögliche N-Verluste während der Vegetationsperiode des zweiten Standjahrs sollte die N-Bilanz (Tab. 5.1) ermöglichen, die sich auf die 600 dt/ha-Varianten bezieht. Die in die N-Bilanz eingehenden Pflanzendaten sind, wie bereits in Kapitel 4.4 diskutiert, aufgrund der geringen Anzahl von Wiederholungen und der großen Streuung kritisch zu betrachten. Auch der Vergleich mit Literaturwerten ist wegen unterschiedlichem und oftmals nicht genanntem Bestandesalter und -dichten schwierig. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ergibt sich aus der Mobilisierung und Verlagerung von Nährstoffen zwischen Aufwuchs und Kronen im Jahresverlauf (Haynes, 1987).

Die N-Bindung im oberirdischen Aufwuchs ist im August, kurz vor der Verlagerung in die Kronen, am höchsten (Hartmann, 1989). Im zweijährigen Bestand wurden im Feldversuch im Mittel über alle Versuchsfaktoren (Abb. 5.3) durchschnittlich 51 kg/ha N gebunden. Krug und Kailuweit (1999) schätzen die N-Bindung im Aufwuchs ausgewachsener Bestände auf bis zu 200 kg/ha N, Untersuchungen von Hartmann (1989) ergaben im Aufwuchs älterer Bestände N-Gehalte von 70 bis 100 kg/ha N. Die N-Bindung in den Kronen (Abb. 5.3) stimmt mit durchschnittlich 73 kg/ha N im Feldversuch mit Schätzwerten von Krug und Kailuweit (1999) überein, demzufolge der N-Spei-

cherpool in den Kronen von ca. 5 bis 6 kg/ha N zur Pflanzung und 34 kg/ha N im ersten Standjahr auf ca. 150 bis 300 kg/ha N ab dem fünften Standjahr ansteigt. Besonders im zweiten und dritten Standjahr wird ein großes N-Depot in den Kronen aufgebaut. Neuere Untersuchungen von Paschold *et al.* (2001), bei denen auch das Wachstumspotenzial neuer Sorten und der Einfluss der Bestandesdichte berücksichtigt wurden, ergaben bereits im ersten Standjahr N-Entzüge durch die Kronen von 58 bis 147 kg/ha. Bei optimal mit Wasser- und Nährstoffen (Sollwerte 100 kg/ha N) versorgten Spargelpflanzen im Lysimeterversuch betragen die N-Entzüge 125 kg/ha (Kronengewicht 3 kg/Pfl. FM mit 1 % N in TS). Diese Werte liegen deutlich über der im Feldversuch gefundenen N-Akkumulation in zweijährigen Spargelkronen.

Die Abb. 5.3 zeigt sowohl im Aufwuchs als auch in den Kronen der Pferdemist-Varianten eine um ca. 10 kg/ha N höhere N-Akkumulation. Ausschlaggebend für den N-Pool in den Kronen ist nicht allein die aktuelle Aufnahme, sondern auch die N-Aufnahme in den Vorjahren (Ledgard *et al.*, 1994). Anhand der N-Akkumulation in den Kronen ist somit nicht zu klären, wie hoch die aktuelle N-Aufnahme im zweiten Standjahr war. Die höheren N-Gehalte im Kraut weisen allerdings auf eine bessere aktuelle N-Versorgung in den Pferdemist-Varianten hin.

Der N-Entzug durch das Erntegut unterliegt aufgrund stark schwankender Nährstoff- und Trockensubstanzgehalte sowie Ertragshöhen einer großen Variabilität (Hartmann, 2002). Durch die kurze Erntedauer im zweiten Standjahr (20 Tage) waren die N-Entzüge mit dem Erntegut im Feldversuch noch sehr gering. Die N-Gehalte in Höhe von 3,45 % N in TS stimmen mit Literaturangaben überein, bei denen im Erntegut 3,28 (Hartmann, 2002) bis 5,8 % N in TS (Übersicht bei Krug, 1998) ermittelt wurden.

Die N-Bilanz weist in Pferdemist-Varianten mit 72 kg/ha N fast doppelt so hohe Bilanzüberschüsse aus als die Kompost-Varianten mit 35 und 39 kg/ha N (Tab. 5.1). Diese lassen sich durch die höhere Netto-Mineralisation in den Pferdemist-Varianten (Abb. 3.1, S. 51) und die niedrigere N-Akkumulation der Pflanzen in den Kompost-Varianten (Abb. 5.3) erklären. Da die N-Akkumulation in den Kronen auch auf die N-Versorgung im Vorjahr zurückzuführen ist, bleibt grundsätzlich zu hinterfragen, ob diese Werte vollständig in die aktuelle Jahresbilanz eingehen dürfen. Somit sind auch die in Tab. 5.1 genannten N-Überschüsse nicht als absolute Größen zu betrachten, folglich kann auch die N-Bilanz keine hinreichend genauen Informationen

über N-Verluste in der Vegetationsperiode des zweiten Standjahres geben. Die errechneten N-Überschüsse in den Kompost-Varianten lagen innerhalb des Toleranzbereiches von N-Bilanzsalden der „Kriterien umweltgerechter Landbewirtschaftung“ des VDLUFA von +/- 50 kg/ha N pro Jahr (Eckert *et al.*, 1998).

#### 5.4.3 Drittes Standjahr 1999

Auch im dritten Standjahr 1999 nahmen die  $N_{\min}$ -Gehalte einen typischen Verlauf (Hirsch, 1985; Rohmann *et al.*, 1993; Krug und Kailuweit, 1999). Nach der Mineraldüngung am 1. Juli lagen die Gehalte in den Bioabfallkompost-Varianten ca. 40 kg/ha N über den Kompost-Varianten, was auf die erhöhte Netto-Mineralisation zurückzuführen ist. Es gibt eine deutliche Übereinstimmung zwischen den  $N_{\min}$ -Gehalten Ende Mai (ca. 40 kg/ha N), der Mineraldüngung (durchschnittlich 60 kg/ha N), der Netto-Mineralisation von Ende Mai bis Mitte Juli (Abb. 3.1, S. 51) und den  $N_{\min}$ -Gehalten Mitte Juli. Bis zum nächsten Bodenuntersuchungstermin Anfang September 1999 nahmen die Werte um 72 bis 106 kg/ha N ab. Obwohl die Ursachen für die hohe Netto-Mineralisation in den Bioabfallkompost-Varianten im dritten Standjahr nicht geklärt werden konnten und ein Versuchsfehler vermutet wurde (Kapitel 3), weisen die  $N_{\min}$ -Verläufe in den Bioabfallkompost-Varianten in der Hauptwachstumsphase auf etwa 20 bis 35 kg/ha N höhere N-Verluste hin.

#### 5.4.4 Abschließende Betrachtung

In den ersten drei Jahren nach der Ausbringung unterschied sich die Netto-Mineralisation signifikant durch die Art der organischen Dünger (Kapitel 3), wodurch auch die  $N_{\min}$ -Verläufe und der N-Haushalt deutlich beeinflusst wurde. Im ersten Versuchsjahr konnte im Feldversuch im direkten Anschluss an die Ausbringung von organischen Düngern mit niedrigem Rottegrad und weitem C/N-Verhältnis eine vorübergehende Immobilisierung beobachtet werden. Die größten N-Verluste wurden in den Vegetationsperioden der ersten beiden Versuchsjahren jeweils in den Pferdemit-Varianten beobachtet.

Die N-Überschüsse sind in erster Linie auf die Mineralisationsprozesse zurückzuführen, die besonders in Kombination mit mineralischer N-Düngung und/oder Boden-

bearbeitungsvorgängen offenbar selbst in der Vegetationsperiode Auswaschungsverluste ermöglicht haben. Auch Wessolek *et al.* (1994) berichten über periodisch auftretende Nitratspitzenbelastungen in Tiefenprofilen von Spargelflächen, für die hohe Mineralisationsraten nach organischer Düngung in Zeiten mit geringem N-Pflanzenbedarf bzw. hoher Auswaschungsgefährdung verantwortlich sind.

Zur Vermeidung von Auswaschungsverlusten in der Vegetationsperiode ist es einerseits erforderlich, die Netto-Mineralisation konsequent und vollständig bei der Berechnung des Düngerbedarfs anzurechnen (Rohmann und Timmermann, 1990). Andererseits erscheint es sinnvoll, die Netto-Mineralisation durch geeignete Maßnahmen wie (a) gezielte N-Mineraldüngung, (b) den weitgehenden Verzicht auf Bodenbearbeitungsvorgänge oder (c) Zwischenreihenbegrünung zu steuern.

- (a) Bei der N-Mineraldüngung ist der Ausbringungszeitpunkt von besonderer Bedeutung. Im Anschluss an die Ausbringung organischer Dünger mit weitem C/N-Verhältnis und geringem Rottegrad können N-Gaben die kurzfristige und unerwünschte Immobilisierungsvorgänge verhindern.
- (b) Im ersten Standjahr sind häufige Bodenbewegungen durch das allmähliche Zuziehen der Pflanzgräben unvermeidbar (Anonym, 2001b). Gleichzeitig wird das Unkraut verschüttet, ein positiver Nebeneffekt, da eine Herbizidbehandlung im ersten Standjahr zu Wachstumsdepressionen führen kann (Wonneberger, 1999). In den niedersächsischen Spargelanbaugebieten wird seit einigen Jahren auf das Abdämmen nach Abschluss der Ernte verzichtet (Anonym, 2001b), wodurch eine zusätzliche N-Freisetzung von 20 bis 40 kg/ha N (Rohmann *et al.*, 1993) verhindert werden kann.
- (c) Zu den grundwasserschonenden Bewirtschaftungsmaßnahmen von Spargelflächen im Rahmen der SchALVO gehörten Ende der 80er Jahre auch die Ausdehnung der Bodenbedeckung durch Pflanzenbewuchs (Rohmann und Timmermann, 1990). In Baden-Württemberg ist die Grüneinsaat ein häufig angewandtes Verfahren zur Konservierung der Nitratreste im Boden über die vegetationsfreie Zeit. Durch die Zwischenreihenbegrünung im Spargelanbau konnten die  $N_{\min}$ -Reste im Herbst auf durchschnittlich 45 kg/ha N gesenkt werden (Kokula, 2002). Der  $N_{\min}$ -Restwert in Spargelkulturen dient somit als Indiz für das Bewertungsverfahren der SchALVO. Dieses Verfahren wird allerdings von Paschold et

al. (1999) kritisiert, da die  $N_{\min}$ -Werte mehr durch die Witterung, als durch die Düngung beeinflusst werden. Auch Krug (1998) konnte bei seinen Erhebungen in niedersächsischen Spargelanbaugebieten keinen Zusammenhang zwischen  $N_{\min}$ -Restwert und Düngerrhöhe feststellen. In den niedersächsischen Spargelanbaugebieten ist das Verfahren der Zwischenreihenbegrünung nicht üblich.

Eine weitere, für ackerbauliche Kulturen häufig diskutierte Maßnahme zur Reduktion der Nitratauswaschung im Herbst/Winter ist die Verringerung von Bodenbearbeitungsmaßnahmen im Herbst (Harrach und Richter, 1994). Im Spargelanbau ist ein Verzicht auf das Abdämmen und Einhäckseln der Pflanzenreste im Herbst nicht sinnvoll, weil die N-Gehalte im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen oder gemüsebaulichen Kulturen eher gering sind (Hartmann, 1988; Ledgard *et al.*, 1994). Darüber hinaus würde spätestens im kommenden Frühjahr beim Aufziehen der neuen Dämme unverrottete Spargelstrünke eingearbeitet werden, die die Erntearbeit sowie Stangenqualität negativ beeinträchtigen würden.

## 6 Praktische Hinweise zum Komposteinsatz im Spargelanbau

### 6.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Qualitätssicherung

Bei der Anwendung von Komposten als organische Düngemittel müssen sowohl düngemittelrechtliche als auch abfallrechtliche Aspekte beachtet werden. Einerseits gehören Komposte gemäß Düngemittelverordnung (Anonym, 1997b) zu den Sekundärrohstoffdüngern und müssen entsprechend der in der Düngeverordnung (DüngeVO, Anonym, 1996) vorgeschriebenen „guten fachlichen Praxis“ angewendet werden. Andererseits unterliegt die Anwendung von Komposten der „Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Böden“ kurz Bioabfallverordnung (BioAbfV, Anonym, 1998). Neben diesen gesetzlichen Grundlagen, die – mit einigen Ausnahmen – für alle Komposterzeuger und -anwender bindend sind, gibt es die freiwillige RAL-Gütesicherung durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK, Rexilius und Kehres, 2002) sowie die Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA) des Verbandes der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA, Schaaf und Obermaier, 2002).

Die BioAbfV gilt für Bioabfallerzeuger, -behandler, -entsorger und Gemischhersteller sowie für die Bewirtschafter von landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden, auf die Bioabfälle aufgebracht werden. Sie enthält unter anderem Richtlinien für die Behandlung von Bioabfällen sowie Mindestanforderungen an die Qualität. Für die Anwendung von Komposten im Gemüseanbau sind folgende Eckpunkte von Bedeutung:

- Die Bioabfallerzeuger müssen die Komposte regelmäßig, d. h. mindestens vierteljährlich, auf Schwermetalle, pH-Wert, Salzgehalt, organische Substanz, Trockensubstanzgehalte und Anteil an Fremdstoffen untersuchen lassen (Fremdüberwachung).
- In Abhängigkeit vom Schwermetallgehalt dürfen maximale 20 bzw. 30 t Trockensubstanz Kompost je Hektar in drei Jahren auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden.

- Vor der Erstanwendung von Komposten ist eine Untersuchung des Bodens auf pH-Wert und Schwermetallgehalte erforderlich (gilt nicht für Komposte mit RAL-Gütezeichen).
- Für den Bioabfallerzeuger bestehen umfangreiche Nachweispflichten. Für jede Lieferung auf Fläche ist ein Lieferschein zu erstellen, in dem der Anwender über Herkunft und Eigenschaften des Kompostes informiert wird. Die zuständige abfallrechtliche Behörde erhält eine Kopie des Lieferscheines sowie die Mitteilung der Aufbringungsfläche (gilt nur eingeschränkt für Komposte mit RAL-Gütezeichen).
- Nach der Aufbringung auf Feldgemüseflächen müssen Komposte oberflächlich eingearbeitet werden.
- Bei der Eigenverwertung von Bioabfällen auf betriebseigenen Flächen sind die maximalen Ausbringungsmengen einzuhalten.

## 6.2 Kompostqualität und -image

Vor dem Hintergrund des Verbraucherschutzes stehen in der gegenwärtigen Diskussion um die Neuorientierung der Agrarpolitik die Schadstoffeinträge in Böden erneut auf dem Prüfstand (Anonym, 2001c). Aufgrund der besonderen Bedeutung der Böden für die Produktion gesunder Nahrungsmittel muss sichergestellt werden, dass es weder durch Einträge aus der Luft noch durch Düngemaßnahmen langfristig zu einer Anreicherung von Schwermetallen und organischen Schadstoffen in Böden kommt. Kritische Düngemittel sind neben Klärschlamm und Gülle auch einzelne Mineraldünger und Bioabfälle.

In Zukunft sollen für die Bewertung aller Düngemittel gleiche fachliche Grundsätze gelten, die sich an den Vorsorgewerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, Anonym, 1999a) orientieren. In dem gemeinsamen Konzept der Bundesministerien für Umwelt (BMU) und Verbraucherschutz (BMVEL) zum umweltverträglichen Einsatz von organischen Düngemitteln wurden daher neue Grenzwerte für Schwermetalle und organische Schadstoffe vorgeschlagen. Diese unterschreiten die derzeit gültigen Grenzwerte erheblich und sollen in der laufenden Legislaturperiode im Abfall- und Düngemittelrecht umgesetzt werden (Anonym, 2002a).

Die Schadstoffgehalte von Komposten unterliegen in Abhängigkeit von den Inputmaterialien (z. B. Immissionsbelastungen oder geogene Grundbelastungen von Grünabfällen), dem Anteil von Störstoffen und dem Kompostierungsverfahren starken Schwankungen. Die maximal zulässigen Schwermetallgehalte bei der Ausbringung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden sind bislang durch die BioAbfV geregelt. Derzeit unterschreiten Bioabfälle in der Regel selbst die strengsten geltenden Schwermetallgrenzwerte in Böden, nämlich die der EU-Ökolandbauverordnung (Bannick *et al.*, 2001). In Zukunft sollen die Schwermetallgrenzwerte jedoch nach dem Grundsatz „Gleiches zu Gleichem“ neu berechnet werden (Anonym, 2002b).

Die Schwermetallgehalte der in den Versuchen eingesetzten organischen Dünger lagen unterhalb der Richtwerte der BioAbfV. Nur der Cadmiumgehalt des ChamKo im Gefäßversuch überschritt den Wert um knapp 40 %. Die Kupfer- und Zinkgehalte waren im PferMi höher als in den Komposten (siehe Abb. 2.2, S. 30). Das zeigt, dass organische Dünger, die bislang keiner gesetzlichen Regelung unterliegen, per se nicht besser zu beurteilen sind als Komposte.

Die Schwermetallgehalte in Boden und Pflanzen konnten im Rahmen des Versuchsprogramms nicht untersucht werden. Grundsätzlich ist jedoch davon auszugehen, dass die Aufnahme von Schwermetallen im wesentlichen vom pH-Wert des Bodens abhängt, bei pH-Wert über 7 ist grundsätzlich mit einer geringen Schwermetall-Aneignung zu rechnen. Darüber hinaus verfügen Kulturpflanzen über ein unterschiedliches Schwermetall-Aneignungsvermögen (Oehmichen *et al.*, 1990). Da Schwermetalle in Pflanzen weniger beweglich sind als einwertige Nährionen, werden sie hauptsächlich in Stängeln, Blättern und Leitbahnen abgelagert (Gigliotti *et al.*, 1996). Somit konnten Ries und Oetjen-Dehne (1998) nach Kompostanwendung zu Getreide keinen erhöhten Schadstofftransfer in das Gerstenkorn nachweisen.

Komnik (1994) konnte nach einer einmaligen Grüngutkompostanwendung in Höhe von 1000 dt/ha weder im Boden noch im Spargelkraut erhöhte Schwermetallgehalte ermitteln. Scherer *et al.* (1997) stellten nach der Ausbringung von Bioabfallkomposten auf schwermetallbelastete Böden sogar eine Reduktion der Blei- und Cadmium-Akkumulation in Kulturpflanzen fest, was einerseits auf die pH-Erhöhung durch die Kompostdüngung, andererseits auf die Festlegung von Schwermetallen durch niedermolekulare Kompostbestandteile zurückgeführt wurde.

Von einer Schwermetallakkumulation im Spargelkraut nach Klärschlammanwendung berichtet Fehér-Barvinkó (1995). Möke (1999a; 1999b) stellte zwar eine sortenabhängige Cadmium- und Bleiaufnahme von Spargelpflanzen fest, konnte allerdings auf unterschiedlich stark durch Klärschlamm belasteten Böden keine eindeutige Abhängigkeit zwischen Cadmium- und Bleigehalten in Böden und in Spargelstangen und -trieben nachweisen. Hier sei angemerkt, dass Klärschlämme über wesentlich höhere Schwermetallgehalte als Komposte verfügen und dass deren Verwertung auf Spargelböden in Deutschland grundsätzlich nicht zulässig ist (Anonym, 1992).

Von den meisten der über 300 organischen Schadstoffe, die in organischen Düngern vorkommen können, gibt es bislang keine ausreichenden wissenschaftlichen Erkenntnisse über deren Auswirkungen auf Pflanzen und im Boden lebende Mikroorganismen (Anonym, 2001c). Obwohl gegenwärtig keine akute Gefährdung der Nahrungsmittelkette gesehen wird, darf eine Anreicherung von organischen Schadstoffen im Boden nicht zugelassen werden. Besonders kritisch wird hierbei die Belastung von Klärschlämmen und Gülle mit Human- und Tierarzneimitteln (Antibiotika, endokrin wirksame Substanzen), Wasch- und Desinfektionsmitteln betrachtet (Anonym, 2001c), während in Bioabfällen prinzipbedingt nur die organischen Schadstoffe zu erwarten sind, die der ubiquitären Hintergrundbelastung entsprechen (Bannick *et al.*, 2001; Hackenberg *et al.*, 1998; Krauß, 1994). Aus diesem Grund war eine Untersuchung von Komposten auf organische Schadstoffe in der BioAbfV bislang nicht vorgesehen, in Zukunft soll jedoch ein Grenzwert für Benz(a)pyren in die Verordnung aufgenommen werden (Anonym, 2002a). In amerikanischen Untersuchungen konnte eine Akkumulation von organischen Schadstoffen nach Kompostanwendung in Gemüsepflanzen (Brokkoli und Salat) nur in ganz geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Teilweise war die Schadstoffakkumulation in Gemüsepflanzen aus Kontrollvarianten ohne Kompost sogar höher (Shiralipour, 2002).

Grundsätzlich geht der Gesetzgeber davon aus, dass Komposte aus der getrennten Sammlung von Bioabfällen aus privaten Haushalten ähnliche Qualitäten wie natürliche Böden aufweisen, so dass bei deren Anwendung keine Veränderung der Schadstoffgehalte im Boden zu erwarten ist. Die Verwertung von Komposten als Düngemittel soll daher nach Ansicht von BMU und BMVEL bei Einhaltung strenger Anforderungen im Gegensatz zu Klärschlamm grundsätzlich fortgesetzt werden (Anonym, 2001c).

Obwohl die Anwendung von qualitativ hochwertigen, gütegesicherten Komposten derzeit als unbedenklich betrachtet wird, haftet ihnen in der Öffentlichkeit immer noch das Abfallimage an, dass auf die Verwertung von Müllkomposten in den 60er Jahren zurückzuführen ist. Damals wurde in einigen Kommunen der Hausmüll nach der Einsammlung sortiert und aus der überwiegend organischen Fraktion Müllkompost hergestellt, durch dessen Ausbringung die Böden teilweise sehr stark mit Schwermetallen und andere Schadstoffe belastet wurden (Scharpf, 2002).

Dieses Abfallimage kann besonders bei direkt vermarktenden Spargelbetrieben zu Problemen führen. Vor der Ausbringung von Komposten sollte sich der Anwender daher nicht nur über Nähr- und Schadstofffrachten, sondern auch über Aussehen und Geruch der einzusetzenden Materialien genauestens informieren.

Insbesondere Störstoffe wie Glas- und Plastikreste behindern manuelle Arbeiten und können Verletzungen bei den Erntehelfern verursachen. Außerdem verschlechtern sie das Erscheinungsbild der Flächen. Auch die Qualität des Erntegutes kann beeinträchtigt werden, wenn grobe Bestandteile im Kompost, wie Steine oder Holzreste, Wuchsdepressionen wie riefige oder krumme Stangen hervorrufen. Auch Geruchsbelästigungen, die besonders bei der Ausbringung von Frischkomposten möglich sind, können das Image des Spargelanbauers sowie das Vertrauen in seine Produkte nachhaltig beeinträchtigen. Der Spargelanbauer sollte sich daher sehr genau über die Qualität des einzusetzenden Kompostes informieren. Kasten (2001) fasst die Kriterien, durch die hochwertiger Kompost charakterisiert ist, wie folgt zusammen:

- erdiger Geruch, kein Gärgeruch
- günstiger Trockensubstanz-Gehalt, weder matschig noch staubig
- typische dunkelbraune Farbe, keine Grünanteile
- einheitliche Siebung, keine Störstoffe wie Plastikfetzen oder Glas
- Gütesicherung durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) oder Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA)

Grundsätzlich hat der Spargelanbauer jedoch wenig Möglichkeiten, gegen das Abfallimage von Komposten anzugehen. Dieses zu verbessern ist eher ein gesellschaftliches Problem, dessen sich Komposterzeuger und Politiker verstärkt annehmen sollten.

### 6.3 Aufwandmengen

Die in der BioAbfV (Anonym, 1998d) vorgegebenen maximalen Aufwandmengen für Komposte betragen in Abhängigkeit von den Schwermetallgehalten 20 bzw. 30 t Trockensubstanz pro Hektar in drei Jahren. Das entspricht bei einem durchschnittlichen TS-Gehalt in Komposten von ca. 60 % (Eurich-Menden und Döhler, 2000) einer Frischmasse von ca. 500 dt/ha.

In der landwirtschaftlichen Praxis werden jährlich etwa 5 t TS/ha, das sind ca. 83 dt Frischmasse, auf Ackerflächen verteilt (mündliche Mitteilung der Kompotec Gütersloh). Diese Größenordnungen lassen sich nicht auf den Spargelanbau übertragen, wo es nicht in erster Linie um die Nährstoff-, sondern um die Humuslieferung geht und eher einmalig hohe Mengen ausgebracht werden. So empfiehlt beispielsweise Komnik (1994) die Ausbringung von 1000 dt/ha Grünkompost zur Flächenvorbereitung. Jährliche Humusgaben sind aufgrund der veränderten Anbauverfahren, besonders wegen dem Verzicht auf das Abdämmen nach der Ernte, nur schwer in das Anbauverfahren zu integrieren (siehe S. 3).

Begrenzender Faktor für die zur Bodenverbesserung gewünschten hohen Aufwandmengen von organischen Düngern sind deren Nährstofffrachten (Vogtmann *et al.*, 1991). Auch die wiederholte Ausbringung von hohen Kompostgaben ist ökologisch nicht vertretbar, weil sie eine Anreicherung und Verlagerung von Nitrat zur Folge haben kann (Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996). Um die optimalen Nährstoffgehalte von Böden nicht zu überschreiten, empfiehlt Körschens (1999a) beispielsweise Stallungsgaben in Höhe von maximal 100 dt/ha und Jahr. Auch Stöppler-Zimmer *et al.* (2000), die die Auswirkungen langjähriger Kompostanwendung auf die Nitratauswaschung landwirtschaftlicher Flächen modellierten, kamen zu relativ hohen Pflanzenerträgen bei akzeptabel geringen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bei einer Kombination von jährlich 100 dt/ha Kompost und bedarfsgerechter mineralischer N-Düngung (bei einer Wintergetreide Rotation auf Sandböden).

Folglich ergibt sich bei der Kompostanwendung im Spargelanbau die Problematik, dass (a) die üblichen Aufwandmengen zur Neupflanzung die gesetzlich maximal zulässigen Mengen überschreiten, (b) sehr hohe Aufwandmenge negative Umweltwirkungen zur Folge haben und (c) die jährlich Ausbringung kleinerer Menge aus anbautechnischen Gründen schwer durchzuführen ist.

Als Kompromiss würde sich die Ausbringung von 300 bis 500 dt/ha Kompost im drei- bis fünfjährigen Abstand anbieten. Entscheidet sich der Spargelanbauer dennoch für die Ausbringung größerer Kompostmengen, als laut BioAbfV zulässig, sollte er in jedem Fall bei der zuständigen Abfallbehörde eine Ausnahmegenehmigung erwirken. Hierfür ist gegebenenfalls eine Stellungnahme der Fachbehörde, bzw. des Fachberaters erforderlich. Die Erwirkung der fachlichen Stellungnahme und der behördlichen Ausnahmegenehmigung sollte allerdings in der Verantwortung des Komposterzeugers und nicht des Kompostanwenders liegen.

#### 6.4 Nährstoff- und Humusfrachten

In der Bodengehaltsklasse C empfiehlt die Officialberatung für Spargelertragsanlagen die Düngung von 50 kg/ha  $P_2O_5$ , 150 kg/ha  $K_2O$  und 60 kg/ha MgO (Anonym, 2001b). Das entspricht einem Nährstoffverhältnis (P : K : Mg) von 1 : 3 : 1,12. Bei den in den Versuchen verwendeten organischen Düngern entsprach das P : K -Verhältnis des Fertigkompostes am ehesten der oben genannten Düngeempfehlung. Unter Berücksichtigung der Düngeverordnung (Anonym, 1996) wird die Aufwandmenge für Komposte vor allem durch deren relativ hohen Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium begrenzt (Gottschall und Stöppler-Zimmer, 1993).

Komposte unterscheiden sich in Abhängigkeit von Ausgangsmaterial (Grünschnitt, Bioabfälle) und Rottegrad (Frisch- oder Fertigkompost) in ihren Nährstofffrachten und Verfügbarkeiten. Sie können nur im begrenzten Umfang zur Stickstoffversorgung der Pflanzen beitragen, weil der Anteil an pflanzenverfügbarem N im Anwendungsjahr nur etwa 5 bis 10 % des  $N_{ges}$  beträgt (Gutser und Claassen, 1994; Heller, 1999; Kögel-Knabner *et al.* 2000) und die N-Düngewirkung in der Vegetationsperiode hauptsächlich von der Mineralisation aus dem organisch gebundenem N abhängt (Oehmichen *et al.*, 1990).

Frischkomposte verfügen im Vergleich zu Fertigkomposten über niedrigere Gehalte an Gesamt-Nährstoffen und verfügbaren Nährstoffen. Nach ihrer Anwendung kommt es im Boden zunächst zur N-Immobilisierung, im Laufe der Zeit stirbt die mikrobielle Biomasse jedoch ab und der inkorporierte Stickstoff wird freigesetzt (Chodak *et al.*, 2001; Petersen und Stöppler-Zimmer, 1996). Diese Immobilisierung kann Mindererträge zur Folge haben. Fertigkomposte unterliegen hingegen keiner N-Fixierung, sind frei von phytotoxischen Stoffen und werden somit damit in der Regel als pflanzenver-

träglich beurteilt. Petersen und Stöppler-Zimmer (1996) bewerteten jedoch die Nährstoffmobilisierung aus Frischkomposten besonders bei Böden mit hohem Puffervermögen als günstiger für das Wachstum von Gemüse, als Fertigkompost. Die N-Immobilisierung durch Frischkomposte kann sich auch im Hinblick auf Nitratüberschüsse positiv auf den N-Haushalt im Boden auswirken, zur Vermeidung von Mindererträgen ist allerdings gegebenenfalls eine mineralische Ergänzungsdüngung nach  $N_{\min}$ -Sollwert erforderlich.

Veränderung des Humusgehaltes verlaufen im Boden grundsätzlich sehr langsam und betreffen fast ausschließlich den leicht umsetzbaren Anteil. In Dauerversuchen betragen die Differenzen in verschiedene Düngungsvarianten selten mehr als 0,5 %  $C_{\text{org}}$  (Körschens, 1999b). So führte die Ausbringung von 300 dt/ha Stallmist im dreijährigen Turnus in Untersuchungen von Kaufmann und Kaufmann (1967) nur zu einem kurzfristigen Anstieg des C-Gehaltes auf einem leichten Sandboden. Auch im Feldversuch in Fuhrberg konnte der  $C_r$ -Gehalt nicht nachhaltig erhöht werden.

Da besonders Fertigkomposte über höhere Anteile an stabilen Humuskomponenten verfügen, sind sie zur Erhaltung des Humusstatus grundsätzlich besser geeignet. Nach Kasten (2001) nehmen die Anteile an stabilen Humuskomponenten verschiedener organischer Dünger in folgender Reihenfolge ab: Fertigkompost > Frischkompost und Rottemist > Frischmist > Gülle, Stoppeln und Stroh > Zwischenfrüchte, Rübenerblatt (und frische Ernterückstände).

Gutser und Claassen (1994) warnen davor, die Humusanreicherung der Böden aufgrund der damit verbundenen höheren Ertragssicherheit und Strukturstabilisierung ausschließlich positiv zu beurteilen. Grundsätzlich muss auch das zunehmende Gefahrenpotenzial für N-Verluste bedacht werden. Auch ist zu beachten, dass Flächen mit hohem Humusgehalt aufgrund des höheren Mineralisationspotenzials einen geringeren Mineraldüngerbedarf haben, der allerdings mit abnehmender Mineralisation im Laufe der Jahre langsam wieder ansteigt (Paschold *et al.*, 1999).

Für die Anwendung von Komposten im Spargelanbau ist aus pflanzenbaulicher Sicht folgendes zu beachten.

- Ob Frisch- oder Fertigkompost eingesetzt werden soll, kann sich nach dem Ausbringungszeitraum richten. Wenn die organische Düngung zur Flächenvor-

bereitung im Herbst vor der Pflanzung erfolgt, kann es unter Umständen sinnvoll sein, einen Frischkompost anzuwenden, dessen Rottevorgang noch nicht ganz abgeschlossen ist. Durch die N-Fixierung könnte überschüssiger, im Boden vorhandener Stickstoff vor der Auswaschung geschützt werden.

- Bei der Kompostanwendung im Frühjahr muss eine Stickstoffimmobilisierung vermieden werden, um die N-Versorgung der Jungpflanzen nicht zu behindern. Daher empfiehlt es sich, hier „reifen“ Kompost (Fertigkompost, Rottegrad 5) einzusetzen, dessen C/N Verhältnis nicht über 20 liegen sollte.
- Die Nährstofffrachten sind laut Düngeverordnung in der Düngeplanung zu berücksichtigen. Es ist daher zwingend erforderlich, sich vom Komposterzeuger ein aktuelles amtliches Untersuchungszeugnis vorlegen zu lassen und ggf. die genauen Nährstofffrachten berechnen zu lassen.

Im Hinblick auf die mineralische Ergänzungsdüngung ist folgendes zu beachten

- Da in den ersten Standjahren das N-Depot in den Speicherwurzeln aufgebaut wird, ist die N-Ernährung in dieser Zeit von besonderer Wichtigkeit. Andererseits ist aufgrund der geringen Bodenbedeckung und der häufigen Bodenbearbeitung beim Zuziehen der Pflanzgräben im ersten Standjahr mit hohen Mineralisationsraten und Auswaschungsverlusten zu rechnen. Zur Vermeidung von N-Mangel- oder -Überschusssituationen müssen organische und mineralische Düngung genauesten aufeinander abgestimmt werden.
- Im ersten Standjahr empfiehlt sich die erste Mineralstickstoffgabe bei beginnendem Krautwachstum ab Mitte bis Ende April. Erfolgt kurz vorher die  $N_{\min}$ -Untersuchung, ist sichergestellt, dass die bis dahin erfolgte Mineralisation bzw. Immobilisierung miterfasst wird bzw. ausgeglichen werden kann. Eine zweite  $N_{\min}$ -Untersuchung und Kopfdüngung sollte während der Hauptwachstumsphase Mitte Juli erfolgen. Grundsätzlich sind Mineraldüngegaben über 50 kg/ha N zu splitten. Die  $N_{\min}$ -Sollwerte sollten an Sorten und Bestandesdichten angepasst werden (Paschold *et al.*, 2001).

## **7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Abschlussbetrachtung**

In Deutschland erfolgt der Spargelanbau aus produktionstechnischen Gründen vornehmlich auf leichten Sandböden. Zur Verbesserung und zum Erhalt des Humusstatus im Boden werden zur Neupflanzung großen Mengen an organischen Düngern ausgebracht, deren Abbauverhalten und Nährstofffrachten sich in Abhängigkeit von den Ausgangsstoffen und dem Grad der stofflichen Umsetzung stark unterscheiden können.

In zwei durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojekten wurden am Institut für Gemüse- und Obstbau, Abt. Gemüsebau, der Universität Hannover verschiedene Sekundärrohstoff- und Wirtschaftsdünger auf ihre Eignung als organischer Dünger im Spargelanbau geprüft. Besonderer Fokus lag hierbei auf Komposten aus der getrennten Erfassung und Behandlung kommunaler Bio- und Grüngutabfälle im Vergleich zum traditionell eingesetzten Pferdemist. In Feld-, Gefäß- und Klimakammerversuchen wurde der Einfluss dieser Dünger auf Stickstoff-Dynamik und -Haushalt, Wachstum und Ertrag von einjährigen Spargelpflanzen bzw. in zwei bis dreijährigen Spargelkulturen überprüft. Die Ergebnisse aus den Versuchen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

### **Mineralisation**

Im Feldversuch entsprach die Netto-Mineralisation durchschnittlichen Mineralisationsraten gemüsebaulich- und landwirtschaftlich genutzter Böden. Bis zum dritten Jahr nach Ausbringung konnten spezifische Nachwirkungen der organischen Dünger festgestellt werden. Die höchste Netto-Mineralisation wurde jeweils in den Pferdemist-Varianten gefunden.

In den Kompost-Varianten unterschieden sich die Netto-Mineralisation vermutlich besonders im Ausbringungsjahr in Abhängigkeit vom Rottegrad, ab dem zweiten Versuchsjahr waren keine signifikante Unterschiede zwischen den Kompost-Varianten mehr nachzuweisen. Insgesamt verlief die Netto-Mineralisation aus den Komposten langsamer und kontinuierlicher. Dieses ist einerseits auf die stärkere Abbauresistenz der organischen Substanz in den Komposten sowie andererseits auf die daraus resultierende stärkere Humifizierung der organischen Bodensubstanz zurückzuführen.

## **Pflanzenwachstum**

Aufgrund der unterschiedlichen Versuchsfragen und Wachstumsbedingungen sind die Wachstumsleistungen der Spargelpflanzen in Gefäß- und Feldversuch nicht miteinander vergleichbar. Im Gefäßversuch in der überdachten Vegetationshalle lagen die Pflanzenmassen der einjährigen Spargeljungpflanzen deutlich unter Freilandwerten. Die weite Spreizung der Bewässerungsstufen hatte signifikante Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum. Da mit Ausnahme der N-Kopfdüngung auf eine mineralische Grunddüngung verzichtet wurde, waren Wachstumseinbußen aufgrund mangelnder Nährstoffversorgung die Folge.

Der Feldversuch erfolgte unter Praxisbedingungen mit der betriebsüblichen jährlichen Grunddüngung. Die größten Pflanzenmassen und Erträge bildeten sich aufgrund der vermutlich höchsten Netto-Mineralisation im Ausbringungsjahr in den Pferdemit-Varianten.

Die im Gefäß- und Feldversuch beobachteten Wachstumsdepressionen in den Frisch- und Grüngutkompost-Varianten wurden auf die N-Immobilisierung in Komposten mit geringem Rottegrad zurückgeführt. Im Feldversuch hatte das eine geringfügige, signifikante Ertragsdepression im zweiten Standjahr zur Folge, die allerdings für den Gesamtertrag der Dauerkultur von geringer Bedeutung ist. Die im Feldversuch eingesetzten organischen Dünger reichten in der höheren Aufwandstufe aus, den Grundnährstoffbedarf der Spargelkultur mindestens zu 80 % zu decken, vorausgesetzt, die Böden waren ausreichend mit Nährstoffen versorgt.

## **N-Haushalt**

Der Einfluss verschiedener organischer Dünger auf den Stickstoffhaushalt und auf vermeidbare N-Überschüsse im Spargelanbau wurde im Feldversuch überprüft. Anhand von  $N_{\min}$ -Verläufen im ersten und dritten, sowie einer N-Bilanz im zweiten Standjahr wurden bereits in den Vegetationsperioden Hinweise auf N-Überschüsse festgestellt. Die in der Bilanz ausgewiesenen N-Überschüsse wurden aufgrund der Unsicherheit hinsichtlich der bestandesentwicklungsabhängigen Größe des N-Pools in den Kronen kritisch diskutiert. Die größten Überschüsse wurden im ersten und zweiten Standjahr in den Pferdemit-Varianten gefunden und mit der erhöhten Netto-Mineralisation in Zusammenhang gebracht. Ob es sich bei den Überschüssen um

Auswaschungsverluste handelte, konnte nicht abschließend geklärt werden. Hinsichtlich der Problematik N-Mineralisation und -verluste wurden die Eignung von Komposten im Feldversuch positiver beurteilt als der Pferdemist. Grundsätzlich sind bei der Beurteilung und Erklärung von  $N_{\min}$ -Verläufen von organisch gedüngten Spargelfeldern bewirtschaftungsspezifische Umstände wie Bodenbearbeitung und Mineraldüngung zu berücksichtigen. Durch eine Variation dieser Faktoren kann die Mineralisation gesteuert, und somit ein N-Überschuss vermieden werden.

Die Chancen und Risiken beim Einsatz von Komposten als organische Dünger im Spargelanbau sind in Abb. 7.1 zusammenfassend dargestellt. Demnach spielen neben den pflanzenbaulichen Aspekten auch Kompostqualität und -image sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen eine bedeutende Rolle. Im Rahmen der hier gestellten Versuchsfragen werden Komposte als geeignete organische Dünger für den Spargelanbau beurteilt. Vorauszusetzen ist hierbei eine termingerechte  $N_{\min}$ -Untersuchung und kulturspezifische Ergänzungsdüngung.



Abb. 7.1: Schematische Darstellung von Chancen und Risiken der Anwendung von Komposten als organische Dünger im Spargelanbau

## 8 Literatur

Anonym (1991a): "Methodenbuch 1 - Die Untersuchung von Böden". VDLUFA-Selbstverlag, Darmstadt

Anonym (1991b): Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) Verordnung des Umweltministeriums über Schutzbestimmungen in Wasser- und Quellschutzgebieten und die Gewährung von Ausgleichsleistungen. [www.uvm.baden-wuerttemberg.de](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de)

Anonym (1992): Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 21. April 1992. *Bundesgesetzblatt I*, 912-916

Anonym (1994): "Methodenbuch zur Analyse von Kompost". Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., St. Augustin

Anonym (1996): Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüngeVO) vom 26. Januar 1996. *Bundesgesetzblatt I* (6), 118-121

Anonym (1997a): "Qualitätsnormen und Handelsklassen für Gartenbauerzeugnisse und Kartoffeln". Verlag E. Appelhans, Salzgitter

Anonym (1997b): Zweite Verordnung zur Änderung düngemittelrechtlicher Vorschriften (Düngemittelverordnung) vom 16. Juli 1997. *Bundesgesetzblatt I* (50), 1835-1851

Anonym (1998a): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG) vom 27. November 1998. *Bundesgesetzblatt I*, 3512

Anonym (1998b): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz BBodSchG) vom 17. März 1998. *Bundesgesetzblatt I* (502),

Anonym (1998c): "Information für den Ernteberichterstatter 3/98". Niedersächsisches Landesamt für Statistik, Hannover

Anonym (1998d): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) vom 21. September 1998. *Bundesgesetzblatt I*, 2995

- Anonym (1999a): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchV) vom 16. Juni 1999. *Bundesgesetzblatt I*, 1554-1582
- Anonym (1999b): Grundsätze zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung. *Bundesanzeiger* (73)
- Anonym (1999c): "Kompost Gütesicherung RAL-GZ 251". RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., St. Augustin ([www.bgkev.de](http://www.bgkev.de))
- Anonym (2001a): Bodennutzung und Ernte 2000. In "Statistische Berichte Niedersachsen" 23, Niedersächsisches Landesamt für Statistik, Hannover
- Anonym (2001b): "Ratschläge für den Spargelanbau". Vereinigung der Spargelanbauer in Niedersachsen e.V., Die Spargelanbauer in Westfalen-Lippe e.V., Asparagus Handels- und Vertriebs GmbH, Hoya
- Anonym (2001c): Schadstoffeinträge durch Düngemittel reduzieren. Hintergrundpapier zur Anhörung "Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes" am 25./26. Oktober 2001, BMU und BMVEL, Berlin
- Anonym (2002a): Gute Qualitäten und sichere Erträge - Wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden? Vorschlag zur Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen bei der Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen, BMVEL und BMU, Berlin
- Anonym (2002b): Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenzwerten bei Düngemitteln, Umweltbundesamt, Berlin ([www.umweltdaten.de/daten/duenge.pdf](http://www.umweltdaten.de/daten/duenge.pdf))
- Asmus, F. (1992): Einfluss organischer Dünger auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. *Berichte über Landwirtschaft* **4**, 127-139
- Asmus, F. und Görlitz, F. (1991): Einfluss unterschiedlicher Humusgehalte im Boden auf die N- und C-Mineralisierung und die Wirkung von Düngemaßnahmen. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* **35** (6), 393-401
- Bach, M. (1987): Die potenzielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* **93**, 1-186

- Bachmann, J. und Zhang, H. (1991): Die Stabilität von Sandböden in Abhängigkeit vom Gehalt an organischer Substanz und deren Humifizierungsgrad. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **154**, 47-52
- Baeumer, K. (1992): "Allgemeiner Pflanzenbau". Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Bannick, C. *et al.* (2001): "Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden". Texte 59/01 Umweltbundesamt, Berlin
- Baumann, E. (1980): Die Wirkung unterschiedlicher organischer Düngung auf den Feldgemüseertrag und die Reproduktion der organischen Substanz im Boden. *Arch. Gartenbau* **28** (4), 209-225
- Baumann, E., Rühlmann, J., und Fröhlich, H. (1991): Organische Düngung im Freilandgemüsebau unter besonderer Berücksichtigung der Ernterückstände. *Feldwirtschaft* **32** (11), 499-501
- Becher, H. H. (1996): Einfluss organischer Düngungen auf bodenphysikalische Parameter. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **159**, 121-127
- Behr, H.-C. (2001): Kleine Marktstudie: Spargel. *Gemüse* **37** (4), 55-58
- Behrendt, S. (2002): Kleine Marktstudie Spargel. *Gemüse* **38** (4), 55-58
- Benson, B. L. (1999): World asparagus production areas and periods of production. *Acta Horticulturae* **479**, 43-50
- Biesel, H. (1981): Zur Verwendung von Industriehumus bei der industriemäßigen Spargelproduktion. *Arch. Gartenbau* **29** (4), 159-166
- Bohne, H. (2002): Bodenverbesserung mit Kompost. In "Handbuch Kompost im Gartenbau" 73-94, Förderungsges. Gartenbau e.V., Bonn
- Born, H. U. und Hartmann, H. D. (1982): Beurteilungsmöglichkeiten der Magnesiumernährung von *Asparagus officinalis* L. *Landw. Forschung* **35** (3-4), 184-190
- Brechelt, A. (1990): Einfluss verschiedener organischer Düngemittel auf die Effizienz von *Azospirillum lipoferum*. *J. Agronomy & Crop Science* **166**, 162-168
- Chodak, M., Borken, W., Ludwig, B., und Beese, F. (2001): Effect of temperature on the mineralization of C and N of fresh and mature compost in sandy material. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **164**, 289-294

- Cloughley, C. G., Wilson, D. R., Jamieson, P. D., und Sinton, S. M. (1999): Model of the growth physiology of asparagus. In "Proc. Intern. Symp. 'Modelling Cropping Systems'" 159-160, Europ. Soc. for Agronomy, Lleida 21.-23. June 1999
- De Neve, S., Pannier, J., und Hofmann, G. (1996): Temperature effects on C- and N-mineralization from vegetable crop residues. *Plant and Soil* **181**, 25-30
- Dickel, S. (2001): Die neusten Trends bei Kompost, Klärschlamm und Kreislaufwirtschaft. In "aid-BVB-Seminar Bodenschutzrecht in der Landwirtschaft", Agritechnica-Forum 1
- Douglas, D. T. und Follett, J. M. (1996): The fertilizer requirement of asparagus on an allophanic clay based volcanic ash soil. *Acta Horticulturae* **415**, 355-364
- Douglas, J. A., Follett, J. M., und Littler, R. A. (1989): Boron requirements of asparagus seedlings grown in sand culture. *Scientia Hort.* **38**, 33-42
- Dressel, J., Weigelt, W., und Mockel, D. (1991): Langjährige Untersuchungen über die Wirkung von Stickstoff aus Mineraldüngung und Stallmist (Lysimeterversuche). *VDLUFA-Schriftenreihe* **33**, 170
- Drost, D. T. (1997): Asparagus. In "The physiology of vegetable crops" 621-642, Wien, CAB International, Wallingford, U.K.
- Drost, D. T. (1999): Irrigation effects on asparagus root distribution. *Acta Horticulturae* **479**, 283-288
- Duynisveld, W. H. M. und Strebel, O. (1990): Einfluss von Standorteigenschaften und Bodennutzung auf die Nitratauswaschung aus dem Wurzelraum. In "Veröffentlichungen des Inst. für Siedlungswasserwirtschaft," 205-223, Braunschweig
- Duynisveld, W. H. M. und Strebel, O. (1995): Nitratauswaschung bei grundwasserfernen Ackerstandorten in Nordwestdeutschland. *Z. dt. geol. Ges.* **136**, 429-439
- Eckert, H. *et al.* (1998): Kriterien umweltgerechter Landbewirtschaftung, VDLUFA Selbstverlag, Darmstadt
- Ehlers, W. (1996): "Wasser in Boden und Pflanze". Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Engel, T., Klöcking, B., Priesack, E., und Schaaf, T. (1993): Simulationsmodelle zur Stickstoffdynamik. In "Agrarinformatik" , Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

- Engels, T. und Kuhlmann, H. (1993): Effect of rate of N fertilizer on apparent net mineralization of N during and after cultivation with sugar beet crops. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **156**, 149-154
- Ernst, M. und Krug, H. (1998): Seasonal growth and development of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) III. The effect of temperature and water stress on carbohydrate content in storage roots and rhizome buds. *Gartenbauwissenschaft* **63** (5), 202-208
- Espejo, J. A., Tejada, M., Benitez, C., und Gonzalez, J. L. (1997): Changes in pH and the organic matter and phosphorus contents of asparagus cultivated soils produced by phosphorus fertilization. *J. Plant Nutr.* **20** (11), 1465-1478
- Eurich-Menden, B. und Döhler, H. (2000): Datenbank organische/mineralische Abfälle und Wirtschaftsdünger. *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* **47** (6), 854-856
- Fehér-Barvinkó, E. (1995): Changes in the nutrient contents of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) and soil under the influence of various materials. *Acta Agronomica Hungarica* **43** (3-4), 277-288
- Filip, Z., Claus, H., und Dippell, G. (1998): Abbau von Huminstoffen durch Bodenmikroorganismen - eine Übersicht. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **161**, 605-612
- Fink, M. *et al.* (1999): Nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium content of field vegetables - Recent data for fertilizer recommendations and nutrient balances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **162**, 71-73
- Finnern, H. *et al.* (1994): "Bodenkundliche Kartieranleitung". Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Fischer, P. und Jauch, M. (1991): Grüngutkompost - Inhaltsstoffe und Stofffrachten. *VDLUFA-Schriftenreihe* **33**, 751-756
- Fricke, K. (1994): Auswirkungen von Art und Herkunft der Kompostrohstoffe und der zum Einsatz kommenden Verfahrenstechnik auf die Kompostqualität. In "Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit" 22-56, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup

- Fricke, K. und Vogtmann, H. (1990): Qualität von Bioabfallkompost. In "Grundlagen der Kompostierung" 109-154, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- Fröhlich, H. und Baumann, E. (1991): Freilandgemüseanbau nur mit gesicherter Humusversorgung. *Gartenbau* **38** (10), 9-10
- Gardener, B. und Roth, R. (1989): Plant analysis for nitrogen fertilization of asparagus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114** (5), 741-745
- Gerzabek, M. H., Kirchmann, H., und Pichlmayer, F. (1995): Response of soil aggregate stability to manure amendments in the ultra long-term soil organic matter experiment. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **158**, 257-260
- Gigliotti, G., Businelli, D., und Giusquiani, P. L. (1996): Trace metals uptake and distribution in corn plants grown on a 6-year urban waste compost amended soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **58** (2), 199-206
- Giusquiani, P. L. *et al.* (1995): Urban waste compost: effects on physical, chemical, and biochemical soil properties. *J. Environ. Qual.* **24** (1), 175-182
- Görlitz, H. *et al.* (1991): Anfall von organischen Düngern und Düngernährstoffen in der Tierhaltung. *Feldwirtschaft* **32** (10), 468-469
- Gottschall, R. (1992): "Kompostierung. Optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau". Verlag C.F. Müller, Karlsruhe
- Gottschall, R. und Stöppler-Zimmer, H. (1993): Qualitätssicherung und anwendungsorientierte Produktdiversifizierung bei Bio- und Grünkomposten. In "Biologische Abfallbehandlung" 131-158, Baeza Verlag, Witzenhausen
- Grundmann, J. (1991): Reifegradbestimmung von Komposten durch Huminstoffanalytik - Eignung und Methode. *Müll und Abfall* **23**, 268-273
- Gutser, R. und Claassen, N. (1994): Langzeitversuche zum N-Umsatz von Wirtschaftsdüngern und kommunalen Komposten. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **73**, 47-50
- Gutser, R. und Ebertseder, T. (2002): Grundlagen zur Nährstoff- und Sonderwirkung sowie zu optimalen Einsatzstrategien von Komposten im Freiland. In "Handbuch Kompost im Gartenbau" 47-72, Förderungsges. Gartenbau e.V., Bonn

- Haider, K. (1999): Von der toten organischen Substanz zum Humus. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **162**, 363-371
- Haider, K. und Martin, J. P. (1979): Abbau und Umwandlung von Pflanzenrückständen und ihren Inhaltsstoffen durch die Mikroflora des Bodens. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **142** (465-475),
- Harrach, T. und Richter, U. (1994): Einfluss von Bodenbearbeitungsverfahren auf die Nitratverlagerung. In "Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten" 71-81, Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, Darmstadt
- Hartmann, H. D. (1981): Die Bewässerung bei Spargel und ihre Auswirkung auf die Pflanze. *Arch. Gartenbau* **20**, 167-175
- Hartmann, H. D. (1988): Die mineralische Düngung von Spargel. *Gemüse* **24** (5), 228-231
- Hartmann, H. D. (1989): "Spargel - Grundlagen für den Anbau". Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Hartmann, H. D. (1994): Mangelkrankheiten an Spargel. *Gemüse* **30** (10), 548-549
- Hartmann, H. D. (2002): Nährstoffabfuhr durch die Spargelernte. *Gemüse* **38** (9), 31-32
- Hartmann, H. D., Born, H. U., und Müller, J. (1983): Einfluss von Mg, Ca und Al auf den Spargelertrag. *Kali-Briefe* **16** (8), 421-430
- Hartmann, H. D. und Hermann, G. (1986): Die Bedeutung der Humusversorgung beim Anbau von Spargel. *Landw. Forschung* **39**, 61-67
- Hartmann, H. D., Hermann, G., und Altringer, R. (1990): Evaluation of nutrient status of asparagus by leaf and root analyses. *Acta Horticulturae* **271**, 433-442
- Hartmann, H. D., Wuchner, A., Hermann, G., und Hirsch, C. (1987): Langjährige Düngungsversuche zu Spargel. *Landw. Forschung* **40** (2-3), 167-180
- Hartz, T. K., Costa, F.-J., und Schrader, W. L. (1996): Suitability of composted green waste for horticultural uses. *HortScience* **31** (6), 961-964

- Haynes, R. J. (1987): Accumulation of dry matter and changes in storage carbohydrate and amino acid content in the first 2 years of asparagus growth. *Scientia Hortic.* **32**, 17-23
- Heller, W. (1999): Stickstoff-Mineralisierung aus Komposten im Brutversuch. *Agrarforschung* **6** (2), 75-77
- Heupel, M. (2001): Aspekte zur Problematik von Fusarium an Spargel. *Spargel & Erdbeer Profi* **3** (2), 14-15
- Hirsch, C. (1985): Die N-Ernährung des Spargels (*Asparagus officinalis* L.). Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen
- Imhof, T. und Baumann, D. T. (1999): Anhäufeln beschleunigt die N-Mineralisierung. *Der Gemüsebau - Le Maraicher* **62** (9), 11-13
- Jansson, S. L. (1971): Use of <sup>15</sup>N in studies of soil nitrogen. *Soil Biochemistry* **2**, 129-166
- Jauch, M. und Fischer, P. (1998): Kompostsubstrate im GaLaBau. *Deutscher Gartenbau* **52** (36),
- Kasten, P. (2001): Was bringt der Komposteinsatz? *Landwirtschaftszeitung LZ*, 37-39
- Kaufmann, F. und Kaufmann, H.-G. (1967): Zur Nährstoffversorgung von Grünspar- gel (*Asparagus officinalis* L.). *Wiss. Z. Humboldt-Universität Berlin* **XVI** (3)
- Kaufmann, F., Pinkau, H., und Biesel, H. (1977): Zum Einsatz von Industriehumus- stoffen bei Grünspar- gel. *Arch. Gartenbau* **25** (7), 323-335
- Kazemi, A. (1985): Einfluss von Siedlungsabfallkomposten auf Wachstum, Ertrag sowie Blei-, Cadmium- und Zinngehalte von Kopfsalat und Kohlrabi. In "Kom- postierung von Abfällen", EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- Keeney, D. R. und Bremner, J. M. (1966): Comparison and evaluation of laboratory methodes of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agron. Jour.* **58**, 498-503
- Kern, M., Funda, K., und Mayer, M. (1998): Stand der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. *Müll und Abfall* **30**, 694-698

- Kersebaum, K. C. (1989): Die Simulation der Stickstoff-Dynamik von Ackerböden. Dissertation, Universität Hannover
- Kögel-Knabner, I., Leifeld, J., und Siebert, S. (2000): Humifizierungsprozesse von Kompost nach der Ausbringung auf den Boden. In "Neue Techniken der Kompostierung Teilvorhaben 13 Verwertung auf landwirtschaftlichen Flächen", Umweltbundesamt, Berlin
- Kokula, I. (2002): Grüneinsaat bei Spargel - Erfahrungen aus Baden-Württemberg. *Gemüse* **38** (6), 23-24
- Komnik, H. G. (1994): Organische Bodenverbesserung im Spargelanbau. *Gemüse* **30** (2), 126-127
- Körschens, M. (1987): N-Freisetzung aus organischen Düngern sowie Ernte- und Wurzelrückständen in Abhängigkeit von ihrer Qualität. *Feldwirtschaft* **28** (8), 347-349
- Körschens, M. (1999a): Einfluss extrem hoher Stallmistgaben auf bodenchemische und bodenphysikalische Eigenschaften. *Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell.* **91** (2), 811-814
- Körschens, M. (1999b): Gute fachliche Praxis bei der Versorgung von Böden mit organischer Substanz. *Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell.* **91** (1), 63-66
- Körschens, M., Weigel, A., und Schulz, E. (1998): Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances. Tools for evaluation sustainable productivity of soils. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **161**, 409-424
- Kremer, P. (2000): Einfluss von Komposten und Stallmist auf Bodeneigenschaften und Wachstum von *Ligustrum vulgare* L. Dissertation, Universität Hannover
- Krug, H. (1996): Seasonal growth and development of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) I. Temperature experiments in controlled environments. *Gartenbauwissenschaft* **61** (1), 18-25
- Krug, H. (1998): Untersuchungen zur umweltgerechten Spargelproduktion. Abschlußbericht, Institut für Gemüse- und Obstbau, Universität Hannover
- Krug, H. (1999a): Seasonal growth and development of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) IV. Crown activity as a function of incubation temperature and temperature gradient. *Gartenbauwissenschaft* **64** (2), 84-88

- Krug, H. (1999b): Seasonal growth and development of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) V. Fern "ripening" and crown activity in open fields. *Gartenbauwissenschaft* **64** (4), 165-172
- Krug, H. und Kailuweit, D. (1999): Gefährdet Spargelanbau die Umwelt? Stickstoffhaushalt von Spargel. *Gemüse* **35** (7), 433-436
- Krug, H., Liebig, H.-P., und Stützel, H. (2002): "Gemüseproduktion". Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Krug, H., Schürmann, B., und Kailuweit, D. (1993): Stickstoffdüngung bei Spargel. *Gemüse* **29** (12), 619-620
- Kundler, P. (1986): Wirtschaftsdünger und Ernterückstände als Humuslieferanten. *Bodenkultur* **37**, 239-307
- Kuntze, H. (1994): "Bodenkunde". Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Küster, E. (1979): Bedeutung der Actinomyceten für den Abbau von Cellulose, Lignin und Huminstoffen im Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **142**, 365-374
- Ledgard, S. F., Douglas, J. A., Follett, J. M., und Sprosen, M. S. (1992): Influence of time of application on the utilization of nitrogen fertilizer by asparagus, estimated using <sup>15</sup>N. *Plant and Soil* **147**, 41-47
- Ledgard, S. F., Douglas, J. A., Sprosen, M. S., und Follett, J. M. (1994): Uptake and redistribution of <sup>15</sup>N within an established Asparagus crop after application of <sup>15</sup>N-labelled nitrogen fertilizer. *Annals of Botany* **73**, 169-173
- Leifeld, J., Siebert, S., und Kögel-Knabner, I. (1998): Humuschemische Parameter von Böden nach mehrjähriger Kompostanwendung im Freiland. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* **39** (2), 64-68
- Leithold, G. und Hülsbergen, K. J. (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. *Ökologie & Landbau* **26** (1), 32-35
- Liebig, H.-P. und Wiebe, H.-J. (1982): Kurzfristige Ertragsprognosen von Bleichspargel. *Gartenbauwissenschaft* **47**, 91-96
- Malkomes, H.-P. (1991): Einfluss variierter Temperatur und Feuchte auf mikrobielle Aktivitäten im Boden unter Laborbedingungen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **154**, 325-330

- Martin, S. (1989): Untersuchungen zum Kohlenhydratstoffwechsel von Spargel (*Asparagus officinalis* L.) in Abhängigkeit von der jahreszeitlichen Entwicklung der Pflanze. Dissertation, Universität Hohenheim
- Mehwald, J. (1991): Für den Spargelanbauer: Humus ja, aber mit Überlegung und Sorgfalt. *Gemüse* **27** (11), 518
- Meins, C. (1996): Stickstoffmineralisation in niedersächsischen Ackerböden im Winterhalbjahr. Dissertation, Universität Hannover
- Moje, C. (1996): Möglichkeiten zur Absenkung des Nitratgehaltes in Möhren unter Berücksichtigung des Stickstoffangebotes. Dissertation, Universität Hannover
- Möke, D. (1999a): Zur individuellen Bleiaufnahme von Spargelpflanzen. In "Versuche im deutschen Gartenbau" 218, Neustadt / Weinstraße
- Möke, D. (1999b): Zur individuellen Cadmiumaufnahme von Spargelpflanzen. In "Versuche im deutschen Gartenbau" 219, Neustadt / Weinstraße
- Neidhart, V. (2001): Anforderungen an die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft aus der Sicht des Bodenschutzes. In "aid-BVB-Seminar Bodenschutzrecht in der Landwirtschaft", Agritechnica-Forum 1
- Nelson, D. und Sommers, L. (1973): Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy journal* **65**, 109-149
- Nordmeyer, H. und Richter, J. (1985): Incubation experiments on nitrogen mineralization. *Plant and Soil* **83**, 433-445
- Nuske, A. (1983): Ein Modell für die Stickstoffdynamik von Acker-Lößböden im Winterhalbjahr. Messungen und Simulationen. Dissertation, Universität Hannover
- Oehmichen, J., Lütke Entrup, N., Vollack, I., und Thiemann, U. (1990): Untersuchungen über die Pflanzenverträglichkeit und Verwertung von nativ-organischen Abfällen (Bio-Kompost). *Kali-Briefe* **20** (4), 323-341
- Olf, H.-W., Beck, T., und Werner, W. (1990): Charakterisierung von N-Immobilisations- und Mobilisationsprozessen durch chemische und mikrobiologische Parameter. *VDLUFA-Schriftenreihe* **32**, 257-264
- Olf, H.-W. und Werner, W. (1993): Methodische Ansätze zur Erfassung des N-Nachlieferungsvermögens des Bodens. *Berichte über Landwirtschaft* **207**, 141-157

- Ozores-Hampton, M., Obreza, T. A., und Hochmuth, G. (1998): Using composted wastes on Florida vegetable crops. *HortTechnology* **8** (2), 130-137
- Ozores-Hampton, M., Obreza, T. A., und Stoffella, P. J. (2001): Mulching with composted MSW for biological control of weeds in vegetable Crops. *Compost Science & Utilization* **9** (4), 352
- Papenhagen, A. und Hoverath, I. (1999): Optimierung und Standardisierung eines Kompost-Kultursubstrates für Gehölze. *Gartenbau Report* (10), 12-15
- Paschold, P.-J. (2001): N-Düngung von Spargel im ersten Standjahr. *Gemüse* **37** (3), 34-37
- Paschold, P.-J. (2002): Zur Eignung neuer Spargelsorten. *Gemüse* **38** (2), 36-39
- Paschold, P.-J., Hermann, G., und Artelt, B. (1999): Stickstoff: Ertrag, Stangenqualität und N<sub>min</sub>-Reste bei Spargel. *Gemüse* **35** (10), 588-595
- Paschold, P.-J., Hermann, G., und Artelt, B. (2000): Humuswirkung beim Spargelanbau. *Gemüse* **36** (2), 42
- Paschold, P.-J. *et al.* (2001): Nährstoffbilanzen bei Spargel im ersten Standjahr. *Gemüse* **37** (2), 37-40
- Petersen, U. und Stöppler-Zimmer, H. (1996): Frisch- oder Fertigkompost - pflanzenbauliche Vor- und Nachteile. Was hat die Praxis zu erwarten? In "Biologische Abfallbehandlung" 111-125, Baeza-Verlag, Witzenhausen
- Pfotzer, G. H. (1998): Wirkung von Kompost auf das Bodenleben - Mikrobielle und faunistische Interaktionen bei der Suppression bodenbürtiger Schaderreger. Dissertation, Universität Kassel
- Pill, W. G. und Evans, T. A. (1993): Forcing white asparagus in various substrates under cool and warm regimes. *HortScience* **28** (10), 996-998
- Pitman, B. C., Sanders, D. C., und Swallow, W. H. (1991): Growth and development of young asparagus plants in response to N fertilization. *HortScience* **26** (2), 109-112
- Poletschny, H. (1994): Champignonkomposte als Bodenverbesserungs- und Düngemittel für Spargelanlagen. *Der Champignon* **33** (379), 121-123

- Poll, J. T. K. (1996): The effect of temperature on growth and fibrousness of green asparagus. *Acta horticultrae* **415**, 183-185
- Popp, W. und Fischer, P. (1999): Kompostsubstrate für Baumschulgehölze. *Gartenbau Report* (10), 8-11
- Pressman, E., Schaffer, A., Compton, D., und Zamski, E. (1993): Seasonal changes in the carbohydrate content of two cultivars of asparagus. *Scientia Hort.* **53**, 149-155
- Rexilius, R. und Kehres, B. (2002): RAL-Gütesicherung für Komposte. In "Handbuch Kompost im Gartenbau" 243-263, Förderungsges. Gartenbau e.V., Bonn
- Richter, J. (1986): "Der Boden als Reaktor - Modelle für Prozesse im Boden". Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart
- Ries, G. und Oetjen-Dehne, R. (1998): Feldversuche zur Kompostanwendung in der Landwirtschaft. *Abfallwirtschaftsjournal* **8** (7-8), 20-24
- Robb, A. R. (1984): Physiology of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) as related to the production of the crop. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* **12**, 251-260
- Roe, N. E., Stoffella, P., und Bryan, H. (1993a): Utilization of MSW compost and other organic mulches on commercial vegetable crops. *Compost Science & Utilization* **1** (3), 73-84
- Roe, N. E., Stoffella, P., und Bryan, H. H. (1993b): Municipal solid waste compost suppresses weeds in vegetable crop alleys. *HortScience* **28** (12), 1171-1172
- Roe, N. E., Stoffella, P., und Graetz, D. (1997): Composts from various municipal solid waste feedstocks affect vegetable crops I. Emergence and seedling growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **122** (3), 427-432
- Rohmann, U., Ball, T., und Hirsch, M. (1993): Pilotprojekt Grundwasserschonender Spargelanbau. Abschlußbericht, DVGW Forschungsstelle am Engler-Bunter-Institut der Universität Karlsruhe
- Rohmann, U. und Timmermann, F. (1990): Bericht zum Pilotprojekt "Grundwasserschonender Spargelanbau" und Überlegungen zu verschiedenen SchALVO-Inhalten. Bericht zum Landesuntersuchungsprogramm Spargeldüngung,

- DVGW Forschungsstelle am Engler-Bunter-Institut der Universität Karlsruhe,  
LUFA Augustenberg
- Rühlmann, J. und Geyer, B. (2000): Bilanzen im Vergleich gemüsebaulich und landwirtschaftlich genutzter Böden. *Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät Berlin* **12**,
- Runge, M. (1970): Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung am Standort. *Flora* **159**, 233-257
- Ruppel, S. und Makswitat, E. (1999): Effect of nitrogen fertilization and irrigation on soil microbial activities and population dynamics - a field study. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **162**, 75-81
- Sanders, D. C. (1999): Nitrogen-potassium interactions in asparagus. *Acta Horticulturae* **479**, 421-425
- Sanftleben, H. (1991): Der Humus im Boden. *Deutsche Baumschule* **43** (11), 522-523
- Schaaf, H. und Obermaier, M. (2002): Gütesicherung QLA (Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung). In "Handbuch Kompost im Gartenbau" 265-283, Förderungsges. Gartenbau e.V., Bonn
- Schachtschabel, P. *et al.* (1998): "Scheffer / Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde". Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Schäfer, B., Grantzau, E., und Beßler, B. (1999): Substratkomposte im Zierpflanzenbau. *Gartenbau Report* (10), 3-7
- Scharpf, H.-C. (2002): Was ist Kompost? In "Handbuch Kompost im Gartenbau" 9-16, Förderungsges. Gartenbau e.V., Bonn
- Scharpf, H. C. (1999): Stickstoffmineralisierung in gemüsebaulich genutzten Böden und Umsetzung im Düngermanagement. *Der Förderdienst* **47** (11), 11-16
- Scheffer, F. und Pajenkamp, H. (1951): Phosphatbestimmung in Pflanzenaschen nach der Molybdän-Vanadin-Methode. *Z. Pflanzenern., Dgg., Bodenkd.* **56** (101), 2
- Scherer, H. W., Knauff, U., und Werner, W. (1997): Einfluss von Bioabfallkompostzufuhr zu unterschiedlich mit Schwermetallen belasteten Böden auf den Bio-

- transfer von Schwermetallen bei verschiedenen Kulturpflanzen. *Agribiol. Res.* **50** (3), 205-213
- Schloemer, S. (1991): Denitrifikation eines gemüsebaulich genutzten Bodens in Abhängigkeit von der Einarbeitung frischer Erntereste. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **154**, 265-269
- Schrage, R. (1990): Methoden zur Bestimmung des Stickstoff-Düngerbedarfs von Gemüsekulturen mit geringem analytischen Aufwand. Dissertation, Universität Hannover
- Schüler, C. *et al.* (1990): Phytosanitäre Eigenschaften von Kompost. In "Grundlagen der Kompostierung" 259-272, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- Shiralipour, A. (2002): Compost utilization and fate of heavy metals and organic contaminants in vegetable production. In "International Symposium 'Composting and compost utilization'", Columbus, Ohio USA
- Sinton, S. M. und Wilson, D. R. (1999): Comparative performance of male and female plants during the annual growth cycle of a dioecious asparagus cultivar. *Acta Horticulturae* **479**, 347-353
- Springob, G. und Mohnke, M. (1995): Winterliche N-Mineralisation in sandigen Böden des 'Fuhrberger Feldes' (Hannover). *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **158**, 243-249
- Stadelmann, F. X., Furrer, O. J., Gupta, S. K., und Lischer, P. (1983): Einfluss von Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodentemperatur auf die N-Mobilisierung von Kulturböden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **146**, 228-242
- Stanford, G. und Smith, S. J. (1972): Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **36**, 876-870
- Steffens, D., Pape, H., und Asche, E. (1996): Einfluss von Bioabfallkompost verschiedener Rottegrade auf die Bodenfruchtbarkeit. *VDLUFA-Schriftenreihe* **44**, 405-420
- Stöppler-Zimmer, H., Gerke, H. H., und Arning, M. (2000): Stickstoffdynamik in Komposten und bei der Kompostanwendung. In "Neue Techniken der Kompostierung Teilvorhaben 10 b Teil 2 'Modellgestützte Abschätzung der Stickstoff-

- und Humusdynamik zur Optimierung von Bodenzustand und Nitratauswaschung bei langfristiger Kompostanwendung auf ackerbaulich genutzten Standorten", Umweltbundesamt, Berlin
- Stumpe, H., Wittenmayer, L., und Merbach, W. (2000): Effects and residual effects of straw, farmyard manuring, and mineral fertilization at Field F of the long-term trial in Halle (Saale), Germany. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **163**, 649-656
- Tenholtern, R. und Reiners, E. (1995): Eingeschränkt einsetzbar: Biokompost im Öko-Betrieb. *bio-land* **22**, 36-38
- Thornley, H. M. und Johnson, I. R. (1990): "Plant and crop modelling". Clarendon Press, Oxford
- Trolldenier, G. (1990): "Bodenbiologie. Die Bodenorganismen im Haushalt der Natur". Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Uhte, R. (1993): Ökonomische Beurteilung von Maßnahmen zur Verringerung der Nitratauswaschung im Gemüsebau. Dissertation, Universität Hannover
- Vilsmeier, K. und Gutser, R. (1988): Stickstoffmineralisation von Zwischenfrüchten im Modellversuch. *Kali-Briefe* **19** (3), 213-223
- Voelker, H. (1990): Einfluss von Kompost auf mikrobiologische Aktivität und das Huminstoffsystem des Bodens, Dissertation, Universität Trier
- Vogtmann, H., Kehres, B., Gottschall, R., und Meier-Ploeger, A. (1991): Untersuchungen zur Kompostanwendung in Landwirtschaft und Gartenbau. In "Abfallwirtschaft" 467-494, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- von Sothen, F. (2000): Sekundärrohstoffdünger und Ökolandbau - Ergebnisse einer Erhebung bei den deutschen Anbauverbänden. *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* **47** (6), 859-865
- Warman, P. R. (1991): Effects of manures and fertilizer on asparagus yield, fern minerals content and soil fertility. *Scientia Hortic.* (47), 231-237
- Waters, L., Blanchette, B. L., Burrows, R. L., und Bedford, D. (1990): Sphagnum peat in the growing medium and nitrogen application influence asparagus growth. *HortScience* **25** (12), 1609-1612
- Wehrmann, J. und Scharpf, H.-C. (1979): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdünger. *Plant and Soil* **52**, 109-126

- 
- Wessolek, G., Reents, H. J., Möller, W., und Müller, P. (1994): Interpretation vertikaler Nitrattiefenprofile von Sandstandorten mit unterschiedlicher Nutzung. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* **35**, 10-20
- Wilson, D. R., Sinton, S. M., und Wright, C. E. (1999): Influence of time of spear harvest on root system resources during the annual growth cycle of asparagus. *Acta Horticulturae* **479**, 313-319
- Wonneberger, C. (1999): Herbizidschäden bei Spargel. *Spargel & Erdbeer Profi* **1** (4), 28
- Zaied, H. und van den Wegh, H. (2000): Vergleich von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Parametern hinsichtlich ihrer Eignung zur Bestimmung der Kompostreife. *Müll und Abfall* **32** (8), 464-468
- Zhang, H. (1991): Der Einfluss von organischer Substanz auf die mechanischen Eigenschaften von Böden. Dissertation, Universität Hannover
- Ziegler, J. (2002): Bleichspargelanbau. In "Neustadter Hefte 101", Staatl. Lehr- und Forschungsanstalt (SLFA), Neustadt / Weinstraße
- Ziegler, J. und Hartmann, H. D. (1995): Empfehlungen für die Spargeldüngung. *Gartenbau Report* (2),
- Zöttl, H. (1958): Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation in Waldhumus durch den Brutversuch. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.* **81**, 35-48

## 9 Anhang

Tab. 9.1: Messreihen der Inkubationsversuche in situ („Runge-Proben“)

Reihe	Beginn	Ende	Dauer Tage	Proben Anzahl
1 98	25.03.98	06.05.98	42	8
2 98	15.04.98	28.05.98	43	8
3 98	07.05.98	17.06.98	41	8
4 98	28.05.98	08.07.98	41	8
5 98	17.06.98	29.07.98	42	8
6 98	08.07.98	25.08.98	48	8
7 98	29.07.98	11.09.98	44	8
8 98	25.08.98	05.10.98	41	8
9 98	11.09.98	21.10.98	40	8
10 98	05.10.98	13.11.98	39	8
11 98	21.10.98	05.12.98	45	8
12 98	13.11.98	23.12.98	39	8
1 99	23.12.98	04.02.99	43	8
2 99	14.01.99	25.02.99	42	8
3 99	04.02.99	18.03.99	42	8
4 99	25.02.99	01.04.99	35	8
5 99	18.03.99	23.04.99	36	8
6 99	01.04.99	14.05.99	43	8
7 99	23.04.99	02.06.99	39	8
8 99	14.05.99	22.06.99	39	8
9 99	02.06.99	16.07.99	44	8
10 99	22.06.99	04.08.99	42	8
11 99	16.07.99	27.08.99	42	8
12 99	04.08.99	15.09.99	42	8
13 99	27.08.99	15.10.99	49	8
14 99	15.09.99	04.11.99	50	8
15 99	15.10.99	03.12.99	49	8
16 99	04.11.99	29.12.99	55	8
17 99	10.12.99	19.01.00	42	8
01 00	29.12.00	10.02.00	43	8
02 00	19.01.00	29.02.00	41	8
03 00	10.02.00	24.03.00	43	8
04 00	29.02.00	18.04.00	49	8
05 00	24.03.00	16.05.00	53	10/5
06 00	18.04.00	13.06.00	56	10/5
07 00	16.05.00	11.07.00	56	10/5
08 00	13.06.00	08.08.00	56	10/5
09 00	11.07.00	05.09.00	56	10/5
10 00	08.08.00	02.10.00	55	10/5
11 00	05.09.00	03.11.00	59	10/5
12 00	02.10.00	06.12.00	65	10/5
13 00	02.11.00	27.01.01	88	10/5

Tab. 9.2: N<sub>min</sub>-Gehalte (kg/ha) im Gefäßversuch

org	Wasser	WH	28.03.2000	14.04.2000	16.05.2000	13.06.2000	11.07.2000	08.08.2000	06.09.2000	04.10.2000
Friko	45	1	36,0	43,4	61,3	78,9	99,0	100,0	103,1	94,5
	45	3	36,0	43,8	47,5	74,5	103,8	120,3	89,8	138,4
	60	1	36,0	43,9	64,0	74,4	108,0	84,2	83,9	98,2
	60	3	36,0	40,8	60,0	99,1	92,3	127,7	143,0	99,6
	90	1	36,0	45,6	59,5	57,9	33,0	23,8	36,5	35,2
	90	3	36,0	41,2	64,0	44,1	73,2	52,8	37,3	47,7
FerKo	45	1	49,6	61,3	78,1	79,8	91,8	88,6	92,4	84,7
	45	3	49,6	62,2	72,1	83,7	88,2	103,8	115,4	181,2
	60	1	49,6	64,1	76,9	96,5	100,1	114,8	137,1	122,7
	60	3	49,6	60,6	77,5	91,4	105,0	102,4	115,2	133,8
	90	1	49,6	61,5	68,0	58,9	30,6	48,6	47,4	38,0
	90	3	49,6	64,5	74,4	64,7	36,1	26,5	38,7	30,5
ChamKo	45	1	69,2	96,6	95,1	148,8	113,8	135,6	128,4	219,5
	45	3	69,2	78,8	94,6	109,6	111,5	166,6	168,8	126,0
	60	1	69,2	78,2	79,9	121,6	117,6	133,3	110,8	181,0
	60	3	69,2	75,2	93,8	108,0	126,4	140,0	100,4	174,3
	90	1	69,2	70,1	80,6	85,9	38,1	34,0	44,0	65,9
	90	3	69,2	76,5	96,4	110,1	58,2	95,2	110,2	88,0
PferMi	45	1	44,4	60,9	63,4	90,1	112,9	130,5	131,2	101,5
	45	3	44,4	58,7	73,8	83,5	87,1	118,0	107,3	108,1
	60	1	44,4	58,8	81,9	87,1	100,8	96,9	93,6	91,6
	60	3	44,4	58,8	83,9	107,2	109,0	101,8	89,9	125,7
	90	1	44,4	57,5	78,5	62,4	67,7	57,8	42,0	42,9
	90	3	44,4	59,9	64,9	73,5	37,6	61,3	19,9	26,7
Kontrolle	45	1	41,0	49,8	74,5	86,6	86,6	101,9	101,4	108,9
	45	3	41,0	52,8	68,8	85,6	88,4	93,7	90,7	104,5
	60	1	41,0	54,9	54,7	82,8	89,7	79,1	65,0	60,3
	60	3	41,0	56,7	73,6	79,6	82,7	74,9	90,3	101,4
	90	1	41,0	54,6	48,5	69,5	35,1	47,8	33,4	32,7
	90	3	41,0	53,4	64,1	85,6	60,3	93,1	66,3	52,4
Friko		36,0	43,13 d	59,37 c	71,49 b	84,88 a	84,80 b	82,28 a	85,59 b	
FerKo		49,6	62,36 b	74,50 b	79,17 b	75,28 a	80,79 b	91,04 a	98,49 ba	
ChamKo		69,2	79,22 a	90,06 a	114,00 a	94,28 a	117,45 a	110,44 a	142,47 a	
PferMi		44,4	59,09 bc	74,41 b	83,97 b	85,84 a	94,39 ba	80,66 a	82,75 b	
Kontrolle		41,0	53,71 c	64,03 bc	81,62 b	73,82 a	81,73 b	74,52 a	76,71 b	
45			60,83 a	72,91 a	92,76 a	98,32 a	115,9 a	112,9 a	126,7 a	
60			59,21 a	74,62 a	94,76 a	103,16 a	105,5 a	102,9 a	118,9 a	
90			58,48 a	69,88 a	71,27 b	46,99 b	54,09 b	47,57 b	45,99 b	

Tab. 9.3: Netto-Mineralisation (kg/ha) im Gefäß- und Klimakammerversuch

	Dauer	Temp.	PferMi	FriKo	FerKo	ChamKo	Kontrolle
4000 / 10 °C	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	30	0,41	-0,25	1,77	8,00	1,96
	7	70	2,69	1,30	5,66	9,28	6,97
	14	140	8,23	1,40	8,54	16,34	9,41
	21	210	14,32	6,96	13,58	22,32	15,86
	32	320	22,21	13,37	21,45	27,78	25,72
	50	500	30,74	23,46	30,15	37,62	36,97
	70	700	39,66	32,80	40,10	50,05	40,83
4000 / 20 °C	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	60	1,00	-2,58	3,75	10,70	3,61
	7	140	3,54	-0,73	9,14	16,65	5,70
	14	280	11,66	6,44	20,08	25,26	20,56
	21	420	24,79	21,28	33,48	37,98	31,17
	32	640	48,17	37,88	50,95	55,50	57,21
	50	1000	79,11	56,99	62,40	79,43	68,01
	70	1400	91,90	86,35	79,75	94,84	81,34
8000 / 10 °C	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	30	4,01	-1,57	2,44	7,51	1,96
	7	70	5,72	-1,69	7,04	12,05	6,97
	14	140	3,72	-4,57	13,25	9,28	9,41
	21	210	8,76	-0,03	19,89	22,10	15,86
	32	320	14,11	0,17	27,00	28,83	25,72
	50	500	21,20	11,91	36,58	37,66	36,97
	70	700	30,42	24,41	47,67	54,95	40,83
8000 / 20 °C	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	60	3,65	-7,57	4,92	1,09	3,61
	7	140	2,22	-9,93	12,33	1,89	5,70
	14	280	4,52	-0,26	25,52	21,09	20,56
	21	420	20,48	11,29	36,98	27,21	31,17
	32	640	42,00	29,77	53,66	49,97	57,21
	50	1000	81,14	62,40	69,50	86,60	68,01
	70	1400	110,43	85,32	86,26	101,58	81,34
GV	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	17	120	14,92	7,02	12,49	13,01	12,62
	49	627	31,37	22,22	26,61	21,66	26,95
	77	1064	41,78	45,76	38,30	52,82	42,71
	105	1532	52,27	64,81	46,72	48,17	45,92
	133	1989	67,42	52,49	52,85	74,69	46,44
	162	2497	61,12	53,81	65,49	57,92	41,97
	190	2917	51,60	58,49	60,39	86,78	46,66

Tab. 9.4: Relative Netto-Mineralisation (% N<sub>t</sub>) und Faktoren der Temperaturerhöhung im Klimakammerversuch

		PferMi		FriKo		FerKo		ChamKo		Kontrolle
Dauer		4000	8000	4000	8000	4000	8000	4000	8000	4000
10 °C	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,01	0,09	-0,01	-0,03	0,04	0,05	0,18	0,16	0,05
	7	0,06	0,12	0,03	-0,04	0,12	0,15	0,21	0,25	0,16
	14	0,18	0,08	0,03	-0,10	0,19	0,27	0,36	0,19	0,22
	21	0,32	0,19	0,16	0,00	0,30	0,41	0,49	0,46	0,37
	32	0,50	0,30	0,30	0,00	0,47	0,56	0,62	0,61	0,60
	50	0,69	0,45	0,53	0,25	0,66	0,75	0,83	0,79	0,87
	70	0,89	0,65	0,73	0,52	0,88	0,98	1,11	1,15	0,96
20 °C	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,02	0,08	-0,06	-0,16	0,08	0,10	0,24	0,02	0,08
	7	0,08	0,05	-0,02	-0,21	0,20	0,25	0,37	0,04	0,13
	14	0,26	0,10	0,14	-0,01	0,44*	0,53*	0,56	0,44	0,48
	21	0,55	0,44	0,48	0,24	0,73*	0,76*	0,84	0,57	0,73*
	32	1,08*	0,89*	0,85*	0,64*	1,12*	1,11*	1,23*	1,05*	1,34*
	50	1,77*	1,73*	1,28*	1,33*	1,37*	1,43*	1,76*	1,82*	1,60*
	70	2,05*	2,35*	1,93*	1,83*	1,75*	1,78*	2,10*	2,13*	1,91*
Faktoren Temperaturerhöhung	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	2,44	0,91	.	4,83	2,12	2,01	1,34	0,14	1,84
	7	1,31	0,39	-0,56	5,88	1,62	1,75	1,79	0,16	0,82
	14	1,42	1,22	4,60	0,06	2,35	1,93	1,55	2,27	2,18
	21	1,73	2,34	3,06	.	2,47	1,86	1,70	1,23	1,97
	32	2,17	2,98	2,83	.	2,38	1,99	2,00	1,73	2,22
	50	2,57	3,83	2,43	5,24	2,07	1,90	2,11	2,30	1,84
	70	2,32	3,63	2,63	3,50	1,99	1,81	1,89	1,85	1,99
Mittelwert		1,99	2,18	2,50	3,90	2,14	1,89	1,77	1,38	1,84

\* statistisch gesicherter Unterschied zur Bebrütungstemperatur 10 °C in gleicher Aufwandstufe (t-Test,  $\alpha=0,05$ )

Tab. 9.5: C/N-Verhältnisse und Netto-Mineralisation in den Inkubationsversuchen; Mittelwerte über die organischen Dünger

Inkubationsversuch	Temp-		Org. Dünger	Boden*		Netto-Mineralisation**	
	Dauer	summe		C/N	C/N	kg/ha	% N <sub>t</sub>
InkuKlika 98	194	3880	PM	26	22,97	213	10,68
InkuFV 98	194	2576	PM	26	22,97	160	8,03
InkuKlika 99	181	3620	PM	26	20,86	146	6,87
InkuFV 99	181	2629	PM	26	20,86	144	6,74
FV 2000alt	192	2797	PM	26	20,74	112	6,35
FV 2000neu	192	2797	PferMi	18	19,37	123	5,25
GV 2000	192	2917	PferMi	18	17,46	52	1,16
Klika 2000	70	1400	PferMi	18	17,46	92	2,05
InkuKlika 98	194	3880	BAK	13	20,62	138	5,59
InkuFV 98	194	2576	BAK	13	20,62	118	4,76
InkuKlika 99	181	3620	BAK	13	18,78	99	3,30
InkuFV 99	181	2629	BAK	13	18,78	214	7,10
FV 2000alt	192	2797	BAK	13	18,16	94	3,20
FV 2000neu	192	2797	FerKo	14	19,44	94	4,17
GV 2000	192	2917	FerKo	14	17,16	60	1,34
Klika 2000	70	1400	FerKo	14	17,16	80	1,75
InkuKlika 98	194	3880	GK	21	20,89	140	5,42
InkuFV 98	194	2576	GK	21	20,89	108	4,16
InkuKlika 99	181	3620	GK	21	19,53	118	3,91
InkuFV 99	181	2629	GK	21	19,53	89	2,94
FV 2000alt	192	2797	GK	21	20,09	138	5,19
FV 2000neu	192	2797	FriKo	19	17,96	104	4,56
GV 2000	192	2917	FriKo	19	17,54	58	1,32
Klika 2000	70	1400	FriKo	19	17,54	86	1,93
GV 2000	192	2917	Chamko	14	17,23	87	1,95
Klika 2000	70	1400	Chamko	14	17,23	95	2,10
GV 2000	192	2917	Kontrolle	17	17,46	47	1,10
Klika 2000	70	1400	Kontrolle	17	17,46	81	1,91

\* zu Beginn der Bebrütung

\*\* bis zum Ende des Bebrütungszeitraumes

Tab. 9.6: Durchschnittliche tägliche Netto-Mineralisationsraten (kg/ha) im Inkubationsversuch in situ im Feldversuch 1998; die Werte gelten jeweils bis zu dem im Spaltenkopf angegebenen Termin

Nr.	Org. Dünger	25.03.98	15.04.98	06.05.98	28.05.98	17.06.98	08.07.98	29.07.98	25.08.98	11.09.98	05.10.98	21.10.98	13.11.98	05.12.98	22.12.98
1	Pferdemist	0	1,14	0,75	0,75	0,73	1,33	1,76	1,20	0,21	0,42	0,48	0,36	0,36	0,35
2	Pferdemist	0	0,66	0,47	0,33	0,94	1,34	1,17	0,92	0,08	0,15	0,24	0,24	0,24	0,24
3	Pferdemist	0	1,81	1,16	0,70	0,90	0,92	0,12	0,12	0,35	0,24	0,19	0,32	0,42	0,44
4	Pferdemist	0	1,00	0,71	0,22	0,13	0,92	1,00	0,80	0,50	0,29	0,28	0,38	0,37	0,16
5	Pferdemist	0	1,15	0,70	0,34	0,52	0,60	0,93	1,07	0,80	0,33	0,24	0,17	0,29	0,44
6	Pferdemist	0	0,56	0,61	0,88	1,11	0,92	1,79	1,79	0,12	0,15	0,09	0,01	0,32	0,32
7	Pferdemist	0	0,79	0,73	1,63	2,31	1,04	0,22	1,12	1,04	0,02	0,04	0,28	0,27	0,22
8	Pferdemist	0	1,08	1,06	1,70	1,43	0,29	1,00	0,33	0,29	0,48	0,46	0,38	0,41	0,25
1	Bioabfallkompost	0	0,27	1,44	1,77	0,80	0,69	0,61	0,61	0,11	0,26	0,32	0,30	0,26	0,16
2	Bioabfallkompost	0	0,74	0,84	0,98	1,03	0,75	0,61	0,54	0,14	0,09	0,08	0,27	0,32	0,22
3	Bioabfallkompost	0	0,58	0,65	0,72	0,74	0,77	0,82	0,86	0,18	0,18	0,16	0,15	0,16	0,17
4	Bioabfallkompost	0	0,49	0,58	0,62	0,58	0,60	0,60	0,51	0,54	0,40	0,18	0,25	0,36	0,37
5	Bioabfallkompost	0	0,34	0,49	0,68	1,04	1,15	0,88	0,62	0,34	0,22	0,14	0,18	0,23	0,18
6	Bioabfallkompost	0	1,16	0,87	0,67	0,61	0,54	0,62	0,60	0,36	0,23	0,15	0,11	0,19	0,12
7	Bioabfallkompost	0	0,96	0,57	0,44	0,35	0,75	0,61	0,63	0,52	0,30	0,14	0,26	0,29	0,14
8	Bioabfallkompost	0	0,57	0,50	0,61	0,78	0,75	0,16	0,37	0,43	0,24	0,17	0,26	0,25	0,12
1	Grüngutkompost	0	0,64	0,42	0,25	0,51	0,74	0,89	1,04	0,29	0,18	0,08	0,16	0,20	0,16
2	Grüngutkompost	0	0,45	0,44	0,48	0,67	0,53	0,54	0,83	0,32	0,28	0,16	0,13	0,10	0,01
3	Grüngutkompost	0	0,65	0,57	0,61	0,75	0,39	0,31	0,61	0,43	0,32	0,32	0,25	0,28	0,31
4	Grüngutkompost	0	0,35	0,48	0,48	0,36	0,49	0,53	0,54	0,38	0,22	0,17	0,17	0,16	0,15
5	Grüngutkompost	0	1,03	0,68	0,27	0,32	0,42	0,69	0,77	0,46	0,31	0,09	0,21	0,28	0,14
6	Grüngutkompost	0	0,41	0,46	1,01	1,22	0,94	0,78	0,78	0,29	0,33	0,24	0,25	0,31	0,21
7	Grüngutkompost	0	0,63	0,52	0,65	0,61	0,34	0,27	0,27	0,13	0,19	0,21	0,24	0,26	0,20
8	Grüngutkompost	0	0,52	0,72	0,93	0,59	0,59	1,47	1,47	0,19	0,22	0,19	0,25	0,25	0,15
MW	Pferdemist	0	1,02	0,77	0,82	1,01	0,92	1,00	0,92	0,42	0,26	0,25	0,27	0,33	0,30
MW	Bioabfallkompost	0	0,64	0,74	0,81	0,74	0,75	0,61	0,59	0,33	0,24	0,17	0,22	0,26	0,18
MW	Grüngutkompost	0	0,58	0,54	0,58	0,63	0,56	0,69	0,79	0,31	0,26	0,18	0,21	0,23	0,17
SD	Pferdemist	0	0,39	0,23	0,57	0,65	0,35	0,61	0,52	0,34	0,15	0,16	0,13	0,06	0,10
SD	Bioabfallkompost	0	0,30	0,32	0,41	0,23	0,18	0,21	0,14	0,17	0,09	0,07	0,07	0,07	0,08
SD	Grüngutkompost	0	0,21	0,11	0,28	0,28	0,20	0,38	0,36	0,11	0,06	0,08	0,05	0,07	0,08

Tab. 9.7: Durchschnittliche tägliche Netto-Mineralisationsraten (kg/ha) im Inkubationsversuch in situ im Feldversuch 1999; die Werte gelten jeweils bis zu dem im Spaltenkopf angegebenen Termin

Nr. org		14.01.99	04.02.99	21.02.99	18.03.99	01.04.99	23.04.99	14.05.99	02.06.99	22.06.99	16.07.99	03.08.99	27.08.99	15.09.99	15.10.99	04.11.99	10.12.99	31.12.99
1	PM	0,27	0,11	0,00	0,13	0,14	0,41	0,37	1,03	1,18	1,89	0,85	0,77	0,61	0,37	0,24	0,14	0,26
2	PM	0,10	0,05	0,03	0,12	0,24	0,20	0,71	1,15	0,79	1,60	0,85	1,27	0,94	0,33	0,18	0,31	0,05
3	PM	0,07	0,04	0,07	0,12	0,21	0,44	0,74	0,71	1,20	1,16	0,46	1,05	0,80	0,59	0,41	0,50	0,35
4	PM	0,13	0,09	0,16	0,21	0,18	0,25	1,14	1,47	1,81	1,64	0,64	0,78	0,60	0,36	0,36	0,23	0,02
5	PM	0,09	0,09	0,12	0,18	0,20	0,28	0,86	1,17	0,83	1,01	1,35	0,67	0,59	0,29	0,27	0,08	0,07
6	PM	0,02	0,13	0,07	0,08	0,32	0,33	0,45	0,72	1,02	0,80	0,85	0,97	0,25	0,21	0,20	0,20	0,56
7	PM	0,07	0,13	0,16	0,12	0,12	0,19	0,80	1,09	0,70	0,97	1,38	1,30	0,96	0,38	0,14	0,15	0,20
8	PM	0,16	0,13	0,27	0,32	0,20	0,14	0,55	0,92	0,81	0,61	0,42	0,97	0,26	0,41	0,37	0,22	0,57
1	BAK	0,11	0,17	0,19	0,18	0,24	0,29	0,43	0,56	1,75	2,74	2,01	0,87	0,63	0,33	0,20	0,12	0,05
2	BAK	0,23	0,14	0,06	0,11	0,18	0,40	0,71	0,64	1,50	2,23	1,92	0,95	0,23	0,46	0,11	0,05	0,00
3	BAK	0,06	0,08	0,15	0,23	0,30	0,37	0,68	0,70	1,92	3,85	2,56	0,96	0,75	0,20	0,00	0,19	0,12
4	BAK	0,10	0,09	0,02	0,12	0,25	0,29	0,72	0,82	2,48	2,74	3,75	0,95	0,18	0,52	0,25	0,07	0,04
5	BAK	0,12	0,11	0,11	0,10	0,20	0,25	0,39	0,74	2,28	3,48	3,16	0,76	0,70	0,25	0,01	0,09	0,00
6	BAK	0,07	0,06	0,05	0,10	0,14	0,17	0,84	1,10	1,17	3,52	2,56	0,97	0,85	0,42	0,16	0,21	-0,09
7	BAK	0,19	0,12	0,08	0,16	0,14	0,04	0,25	0,87	1,17	1,52	1,96	0,95	0,10	0,33	0,13	0,08	0,03
8	BAK	0,06	0,10	0,13	0,12	0,16	0,15	0,27	0,61	1,75	1,86	2,56	1,17	0,84	0,27	0,06	0,10	0,16
1	GK	0,37	0,10	-0,14	0,05	0,10	0,27	0,53	0,41	0,55	0,86	0,95	0,37	0,34	0,28	0,15	0,04	0,07
2	GK	0,27	0,10	0,03	0,11	0,22	0,28	0,28	0,44	0,22	0,64	0,33	0,35	0,38	0,27	0,10	0,06	0,45
3	GK	0,24	0,08	0,07	0,28	0,19	0,14	0,46	0,56	0,41	0,35	0,61	0,44	0,43	0,28	0,11	0,07	0,04
4	GK	0,12	0,06	0,01	0,17	0,26	0,11	0,24	0,38	0,53	0,77	0,61	0,21	0,21	0,23	0,16	0,08	0,00
5	GK	0,16	0,02	-0,09	0,13	0,39	0,34	0,71	0,74	0,44	0,61	0,61	0,18	0,30	0,27	0,10	0,08	0,07
6	GK	0,11	0,12	0,12	0,16	0,18	0,34	0,58	0,56	0,70	0,69	0,48	1,10	0,76	0,26	0,09	0,06	0,01
7	GK	0,29	0,19	0,10	0,18	0,35	0,55	1,01	0,98	0,49	0,53	0,67	0,44	0,40	0,48	0,24	0,30	0,16
8	GK	0,25	0,06	0,00	0,16	0,46	0,69	0,58	0,42	1,07	0,64	0,61	0,44	0,40	0,38	0,12	0,12	0,03
MW	PM	0,11	0,10	0,11	0,16	0,20	0,28	0,70	1,03	1,04	1,21	0,85	0,97	0,62	0,37	0,27	0,23	0,26
MW	BAK	0,12	0,11	0,10	0,14	0,20	0,25	0,53	0,76	1,75	2,74	2,56	0,95	0,54	0,35	0,12	0,11	0,04
MW	GK	0,23	0,09	0,01	0,15	0,27	0,34	0,55	0,56	0,55	0,64	0,61	0,44	0,40	0,31	0,14	0,10	0,11
SD	PM	0,07	0,04	0,09	0,07	0,06	0,11	0,25	0,25	0,36	0,45	0,36	0,23	0,27	0,11	0,10	0,13	0,22
SD	BAK	0,06	0,03	0,06	0,05	0,06	0,12	0,23	0,18	0,48	0,84	0,64	0,12	0,31	0,11	0,09	0,06	0,08
SD	GK	0,09	0,05	0,09	0,07	0,12	0,20	0,25	0,21	0,25	0,15	0,17	0,28	0,16	0,08	0,05	0,08	0,15

Tab. 9.8: Relative Netto-Mineralisation (%  $N_t$ ) aus den organischen Düngern im Klimakammerversuch;  $N_{\min}$ -Gehalte nach Abzug der Startwerte sowie der  $N_{\min}$ -Gehalte im Kontrollsubstrat zum jeweiligen Termin, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

Termin		FriKo	Ferko	Chamko	PferMi
10 °C	0	0	0	0	0
4000 kg/ha C	3	-1,06 b	-0,06 ab	2,37 a	-0,69 b
	7	-2,71 c	-0,44 ab	0,91 a	-1,92 bc
	14	-3,83 c	-0,29 b	2,72 a	-0,53 b
	21	-4,26 c	-0,76 b	2,53 a	-0,69 b
	32	-5,91 b	-1,43 ab	0,81 a	-1,58 a
	50	-6,46 b	-2,28 ab	0,25 a	-2,80 a
	70	-3,84 c	-0,25 b	3,61 a	-0,53 bc
20 °C	0	0,00	0,00	0,00	0,00
4000 kg/ha C	3	-2,96 c	0,05 b	2,78 a	-1,17 bc
	7	-3,08 c	1,15 b	4,29 a	-0,97 bc
	14	-6,75 b	-0,16 a	1,84 a	-3,99 b
	21	-4,73 b	0,77 a	2,67 a	-2,86 b
	32	-9,25 c	-2,09 ab	-0,67 a	-4,06 b
	50	-5,27 b	-1,87 b	4,48 a	4,98 b
	70	2,40 a	-0,53 a	5,29 a	4,74 a
10 °C	0	0,00	0,00	0,00	0,00
8000 kg/ha C	3	-0,84 b	0,08 a	1,09 a	0,46 a
	7	-2,07 b	0,01 a	1,00 a	-0,28 a
	14	-3,35 c	0,64 a	-0,03 ab	-1,28 b
	21	-3,80 c	0,68 a	1,23 a	-1,59 b
	32	-6,11 c	0,21 a	0,61 a	-2,61 b
	50	-6,00 c	-0,07 a	0,13 a	-3,54 b
	70	-3,93 b	1,15 ab	2,78 a	-2,34 ab
20 °C	0	0,00	0,00	0,00	0,00
8000 kg/ha C	3	0,22 b	-2,68 a	-0,50 a	0,01 a
	7	1,11 c	-3,74 a	-0,75 b	-0,78 b
	14	0,83 b	-4,98 a	0,11 a	-3,60 b
	21	0,98 b	-4,76 a	-0,78 ab	-2,40 ab
	32	-0,60 b	-6,56 a	-1,42 a	-3,41 a
	50	0,25 b	-1,34 ab	3,66 ab	2,95 ab
	70	0,83 b	0,95 b	3,98 ab	6,53 a

Tab. 9.9: Mittelwerte des oberirdischen Aufwuchs im Feldversuch 1998, Probenahme im August und September 1998, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

	Mittlere Trieblänge (cm/Trieb)	Kumulierte Trieblänge (cm/Pfl.)	Trieb- anzahl (Stück)	Frischmasse Aufwuchs (g/Pfl.)	Trockenmasse Aufwuchs (g/Pfl.)	Kraut- masse (dt/ha)
Pferdemist	109,35	845,25	5,55	608,20	142,62	102,18
Bioabfallkompost	95,90	755,06	5,66	548,99	125,98	92,23
Grüngutkompost	96,14	744,38	5,56	449,87	101,95	75,58
200 dt/ha	93,42	722,21	5,40	466,01	103,23	78,29
600 dt/ha	107,51	840,92	5,78	605,36	143,81	101,70
80 kg/ha N	99,53	752,83	5,48	529,42	124,57	88,94
120 kg/ha N	101,39	810,29	5,71	541,95	122,47	91,05
Mittelwert	100,49	781,56	5,59	535,69	123,52	90,00
Standardabweichung	19,54	152,20	0,78	187,58	51,92	31,51

Tab. 9.10: Mittelwerte der Kronenmasse im Feldversuch 1998, Probenahme vom 15. bis 22. Sept. 1998, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

	Frischmasse Krone (g/Pfl.)	Trockenmasse Krone (g/Pfl.)	Frischmasse Krone (dt/ha)
Pferdemist	1517,81	289,64	254,99
Bioabfallkompost	1289,69	250,41	216,67
Grüngutkompost	1336,25	261,76	224,49
200 dt/ha	1413,13	269,27	237,41
600 dt/ha	1349,38	265,26	226,70
80 kg/ha N	1339,38	259,56	225,02
120 kg/ha N	1423,13	274,98	239,09
Mittelwert	1381,25	267,27	232,05
Standardabweichung	248,47	43,89	41,74

Tab. 9.11: Mittelwerte der N-Gehalte im oberirdischen Aufwuchs im Feldversuch 1997 und 1998, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

	1. Standjahr			2. Standjahr		
	% in TS	g/Pfl.	kg/ha	% in TS	g/Pfl.	kg/ha
Pferdemist	2,57	2,61	43,85	2,34	3,45	57,99
Bioabfallkompost	2,45	2,31	38,87	2,35	2,90	48,69
Grüngutkompost	2,44	2,21	37,35	2,38	2,78	46,79
200 dt/ha	2,45	2,43	41,01	2,38	2,92	49,06
600 dt/ha	2,52	2,32	39,04	2,34	3,17	53,25
80 kg/ha N	2,54	2,17	36,67	2,33	2,71	45,51
120 kg/ha N	2,43	2,58	43,68	2,39	3,38	56,80
Mittelwert	2,49	2,38	40,02	2,36	3,04	51,15
Standardabweichung	0,16	0,58	9,83	0,14	1,10	18,40

Tab. 9.12: Mittelwerte der Nährstoffgehalte im Boden im Feldversuch 1999; Probenahme am 14. Jan. 1999, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (mg/100 g)	<b>K<sub>2</sub>O</b> (mg/100 g)	<b>MgO</b> (mg/100 g)
Pferdemist	15,45	6,93	7,60
Bioabfallkompost	13,92	6,76	7,26
Grüngutkompost	14,28	6,51	7,43
200 dt/ha	14,95	6,78	7,20
600 dt/ha	14,15	6,68	7,66
80 kg/ha N	14,04	6,52	7,22
120 kg/ha N	15,06	6,94	7,64
Mittelwert	14,55	6,73	7,43
Standardabweichung	2,40	0,75	1,32

Tab. 9.13: Prozentualer Anteil der Nährstofffrachten der organischen Dünger im Feldversuch am Düngbedarf von Spargel im Ausbringungsjahr 1997\*

	<b>Pferdemist</b>		<b>Bioabfallkompost</b>		<b>Grüngutkompost</b>	
	200	600	200	600	200	600
Aufwandstufe (dt/ha)	200	600	200	600	200	600
Tats. Aufwandmenge (dt/ha)	200	600	90	270	164	493
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	36 %	106 %	36 %	108 %	27 %	81 %
K <sub>2</sub> O	52 %	155 %	55 %	163 %	35 %	104 %
MgO	28 %	85 %	43 %	132 %	48 %	145 %

\* Unter der Annahme einer Nährstoffausnutzung von 35 % bei P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und jeweils 100 % bei K<sub>2</sub>O und MgO (Gutser und Ebertseder, 2002), sowie einer Düngempfehlung von 50 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 kg/ha K<sub>2</sub>O und 60 kg/ha MgO in der Boden-gehaltssklasse C (Anonym, 2001b)

Tab. 9.14: Trockenmassen, N-Gehalte und N-Entzüge der ober- und unterirdischen Pflanzenteile im Feldversuch 1998

Varianten				Oberirdischer Aufwuchs				Strünke				Kronen				Bestand (Summe)	
Menge	org	min	Block	g TM	% N	N in g/Pfl.	N in kg/ha	g TM	% N	N in g/Pfl.	N in kg/ha	g TM	% N	N in g/Pfl.	N in kg/ha	N in g/Pfl.	N in kg/ha
2	1	1	1	158,7	2,5	3,9	65,4	28,6	2,0	0,6	9,6	336,2	1,4	4,9	81,9	9,3	156,9
2	1	1	2	40,4	2,4	1,0	16,0	11,0	2,0	0,2	3,7	202,8	1,6	3,2	54,5	4,4	74,3
2	1	2	1	210,8	2,5	5,3	88,2	56,7	2,0	1,1	19,1	337,1	1,7	5,9	99,0	12,3	206,3
2	1	2	2	181,6	2,3	4,2	71,2	34,6	2,0	0,7	11,6	309,7	1,7	5,1	86,5	10,1	169,3
2	2	1	1	99,5	2,3	2,3	39,1	28,5	2,0	0,6	9,6	253,4	1,4	3,7	61,7	6,6	110,3
2	2	1	2	85,6	2,3	2,0	32,9	20,4	2,0	0,4	6,9	246,4	1,5	3,7	62,3	6,1	102,0
2	2	2	1	86,7	2,5	2,1	35,9	24,3	2,0	0,5	8,2	212,1	1,6	3,4	57,9	6,1	101,9
2	2	2	2	146,2	2,3	3,3	56,2	31,8	2,0	0,6	10,7	284,9	1,6	4,5	76,0	8,5	142,9
2	3	1	1	103,2	2,5	2,6	43,7	32,9	2,0	0,7	11,0	249,0	1,5	3,7	62,2	7,0	116,9
2	3	1	2	60,0	2,3	1,4	23,5	17,4	2,0	0,3	5,9	189,5	1,4	2,6	44,2	4,4	73,5
2	3	2	1	170,9	2,6	4,4	74,3	46,0	2,0	0,9	15,5	307,8	1,5	4,5	75,0	9,8	164,8
2	3	2	2	120,7	2,1	2,5	42,3	28,2	2,0	0,6	9,5	302,4	1,5	4,5	76,1	7,6	127,9
6	1	1	1	156,8	2,3	3,5	59,4	47,5	2,0	0,9	15,9	260,6	1,6	4,1	68,6	8,6	144,0
6	1	1	2	160,1	2,2	3,5	58,5	29,7	2,0	0,6	10,0	303,3	1,7	5,0	84,4	9,1	152,9
6	1	2	1	117,7	2,4	2,8	46,8	38,2	2,0	0,8	12,8	296,8	1,6	4,9	81,7	8,4	141,3
6	1	2	2	151,0	2,3	3,5	58,3	31,7	2,0	0,6	10,6	270,7	1,7	4,5	75,8	8,6	144,8
6	2	1	1	185,4	2,4	4,4	73,3	41,8	2,0	0,8	14,0	223,6	1,8	4,0	66,4	9,2	153,7
6	2	1	2	130,4	2,3	3,0	50,6	33,5	2,0	0,7	11,2	309,6	1,6	4,9	82,2	8,6	144,1
6	2	2	1	87,3	2,4	2,1	34,7	37,6	2,0	0,8	12,6	210,1	1,8	3,8	64,5	6,7	111,9
6	2	2	2	165,3	2,4	4,0	66,9	55,7	2,0	1,1	18,7	263,0	1,6	4,3	72,9	9,4	158,5
6	3	1	1	147,0	2,5	3,6	61,1	36,8	2,0	0,7	12,4	318,4	1,6	5,0	84,8	9,4	158,2
6	3	1	2	64,9	2,1	1,3	22,6	17,9	2,0	0,4	6,0	221,8	1,4	3,2	52,9	4,9	81,6
6	3	2	1	107,9	2,3	2,5	41,8	43,3	2,0	0,9	14,5	228,5	1,5	3,5	58,9	6,9	115,2
6	3	2	2	144,6	2,7	3,9	65,0	25,8	2,0	0,5	8,7	276,7	1,7	4,8	81,2	9,2	154,9
Mittelwert				128,4	2,4	3,0	51,2	33,3	2	0,7	11,2	267,3	1,6	4,2	71,3	8,0	133,7
Standardabw.				43,7	0,1	1,0	18,4	11,5	-	0,2	3,8	43,9	0,1	0,8	13,0	1,9	32,7

Tab. 9.15: Rohertrag, N-Gehalt und N-Entzug durch das Erntegut im Feldversuch 1998

Varianten				Rohertrag			N-Gehalte	N-Entzug
Menge	Org	Min	Block	dt/ha FM	% TS	dt/ha TM	% in TS	kg/ha N
2	1	1	1	21,78	7,67	1,67	3,49	5,83
2	1	1	2	16,21	7,09	1,15	3,49	4,02
2	1	2	1	23,39	7,76	1,82	3,30	6,00
2	1	2	2	23,74	7,36	1,75	3,47	6,06
2	2	1	1	19,17	6,94	1,33	3,83	5,10
2	2	1	2	13,37	7,21	0,96	3,12	3,01
2	2	2	1	18,17	7,39	1,34	3,07	4,13
2	2	2	2	18,83	7,23	1,36	3,41	4,65
2	3	1	1	18,29	6,62	1,21	3,70	4,49
2	3	1	2	15,41	7,43	1,15	3,28	3,76
2	3	2	1	19,01	7,29	1,39	3,34	4,63
2	3	2	2	18,45	7,73	1,43	3,53	5,03
6	1	1	1	17,91	7,79	1,40	3,28	4,58
6	1	1	2	23,64	7,29	1,72	3,45	5,94
6	1	2	1	22,90	7,23	1,66	3,41	5,65
6	1	2	2	19,86	7,51	1,49	3,43	5,10
6	2	1	1	18,65	7,01	1,31	3,67	4,81
6	2	1	2	15,59	7,61	1,19	3,59	4,25
6	2	2	1	20,57	6,87	1,41	3,63	5,13
6	2	2	2	21,32	7,40	1,58	3,72	5,87
6	3	1	1	19,21	7,55	1,45	3,34	4,84
6	3	2	1	21,71	7,12	1,55	3,14	4,85
6	3	2	2	16,27	7,76	1,26	3,39	4,28
Mittelwert				19,07	7,32	1,40	3,45	4,81
Standardabweichung				2,94	0,32	0,23	0,20	0,82

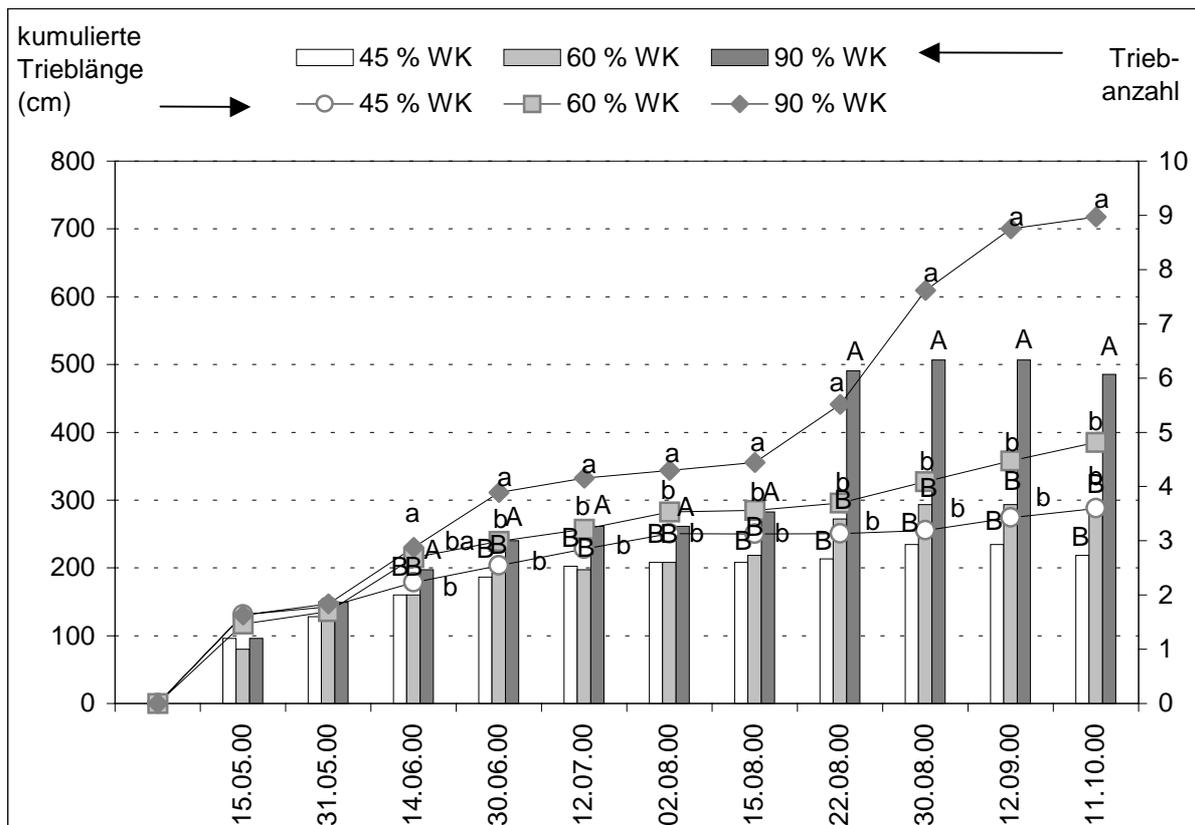


Abb. 9.1: Kumulierte Trieb­längen (Summe aller Triebe) und Triebanzahl im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

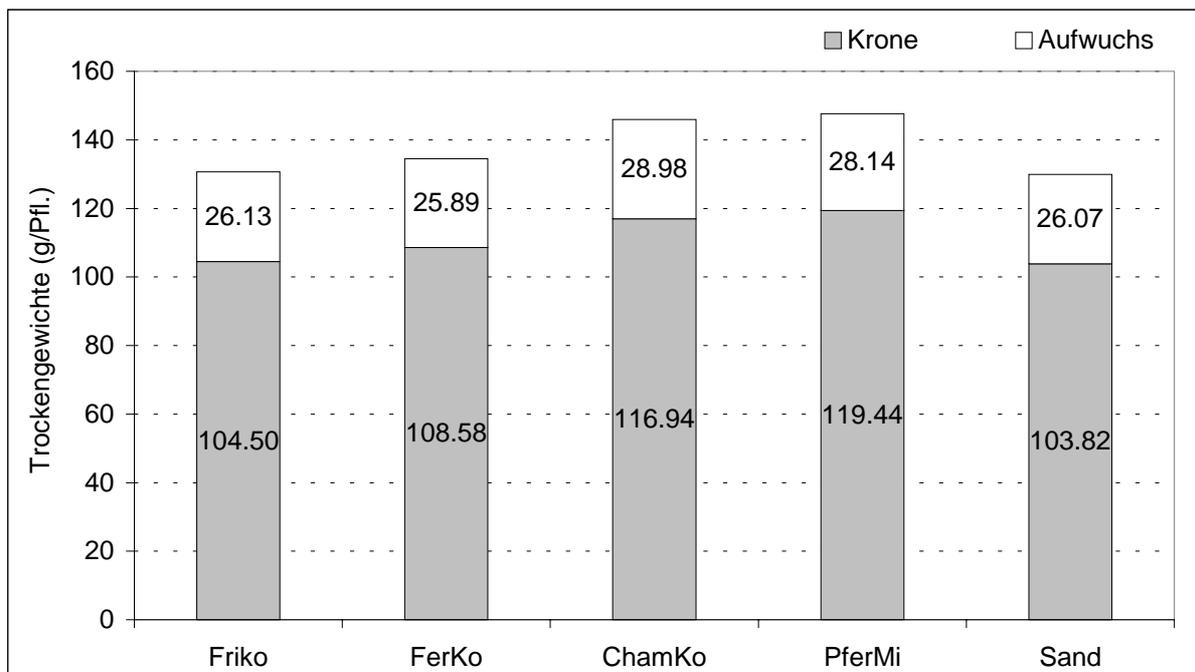


Abb. 9.2: Trockengewichte der Pflanzenorgane im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

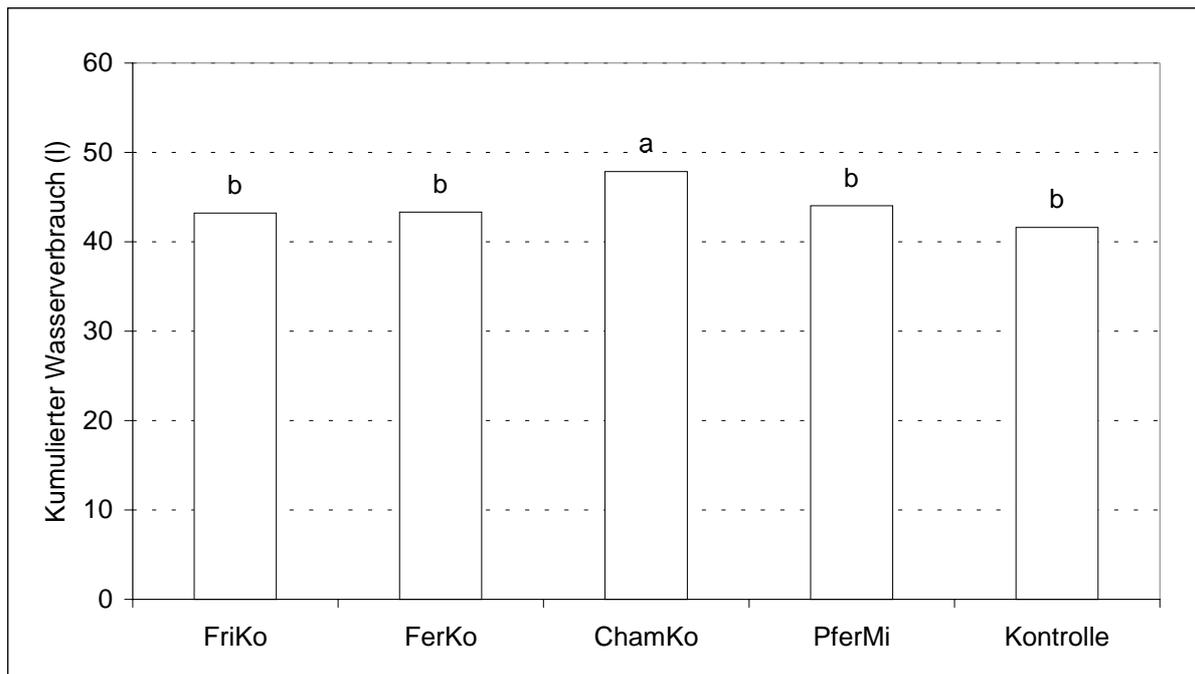


Abb. 9.3: Kumulierter Wasserverbrauch in den bepflanzten Gefäßen im Gefäßversuch vom 18. Mai bis 09. Oktober 2000; Mittelwerte über Wasserstufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

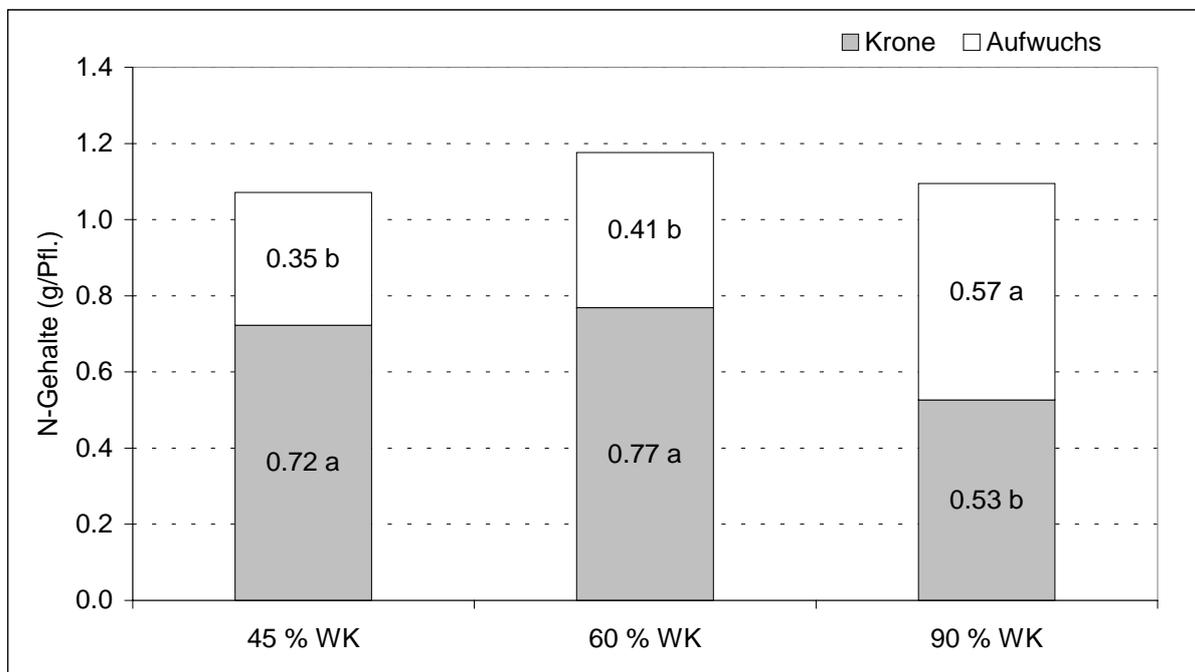


Abb. 9.4: N-Gehalte (g N/Pfl.) in den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen im Gefäßversuch; Mittelwerte über organische Düngung, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ )

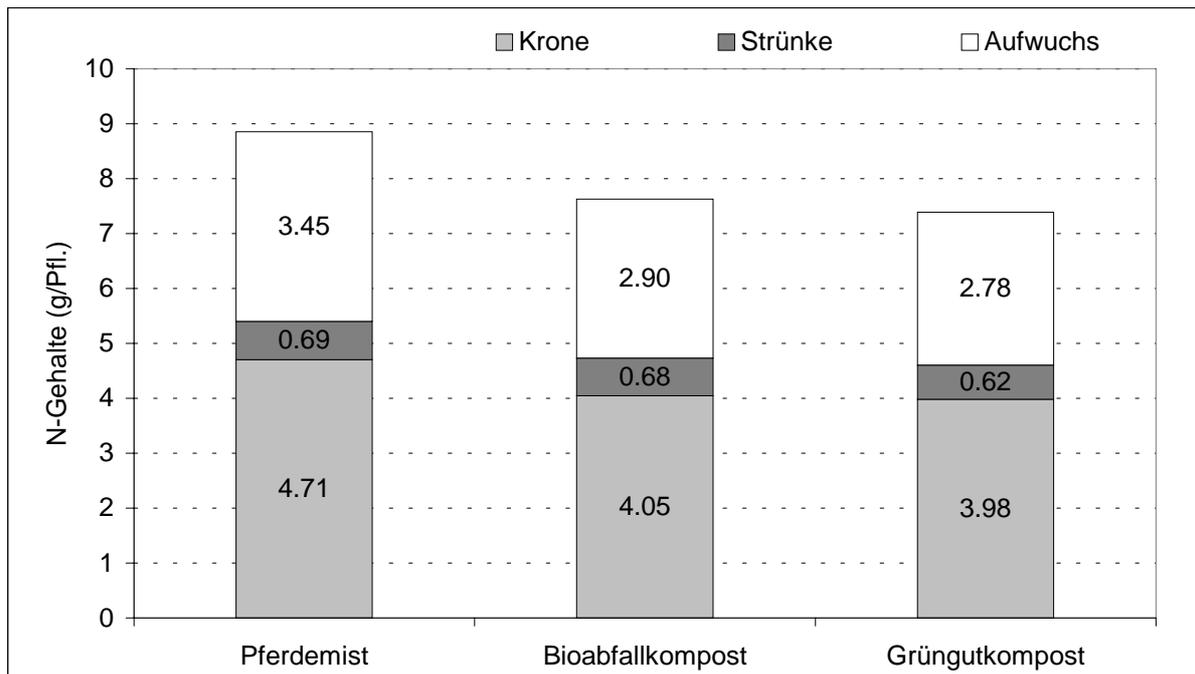


Abb. 9.5: Stickstoffgehalte in den Pflanzen (g N/Pfl.) im Feldversuch; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen, Unterschiede nicht signifikant ( $p < 0,05$ )

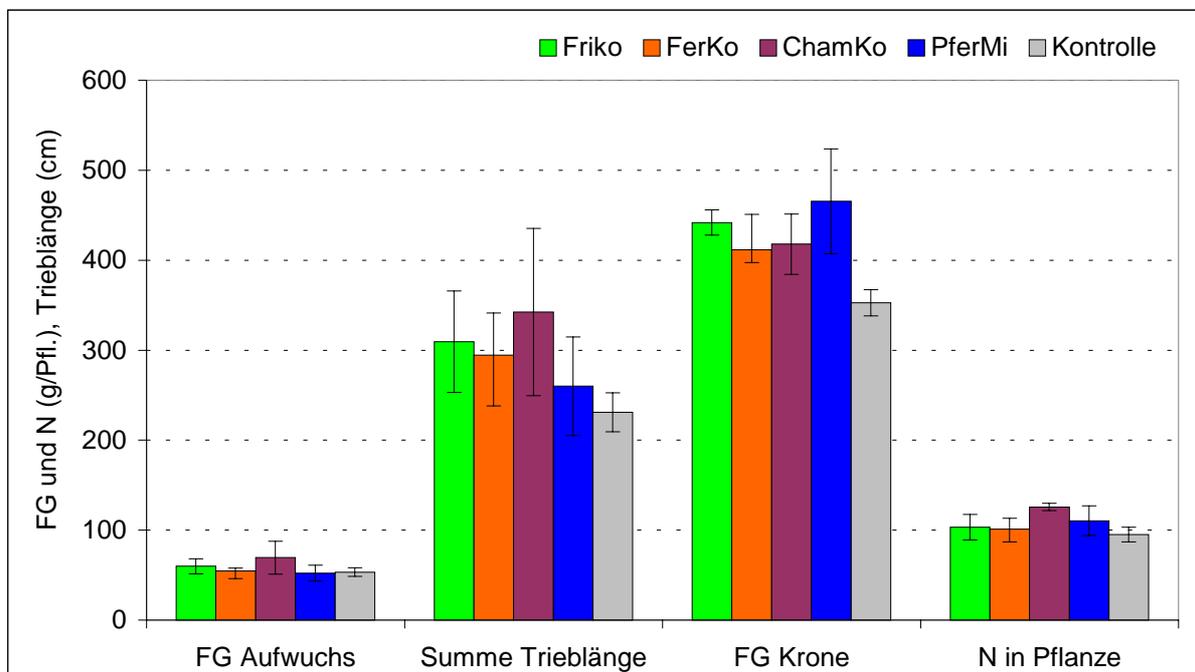


Abb. 9.6: Ausgewählte Pflanzenparameter im Gefäßversuch bei 45 % WK; Mittelwert aus drei Pflanzen, Fehlerbalken kennzeichnen Standardabweichungen

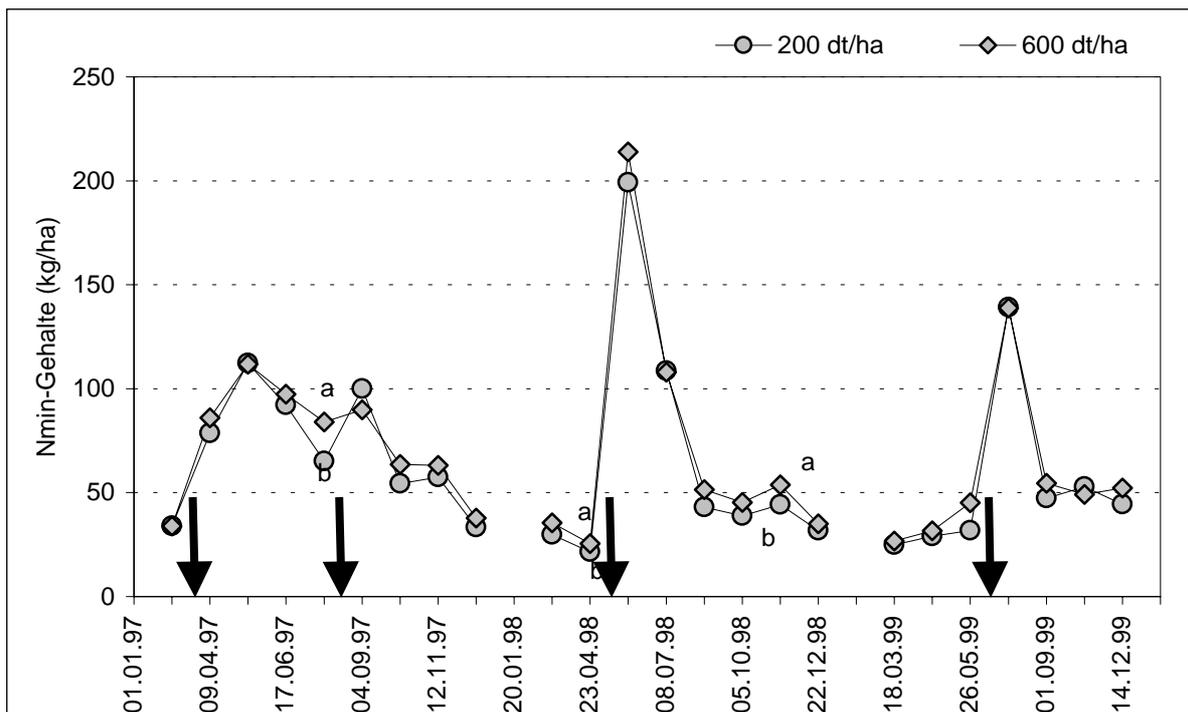


Abb. 9.7: Verlauf der N<sub>min</sub>-Gehalte (kg/ha in 0-90 cm Tiefe) im Feldversuch 1997-1999; Mittelwerte über organische Düngung und Mineral-N-Stufen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05), Pfeile kennzeichnen die Termine der mineralischen N-Düngung

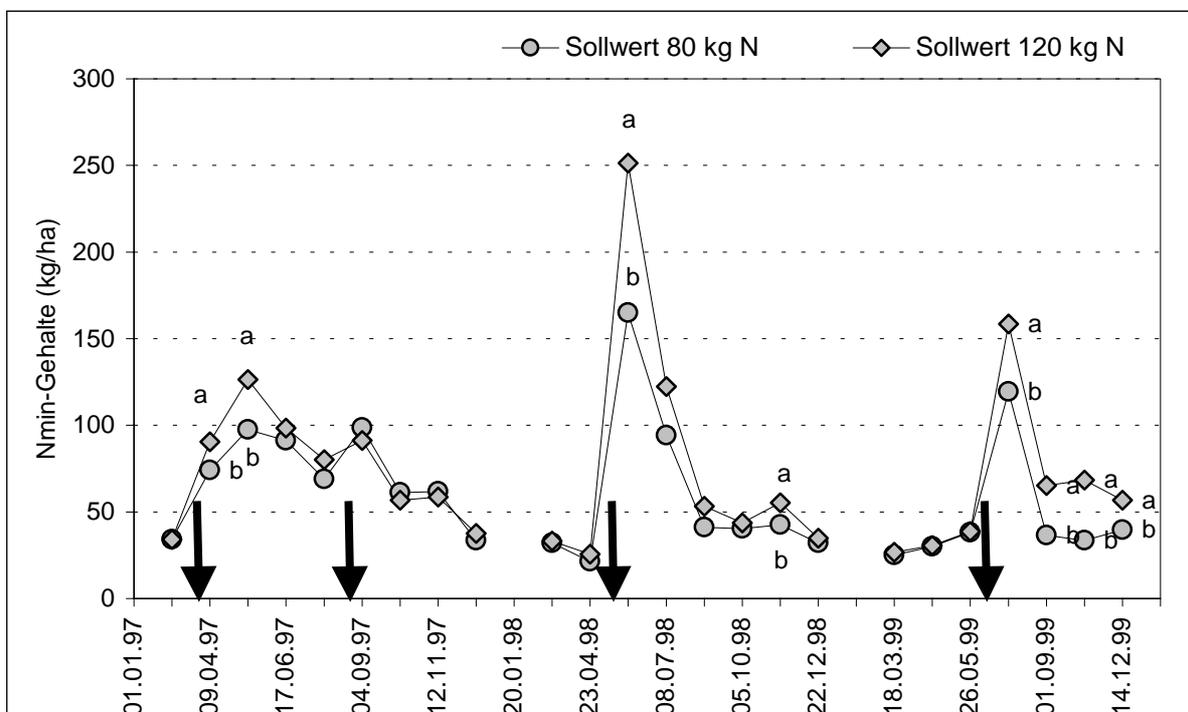


Abb. 9.8: Verlauf der N<sub>min</sub>-Gehalte (kg/ha in 0-90 cm Tiefe) im Feldversuch 1997-1999; Mittelwerte über organische Düngung und Aufwandmengen, Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (p<0,05), Pfeile kennzeichnen die Termine der mineralischen N-Düngung

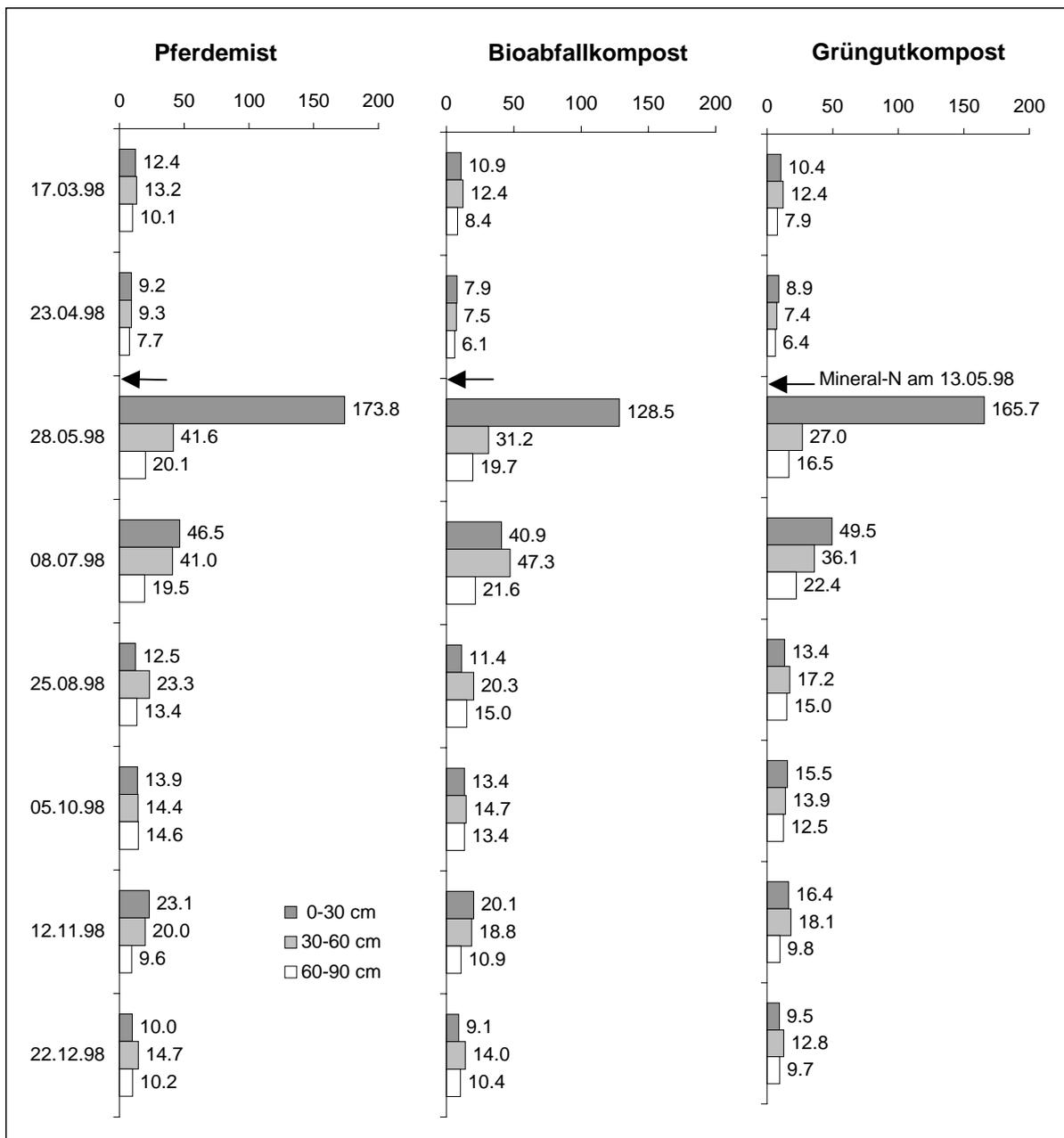


Abb. 9.9:  $N_{min}$ -Gehalte (kg/ha) im Feldversuch 1998 in den Parzellen der Aufwandmenge 600 dt/ha in den Bodenschichten 0-30, 30-60, 60-90 cm; Mittelwerte über Mineral-N-Stufen

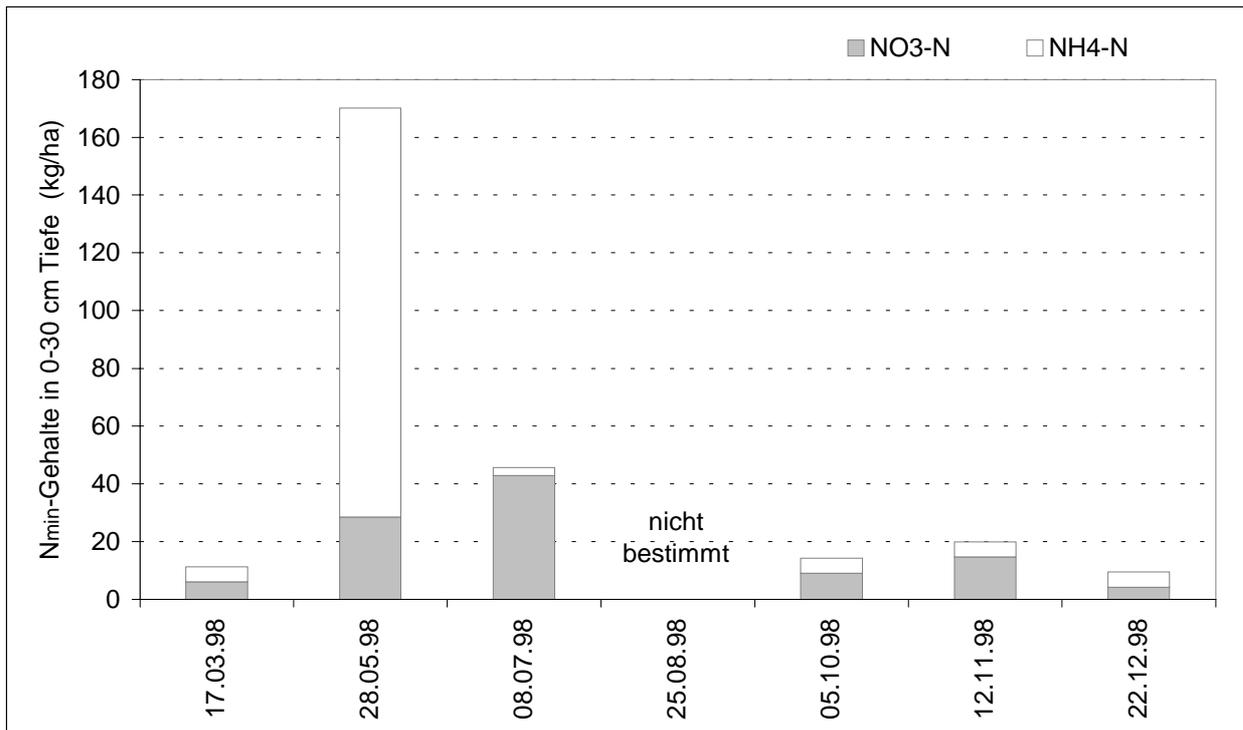


Abb. 9.10: NH<sub>4</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N Anteile (kg/ha) in 0-30 cm Tiefe an den N<sub>min</sub>-Gehalten im Feldversuch 1998, Mittelwerte über alle Faktoren

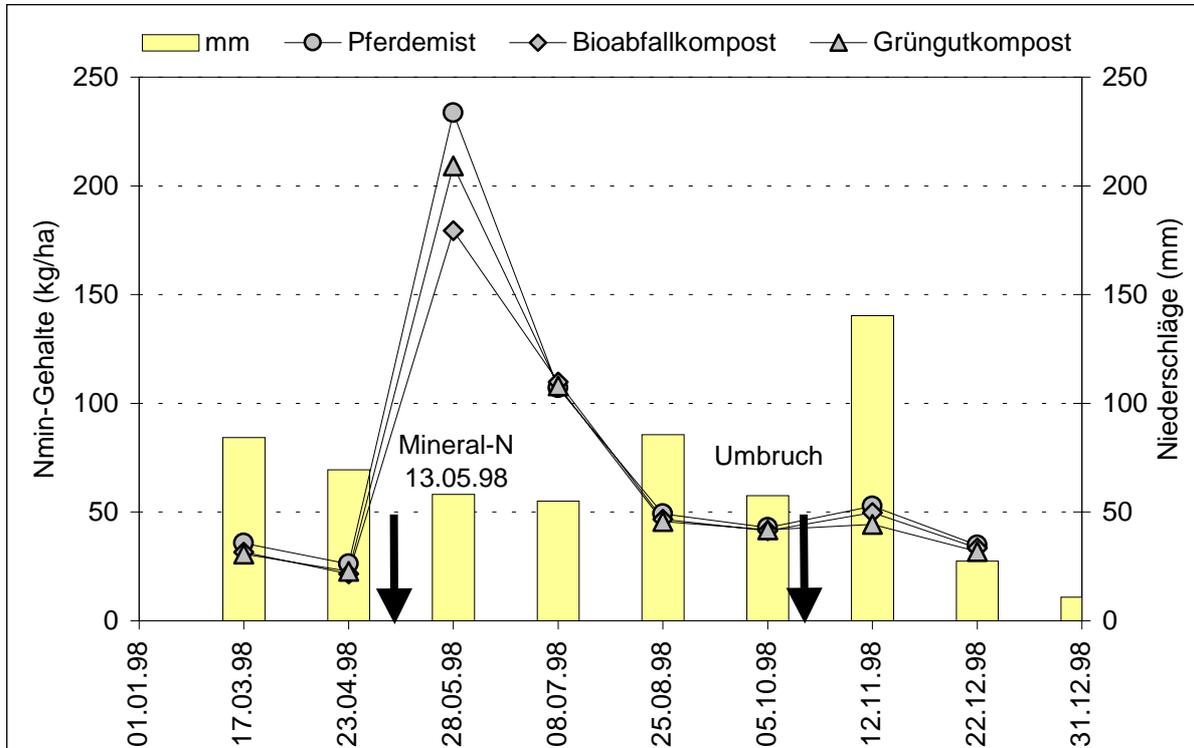


Abb. 9.11: Verlauf der N<sub>min</sub>-Gehalte (kg/ha) in 0-90 cm Tiefe und kumulierte Niederschlagsmengen zwischen den Untersuchungsterminen im Feldversuch 1998; Mittelwerte über Aufwandmengen und Mineral-N-Stufen

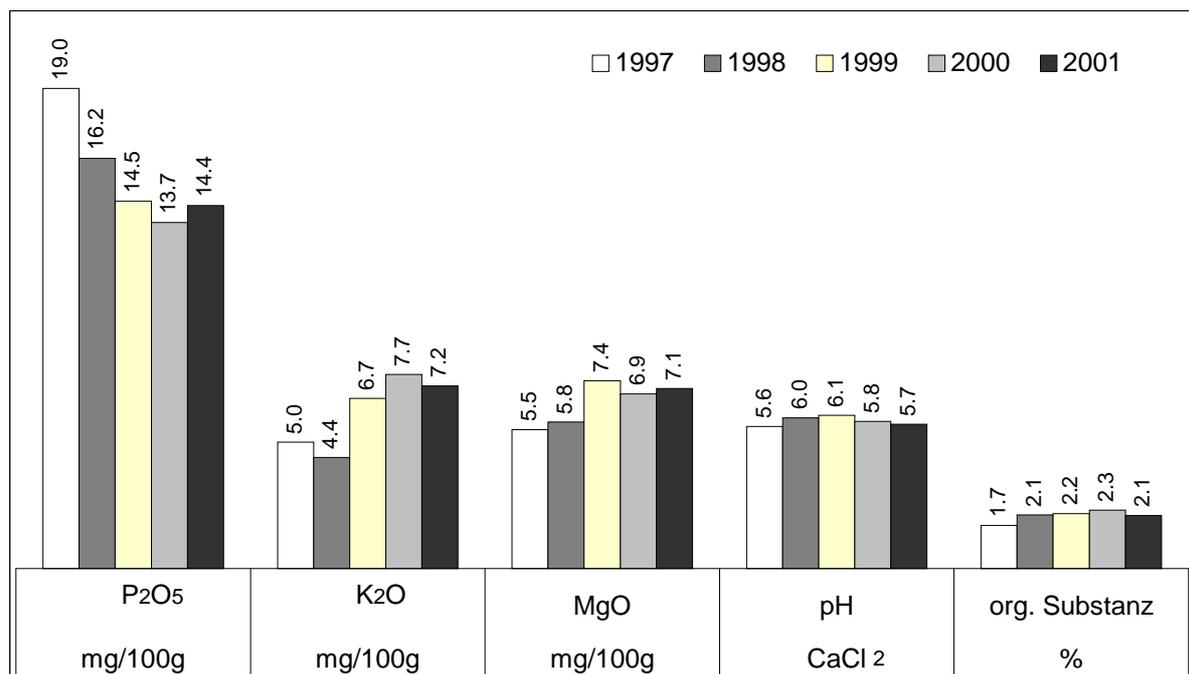


Abb. 9.12: Nährstoffgehalte (mg/100g Boden), pH-Wert und organische Substanz (%) im Feldversuch im Laufe der Versuchsdauer; Mittelwert aus allen Varianten

# Danke

.....Herrn Prof. Dr. H. Stützel für die Überlassung des Themas, die wohlwollende Betreuung sowie die mir gewährte Selbständigkeit bei der Bearbeitung.

.....Herrn Prof. Dr. P.-J. Paschold für die Übernahme des Korreferates.

.....allen Mitarbeitern der Abteilung Gemüsebau für die freundliche und herzliche Unterstützung, die mir stets zuteil wurde. Diese freundschaftliche Zusammenarbeit mit den Kollegen habe ich sehr genossen. Mein besonderer Dank gilt Frau Marlies Lehmann für ihren unermühtlichen Einsatz bei der Analyse der niemals endenden Flut von Bodenproben.

.....Dr. Ellen Richter für die kritischen Anmerkungen beim ersten Korrekturlesen sowie Herrn Dirk Scholz für die Überlassung von Daten und die tatkräftige Unterstützung als studentische Hilfskraft.

.....der Familie Heuer aus Fuhrberg, die einen Teil ihrer Spargelflächen für meine Versuche zur Verfügung gestellt und diese über Jahre hinaus bei den Bearbeitungs- und Erntemaßnahmen berücksichtigt hat. Ohne diese Rücksichtnahme wäre die Durchführung und der Abschluss meiner Doktorarbeit kaum möglich gewesen. Ich bedanke mich auch für die überaus herzliche Aufnahme auf dem Betrieb, besonders in der hektischen Erntezeit.

.....der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Arbeit.

# Lebenslauf

Name	Petra Bloom
Geburtsdatum	20.01.1965 in Lingen (Ems)
Schulbildung	Franziskus-Gymnasium Lingen (Ems), Abschluss mit Abitur im Juni 1984
<u>Berufsausbildung</u>	
1984 bis 1987	Praktikum und Berufsausbildung als Gärtnerin, Fachsparte Zierpflanzenbau, Abschluss im Februar 1987
1987 bis 1993	Studium der Gartenbauwissenschaften am Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover, Abschluss als Diplom-Agraringenieurin im März 1993
<u>Berufstätigkeit</u>	
März – Okt. 1987	Gehilfentätigkeit Gärtnerin in Lingen (Ems)
März – Sept. 1993	Wissenschaftliche Hilfskraft mit Abschluss am Institut für Gemüsebau der Universität Hannover
Sept. 1993 – Sept. 1997	Anstellung als Agrar-Ingenieurin bei einem landwirt- schaftlichen Dienstleistungsunternehmen im Landkreis Verden
Okt. 1997 – Sept. 2001	Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Institut für Gemüse- und Obstbau, Abt. Gemüsebau der Universität Hannover
Nov. 1999 – März 2001	Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Ahlem der Landwirt- schaftskammer Hannover
Jan. 2003	Praktikum beim Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
bis Mai 2003	Fertigstellung der Promotion
Aug. – Sept. 2003	Freiberufliche Tätigkeit beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit in Bonn