

**Einfluss von Komposten und Stallmist
auf Bodeneigenschaften und Wachstum von *Ligustrum vulgare* L.**

Vom Fachbereich Gartenbau
der Universität Hannover
zur Erlangung
des akademischen Grades eines

Doktors der Gartenbauwissenschaften

- Dr. rer. hort. –

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. agr. Peter Kremer

geboren am 15.01.1972 in Waldbröl

2001

Referentin: Prof. Dr. Heike Bohne
Korreferent: PD Dr. B. Beßler
Tag der Promotion: 12.02.2001

Kurzfassung

Über drei Jahre wurde der Einfluss von Bioabfallkompost, Grüngutkompost und Stallmist auf verschiedene Bodeneigenschaften und das Wachstum von *Ligustrum vulgare* L. auf einem Sandboden mit etwa 3% organischer Substanz untersucht. Die folgenden Behandlungen wurden ausgebracht: 200, 400 und 800 dt /ha Stallmist und gleichen organischen Kohlenstofffrachten entsprechende Mengen an Bioabfallkompost und Grüngutkompost. Auf der halben Versuchsfläche wurden die Behandlungen nach zwei Jahren wiederholt. In der 200 dt Variante wurden die folgenden Mengen an N, P und K ausgebracht:

- Bioabfallkompost: etwa 170 kg N_{ges} /ha, 35 kg P_{ges} /ha und 110 kg K /ha
- Grüngutkompost: etwa 100 kg N_{ges} /ha, 14 kg P_{ges} /ha und 36 kg K /ha
- Stallmist erstes Jahr: 50 kg N_{ges} /ha, 8 kg P_{ges} /ha and 27 kg K /ha
- Stallmist zweites Jahr 180 kg N_{ges} /ha, 45 kg P_{ges} /ha and 270 kg K /ha.

Bereits in der 200 dt Variante waren die mit dem organischen Material zugeführten N-, P-, K- und Mg-Mengen höher als die Aufnahme der meisten Baumschulkulturen.

Es gab keine signifikanten Unterschiede im Humusgehalt zwischen den Behandlungen und der Kontrolle.

Bei den Behandlungen mit Bioabfallkompost stiegen die N_{min} -Gehalte in 0 – 90 cm direkt nach der Ausbringung an (bis 112 kg N_{min} /ha, Kontrolle 51 kg N_{min} /ha). Im ersten und zweiten Jahr lagen die N_{min} -Gehalte in den mit Bioabfallkompost behandelten Varianten am höchsten. Die N-Mineralisation des Grüngutkomposts war geringer als die des Stallmists. Im dritten Jahr stiegen die N_{min} -Gehalte der zweimal gedüngten Parzellen auf etwa 100 kg N_{min} /ha bei Bioabfallkompost und etwa 160 kg N_{min} /ha in der 800 dt Stallmist Variante an.

Besonders bei Bioabfallkompost stieg die KAK durch die Düngung an. Ein Einfluss des organischen Materials auf den pH-Wert war nicht feststellbar.

Außer geringeren Wasserspannungen in Trockenperioden bei den Grüngutkompost-Varianten waren keine Einflüsse auf die Bodenphysik feststellbar. Das Pflanzenwachstum in den Grüngutkompost-Varianten war geringfügig erhöht, in den N-, P-, K- und Mg-Gehalten traten keine signifikanten Unterschiede auf.

Influence of Composts and Farmyard Manure on Soil Properties and Growth of *Ligustrum vulgare* L.

Abstract

For three years the influence of biocompost, greencompost and farmyard manure on several soil properties and on growth of *Ligustrum vulgare* L. was investigated for a sandy soil with about 3 % soil organic matter. The following treatments were carried out: 200, 400 and 800 dt /ha farmyard manure and corresponding amounts of biocompost and greencompost to result in equal amounts of applied organic carbon (C_t) in all treatments. After two years the treatments were carried out again for half of the experimental field. The following amounts of N, P and K were added to the soil with the 200 dt treatment:

- biocompost: about 170 kg N_t /ha, 35 kg P_t /ha and 110 kg K /ha
- greencompost: about 100 kg N_t /ha, 14 kg P_t /ha and 36 kg K /ha
- farmyard manure first year: about 50 kg N_t /ha, 8 kg P_t /ha and 27 kg K /ha
- farmyard manure third year: about 180 kg N_t /ha, 45 kg P_t /ha and 270 kg K /ha.

Already in the 200 dt treatment the amounts of N, P, K and Mg added with the organic materials were higher than the uptake by most of the tree nursery plants.

There were no significant differences in soil organic matter between the treatments and the untreated plots.

For the treatments with biocompost the amount of N_{min} in 0-90 cm increased rapidly after incorporation (up to 112 kg N_{min} /ha, in the untreated plots 51 kg N_{min} /ha). In the first and second year the amount of N_{min} in 0-90 cm was the highest for the treatments with biocompost. The mineralization of N for greencompost was lower than the mineralization of N for farmyard manure. In the third year the amounts of N_{min} of the twice manured plots increased to more than 100 kg N_{min} /ha for biocompost and about 160 kg N_{min} /ha for the 800 dt farmyard manure treatment.

CAC increased after addition of the organic material especially for biocompost. There was no influence of organic material on pH.

There was no influence on physical soil properties except lower water tension in the treatments with greencompost during dry periods of the growth period.

Growth of plants for the greencompost treatments was slightly increased. There were no significant differences in N-, P-, K- and Mg-contents.

Schlagwörter: Kompost, Baumschule, Humus

Keywords: Compost, Tree Nursery, Soil organic matter

Einfluss von Komposten und Stallmist auf Bodeneigenschaften und Wachstum von *Ligustrum vulgare* L.

Inhaltsverzeichnis

	Verzeichnis der Tabellen	10
	Verzeichnis der Abbildungen	13
	Verzeichnis der Anhänge	16
	Verzeichnis der Abkürzungen	20
1	Einleitung	21
2	Material und Methoden	28
2.1	Versuchsdurchführung	28
2.1.1	Standort, Boden und Klima	28
2.1.2	Organische Dünger	28
2.1.3	Pflanzen	30
2.1.4	Versuchsanlage im ersten und zweiten Versuchsjahr	31
2.1.5	Versuchsanlage im dritten Versuchsjahr	36
2.1.6	Pflanzung und Kulturmaßnahmen	38
2.2	Chemische Bodenuntersuchungen	38
2.2.1	Probennahme	38
2.2.2	Mineralstickstoffgehalte	39
2.2.3	Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalte	39
2.2.4	Gesamt – Stickstoffgehalte	40
2.2.5	Humusgehalte und weitere Charakterisierung	41
2.2.6	pH – Werte	42
2.2.7	Salzgehalte	42
2.2.8	Gewinnung und Analyse von Sickerwasserproben	43
2.2.9	Kationenaustauschkapazität	44

2.3	Physikalische Bodenuntersuchungen	44
2.3.1	Bodenwasserspannung	44
2.3.2	Lagerungsdichte und Porenvolumen	46
2.3.3	Porengrößenverteilung	47
2.4	Pflanzenuntersuchungen	48
2.4.1	Triebwachstum	48
2.4.2	Frisch- und Trockensubstanzerträge	49
2.4.3	Pflanzenbonituren	49
2.4.4	Nährstoffgehalte	49
2.4.4.1	Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium	49
2.4.4.2	Gesamt-Stickstoff	50
2.5	Statistische Auswertungen	50
3	Ergebnisse	51
3.1	Chemische Bodenuntersuchungen	51
3.1.1	Mineralstickstoffgehalte	51
3.1.2	Nitratgehalte im Sickerwasser	58
3.1.3	Phosphorgehalte	63
3.1.4	Kaliumgehalte	65
3.1.5	Magnesiumgehalte	70
3.1.6	Gesamt – Stickstoffgehalte	73
3.1.7	Humusgehalte und weitere Charakterisierung	75
3.1.7.1	Gesamthumusgehalte	75
3.1.7.2	Weitere Charakterisierung von Humuseigenschaften	78
3.1.8	pH – Werte	87
3.1.9	Salzgehalte	90
3.1.10	Kationenaustauschkapazität	92
3.2	Physikalische Bodenuntersuchungen	94
3.2.1	Bodenwasserspannung	94
3.2.2	Lagerungsdichte und Porenvolumen	121

3.2.3	Porengrößenverteilung	123
		124
3.3	Pflanzenuntersuchungen	124
3.3.1	Frisch- und Trockensubstanzerträge	124
3.3.2	Triebwachstum	127
3.3.3	Pflanzenbonituren	129
3.3.4	Nährstoffgehalte	131
3.3.4.1	Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium	131
3.3.4.2	Gesamt-Stickstoff	136
4	Diskussion	139
4.1	Chemische Bodeneigenschaften	139
4.1.1	Humusgehalte und Humuseigenschaften	139
4.1.2	Nährstoffhaushalt des Bodens	143
4.1.2.1	Stickstoffhaushalt des Bodens	143
4.1.2.1.1	Veränderung der Mineralstickstoffgehalte	143
4.1.2.1.2	Stickstoffmineralisation	150
4.1.2.2	Nährstoffhaushalt für weitere Mineralstoffe	159
4.1.3	pH-Wert	162
4.1.4	Salzgehalt	163
4.1.5	Kationenaustauschkapazität	164
4.2	Physikalische Bodeneigenschaften	165
4.2.1	Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung	165
4.2.2	Wasserhaushalt des Bodens	166
4.3	Pflanzen	167
4.3.1	Wachstum	167
4.3.2	Nährstoffgehalte	169
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	172
6	Zusammenfassung	174

7	Literaturverzeichnis	177
	Anhang	186

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Analysenergebnisse der organischen Dünger	29
Tabelle 2: Ausgebrachte Düngermengen und enthaltene Nährstofffrachten im ersten Versuchsjahr	33
Tabelle 3: Ausgebrachte Düngermengen und enthaltene Nährstofffrachten im dritten Versuchsjahr	37
Tabelle 4: Behandlungen 1999	37
Tabelle 5: Angenommene Leerungsdrücke für die bestimmten Porengrößen	47
Tabelle 6: Nitratgehalte [ppm] im Sickerwasser zu verschiedenen Terminen des ersten und zweiten Versuchsjahrs in Abhängigkeit von der organischen Düngung	59
Tabelle 7: Nitratgehalte [ppm] im Sickerwasser der 400 dt Varianten in Abhängigkeit von der Art des Düngers und der Ausbringungshäufigkeit in Vergleich zur Kontrolle zu verschiedenen Terminen des dritten Versuchsjahrs	62
Tabelle 8: Kaliumgehalte [mg K /100 g Boden] im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.	66
Tabelle 9: Kaliumgehalte [mg K /100 g Boden] im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.	68
Tabelle 10: Magnesiumgehalte [mg Mg /100 g Boden] im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.	70
Tabelle 11: Magnesiumgehalte [mg Mg /100 g Boden] im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.	72
Tabelle 12: Glühverlust bei 220 °C bezogen auf den Glühverlust bei 550 °C für den Termin Dezember 1997.	80
Tabelle 13: pH – Werte der drei untersuchten Bodenschichten zu Beginn des ersten Versuchsjahrs	87
Tabelle 14: pH – Werte der Bodenschicht 0 – 30 cm zu Beginn des dritten Versuchsjahrs	88
Tabelle 15: pH – Werte der drei untersuchten Bodenschichten zum Ende des dritten Versuchsjahrs	89

Tabelle 16: Kationenaustauschkapazität am Ende der dritten Vegetationsperiode (Gesamt-KAK, Belegung mit Mg, Ca, K und Na sowie Summe dieser Elemente)	92
Tabelle 17: Mittlere Phosphor- und Kaliumgehalte der <i>Ligustrum vulgare</i> L. (Triebe und Blätter) nach dem ersten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung	131
Tabelle 18: Nährstoffgehalte der <i>Ligustrum vulgare</i> L. (Triebe und Blätter) nach dem zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung	132
Tabelle 19: Nährstoffgehalte der <i>Ligustrum vulgare</i> L. (Triebe und Blätter) nach dem dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung	134
Tabelle 20: Stickstoffgehalte in Blättern und Trieben der <i>Ligustrum vulgare</i> L. im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.	137
Tabelle 21: Stickstoffgehalte in Blättern und Trieben der <i>Ligustrum vulgare</i> L. im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.	137
Tabelle 22: Mit der zweiten organischen Düngung ausgebrachte Mineralstickstoffmenge [kg N _{min} /ha] und im Unterschied zur entsprechenden einmal gedüngten Variante im März wiedergefundene N _{min} -Menge [kg N _{min} /ha]	146
Tabelle 23: Veränderung der N _{min} -Gehalte [kg N _{min} /ha] in den Bodenschichten 0 - 30 und 30 - 60 cm von Februar bis Mai 1997	151
Tabelle 24: Stickstoffmineralisation [kg N _{min} /ha in 0 – 90 cm] zwischen den Probenahmeterminen des zweiten Versuchsjahres	153
Tabelle 25: Stickstoffmineralisation [kg N _{min} /ha in 0 – 90 cm] zwischen den Probenahmeterminen des dritten Versuchsjahres	154
Tabelle 26: C/N-Verhältnisse der organischen Düngemittel	155
Tabelle 27: Im ersten und dritten Versuchsjahr ausgebrachte Gesamtmineralstoffmengen (200 dt Varianten) im Vergleich zu mittleren Entzügen von Baumschulkulturen nach ALT et al. (1994) und ALT (1990)	159

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsfelds	34
Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Parzelle von Block 3	35
Abbildung 3: N_{\min} -Werte (0 – 90 cm) im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung	51
Abbildung 4: Mittlere N_{\min} -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung	56
Abbildung 5: Mittlere Phosphorgehalte der Bodenschicht 0 – 30 cm nach der ersten organischen Düngung und zu Beginn des zweiten Versuchsjahrs in Abhängigkeit von der organischen Düngung	63
Abbildung 6: Mittlere Phosphorgehalte der Bodenschicht 0 – 30 cm nach erneuter organischer Düngung und bei Versuchsabschluss in Abhängigkeit von der organischen Düngung	64
Abbildung 7: Gesamt – N – Gehalte in der Bodenschicht 0 – 30 im Oktober 1999 in Abhängigkeit von der Behandlung	74
Abbildung 8: Mittlere Humusgehalte in 0 - 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im ersten und zweiten Versuchsjahr	82
Abbildung 9: Mittlere Humusgehalte in 0 - 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im dritten Versuchsjahr	83
Abbildung 10: Mittlere Glühverluste bei 220 °C und 340 °C in 0 - 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im ersten und zweiten Versuchsjahr	84
Abbildung 11: Mittlere Glühverluste bei 220 °C in Abhängigkeit von der organischen Düngung im dritten Versuchsjahr	85
Abbildung 12: Mittlere Glühverluste bei 340 °C in Abhängigkeit von der organischen Düngung im dritten Versuchsjahr	86
Abbildung 13: Salzgehalte (0 – 30 cm) im März und Oktober des dritten Versuchsjahrs in Abhängigkeit von der Behandlung	90

Abbildung 14: Wasserspannungsverlauf in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	101
Abbildung 15: Wasserspannungsverlauf in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	102
Abbildung 16: Wasserspannungsverlauf in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	103
Abbildung 17: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 30 – 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997	104
Abbildung 18: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997	105
Abbildung 19: Wasserspannungsverlauf in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	106
Abbildung 20: Wasserspannungsverlauf in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	107
Abbildung 21: Wasserspannungsverlauf in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	108
Abbildung 22: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 30 - 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998	109

Abbildung 23: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998	110
Abbildung 24: Wasserspannungsverlauf der einmal gedüngten Varianten in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	111
Abbildung 25: Wasserspannungsverlauf der einmal gedüngten Varianten in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	112
Abbildung 26: Wasserspannungsverlauf der einmal gedüngten Varianten in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	113
Abbildung 27: Wasserspannungsverlauf der zweimal gedüngten Varianten in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	114
Abbildung 28: Wasserspannungsverlauf der zweimal gedüngten Varianten in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	115
Abbildung 29: Wasserspannungsverlauf der zweimal gedüngten Varianten in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen	116

Abbildung 30: Hydraulische Gradienten der einmal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 30 - 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999	117
Abbildung 31: Hydraulische Gradienten der einmal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999	118
Abbildung 32: Hydraulische Gradienten der zweimal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 30 - 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999	119
Abbildung 33: Hydraulische Gradienten der zweimal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999	120
Abbildung 34: Mittlere Frischsubstanzerträge (nur Triebe) der <i>Ligustrum vulgare</i> L. im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung	124
Abbildung 35: Mittlere Frischsubstanzerträge (nur Triebe) der <i>Ligustrum vulgare</i> L. im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung	126
Abbildung 36: Mittlere Summe der Triebblängen von <i>Ligustrum vulgare</i> L. im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung	128
Abbildung 37: Am Ende des zweiten Versuchsjahres erreichte Qualitäten der <i>Ligustrum vulgare</i> L. in Abhängigkeit von der organischen Düngung (Schulnotensystem)	129
Abbildung 38: Am Ende des dritten Versuchsjahres erreichte Qualitäten der <i>Ligustrum vulgare</i> L. in Abhängigkeit von der organischen Düngung (Schulnotensystem)	130

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Juni 1997	186
Anhang 2: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Dezember 1997	186
Anhang 3: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Mai 1998	187
Anhang 4: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin März 1999	187
Anhang 5: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Oktober 1999	188
Anhang 6: N_{\min} - Gehalte der Einzelpartellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Februar 1997	189
Anhang 7: N_{\min} - Gehalte der Einzelpartellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Mai 1997	190
Anhang 8: N_{\min} - Gehalte der Einzelpartellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juni 1997	190
Anhang 9: N_{\min} - Gehalte der Einzelpartellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: August 1997	191

Anhang 10: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere Nitrat – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: September 1997	191
Anhang 11: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: November 1997	192
Anhang 12: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Februar 1998	192
Anhang 13: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: April 1998	193
Anhang 14: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juni 98	193
Anhang 15: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juli 98	194

Anhang 16: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: August 98	194
Anhang 17: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Oktober 1998	195
Anhang 18: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: März 1999	195
Anhang 19: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Mai 1999	197
Anhang 20: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juni 1999	198
Anhang 21: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juli 1999	199

Anhang 22: N _{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N _{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N _{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: September 1999	200
Anhang 23: N _{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N _{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N _{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Oktober 1999	201
Anhang 24: Mittlere Phosphorgehalte der untersuchten Bodenschichten im ersten und zweiten Versuchsjahr	202
Anhang 25: Mittlere Phosphorgehalte der untersuchten Bodenschichten im dritten Versuchsjahr	202
Anhang 26: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte. Termin: Juni 1997	203
Anhang 27: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte. Termin: Oktober 1998	203
Anhang 28: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte. Termin: Mai 1999	204
Anhang 29: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte. Termin: Oktober 1999	205
Anhang 30: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin: Juni 1997	206
Anhang 31: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin: Oktober 1998	206
Anhang 32: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin: Mai 1999	207
Anhang 33: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin: Oktober 1999	208

Verzeichnis der Abkürzungen

Ca _{lösl}	lösliches Kalzium
C _{org}	organischer Kohlenstoff
dB	Lagerungsdichte
dt	Dezitonne (100 kg)
FG	Frischgewicht
FM	Frischmasse
FS	Frischsubstanz
GD _{Tukey $\alpha=0,1$}	Grenzdifferenz nach Tukey berechnet
Mg _{lösl}	lösliches Magnesium
Mio.	Million
mm	Millimeter
n.b.	nicht bestimmt
n.s.	nicht signifikant
N _{ges}	gesamter Stickstoff
N _{lösl}	löslicher Stickstoff
N _{min}	mineralischer Stickstoff
N _{org}	organischer Stickstoff
P _{lösl}	löslicher Phosphor
TG	Trockengewicht
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
Vol.	Volumen

1. Einleitung

Seit jeher wird dem Humus in pflanzenbaulich genutzten Böden eine große Bedeutung beigemessen. Diese Bedeutung wird vor allem in der Rolle für die Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit gesehen (LEITHOLD und HÜLSBERGEN 1998, SAUERBECK 1991, KLIMANEK und KÖRSCHENS 1982). Eine Humusersatzwirtschaft dient dabei der Sicherung der Nachhaltigkeit pflanzenbaulicher Produktion (HÜLSBERGEN et al. 1999).

Die Begriffe Humus und organische Substanz sind nicht einheitlich definiert. Einige Autoren unterscheiden zwischen Humus und organischer Substanz, so definieren KUNTZE et al. (1994) Humus als die tote organische Substanz. Zur Gesamtheit der organischen Substanz zählen sie noch Wurzeln und das Edaphon. Andere Autoren, wie z.B. SCHACHTSCHABEL et al. (1998) verwenden die Begriffe Humus und organische Substanz synonym. In der vorliegenden Arbeit sollen Humus und organische Substanz des Bodens nicht weiter unterschieden werden, da auch analytisch keine Trennung möglich ist.

Die Notwendigkeit und Grenzen einer Einflussnahme auf die Humusreproduktion werden unterschiedlich bewertet (SAUERBECK und HAIDER 1992, zitiert in HÜLSBERGEN et al. 1999). HÜLSBERGEN et al. (1999) sehen sowohl eine Über- als auch eine Unterversorgung der Böden als negativ an und gehen nur von einem engen Bereich optimaler Humusversorgung aus. Dieser hängt sowohl vom Standort als auch von der Bewirtschaftung ab. Diese beiden Faktoren determinieren den Humusgehalt eines Bodens, wobei sich allerdings erst nach vielen Jahren konstanter Bewirtschaftung und damit ggf. konstanter Zufuhr organischen Materials gleichbleibende Humusgehalte einstellen. Nach DÖHLER (1994) dauert es ca. 100 Jahre bis sich nach veränderter und dann regelmäßiger Zufuhr organischen Materials (hier in Form von Kompost) gleichbleibende Humusgehalte und Mineralisierungsraten einstellen.

Einige Autoren nehmen den Humusgehalt als fast vollständig durch den Standort determiniert an. So beschreiben KÖRSCHENS et al. (1998), dass die Gehalte an inertem Kohlenstoff landwirtschaftlich genutzter Böden sehr eng mit dem Tongehalt des Bodens korreliert sind. Durch organische Düngung beeinflussbar ist nur der

umsetzbare Kohlenstoff. Dieser macht allerdings stets nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Kohlenstoffgehalt des Bodens aus. Im scheinbaren Gegensatz dazu steht die Erkenntnis, dass hohe Humusversorgungsgrade hohe Humusumsetzungen bewirken. Es erfolgt ein schneller Abbau von Nährhumus, was als Voraussetzung für eine Verringerung der Mineraldüngung bei gleichbleibend hohen Erträgen angesehen wird (LEITHOLD et al. 1997). Für den Bereich des ökologischen Landbaus wird dies oftmals angestrebt. So soll der Stickstoffbedarf der Kulturen zuverlässig und ausreichend gedeckt werden. Wenn von hohen Humusversorgungsgraden gesprochen wird, dann ist nur der umsetzbare Humusanteil gemeint. Der Gehalt an inertem Kohlenstoff ist durch den Tongehalt des Bodens weitgehend bestimmt und kann folglich kein Maß für den Humusversorgungsgrad eines Bodens sein.

Allerdings finden sich in der Literatur fast keine Angaben optimaler Humusgehalte.

Folgende Funktionen des Humus werden genannt (HÜLSBERGEN et al. 1999, SCHACHTSCHABEL et al. 1998, LEITHOLD et al. 1997, BOHNE 1995, SAUERBECK 1991, BACHMANN 1988):

- Speicherung und Transformation von Nährstoffen,
- Filterung und Pufferung toxischer Stoffe, u.a. von Pestiziden,
- Förderung der bodenbiologischen Aktivität, dadurch phytosanitäre Wirkungen (Einsparung von Pflanzenschutzmitteln),
- temporäre Speicherung von Kohlenstoff, der so der Atmosphäre entzogen wird,
- Aufbau eines günstigen Bodengefüges (Aggregatstabilität, Bodenluft, Wasserspeicherung, Durchwurzelbarkeit),
- Erosionsschutz,
- verminderte Gefahr der Verschlammung,
- erhöhte Infiltration und verminderter Oberflächenabfluss,
- Verminderung der Bodenbelastung durch Bodendruck.

Bei der Betrachtung des Humus im Boden muss man neben der Quantität auch die Qualität einbeziehen. KLIMANEK und KÖRSCHENS (1982) fordern mindestens eine Bewertung nach der Umsetzbarkeit des Humus. Viele der positiven Humuswirkungen gehen eher auf den ständigen Umsatz als auf langfristige Existenz der organischen Substanz zurück (BOHNE 1995, SAUERBECK 1991). Besonders die struktur-

verbessernden Wirkungen organischer Düngung sind im Anwendungsjahr am deutlichsten ausgeprägt (STEVENSON 1982, FLAIG 1976, MONNIER 1965, alle zitiert in SAUERBECK 1991, BOHNE et al. 1990). Die meisten Autoren gehen davon aus, dass es nicht durch Mineraldüngung ersetzbare Humuswirkungen gibt. Im Vordergrund werden dabei neben einer verbesserten Nährstoffausnutzung und einem gleichmäßigeren Nährstoffangebot (SAUERBECK 1991) vor allem die physikalischen Bodeneigenschaften gesehen. Daher findet man die ausgeprägteste Humuswirkung meist auf sandigen, humusarmen Böden (ASMUS und GÖRLITZ 1981, RAUHE und HESSE 1959). Sie beruht dann überwiegend auf einer Verbesserung des Wasserhaushalts (ASMUS et al. 1987).

SAUERBECK (1991) sieht es als erwiesen an, dass primär nicht die Art sondern nur die Menge des organischen Materials die Humuswirkung determiniert. Andere Autoren sehen dagegen neben dem C/N-Verhältnis die stofflichen Eigenschaften als wichtig an (HÜLSBERGEN et al. 1999, VÖLKER et al. 1984 zitiert in HÜLSBERGEN et al. 1999, BOHNE 1995, WENNEMUTH 1972,).

Diese werden auch bei der Aufstellung von Humusbilanzen berücksichtigt.

Neben der pflanzenbaulichen Bedeutung kommt dem Humus durch die Steuerung des C- und N-Umsatzes eine große ökologische Relevanz zu (HÜLSBERGEN et al. 1999).

Dies wird besonders deutlich bei der Betrachtung der baumschulischen Bodennutzung, die sich wesentlich von der landwirtschaftlichen, gemüsebaulichen und obstbaulichen Bodennutzung unterscheidet.

In diesem Zusammenhang sind vor allem die Besonderheiten bzgl. der Stickstoffaufnahme von Gehölzen und die traditionell sehr starke organische Düngung sehr vieler Baumschulflächen zu nennen.

Für sehr viele landwirtschaftliche und gemüsebauliche Kulturen sind die Stickstoffentzüge heute bekannt. Für Gehölze gibt es dagegen nur Modelle, die eine Schätzung der Stickstoffentzüge erleichtern sollen. Gründe dafür liegen in der Vielzahl der angebauten Kulturen (Arten, Sorten) mit völlig unterschiedlichen Standweiten in den verschiedensten Altersstufen und unterschiedlichen Qualitätszielen. Meist findet man nur geringe Stückzahlen einheitlicher Pflanzen in

einem Betrieb vor. ALT (1990) empfiehlt, die Frischsubstanzerträge von Baumschulkulturen abzuschätzen. Aufgrund der sehr engen Beziehung zwischen Frischsubstanzertrag, gemessen als Sproßfrischgewicht, und Stickstoffaufnahme der Kultur ist dann eine bedarfsorientierte N-Düngung unter Berücksichtigung von N_{\min} -Werten möglich. Zur quantitativen N-Aufnahme führen DIEREND (1992) und WALTER (1999) aus, dass v.a. das Standjahr großen Einfluss auf die N-Aufnahme hat. Im ersten Standjahr ist die N-Aufnahme vieler Kulturen so gering, dass auf eine mineralische N-Düngung oft verzichtet werden kann (DIEREND und SPETHMANN 1994a). Nach DIEREND (1992) liegt die N-Aufnahme von Gehölzen im 1. Standjahr sehr oft unter 50 kg N/ha, sehr selten über 110 kg N/ha. Im zweiten Standjahr ist die N-Aufnahme dagegen meist deutlich höher. Auch fand er deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Bodenart. So stand im 2. Standjahr eine mittlere N-Aufnahme von 110 kg N/ha auf einem Lössboden einer mittleren Aufnahme von 62 kg N/ha auf einem Sandboden gegenüber. Die Frischsubstanzerträge auf dem Sandboden waren entsprechend geringer. WALTER (1999) fand auf einem Lössboden für verschiedene Kulturen N-Aufnahmen im 1. Standjahr zwischen 3 und 30 kg N/ha. Für das 2. Standjahr fand er N-Aufnahmen von 60 bis 277 kg N/ha. Insgesamt traten zwischen den einzelnen Kulturen sehr große Streuungen auf. Wie schon DIEREND und SPETHMANN (1994b) kommt WALTER (1999) zu dem Schluss, dass die z. Zt. übliche N-Versorgung von Gehölzen in der Baumschule als überhöht einzuschätzen ist.

Für den jahreszeitlichen Verlauf der N-Aufnahme liegen heute fundierte Kenntnisse vor. Im Gegensatz zu vielen anderen Pflanzen nehmen Gehölze besonders in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode, also ab Juli, große Mengen Stickstoff auf. DIEREND und SPETHMANN (1994b) fanden von April bis Juli eine geringere Stickstoffaufnahme als von Juli bis Oktober. WALTER (1999) fand, dass bei vielen Gehölzen die N-Aufnahme bis Juli zwischen 46 und 58 Prozent der gesamten jährlichen N-Aufnahme betrug. Bis Mai erfolgt eine N-Aufnahme zwischen 6 und 20 Prozent der jährlichen Aufnahme.

Die Düngung basiert in Baumschulen traditionell sehr stark auf organischen Düngern. Hier kommen meist Rinder- und Pferdemist zum Einsatz. WENNEMUTH empfahl 1972 eine jährliche Stallmistgabe in Baumschulquartieren von 300 bis 500 dt FM je ha und Jahr. Da in Baumschulen meist zweijährige Standzeiten üblich sind

betragen die Stallmistgaben also 600 bis 1000 dt pro Standzeit. Bei einem N-Gehalt von 0,5 Prozent würden auf diesem Weg vor der Aufschulung einer Kultur 300 bis 500 kg N /ha ausgebracht. Oftmals finden sich aber auch höhere N-Gehalte (DIEREND 1995). Nach ALT (1990, zitiert in SANFTLEBEN 1991) sollten nur 200 dt /ha Stallmist FM alle zwei Jahre ausgebracht werden. Das entspricht einer jährlichen N-Zufuhr von ca. 50 kg N/ha. SANFTLEBEN (1991) sieht die Auswirkungen der Reduzierung der Stallmistgaben auf den Humusgehalt der Böden als nicht geklärt an. Nach MARX und SCHMITZ (1989, zitiert in SANFTLEBEN 1991) werden im Mittel fast 700 dt /ha Stallmist alle zwei Jahre ausgebracht. Nach einer Befragung von WALTER (1999), bringen 37 Prozent der niedersächsischen Baumschulen zwischen 500 und 1000 dt Stallmist je ha alle zwei Jahre aus. Bei weiteren 45 Prozent der Baumschulen wurden zwischen 200 und 500 dt /ha ausgebracht. Diese hohen Stallmistgaben sind darauf zurückzuführen, dass traditionell sehr hohe Humusgehalte auf baumschulisch genutzten Böden angestrebt werden. WENNEMUTH (1972) sieht einen Humusgehalt von 5% (Sandboden) als optimal oder doch zufriedenstellend an. Allerdings sieht er durch eine weitere Erhöhung des Humusgehalts noch Potential für Ertragssteigerungen. Nach SANFTLEBEN (1991) haben 44 Prozent der Baumschulflächen in Schleswig-Holstein (Sandböden) Humusgehalte zwischen 2,1 und 4 Prozent. 56 Prozent weisen Humusgehalte zwischen 4,1 und 15 Prozent auf. Bei landwirtschaftlichen Kulturen konnten Mehrerträge durch organische Düngung im Vergleich zu rein mineralischer Düngung nachgewiesen werden, oftmals jedoch nur bei Sandböden. (ASMUS et al. 1987, SCHNIEDER 1981, ASMUS und GÖRLITZ 1981, RAUHE und HESSE 1959). Die Gesamthumusgehalte der Böden der jeweiligen Versuchsvarianten bewegten sich dabei zwischen 0,7 und 1,2 Prozent (SCHNIEDER 1981) und 0,93 und 1,38 Prozent (ASMUS et al. 1987). Allerdings ist nach BOHNE (1995) die Bedeutung des Humusgehalts als Ertragsfaktor bei Baumschulkulturen noch nicht geklärt. Aufgrund der Besonderheiten der baumschulischen Bodennutzung und der besonderen Ansprüche an Baumschulböden ergeben sich folgende Gründe um geeignete Maßnahmen zur Bodenpflege zu ergreifen, auch mit dem Ziel der Erhaltung der positiven Wirkungen des Humus:

- oftmals extreme Belastungen durch Befahren bei ungünstigen Verhältnissen (Bodenwassergehalte),
- sehr häufiges Befahren bei selektiver Rodung, oftmals ohne eine Spur einzuhalten,
- intensives Befahren mit nicht „ackerbaugerechten“ Geräten wie Radlader oder Kompaktlader,
- häufige und intensive Bodenbearbeitung zur Unkrautbekämpfung,
- fast keine Ernterückstände,
- nur sehr selten „humusmehrende Kulturen“ in der Fruchtfolge,
- Entnahme von Ballenpflanzen.

Viele Baumschulen findet man in Gebieten mit Sandböden. Vor allem für diese Betriebe mit ihren sorptionsschwachen Böden spielt Humusersatz eine wichtige Rolle. In manchen Gebieten ist das Angebot an Stallmist aufgrund von veränderter Tierhaltung nach Angaben vieler Baumschuler stark gesunken. Zum anderen wird in Deutschland durch die Vorgaben der TA Siedlungsabfall vom April 1993 ein weiter steigender Anfall von Komposten erwartet. Diese Komposte dürfen nicht mit den in älterer Literatur untersuchten Müllkomposten verwechselt werden, denn heute ist die Kompostierung von unsortiertem Ausgangsmaterial unzulässig. Andererseits ist die Deponierung von Material von über 5 Prozent organischer Substanz verboten. Es wird mittelfristig für Deutschland mit einem Anfall von 5 Mio. t Kompost gerechnet, potentiell in der Landwirtschaft verwertbar sind etwa 10 Mio. t organischer Trockensubstanz, die jährlich anfallen (EURICH-MENDEN et al. 1996). Dabei sind die Bioabfallkomposte, die aus der getrennten Sammlung organischen Hausmülls gewonnen werden, und die Grünschnittkomposte zu unterscheiden. Grünschnittkomposte werden aus Gartenabfällen und Grünabfällen der öffentlichen Hand gewonnen. Besonders die Bioabfallkomposte waren anfangs umstritten, da sich Schadstoffgehalte oft als nicht berechenbar erwiesen. Zudem wurde oft mit Erfahrungen aus Müllkompostversuchen argumentiert. Wenn im folgenden von Kompost die Rede ist, dann sind stets nur solche gemeint, die den Richtlinien der Gütegemeinschaft Kompost entsprechen.

Nach KLAGES-HABERKERN et al. (1994) ist die organische Substanz der wichtigste wertgebende Inhaltsstoff von Komposten. Meist ist die Ausbringung durch die Nährstoffgehalte begrenzt. Hier werden besonders P und N genannt (KLAGES-

HABERKERN et al. 1994). Besondere Schwierigkeiten bereitet die Abschätzung der N-Wirkung (GUTSER und CLAASSEN 1994). Allerdings müsste man nur einen sehr geringen Teil (<1 %) der Ackerflächen mit Kompost düngen, um die anfallenden Mengen einsetzen zu können (KEHRES 1993). Im Baumschulbereich sind durch den Einsatz von Komposten zur organischen Düngung allerdings positive Wirkungen zu erwarten, die über die reine Entsorgung von Komposten hinausgehen. Daher soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden ob Komposte:

- in ihrer Nährstoffdynamik berechenbar sind,
- wesentlich zur Humusreproduktion beitragen können,
- Einfluss auf das Wachstum, bzw. den Ertrag von Baumschulkulturen haben.

Dazu sollen die Nährstoffflüsse aus Komposten und Stallmistern quantifiziert werden. Die Auswirkungen einer wiederholten Anwendung sollen abgeschätzt werden, um Aussagen zur sinnvollen zeitlichen Verteilung der Ausbringungen machen zu können. Einen weiteren Betrachtungsschwerpunkt bilden die bodenphysikalischen Effekte. So sollen Hinweise gefunden werden, ob Kompostanwendung zur Erhaltung der nachhaltigen Ertragsfähigkeit des Bodens beiträgt. Dabei sollen besonders die baumschultypischen Besonderheiten beachtet werden. Es wird der Frage nachgegangen werden, welche Eigenschaften Komposte für die Anwendung in der Baumschule (Freiland) haben sollten.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsdurchführung

2.1.1 Standort, Boden und Klima

Der Versuch wurde auf einem langjährig baumschulisch genutzten Quartier der Baumschule Lohmann in der Gemeinde Wedemark, Ortsteil Elze ca. 30 km nördlich von Hannover angelegt. Beim Boden handelte es sich um einen mittelhumosen Sandboden mit knapp 3 % organischer Substanz. Die nutzbare Feldkapazität beträgt etwa 40 mm in 0 – 30 cm. Die langjährigen Mittelwerte der klimatischen Wasserbilanz von April bis September liegen bei benachbarten Standorten um –100 mm (FACHVERBAND FELDBEREGNUNG HANNOVER E.V. 1997 – 1999). Im ersten Versuchsjahr lag sie in Elze in diesem Zeitraum bei – 63 mm, im zweiten bei – 54 mm und im dritten Versuchsjahr bei – 189 mm (FACHVERBAND FELDBEREGNUNG HANNOVER E.V. 1997 – 1999).

2.1.2 Organische Dünger

Die im ersten und dritten Versuchsjahr ausgebrachten organischen Dünger waren Stallmist (Rindermist), ein Bioabfallkompost und ein Grüngutkompost. Der Stallmist stammte vom Versuchsgut der Tierärztlichen Hochschule Hannover in Ruthe. Der Bioabfallkompost wurde von der Firma KOMPOTEC in Gütersloh bereitgestellt, der Grüngutkompost im ersten Versuchsjahr (1997) von der Firma RETHMANN in Wesendorf und im dritten Versuchsjahr (1999) von der DEUTSCHEN KOMPOST HANDELSGESELLSCHAFT MBH in Geeste – Groß Hesepe. Ausgewählte Analyseergebnisse der organischen Dünger sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Analysenergebnisse der organischen Dünger

Art des Materials	Stallmist		Bioabfallkompost		Grüngutkompost	
	1997	1999	1997	1999	1997	1999
Wassergehalt [% FM]	75,7	80,52	26,8	36,80	26,4	54,2
Glühverlust [% TM]	73,4	64,3	33,6	32,4	40,4	37,9
Maximalkorn [mm]	n.b.	n.b.	12	n.b.	60	n.b.
Rohdichte [g/l FM]	n.b.	n.b.	705	720	401	811
pH-Wert (CaCl ₂)	n.b.	7.7	8.2	8.1	4.7	7.2
Salzgehalt [g KCl / l FM]			6,84	5,44	1,87	1,26
Stickstoff gesamt [% TM]	1,03	3,29	1,53	1,53	0,95	1,08
Phosphor gesamt [% TM]	0,16	0,85	0,34	0,28	0,14	0,14
Kalium gesamt [% TM]	0,56	4,92	1,03	0,98	0,36	0,36
Magnesium gesamt [% TM]	0,09	0,53	0,24	0,25	0,14	0,18
Kalzium gesamt [% TM]	n.b.	1,99	2,20	2,00	1,29	1,00
Stickstoff löslich [kg N/t FM]	n.b.	0,215	0,99	0,3	0,26	0,04
Ammonium – Stickstoff [kg N/t FM]	n.b.	0,21	0,78	0,23	0,26	0,04
Nitrat – Stickstoff [kg N/t FM]	n.b.	0,005	0,21	0,06	0	0,00
Stickstoff löslich [mg N/l FM]	n.b.	n.b.	699	213	106	30
Ammonium – Stickstoff [mg N/l FM]	n.b.	n.b.	553	167	104	1
Nitrat – Stickstoff [mg N/l FM]	n.b.	n.b.	146	46	2	29
Phosphor löslich [mg P/l FM]	n.b.	n.b.	691	n.b.	44	n.b.
Kalium löslich [mg K/l FM]	n.b.	n.b.	4719	n.b.	646	n.b.
Magnesium löslich [mg Mg/l FM]	n.b.	n.b.	100	n.b.	133	n.b.
C/N Verhältnis	41	12	13	11	21	18

2.1.3 Pflanzen

Als Versuchspflanzen wurde *Ligustrum vulgare* L. (Liguster, Rainweide) gewählt. Von den etwa 50 Arten der Gattung ist diese die einzige, die in Europa heimisch ist (KRÜSSMANN 1977). Liguster gilt als sehr robustes, absolut frosthartes Gehölz, das primär als Flurgehölz in der freien Landschaft Verwendung findet. Die Sorte 'Atrovirens', deren Blätter im Winter sehr lange haften, wird sehr häufig für Hecken verwendet. Das Wurzelsystem ist flach, aber sehr intensiv, es werden häufig Ausläufer gebildet (RÖSLER 1998). Liguster zählt zu den in großen Mengen in europäischen Baumschulen produzierten Gehölzen. In Deutschland werden gartenbaulich neben *Ligustrum vulgare* L. noch ca. 18 weitere Arten kultiviert (RÖSLER 1998). Zu den Standortansprüchen führt RÖSLER (1998) aus, dass Liguster sommerwarme, mäßig trockene bis wechsellrockene, kalk- oder sonstige basenreiche, neutral-milde, humose, lockere Ton- und Lehmböden bevorzugt. Strenge Sommertrockenheit soll gut vertragen werden. Liguster gelten als sehr industriefestes Gehölz, weshalb er häufig für einfache Begrünungsmaßnahmen verwendet wird.

Die Versuchspflanzen wurden jeweils als leichte Sträucher (5 Triebe, 50 – 80) im Herbst / Winter 1996 und 1998 geliefert. Die jeweils 2500 Sträucher wurden zurückgeschnitten (auf etwa 10 bis 20 cm). Dann wurden sie in 10 Gewichtsklassen eingeteilt und anschließend zu drei Gruppen zusammengefasst. Die erste Gruppe bildeten 500 leichte Pflanzen. Die zweite Gruppe bestand aus 1000 mittelschweren Pflanzen. In der letzten Gruppe wurden 500 schwere Pflanzen zusammengefasst. So standen für die vier Wiederholungen des Versuchs drei Gruppen in sich weitgehend homogener Pflanzen zur Verfügung. Die Versuchspflanzen wurden vor, während und nach dem Sortieren im Kühlhaus der Abteilung Baumschule der Universität Hannover gelagert.

2.1.4 Versuchsanlage im ersten und zweiten Versuchsjahr

Der Versuch wurde im Februar 1997 angelegt. Abbildung 1 zeigt schematisch die Anordnung der Parzellen auf dem Versuchsfeld. Das Versuchsfeld hatte eine Länge von 157,25 m und eine Breite von 13,25 m. In der Mitte des Versuchsfeldes verlief in Längsrichtung ein Weg von 2,75 m Breite, auf dem auch die Rohre für die Bewässerung verlegt waren. Zu beiden Seiten dieses Weges wurden je 20 Versuchsparzellen von 5,25 m mal 5,25 m angelegt, diese wurden wiederum durch einen 2,75 m breiten Querweg getrennt. Für die Anordnung der Versuchsparzellen wurde eine Blockanlage gewählt. Ein Block umfaßte jeweils 10 Parzellen, die vier Blöcke wurden hintereinander in Längsrichtung des Versuchsfeldes festgelegt (siehe Abbildung 1).

In den beiden ersten Versuchsjahren wurden die Faktoren „Art des organischen Düngers“ und „Menge des organischen Düngers“ variiert. Die 1997 verwendeten organischen Dünger sind in Kapitel 2.1.2 beschrieben. Beim Stallmist wurden als Aufwandmengen 200, 400 und 800 dt je ha gewählt. Aufgrund der Eigenschaften des verwendeten Stallmists ergaben sich so ausgebrachte C_{org} – Mengen von 2075, 4150 und 8300 kg je ha. Für die beiden Komposte wurden solche Aufwandmengen ausgebracht, dass gleiche C_{org} – Mengen wie in der entsprechenden Stallmistvariante ausgebracht wurden. Die Bezeichnung der Versuchsglieder ergab sich als eine Kombination von

- Buchstabenfolge für die Art des organischen Düngers:

BK für Bioabfallkompost

GK für Grünschnittkompost

SM für Stallmist

- und arabischer Ziffer für die Menge des organischen Düngers, gemessen an der Stallmistvariante, bezogen auf eine Fläche von einem ha:

2 für 200 dt SM

4 für 400 dt SM

8 für 800 dt SM

So ergaben sich neben der Kontrolle (0), die keinen organischen Dünger erhielt, die Versuchsvarianten

SM2	BK2	GK2
SM4	BK4	GK4
SM8	BK8	GK8

Die ausgebrachten Düngermengen und enthaltenen Nährstofffrachten sind für die 200 dt Mengenvariante in Tabelle 2 dargestellt. Für die beiden anderen Mengenvarianten ergeben sich entsprechend doppelte und vierfache Mengen.

Zusätzlich zur organischen Düngung erhielten im Februar 1997 alle Parzellen eine Mineraldüngung mit einem Volldünger (Nitrophoska blau spezial 12-12-17-2) in Höhe von 40 kg N /ha.

Auf jeder Parzelle wurden 49 *Ligustrum vulgare* L. im Abstand von 75 cm mal 75 cm aufgeschult. Es ergaben sich somit sieben Reihen mit je sieben Pflanzen. Die drei Gewichtsklassen wurden folgendermaßen auf die Wiederholungen verteilt: Die Gruppe leichter Pflanzen wurde in Block 2, die Gruppe schwerer in Block 1 und die Gruppe mittelschwerer in den Blöcken 3 und 4 aufgepflanzt.

Die Anordnung der Pflanzen auf einer Parzelle und die Lage der Tensiometer und der Saugkerzen sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 2: Ausgebrachte Düngermengen und enthaltene Nährstofffrachten erstes Versuchsjahr

	Stallmist	Bioabfallkompost	Grüngutkompost
FS [dt/ha]	200	152	190
TS [dt/ha]	49	106	103
C _{org} [kg C /ha]	2075	2075	2075
FS [kg /Parzelle]	55	42	52
TS [kg /Parzelle]	13	29	28
N _{ges} [kg N /ha]	51	163	98
N _{lösl} [kg N /ha]	n.b.	15	5
P _{ges} [kg P /ha]	8	36	14
P _{lösl} [kg P /ha]	n.b.	15	2
K _{ges} [kg K /ha]	27	109	37
K _{lösl} [kg K /ha]	n.b.	102	31
Mg _{ges} [kg Mg /ha]	4	25	14
Mg _{lösl} [kg Mg /ha]	n.b.	1	1
Ca _{ges} [kg Ca /ha]	n.b.	233	133

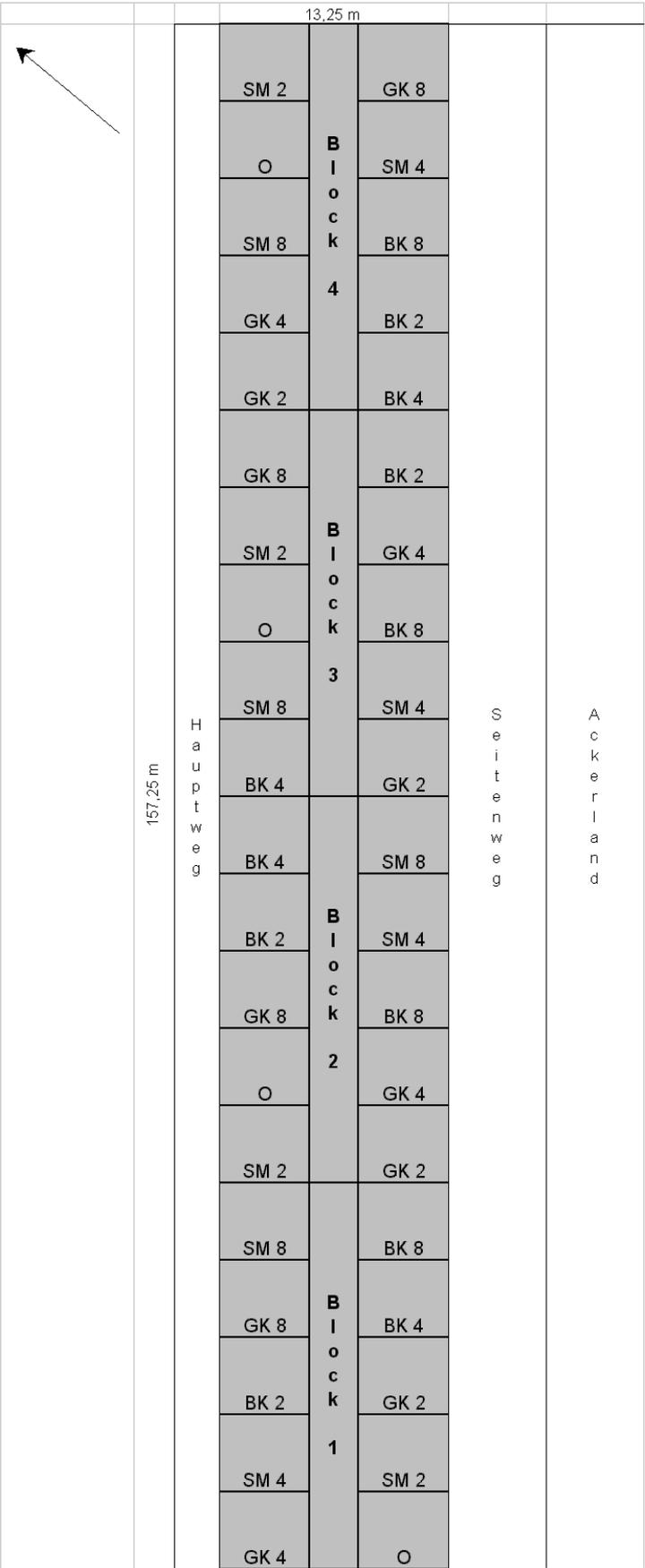


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsfelds

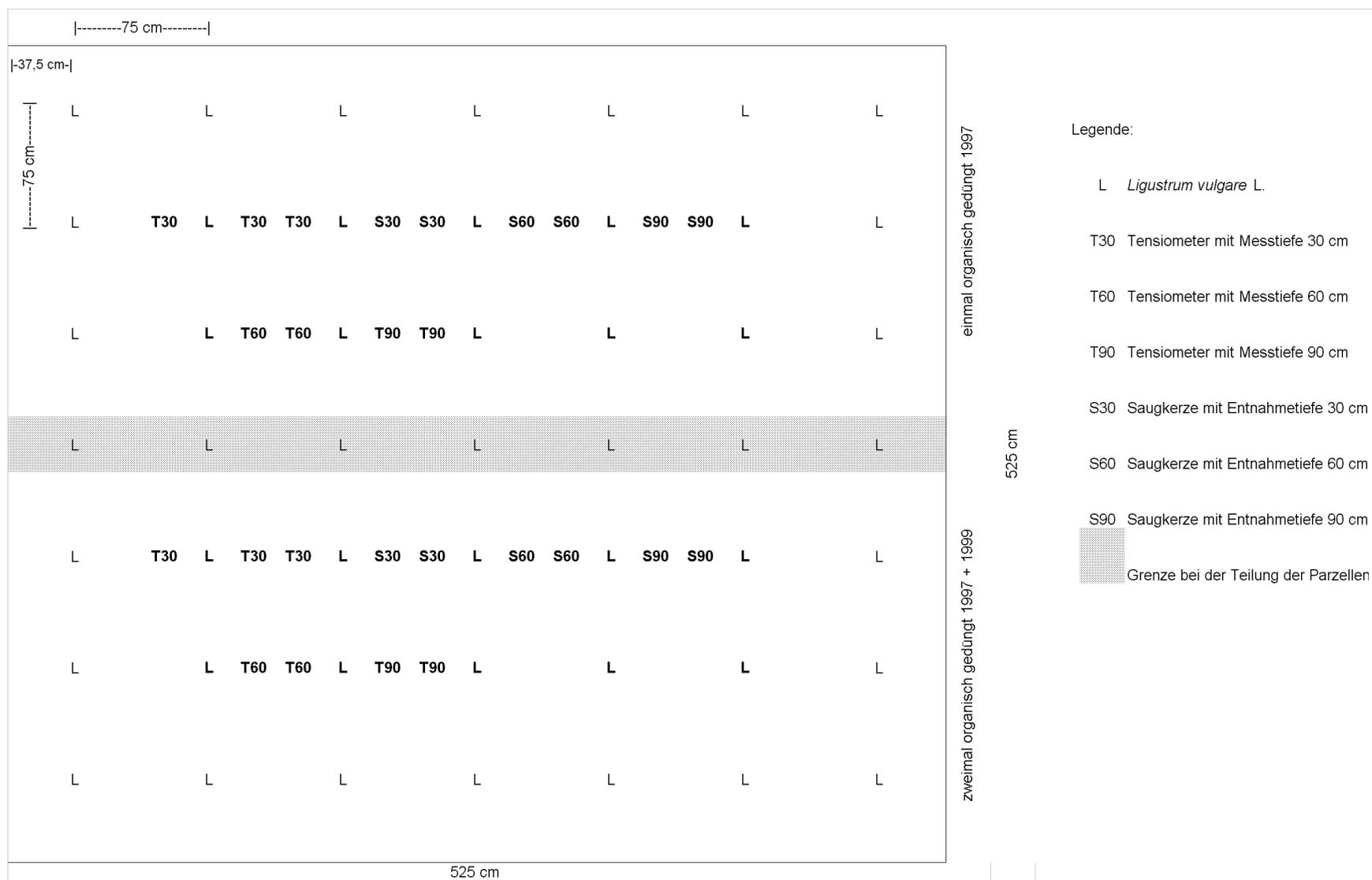


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Parzelle von Block 3

2.1.5 Versuchsanlage im dritten Versuchsjahr

Im dritten Versuchsjahr wurden die Auswirkungen wiederholter organischer Düngung untersucht. Zu diesem Zweck wurde jeweils auf der halben Fläche einer Versuchsparzelle erneut organischer Dünger ausgebracht.

Im Januar 1999 sind alle Versuchspflanzen gerodet worden. Im Anschluss daran wurde das Feld mit der Spatenmaschine bearbeitet.

Die Parzellen wurden in Längsrichtung des Versuchsfelds geteilt (siehe Abbildungen 1 und 2). Auf der jeweils nordwestlichen Hälfte der Parzellen wurde am 01. März 1999 die Art und Menge organischen Düngers wie zwei Jahre zuvor ausgebracht und mit der Fräse ca. 20 cm tief eingearbeitet. Die Eigenschaften des organischen Düngers sind in Tabelle 1 beschrieben. Die Menge organischen Düngers orientierte sich dabei an der im ersten Versuchsjahr ausgebrachten C_{org} -Menge. Es wurden erneut die Ausbringungsmengen an C_{org} von 2075, 4150 und 8300 kg /ha gewählt. Aufgrund dieser Vorgabe wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Düngermengen mit den hier angegebenen Nährstofffrachten in der niedrigsten Mengenvariante (200 dt Stallmist) ausgebracht. Die hier und in Tabelle 1 angegebenen Werte basieren auf Analyseergebnissen von Proben, die bei der Ausbringung genommen wurden. Da die Ausbringungsmengen aber aufgrund von vorher genommenen Proben berechnet wurden, kam es zu Abweichungen zwischen der angestrebten und tatsächlich ausgebrachten C_{org} -Menge.

Bei den weiteren Mengenvarianten (400 und 800 dt Stallmist) wurden entsprechend die doppelten und vierfachen Mengen an Stallmist, Bioabfall- und Grüngutkompost ausgebracht. Dann wurden erneut 49 *Ligustrum vulgare* L. Pflanzen je Parzelle in 7 Reihen mit einer Pflanzweite von 0,75 x 0,75 m aufgepflanzt. Die mittlere Reihe wurde dabei auf die Grenze zwischen einmal und zweimal organisch gedüngtem Bereich der Parzelle gepflanzt (siehe Abbildung 2). Somit wurden ab März 1999 die in Tabelle 4 aufgeführten Faktoren und Behandlungen untersucht.

Tabelle 3: Ausgebrachte Düngermengen und darin enthaltene Nährstofffrachten im dritten Versuchsjahr

	Stallmist	Bioabfallkompost	Grüngutkompost
FS [dt/ha]	279	190	220
TS [dt/ha]	54	120	101
C _{org} [kg C /ha] soll	2075	2075	2075
C _{org} [kg C /ha] ist	2028	2255	2214
N _{ges} [kg N /ha]	178	184	109
N _{lösl} [kg N /ha]	6	6	1
P _{ges} [kg P /ha]	46	34	14
P _{lösl} [kg P /ha]			
K _{ges} [kg K /ha]	268	118	36
K _{lösl} [kg K /ha]			
Mg _{ges} [kg Mg /ha]	29	30	18
Mg _{lösl} [kg Mg /ha]			
Ca _{ges} [kg Ca /ha]	108	240	101

Tabelle 4: Versuchsfaktoren, Behandlungen und zugeordnete Abkürzungen im dritten Versuchsjahr

Faktor	Behandlung	Abkürzung
Düngerart	Stallmist	SM
	Bioabfallkompost	BK
	Grüngutkompost	GK
Düngermenge	200 dt Stallmist	2
	400 dt Stallmist	4
	800 dt Stallmist	8
Ausbringungshäufigkeit	einmal (1997)	1x
	zweimal (1997 und 1999)	2x

2.1.6 Pflanzung und Kulturmaßnahmen

Die Versuchspflanzen wurden im März 1997 mit Keilspaten gepflanzt. Da sich hier jedoch zeigte, dass Wurzeln teilweise nur im Keil wuchsen, wurden im März 1999 mit normalen Spaten Pflanzlöcher ausgehoben. Zudem war es mit Keilspaten auf dem sehr weichen Boden schwierig, eine einheitliche Pflanztiefe zu erreichen.

Die Unkrautbekämpfung erfolgte im ersten Versuchsjahr mechanisch. Zwischen den Reihen wurde gefräst, die Reihen selbst wurden von Hand mit Hacken vom Unkraut befreit. Dabei kam es v.a. im Juni 1997 zu starkem Unkrautbewuchs mit erheblicher Massenentwicklung. Im zweiten Versuchsjahr erfolgte die Unkrautbekämpfung überwiegend mit Herbiziden (Mischung aus Roundup ultra (360 g/l Glyphosate) mit 4 l /ha und Banvel M (30 g /l Dicamba + 340 g /l MCPA-Salze) mit 2 l /ha). Desweiteren wurde zwischen den Reihen mehrfach gefräst.

Im dritten Versuchsjahr wurden beiden Verfahren kombiniert eingesetzt.

Das Roden der Pflanzen erfolgte stets von Hand mit üblichen Spaten.

2.2. Chemische Bodenuntersuchungen

2.2.1 Probennahme

Aus den Schichttiefen 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 90 cm wurden an fünf (1997) bzw. sechs (1998 und 1999) Terminen von Februar / März bis November Bodenproben entnommen. Diese Probenahme erfolgte im wesentlichen wie bei SCHARPF (1977) beschrieben. Sie erstreckte sich meist auf zwei, selten drei aufeinander folgende Tage. Je Parzelle wurde eine Mischprobe aus acht (1997 und 1998) bzw. aus sechs (1999) Einstichen je halbe Parzelle gewonnen. Dazu wurde ein dreiteiliges Bohrgerät der Firma Stitz aus Gehrden verwendet. Die eine Hälfte der Einstiche wurde in und die andere zwischen den Reihen einer Parzelle gezogen. Die Proben wurden in Eimern gemischt, eine Teilprobe in einen PE-Beutel gefüllt und gekühlt zum Institut gebracht. Dort wurden die Proben gesiebt (4 mm Maschenweite). Sofern für eine

Untersuchung eine ungesiebte Teilprobe notwendig war, wurde diese vorher abgenommen und gesondert aufbewahrt. Nach dem Sieben wurden die Proben wieder bei ca. 2 °C gekühlt, sofern notwendig wurde eine Teilprobe luftgetrocknet.

2.2.2 Mineralstickstoffgehalte

Zur Bestimmung der Mineralstickstoffgehalte wurden 10 g feldfeuchter Boden mit 50 ml des Extraktionsmittels 1M KCl für 2 Stunden geschüttelt. Im Filtrat wurden Nitrat und Ammonium mittels eines Autoanalyzers (RFA 300, Fa. Alpkem, Clackamas, Oregon, USA) im Fließanalyseverfahren nach DIN 38405 (Anonymus 1993) bestimmt. Die Wassergehalte des eingewogenen Bodens wurden durch Trocknen einer Teilprobe bei 105 °C bestimmt.

Zur Angabe der Mineralstickstoffgehalte bezogen auf eine Flächeneinheit und eine Schichtdicke muss die Lagerungsdichte des Bodens bekannt sein. Hier wurde stets eine einheitliche Lagerungsdichte von $d_B = 1,5$ [kg /l] angenommen.

2.2.3 Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalte

Die P-, K- und Mg-Gehalte des Bodens wurden nach der organischen Düngung im Frühjahr 1997 in den Bodenschichten 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 90 cm untersucht. Im Herbst des ersten Versuchsjahres wurden diese Mineralstoffe nur in den beiden oberen Bodenschichten bestimmt. Im Frühjahr 1999 im Anschluss an die organische Düngung und im Herbst des selben Jahres wurden erneut alle drei Bodenschichten einbezogen.

Zur Analyse wurden 5 g (P) bzw. 10 g (K und Mg) lufttrockener gesiebter Boden eingewogen. Als Extraktionsmittel für das pflanzenverfügbare Phosphor fand eine Kalzium-Acetat-Lactat (CAL) -Lösung Verwendung. Zur Extraktion des pflanzenverfügbaren Kaliums und Magnesiums wurde eine CaCl_2 -Lösung eingesetzt

(SCHACHTSCHABEL 1956, SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN 1974). Die Phosphorgehalte wurden spektralphotometrisch, die Kaliumgehalte flammenphotometrisch und die Gehalte an Magnesium atomabsorptionsspektrometrisch bestimmt. Die Gehalte an diesen Nährstoffen wurden in mg bezogen auf 100 g lufttrockenen Bodens angegeben (mg/100 g).

2.2.4 Gesamt-Stickstoff

Die Gesamt-Stickstoffgehalte des Bodens wurden für die Schicht 0 - 30 cm zu folgenden Terminen bestimmt:

- Juni 1997
- Dezember 1997
- Mai 1998
- März 1999
- November 1999

Die Bestimmung erfolgte nach der KJELDAHL-Methode. Es wurden 2 g lufttrockener Boden eingewogen. Allerdings wurde der Boden abweichend von der Methodenvorschrift nicht gesiebt sondern gemahlen, damit evtl. noch vorhandene größere Reste der organischen Dünger in das Ergebnis einfließen konnten.

2.2.5 Humusgehalte und weitere Charakterisierung

Die Gesamthumusgehalte wurden für die Bodenschicht 0 - 30 cm zu folgenden Terminen ermittelt:

- Juni 1997
- Dezember 1997
- Mai 1998
- März 1999
- November 1999

Die Ermittlung der Humusgehalte erfolgte nach DIN 19684 (ANONYMUS 1977a) direkt mittels trockener Veraschung bei 550 °C im Muffelofen. Auf die Angabe von C_{org}-Gehalten wurde verzichtet, da eine Angabe von Humusgehalten aufgrund der Fragestellung der Arbeit sinnvoller und auch korrekter erscheint.

Nach KONONOVA (1958) zitiert in KÖRSCHENS et al. (1998) wird zur Errechnung des Gehalts an organischer Substanz aus bekanntem C_{org}-Gehalt des Bodens (%) der Faktor 1,724 verwendet. Nach SCHLICHTING et al. (1995) wird dabei der Faktor 2 angenommen. Nach verschiedenen anderen Autoren (KUNTZE et al. 1994, RASMUSSEN und COLLINS 1991, RIEK 1995) werden dafür Multiplikationsfaktoren zwischen 1,4 und 3,3 angenommen. Es wird von KÖRSCHENS et al. (1998) als exakter angesehen, dass, wenn der C_{org}-Gehalt analytisch ermittelt wurde, dieser statt des Gehalts an organischer Substanz angegeben wird. In der Umkehrung dieser Aussage, wird die Angabe des Gehalts der organischen Substanz vorgezogen, weil diese direkt ermittelt wurde.

Für die Veraschung wurden ungefähr drei bis fünf ml Boden in Porzellantiegel gefüllt. Dabei wurde der Boden wie zur Bestimmung der Gesamt-Stickstoffgehalte vorher nicht gesiebt sondern gemahlen, damit evtl. noch vorhandene gröbere Reste der organischen Dünger in das Ergebnis einfließen konnten.

Zur weiteren Charakterisierung von Humuseigenschaften wurde neben dem oben beschriebenen Glühverlust bei 550 °C auch der Glühverlust bei 220 °C und 340 °C

bestimmt. Die Angabe dieser Werte erfolgte zum einen als Glühverlust der Probe [%] bei der jeweiligen Temperatur und zum anderen in Relation zum Glühverlust bei 550°.

2.2.6 pH - Wert

Der pH-Wert der Bodenschicht 0 - 30 cm wurde im

- März 1997
- November 1997
- März 1999
- November 1999

gemäß DIN 19684 (ANONYMUS 1977b) gemessen. Dazu wurden 10 g lufttrockener Boden in 25 ml 0,01 M CaCl₂ Lösung aufgeschlämmt und mit einer Elektrode (Mettler Toledo InLab 411) nach zwei Stunden gemessen.

2.2.7 Salzgehalte

Der Salzgehalt des Bodens wurde in der obersten Bodenschicht (0 - 30 cm) an den Terminen

- März 1997
- November 1997
- März 1999
- November 1999

bestimmt. Dazu wurden gemäß VDLUFA-Methodenvorschrift (HOFFMANN 1991) 20 g lufttrockener Boden mit 200 ml destilliertem Wasser eine Stunde geschüttelt und mittels einer Glas-Elektrode (Phillips PW 9510/60, zusammen mit PW 9506 Digitales Leitfähigkeitsmessgerät) wurde im Filtrat die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Die Ergebnisse werden angegeben als g KCl /100 g Boden.

2.2.8 Gewinnung und Analyse von Sickerwasserproben

Jeweils von Mai / Juni bis ca. Oktober wurden Sickerwasserproben mit Hilfe von Saugkerzen aus Bodentiefen von 30, 60 und 90 cm entnommen. Hierzu wurden Saugsonden mit keramischen Kerzen und Probengefäßen aus durchsichtigem Kunststoff verwendet, die von der Fa. Tensiotechnik Bambach in Geisenheim geliefert wurden. Der Aufbau dieser Saugsonden glich weitgehend dem von Tensiometern. Der Einbau der Saugsonden erfolgte im wesentlichen wie bei HARTGE und HORN (1989) für den Einbau von Tensiometern beschrieben. Abweichend wurde aber statt der Schluffsuspension eine Suspension mit Oberboden (mittelhumoser Sand) verwendet. Als Vorratsbehälter für den notwendigen Unterdruck dient bei dem verwendeten Saugsondenmodell das Probengefäß, die Probe steigt durch eine Steigleitung in das oberirdisch liegende Probengefäß, das wöchentlich geleert wurde. Zu diesen Terminen wurde jeweils auch ein Unterdruck angelegt, der so gewählt wurde, dass der Betrag etwa 100 bis 150 hPa über dem der Bodenwasserspannung lag. Der Unterdruck war auch nach einer Woche noch ausreichend vorhanden. Allerdings traten in den ersten beiden Versuchsjahren erhebliche Probleme mit der Dichtigkeit der Saugsonden auf. Dadurch konnten die Proben nur sehr lückenhaft gewonnen werden.

Die Saugsonden wurden jeweils mit einer Parallele eingebaut. Im ersten und zweiten Versuchsjahr wurden Saugsonden auf allen zehn Parzellen des dritten Blocks eingebaut (10 Parzellen x 3 Tiefen x 1 Parallele = 60 Stück). Im dritten Versuchsjahr wurden Saugkerzen im dritten Block in der Kontrolle und der mittleren Düngermengenvariante (400 dt Stallmist) für alle drei Düngerarten und beide Häufigkeiten eingebaut (7 (halbe) Parzellen x 3 Tiefen x 1 Parallele = 42 Stück). Die Lage der Saugsonden auf einer Parzelle im dritten Versuchsjahr geht aus Abbildung 2 hervor. In den beiden früheren Jahren war die Lage entsprechend, aber nur auf einer (der nordwestlichen) Hälfte der Parzellen.

Die Proben wurden auf dem Versuchsfeld in Reagenzgläser abgefüllt und dann im Labor bei 2 – 4 °C gelagert. In den Proben wurde der Nitratgehalt mit einer ionenselektiven Elektrode (Mettler – Toledo Nitrat-Elektrode 152223000, Referenzelektrode InLab 301) bestimmt. Als Ionen-Stärke Adjustier-(ISA)-Lösung (ISA) wurde

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (600 g auf 800 ml H_2O) verwendet. Die Angabe der Nitratkonzentration erfolgte in ppm Nitrat.

2.2.9 Kationenaustauschkapazität

Am Ende des Versuchszeitraums im Oktober 1999 wurde die Kationenaustauschkapazität aller Versuchspartzen ermittelt. Die Bestimmung erfolgte in Anlehnung an SCHLICHTING et al. (1995), VAN REEUWIJK (1993) und PLEYSIR und JUO (1980). Dabei wurden 1 g homogenisierter Boden einmalig mit 30 ml einer Silberthioharnstofflösung (0,01 M Ag, 0,1 M TU) extrahiert.

2.3 Physikalische Bodenuntersuchungen

2.3.1 Bodenwasserspannung

In allen drei Versuchsjahren wurde die Bodenwasserspannung in 30, 60 und 90 cm Bodentiefe von ca. Mitte Mai bis Oktober mit Tensiometern gemessen. Dabei kamen selbstgebaute Tensiometer bestehend aus einem Plexiglasrohr (Länge zwischen 45 und 170 cm) mit keramischer Zelle (20 x 12 x 67 mm, Staatliche Porzellan-Manufaktur, Berlin) zum Einsatz. Das obere Ende der Tensiometer war mit einem Schraubverschluss mit Silikonseptum verschlossen. Der im Tensiometer sich einstellende Unterdruck wurde mittels eines Präzisions-Digital-Großvakuumeters (GDH12A der Fa. GREISINGER electronic) gemessen, indem mit einer Injektionskanüle durch das Septum gestochen wurde. Die Bodenwasserspannung wird berechnet, indem von der Differenz zwischen Luftdruck und Druck im Tensiometerrohr (also dem Unterdruck im Tensiometer) die momentane Länge der Wassersäule im Tensiometer abgezogen wird. In der Bodentiefe 30 cm wurden immer 3 Tensiometer je Meßpunkt gesetzt. In den Bodentiefen 60 und 90 cm wurde nur eine Parallele gemessen. Die Ablesung der Tensiometerwerte erfolgte i. d. R. wöchentlich.

Im ersten Versuchsjahr wurden die Partzen des dritten Blocks wie oben beschrieben mit Tensiometern bestückt. Die Lage geht aus Abbildung 2 hervor. Im zweiten Versuchsjahr wurden in den insgesamt 20 Partzen des ersten und zweiten

Blocks ebenfalls Tensiometer für die Meßtiefe 30 cm eingebaut. Im dritten Versuchsjahr wurden Tensiometer auf den je 20 halben Parzellen des dritten Blocks (alle drei Tiefen) und des zweiten Blocks (nur 30 cm Tiefe) eingebaut.

Der Einbau der Tensiometer erfolgte im wesentlichen wie bei HARTGE und HORN (1989) beschrieben. Abweichend wurde aber statt der Schluffsuspension eine Suspension mit Oberboden (mittelhumoser Sand) verwendet.

Wenn die Wasserspannung in unterschiedlichen Bodentiefen bekannt ist, können Aussagen über die Richtung der Wasserbewegung gemacht werden. Hier können also Aussagen über die Richtung der Wasserbewegung zwischen den drei Meßtiefen gemacht werden. Das hydraulische Potential (ϕ) kann nach EHLERS (1996) für Böden des humiden Klimaraums als die Summe von Matrixpotential (Ψ) und Gravitationspotential (Z) angegeben werden. Dabei gilt:

$$\phi = \Psi + Z \quad (1)$$

Das Gravitationspotential entspricht der Einbautiefe des Tensiometers. Dabei wird per Definition angenommen, dass die Grundwasseroberfläche, welche als Bezugsebene gilt, in 1 m Bodentiefe ist. Das Gravitationspotential hat positive Vorzeichen. Das Matrixpotential hat negative Vorzeichen, der Betrag entspricht der Wasserspannung, die mit positivem Vorzeichen angegeben wird. Der hydraulische Gradient ($\Delta\phi / \Delta z$) gibt Auskunft darüber, ab wann es zu einer Wasserbewegung zwischen den Meßtiefen 1 (z_1) und 2 (z_2) kommt. Er läßt sich wie folgt errechnen:

$$\Delta\phi / \Delta z = ((\Psi_1 + Z_1) - (\Psi_2 + Z_2)) / (z_1 - z_2) \quad (2)$$

Wenn der hydraulische Gradient gleich null ist, dann kommt es zu keiner Wasserbewegung. Wenn er größer null ist kommt es zu einer abwärts (von Meßtiefe 1 zu Meßtiefe 2) sonst zu einer aufwärts gerichteten Wasserbewegung. Allerdings lassen sich so keine Aussagen über verlagerte Wassermengen machen.

2.3.2 Lagerungsdichte und Porenvolumen

Zu folgenden Terminen wurden Lagerungsdichte und Porenvolumen bestimmt:

- Juni 1997
- Oktober 1998
- Mai 1999
- November 1999

Dazu wurden jeweils von allen Parzellen (1999 halbe Parzellen) des ersten und vierten Blocks ungestörte Bodenproben in Form von Stechzylinderproben entnommen. Je Parzelle (1999 halbe Parzelle) wurden zwei Stechzylinderproben (200 ml) unmittelbar nebeneinander in ca. 16 bis 18 cm Bodentiefe wie bei HARTGE und HORN (1989) beschrieben entnommen. An gleicher Stelle wurde eine gestörte Bodenprobe entnommen, deren Wassergehalt im Labor bestimmt wurde.

Von der Stechzylinderprobe wurden dann wie bei HARTGE und HORN (1989) beschrieben die Fehlstellen bestimmt, so war das Volumen der Probe bekannt. Damit konnte die Lagerungsdichte (d_B) der Stechzylinderprobe errechnet werden. Es gilt dabei:

$$d_B = B_f * 100 (W_G + 100) / (Vol_Z - Vol_{Fst})$$

wobei:

d_B : Lagerungsdichte des trocknen Bodens [kg / l]

B_f : Gewicht des feuchten Bodens [g]

W_G : Wassergehalt der Probe [%]

Vol_Z : Volumen des verwendeten Stechzylinders [ml]

Vol_{Fst} : Volumen der Fehlstellen der Stechzylinderprobe [ml]

Anschließend wurde die Hälfte der Höhe der Stechzylinderproben vorsichtig abgegraben. Vom abgegrabenen Boden wurde im Muffelofen der Glühverlust bei 550 °C bestimmt. Für den Glührückstand wurde eine Dichte von 2,65 kg / l und für den Glühverlust (d.h. der organischen Substanz des Bodens) eine Dichte von 1,65 kg / l

angenommen. Damit konnte die Dichte der Festsubstanz (d_F) des Bodens berechnet werden:

$$d_F \text{ [kg /l]} = 100 / (A_{\text{min}} \cdot 2,65 + A_{\text{OS}} \cdot 1,65)$$

wobei

A_{min} = Anteil der mineralischen Substanz (=Glührückstand) [%]

A_{OS} = Anteil der organischen Substanz (=Glühverlust) [%]

Aus den Werten für die Dichte der Festsubstanz und für die Lagerungsdichte kann das Porenvolumen der Probe berechnet werden:

$$PV = 1 - (d_B/d_F)$$

Für das Porenvolumen einer Parzelle (bzw. 1999 einer halben Parzelle) wurde der Mittelwert der beiden nebeneinander entnommenen Stechzylinderproben angegeben.

2.3.3 Porengrößenverteilung

Die Porengrößenverteilung wurde über eine Wasserspannungskurve bestimmt. Diese wiederum wurde mit den in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Stechzylinderproben nach dem bei HARTGE UND HORN (1989) beschriebenen Meßprinzip der Überdruckmethode ermittelt. Dabei wurden die Druckstufen 60, 100, 300 und 15.000 hPa in die Untersuchung einbezogen. 1997 und 1998 wurde die Druckstufe 15.000 hPa mit einer Druckmembranapparatur untersucht. 1999 wurde die mit keramischen Platten arbeitende Apparatur des Instituts für Bodenkunde der Universität Hannover genutzt. Für die Druckstufe von 15.000 hPa wurden gestörte Proben, die beim Abgraben der Stechzylinder anfielen, genutzt.

Zur Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Wasserspannungskurve wurden die in Tabelle 5 angegebenen Leerungsdrücke der Poren angenommen.

Tabelle 5: Angenommene Leerungsdrücke für die bestimmten Porengrößen
(nach SCHACHTSCHABEL et al. 1998)

Porenbezeichnung	Leerungsdruck
Weite Grobporen	< 60 hPa
Enge Grobporen	100 hPa (pF 2.0)
Mittelporen	300 hPa
Feinporen	> 15.000 hPa (pF 4.2)

2.4 Pflanzenuntersuchungen

Für die Ermittlung des Pflanzenwachstums und der Nährstoffaufnahme wurden 1997 und 1998 neun Pflanzen jeder Parzelle herangezogen. Zwei Randreihen wurden in die Untersuchungen nicht einbezogen. 1999 wurden eine Reihe als Randreihe und die mittlere Reihe auf der Trennlinie der Parzellenhälften nicht in die Untersuchungen einbezogen. Somit wurden 1999 je halbe Parzelle zehn Pflanzen für die Untersuchungen genutzt. Der Rückschnitt der Pflanzen (auch der Randpflanzen) erfolgte im November oder Dezember eines jeden Jahres. Die Pflanzen wurden bis zum im Vorjahr gebildeten Holz zurückgeschnitten.

2.4.1 Triebwachstum

Von den Meßpflanzen wurden Anzahl und Länge aller Triebe im Labor ermittelt. Die geernteten Triebe waren i.d.R. nicht weiter verzweigt. Wenn ein Trieb sich dennoch verzweigte wurde für diesen Trieb die Länge beider Triebteile addiert ansonsten aber nicht weiter berücksichtigt.

2.4.2 Frisch- und Trockensubstanzerträge

Für sieben Messpflanzen wurden die Frisch- und Trockensubstanzgewichte einzeln ermittelt. Die Triebe einer Pflanze wurden gemeinsam gewogen. Das Wurzelwachstum und das sekundäre Dickenwachstum der nicht zurückgeschnittenen Pflanzenteile (also der zweijährige Teil der Pflanze) wurden nicht ermittelt.

2.4.3 Pflanzenbonituren

Im Spätherbst 1998 und 1999 wurden alle Pflanzen des Versuchsfelds, einschließlich der Randpflanzen, bonitiert. Dies sollte den optischen Eindruck der Pflanzenqualität nach praxisüblichen Qualitätsparametern festhalten. Es wurden jeder Pflanze Noten von 1 für „sehr gut“ bis 6 für „ungenügend“ zugeordnet. Dabei wurden rein subjektiv Höhe, Triebzahl, Breite und Blattfläche der Pflanzen als Qualitätsparameter berücksichtigt.

2.4.4 Nährstoffgehalte

2.4.4.1 Phosphor-, Kalium-, Magnesium- und Kalziumgehalte

Für die Bestimmung der Nährstoffgehalte wurden 1997 Triebe und Blätter einer Parzelle gemischt, 1998 und 1999 wurden Triebe und Blätter getrennt analysiert. Aus technischen Gründen wurden die Blätter aller Pflanzen einer (halben) Parzelle zusammengefasst. Es wurde 0,1 g Trockensubstanz eingewogen und bei 480 °C im Muffelofen verascht und dann in 0,5 n HCl aufgenommen. Phosphor wurde mit einem Spektralphotometer, Kalium mit einem Flammenphotometer, Magnesium und Kalzium mit einem Atomabsorptionsspektrometer gemessen.

2.4.4.2 Gesamt-Stickstoffgehalte

Die Gesamt-Stickstoffgehalte wurden nach der KJELDAHL-Methode mit einer Einwaage von 0,1 g Pflanzentrockensubstanz bestimmt.

2.5 Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung erfolgte nach den Vorgaben von KREYSZIG (1991) und WEICHERT (1999). Sowohl die Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchungen als auch die der Pflanzenuntersuchungen wurden mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet. Bei den chemischen Bodenuntersuchungen wurden die Werte der drei untersuchten Bodentiefen sowohl getrennt als auch in der Summe (für N_{\min}) verrechnet. Die Varianzanalyse erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 6.12. Die angegebenen Grenzdifferenzen wurden bei Signifikanz des F-Werts der Varianzanalyse mit dem TUKEY-Test berechnet (ebenfalls SAS 6.12). Als Signifikanzniveau wurde ausschließlich eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0,1$ gewählt.

3. Ergebnisse

3.1 Chemische Bodenuntersuchungen

3.1.1 Mineralstickstoffgehalte

Die Ergebnisse der N_{\min} -Analysen für die drei Versuchsjahre sind im Anhang 6 bis Anhang 23 dargestellt. Dabei sind die N_{\min} -Werte der einzelnen Parzellen für die Bodenschicht 0 – 90 cm, die mittleren Gehalte an Nitrat-N und Ammonium-N für die Behandlungen und die mittleren Gehalte der drei untersuchten Bodenschichten 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm aufgeführt. Daneben sind die Grenzdifferenzen für diese drei Bodenschichten und für 0 – 90 cm angegeben.

Den Verlauf der N_{\min} -Werte im ersten und zweiten Versuchsjahr gibt Abbildung 3 wieder.

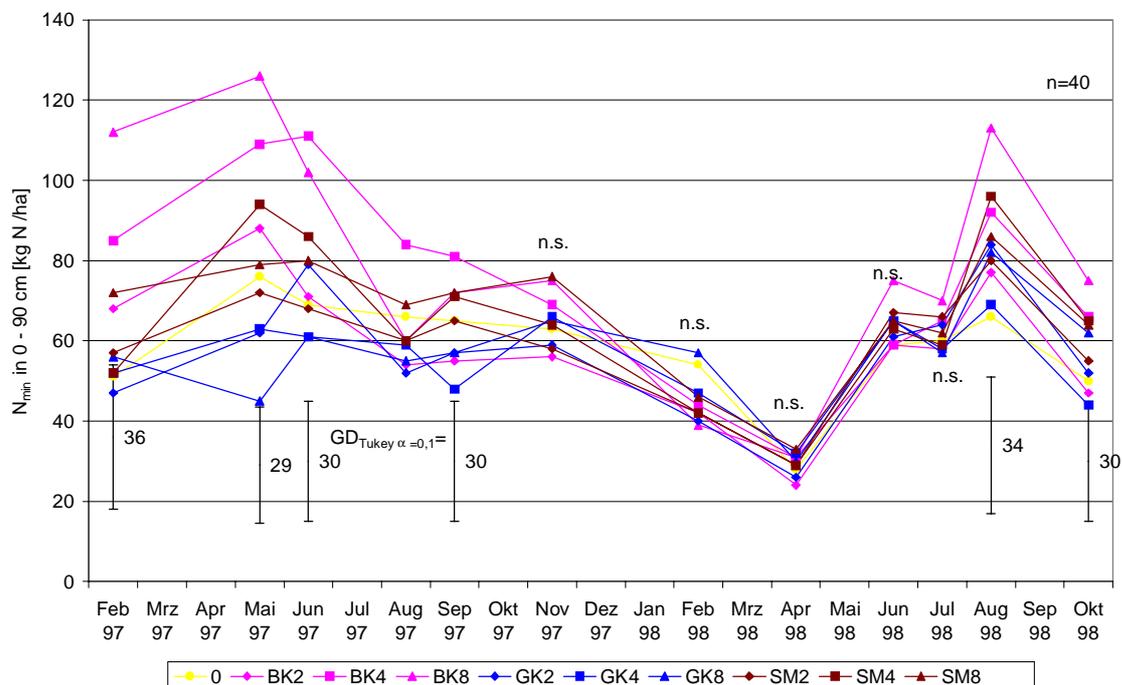


Abbildung 3: N_{\min} -Werte (0 – 90 cm) im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung

Die Kontrolle weist unmittelbar nach dem Einarbeitungstermin der organischen Dünger im Februar des ersten Versuchsjahres einen N_{\min} -Gehalt von 51 kg /ha auf.

Dieser Mineralstickstoff befindet sich wie Anhang 6 zeigt fast zur Hälfte in den oberen 30 cm Bodentiefe. Die drei mit Bioabfallkompost gedüngten Varianten weisen im Vergleich mit den anderen Behandlungen und der Kontrolle relativ hohe N_{\min} -Gehalte auf. Sie steigen mit der Aufwandmenge. Den höchsten N_{\min} -Gehalt weist die BK8 Variante mit 112 kg /ha auf. Sie unterscheidet sich nicht signifikant von der BK4 Variante, die 85 kg N_{\min} /ha enthält, aber von allen anderen Varianten. Dabei befinden sich fast 70 kg N_{\min} in den oberen 30 cm Bodentiefe. Diese Variante enthält gleiche Anteile an Nitrat-N und Ammonium-N. Alle anderen Varianten enthalten im Februar einen höheren Anteil Ammonium-N. Zwischen den anderen Varianten bestehen keine signifikanten Unterschiede. In der Bodentiefe 30 – 60 cm bestehen zwischen den Behandlungen keine signifikanten Unterschiede. In der tiefsten untersuchten Bodenschicht unterscheiden sich allerdings die Kontrolle und die Variante mit der höchsten Ausbringungsmenge an Stallmist signifikant voneinander, die Kontrolle weist mit 11 kg N_{\min} /ha den niedrigsten und die Variante SM8 mit 23 kg N_{\min} /ha den höchsten Mineralstickstoffgehalt auf. Auch eine Betrachtung der Einzelwerte der vier Wiederholungen für diese Bodentiefe läßt keine weiteren Schlüsse auf Fehler bei der Probenahme oder ähnliches zu.

Bis zum Mai steigen die N_{\min} -Gehalte der meisten Parzellen dann deutlich an. Bei der Kontrolle um 24 auf 75 kg /ha. Bei den anderen Varianten erfolgt ein teilweise recht starker Anstieg. Die mit Bioabfallkompost gedüngten Varianten bleiben in der Reihenfolge der Gehalte unverändert, sie steigen mit steigender Aufwandmenge bis auf 127 kg N_{\min} /ha. Damit unterscheidet sich die BK8 Variante signifikant von allen anderen außer der BK4 Variante. Beim Stallmist kommt es bei der niedrigsten und höchsten Aufwandmenge zu nur sehr geringen Steigerungen, allerdings steigen die N_{\min} -Gehalte der mittleren Aufwandmenge stark an, sie erreichen im Mai mit 94 kg N_{\min} /ha den dritt höchsten Wert. Bei den beiden niedrigen Aufwandmengen von Grüngutkompost kommt es zu einem geringen Anstieg der N_{\min} -Gehalte auf 61 bzw. 63 kg /ha. Dagegen fällt der N_{\min} -Gehalt der Variante GK8 um 12 kg /ha auf 44 kg /ha ab. Damit ist dies die einzige Variante, bei der die N_{\min} -Gehalte von Februar bis Mai gesunken sind. Aber auch bei den beiden anderen mit Grüngutkompost gedüngten Varianten ist der Anstieg der N_{\min} -Gehalte nur halb so stark wie in der Kontrolle. Der N_{\min} -Gehalt der GK8 Variante unterscheidet sich signifikant von der Kontrolle und

allen anderen nicht mit Grüngutkompost gedüngten Varianten außer der SM2 Variante.

In der tiefsten Bodenschicht sind die N_{\min} -Gehalte in diesem Zeitraum leicht gefallen, sie liegen zwischen 7 und 18 kg N_{\min} /ha, signifikante Unterschiede treten nicht auf. In der Bodenschicht 30 – 60 cm enthält die Kontrolle 19 kg N_{\min} /ha. Die Variante BK8 enthält 43 kg N_{\min} /ha und unterscheidet sich damit signifikant von allen anderen. Die niedrigsten N_{\min} -Gehalte weisen die Varianten GK2 und GK8 mit 14 und 10 kg N_{\min} /ha auf.

Im Mai sind die Ammonium-N Werte im Vergleich zum Februar mit 17 bis 36 kg geringer. Den niedrigsten Wert findet man bei der Kontrolle und der Variante SM2 und den höchsten bei der Variante BK8.

Zum Juni sinken die N_{\min} -Gehalte der Kontrolle um 6 kg N_{\min} /ha ab. Eine Abnahme ist auch bei zahlreichen anderen Varianten zu beobachten. Allerdings kommt es bei den mit 200 und 800 dt Grüngutkompost gedüngten Varianten in diesem Zeitraum zu einer Zunahme. Die Variante GK8 bleibt jedoch die mit den absolut niedrigsten Werten. Eine Zunahme der N_{\min} -Gehalte bei der Variante BK4 bewirkt, dass diese nun mit 111 kg N_{\min} /ha die höchsten Werte aufweist, da der der Variante BK8 um 25 kg gesunken ist. Diese beiden Varianten liegen signifikant höher im N_{\min} -Gehalt als die anderen Varianten, einschließlich der Kontrolle.

In der tiefsten untersuchten Bodenschicht hat es von Mai bis Juni keine wesentlichen Änderungen gegeben. Die N_{\min} -Gehalte haben bei der Kontrolle um 5 kg /ha zugenommen. Bei vielen Varianten kommt es aber zu konstanten Werten oder einer Zunahme um nur 2 bis meist 4 kg. Die Variante SM8 weist mit 7 kg die höchsten Werte auf. Es treten keine signifikanten Unterschiede auf.

Die Abnahme der N_{\min} -Gehalte setzt sich bis August fort. Dabei ist die Abnahme der Kontrolle mit 3 auf 66 kg N_{\min} /ha die geringste. Wie in den meisten Varianten steht einer starken Abnahme in 0 – 30 cm und einer geringfügigen in 30 – 60 cm eine Zunahme in 60 – 90 cm Bodentiefe gegenüber. Es treten nun keine signifikanten Unterschiede mehr auf. Bis November ändern sich die N_{\min} -Gehalte nur geringfügig. Bei der Kontrolle nehmen sie bis September um ein und dann bis November um zwei

weitere kg /ha ab. Teilweise kommt es zu einem konstanten Absinken der N_{\min} -Gehalte, teilweise zu einem Anstieg bis September und dann zu einem Absinken. Im September und November des ersten Versuchsjahres sind im Vergleich zu den vorherigen Terminen geringe und gleichmäßige Ammonium-N-Gehalte festzustellen. Sie liegen meist im Bereich von 10 bis 20 kg /ha. Nur die Variante GK4 fällt im November mit 27 kg N/ha auf. Der N_{\min} -Gehalt dieser Variante ist auch von August an um 18 auf 66 kg /ha gestiegen. Bis zum April des zweiten Versuchsjahres kommt es zu einem weiteren Absinken der N_{\min} -Gehalte. Dabei gleichen sich die Werte immer weiter an.

Im November finden sich bei der Kontrolle noch 63 kg N_{\min} /ha, gleichmäßig auf die drei untersuchten Bodenschichten verteilt. Im Februar sind es dann 54 kg N_{\min} /ha und im April 28 kg N_{\min} /ha. Im November, Februar und April treten für die Gesamtgehalte keine signifikanten Unterschiede auf. Im April des zweiten Versuchsjahres liegen 40 bis 50 % des Mineralstickstoffs in Ammoniumform vor. Die N_{\min} -Gehalte sind gleichmäßig auf die Bodentiefen verteilt, wobei man in der obersten Schicht etwa 10 bis 15 kg N_{\min} /ha und in den beiden unteren jeweils 7 bis 10 kg N_{\min} /ha findet.

Bis Juni verdoppeln sich die N_{\min} -Gehalte. Die Kontrolle enthält nun 59 kg N_{\min} /ha, davon die Hälfte in der obersten Bodenschicht von 0 – 30 cm. Damit enthält die Kontrolle zusammen mit den Varianten BK2 und BK4 die geringste N_{\min} -Menge aller Varianten. In der Bodenschicht 0 – 30 cm unterscheidet sie sich auch signifikant vom N_{\min} -Gehalt der Variante BK8, die dort mit 43 kg N_{\min} /ha einen um 13 kg N_{\min} /ha höheren Gehalt aufweist. Alle anderen liegen in einem engeren Bereich und unterscheiden sich nicht signifikant. Zum Juli fallen die N_{\min} -Gehalte meist leicht ab, bleiben aber in einem engen Bereich und es treten keine signifikanten Unterschiede auf. Die mit Bioabfallkompost gedüngten Varianten weisen mit steigender Aufwandmenge steigende N_{\min} -Gehalte auf. Den höchsten N_{\min} -Wert im Juli findet man bei der BK8 Variante mit 70 kg N_{\min} /ha.

Bis August steigen die N_{\min} -Gehalte teilweise stark an. Bei der Kontrolle um nur 6 kg N_{\min} /ha auf 66 kg N_{\min} /ha. Damit weist die Kontrolle den niedrigsten N_{\min} -Gehalt auf. Die höchsten N_{\min} -Gehalte findet man bei den mit Bioabfallkompost gedüngten

Varianten, und hier steigende mit steigenden Aufwandmengen. Den höchsten N_{\min} -Gehalt weist also die Variante BK8 und zwar mit 113 kg N_{\min} /ha auf. Sie unterscheidet sich damit signifikant von der Kontrolle und den Varianten GK4, BK2, und SM2.

Beim Stallmist weist die mittlere Aufwandmenge von 400 dt mit 96 kg N_{\min} /ha den höchsten N_{\min} -Wert der mit Stallmist gedüngten Varianten und den zweit höchsten N_{\min} -Wert aller Varianten auf.

Insgesamt recht niedrige Mineralstickstoffgehalte sind beim Einsatz von Grüngutkompost feststellbar. Hier ist auch keine Beziehung zwischen N_{\min} -Gehalt und Aufwandmenge feststellbar. Die niedrigste Aufwandmenge von 200 dt hat einen N_{\min} -Gehalt von 84 kg, die mittlere einen von 69 kg und die höchste mit 800 dt einen von 82 kg N_{\min} /ha. Zum Oktober verringern sich die N_{\min} -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm deutlich. Dabei bleibt allerdings die Rangfolge fast unverändert erhalten. Sowohl in der Bodenschicht 0 – 90 cm also auch in der 30 – 60 cm weist die Variante BK8 signifikant höhere N_{\min} -Gehalte als die Variante GK4 auf.

Im Oktober 1998 weist die obere Bodenschicht recht niedrige N_{\min} -Gehalte bis maximal 15 kg N_{\min} /ha auf. In den beiden tieferen Schichten liegen sie höher, teilweise bei bis zu 35 kg N_{\min} /ha.

Der N_{\min} -Gehalt der Kontrolle liegt am Ende der zweiten Vegetationsperiode bei 50 kg N_{\min} /ha, er unterscheidet sich nicht signifikant von einer der Behandlungen. Signifikante Unterschiede bestehen nur zwischen der Variante mit dem höchsten N_{\min} -Restgehalt, der Variante BK8 mit 76 kg N_{\min} /ha, und der Variante mit dem niedrigsten N_{\min} -Restgehalt, der Variante GK4 mit 44 kg N_{\min} /ha. Tendenziell ist eine Abhängigkeit der N_{\min} -Restgehalte von der Aufwandmenge feststellbar. Die 200 dt Varianten liegen im unteren Bereich, wie die Kontrolle. Die Varianten BK8, BK4, SM8, SM4 und GK8 liegen in dieser Reihenfolge im oberen Bereich der N_{\min} -Gehalte von 75 kg bis 62 kg N_{\min} /ha.

Im März des folgenden Jahres ist der N_{\min} -Gehalt der Kontrolle um 12 kg N_{\min} /ha auf 38 kg N_{\min} /ha abgesunken. Dabei ist der N_{\min} -Gehalt der unteren beiden Bodenschichten niedriger als der der Bodenschicht 0 – 30 cm. Dies gilt auch für alle Behandlungen.

Ergebnisse

Die N_{\min} -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm für drei ausgewählte Termine der Vegetationsperiode 1999 sind in Abbildung 4 dargestellt.

Im Vergleich mit vielen Behandlungen ist der N_{\min} -Gehalt der Kontrolle zu Beginn des dritten Versuchsjahres gering. Den höchsten Wert, der sich auch signifikant von dem der Kontrolle unterscheidet, weist die zweimal mit der höchsten Aufwandmenge Stallmist gedüngte Variante mit 82 kg N_{\min} /ha auf. Bei dieser Behandlung liegt die weitaus größte N_{\min} -Menge im Oberboden vor. In 0 – 30 cm Bodentiefe finden sich 50 kg N_{\min} /ha.

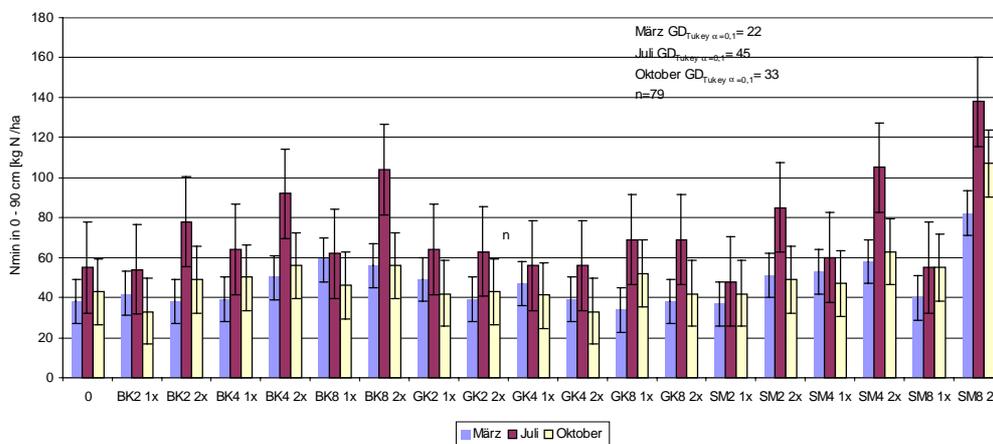


Abbildung 4: Mittlere N_{\min} -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung

Die zweimal mit 400 dt Stallmist gedüngte Variante und die einmal mit der höchsten Menge Bioabfallkompost gedüngte liegen mit fast 60 kg N_{\min} /ha ebenfalls im Bereich der hohen Werte. Insgesamt liegen alle N_{\min} -Werte bis auf den der SM8 Variante in einem sehr engen Bereich. Die Gehalte des Bodens an Ammonium-N sind sehr ähnlich, Unterschiede ergeben sich aus den Nitratgehalten.

Der N_{\min} -Gehalt der Kontrolle verändert sich im Laufe der Vegetationsperiode nicht erheblich. Er steigt bis Juni auf 68 kg N_{\min} /ha an, um danach wieder bis auf 43 kg N_{\min} /ha im Oktober abzufallen.

Einen deutlichen Unterschied hierzu findet man bei der Variante mit der zweimaligen Stallmistgabe in der höchsten Ausbringungsmenge. Der N_{\min} -Gehalt dieser Variante

steigt bis September an. Er erreicht hier im Mittel 164 kg N_{\min} /ha, der Mineralstickstoff liegt dann primär als Nitrat und im Oberboden vor. Zu jedem Termin unterscheidet sich der N_{\min} -Gehalt dieser Variante signifikant von dem der Kontrolle und denen aller anderen Behandlungen.

Die meisten anderen Varianten erreichen ihre höchsten N_{\min} -Gehalte im Juli, wobei einige Varianten von März bis Juli einen konstanten Anstieg zeigen, so meist die mit Grüngutkompost gedüngten. Das gilt auch für die einmal mit Stallmist gedüngten Varianten. Die Varianten BK8 2x und SM4 2x zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf. Beide Varianten weisen im März 1999 56 kg bzw. 58 kg N_{\min} /ha auf. Die N_{\min} -Gehalte steigen dann bis Mai auf ca. 80 kg N_{\min} /ha. Zum Juni kommt es dann zu einem Abfall auf ca. 65 kg N_{\min} /ha. Im Juli sind die N_{\min} -Gehalte dann auf 105 kg N_{\min} /ha gestiegen. Damit werden zu diesem Zeitpunkt die höchsten N_{\min} -Gehalte abgesehen von der Variante SM8 2x erreicht. Bis Oktober kommt es zu einem recht gleichmäßigen Abfall auf 56 kg bzw. 63 kg N_{\min} /ha.

Dem Verlauf dieser beiden Varianten recht ähnlich, besonders im Erreichen hoher N_{\min} -Gehalte im Juli sind die Varianten BK4 2x, BK2 2x und SM2 2x. Hier werden jedoch nur Höchstwerte von 78 kg bis 92 kg N_{\min} /ha beobachtet. Sowohl beim Bioabfallkompost als auch beim Stallmist kann man bei den zweimal gedüngten Varianten steigende N_{\min} -Gehalte mit steigenden Aufwandmengen feststellen. Beim Grüngutkompost treten dagegen keine großen Unterschiede zwischen den Ausbringungsmengen und auch den Häufigkeiten auf. Keine der sechs Varianten zeigt jemals signifikante Unterschiede zur Kontrolle, häufig aber zu den mit Stallmist oder Bioabfallkompost gedüngten Varianten.

Die im Oktober verbleibenden N_{\min} -Restgehalte liegen in einem Bereich von 33 kg bis 107 kg N_{\min} /ha. Die Kontrolle weist mit 43 kg einen relativ niedrigen Wert auf. Davon unterscheidet sich nur die Variante SM8 2x mit 107 kg N_{\min} /ha signifikant. In den Behandlungen mit den relativ hohen N_{\min} -Gehalten finden sich auch bereits in den unteren Bodenschichten hohe N_{\min} -Gehalte. So in 60 – 90 cm in der Variante SM4 2x 26 kg N_{\min} /ha und in der Variante SM8 2x 31 kg N_{\min} /ha. Sie unterscheiden sich somit signifikant von der Kontrolle und zahlreichen anderen Varianten.

3.1.2 Nitratgehalte im Sickerwasser

Die Gewinnung und Analyse von Sickerwasserproben erwiesen sich als schwierig. Es traten häufig undichte Saugkerzen auf, so dass bei einigen Varianten zu einzelnen oder mehreren Terminen keine Proben gewonnen werden konnten. In einzelnen Auffangbehältern wuchsen nach einigen Wochen Algen. Die aus den davon betroffenen Saugkerzen gewonnenen Sickerwasserproben hatten nur äußerst geringe Nitratgehalte. Daher wurden Sickerwasserproben mit optisch erkennbarem Algenwachstum verworfen.

Die Nitratgehalte im Sickerwasser des ersten und zweiten Versuchsjahres sind in Tabelle 6 dargestellt. In Tabelle 7 finden sich die Nitratgehalte im Sickerwasser des dritten Versuchsjahres.

Im Juni des ersten Versuchsjahres findet sich im Sickerwasser der Kontrolle in 30 cm Bodentiefe eine Nitratkonzentration von 179 ppm. Die Varianten SM8 und GK8 haben mit 74 bzw. 87 ppm deutlich niedrigere Werte. Die meisten anderen Varianten liegen deutlich darüber, besonders die mit Bioabfallkompost gedüngten. Hier finden sich Werte bis über 500 ppm.

In einer Bodentiefe von 60 cm weist die SM8 Variante mit 200 ppm eine höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf als in einer Bodentiefe von 30 cm, obwohl sie bei allen anderen Varianten zu diesem Zeitpunkt nach unten hin abnimmt. In einer Bodentiefe von 90 cm liegt sie mit 105 ppm zwischen den Werten von 30 und 60 cm Bodentiefe.

Tabelle 6: Nitratgehalte [ppm] im Sickerwasser zu verschiedenen Terminen des ersten und zweiten Versuchsjahrs im Abhängigkeit von der organischen Düngung

Variante	Tiefe [cm]	3. 6.	17. 6.	3. 7.	18. 7.	25. 7.	1. 8.	12. 8.	2. 9.	12. 6.	22. 6.	6. 7.	17. 7.	3. 9.	17. 9.	1. 10.	
		1997								1998							
0	30	179	184	300	316	129	28			96	82	40			19		
	60	134	50	93	235	311	14	84	20	48	36	65	62	64	127	132	
	90	93	55	214		171	114	306	163	76	39	75	66	37	42	51	
BK2	30	343	269	208		190		86		122	65	103	116	267	431	397	
	60	176	81	134		271	54	170	133	170	110	109	114	92	113	128	
	90	49	45	14		245	159	266	256			113	102	108	71	83	
BK4	30	511	55			77	57		133	142	129	176	198	246	257	320	
	60	406	247	337		69	30	26	19	59	50	94	73	64	46	54	
	90	103	52	23			297	288	226	107	52	62	59	78	39	68	
BK8	30	343	333			20				241	177	221	276		363	383	
	60	290	130	245	561	257	76	101	146	123	70	90	98	105	137	173	
	90	28	30	4		403	431	563	515	107	52	61	51	36	51	52	
GK2	30	331	140	60	111	33	37	93		70	89	108		152	268	281	
	60	105	51		169	167		165	175	91	48	73	79	72	88	133	
	90	36	39	3	24	78	48	89	75	177		109	106	81	74	87	
GK4	30	220	85	132	149	62	59	89		208	106	171	101		66		
	60	65	43		205	157		70	31	165	97	100	107	98	117	124	
	90	26	35	8			86	145	96	91	46	46	53	34	41	52	
GK8	30	87	45	69			62	118		217	112	202		217	209	425	
	60		68		131	246		134	185	194	114	119	123	117	117	144	
	90	40	40	20		149	105	151	128	121	70	76	85	69	62	84	
SM2	30	189	122	151		40	41	101	10	213	127	211	190	267	440	482	
	60	154	158	37		261	60	117	29	91	69	80	85	77	89	85	
	90	84	116	13			285	378	226	103	59	79	77	64	43	72	
SM4	30	298			138	30	11	28		157	128	86	136	184	113	200	
	60	202	54	110	189	179	36	38	11	76	39	71	68	61	63	89	
	90	36	43	10		104	119	280	298	115	48	83	47	52	42	61	
SM8	30	74	78			123		43		93	119	149	276	157	170	177	
	60	200	123	169	88	119		60		172	64	53	68	61	50	89	
	90	105	54			329		655	482			63	54	26	28	48	

Im Laufe der Vegetationsperiode bis September sinken die Nitratgehalte in der Bodentiefe von 30 cm meist. Bei der Kontrolle kommt es hier bis zum 18.7. zu einem Anstieg auf 316 ppm. Danach fällt die Nitratkonzentration ab. Bei allen anderen Varianten werden in 30 cm Bodentiefe sinkende Nitratkonzentrationen im Verlauf des Sommers gefunden. In 90 cm Tiefe steigen die Nitratgehalte im Bodenwasser dagegen an. Ausnahmen sind meist kurzfristig und quantitativ nicht auffallend. In 60 cm Bodentiefe steigen die Nitratkonzentrationen meist bis Mitte / Ende Juli an, um dann abzufallen.

Im Juni des zweiten Versuchsjahrs weisen alle Varianten im Vergleich zum ersten Versuchsjahr relativ einheitliche Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf. Auch zwischen den Entnahmetiefen bestehen keine sehr großen Unterschiede mehr. Besonders niedrige Nitratkonzentrationen im Sickerwasser treten in der Kontrolle auf, im Mittel der 3 Bodentiefen 73 ppm Nitrat.

Besonders hohe Konzentrationen finden sich bezogen auf alle drei Bodentiefen bei der BK8 und GK8 Variante. Sie nehmen mit zunehmender Bodentiefe ab. Beim Bioabfallkompost liegen sie bei 241, 123 und 107 ppm. Beim Grünschnittkompost ergibt sich mit 217, 194 und 121 ppm fast das gleiche Bild.

Im Laufe des Sommers stiegen die Nitratkonzentrationen meist an. Besonders im 30 cm Bodentiefe zeigt sich dies deutlich. So wurden am 1. Oktober fast überall die höchsten Werte des ganzen Jahres gemessen. In den Varianten, die zu Beginn des zweiten Versuchsjahrs hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser hatten, finden sich nun auch noch sehr hohe Werte. Allerdings haben andere Varianten (BK2, BK4, SM2) im Oberboden im Oktober gleich hohe oder sogar etwas höhere Nitratgehalte. Die Varianten GK4, SM4 und SM8 weisen mit Werten bis maximal 200 ppm in 30 cm Bodentiefe und bis 61 ppm in 90 cm Bodentiefe die geringsten Nitratgehalte im Sickerwasser auf.

Im Gegensatz zum ersten Versuchsjahr sind am Ende des zweiten mit zunehmender Entnahmetiefe nicht steigende sondern sinkende Nitratkonzentrationen im Sickerwasser feststellbar.

Tabelle 7: Nitratgehalte [ppm] im Sickerwasser der 400 dt Varianten in Abhängigkeit von der Art des Düngers und der Ausbringungshäufigkeit im Vergleich zur Kontrolle zu verschiedenen Terminen des dritten Versuchsjahrs

Variante	Tiefe [cm]	17.6.	26.6.	1.7.	8. 7.	16.7.	30.7.	13.8.	29.8.	7.9.	20.9.	29.9.	7.10.
0	30	186	240	230	266	24			587	505			
	60	42	46	45	43	48			133	155			
	90	21	12	28	32	40	47	40	39	36	48	43	39
BK4 1x	30	353	308	267	363	150	448	354	597	603			472
	60	44	58	62	55	58	83	89	271	276	242	192	213
	90	22	45	48	47	54	45	57	62	169	96	93	93
BK4 2x	30	210	326	351	373		423	434	627	552			
	60	53	49	40	45	23	70	65	153	112	144	127	119
	90	41	20	27	32	28	48	50	51	54	53	58	60
GK4 1 x	30	98	145	125	156		309	143	443	424			65
	60	48	63	61	52	59	70	75	110	112	100	91	89
	90	29	22	47	37	36	48	40	55	54	58	71	63
GK4 2x	30	143	95	105	128		52	124	127	103			
	60	48	65	59	51	57	54	62	104	67	105	96	83
	90	35	48	30	30	26	31	32	43	35	63	56	34
SM4 1x	30	200	247	246	327		309	342	153	603	359		285
	60	32	45	43	41	27		56	50	64	86	75	
	90	42	42	39	36	31	43	37	38	41	39	50	45
SM4 2x	30	149	198	178	200		105		152	114			
	60	46	84	78	82	76	93	111	234	203	249	203	144
	90	51	44		192	196	166	129			107	101	62

Im dritten Versuchsjahr wurden Sickerwasserproben nur in der Kontrolle und in den mit mittleren Ausbringungsmengen von 400 dt gedüngten Varianten gewonnen.

Im dritten Versuchsjahr sind zwischen den Varianten zu Beginn der Messungen Mitte Juni deutliche Unterschiede in einer Bodentiefe von 30 cm feststellbar. Alle Varianten außer der GK4 1x und SM4 2x Variante weisen höhere Nitratkonzentrationen als die Kontrolle (186 ppm) auf. Die höchsten Nitratgehalte weisen die mit Bioabfallkompost gedüngten Varianten auf, diese haben bei einmaliger Düngung mit 353 ppm Nitrat höhere Konzentrationen als bei zweimaliger Düngung (210 ppm). Die erneute

Ausbringung des organischen Materials hat nur beim Grüngutkompost erhöhte Nitratkonzentrationen im Oberboden zur Folge.

In der obersten Bodenschicht steigen die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von Beginn der Messungen im Juni bis meist Ende August oder Anfang September an. Bei der einmal mit Bioabfallkompost gedüngten Variante, die bei der ersten Probenahme den höchsten Gehalt aufwies, kommt es zunächst zu sinkenden Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Ab Ende Juli steigen sie dann stark an, beim letzten Probennahmetermin am 7. Oktober weist diese Variante mit 472 ppm wieder die höchste Konzentration auf. Bei den zweimal gedüngten Varianten sind die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser niedriger als in den entsprechenden einmal gedüngten. Beim Bioabfallkompost fällt dies nur gering und nur in den beiden unteren Bodenschichten auf. Beim Stallmist und Grüngutkompost sind die Effekte dagegen besonders in 30 cm Bodentiefe ausgeprägt. Beim Stallmist ist der Effekt in 60 und 90 cm Bodentiefe gegenteilig, hier hat die zweimal gedüngte Variante die höheren Messwerte aufzuweisen.

In den beiden tieferen Bodenschichten lassen sich im Juni noch keine Unterschiede feststellen. In 60 cm Bodentiefe werden im Sickerwasser 32 bis 53 ppm Nitrat gemessen, in 90 cm Bodentiefe sind die Werte bei allen außer den mit Stallmist gedüngten Parzellen niedriger.

Dies bleibt auch meist bis Mitte August so, dann steigen in 60 und 90 cm Bodentiefe die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser an. Allerdings sind bei der zweimal mit Stallmist gedüngten Variante bereits ab Anfang Juli in 90 cm Tiefe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von fast 200 ppm feststellbar. Vom 29. September bis zum 7. Oktober sind die Nitratkonzentrationen des Sickerwassers aus 90 cm Tiefe in der Regel auf niedrigem Niveau leicht gesunken.

Die höchsten Nitratkonzentrationen des dritten Versuchsjahres treten Ende August in der zweimal gedüngten Bioabfallkompostvariante mit 627 ppm auf, es folgen Anfang September die einmal gedüngten Bioabfallkompost- und Stallmistvarianten mit 603 ppm.

3.1.3 Phosphorgehalte

Jeweils nach Ausbringung der organischen Dünger und zum Versuchsende wurden in den drei Bodenschichten 0 – 30 cm, 30 – 60 cm und 60 – 90 cm die Phosphorgehalte des Bodens analysiert. Zusätzlich wurden sie im März des zweiten Versuchsjahres für die beiden oberen Bodenschichten ermittelt. Die Mittelwerte der Behandlungen sind im Anhang 24 und Anhang 25 dargestellt.

Nach der ersten Ausbringung der organischen Dünger und im März des zweiten Versuchsjahrs enthielt die Bodenschicht 0 – 30 cm die in Abbildung 5 dargestellte Phosphormenge.

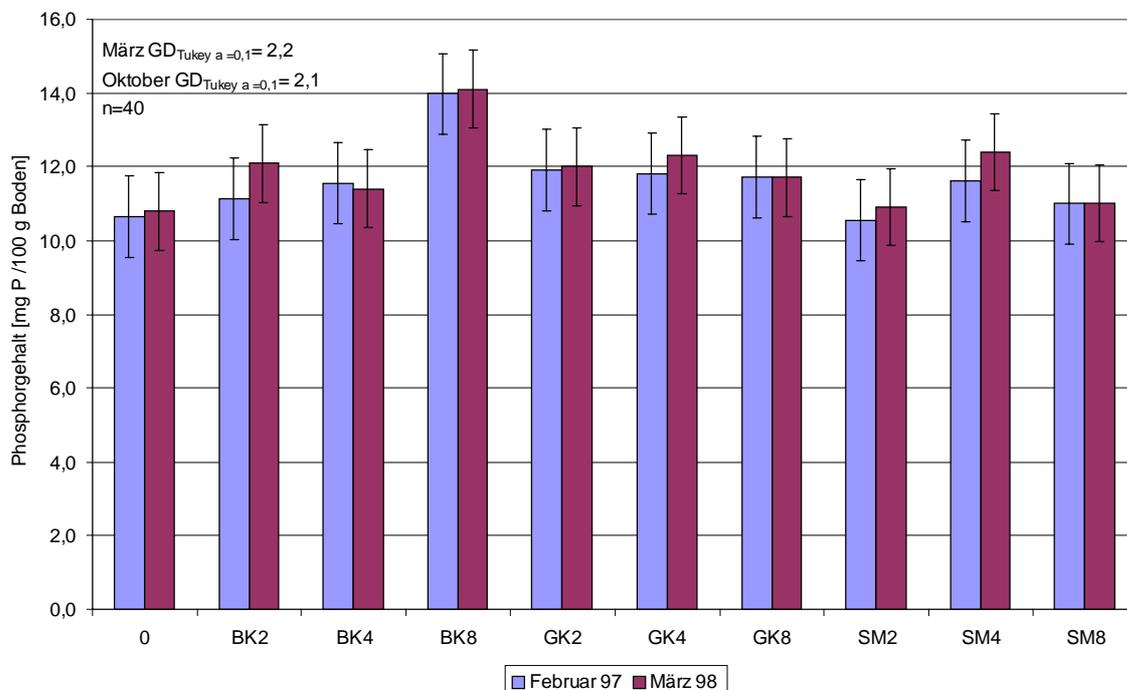


Abbildung 5: Mittlere Phosphorgehalte der Bodenschicht 0 – 30 cm nach der ersten organischen Düngung und zu Beginn des zweiten Versuchsjahrs in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

Die Kontrolle enthält zu beiden Terminen etwa 11 mg P / 100 g Boden. Hiervon signifikant verschieden sind nur die Phosphorgehalte der mit der höchsten Menge Bioabfallkompost gedüngten Variante. Tendenziell enthalten die anderen Varianten mehr Phosphor als die Kontrolle. Allerdings lässt sich keine Abhängigkeit von Düngermenge oder Art feststellen.

In den tieferen Bodenschichten treten in den ersten beiden Versuchsjahren keine signifikanten Unterschiede auf. Die Kontrolle enthält in der Bodenschicht 30 – 60 cm im Februar 1997 5 mg P /100 g Boden. Sie weist damit den niedrigsten Wert auf. Bis zum März des folgenden Jahres ist der Phosphorgehalt auf 3,8 mg P /100 g Boden abgesunken. Ein solcher Rückgang ist auch bei allen Behandlungen feststellbar.

In der tiefsten Bodenschicht weist die Kontrolle mit etwa 1 mg P /100 g Boden durchschnittliche Phosphorgehalte auf.

Die Phosphorgehalte der obersten Bodenschicht am Beginn und Ende des letzten Versuchsjahrs sind in Abbildung 6 dargestellt.

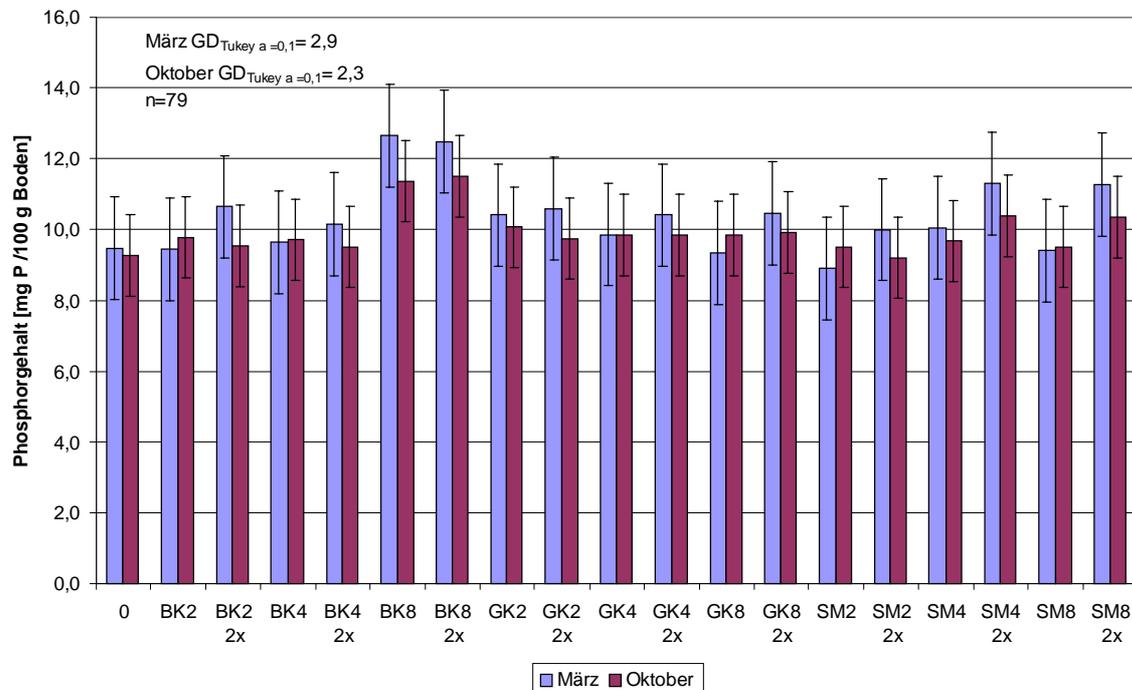


Abbildung 6: Mittlere Phosphorgehalte der Bodenschicht 0 – 30 cm nach erneuter organischer Düngung und bei Versuchsabschluss in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

Zu Beginn des dritten Versuchsjahrs sind die Phosphorgehalte der Kontrolle um etwas mehr als 1 mg P /100 g Boden auf 9,5 mg P /100 g Boden abgesunken. Sie liegen damit im unteren Bereich der Messwerte. Signifikant unterscheiden sich davon die beiden mit 800 dt Bioabfallkompost gedüngten Varianten, die mit über 12 bis 13 mg P /100 g Boden die höchsten Gehalte aufweisen. Alle zweimal gedüngten

Varianten haben höhere Phosphorkonzentrationen als die Kontrolle. Mit Ausnahme der Variante BK8 weist keine einmal gedüngte Variante größere Unterschiede zur Kontrolle auf als von 1 mg P /100 g Boden.

In den unteren Bodenschichten treten zum Beginn des dritten Versuchsjahrs niedrigere Phosphorkonzentrationen auf als zu Beginn des ersten. Sie liegen bei 3 und 1 mg P /100 g Boden.

Die Kontrolle liegt hier im Mittelbereich der Messwerte und unterscheidet sich von keiner Variante signifikant. Allerdings fällt auf, dass meist alle zweimal gedüngten Varianten höhere Messwerte als die Kontrolle aufweisen, die einmal gedüngten dagegen häufig niedrigere. Es treten signifikante Unterschiede zwischen Varianten mit sehr hohen und solchen mit sehr niedrigen Phosphorkonzentrationen auf.

Im Herbst des dritten Versuchsjahres haben die Phosphorkonzentrationen in der obersten Bodenschicht meist abgenommen. Die Kontrolle weist mit ca. 9 mg P /100 g Boden den zweit niedrigsten Phosphorgehalt auf. Allerdings unterscheidet sie sich von keiner der Behandlungen. Die beiden BK8 Varianten weisen wiederum die höchsten Werte auf. Die zweimal gedüngte Variante unterscheidet sich signifikant von der SM2 2x Variante, die mit ca. 9 mg P /100 g Boden den niedrigsten Phosphorgehalt aufweist.

In der mittleren Bodenschicht haben die Phosphorkonzentrationen im Mittel um 0,8 mg P /100 g Boden zugenommen. Es treten keinerlei signifikante Unterschiede auf. Die Phosphorgehalte der untersten Bodenschicht sind fast unverändert zu den beiden vorangegangenen Untersuchungsterminen. Auch hier treten keinerlei signifikante Unterschiede auf.

3.1.4 Kaliumgehalte

Die Kaliumgehalte der drei zum Versuchsbeginn im Februar 1997 untersuchten Bodenschichten und der zwei im März des folgenden Jahres untersuchten Bodenschichten sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Kaliumgehalte [mg K /100 g Boden] im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

	1997			1998	
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm
0	7,5	3,2	1,9	7,3	3,0
BK2	8,8	3,5	1,7	8,3	2,8
BK4	11,3	3,2	1,9	9,5	2,2
BK8	15,5	5,8	2,7	11,7	3,2
GK2	9,0	3,7	3,0	7,7	2,9
GK4	8,9	3,6	2,0	7,4	3,1
GK8	11,4	3,1	2,2	8,9	2,9
SM2	8,3	3,1	1,7	7,5	2,8
SM4	10,0	3,9	6,3	8,8	3,1
SM8	11,4	3,5	2,2	10,2	2,9
GD <small>Tukey $\alpha=0,1$</small>	3,1	2,7	n.s.	3,8	n.s.

Zu Beginn des Versuchs weist die Kontrolle im Oberboden (0 – 30 cm) Kaliumgehalte von 7,5 mg K /100 g Boden auf. Damit enthält die Kontrolle weniger Kalium im Oberboden als jede Behandlung. Den höchsten Kaliumgehalt weist die mit der höchsten Aufwandmenge Bioabfallkompost gedüngte Variante auf. Sie enthält 15,5 mg K /100 g Boden und unterscheidet sich von allen anderen Varianten signifikant. Die Kontrolle unterscheidet sich zudem noch signifikant von den beiden anderen Varianten, die mit der höchsten Aufwandmenge an Grüngutkompost und Stallmist gedüngt wurden und von der Variante BK4. Man kann sagen, dass eine Abhängigkeit der Kaliumgehalte im Oberboden von der Menge der Dünger besteht und auch von der Art der Dünger. Der Bioabfallkompost hat die höchste Wirkung auf den Kaliumgehalt im Oberboden. Hier wird bereits durch eine mittlere Aufwandmenge ein signifikant höherer Kaliumgehalt als bei der Kontrolle erreicht. In der Bodenschicht von 30 bis 60 cm Bodentiefe ist ein so klares Ergebnis nicht mehr zu finden. Die Kontrolle liegt mit einem Kaliumgehalt von 3,2 mg K /100 g Boden eher im normalen Bereich der Werte. Nur die BK8 Variante hat mit 5,8 mg K /100 g Boden einen auffallend hohen Kaliumgehalt. Sie unterscheidet sich signifikant von der Variante SM2, die mit 3,1 mg K /100 g Boden den niedrigsten Wert hat. In der

untersten Bodenschicht bestehen keine signifikanten Unterschiede. Die Werte liegen im Bereich von 1,7 (SM2) bis 6,3 (SM4) mg K /100 g Boden. Die Variante SM4 fällt mit diesem sehr hohen Wert auf. Die nächst niedrigere Variante, nämlich die Variante GK2, hat weniger als die Hälfte Kalium aufzuweisen. Auch zu Beginn des zweiten Versuchsjahres finden sich die Verhältnisse des ersten wieder. Allerdings ist die Rangfolge der Werte nicht mehr so klar. Die Kontrolle weist mit 7,3 mg K /100 g Boden etwas weniger Kalium als im Vorjahr auf. Auch jetzt ist dies der niedrigste gemessene Wert. Die Varianten BK8 und SM8 liegen mit 11,7 und 10,2 mg K /100 g Boden auch jetzt am höchsten. Signifikante Unterschiede bestehen nur zwischen der Kontrolle und der Variante BK8. In der unteren Bodenschicht von 30 bis 60 cm liegt die Kontrolle mit 3,0 mg K /100 g Boden im mittleren Bereich der Werte. Es traten keine signifikanten Unterschiede auf. Der Wertebereich erstreckt sich von 3,2 (BK8) bis 2,2 (BK4) mg K /100 g Boden.

Die Kaliumgehalte des Bodens im letzten Versuchsjahr sind in Tabelle 9 dargestellt. Zu Beginn des dritten Versuchsjahres weist die Kontrolle mit 5,2 mg K /100 g Boden den niedrigsten Kaliumgehalt im Oberboden auf. Im Gegensatz dazu weist die zweimal mit der höchsten Aufwandmenge an Stallmist gedüngte Variante mit 23,4 mg K /100 g Boden den höchsten Gehalt auf. Diese Variante unterscheidet sich signifikant von allen anderen Varianten. Ebenfalls hohe Kaliumgehalte weisen die anderen zweimal gedüngten Varianten auf. Dabei ist eine Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge feststellbar. Zudem ist eine Wirkung der Art des organischen Düngers feststellbar.

Die Düngewirkung nimmt vom Stallmist über den Bioabfallkompost zum Grüngutkompost hin ab. Relativ hohe Kaliumgehalte weisen auch die einmal mit hohen Aufwandmengen gedüngten Varianten auf. Hier ist aber die Wirkung des Bioabfallkompost tendenziell stärker als die der anderen organischen Dünger. Insgesamt bestehen zahlreiche signifikante Unterschiede. Man kann vereinfacht sagen, dass sich die beschriebenen Sachverhalte durch signifikante Unterschiede belegen lassen, wobei sich Varianten mit ähnlichen absoluten Mengen nicht unterscheiden.

Tabelle 9: Kaliumgehalte [mg K /100 g Boden] im dritten Versuchsjahr (1999) in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

	März			Oktober		
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm
0	5,2	3,1	1,5	3,4	2,7	1,8
BK2 1x	5,9	2,8	2,5	5,5	3,6	2,6
BK2 2x	8,0	3,2	2,5	6,9	3,5	2,0
BK4 1x	7,5	3,8	2,4	6,5	3,7	2,6
BK4 2x	8,0	4,1	2,7	7,3	3,5	2,2
BK8 1x	10,5	4,4	2,7	8,9	4,8	2,6
BK8 2x	13,9	5,8	4,0	12,9	4,4	3,3
GK2 1x	6,4	3,0	2,9	5,8	3,4	2,7
GK2 2x	6,5	3,1	3,2	5,8	3,1	2,7
GK4 1x	6,4	2,9	2,0	5,7	3,0	2,3
GK4 2x	7,7	3,5	2,2	6,6	3,4	2,2
GK8 1x	6,9	3,6	2,2	5,3	3,5	2,9
GK8 2x	9,2	3,7	2,5	7,9	4,4	3,1
SM2 1x	5,8	2,9	1,5	5,3	3,0	1,9
SM2 2x	8,8	3,1	2,2	7,6	3,4	2,0
SM4 1x	7,6	3,7	3,0	6,8	4,2	3,5
SM4 2x	12,8	4,9	3,6	13,6	4,8	3,4
SM8 1x	8,8	3,9	2,2	6,9	3,5	2,5
SM8 2x	23,4	5,7	3,2	21,2	6,3	3,1
GD Tukey $\alpha=0,1$	3,4	1,8	2,0	3,8	2,3	n.s.

n=79

In der Bodenschicht 30 – 60 cm finden sich recht ähnliche Sachverhalte. Allerdings treten die Wirkungen der Düngermengen und –arten nicht so klar wie in 0 – 30 cm Bodentiefe hervor. Die Kontrolle liegt mit 3,1 mg K /100 g Boden im unteren Bereich der Werte. Alle zweimal gedüngten Varianten und die einmal mit den höchsten Aufwandmengen gedüngten liegen darüber. Bei den zweimal gedüngten Varianten treten höhere Werte als bei der Kontrolle auf. Zudem liegen die Werte hier auch über denen im ersten und zweiten Versuchsjahr. Den höchsten Kaliumgehalt mit 5,8 mg K /100 g Boden findet man bei der Variante BK8 2x, gefolgt von der Variante SM8 2x

mit 5,7 mg K /100 g Boden. Diese beiden Varianten unterscheiden sich signifikant von den 14 Varianten mit den niedrigsten Kaliumgehalten.

In der untersten untersuchten Bodenschicht liegt der Kaliumgehalt der Kontrolle bei 1,5 mg K /100 g Boden. Es ist damit der niedrigste gefundene Wert. Es folgt die Variante SM2 1x mit ebenfalls noch 1,5 mg K /100 g Boden. Diese beiden Varianten unterscheiden sich signifikant von den beiden Varianten mit den höchsten Kaliumgehalten. Das sind die Varianten BK8 2x und SM4 2x mit 4,0 und 3,6 mg K /100 g Boden. Ansonsten bestehen keine signifikanten Unterschiede.

Im Oktober des letzten Versuchsjahres sind die Kaliumgehalte im Oberboden abgesunken. Bei der Kontrolle z.B. um 1,8 auf 3,4 mg K /100 g Boden. Bei der Variante mit dem höchsten Kaliumgehalt, der Variante SM8 2x um 2,2 auf 21,2 mg K /100 g Boden. Aber die Rangabfolge der Werte und auch die signifikanten Unterschiede bleiben im wesentlichen unverändert bestehen.

In der Bodenschicht 30 – 60 cm sind die Kaliumgehalte von März bis Oktober teils gesunken und teils gestiegen. Ein klarer Zusammenhang mit der Behandlung ist aber nicht ersichtlich. Die Kontrolle weist den niedrigsten Wert mit 2,7 mg K /100 g Boden auf. Den höchsten Wert hat auch hier die Variante SM8 2x mit 6,3 mg K /100 g Boden. Diese Variante unterscheidet sich hier nicht von den beiden anderen zweimal mit den höchsten Aufwandmengen gedüngten Varianten und auch nicht von den Varianten BK8 1x und SM4 1x. Aber sie unterscheidet sich von den 13 übrigen Varianten. In der Bodenschicht 60 – 90 cm sind die Kaliumgehalte häufig geringfügig angestiegen. Es treten keine signifikanten Unterschiede auf. Die Kontrolle weist auch hier mit 1,8 mg K /100 g Boden wieder den niedrigsten Wert auf. Ansonsten entspricht die Abfolge der Werte meist der vom Frühjahr des Jahres.

3.1.5 Magnesiumgehalte

Die Magnesiumgehalte der drei zum Versuchsbeginn im Februar 1997 untersuchten Bodenschichten und der zwei im März des folgenden Jahres untersuchten Bodenschichten sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Magnesiumgehalte [mg Mg /100 g Boden] im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

	1997			1998	
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm
0	9,6	6,4	3,8	7,6	3,8
BK2	9,5	6,9	3,8	7,6	3,9
BK4	9,7	6,4	4,4	7,5	3,3
BK8	11,7	8,2	5,2	10,3	5,0
GK2	10,4	7,1	5,3	9,4	4,6
GK4	10,8	6,8	4,2	9,9	4,8
GK8	10,4	6,7	4,1	7,8	3,7
SM2	9,5	6,6	3,5	8,1	3,6
SM4	10,6	7,5	4,9	8,4	4,5
SM8	9,3	5,8	3,5	7,7	3,2
GD Tukey $\alpha=0,1$	2,4	2,3	1,7	n.s.	n.s.

n=40

Zu Beginn des Versuchs weist die Kontrolle im Oberboden (0 – 30 cm) Magnesiumgehalte von 9,6 mg Mg /100 g Boden auf. Sie liegt damit im mittleren Bereich der Werte und unterscheidet sich von keiner Variante signifikant. Signifikante Unterschiede bestehen in dieser Bodenschicht nur zwischen den Varianten mit dem höchsten und dem niedrigsten Magnesiumgehalt. Dies sind die Variante BK8, die mit 11,7 mg Mg /100 g Boden den höchsten Gehalt aufweist und die Variante SM8, die den niedrigsten Magnesiumgehalt von 9,3 mg Mg /100 g Boden aufweist. Auch in der Bodenschicht 30 – 60 cm sind es diese beiden Varianten, die sich signifikant unterscheiden und den höchsten bzw. niedrigsten Messwert aufweisen. Insgesamt

liegt das Niveau der Messwerte hier deutlich niedriger, die Kontrolle weist mit 6,4 mg Mg /100 g Boden den zweit niedrigsten Wert auf.

In der untersten untersuchten Bodenschicht von 60 bis 90 cm Bodentiefe sind die Magnesiumgehalte nochmals niedriger. Die Kontrolle liegt mit 3,8 mg Mg /100 g Boden wieder am unteren Bereich der Messwerte. Auch hier liefert die Variante SM8 wieder den niedrigsten Wert, diesmal jedoch gemeinsam mit der Variante SM2. Sie unterscheiden sich mit 3,5 mg Mg /100 g Boden signifikant von der Variante GK2, die mit 5,3 mg Mg /100 g Boden den höchsten Gehalt an diesem Element hat.

Im Frühjahr des folgenden Jahres sind die Magnesiumgehalte in den beiden oberen untersuchten Bodenschichten gesunken. Die Kontrolle enthält nur noch 7,6 und 3,8 mg Mg /100 g Boden. Es treten keine signifikanten Unterschiede auf. Auch lässt sich nur schwer ein Einfluss der Arten oder Mengen des organischen Materials sehen. So weist die Variante BK8 in 0 – 30 cm Bodentiefe den höchsten Magnesiumgehalt von 10,3 mg Mg /100 g Boden auf. Die Variante BK4 allerdings mit 7,5 mg Mg den niedrigsten. Auch eine Wirkung der Düngermenge lässt sich nicht ableiten.

Die Magnesiumgehalte der drei untersuchten Bodenschichten im letzten Versuchsjahr sind in Tabelle 11 dargestellt.

Vom März des zweiten bis zum März des dritten Versuchsjahres sind die Magnesiumgehalte weiter gesunken. Die Kontrolle liegt im Oberboden (0 – 30 cm) bei 4,5 mg Mg /100 g Boden. Sie bewegt sich damit im mittleren Bereich der Werte, die zwischen 3,0 (Variante SM4 2x) und 6,3 (Variante BK8 1x) mg Mg /100 g Boden liegen. Es treten insgesamt keine signifikanten Unterschiede auf. Ein Einfluss der Düngerart, -menge oder -ausbringungshäufigkeit lässt sich nicht ersehen. Die gleichen Sachverhalte gelten auch für die beiden unteren Bodenschichten. Die Kontrolle weist in 30 – 60 cm Bodentiefe Magnesiumgehalte von 2,1 mg Mg /100 g Boden auf. In der untersten Bodenschicht sind es noch 1,0 mg Mg /100 g Boden. Damit liegt die Kontrolle hier fast am untersten Ende der gemessenen Magnesiumgehalte, nur die Variante SM2 1x hat noch geringere Magnesiumgehalte (0,9 mg Mg /100 g Boden).

Auch im Oktober des letzten Versuchsjahres treten in der obersten Bodenschicht keine signifikanten Unterschiede auf. Die Kontrolle weist mit nur noch 1,8 mg Mg /100 g Boden deutlich niedrigere Werte als noch im Frühjahr auf. Sie liegt damit auch am unteren Ende der insgesamt ermittelten Magnesiumgehalte.

Tabelle 11: Magnesiumgehalte [mg Mg /100 g Boden] im dritten Versuchsjahr (1999) in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

	März			Oktober		
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm
0	4,5	2,1	1,0	1,8	1,4	1,0
BK2 1x	4,7	2,3	1,8	3,0	1,7	1,0
BK2 2x	3,6	1,6	1,1	1,9	1,0	0,4
BK4 1x	5,0	2,3	1,3	3,2	1,3	0,9
BK4 2x	3,6	1,8	1,3	1,7	0,6	0,4
BK8 1x	6,3	2,6	1,8	2,8	1,4	0,9
BK8 2x	4,3	1,6	1,1	2,0	0,7	0,4
GK2 1x	5,6	2,4	1,8	3,4	1,5	0,9
GK2 2x	4,8	1,9	1,8	1,9	0,7	0,5
GK4 1x	5,2	2,3	1,4	3,2	1,6	1,0
GK4 2x	5,1	2,2	1,3	2,2	1,1	0,5
GK8 1x	5,0	2,1	1,3	3,2	1,4	1,1
GK8 2x	5,7	2,3	1,5	2,4	0,8	0,5
SM2 1x	4,4	1,7	0,9	2,7	1,3	0,9
SM2 2x	5,6	2,2	1,3	2,1	0,9	0,6
SM4 1x	5,2	2,4	1,8	2,9	1,5	1,0
SM4 2x	3,0	1,5	1,2	1,8	0,8	0,4
SM8 1x	4,6	1,8	1,5	2,7	1,1	1,0
SM8 2x	5,3	1,9	1,4	2,3	0,9	0,5
GD Tukey $\alpha=0,1$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	1,0	n.s.

n=79

Tendenziell weisen alle einmal gedüngten Varianten höhere Magnesiumgehalte auf, als die zweimal gedüngten. Bei den einmal gedüngten Varianten ist die Abnahme vom Frühjahr zum Herbst geringer ausgefallen als bei den zweimal gedüngten. Außer der Düngungshäufigkeit läßt sich allerdings kein Einfluss der Düngermenge oder –art feststellen. Dieser tendenzielle Unterschied zwischen den beiden Ausbringungshäufigkeiten tritt auch in den beiden unteren Bodenschichten auf. Auch hier ist es zu einer Abnahme der Magnesiumgehalte im Zeitverlauf gekommen. Nur liegt der Magnesiumgehalt der Kontrolle hier eher im oberen Bereich der Messwerte, also im Bereich der einmal gedüngten Varianten. In 30 – 60 cm Bodentiefe weist der Boden der Kontrolle einen Magnesiumgehalt von 1,4 mg Mg /100 g Boden auf. In 60 – 90 cm Bodentiefe sind es noch 1,0 mg Mg /100 g Boden. Signifikante Unterschiede treten nur in der Bodenschicht 30 – 60 cm auf. Sie liegen zwischen den Extremwerten, erfassen aber insgesamt nur fünf Varianten. Es unterscheiden sich die Varianten BK4 2x, GK2 2x und BK8 2x von der Variante BK2 1x. Zusätzlich unterscheidet sich die Variante mit dem geringsten Magnesiumgehalt von 0,6 mg Mg /100 g Boden auch von der Variante mit dem zweit höchsten Magnesiumgehalt, nämlich der Variante GK4 1x.

3.1.6 Gesamt - Stickstoffgehalte

Die Gesamt - Stickstoffgehalte der Bodenschicht 0 – 30 cm weisen im ersten und zweiten Versuchsjahr keine signifikanten Unterschiede auf. Im Juni des ersten Versuchsjahrs liegt die Kontrolle mit 0,1 % N_{ges} im mittleren Bereich der ermittelten Werte. Den höchsten Wert findet man bei der mit der höchsten Aufwandmenge Bioabfallkompost gedüngten Variante. Es folgen die Varianten, die mit Grüngutkompost gedüngt wurden. Die mit Stallmist gedüngten Varianten weisen die niedrigsten Gesamt – N – Gehalte auf. Allerdings sind die absoluten Unterschiede nur im Bereich von 0,107 bis 0,094 % N_{ges} zu finden.

Im Dezember des ersten Versuchsjahrs sind die Gesamt – N – Gehalte der Kontrolle auf 0,093 % gesunken. Diese Variante weist nun den geringsten aller Werte auf. Auch die Werte der meisten anderen Varianten sind gesunken. Die mit den jeweils

höchsten Gaben an Bioabfallkompost und Grüngutkompost gedüngten Varianten liegen mit Werten von 0,108 und 0,102 % an der Spitze der Werte.

Im Mai des folgenden Jahres sind alle Werte weiter deutlich gesunken. Die Kontrolle hat nun mit 0,080 % Gesamt – N den zweit niedrigsten Wert. Die Variante BK8 weist weiter den höchsten Gesamt – N – Gehalt auf. Er ist auf 0,097 % gesunken. Den niedrigsten Gesamt – N – Gehalt findet man bei der Variante SM8.

Die Gesamt – N – Gehalte aller Varianten bei Versuchsabschluss sind in Abbildung 7 dargestellt.

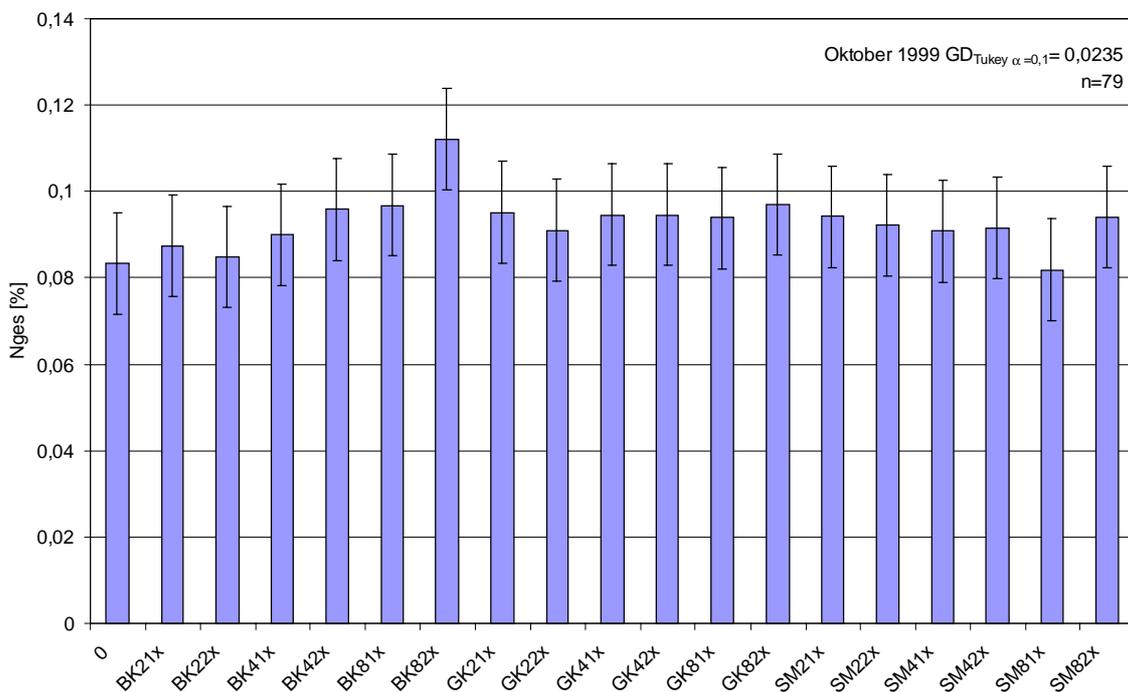


Abbildung 7: Gesamt – N – Gehalte in der Bodenschicht 0 – 30 im Oktober 1999 in Abhängigkeit von der Behandlung

Auch beim Abschluss des Versuchs im Oktober 1999 ist die SM8 Variante die mit dem niedrigsten Gesamt – N – Gehalt. Ebenfalls folgt die Kontrolle mit nun 0,083 % N_{ges}.

Von diesen beiden Varianten unterscheidet sich die zweimal mit der höchsten Gabe Bioabfallkompost gedüngten Variante signifikant. Sie hat mit 0,112 % N_{ges} den absolut höchsten Gesamt – N – Gehalt. Den nächst niedrigeren Wert weist die zweimal mit der höchsten Menge Grüngutkompost gedüngte Variante auf. Diese

beiden Varianten mit hohen N_{ges} Gehalten unterscheiden sich nur von den vier Varianten mit den niedrigsten Werten signifikant. Darunter ist auch eine zweimal gedüngte Variante, nämlich die Variante BK2 2x.

Alle mit Stallmist gedüngten Varianten liegen tendenziell eher im unteren Bereich der beobachteten Werte. Ein Einfluss der Häufigkeit der organischen Düngung lässt sich nur schwer feststellen, meist liegen die einmal und zweimal gedüngten Varianten in einem engen Bereich. Bei größeren Unterschieden liegt aber stets die zweimal gedüngte höher im N_{ges} – Gehalt.

3.1.7 Humusgehalte und weitere Charakterisierung

3.1.7.1 Gesamthumusgehalte

Die Gesamthumusgehalte wurden als Glühverlust bei 550 °C bestimmt. Bei allen untersuchten Humusgehalten traten nur beim zweiten Untersuchungstermin, also im Dezember des ersten Versuchsjahres signifikante Unterschiede auf. Diese lagen zwischen den Varianten von Stallmist und Grüngutkompost jeweils mit einer Ausbringungsmenge von 800 dt. Zu diesem Zeitpunkt wiesen die mit 800 dt Grüngutkompost gedüngten Parzellen im Mittel mit 3,24 % den höchsten Humusgehalt und die mit Stallmist gedüngten mit 2,84 % den geringsten Humusgehalt auf. Die Humusgehalte der Versuchsvarianten zu den Untersuchungsterminen im ersten und zweiten Versuchsjahr sind in Abbildung 8 dargestellt.

Etwa drei Monate nach Ausbringung der organischen Dünger bestehen zwischen den Varianten keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Gehalte des Bodens an organischer Substanz in 0 – 30 cm, allerdings treten tendenzielle Unterschiede auf.

Die niedrigsten Humusgehalte weisen die Parzellen der Kontrolle mit einem mittleren Humusgehalt von 2,88 % auf. Mit steigender Aufwandmenge organischen Düngers steigen i.d.R. auch die Humusgehalte. Beim Grüngutkompost und Stallmist liegen die der 400 dt Varianten um 0,2 bzw. 0,06 Prozentpunkte über denen der 800 dt Varianten.

In allen Düngungsstufen liegen die Humusgehalte der mit Stallmist gedüngten Parzellen niedriger als die der mit Komposten gedüngten Parzellen.

Betrachtet man die Humusgehalte der einzelnen Parzellen, die im Anhang 1 dargestellt sind, so verstärkt sich das Bild steigender Humusgehalte durch steigende Düngermengen. Die oben beschriebenen Effekte treten abgesehen von einigen Abweichungen durchgängig in allen Parzellen auf. Es fällt aber besonders auf, dass die Humusgehalte des Bodens von der ersten zur vierten Wiederholung hin stark abfallen. In der ersten Wiederholung beträgt der Humusgehalt der Kontrolle 3,26 %,

in der vierten Wiederholung dagegen nur 2,11 %. Dies ist in fast allen Varianten entsprechend.

Bis zum Dezember des selben Jahres haben sich die Humusgehalte nur geringfügig verändert. Der oben beschriebene Effekt der unterschiedlichen Humusgehalte zwischen den Wiederholungen bleibt bestehen.

In den Wiederholungen mit den höheren Humusgehalten sinken die Gehalte ab. In der vierten Wiederholung kommt es dagegen zu einem geringfügigen Anstieg des mittleren Humusgehalts der Wiederholung.

Abbildung 8 zeigt, wie die Humusgehalte zum Mai des zweiten Versuchsjahres deutlich abfallen. Hiervon sind alle Varianten gleich betroffen. Die mit Bioabfallkompost und mit Stallmist gedüngten Varianten weisen noch zunehmende Humusgehalte mit zunehmenden Aufwandmengen auf. Die höchsten Humusgehalte finden sich in den mit den höchsten Aufwandmengen von Bioabfallkompost und den mittleren Aufwandmengen von Grüngutkompost gedüngten Parzellen. Den absolut niedrigsten Humusgehalt mit im Mittel 2,58 % haben die Parzellen der Kontrolle. Anhang 3 zeigt weiterhin, dass die Lage einer Parzelle auf dem Versuchsfeld wichtig für deren Humusgehalt ist. Die Kontrolle in der vierten Wiederholung hat nur noch einen Humusgehalt von 1,84 %, den damit niedrigsten aller Parzellen.

Im März des dritten Versuchsjahres haben sich wie Abbildung 9 im Vergleich mit Abbildung 8 zeigt die Humusgehalte der nicht erneut gedüngten Varianten nicht wesentlich verändert. Sie haben oft geringfügig abgenommen. Bei einzelnen Varianten ist es aber auch zu einem Anstieg gekommen, so bei der BK8 1x Variante. Anhang 4 zeigt hier auf, dass dies auf eine Zunahme in den Parzellen dieser Variante in der zweiten und dritten Wiederholung zurückzuführen ist. Zwischen den einmal und den zweimal gedüngten Varianten besteht meist kein Unterschied, die Humusgehalte weichen nach oben und unten ab. Allerdings sind bei den mit Grüngutkompost gedüngten Varianten die Humusgehalte der zweimal gedüngten Parzellen stets höher als die der einmal gedüngten. Anhang 4 zeigt hier aber, dass dies auch nicht in allen Einzelparzellen der vier Wiederholungen gleichmäßig auftritt.

Im März des dritten Versuchsjahres haben die Parzellen der ersten Wiederholung im Mittel aller Varianten einen Humusgehalt von 2,82 %, die Humusgehalte der anderen Wiederholungen sinken bis auf 2,24 % in der 4. Wiederholung ab.

Aus Abbildung 9 geht weiter hervor, wie die Humusgehalte vieler Varianten vom März bis zum Oktober 1999 ansteigen, besonders deutlich ist dies bei den Varianten BK2 1x, BK8 2x, GK4 2x und SM2 2x der Fall. Nur bei den Varianten BK8 1x, GK800 1x, und SM8 1x fallen die Humusgehalte in diesem Zeitraum ab. Niemals liegen die Humusgehalte im Herbst um mehr als 0,1 Prozentpunkte unter denen vom Frühjahr.

Abgesehen von den Varianten, bei denen die Humusgehalte im dritten Versuchsjahr stark ansteigen, bleibt die Rangfolge der Humusgehalte sehr ähnlich. Die Unterschiede zwischen den Wiederholungen bleiben bis zum Ende des Versuchs deutlich bestehen.

3.1.7.2 Weitere Charakterisierung von Humuseigenschaften

Um Kenntnisse über Humuseigenschaften zu gewinnen, wurden die Glühverluste bei 220 °C und 340 °C bestimmt. Die prozentualen Glühverluste bei diesen Temperaturstufen bezogen auf 550 °C sind in Abbildung 10 für die Termine Dezember 1997 und Mai 1998 sowie in Abbildung 11 für die beiden Untersuchungstermine 1999 dargestellt.

Am Ende des ersten Versuchsjahres beträgt der Glühverlust bei 220 °C bei der Kontrolle 1,72 %. Den niedrigsten Wert weist im Mittel die SM8 Variante mit 1,46 % auf. Den höchsten Wert dagegen findet man mit 1,82% bei der BK8 Variante. Diese beiden Werte unterscheiden sich signifikant. Die SM8 Variante unterscheidet sich auch signifikant von den beiden anderen mit Bioabfallkompost behandelten Varianten. Einen nur geringfügig geringeren Messwert zeigt die mit der höchsten Ausbringungsmenge behandelte Grüngutkompostvariante.

Im Mai des nächsten Jahres sind die Glühverluste bei 220 °C geringer. Die Kontrolle liegt weiter mit 1,53 % im mittleren Bereich der Werte, den höchsten Wert hat noch immer die Variante BK8, allerdings weisen nun die Varianten BK2 und BK4 die

niedrigsten absoluten Glühverluste auf. Signifikante Unterschiede treten ab Mai 1998 nicht mehr auf.

Wie Abbildung 11 zeigt treten im März des letzten Versuchsjahres die insgesamt niedrigsten Glühverluste bei 220 °C auf. Die Werte liegen zwischen 1,62 und 1,25 %, ohne dass signifikante Unterschiede auftreten. Die Kontrolle liegt mit 1,33 % dabei im unteren Wertebereich. Besonders hohe Werte finden sich bei der einmal mit der höchsten Ausbringungsmenge Bioabfallkompost (BK8 1x) gedüngten Variante. Es folgen die beiden Varianten der höchsten Ausbringungsmenge an Grüngutkompost, darauf mit noch über 1,4 % die Varianten GK4 2x, BK4 1x, BK2 1x und SM8 1x. Besonders niedrige Werte mit unter 1,3 % weisen die Varianten GK2 2x, GK2 1x und BK2 2x auf.

Im Oktober des letzten Versuchsjahres sind höhere Werte festzustellen. Sie bewegen sich zwischen 1,85 und 1,44 %, wobei die Kontrolle bei 1,52 % liegt. Allerdings treten auch jetzt keine signifikanten Unterschiede auf. Den absolut höchsten Wert weist die zweimal mit der höchsten Ausbringungsmenge Bioabfallkompost gedüngte Variante auf. Es folgen die einmal damit gedüngte Variante und dann die Varianten GK4 2x, SM4 1x, GK8 2x und GK2 2x. Besonders niedrige Werte sind bei den Varianten SM2 1x und BK2 2x zu beobachten.

Der Glühverlust bei 340 °C ist im Dezember 1997 in der Variante mit der höchsten Ausbringungsmenge an Bioabfallkompost mit 2,90 % am höchsten. Er unterscheidet sich signifikant von dem Wert der Variante SM8, wo der niedrigste Glühverlust von 2,56 % feststellbar ist. Ein ebenfalls recht niedriger Glühverlust von 2,68 % bei 340 °C ist in der Kontrolle zu beobachten. Werte im oberen Bereich sind dagegen noch bei den Varianten GK8 und BK4 sowie GK4 feststellbar. Im Mai des nächsten Jahres sind die Glühverluste auch bei 340 °C deutlich niedriger. Allerdings bleibt die Rangfolge im wesentlichen unverändert. Den niedrigsten Wert hat jetzt die Kontrolle mit 2,32 %, den höchsten weiter die Variante BK8. Es folgen die Varianten GK4 und SM4.

Auch der Glühverlust bei 340 °C ist im März 1999 absolut am niedrigsten. Die Rangfolge ist hier im wesentlichen wie beim Glühverlust bei 220°. Ebenfalls im

Ergebnisse

Oktober ist dies so. Zu beiden Terminen treten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten auf.

Wenn man die Glühverluste bei 220 °C und 340 °C auf den Glühverlust bei 550 °C bezieht, ergeben sich die relativen Glühverluste, die eine Aussage darüber vereinfachen, welcher Anteil der organischen Substanz schon bei einer niedrigen oder erst bei einer höheren Temperaturstufe verflüchtigt.

Nur beim Bezug der Temperaturstufe von 220 °C auf die von 550 °C und beim Termin vom Dezember 1997 ergeben sich hierbei signifikante Unterschiede.

Der Glühverlust bei 220 °C beträgt ca. 50 bis 60 % des Glühverlusts bei 550°. Die Einzelwerte für diesen Termin sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Glühverlust bei 220 °C bezogen auf den Glühverlust bei 550 °C für den Termin Dezember 1997.

	0	BK2	BK4	BK8	GK2	GK4	GK8	SM2	SM4	SM8
Glühverlust 220 °C bezogen auf Glühverlust 550 °C [%]	58,3	58,5	59,3	56,8	57,3	49,5	53,0	57,3	56,8	51,3
	GD Tukey $\alpha=0,1 = 7,5 \% (n=40)$									

Die beiden Bioabfallkompostvarianten mit der niedrigsten und mittleren Ausbringungsmenge unterscheiden sich von der Grüngutkompostvariante mit der mittleren Ausbringungsmenge signifikant. Zudem unterscheidet sich die mittlere Bioabfallkompostvariante auch von der höchsten Stallmistvariante. Die mittlere Grüngutkompostvariante unterscheidet sich zudem noch von vier weiteren Varianten. Zu den anderen Untersuchungsterminen sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar, das Niveau ändert sich im gesamten Untersuchungszeitraum nicht.

Der Anteil Glühverlust von 550°, der bereits bei 340 °C verflüchtigt, beträgt meist ca. 90%. Zu keinem Termin ergeben sich hier signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.

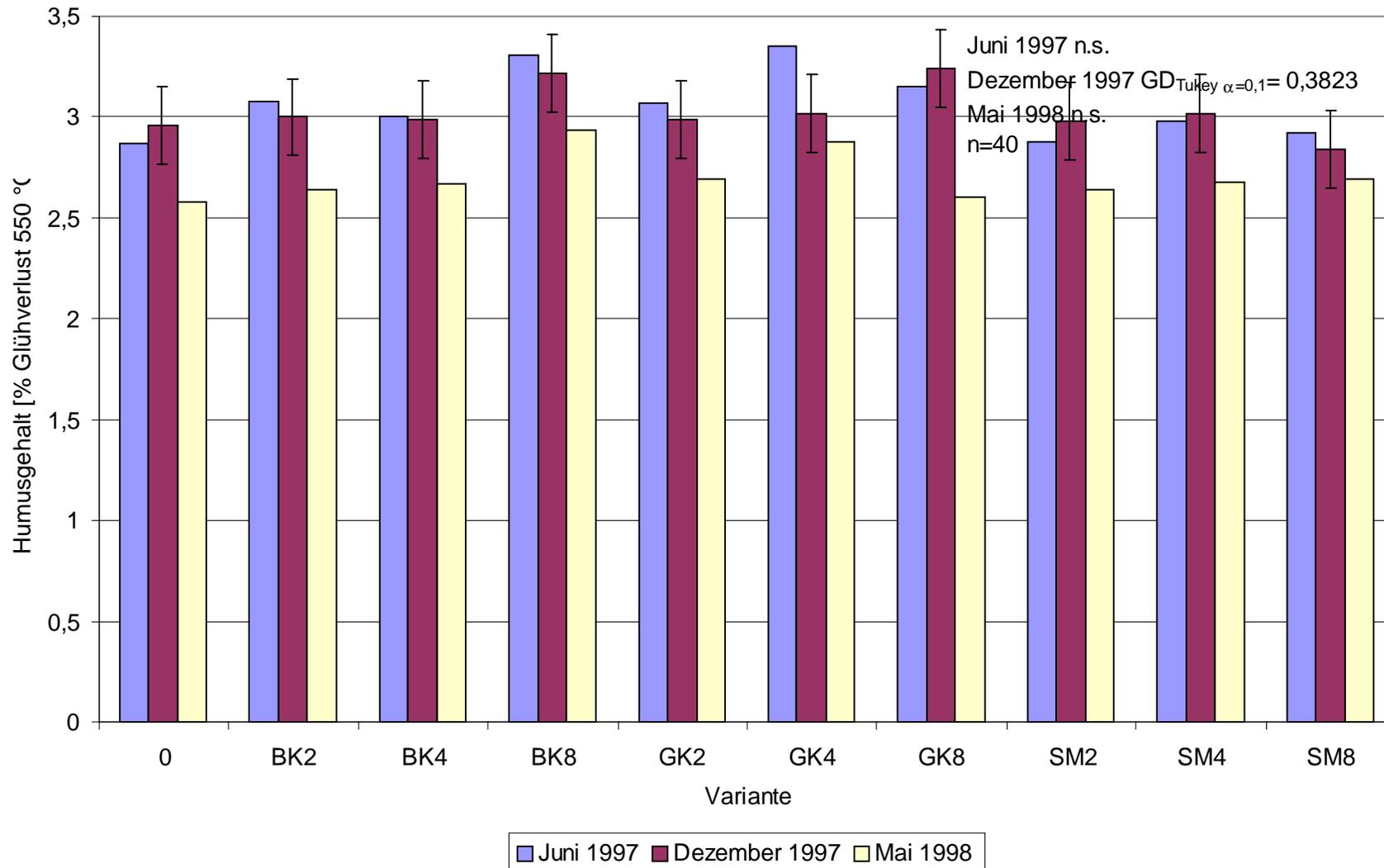


Abbildung 8: Mittlere Humusgehalte in 0 - 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im ersten und zweiten Versuchsjahr

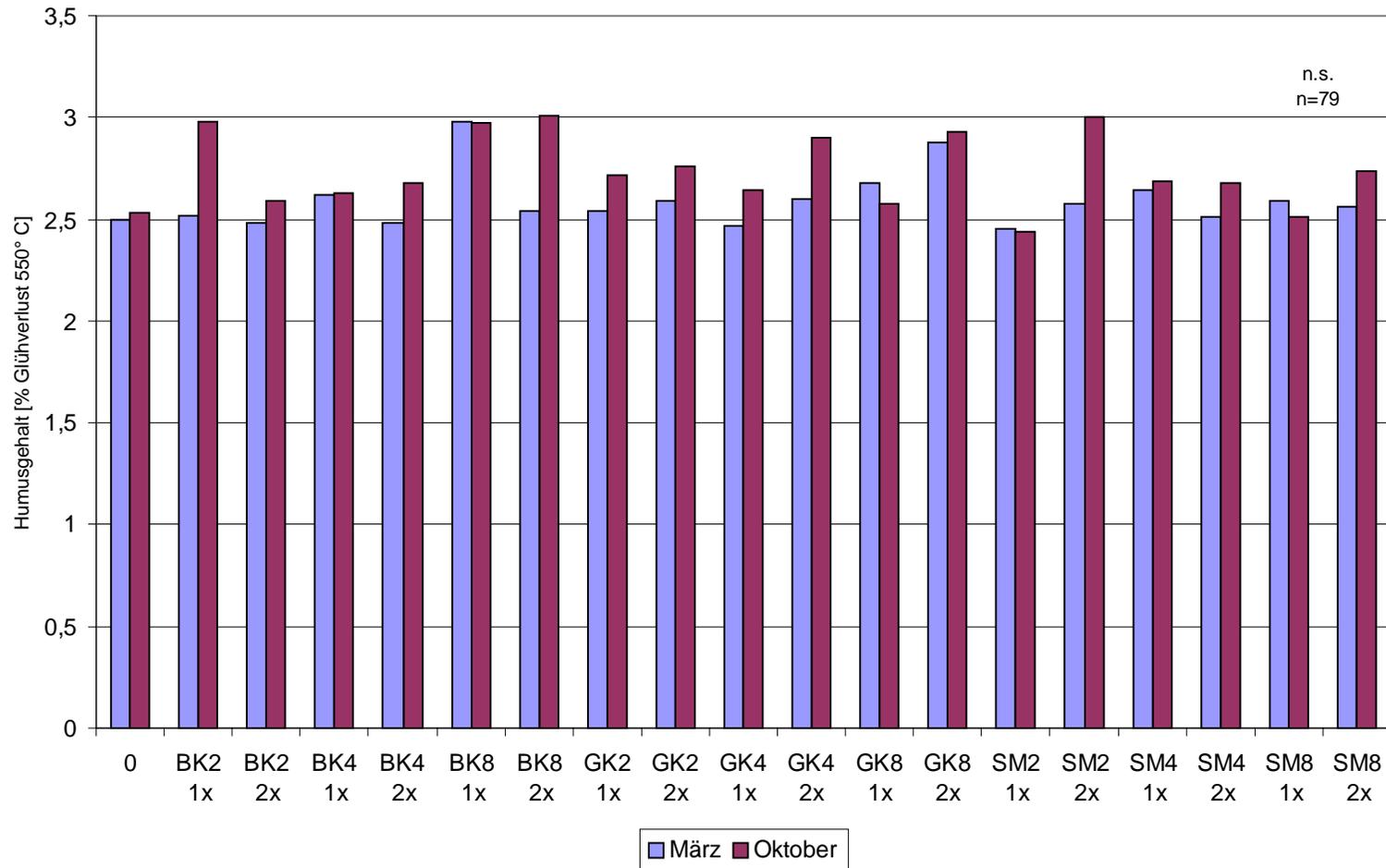


Abbildung 9: Mittlere Humusgehalte in 0 - 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im dritten Versuchsjahr

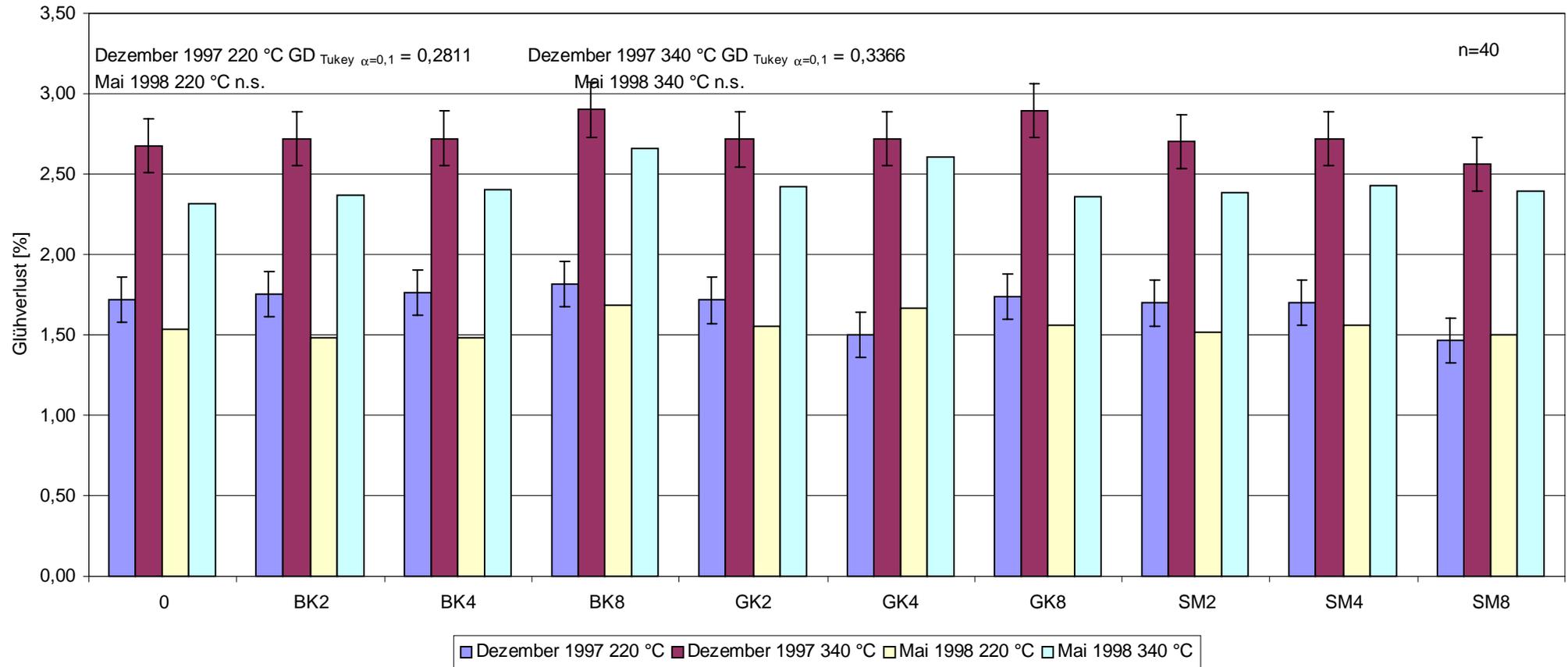


Abbildung 10: Mittlere Glühverluste bei 220 °C und 340 °C in 0 - 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im ersten und zweiten Versuchsjahr

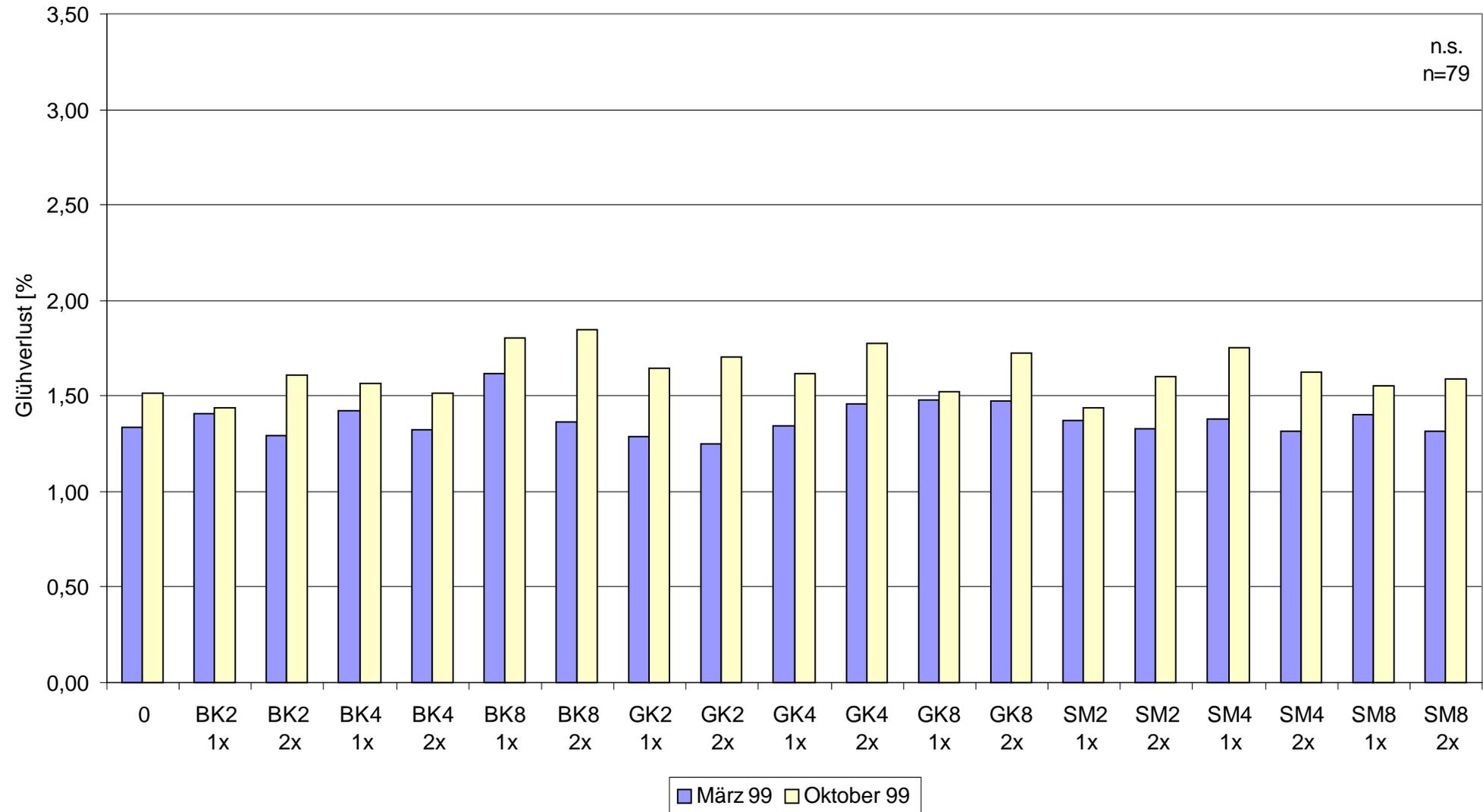


Abbildung 11: Mittlere Glühverluste bei 220 °C in Abhängigkeit von der organischen Düngung im dritten Versuchsjahr

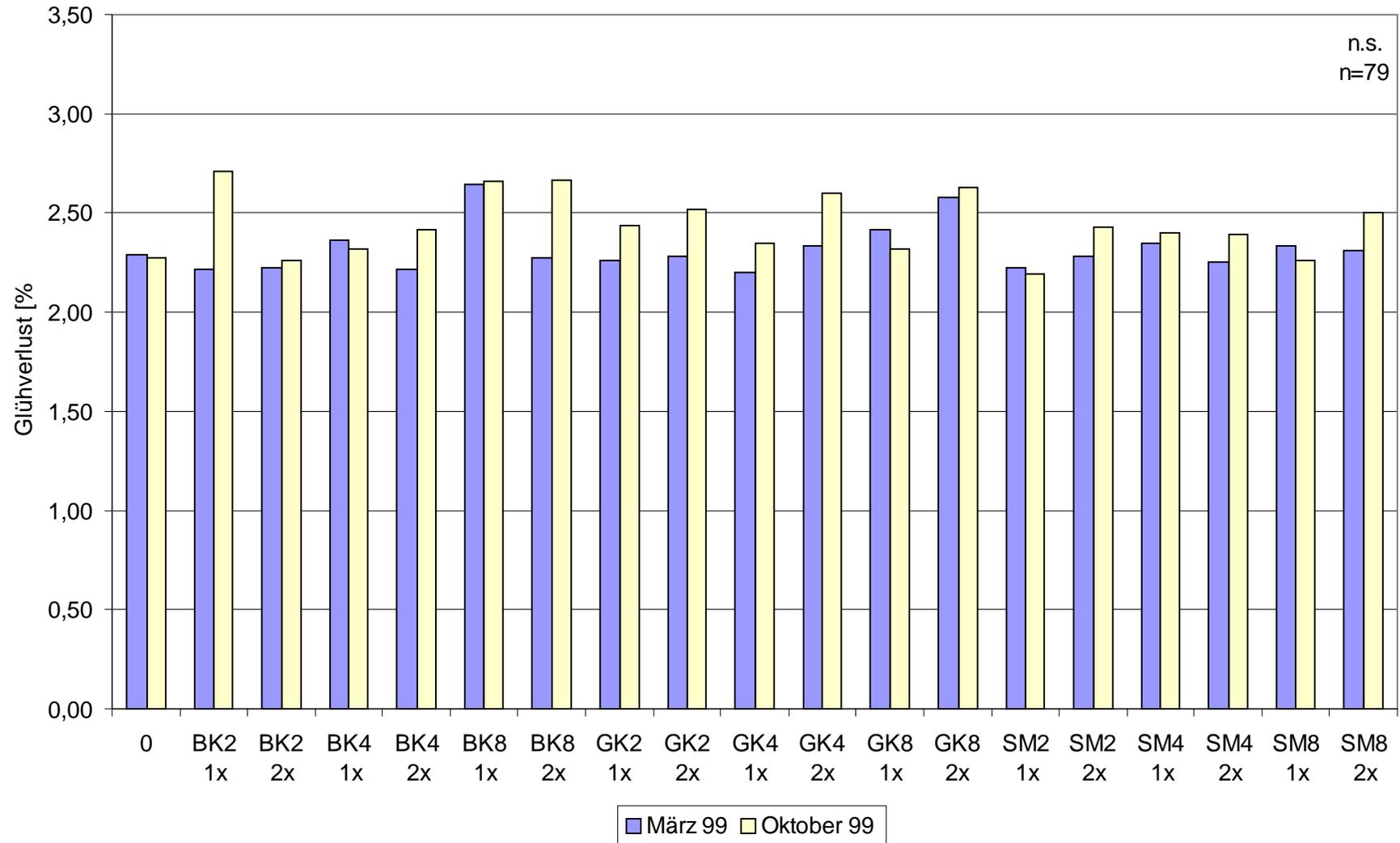


Abbildung 12: Mittlere Glühverluste bei 340 °C in Abhängigkeit von der organischen Düngung im dritten Versuchsjahr

3.1.8 pH - Werte

Die direkt nach der organischen Düngung im ersten Versuchsjahr gemessenen pH - Werte sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: pH – Werte der drei untersuchten Bodenschichten zu Beginn des ersten Versuchsjahrs (Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede, statistische Auswertung nur innerhalb der 3 Bodentiefen, Tukey $\alpha=0,1$, $n=40$)

	0 - 30 cm	30 – 60 cm	60 –90 cm
		n.s.	
0	5.5 AB	5.2	4.8 AB
BK2	5.7 B	5.2	4.9 AB
BK4	5.5 AB	5.0	4.8 AB
BK8	5.9 B	5.5	4.9 AB
GK2	5.6 AB	5.3	4.7 A
GK4	5.7 B	5.3	4.8 AB
GK800	5.7 B	5.1	4.9 AB
SM2	5.5 AB	5.1	4.7 A
SM4	5.6 AB	5.4	5.0 B
SM8	5.3 A	5.1	4.8 AB

Die Kontrolle hat einen pH – Wert des Oberbodens von 5.5 . Sie unterscheidet sich darin von keiner Behandlung signifikant. Die mit der höchsten Aufwandmenge mit Stallmist gedüngte Variante weist mit 5.3 den niedrigsten aller pH – Werte des Oberbodens auf. Die mit den beiden Komposten gedüngten Varianten weisen teilweise signifikant höhere pH – Werte auf, und zwar die Varianten BK2, BK8, GK4 und GK800. In einer Bodentiefe von 30 bis 60 cm liegt der pH – Wert bei 5.0 bis 5.5, ohne dass signifikante Unterschiede auftreten. In einer Bodentiefe von 60 bis 90 cm liegt der pH – Wert bei 4.7 bis 5.0, hier unterscheiden sich die Varianten SM2 und SM4 sowie GK2 und SM4 signifikant voneinander, wobei die Variante SM4 mit 5.0 den höchsten aller in dieser Tiefe gemessenen pH – Werte aufweist.

Nach der erneuten organischen Düngung im dritten Versuchsjahr wurden die pH – Werte des Oberbodens erneut gemessen. Die Kontrolle hat sich hier nicht verändert.

Ergebnisse

Sie unterscheidet sich mit pH 5.5 auch jetzt von keiner Behandlung signifikant. Die Ergebnisse sind im einzelnen in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: pH – Werte der Bodenschicht 0 – 30 cm zu Beginn des dritten Versuchsjahrs (Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede, Tukey $\alpha=0,1$, $n=79$)

Variante	0	BK 2 1x	BK 2 2x	BK 4 1x	BK 4 2x	BK 8 1x	BK 8 2x	GK 2 1x	GK 2 2x	GK 4 1x	GK 4 2x	GK 8 1x	GK 8 2x	SM 2 1x	SM 2 2x	SM 4 1x	SM 4 2x	SM 8 1x	SM 8 2x
pH Wert	5.5 AB	5.7 AB	5.7 AB	5.4 AB	5.4 AB	5.9 B	5.9 B	5.5 AB	5.6 AB	5.5 AB	5.7 AB	5.5 AB	5.8 AB	5.3 A	5.7 AB	5.6 AB	5.7 AB	5.3 AB	5.7 AB

Die pH – Werte liegen zwischen 5.3 und 5.9, dabei unterscheidet sich die einmal mit 200 dt Stallmist gedüngte Variante mit 5.3 von beiden mit 800 dt Bioabfallkompost gedüngten Varianten mit jeweils 5.9 signifikant. Beim Bioabfallkompost unterscheiden sich die Werte der einmal und zweimal gedüngten Varianten nie, beim Grüngutkompost und Stallmist dagegen weisen die zweimal gedüngten Varianten höhere pH – Werte auf als die einmal gedüngten. Bei diesen beiden Düngern liegen die zweimal gedüngten Varianten beim pH – Wert auch immer über der Kontrolle.

Die am Ende des Versuchszeitraums gemessenen pH – Werte sind in Tabelle 15 dargestellt.

Der pH- Wert der Kontrolle hat sich fast nicht verändert. Er liegt nun bei 5.4 und weist auch jetzt keine signifikanten Unterschiede zu einer der Behandlungen auf.

Bei den mit Bioabfallkompost gedüngten Varianten liegen die pH – Werte der einmal gedüngten Varianten stets geringfügig höher als die der zweimal gedüngten.

Die beiden mit 800 dt Bioabfallkompost gedüngten Varianten weisen mit pH 5.9 und pH 5.7 signifikante Unterschiede zur Variante BK4 2x mit pH 5.3 auf. Die beiden mit 800 dt Stallmist gedüngten Varianten unterscheiden sich mit pH 5.3 bzw. pH 5.4 signifikant von der einmal gedüngten BK8 Variante. Beim Stallmist und Grüngutkompost gibt es keine klare Tendenz zwischen einmal und zweimal

gedüngten Varianten, bei einigen Varianten weisen die zweimal gedüngten Varianten um 0.1 höhere Werte auf.

Tabelle 15: pH – Werte der drei untersuchten Bodenschichten zum Ende des dritten Versuchsjahrs (Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede, statistische Auswertung nur innerhalb der 3 Bodentiefen, Tukey $\alpha=0,1$)

	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm n.s.
0	5.4 ABC	5.2 A	5.0
BK2 1x	5.6 ABC	5.3 A	5.2
BK2 2x	5.4 ABC	5.1 AB	5.0
BK4 1x	5.4 ABC	5.2 A	5.1
BK4 2x	5.3 B	4.9 B	4.8
BK8 1x	5.9 C	5.3 A	5.1
BK8 2x	5.7 AC	5.2 AB	4.9
GK2 1x	5.5 ABC	5.2 A	4.9
GK2 2x	5.5 ABC	5.2 AB	4.8
GK4 1x	5.6 ABC	5.3 A	5.0
GK4 2x	5.6 ABC	5.1 AB	4.9
GK800 1x	5.5 ABC	5.2 AB	4.9
GK800 2x	5.6 ABC	5.2 AB	4.9
SM2 1x	5.4 ABC	5.0 AB	4.9
SM2 2x	5.5 ABC	5.0 AB	4.9
SM4 1x	5.6 ABC	5.4 A	5.0
SM4 2x	5.6 ABC	5.2 A	5.1
SM8 1x	5.3 AB	5.0 AB	4.9
SM8 2x	5.4 AB	5.1 AB	4.9

3.1.9 Salzgehalte

Bei den im ersten Versuchsjahr gemessenen Salzgehalten ergaben sich keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Behandlung. Die Kontrolle enthielt ca. 100 mg KCl /100 g Boden und unterschied sich von keiner anderen Variante.

Die zu Beginn und am Ende des dritten Versuchsjahrs gemessenen Salzgehalte sind in Abbildung 13 dargestellt.

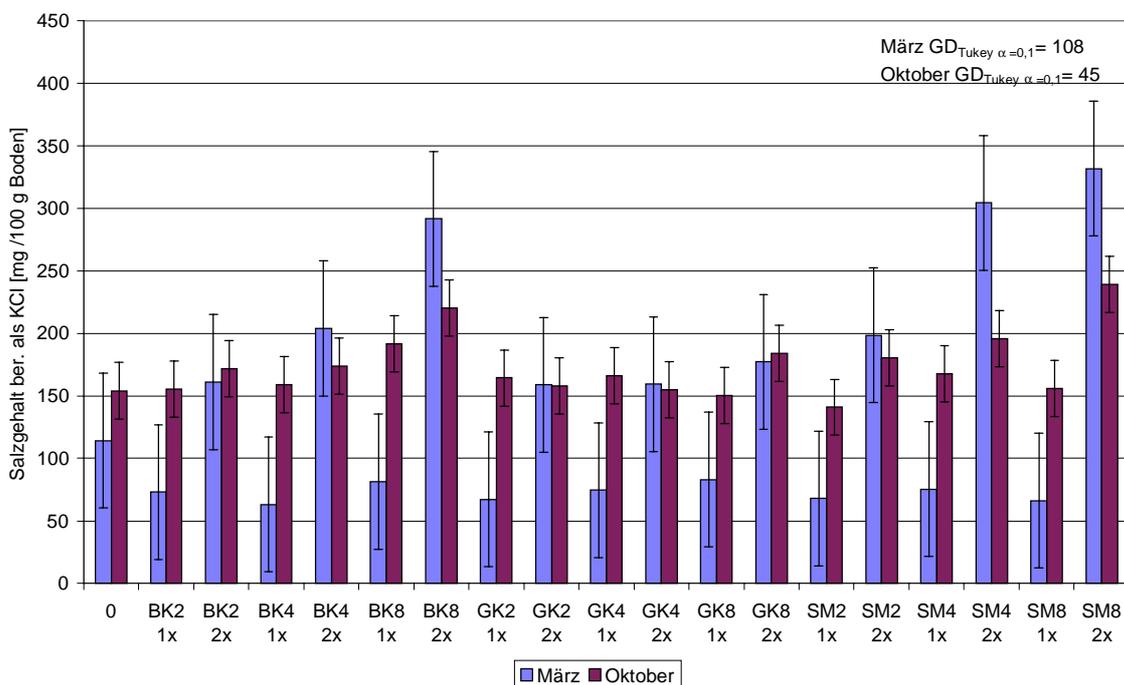


Abbildung 13: Salzgehalte (0 – 30 cm) im März und Oktober des dritten Versuchsjahrs in Abhängigkeit von der Behandlung (n=79)

Im dritten Versuchsjahr ergeben sich deutliche Unterschiede in Abhängigkeit vom Termin und der Behandlung. Die Kontrolle weist im März 1999 114 mg KCl /100 g Boden in der Bodenschicht 0 – 30 cm auf. Sie liegt damit zwischen den einmal und den zweimal gedüngten Varianten. Alle einmal gedüngten Varianten weisen mit 63 bis 83 mg KCl /100 g Boden niedrigere Salzgehalte auf. Allerdings unterscheidet sich keine dieser Varianten signifikant von der Kontrolle. Die zweimal gedüngten Varianten mit 800 und 400 dt Stallmist sowie der höchsten Ausbringungsmenge Bioabfallkompost unterscheiden sich dagegen signifikant von der Kontrolle. Sie liegen bei 292 mg KCl /100 g Boden (BK8 2x) bis 332 mg KCl /100 g Boden (SM8

2x). Relativ niedrigere Werte mit 159 bis knapp unter 200 mg KCl /100 g Boden erreichen einerseits die zweimal mit Grüngutkompost gedüngten Varianten und andererseits die zweimal mit der geringsten Aufwandmenge von 200 dt gedüngten Varianten.

Im Herbst des letzten Versuchsjahrs haben sich die Salzgehalte teilweise erheblich verändert. Bei der Kontrolle ist ein Anstieg auf 154 mg KCl /100 g Boden feststellbar. Damit liegt die Kontrolle nun im unteren Bereich der gemessenen Werte. Auch jetzt weist keine Variante signifikant niedrigere Salzgehalte auf. Signifikant höhere Salzgehalte treten bei den beiden zweimal mit der höchsten Ausbringungsmenge Stallmist und Bioabfallkompost gedüngten Varianten auf.

Bei Varianten, bei denen im Frühjahr niedrigere Salzgehalte im Vergleich zur Kontrolle gefunden wurden, sind die Salzgehalte im Verlauf der Vegetationsperiode angestiegen. Dies gilt also für die einmal gedüngten Varianten, sie weisen nun meist Werte zwischen 141 und 192 mg KCl /100 g Boden auf. Die Varianten, die im Frühjahr die höchsten Salzgehalte hatten, liegen auch im Herbst noch an der Spitze. Dabei unterscheidet sich die Variante mit dem höchsten Salzgehalt von 239 mg KCl /100 g Boden, die Variante SM8 2x, nicht von den beiden Varianten mit nächst höheren Werten. Dies sind die Varianten BK8 2x mit 220 mg und die Variante SM4 2x mit 196 mg KCl /100 g Boden. Auch jetzt ist tendenziell zu beobachten, dass die mit Grüngutkompost gedüngten Varianten relativ niedrige Salzgehalte aufweisen. Die mit Bioabfallkompost gedüngten liegen im oberen Bereich der Werte. Zweimal gedüngte Varianten haben meist höhere Salzkonzentrationen im Oberboden als einmal gedüngte.

3.1.10 Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität des Bodens in 0 – 30 cm Bodentiefe wurde am Ende des dritten Versuchsjahres bestimmt. Die Kationenaustauschkapazität, die Belegung mit den Elementen Magnesium, Kalzium, Kalium und Natrium sowie die Summe dieser vier Elemente ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Kationenaustauschkapazität am Ende der dritten Vegetationsperiode (Gesamt-KAK, Belegung mit Mg, Ca, K und Na sowie Summe dieser Elemente).

Behandlung	Mg	Ca	K	Na	Summe (Mg, Ca, K, Na)	KAK (Ag)
	[mmolc/kg]					
0	1,1	13,5	1,9	0,2	31,1	41,6
BK2	1,4	17,0	2,3	0,4	39,5	47,7
BK22x	1,3	14,7	2,5	0,3	34,9	43,4
BK4	1,2	14,4	2,5	0,2	33,9	43,3
BK42x	1,3	14,9	3,2	0,3	36,1	46,2
BK8	1,8	21,3	3,3	0,6	50,0	59,5
BK82x	1,9	19,7	4,2	0,6	47,9	55,0
GK2	1,5	16,5	2,3	0,4	38,6	50,6
GK22x	1,6	16,8	2,2	0,2	39,1	46,3
GK4	1,5	18,1	2,3	0,3	41,8	50,8
GK42x	1,8	18,1	2,5	0,3	42,5	51,5
GK8	1,4	14,9	2,2	0,1	34,9	43,5
GK82x	1,9	19,0	3,3	0,5	45,6	53,2
SM2	1,2	13,0	2,1	0,2	30,6	41,0
SM22x	1,6	16,3	2,9	0,3	39,0	47,2
SM4	1,4	16,8	2,6	0,3	39,4	47,9
SM42x	1,4	14,8	4,2	0,3	37,0	46,5
SM8	1,1	11,9	2,6	0,3	29,0	38,7
SM82x	1,7	14,1	6,6	0,6	38,8	48,2
GD _{Tukey $\alpha=0,1$}	0,7	6,6	1,0	n.s.	14,6	13,5

n=79

Die Kontrolle weist mit 41,6 mmolc / kg eine relativ niedrige Kationenaustauschkapazität auf. Geringere Kationenaustauschkapazitäten finden sich nur bei den Varianten SM2 und SM8, jeweils einmal gedüngt. Die höchsten Kationenaustauschkapazitäten weisen die beiden mit der höchsten Aufwandmenge an Bioabfallkompost gedüngten Varianten auf. Dabei übersteigt die Kationenaustauschkapazität der einmal gedüngten BK8 Variante mit 59,5 mmolc / kg die Kationenaustauschkapazität der zweimal gedüngten Variante um 4,5 mmolc / kg. Signifikante Unterschiede bestehen zwischen den Varianten mit sehr hohen Kationenaustauschkapazitäten und solchen mit sehr niedrigen. Die Variante BK8 1x unterscheidet sich signifikant von der Kontrolle, den Varianten SM8 1x, SM2 1x, BK4 1x, BK2 2x und GK8 1x. Die Variante BK8 2x unterscheidet sich dagegen nur von den beiden Varianten mit den niedrigsten Kationenaustauschkapazitäten, das sind die Varianten SM8 und SM2, jeweils einmal gedüngt.

Tendenziell kann gesagt werden, dass die Düngung mit Komposten im Vergleich zu Stallmist eine erhöhte Kationenaustauschkapazität zur Folge hat.

Bei der Belegung mit Natrium weist die Kontrolle mit 0,2 mmolc / kg einen sehr geringen Wert im Vergleich mit den Behandlungen auf. Nur die einmal mit der höchsten Ausbringungsmenge an Grüngutkompost gedüngte Variante bleibt mit 0,1 mmolc / kg noch darunter. Den höchsten Wert von 0,6 mmolc / kg erreichen die mit den höchsten Mengen an Bioabfallkompost gedüngten Varianten und die zweimal mit der höchsten Gabe an Stallmist gedüngte Variante. Allerdings treten hier insgesamt keine signifikanten Unterschiede auf.

Bei der Belegung mit Natrium tritt eine große Reichweite der Werte auf. Allerdings läßt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Art des Düngers und dem Wert ableiten. Wohl aber tendenziell ein mengenmäßiger Zusammenhang.

Die Belegung der Austauscherstellen mit Kalium liegt zwischen 6,6 und 1,9 mmolc / kg. Der höchste Wert wird von der zweimal mit der höchsten Stallmistmenge gedüngten Variante erreicht. Hierbei unterscheidet sich diese Variante signifikant von allen anderen Varianten. Ebenfalls hohe Werte zwischen 3,3 und 4,2 mmolc / kg findet man bei den Varianten SM4 2x, BK8 2x, GK8 2x und BK8 1x.

Den niedrigsten Wert weist die Kontrolle auf. Es folgen die einmal oder zweimal mit nur geringen Gaben gedüngten Varianten. Es treten zahlreiche signifikante Unterschiede auf, die die große Spannbreite der Messwerte gruppieren.

Ein fast identisches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Werte der Belegung mit Magnesium und Kalzium. Beim Kalzium fällt dabei auf, dass Kompostdüngung zu einer deutlichen Erhöhung der Belegung im Vergleich zur Kontrolle und zu den mit Stallmist gedüngten Varianten führt. Dabei ergibt sich bei den mit Stallmist gedüngten Varianten kein Einfluss der wiederholten Ausbringung. Die höchsten Werte findet man bei den Varianten BK8 1x (21,3 mmolc / kg), BK8 2x (19,7 mmolc / kg) und GK8 2x (19,0 mmolc / kg). Den niedrigsten Wert der Kalziumbelegung der Austauscher findet man bei der Variante SM8 1x (11,9 mmolc / kg), gefolgt von der Variante SM2 1x (13,0 mmolc / kg) und der Kontrolle (13,5 mmolc / kg).

Beim Magnesium liegt die Kontrolle mit 1,1 mmolc / kg niedriger als jede Behandlung. Sie unterscheidet sich damit signifikant von den vier Varianten mit den höchsten Messwerten. Das sind die Varianten GK8 2x (1,9 mmolc / kg), BK8 2x (1,9 mmolc / kg), GK4 2x (1,8 mmolc / kg) und BK8 1x (1,8 mmolc / kg).

Bei der Betrachtung der Summe der durch die vier Elemente Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium belegten Austauscher ergibt sich also ein sehr ähnliches Bild, wie bei den Einzelementen.

Die mit Komposten gedüngten Varianten weisen sehr hohe Werte auf, wobei sich die einmal mit der höchsten Menge an Bioabfallkompost gedüngte Variante (BK8 1x 50,0 mmolc / kg) signifikant von den sechs Varianten mit den niedrigsten Werten unterscheidet. Darunter befindet sich auch die Kontrolle (31,1 mmolc / kg).

3.2 Physikalische Bodenuntersuchungen

3.2.1 Bodenwasserspannung

Um zu untersuchen, ob die unterschiedliche organische Düngung einen Einfluss auf den Wasserhaushalt des Bodens hat, wurden die Bodenwasserspannungen während der Vegetationsperiode mittels Tensiometern wöchentlich gemessen. Den Verlauf

der Wasserspannung in den Bodentiefen von 30, 60 und 90 cm sowie die für jeweils eine Woche zusammengefassten Niederschlagsmengen und Verdunstungswerte sind in Abbildung 14 bis 33 für die drei Versuchsjahre dargestellt. Die Werte für Niederschlag und Verdunstung wurden von den „Hinweisen zur Feldberegnung“ des Fachverbands Feldberegnung e.V. Hannover übernommen. Sie wurden in direkter Nähe des Versuchsstandorts ermittelt. Wo für eine Woche keine Verdunstungswerte angegeben sind, wurden Niederschlags- und Verdunstungswerte für einen Zeitraum von zwei Wochen angegeben. Sie sind dann in der darauf folgenden Woche dargestellt. 1997 wurde die Messung von Niederschlag und Verdunstung zwei Wochen vor der Messung der Tensiometerwerte eingestellt.

Da die Einzelwerte der eingebauten Tensiometer eine sehr große Streuung aufwiesen, wurde auf eine statistische Auswertung der Bodenwasserspannungen verzichtet. Zudem erscheint die gesamte Datenmenge angesichts der großen Streuung nicht groß genug.

Der Fachverband Feldberegnung e.V. Hannover (1997) charakterisiert das Jahr 1997 als zu trocken, allerdings vielen im Juli oft Niederschläge die 50 % über dem langjährigen Mittel lagen. Im August fielen dann in der ersten Monatshälfte keine Niederschläge. Der September war ebenfalls durch nur sehr geringe Niederschläge gekennzeichnet. Die klimatische Wasserbilanz weist vom 14. April bis zum 6. Oktober für Elze / Wedemark ein Defizit von 63 mm aus. Damit fällt es hier extrem niedrig aus. In der Umgebung lag es für diesen Zeitraum meist im Bereich von 168 mm (Hannover) bis 250 mm (Celle).

Unterschiedliche Wasserspannungen in Abhängigkeit von den Versuchsvarianten treten in den Zeiten hoher Wasserspannungen auf. Dies ist wie aus Abbildung 14 hervorgeht in der Vegetationsperiode 1997 bereits ab Ende Mai und von August bis Oktober der Fall. Bis Mitte Juni steigen die Wasserspannungen in allen Parzellen stark an.

In der Kontrolle und der Variante SM2 werden Werte über 400 hPa gemessen. Fast genauso hoch ist der Wert der Variante BK8. Dagegen weisen die Varianten BK4 und GK8 mit 188 und 163 hPa weit geringere Wasserspannungen auf. Die Wasserspannungen der anderen Varianten liegen zwischen 220 und 312 hPa. In der

25. bis 30. Kalenderwoche fallen die Wasserspannungen sehr stark ab. Ab August steigen die Wasserspannungen in 30 cm Bodentiefe wieder an, sie erreichen Mitte August einen Höchststand. In der Kontrolle und der Variante SM4 werden mit 569 und 599 hPa die höchsten Wasserspannungen gemessen. Bis auf die Variante BK4 weisen alle Varianten Werte oberhalb 300 hPa auf. Allerdings sind die Werte der Grünkompostvarianten mit 313 und 316 noch relativ niedrig.

Bis Anfang Oktober bleiben die Wasserspannungen in einem Bereich von deutlich über 100 hPa, oft auch über 200 hPa. Die Kontrolle weist meist die höchsten Wasserspannungen auf, die Variante SM8 folgt meist. Aber nun hat auch die Variante GK8 im Vergleich zu anderen hohe Werte. Ab Oktober weisen die Varianten im Bereich von 38 bis 80 hPa keine deutlichen Unterschiede mehr auf.

Wie Abbildung 15 zeigt treten in einer Bodentiefe von 60 cm Wasserspannungen in der gesamten Vegetationsperiode bis maximal 148 hPa auf. Ein fast identisches Bild ergibt sich auch für die Bodentiefe von 90 cm (Abbildung 16). Erst im September treten hier Wasserspannungen von etwas über 100 hPa auf.

Aus den oben beschriebenen Verläufen der Wasserspannungskurven ergeben sich die in den Abbildungen 17 und 18 dargestellten hydraulischen Gradienten. Zwischen den Bodenschichten von 30 und 60 cm Tiefe ergibt sich ab Ende Mai bis Mitte Juni eine nach oben gerichtete Wasserbewegung durch kapillaren Aufstieg. Danach kommt es bis einschließlich zum 1. August zu Versickerung. Nur in der Kontrolle und der SM2 Variante wurde am 9. Juli eine aufwärts gerichtete Wasserbewegung festgestellt. Ab der 32. Kalenderwoche bis Anfang Oktober kommt es dann zu nach oben gerichteten Wasserbewegungen. Eine Ausnahme bilden Anfang September die drei Biokompostvarianten mit beobachteter Versickerung.

In der gesamten Vegetationsperiode 1997 kam es zwischen den Bodentiefen von 60 und 90 cm zu keiner oder einer abwärts gerichteten Wasserbewegung. Eine Ausnahme bildet die Variante GK2 Ende Juni bis Anfang Juli und wenige einzelne Meßtermine Ende August / Anfang September. In den Varianten GK4, BK2, BK4 und SM2 kommt es dann an jeweils kurzzeitig zu kapillarem Aufstieg.

Das Jahr 1998 wird vom FACHVERBAND FELDBERECHNUNG E.V. HANNOVER (1998) als insgesamt zu nass und etwas zu warm eingestuft. Vom 7. bis zum 23. Mai gab es keinen Niederschlag, und vom 9. bis zum 15. war die Verdunstung sehr hoch.

Die Wasserspannungen des zweiten Versuchsjahrs sind in den Abbildungen 19 bis 21 dargestellt.

In diesem Jahr treten hohe Wasserspannungen nur einmal auf, nämlich im August. Zu diesem Zeitpunkt besonders hoher Wasserspannungen lassen sich zwischen den Varianten keine Unterschiede aufzeigen. Allerdings ist der Anstieg der Wasserspannungen von Ende Juli an bei der Kontrolle und etwas weniger ausgeprägt der Variante BK8 schneller verlaufen. Hier werden in der ersten Augustwoche Wasserspannungen von 423 hPa bei der Kontrolle und 398 hPa bei der BK8 Variante festgestellt. Die anderen Varianten weisen zu diesem Zeitpunkt Werte im Bereich um 200 hPa auf.

In der letzten Augustwoche fallen die Wasserspannungen in 30 cm Bodentiefe wieder auf sehr niedrige und einheitliche Werte ab. In diesem Zeitraum weisen die Behandlungen keine Unterschiede mehr auf.

In 60 und 90 cm Bodentiefe sind die Wasserspannungen in der gesamten Vegetationsperiode des zweiten Versuchsjahrs sehr niedrig. Unterschiede zwischen den Varianten treten nicht auf.

Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die Wasserbewegung zwischen den Bodenschichten 30 und 60 cm sowie 60 und 90 cm im zweiten Versuchsjahr. Zu Beginn der Messungen kommt es zwischen den Bodentiefen von 30 und 60 cm zu einer aufwärts gerichteten Wasserbewegung. Anfang Juni tritt dann zwischen diesen Bodentiefen bei den meisten Varianten eine Versickerung auf. Bis Anfang Juli bleibt die Wasserbewegung weiter uneinheitlich. In einzelnen Varianten kommt es zu kapillarem Aufstieg, meist aber zur Versickerung. Kapillarer Aufstieg ist v.a. bei den Varianten BK2, GK4, GK8 und der Kontrolle häufiger anzutreffen. Nachdem es in der zweiten und dritten Juliwoche fast überall zu einer abwärts gerichteten Wasserbewegung kommt, findet sich bei allen Varianten ab Ende Juli / Anfang August ein kapillarer Aufstieg von 60 zu 30 cm Bodentiefe. Dies bleibt bis zur letzten

Augustwoche so, ab dann überwiegt aber wieder die Versickerung bis zum Ende der Messungen im Oktober.

Zwischen den Bodenschichten 60 und 90 cm kommt es fast während der gesamten Vegetationsperiode zur Versickerung. Zu keinem Termin kommt es überwiegend oder bei allen Varianten zu kapillarem Aufstieg. Ein Einfluss der Versuchsbehandlung ist nicht sichtbar.

Im Gegensatz zum vorangegangenen Jahr wird das dritte und letzte Versuchsjahr vom FACHVERBAND FELDBEREGNUNG E.V. HANNOVER (1999) als zu trocken, zu warm und mit mehr Sonnenschein als im Durchschnitt beschrieben. Ende April setzte eine Trockenperiode ein, die bis Ende September dauerte. Allerdings wurde sie des öfteren kurz und einmal länger, nämlich vom 5. bis zum 20. August, unterbrochen.

Dadurch ergibt sich ein häufiges Steigen und Fallen der Bodenwasserspannungen. Sie sind für die einmal organisch gedüngten Varianten in den Abbildungen 24 bis 26 für die drei Bodentiefen und in den Abbildungen 27 bis 29 für die zweimal organisch gedüngten Varianten dargestellt.

Bis Mitte Juli steigen und fallen die Werte der Bodenwasserspannung in einem Bereich von meist über 100 bis fast immer unter 250 hPa. Mitte Juli werden dann sehr hohe Wasserspannungen erreicht, in der Kontrolle 530 hPa.

In allen einmal gedüngten Varianten liegen sie im Bereich zwischen 293 hPa bei der Variante BK2 und 573 hPa bei der Variante BK4. Bei den einmal gedüngten Varianten liegt nur dieser Wert über dem der Kontrolle. Die meisten Varianten weisen Wasserspannungen zwischen 300 und 425 hPa auf, wobei die Varianten mit den geringeren Ausbringungsmengen oft niedrigere Wasserspannungen aufweisen.

Eine ähnliche Situation ergibt sich bei den zweimal gedüngten Varianten. Die größte Wasserspannung findet sich hier bei der Variante SM8, relativ niedrige Wasserspannungen zwischen 265 und 400 hPa weisen noch die Varianten BK8, GK2 und GK4 auf.

Die Wasserspannungen in allen Varianten fallen dann zum 19. August stark ab, hier werden nur Werte zwischen 7 und 42 hPa gemessen.

Danach steigen die Wasserspannungen bis Ende September stark an. Am 22. September wurden die größten Wasserspannungen des Jahres gemessen. In der Kontrolle liegen sie mit 588 hPa am höchsten. Sie liegen bei keiner anderen Variante unter 295 hPa, der Mittelwert der einmal gedüngten Varianten liegt bei 417 hPa und der der zweimal gedüngten bei 382 hPa. Hier war auch der Anstieg zu den Maximalwerten nicht so steil verlaufen wie bei den einmal gedüngten Varianten.

In der ersten Oktoberwoche finden sich in allen Varianten wieder sehr niedrige Wasserspannungen.

In einer Bodentiefe von 60 cm sind zu Beginn der Tensiometermessungen am 21. Mai 1999 recht einheitliche Wasserspannungen von 55 bis 97 hPa zu finden. Sie steigen in den nächsten zwei Wochen langsam und gleichmäßig an, bei der Kontrolle auf 141 hPa. Der Wert der zweimal mit 400 dt Stallmist gedüngten Variante liegt mit 229 hPa darüber, alle anderen etwas darunter.

Im allgemeinen bleiben die Werte der Bodenwasserspannung in 60 und auch 90 cm Bodentiefe unterhalb von 200 hPa. Ab Mitte September kommt es bei allen Varianten in beiden Bodentiefen zu einem Anstieg auf Werte darüber. Die Unterschiede sind allerdings sehr groß.

Auch fällt in 60 und 90 cm Bodentiefe auf, dass die Kontrolle und die zweimal mit der höchsten Grüngutkompostgabe gedüngte Variante ab Anfang / Mitte Juli für den Rest des untersuchten Zeitraums wesentlich höhere Wasserspannungen aufweisen. Sie liegen bei der Kontrolle oft über 300 und beim Grüngutkompost oft über 400 hPa. In 90 cm Bodentiefe erreicht die Kontrolle sogar Wasserspannungen von bis zu 550 hPa, allerdings fällt sie im Gegensatz zur Grüngutkompostvariante Mitte August auch kurzfristig auf ein fast durchschnittliches Niveau von 125 hPa ab.

In 90 cm Bodentiefe sind von Mitte Juni bis Mitte Juli in zahlreichen Varianten im Vergleich sowohl zu anderen Varianten und den beiden vorangegangenen Jahren deutlich höhere Wasserspannungen aufgetreten. Bei den zweimal gedüngten sind

dies die drei Bioabfallkompostvarianten und die Variante SM4. Bei den einmal gedüngten die Varianten BK4, BK8, GK8, SM2 und SM4.

Wie die Abbildungen 30 bis 33 zeigen sind sowohl Versickerung als auch kapillarer Aufstieg im dritten Versuchsjahr anzutreffen. Zwischen den Bodentiefen 30 und 60 cm kommt es oft in einzelnen Varianten zu kapillarem Aufstieg, während in anderen Versickerung auftritt. Mitte Juli tritt bei allen Varianten mit Ausnahme der GK8 2X Variante eine nach oben gerichtete Wasserbewegung auf. Mitte August kommt es überall zur Versickerung.

Zwischen den Bodentiefen 60 und 90 cm kommt es sehr oft zu nach unten gerichteten Wasserbewegungen. Ab September tritt dann bei sehr vielen Varianten kapillarer Aufstieg auf, allerdings zu keinem Zeitpunkt bei allen.

Bei beiden Bodentiefen, also 30 - 60 cm und 60 - 90 cm, kommt es bei der Kontrolle häufiger zur Versickerung als in jeder anderen Variante.

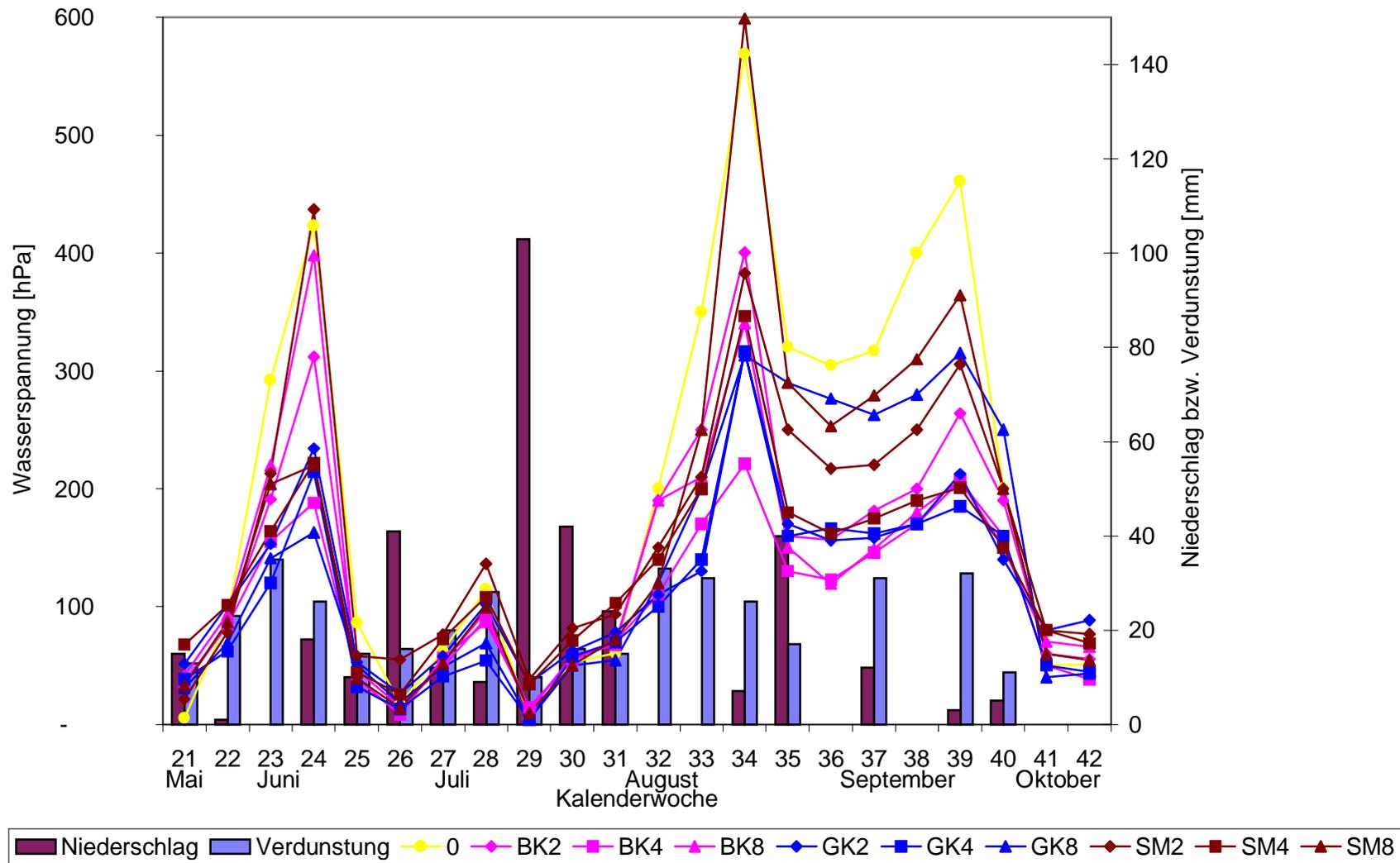


Abbildung 14: Wasserspannungsverlauf in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

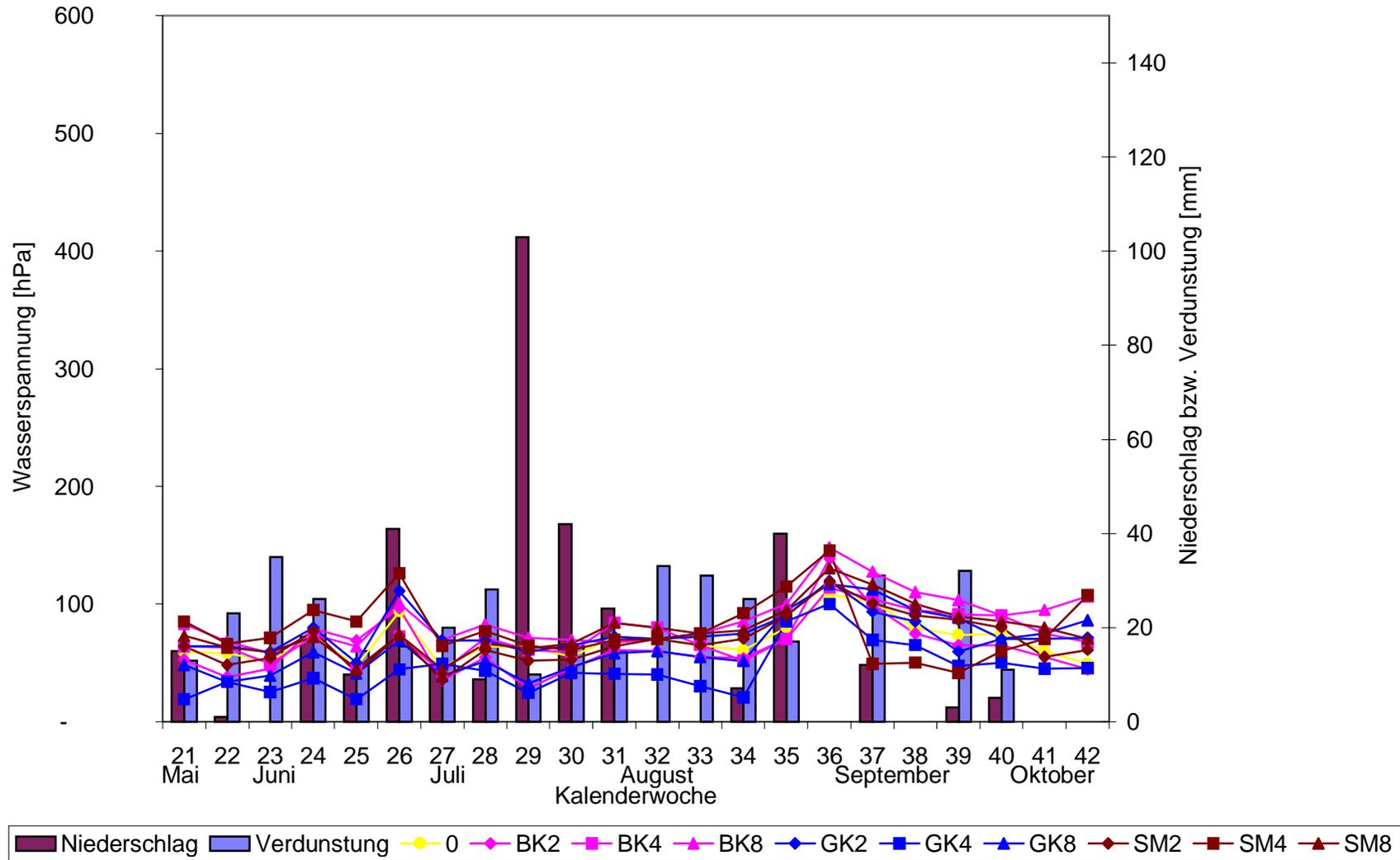


Abbildung 15: Wasserspannungsverlauf in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

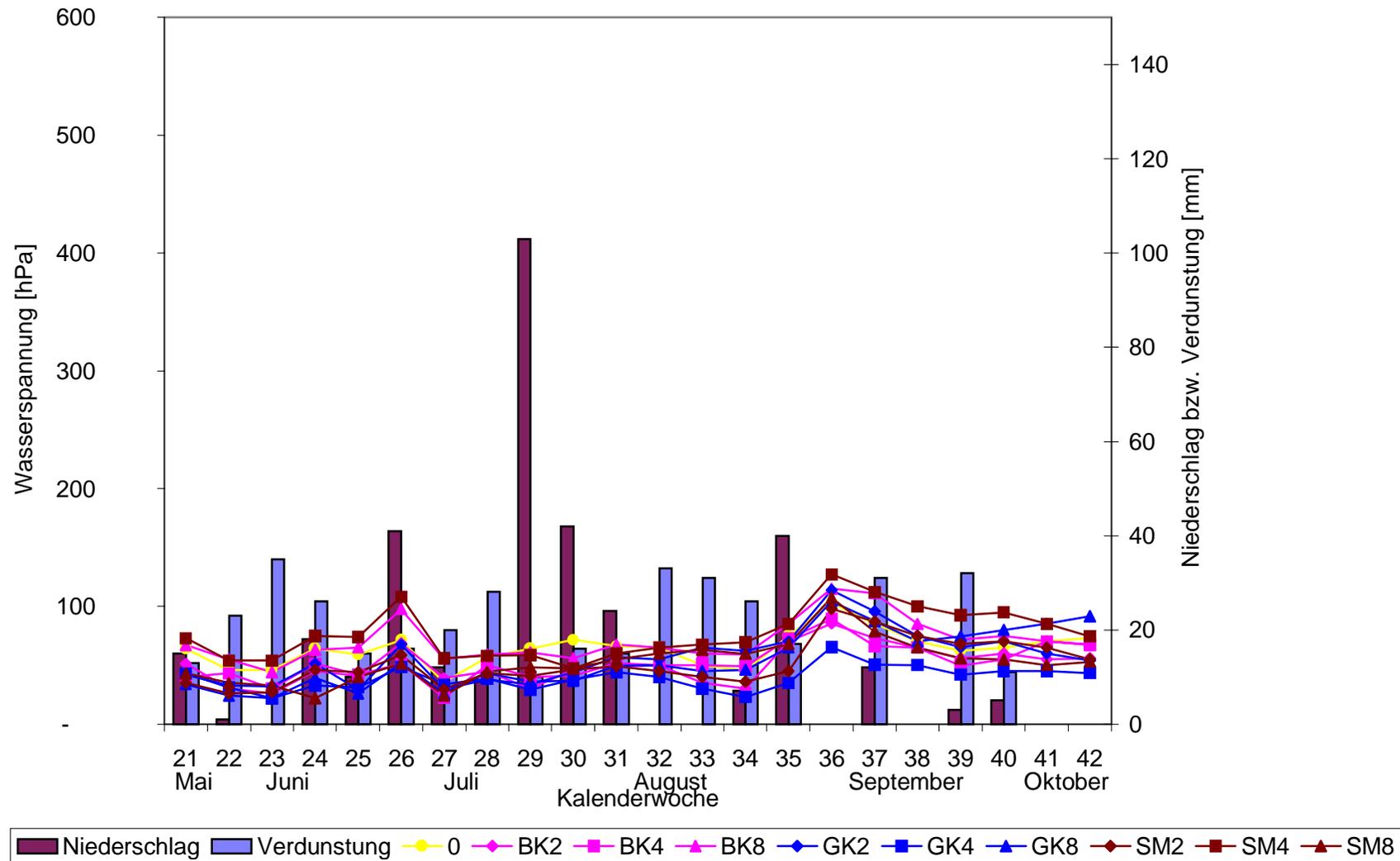


Abbildung 16: Wasserspannungsverlauf in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

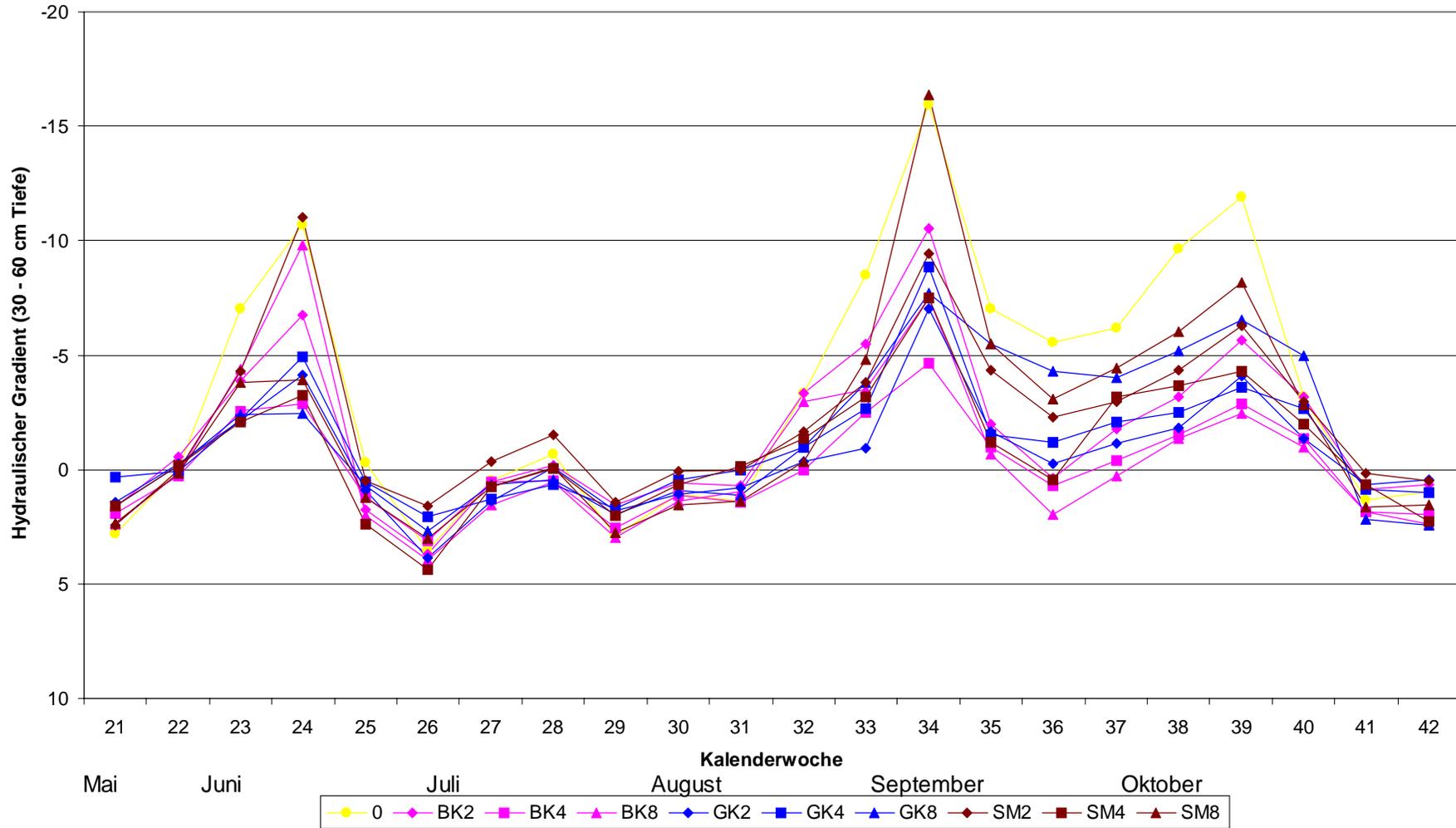


Abbildung 17: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 30 – 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997

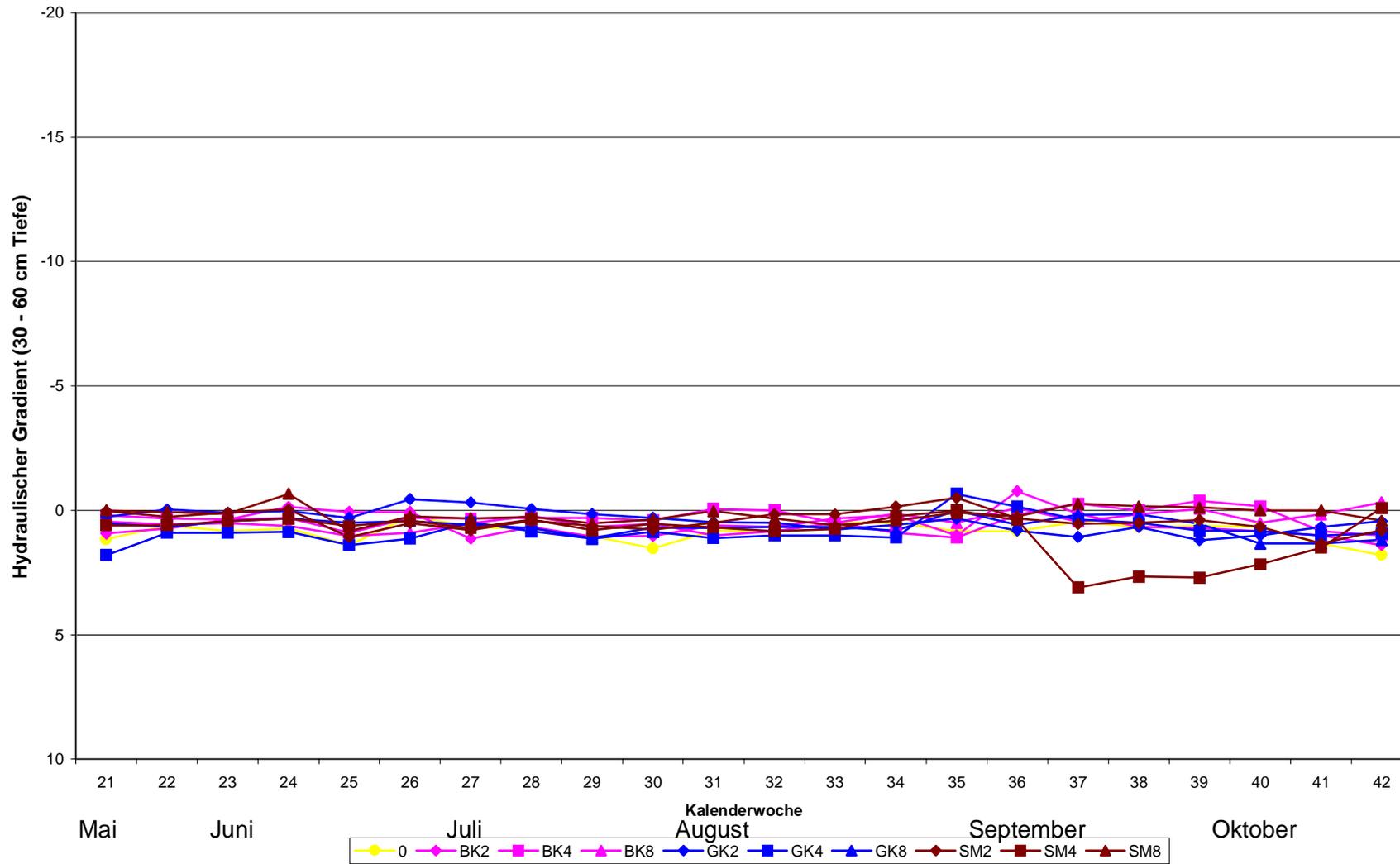


Abbildung 18: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1997

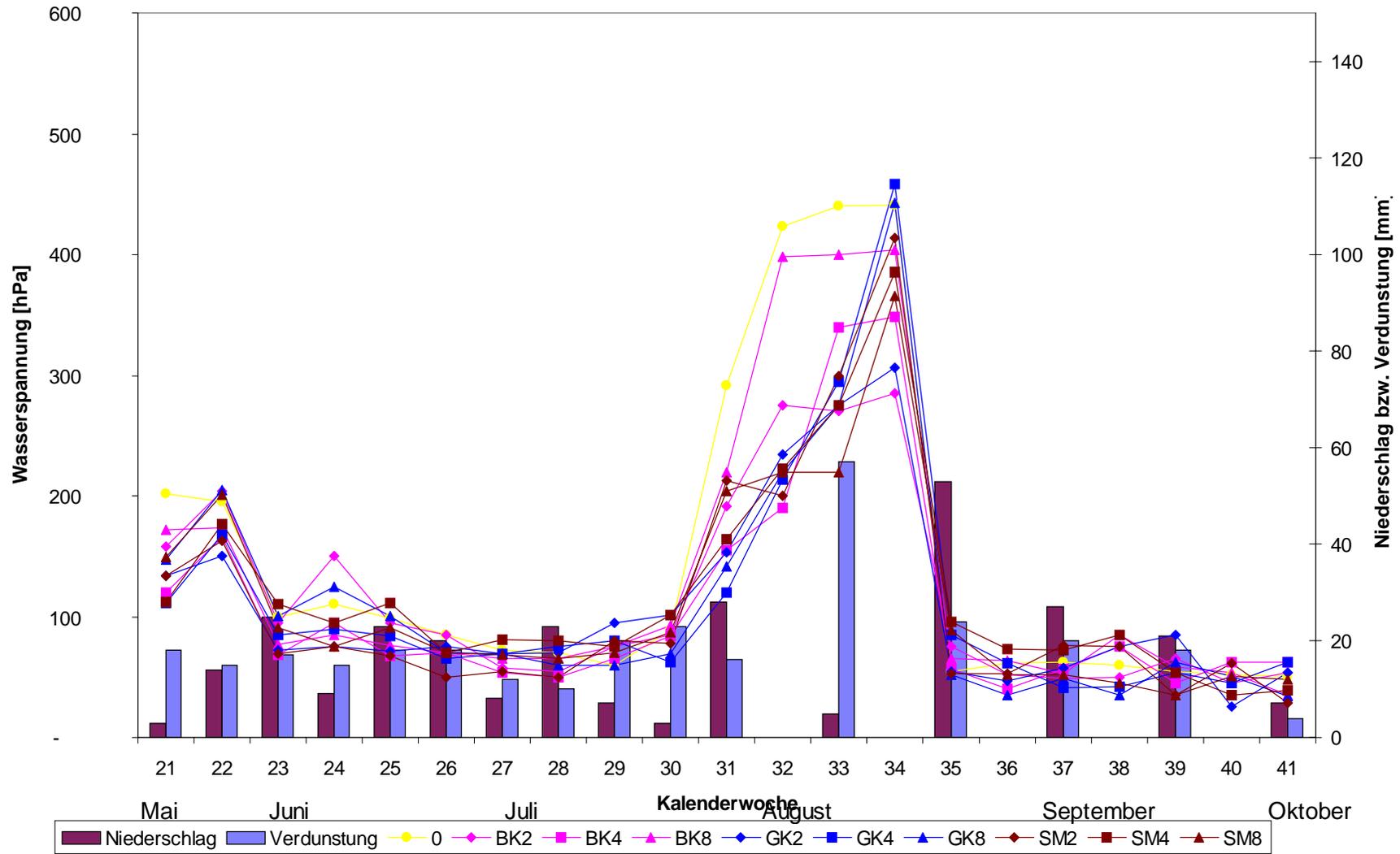


Abbildung 19: Wasserspannungsverlauf in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

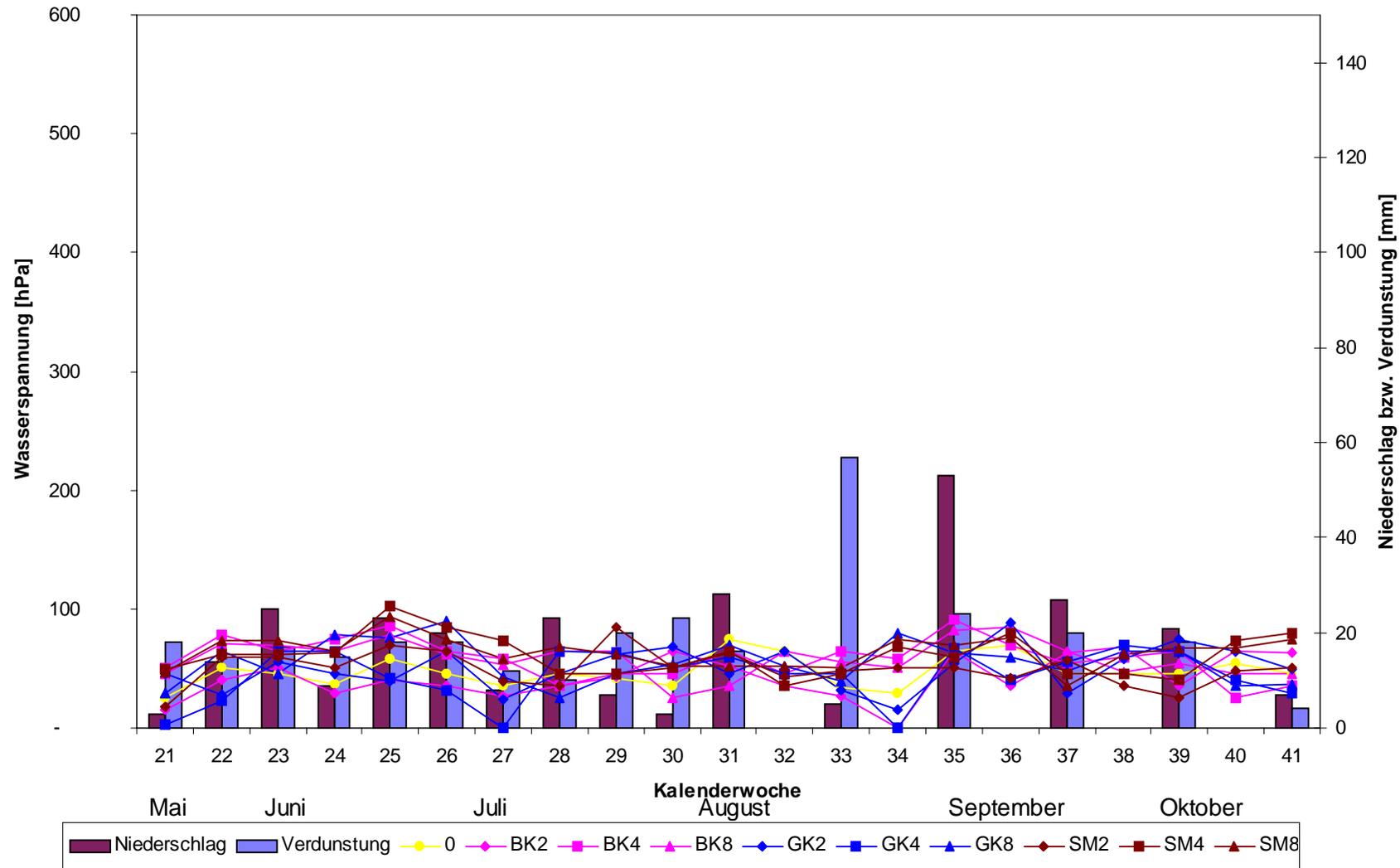


Abbildung 20: Wasserspannungsverlauf in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

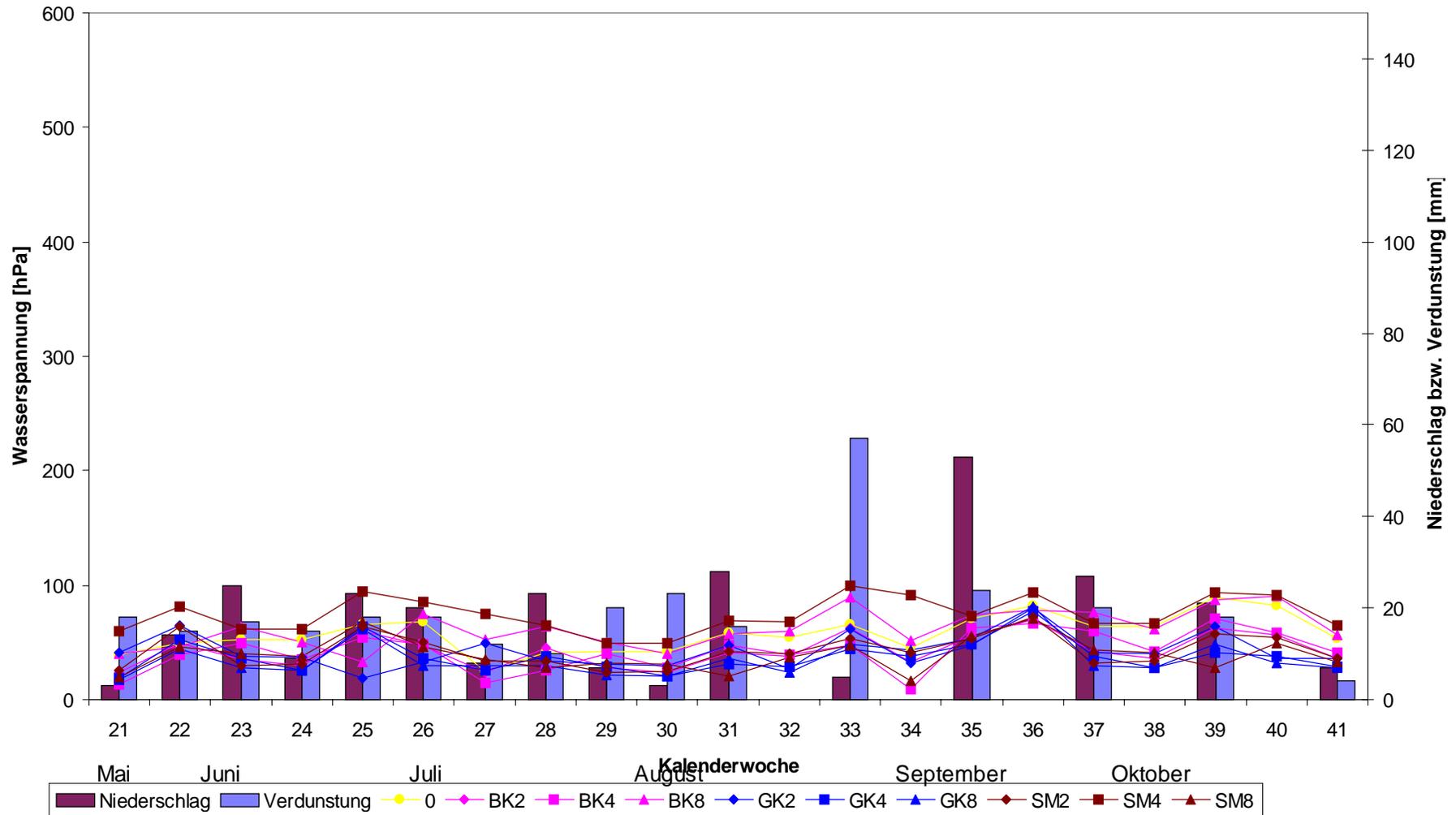


Abbildung 21: Wasserspannungsverlauf in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

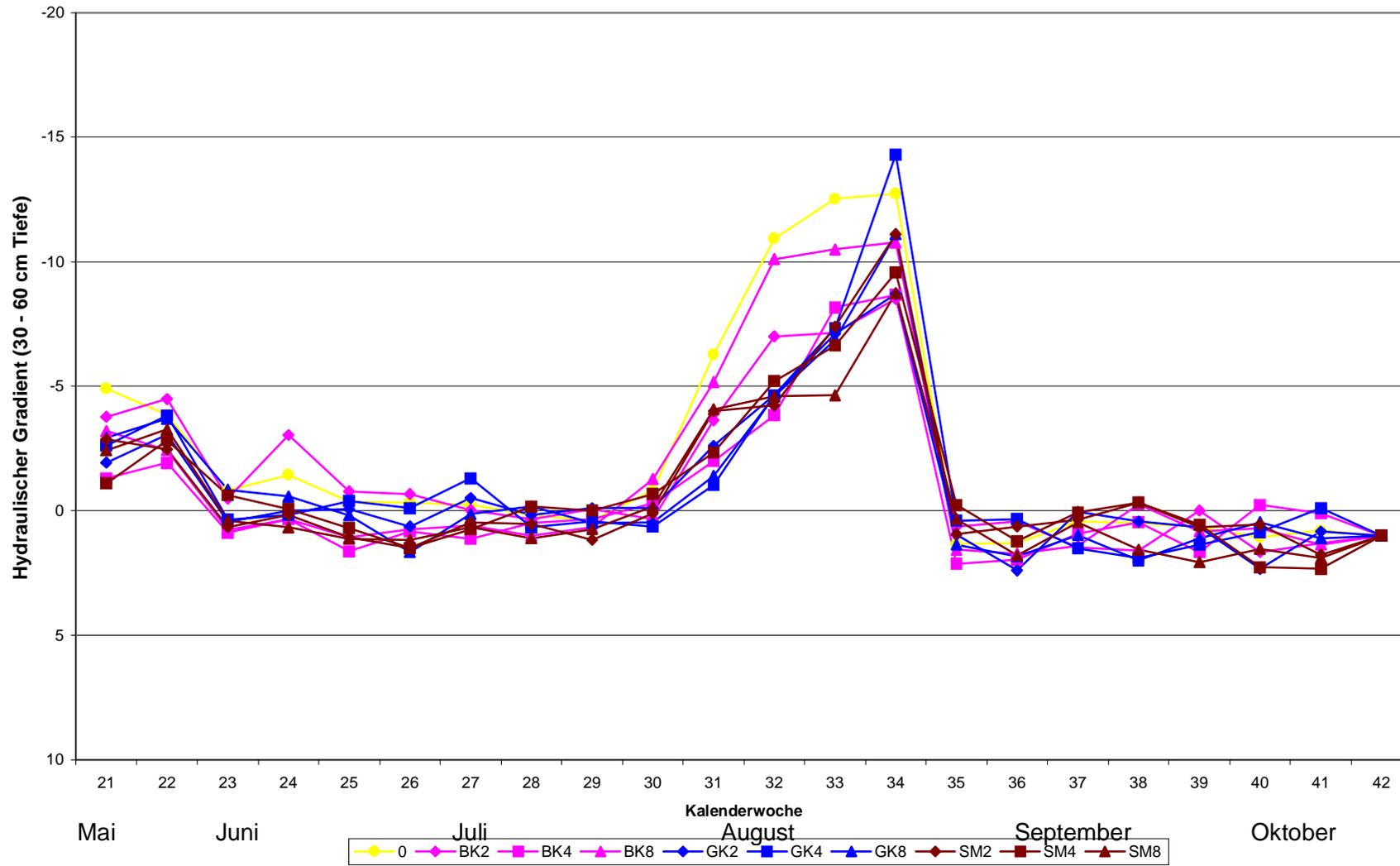


Abbildung 22: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 30 - 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998

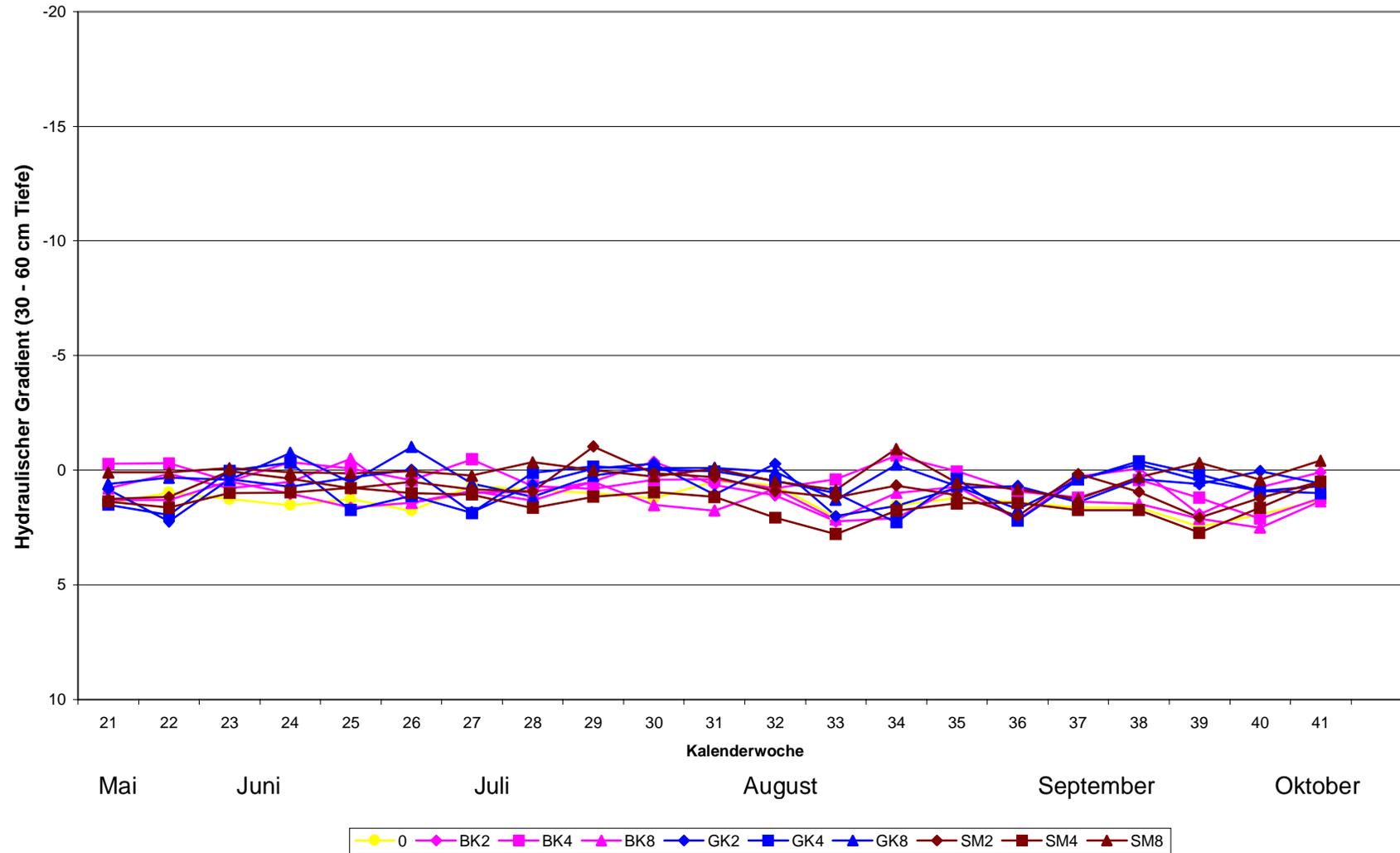


Abbildung 23: Hydraulische Gradienten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung in der Vegetationsperiode 1998

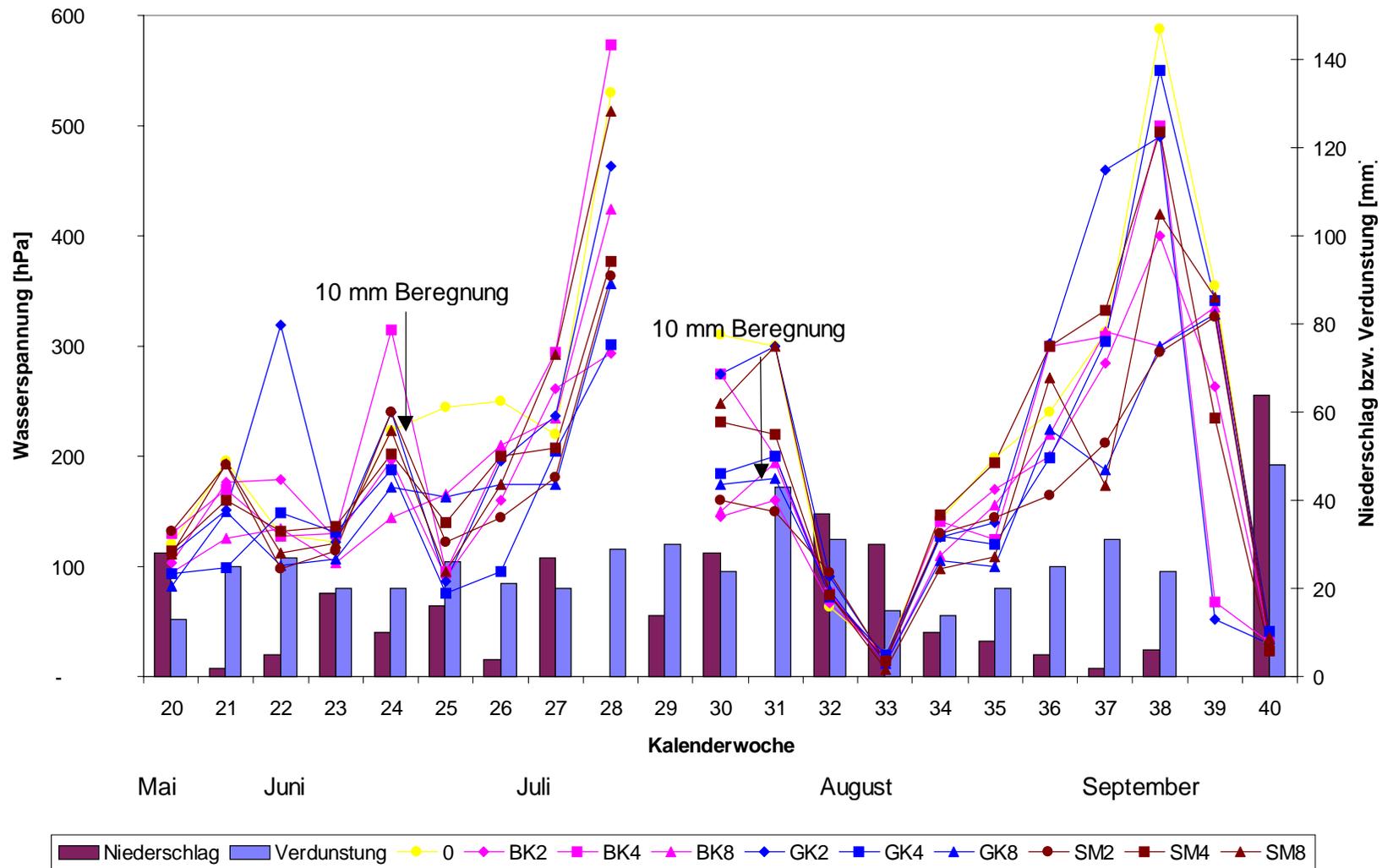


Abbildung 24: Wasserspannungsverlauf der einmal gedüngten Varianten in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

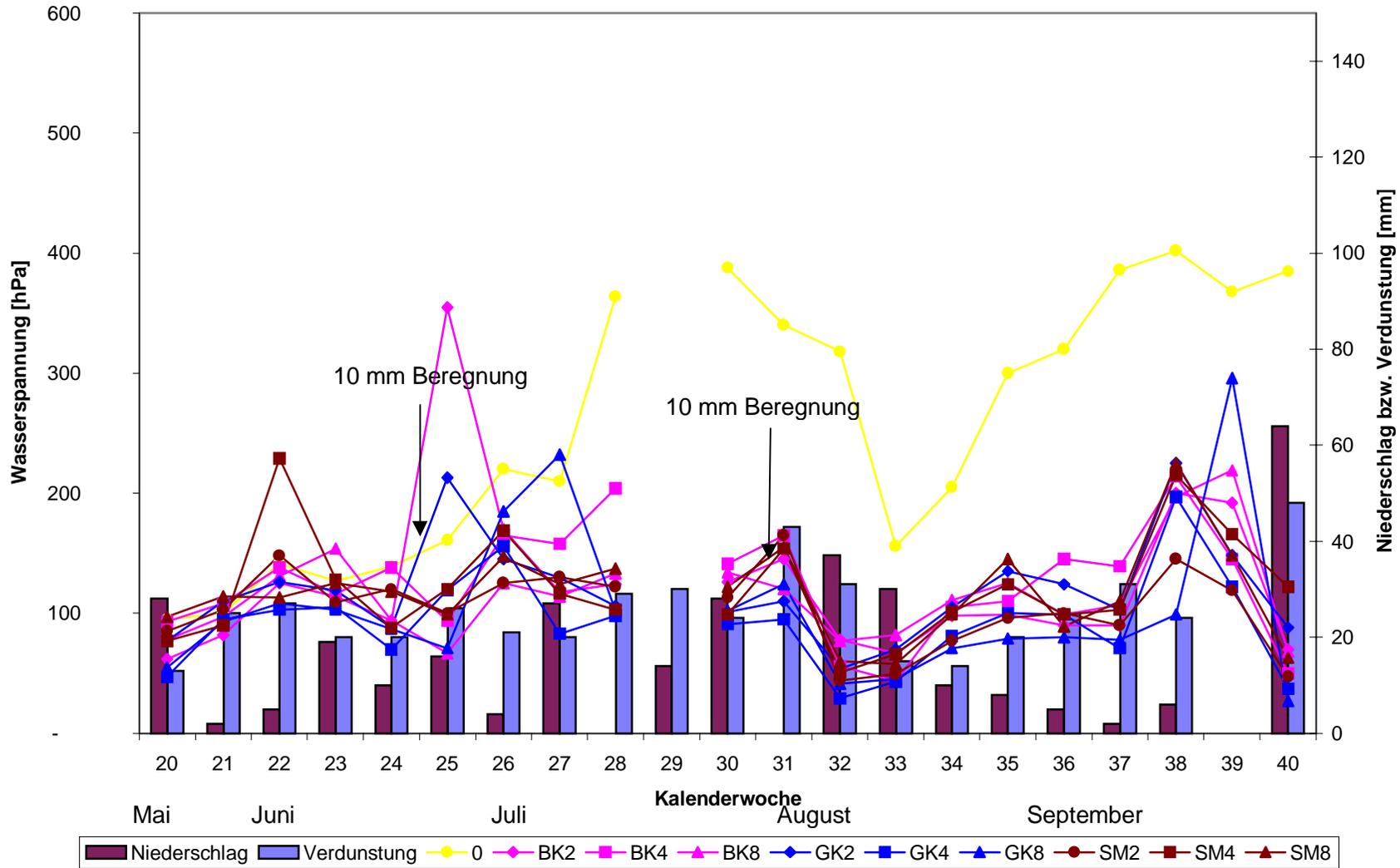


Abbildung 25: Wasserspannungsverlauf der einmal gedüngten Varianten in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

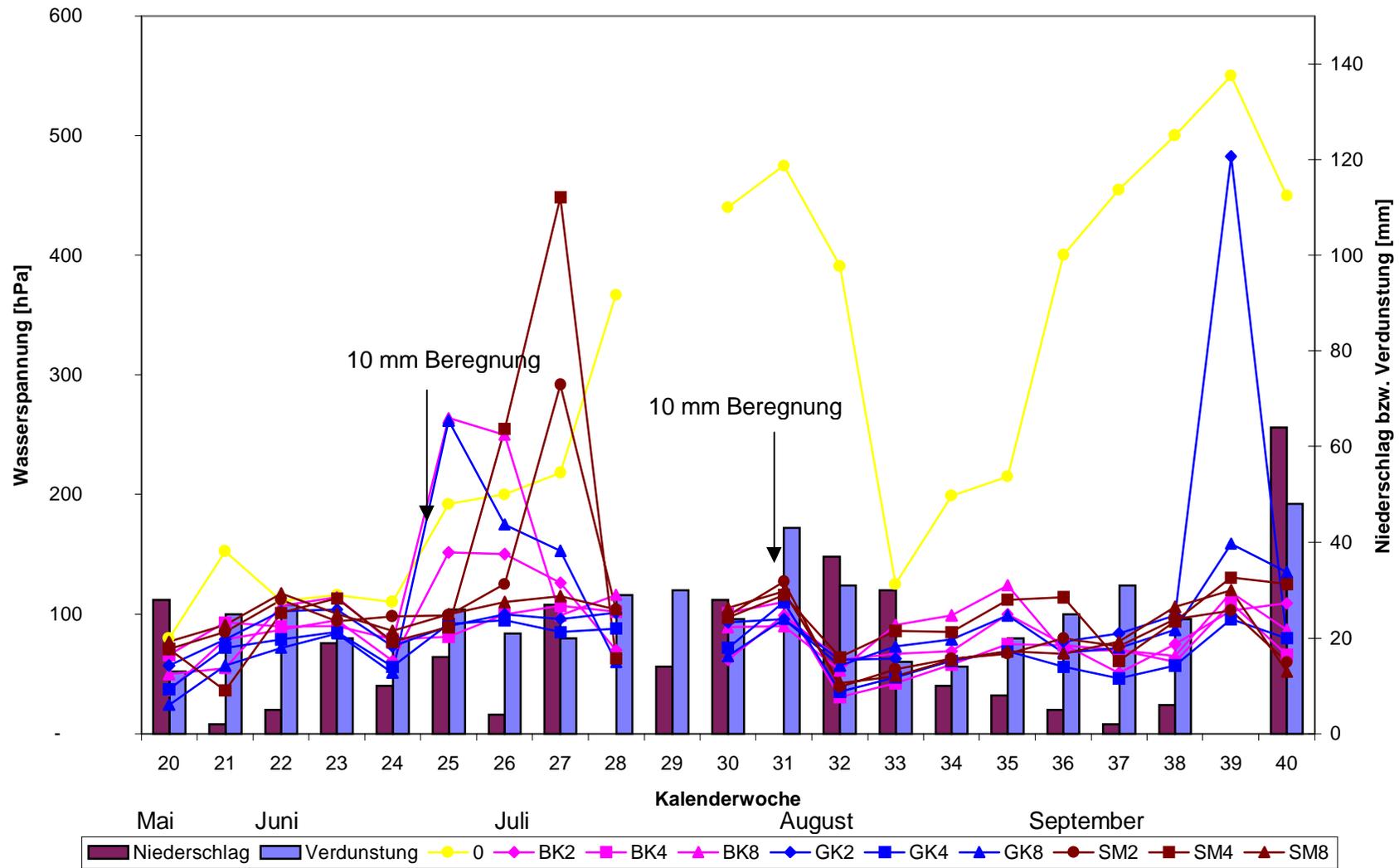


Abbildung 26: Wasserspannungsverlauf der einmal gedüngten Varianten in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

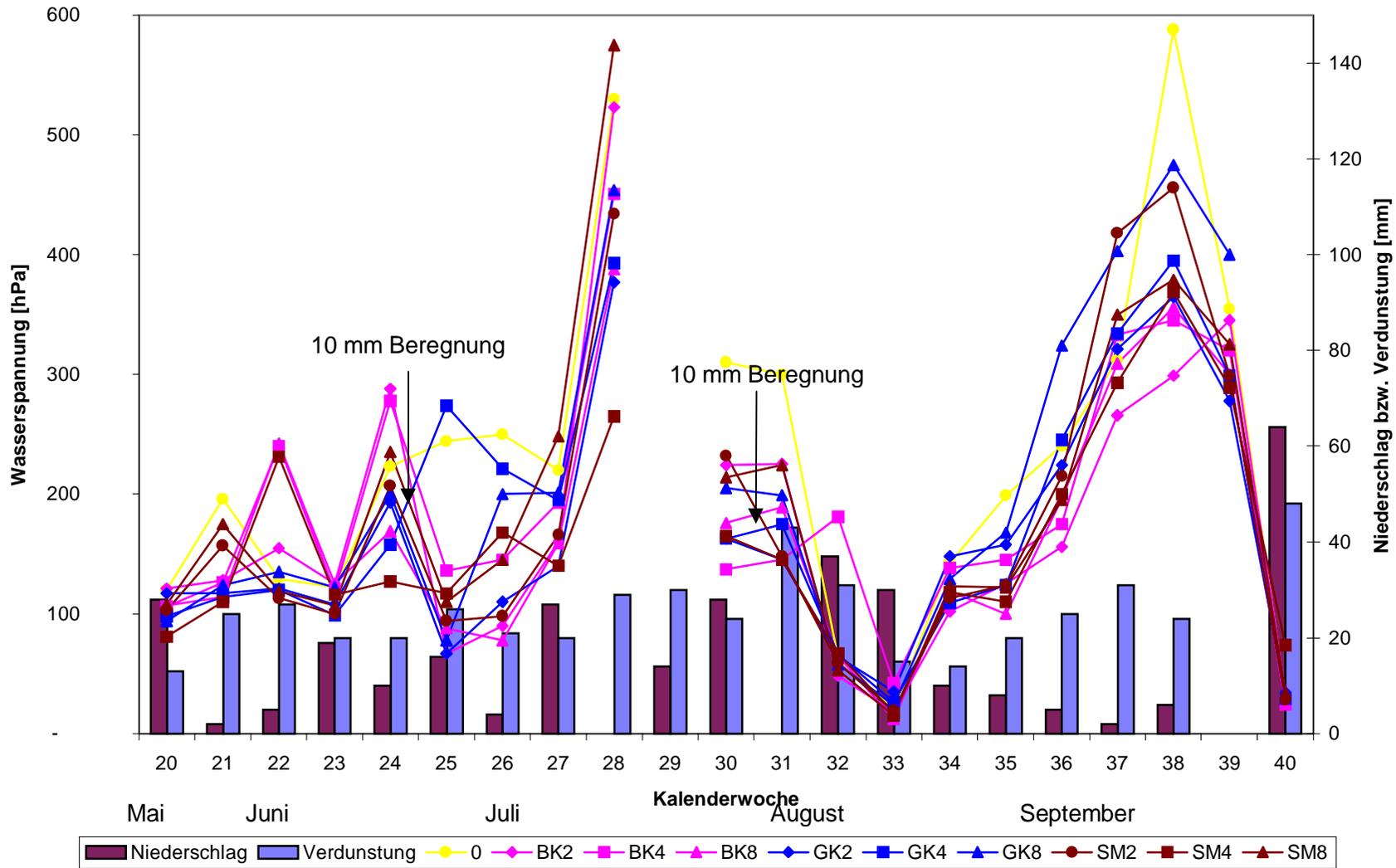


Abbildung 27: Wasserspannungsverlauf der zweimal gedüngten Varianten in 30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

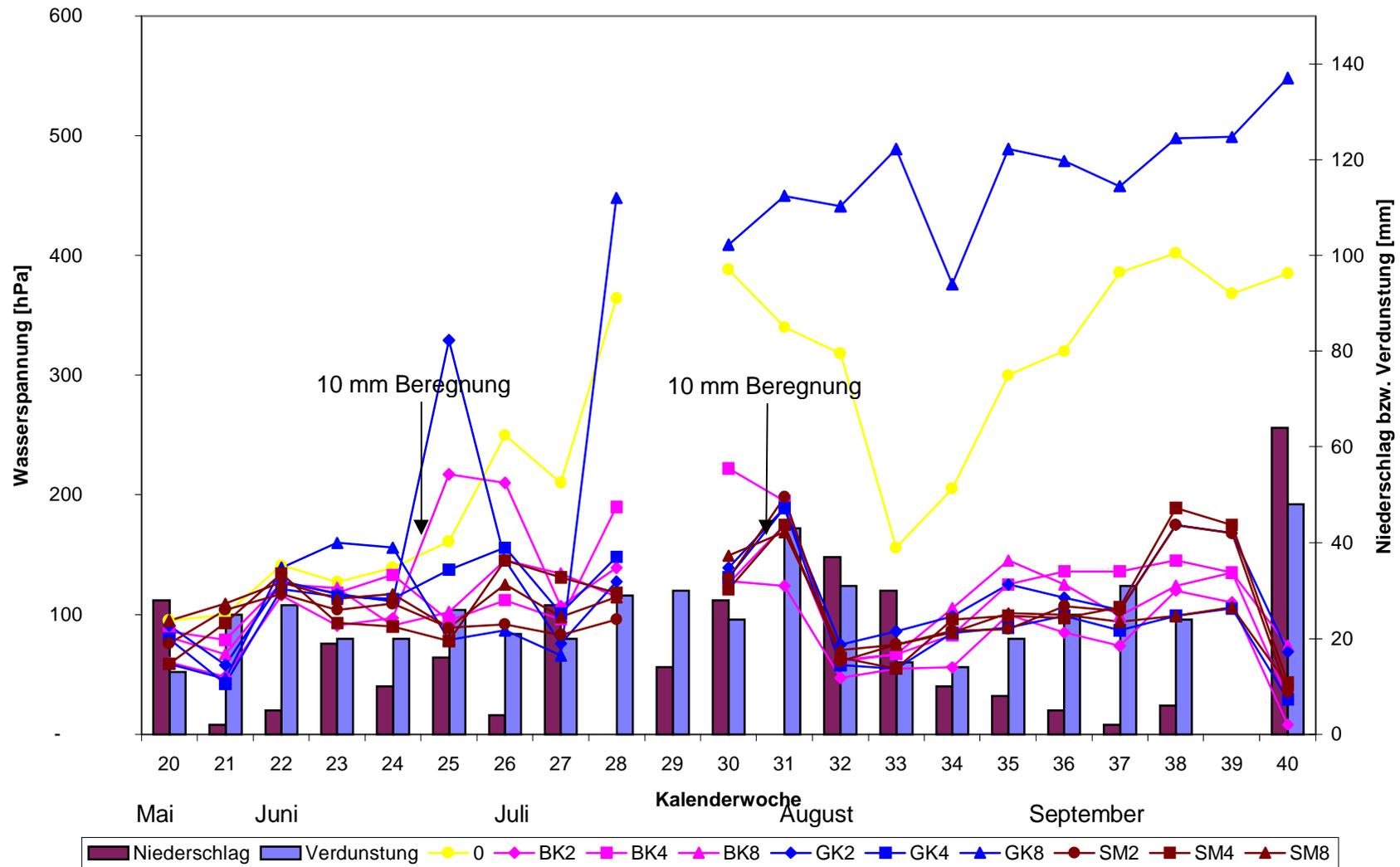


Abbildung 28: Wasserspannungsverlauf der zweimal gedüngten Varianten in 60 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

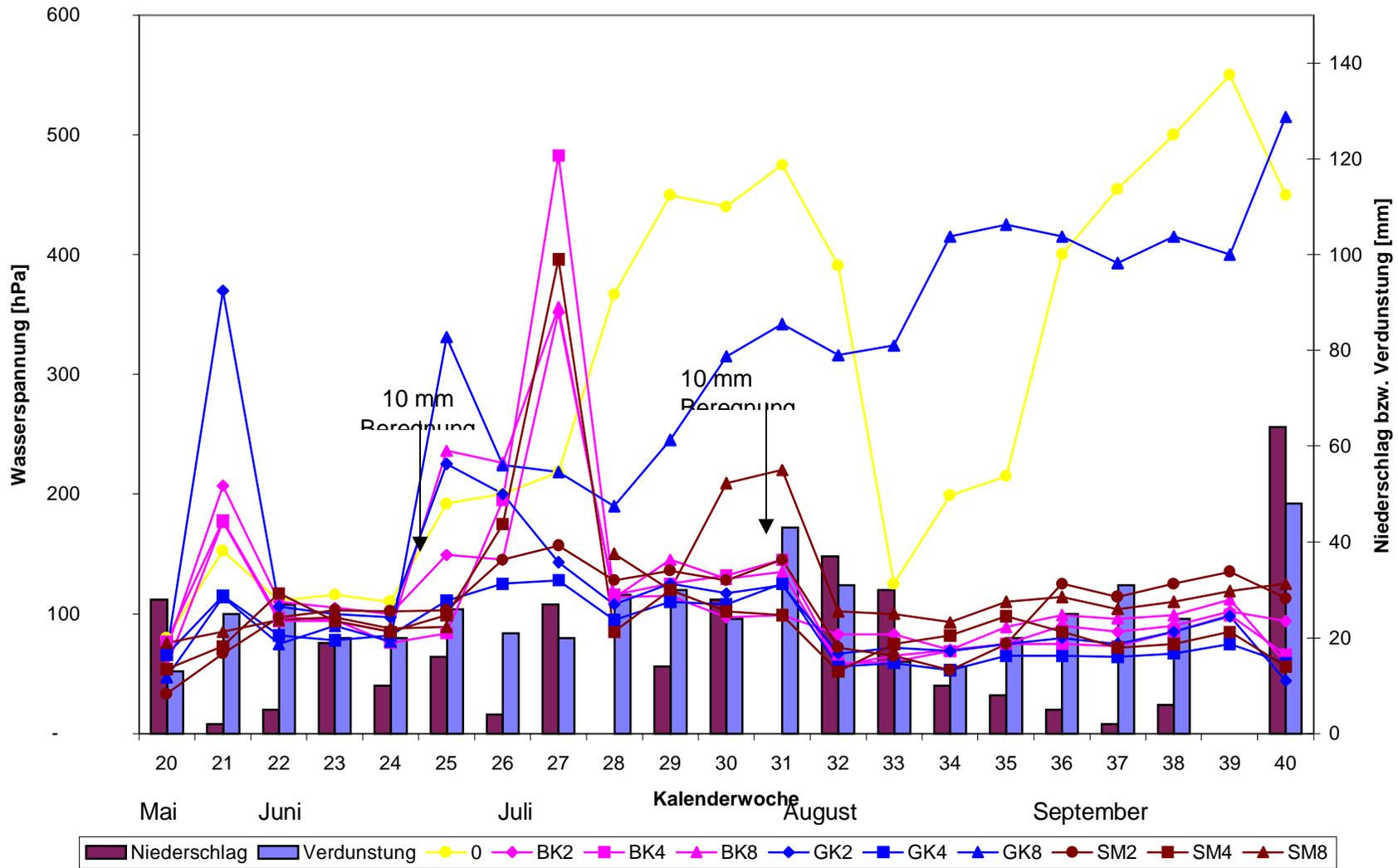


Abbildung 29: Wasserspannungsverlauf der zweimal gedüngten Varianten in 90 cm Bodentiefe in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999 sowie Niederschlags- und Verdunstungssummen

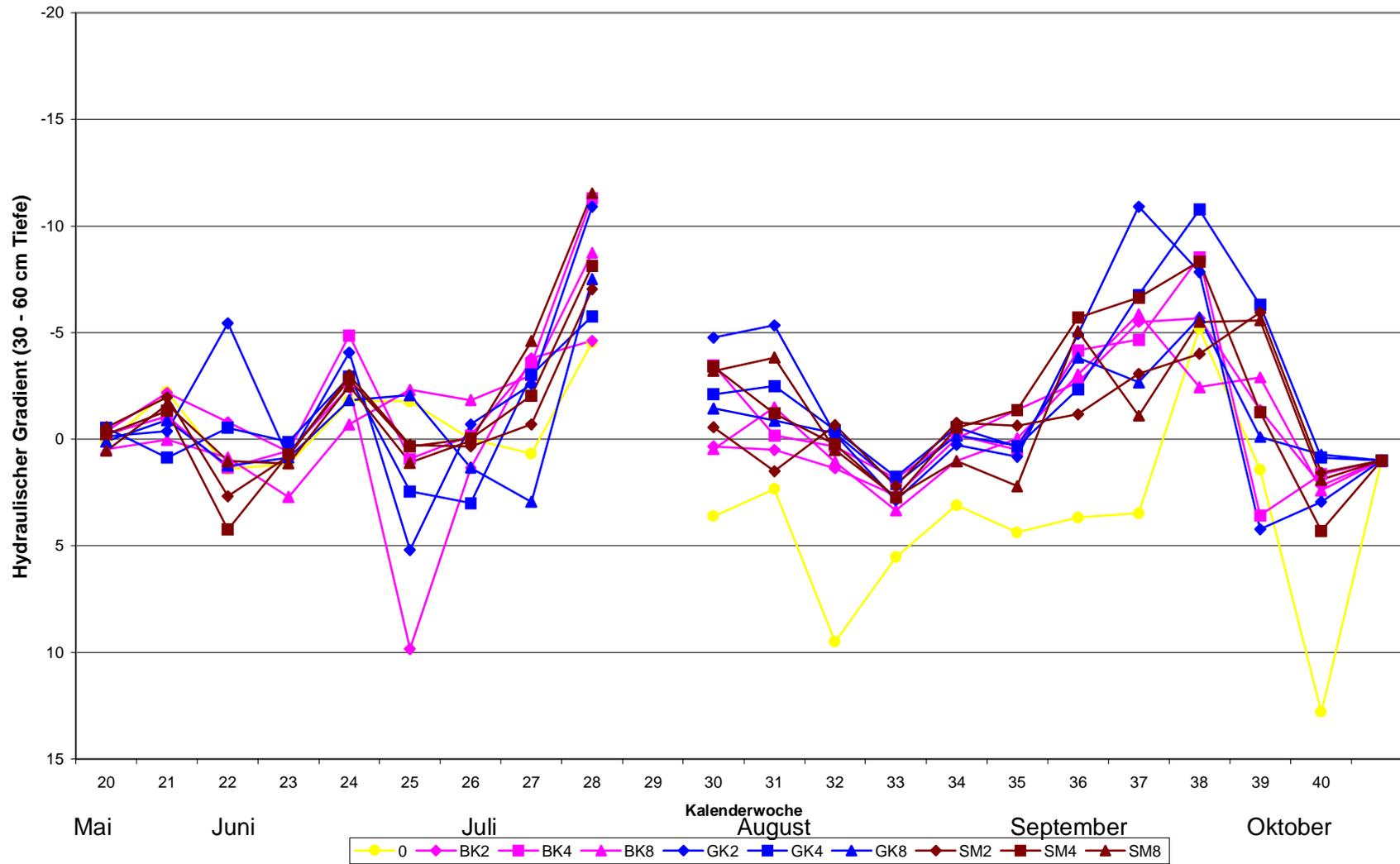


Abbildung 30: Hydraulische Gradienten der einmal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 30 - 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999

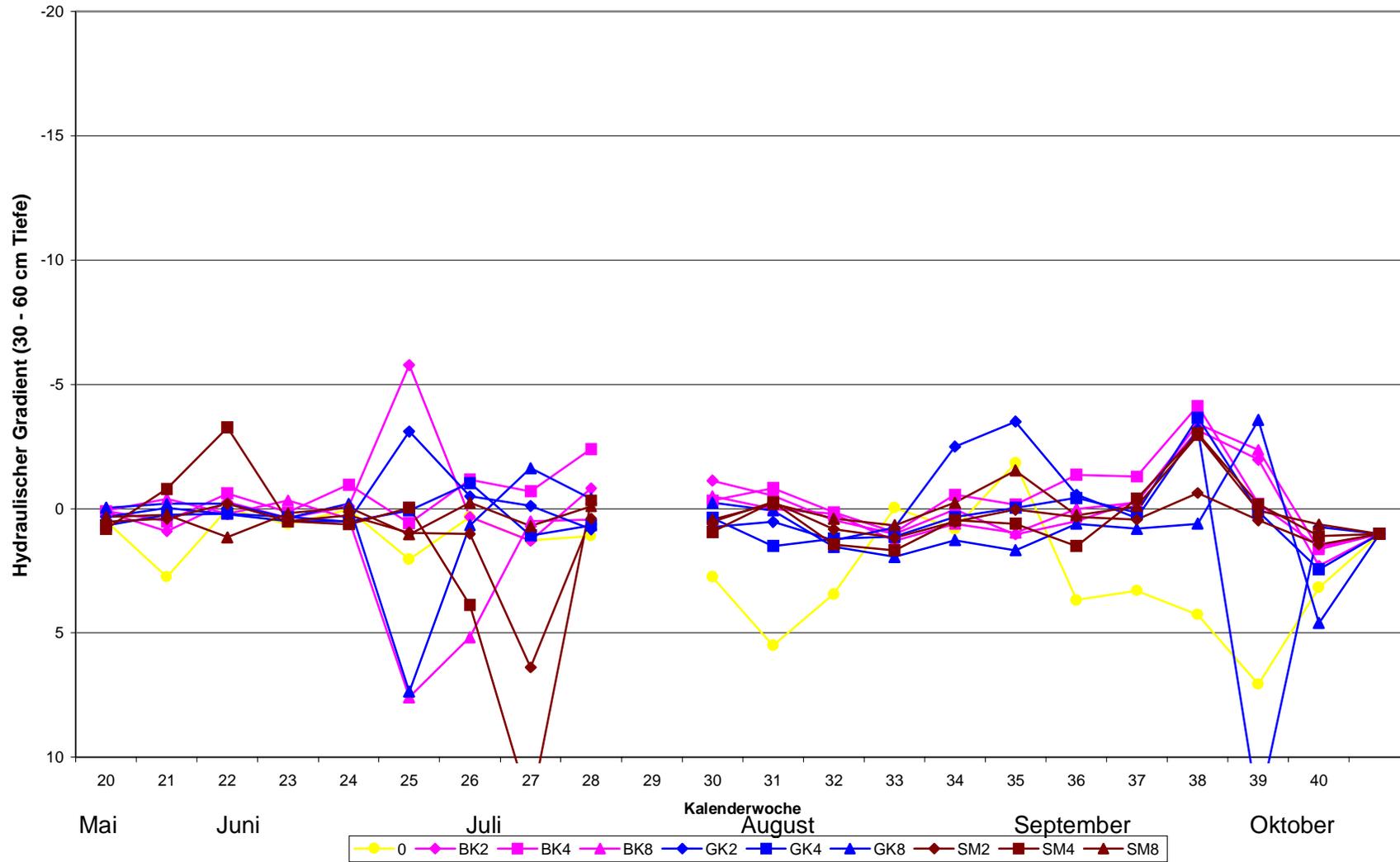


Abbildung 31: Hydraulische Gradienten der einmal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999

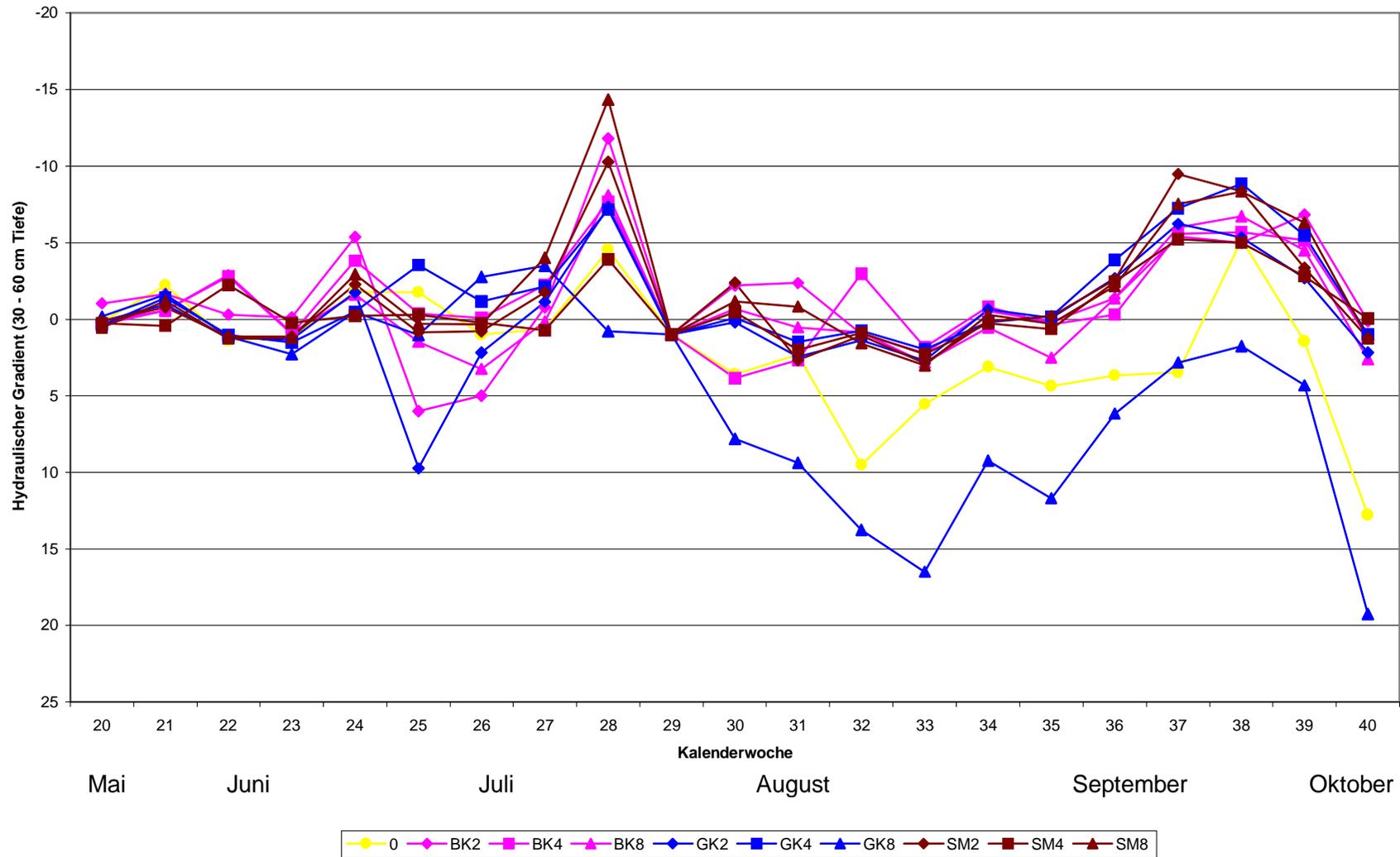


Abbildung 32: Hydraulische Gradienten der zweimal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 30 - 60 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999

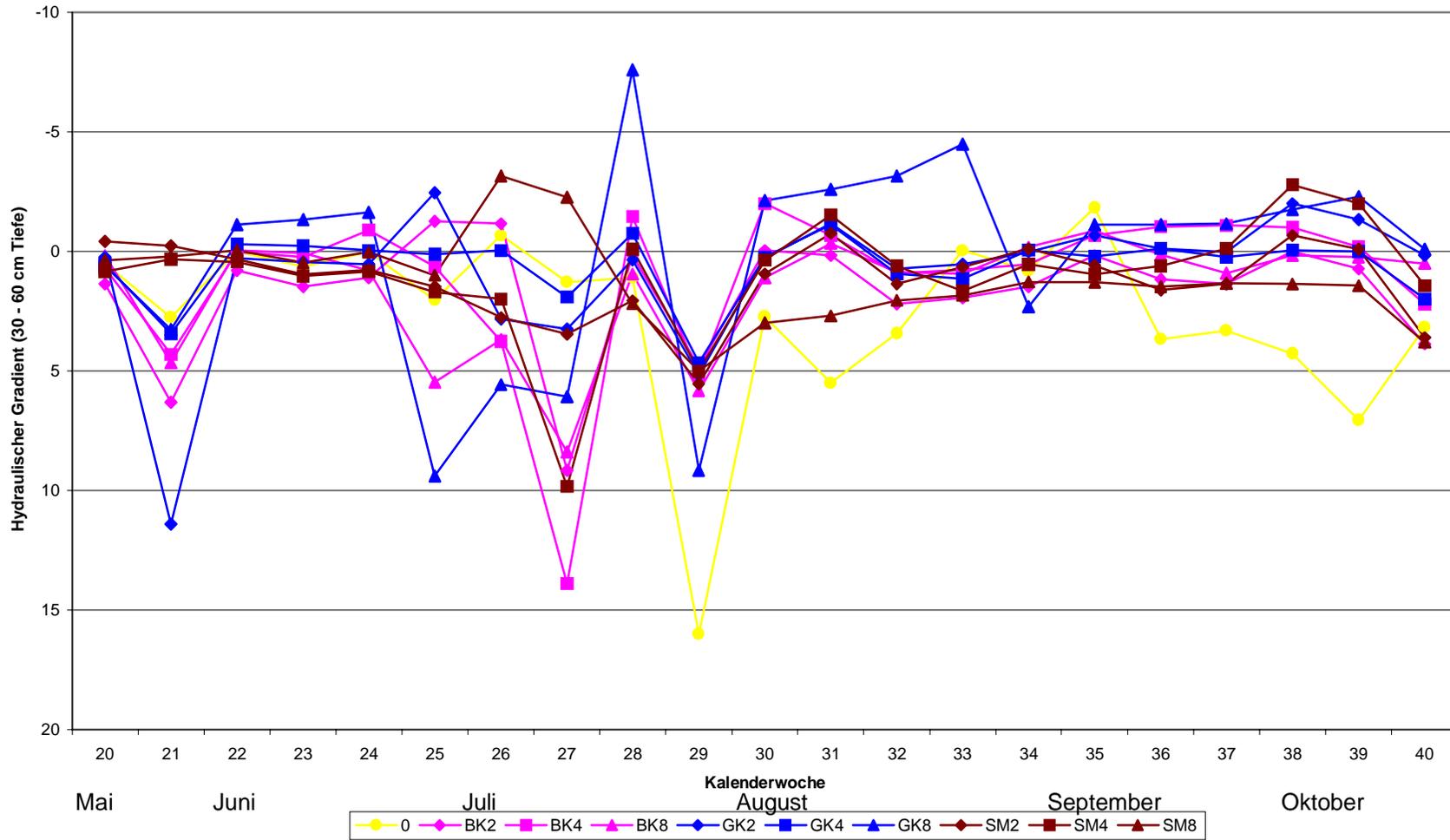


Abbildung 33: Hydraulische Gradienten der zweimal gedüngten Varianten in der Bodenschicht 60 - 90 cm in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Vergleich zur Kontrolle in der Vegetationsperiode 1999

3.2.2 Lagerungsdichte und Porenvolumen

Die in ca. 20 cm Bodentiefe ermittelten Lagerungsdichten und Porenvolumina des Bodens in Abhängigkeit von den Behandlungen sind für die Untersuchungstermine in Anhang 26 bis Anhang 29 dargestellt. Dabei sind neben den Mittelwerten auch die Werte der einzelnen Parzellen in der untersuchten ersten und vierten Wiederholung angegeben.

Im Mittel hat der Boden der Kontrolle im Juni des ersten Versuchsjahres eine Lagerungsdichte von $1,30 \text{ g/cm}^3$. Dabei ist die Lagerungsdichte in der ersten Wiederholung mit $1,23 \text{ g/cm}^3$ niedriger und in der vierten mit $1,36 \text{ g/cm}^3$ höher. Im Mittel sind die Lagerungsdichten der mit Komposten gedüngten Behandlungen niedriger, sie liegen zwischen $1,22$ und $1,28 \text{ g/cm}^3$. Dieser Effekt tritt so auch in der vierten Wiederholung auf, allerdings auf einem höheren Niveau der Werte. In der ersten Wiederholung treten beim Bioabfallkompost teilweise höhere Lagerungsdichten als bei der Kontrolle auf. Beim Grüngutkompost sind sie niedriger oder bei der höchsten Aufwandmenge gleich hoch wie die Kontrolle. Die mit Stallmist gedüngten Varianten weisen im Mittel höhere Lagerungsdichten auf, dies ist auf höhere Lagerungsdichten in der ersten Wiederholung zurückzuführen. In der vierten treten teilweise niedrigere und bei der Aufwandmenge von 400 dt Stallmist eine höhere Lagerungsdichte von $1,41 \text{ g/cm}^3$ auf. Die absoluten Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle sind aber gering, diese weist eine Lagerungsdichte von $1,36 \text{ g/cm}^3$ auf.

Die Porenvolumina entsprechen diesen Werten. Die Kontrolle weist ein Porenvolumen in der ersten Wiederholung von 55 Vol. % auf, in der vierten Wiederholung von 50 Vol. %, im Mittel von 52 Vol. %.

Im Mittel sind die Porenvolumina der mit Komposten gedüngten Behandlungen höher. Sie liegen bei 53 bis 55 Vol. %. Die Porenvolumina der mit Stallmist gedüngten Behandlungen liegen mit 48 bis 49 Vol. % niedriger. Diese beiden Wirkungen sind wie bei den Lagerungsdichten nicht in beiden Wiederholungen eindeutig ausgeprägt.

Die Komposte konnten bei den niedrigen Porenvolumina der vierten Wiederholung einen Anstieg bewirken, der Stallmist aber keinen eindeutigen Abfall. Andererseits

konnte der Stallmist bei dem hohen Porenvolumen in der ersten Wiederholung einen Abfall bewirken, der Kompost aber keinen weiteren Anstieg.

Im Herbst des zweiten Versuchsjahres sind die Lagerungsdichten gestiegen, im Mittel von 1,30 auf 1,39 g/cm³. Die Porenvolumina sind dementsprechend gesunken. Bei der Kontrolle ist das Porenvolumen im Mittel um 4 Prozentpunkte auf 48 Vol. % gesunken. Dies ist auf einen Abfall nur in der ersten Wiederholung zurückzuführen. In der vierten Wiederholung bleibt es mit 50 Vol. % unverändert. Damit weist die Kontrolle in dieser Wiederholung zugleich mit der GK8 Variante das größte Porenvolumen auf. Die mittleren Porenvolumina sind in beiden Wiederholungen gesunken. Aber in der ersten Wiederholung ist der Abfall besonders ausgeprägt. Hier treten nun im Gegensatz zum Sommer des ersten Versuchsjahres die niedrigeren Porenvolumina auf. Auch im Gegensatz zum Sommer des ersten Versuchsjahres weisen nun die mit Stallmist gedüngten Varianten die höchsten Porenvolumina auf. Sie liegen mit 45, 48 und 49 Vol. % meist über der Kontrolle mit 45 Vol. %.

In den ersten beiden Versuchsjahren ist kein eindeutiger Effekt der Aufwandmengen feststellbar. Wenn sich auch einheitliche Wirkungen der Düngerarten Kompost und Stallmist feststellen lassen, so ist doch kaum ein Effekt der Düngermenge aufgetreten.

Im Mai des dritten Versuchsjahres ist die Lagerungsdichte der Kontrolle auf 1,44 g/cm³ gestiegen und das Porenvolumen auf 44 Vol. % gesunken. Dabei entspricht die Kontrolle im Mittel nun fast dem Mittel der Behandlungen. Es treten kaum Unterschiede zwischen den Behandlungen auf. Auch die Unterschiede zwischen den Wiederholungen haben sich angeglichen. Allerdings sind bei den gedüngten Varianten die Porenvolumina in der ersten Wiederholung noch etwas höher. Insgesamt treten Unterschiede von meist wenigen Prozentpunkten auf, diese sind keinesfalls größer als die Unterschiede der Parallelmessungen einer Versuchsparzelle.

Zum Ende des Versuchs im Oktober 1999 weist die Kontrolle mit jeweils einem Porenvolumen von 46 Vol. % in beiden Wiederholungen und einer Lagerungsdichte von jeweils 1,40 g/cm³ nur geringfügig veränderte Werte auf. Auch die Mittelwerte

aller Behandlungen haben sich nur äußerst geringfügig verändert. Es bleibt jedoch die grundsätzliche Feststellung, dass die Porenvolumina in der ersten Wiederholung im Mittel etwas größer sind. Allerdings lässt sich für keine der Behandlungen oder Behandlungsgruppen wie Düngerart, Düngermenge oder Ausbringungshäufigkeit eine einheitliche Tendenz mehr aufzeigen.

3.2.3 Porengrößenverteilung

Die Ergebnisse der Wasserspannungskurven dargestellt als Porengrößenverteilungen sind im Angang 30 bis Anhang 33 dargestellt.

Im Sommer des ersten Versuchsjahres weist die Kontrolle im Mittel einen Volumenanteil von 33 Vol. % weite Grobporen auf. Die mit Komposten gedüngten Varianten liegen ebenfalls in diesem Bereich. Die mit Stallmist gedüngten liegen mit 27 oder 28 Vol. % darunter.

Der Anteil der engen Grobporen liegt im Mittel und bei der Kontrolle bei 7 Vol. %. Es ergeben sich keine Unterschiede in Abgängigkeit von der Behandlung.

Der Anteil der Mittelporen liegt bei der Kontrolle bei 8 Vol. %. Bei den mit Grüngutkompost gedüngten Varianten liegt er mit 9 bis 11 Vol. % stets darüber. Der Anteil der Feinporen ist in der Kontrolle mit 3 Vol. % der niedrigste. In den mit Stallmist gedüngten Varianten ist er mit 5 bis 6 Vol. % teilweise doppelt so groß.

Die Einarbeitung von Stallmist führte also zu einer Verschiebung von den groben zu den feinen Poren, bei einer gleichzeitigen Abnahme des gesamten Porenvolumens.

Bei den weiteren Untersuchungsterminen lassen sich bei den engen Grobporen, den Mittelporen und den Feinporen keine Unterschiede in Abhängigkeit von der Düngerart und Düngermenge und der Ausbringungshäufigkeit feststellen. Der Volumenanteil der weiten Grobporen ist meist deutlich geringer als beim ersten Untersuchungstermin. Es kommt vom Oktober 1998 bis zum letzten Versuchsjahr zu einem Rückgang des Anteils dieser Porengröße. Eine Beziehung zwischen

Behandlung und weiten Grobporen ist aber nicht feststellbar. Meist entspricht die Kontrolle dem Mittelwert der Behandlungen. Auf eine ausführlichere Beschreibung der Wasserspannungskurven wird daher verzichtet.

3.3 Pflanzenuntersuchungen

3.3.1 Frisch- und Trockensubstanzerträge

Die zum Ende der Vegetationsperioden durchgeführte Ermittlung von Frisch- und Trockensubstanzerträgen zeigt ein uneinheitliches Bild. Klare Einflüsse der Behandlungen lassen sich nur sehr schwer finden. Da zwischen Frisch- und Trockensubstanzerträgen nur zahlenmäßige Unterschiede bestehen, wird hier auf die Darstellung von Trockensubstanzerträgen verzichtet. Die Frischsubstanzerträge der ersten beiden Jahre sind in Abbildung 34 dargestellt.

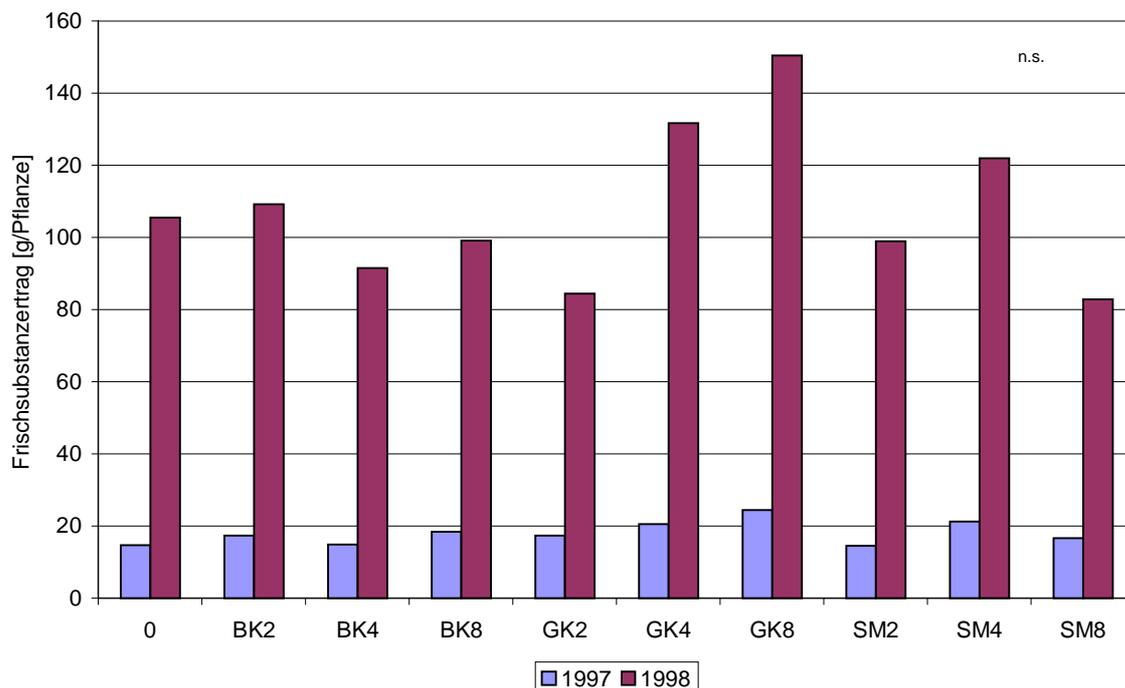


Abbildung 34: Mittlere Frischsubstanzerträge (nur Triebe) der *Ligustrum vulgare* L. im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung (n=280)

Dabei ist zu beachten, dass es sich hier um mittlere Erträge der lebenden Pflanzen handelt, in einzelnen Parzellen sind Pflanzen ausgefallen. Dies wurde jedoch nicht

weiter berücksichtigt. Im Mittel hatte die Kontrolle im ersten Versuchsjahr einen Frischsubstanzertrag der Triebe von 15 g je Pflanze. Dabei sind das Dickenwachstum der nach dem Rückschnitt vor dem Aufpflanzen verbliebenen Pflanzenteile und das Wurzelwachstum nicht berücksichtigt. Zu anderen Varianten ergeben sich keine signifikanten Unterschiede. Die meisten anderen Varianten wiesen meist höhere oder aber nur unwesentlich geringere Frischsubstanzerträge auf. Höhere Frischsubstanzerträge finden sich bei den mit Grüngutkompost gedüngten Parzellen, sie steigen mit der Ausbringungsmenge. Beim Stallmist hat die 400 dt und beim Bioabfallkompost wieder die 800 dt den höchsten Ertrag gezeigt.

Im zweiten Versuchsjahr ergibt sich fast ein identisches Bild. Nur liegt die Kontrolle hier eher im besseren Bereich der Werte. Die Werte bewegen sich in einem wesentlich höheren Niveau, zwischen 83 und 150 g je Pflanze. Beim Bioabfallkompost weist die 200 dt Variante den höchsten Ertrag auf.

Die mittleren Frischsubstanzerträge des dritten Versuchsjahrs sind in Abbildung 35 dargestellt.

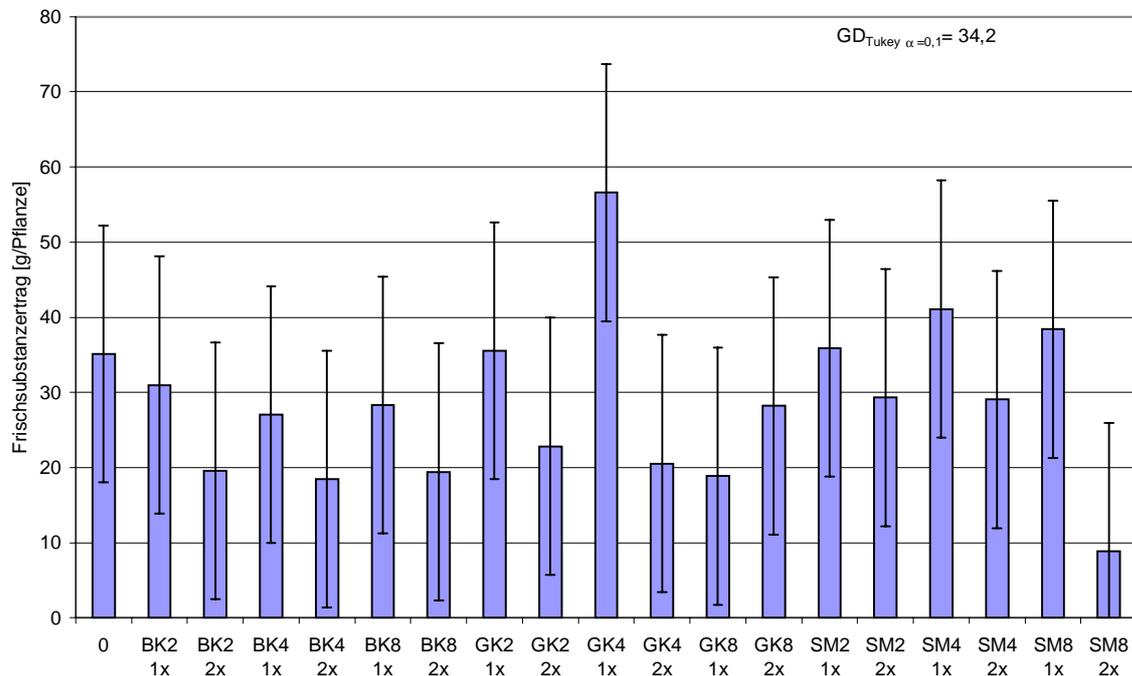


Abbildung 35: Mittlere Frischsubstanzerträge (nur Triebe) der *Ligustrum vulgare* L. im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung (n=553)

Die Frischsubstanzerträge des dritten Versuchsjahrs liegen zwischen denen der ersten beiden Jahre. Die Kontrolle weist mit 35 g je Pflanze einen überdurchschnittlichen Ertrag auf. Sie unterscheidet sich von keiner anderen Variante signifikant. Keine der zweimal gedüngten Varianten weist einen höheren Frischsubstanzertrag auf als die Kontrolle. Den schlechtesten Wert findet man bei der zweimal mit der höchsten Menge Stallmist gedüngten Variante mit 9 g je Pflanze. Die einmal mit Stallmist gedüngten Varianten und die einmal mit der niedrigen und mittleren Menge Grüngutkompost gedüngten Varianten weisen bessere Werte als die Kontrolle auf. Den absolut höchsten Wert erzielte die mit der mittleren Menge Grüngutkompost gedüngte Variante mit 57 g. Sie unterscheidet sich signifikant von den Varianten mit den sechs schlechtesten Ergebnissen. Dies sind die Varianten SM8 2x, BK4 2x, GK8 1x, BK8 2x, BK2 2x und GK4 2x.

Tendenziell scheint die erneute Düngung negative Auswirkungen auf den Frisch- und Trockensubstanzertrag zu haben.

3.3.2 Triebwachstum

Im ersten und zweiten Versuchsjahr ergaben sich beim Triebwachstum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Im ersten Versuchsjahr entwickelte die Kontrolle sowohl die geringste Treibanzahl als auch die geringste Summe Triebblängen. Bei der mittleren Triebblänge war die der SM2 Variante noch etwas geringer. Sowohl in bezug auf die Summe der Triebblängen als auch bei der mittleren Triebblänge war die GK8 Variante die Beste. Die Varianten SM2, BK4 und GK2 weisen das geringste Triebwachstum der gedüngten Varianten auf.

Im zweiten Versuchsjahr war das Triebblängenwachstum im Vergleich zum ersten deutlich besser. Bei den untersuchten Parametern findet man die Kontrolle im mittleren Bereich. Bei der Summe der Triebblängen und den mittleren Triebblängen weisen die Grüngutkompostvarianten mit der mittleren oder höchsten Ausbringungsmenge das beste Ergebnis auf. Bei der Treibanzahl bewegen sie sich im oberen Bereich der Werte. Die Stallmistvarianten weisen eine recht hohe Treibanzahl auf, was trotz geringer Einzeltriebblängen mittlere bis gute Summen der Triebblängen ergibt.

Im dritten Versuchsjahr weist die Kontrolle im Mittel 5 Triebe je Pflanze auf. Hiervon unterscheidet sich nur die Treibanzahl der zweimal mit der höchsten Stallmistgabe gedüngten Variante signifikant. Sie weist mit 21 Trieben auch signifikante Unterschiede zu allen anderen Varianten außer der SM2 2x Variante auf, die 10 Triebe zeigt. Es folgt die SM4 2x Variante mit 8 Trieben. Ansonsten bestehen keine signifikanten Unterschiede. Weniger Triebe als bei der Kontrolle finden sich nur bei vier einmal gedüngten Varianten aller Düngemittel und Aufwandmengen. Die Summen der Triebblängen die im dritten Versuchsjahr erreicht wurden sind in Abbildung 36 dargestellt.

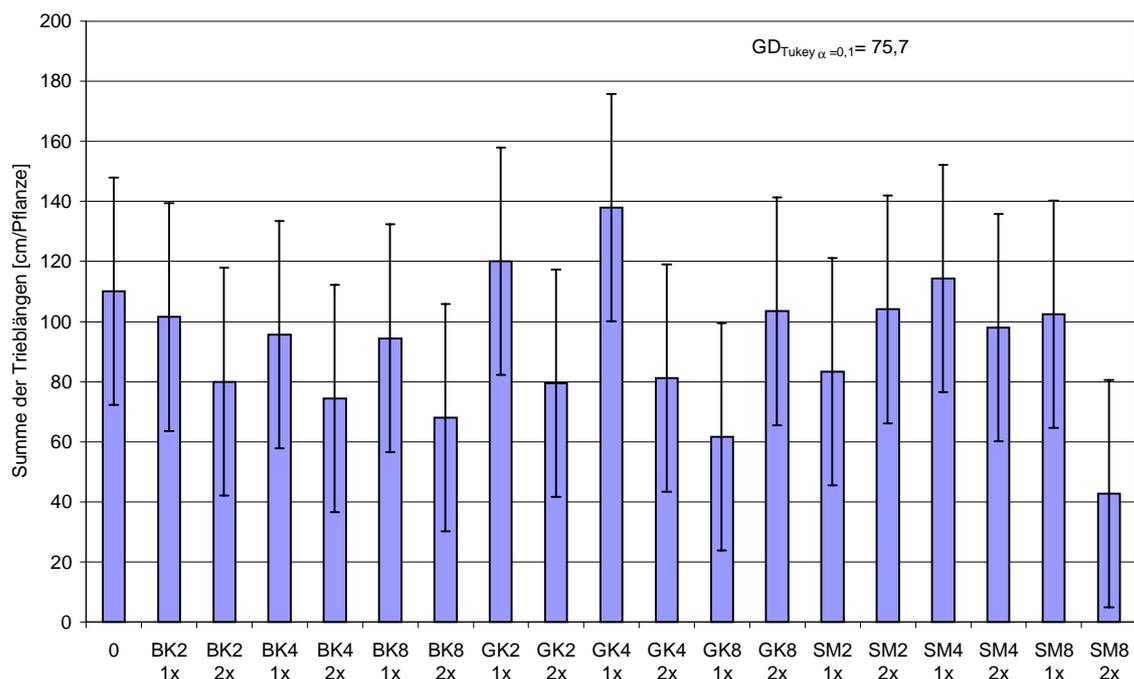


Abbildung 36: Mittlere Summe der Trieb­längen von *Ligustrum vulgare* L. im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der Behandlung (n=553)

Die Pflanzen der Kontrolle erreichten im dritten Versuchsjahr eine Trieb­längensumme von 110 cm pro Pflanze. Besser waren die drei einmal gedüngten Varianten GK4, GK2 und SM4. Dabei hatte die GK4 1x Variante mit 138 cm das stärkste Triebwachstum, das sich auch signifikant von den Varianten GK8 1x und SM8 2x unterscheidet. Die Pflanzen der Variante SM8 2x wiesen mit 43 cm ein sehr geringes Trieb­längenwachstum auf, dieser Mittelwert unterscheidet sich auch von der Variante GK2 1x signifikant.

In den meisten Fällen weisen die zweimal gedüngten Varianten geringere Trieb­längensummen auf, als die entsprechenden einmal gedüngten Varianten. Eine Ausnahme bilden die Varianten GK8 und SM2.

3.3.3 Pflanzenbonituren

Am Ende des zweiten und dritten Versuchsjahres wurden Pflanzenbonituren durchgeführt. Die am Ende des zweiten Versuchsjahres erreichten Qualitäten sind in Abbildung 37 dargestellt.

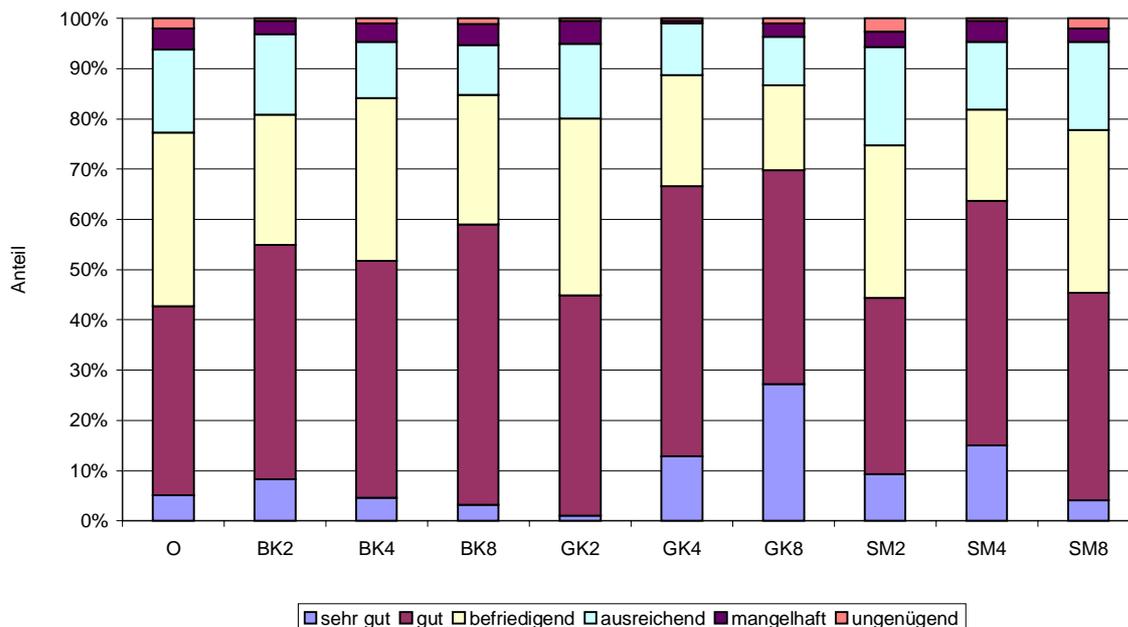


Abbildung 37: Am Ende des zweiten Versuchsjahres erreichte Qualitäten der *Ligustrum vulgare* L. in Abhängigkeit von der organischen Düngung (Schulnotensystem)

Dabei ergeben sich keine eindeutigen Unterschiede in Abhängigkeit von der Art und Menge der organischen Düngung. In der Kontrolle erreichen 43 % der Pflanzen die Noten „sehr gut“ und „gut“. Bei allen Behandlungen sind es zumindest geringfügig mehr. Bei den mit Grüngutkompost gedüngten Varianten steigt der Anteil dieser beiden Noten mit steigender Aufwandmenge. Bei den mit Stallmist gedüngten weist die Variante der mittleren Aufwandmenge die meisten Pflanzen in dieser Gruppe auf. Der Anteil der Pflanzen die mit „ausreichend“ und schlechter bewertet wurden liegt bei der Kontrolle bei 22 %. Bei den mit Stallmist gedüngten Varianten liegt er bei 26, 18 und 23 %. Innerhalb der Düngerarten hat jeweils die Variante mit der geringsten Aufwandmenge die meisten Vertreter dieser Gruppe vorzuweisen.

Die Ergebnisse der am Ende des dritten Versuchsjahres durchgeführten Bonitur sind in Abbildung 38 dargestellt.

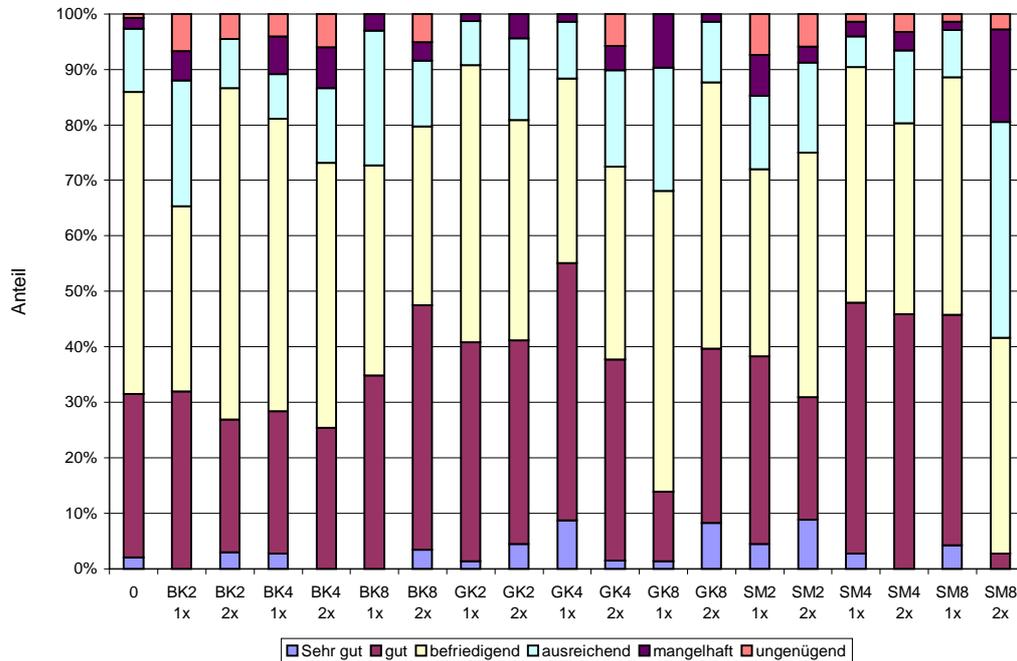


Abbildung 38: Am Ende des dritten Versuchsjahres erreichte Qualitäten der *Ligustrum vulgare* L. in Abhängigkeit von der organischen Düngung (Schulnotensystem)

Am Ende des dritten Versuchsjahres erreichen 32 % der Pflanzen der Kontrolle die beiden Qualität der Noten „sehr gut“ und „gut“. Deutlich weniger Pflanzen in dieser guten Gruppe weisen die Varianten SM8 2x und GK8 1x auf. Dagegen finden sich bei den Behandlungen GK4 1x, BK8 2x, SM4 1x, SM4 2x und SM8 1x mehr Vertreter dieser Pflanzenqualität. In der Kontrolle wurden 14 % der Pflanzen mit „ausreichend“ oder schlechter bewertet. Wesentlich mehr (59 %) waren es in der zweimal mit der höchsten Aufwandmenge Stallmist gedüngten Variante. Aber auch die Varianten BK2 1x und GK8 1x hatten noch über 30 % der Pflanzen in dieser Gruppe aufzuweisen.

3.3.4 Nährstoffgehalte

3.3.4.1 Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium

Die am Ende der Vegetationsperioden ermittelten Nährstoffgehalte der Triebe und Blätter sind in Tabelle 17, Tabelle 18 und Tabelle 19 dargestellt.

Im ersten Versuchsjahr wurden Triebe und Blätter gemeinsam analysiert und in den beiden folgenden Jahren getrennt. Zum ersten Termin wurden die Magnesium- und Kalziumgehalte nicht bestimmt.

Tabelle 17: Mittlere Phosphor und Kaliumgehalte der *Ligustrum vulgare* L. (Triebe und Blätter) nach dem ersten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung

Variante	Phosphor [% P i.d. TS]	Kalium [% K i.d. TS]
0	0,25	1,00
BK2	0,28	1,01
BK4	0,25	1,05
BK8	0,26	1,14
GK2	0,27	1,05
GK4	0,28	1,07
GK8	0,25	1,15
SM2	0,24	1,09
SM4	0,24	1,08
SM8	0,25	1,20
GD <small>Tukey $\alpha=0,1$</small>	n.s.	0,17

n=40

Zum Ende der ersten Vegetationsperiode bestehen zwischen den Varianten bezüglich der Phosphorgehalte keine signifikanten Unterschiede. Die Kontrolle weist mittlere Phosphorgehalte von 0,25 % P i.d. TS auf. Alle mit Stallmist gedüngten Varianten liegen im selben Wertebereich oder teilweise darunter. Die P-Gehalte in den Pflanzen nehmen bei den mit Stallmist gedüngten Varianten mit zunehmender

Aufwandmenge zu. Alle mit Kompost gedüngten Varianten liegen im P-Gehalt im Bereich der Kontrolle oder knapp darüber.

Bei den Kaliumgehalten weist die Kontrolle im Mittel mit 1,00 % K i.d. TS den niedrigsten Wert auf. Er unterscheidet sich signifikant von dem der Variante SM8, die mit 1,20 den absolut höchsten Kaliumgehalt aufweist. Diese unterscheidet sich auch signifikant von der Variante BK2, die den nach der Kontrolle niedrigsten Kaliumgehalt in der Trockensubstanz der Triebe und Blätter enthält. Ansonsten bestehen keine weiteren signifikanten Unterschiede.

Tabelle 18: Nährstoffgehalte der *Ligustrum vulgare* L. (Triebe und Blätter) nach dem zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung

Variante	Blätter				Triebe			
	[% i.d. TS]							
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
0	0,18	0,92	1,99	0,29	0,14	0,71	0,26	0,06
BK2	0,26	1,00	2,06	0,24	0,13	0,71	0,21	0,07
BK4	0,16	0,94	1,90	0,25	0,13	0,69	0,24	0,06
BK8	0,19	1,02	1,78	0,21	0,14	0,73	0,27	0,08
GK2	0,21	0,83	1,67	0,26	0,13	0,72	0,27	0,06
GK4	0,26	0,95	2,00	0,26	0,13	0,64	0,24	0,06
GK8	0,23	1,02	1,95	0,27	0,12	0,68	0,22	0,07
SM2	0,20	0,93	1,91	0,26	0,13	0,73	0,26	0,07
SM4	0,26	0,97	1,79	0,24	0,13	0,69	0,23	0,07
SM8	0,19	1,07	1,67	0,22	0,12	0,66	0,25	0,06
GD _{Tukey α=0,1}	n.s.	n.s.	n.s.	0,06	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n=79

Die am Ende des zweiten Versuchsjahres ermittelten Mineralstoffgehalte in den Blättern und Trieben sind in Tabelle 18 dargestellt. Bei den Trieben ergeben sich für keines der untersuchten Elemente P, K, Ca oder Mg signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Die Kontrolle liegt meist im mittleren Bereich der Werte. Beim Phosphor tendenziell mit 0,14 % P i.d. TS eher im oberen Bereich der Werte, beim Kalium liegt der Gehalt der Kontrolle bei 0,71 % und beim Kalzium bei 0,26 % i.d. TS. Beim Magnesium wurden 0,06 % Mg i.d. TS ermittelt.

Auch bei den Blättern ergeben sich für die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Kalzium keine signifikanten Unterschiede.

Beim Phosphor weist die Kontrolle mit 0,18 % P i.d. TS einen sehr niedrigen Wert auf. Nur die Variante BK4 liegt mit 0,16 % P geringfügig darunter. Die meisten anderen Varianten liegen in einem höheren Bereich. Hier treten Phosphorgehalte bis zu 0,26 % P i.d. TS auf (Varianten BK2, GK4 und SM4). Beim Kalium ergibt sich ein sehr ähnliches Bild. Die Kontrolle hat mit 0,92 % K i.d. TS nach der Variante GK2 mit 0,83 % K i.d. TS den zweit niedrigsten Kaliumgehalt der Blätter aufzuweisen. Die anderen Varianten liegen bei Werten bis maximal 1,07 % K i.d. TS (Variante SM8). Tendenziell steigen die Kaliumgehalte mit steigender Düngermenge an. Beim Kalzium ist eher ein gegenteiliger Effekt feststellbar. Hier liegt die Kontrolle mit 1,99 % Ca i.d. TS im oberen Bereich der Werte. Bei steigender Düngermenge sinkt der Kalziumgehalt der Blätter bei den mit Bioabfallkompost oder Stallmist gedüngten Varianten ab. Eine Ausnahme stellt die Variante GK2 dar, die den absolut niedrigsten Kalziumgehalt aller Varianten zusammen mit der Variante SM8 aufweist (beide 1,67 % Ca i.d. TS).

Beim Magnesium ist der selbe Effekt der Düngung zu beobachten. Die Kontrolle unterscheidet sich mit 0,29 % Mg i.d. TS signifikant von den Varianten SM8 und BK8, die 0,22 bzw. 0,21 % Mg i.d. TS der Blätter enthalten. Die mit Grüngutkompost gedüngten Varianten enthalten mit 0,26 bis 0,27 % Mg i.d. TS vergleichsweise viel Magnesium. Hier findet sich auch keinerlei Effekt der ausgebrachten Düngermenge.

Die Analysenergebnisse der Blätter und Triebe am Ende des dritten Versuchsjahres für die Elemente Phosphor, Kalium, Kalzium und Magnesium sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Nährstoffgehalte der *Ligustrum vulgare* L. (Triebe und Blätter) nach dem dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung

Variante	Blätter				Triebe			
	[% i.d. TS]							
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
0	0,17	0,69	2,50	0,34	0,10	0,94	0,28	0,10
BK2	0,16	0,71	2,56	0,36	0,11	1,00	0,30	0,10
BK2 2x	0,14	0,92	2,74	0,34	0,13	1,08	0,32	0,11
BK4	0,17	0,68	2,47	0,33	0,11	1,07	0,30	0,10
BK4 2x	0,15	0,94	2,36	0,34	0,12	1,02	0,29	0,10
BK8	0,18	0,87	2,64	0,34	0,11	1,04	0,30	0,10
BK8 2x	0,15	0,99	2,52	0,33	0,12	0,84	0,28	0,09
GK2	0,17	0,76	2,49	0,39	0,11	0,96	0,28	0,09
GK2 2x	0,14	0,73	2,90	0,38	0,13	0,91	0,32	0,11
GK4	0,24	0,77	2,26	0,37	0,10	0,90	0,26	0,09
GK4 2x	0,16	0,85	2,54	0,37	0,12	0,95	0,31	0,11
GK8	0,16	0,64	2,54	0,38	0,12	1,05	0,30	0,11
GK8 2x	0,16	1,01	2,48	0,33	0,13	1,09	0,29	0,11
SM2	0,18	0,69	2,24	0,34	0,11	1,07	0,30	0,10
SM2 2x	0,16	0,94	2,58	0,38	0,13	1,00	0,33	0,11
SM4	0,17	0,85	2,47	0,33	0,11	0,98	0,32	0,10
SM4 2x	0,16	1,04	2,64	0,35	0,12	0,92	0,29	0,10
SM8	0,18	0,80	2,12	0,32	0,10	0,95	0,26	0,09
SM8 2x	0,15	1,01	2,30	0,30	0,12	0,98	0,27	0,11
GD <small>Tukey $\alpha=0,1$</small>	0,08	0,33	0,63	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

In den Trieben ergeben sich für keinen der untersuchten Nährstoffe signifikante Unterschiede. Die Kontrolle weist mit 0,10 % Phosphor i.d. TS der Triebe einen Gehalt ungefähr auf dem Niveau der einmal gedüngten Varianten auf. Ein Einfluss der Aufwandmenge lässt sich bei diesen nicht finden. Die zweimal gedüngten Varianten haben einen Phosphorgehalt von 0,12 oder 0,13 % P i.d. TS. Ein Einfluss der Aufwandmenge ist hier aber auch nicht ersichtlich. Beim Kalium hat die Kontrolle

mit 0,94 % K i.d. TS der Triebe nach der Variante BK8 2x, die einen Gehalt von nur 0,84 % K aufweist, den zweit niedrigsten Wert. Ein Einfluss der Düngungshäufigkeit oder der Aufwandmengen ist nicht ersichtlich. Letzteres gilt auch für die Elemente Kalzium und Magnesium. Hier liegt die Kontrolle mit 0,28 % Ca und 0,10 % Mg im mittleren Bereich der anderen Varianten.

Bei den Blättern tritt für das Element Magnesium ebenfalls kein signifikanter Unterschied auf. Mit 0,34 % Mg i.d. TS der Blätter liegt die Kontrolle im mittleren Bereich der anderen Varianten. Beim Phosphor, Kalium und Kalzium treten dagegen signifikante Unterschiede auf.

Die Kontrolle enthält 0,17 % P i.d. TS der Blätter. Sie unterscheidet sich damit von keiner Behandlung signifikant. Alle einmal gedüngten Varianten liegen ebenfalls in diesem Bereich, nämlich zwischen 0,24 (Variante GK4) und 0,16 % P (Variante GK8). Alle zweimal gedüngten Varianten enthalten weniger Phosphor in den Blättern als alle einmal gedüngten und die Kontrolle.

Die Variante mit dem höchsten Phosphorgehalt, nämlich die Variante GK4, unterscheidet sich signifikant von allen zweimal gedüngten Varianten und den Varianten BK2 und GK8. Das sind die einmal gedüngten Varianten, die die niedrigsten Phosphorgehalte in den Blättern haben.

Bei den Kaliumgehalten in den Blättern weist die Kontrolle mit 0,69 % K i.d. TS relativ niedrige Werte im Vergleich zu vielen anderen Varianten auf. Nur zwei einmal gedüngte Varianten, nämlich die Varianten BK4 und GK8 weisen etwas niedrigere Kaliumgehalte auf. Diese drei Varianten und die Variante SM2 unterscheiden sich signifikant von der Variante mit den höchsten Kaliumgehalten. Dies ist mit 1,04 % K i.d. TS der Blätter die Variante, die zweimal mit 400 dt Stallmist gedüngt wurde. Insgesamt weisen alle mit Stallmist und Bioabfallkompost zweimal gedüngten Varianten vergleichsweise hohe Kaliumgehalte in den Blättern von 0,92 bis 1,04 % K i.d. TS auf. Keine einmal gedüngte Variante und von den zweimal mit Grüngutkompost gedüngten nur die mit der höchsten Aufwandmenge liegen in diesem Wertebereich. Bei den einmal gedüngten Varianten lässt sich eine solche Rangfolge nicht aufstellen.

Die Kontrolle weist in den Blättern einen Kalziumgehalt von 2,50 % i.d. TS auf. Damit liegt sie im mittleren Bereich der Messwerte. Die Varianten GK4, SM2 und SM8 weisen mit 2,26 bis 2,12 % Ca i.d. TS die niedrigsten Kalziumgehalte auf. Sie unterscheiden sich von der Variante mit dem höchsten Kalziumgehalt in den Blättern, nämlich der Variante GK2 2x mit 2,90 % Ca i.d. TS signifikant. Tendenziell sind im Bereich der höheren Kalziumgehalte in den Blättern die zweimal gedüngten Varianten zu finden. Dieser Trend ist allerdings durchgängig. Ein Einfluss der Aufwandmengen ist nicht zu beobachten.

3.3.4.2 Gesamtstickstoff

Die am Ende der Vegetationsperioden ermittelten Stickstoffgehalte der Triebe und Blätter sind in Tabelle 20 und Tabelle 21 dargestellt. Im ersten Versuchsjahr wurden Triebe und Blätter gemeinsam analysiert und in folgenden Jahren getrennt.

Tabelle 20: Stickstoffgehalte in Blättern und Trieben der *Ligustrum vulgare* L. im ersten und zweiten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

Variante	1997	1998	
	Blätter und Triebe	Blätter	Triebe
0	1,6	1,7	1,0
BK2	1,7	1,7	0,9
BK4	1,6	1,7	1,0
BK8	1,6	1,7	1,0
GK2	1,5	1,7	0,9
GK4	1,6	1,7	1,0
GK8	1,6	1,6	0,9
SM2	1,6	1,8	1,0
SM4	1,6	1,6	1,0
SM8	1,7	1,7	0,9
GD Tukey $\alpha=0,1$	n.s.	n.s.	n.s.

Zu keinem der Untersuchungstermine traten bei den Stickstoffgehalten der Triebe und der Blätter signifikante Unterschiede auf.

Im November des ersten Versuchsjahres wies das untersuchte Gemisch aus Trieben und Blättern Stickstoffgehalte zwischen 1,5 und 1,7 % auf. Dabei traten auch keine Tendenzen in Abhängigkeit der Düngerart oder der Düngermenge auf.

Tabelle 21: Stickstoffgehalte in Blättern und Trieben der *Ligustrum vulgare* L. im dritten Versuchsjahr in Abhängigkeit von der organischen Düngung.

Variante	Blätter	Triebe
0	2,1	1,1
BK2	2,1	1,2
BK22x	2,1	1,3
BK4	2,2	1,2
BK42x	2,1	1,2
BK8	2,3	1,1
BK82x	2,2	1,1
GK2	2,2	1,2
GK22x	1,9	1,3
GK4	2,2	1,0
GK42x	2,0	1,2
GK8	2,0	1,1
GK82x	2,2	1,3
SM2	2,1	1,2
SM22x	2,2	1,3
SM4	2,1	1,1
SM42x	2,3	1,1
SM8	2,2	1,1
SM82x	2,2	1,1
GD Tukey $\alpha=0,1$	n.s	n.s.

Beim zweiten Untersuchungstermin ergab sich das gleiche Bild. Die Blätter wiesen zwischen 1,6 und 1,8 % N auf. Die Triebe zwischen 0,9 und 1,0 % N. Eine tendenzielle Wirkung der Düngerarten oder Düngermengen ist nicht feststellbar.

Beim Abschluss des Versuchs im Herbst 1999 wiesen sowohl Blätter als auch Triebe im Vergleich zum vorherigen Termin höhere Stickstoffgehalte auf. In den Trieben wurden zwischen 1 und 1,3 % N bestimmt. Dabei liegt die Kontrolle mit 1,1 % N im unteren Bereich der Werte. Die vier Varianten mit den höchsten Werten von 1,3 % N sind zweimal gedüngte. Es handelt sich um die drei zweimal mit der geringsten Aufwandmenge gedüngten Variante und um die Variante GK8 2x.

In den Blättern wurden zum Versuchsende zwischen 1,9 und 2,3 % N bestimmt. Die Kontrolle weist dabei 2,1 % N auf. Eine klare Tendenz der N-Gehalte in den Blättern in Abhängigkeit von Düngerart, -menge oder -ausbringungshäufigkeit lässt sich nicht erkennen.

4 Diskussion

4.1 Chemische Bodeneigenschaften

4.1.1 Humusgehalte und Humuseigenschaften

Nur selten treten durch die Behandlungen signifikante Unterschiede bei den Humusgehalten auf. Dennoch lassen sich aus den tendenziellen Unterschieden der Düngerarten und –mengen Wirkungen der Behandlung auf den Humusgehalt des Bodens aufzeigen.

Bereits unmittelbar nach Ausbringung der organischen Dünger zu Beginn des ersten Versuchsjahres zeigen sich folgende Unterschiede in der Humuswirkung:

- alle verwendeten organischen Dünger können den Humusgehalt steigern,
- steigende Aufwandmengen bewirken höhere Humusgehalte,
- der Humusgehalt vor der Düngung hat langfristig den stärksten Einfluss,
- die Humuswirkung von Stallmist ist geringer als die der Komposte.

Von der ersten zur vierten Wiederholung sinken die Humusgehalte des Bodens ab. Dies ist auf die unterschiedliche Vorgeschichte des Bodens zurückzuführen. Im vorderen Bereich des Versuchsfeldes (erste Wiederholung) liegt eine längere Nutzung als Baumschule vor. Hier wurden nach Angabe des Besitzers langfristig mehr Torf und auch andere organische Materialien als im hinteren Bereich der Fläche eingebracht. Im oberen Bereich (vierte Wiederholung) hat man öfter landwirtschaftliche Kulturen angebaut. Die Grenze dieser Nutzungsformen lag dabei in den letzten Jahrzehnten unterschiedlich, meist aber in der Mitte der Fläche.

Es fällt auf, dass vom Februar bis Dezember des ersten Versuchsjahres unabhängig von der Behandlung die Humusgehalte in Bereichen hoher Werte abfallen, aber in Bereichen niedriger Werte geringfügig ansteigen. Der Abfall kann mit einem verstärkten Abbau und der Anstieg auf Unkraut und Kulturpflanzen zurückgeführt werden. Dabei spielen Wurzelreste und –ausscheidungen eine nicht zu unterschätzende Rolle (GUCKERT 1992).

Diese Veränderungen in Abhängigkeit von den ursprünglichen Humusgehalten können als Indiz dafür gewertet werden, dass sich bei langfristig gleichen Umweltbedingungen ein spezifischer Humusgehalt des Bodens einstellt (KÖRSCHENS et al. 1998, SCHACHTSCHABEL et al. 1998, BOHNE 1995, DÖHLER 1994, SANFTLEBEN 1991, KLIMANEK und KÖRSCHENS 1982). KÖRSCHENS et al. (1998) gehen für einen Sandboden mit einem Feinanteilgehalt (Korngrößen $< 6,3 \mu\text{m}$) bis 7% davon aus, dass 0,5 % organische Substanz als inerter Kohlenstoff vorliegen. Dies bedeutet für den vorliegenden Versuch, dass große Mengen umsetzbarer organischer Substanz im Boden vorliegen. Durch die zu erwartende Umsetzung werden langfristig große Nährstoffmengen mineralisiert werden.

Der Abfall der Humusgehalte vom Dezember des ersten Jahres zum Mai des zweiten Jahres kann mit natürlichen Schwankungen im Jahresverlauf erklärt werden. Zum März des dritten Jahres ergeben sich keine Unterschiede bei den dann nicht erneut gedüngten Parzellen. Der Anstieg im Verlauf der Vegetationsperiode des dritten Jahres kann durch die Zufuhr organischer Substanz aus Unkrautbewuchs, Wurzelrückständen und Wurzelausscheidungen erklärt werden, daneben kommen aber auch natürliche jahreszeitliche Schwanken als Erklärung in Betracht.

Wenn man die Glühverluste bei $220 \text{ }^\circ\text{C}$ (als Ausdruck der leicht zersetzbaren organischen Substanz) auf den Glühverlust auf $550 \text{ }^\circ\text{C}$ bezieht, ergeben sich nur zum Termin Dezember 1997 signifikante Unterschiede. Dabei fällt auf, dass die Variante GK4, die den niedrigsten Quotienten aufweist, im Juni den höchsten Humusgehalt aufwies. Im Dezember ist dieser deutlich abgesunken. Man kann dieses Absinken auf den Abbau leicht zersetzbarer organischer Substanz zurückführt. Bei dem im Dezember noch vorhandenen Humus kann man davon ausgehen, dass der Anteil schwer zersetzbarer organischer Substanz am Gesamthumusgehalt des Bodens relativ hoch ist. Dies erklärt den im Vergleich geringen Glühverlust bei einer niedrigen Temperatur bezogen auf den Gesamtglühverlust. Da auch bei der Variante GK8 ein vergleichsweise niedriger Wert für diesen Parameter auftritt, kann man dies auf die stofflichen Eigenschaften des verwendeten Grüngutkomposts zurückführen. Allerdings ist die Methode mit Ungenauigkeiten verbunden, so dass eine absolut gesicherte Aussage nicht möglich ist.

SIEWERT (1997) misst der Relation von 200 °C zu 500 °C eine besonders große Bedeutung zu. Bei einer Temperatur von 200 °C geht stark gebundenes Wasser verloren, ein in Relation dazu ungewöhnlich hoher Glühverlust um 500 °C deutet auf bodenfremden Kohlenstoff hin, der nicht an Umsetzungsprozessen beteiligt ist. Dieser kann z.B. durch die Zufuhr von Braunkohle in den Boden gelangen. Für den eigenen Versuch läßt sich diese Aussage auf die Zufuhr stark zersetzter organischer Substanz in Form von z.B. Kompost erweitern.

LEIFELD et al. (1997) fanden durch die Zufuhr von Komposten kurzfristig die relativen Gehalte von Cellulose und Lignin erhöht. Dabei blieben jedoch die bodenbedingten Unterschiede, wie sie vor Versuchsbeginn bestanden, erhalten.

Die weiteren stofflichen Eigenschaften und der daraus resultierende Abbau der organischen Substanz werden in Kapitel 4.1.2.1.2 Stickstoffmineralisation diskutiert.

WEIß (1996) fand für 15 Baumschulflächen Glühverluste bei 230 bis 240 °C von 0,24 bis 1,8 %, wobei allerdings der Anteil am Gesamtglühverlust bei 550 °C niemals über 28 % lag.

Bachmann (1988) fand für einen vergleichbaren Boden bei differentieller Thermogravimetrie einen sprunghaften Anstieg des relativen Massenverlusts bei einer Temperatur von etwa 230 °C bis 290 °C. Somit könnte sich ein Fehler bei der Temperatureinstellung des Muffelofens stark bemerkbar machen. Die verwendeten Öfen sind für eine gewisse Ungenauigkeit bei niedrigen Temperaturen bekannt. Dennoch würde dies bei der Interpretation der Ergebnisse keinen Einfluss haben, da alle Proben einheitlich behandelt wurden.

Der absolute Gehalt an organischer Substanz des Bodens ist im Vergleich mit landwirtschaftlich genutzten Böden als hoch anzusehen. Im Vergleich mit anderen baumschulisch genutzten Sandböden ist er jedoch im Bereich der üblichen Bandbreite.

KÖRSCHENS et al. (1998) geben als Orientierungswert zur Einstufung der Humusversorgung von landwirtschaftlich genutzten Sandböden eine Bandbreite von 1,0 bis

1,5 % organische Substanz im Bearbeitungshorizont von Böden mit einem Feinanteil (Korngrößen < 6,3 µm) bis 7 % an.

SANFTLEBEN (1991) gibt die Humusgehalte von Baumschulsandböden in Schleswig-Holstein mit im Mittel bei 4,3 % an. Allerdings finden sich dabei auch teilweise sehr viel höhere Werte.

WENNEMUTH (1972) forderte für Baumschulen noch höhere Humusgehalte. Er ging selbst bei einer Erhöhung über 5% hinaus noch von positiven Ertragswirkungen aus. Aufgrund der damit verbundenen Nährstoffeinträge wird dies heute nicht mehr gefordert.

Insgesamt gibt es heute sehr unterschiedliche Auffassungen über die notwendige Quantität und Qualität der organischen Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden (SAUERBECK und HAIDER 1992). Für baumschulisch genutzte Böden gehen die Ansichten hierzu noch weiter auseinander.

Der im eigenen Versuch untersuchte Boden kann als gut mit Humus versorgt angesehen werden. Entsprechend war eine deutliche Steigerung der Humusgehalte durch die organischen Dünger nicht möglich. Doch machen sich bei den verschiedenen Düngern stoffliche Unterschiede bemerkbar. Die Komposte weisen die beste Humuswirkung auf. Allerdings hatte eine nach zwei Jahren wiederholte Anwendung keinen signifikanten Einfluss. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die in der Praxis üblichen Abstände zwischen der organischen Düngung in Hinblick auf die Humusversorgung der Baumschulböden vergrößert werden können.

4.1.2 Nährstoffhaushalt des Bodens

4.1.2.1 Stickstoffhaushalt des Bodens

4.1.2.1.1 Veränderung der Mineralstickstoffgehalte

Die Veränderung der Mineralstickstoffgehalte werden innerhalb der drei Versuchsjahre diskutiert.

1. Versuchsjahr

Die zu Beginn des ersten Versuchsjahres nach der Ausbringung der Komposte und des Stallmists gefundenen N_{\min} -Gehalte des Bodens entsprechen im wesentlichen den Erwartungen aufgrund ihrer Materialeigenschaften.

In der Kontrolle wurden im Februar im Mittel 51 kg N_{\min} /ha gefunden, wenn man die kurz zuvor erfolgte Minereraldüngung (40 kg N/ha) abzieht verbleibt ein N_{\min} -Gehalt von 11 kg N/ha, was für einen Sandboden im Februar als normal gelten kann.

Nur beim Bioabfallkompost wurden mit dem Material wesentliche N_{\min} -Mengen ausgebracht, nämlich 15 kg N_{\min} /ha für die 200 dt Variante. Wenn man die Kontrolle als Vergleich heranzieht, so ergibt sich für je 200 dt ausgebrachten Bioabfallkompost eine Erhöhung des N_{\min} -Gehalts um je 14 kg N_{\min} /ha.

Beim Grüngutkompost läßt sich der ausgebrachte Mineralstickstoff im Boden nicht wiederfinden, was in dem niedrigen Niveau von 5 kg N_{\min} /ha je 200 dt Grüngutkompost begründet ist. Denn die Schwankungen z.B. zwischen den Wiederholungen sind schon größer. Selbst eine N_{\min} -Menge von 20 kg N_{\min} /ha in der 800 dt Variante läßt sich nicht zweifelsfrei wiederfinden.

Der Mineralstickstoffgehalt des Stallmists wurde nicht analysiert. Er dürfte jedoch in einem dem Grüngutkompost vergleichbaren Niveau gelegen haben. Auch hier ist durch die Ausbringung und Einarbeitung keine deutliche Steigerung der N_{\min} -Gehalte des Bodens eingetreten.

Aus den Veränderungen der N_{\min} -Gehalte bis Mai in den Bodenschichten wird im Kapitel 4.1.2.1.2 versucht, die Mineralisation in diesem Zeitraum abzuschätzen.

Da in der BK8 Variante die N_{\min} -Gehalte in der Bodenschicht 30 – 60 cm bis Mai stark angestiegen sind, ist insgesamt von einer starken Verlagerung von Mineralstickstoff auszugehen. Dieser Mineralstickstoff ist für die Pflanzen aufgrund der Durchwurzelungstiefe der frisch aufgeschulten Pflanzen nicht mehr verfügbar. Durch den teilweise starken Unkrautbewuchs, der später beseitigt wurde, kann man aber teilweise von einer Aufnahme mit anschließender Freisetzung in 0 – 30 cm Bodentiefe durch Mineralisation aus dem Unkrautmaterial ausgehen.

Das Absinken des N_{\min} -Gehalts vieler Varianten im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode kann durch Auswaschungsverluste erklärt werden. Die hydraulischen Gradienten zeigen bis Anfang Juni abwärts gerichtete Wasserbewegungen. Von 60 bis 90 cm Bodentiefe bleibt dies fast die gesamte Vegetationsperiode so, von 30 zu 60 cm Bodentiefe kommt es ab Anfang Juni für drei Wochen zu aufwärts gerichteten Wasserbewegungen (Abbildung 17 und Abbildung 18), danach bis August / September wieder zu abwärts gerichteten Wasserbewegungen.

Es kommt im August in der Bodenschicht von 60 – 90 cm zu den höchsten N_{\min} -Gehalten des Jahres. Diese Auswaschungsverluste dürften auch dazu geführt haben, dass nur wenige statistisch abgesicherte Unterschiede zwischen den Behandlungen auftraten.

2. Versuchsjahr

Die sinkenden Mineralstickstoffgehalte bis April 1998 und die dann fast identischen Mineralstickstoffgehalte sind auf Auswaschung zurückzuführen. Wie Abbildung 17 zeigt kommt es ab November (des ersten Versuchsjahrs) zu abwärts gerichteten Wasserbewegungen. Aufgrund der Winterniederschläge ist davon auszugehen, dass dies bis April 1998 überwiegend der Fall war.

Der Anstieg von April bis Juni ist bei allen Varianten recht ähnlich. Nach einem leichten Abfall im Juni kommt es im August zu den höchsten N_{\min} -Gehalten des zweiten Versuchsjahrs. Der Abfall von Juni bis Juli kann mit Auswaschungen erklärt werden. In diesem Zeitpunkt treten abwärts gerichtete Wasserbewegungen in den meisten Varianten auf. In der Kontrolle findet man im zweiten Versuchsjahr im

Vergleich zu den meisten gedüngten Varianten niedrigere Mineralstickstoffgehalte. In diesem Jahr tritt in den Behandlungen mit organischer Düngung eine Mineralisation auf, die in den Daten für die N_{\min} -Gehalte wiederzufinden ist. Denn 1998 sind die Auswaschungsverluste witterungsbedingt als gering im Vergleich mit dem ersten Versuchsjahr einzustufen. Dies ergibt sich aus dem in Abbildung 22 dargestellten Verlauf der hydraulischen Gradienten in 30 – 60 cm Bodentiefe und den im Juni, Juli und August konstanten N_{\min} -Gehalten in 60 – 90 cm Bodentiefe. In diesem Zeitraum sind, auch wie Abbildung 19 zeigt, keine wie im Vorjahr besonders niedrigen Wasserspannungen in 30 cm Bodentiefe aufgetreten. Der im Oktober beobachtete Abfall der N_{\min} -Gehalte ist auf Auswaschnungsverluste zurückzuführen, wie die in Abbildung 22 dargestellten hydraulischen Gradienten und der Anstieg der N_{\min} -Gehalte in den unteren Bodenschichten belegen.

Im zweiten Versuchsjahr wurde die Versuchsfläche durch den Einsatz von Herbiziden von Unkrautbewuchs freigehalten. Es ist zu erwarten, dass bei mechanischer Bearbeitung der Flächen mehr Stickstoff mineralisiert worden wäre. Dennoch waren die Pflanzen nicht in der Lage den angebotenen Stickstoff aufzunehmen. Bereits im Oktober sind große Mengen Mineralstickstoffs in die unterste beprobte Bodenschicht verlagert worden. Aus der absoluten Abnahme der Stickstoffgehalte kann man auf Auswaschung bereits ab August oder Anfang September schließen. Die Aufnahme der Kultur in der gesamten Vegetationsperiode steht in keinem Verhältnis zur Abnahme der Mineralstickstoffvorräte des Bodens. Sie lag nur in einem Bereich bis maximal 52 kg N_{\min} /ha. Dennoch kann die Aufnahme der Pflanzen zu der Abnahme der Mineralstickstoffgehalte zum Ende der zweiten Vegetationsperiode beigetragen haben

3. Versuchsjahr

Mit der zweiten organischen Düngung wurden im Vergleich zur ersten geringere Mineralstickstoffmengen ausgebracht. Sie sind im Vergleich zu der wiedergefundenen Menge in Tabelle 23 dargestellt. Als wiedergefundene Menge wird hier die Differenz zwischen einmal und zweimal gedüngter Variante gesehen.

Tabelle 22: Mit der zweiten organischen Düngung ausgebrachte Mineralstickstoffmenge [kg N_{min}/ha] und im Unterschied zur entsprechenden einmal gedüngten Variante im März wiedergefundene N_{min}-Menge [kg N_{min}/ha]

Düngerart	200 dt ausgebracht	200 dt wieder- gefunden	400 dt ausgebracht	400 dt wieder- gefunden	800 dt ausgebracht	800 dt wieder- gefunden
Bioabfall- kompost	6	-4	12	+11	24	-3
Grüngut- kompost	1	-10	2	-8	4	+4
Stallmist	6	+14	12	+5	24	+42

Wie Tabelle 22 zeigt, läßt sich nur schwer ein direkter Zusammenhang zwischen organischer Düngung im dritten Versuchsjahr und Mineralstickstoffmenge im Boden im März feststellen. Dies kann mit den recht hohen Schwankungen zwischen den Wiederholungen und Ungenauigkeiten bei der Probenahme erklärt werden. Bei den geringen ausgebrachten N_{min}-Mengen wäre somit eine exakte Bestimmung von so geringen Mineralstickstoffmengen auch nicht zu erwarten gewesen. Man kann aus Tabelle 25 jedoch ersehen, dass mit Bioabfallkompost gedüngte Parzellen eher weniger als mehr N_{min} aufweisen, als ausgebracht wurde. Ähnliches gilt für den Grüngutkompost. Beim Stallmist ist jedoch eine Tendenz zu höheren N_{min}-gehalten im Boden feststellbar. Der Stallmist ist folglich leichter mineralisierbar als die beiden Komposte. Im dritten Versuchsjahr wurde ein sehr frischer Stallmist verwendet, wohingegen der im ersten Versuchsjahr eingesetzte bereits stark verrottet war. Auf weitere Einzelheiten wird im Kapitel 4.1.2.1.2 eingegangen.

Auch der hohe N_{min}-Gehalt in der obersten Bodenschicht ist ein Indiz für starke Mineralisation beim Stallmist. Besonders bei der höchsten Ausbringungsmenge von Stallmist treten bei den zweimal gedüngten Varianten im Juli sehr hohe Werte auf. Aber auch der Bioabfallkompost führt bei der zweiten Anwendung zu erhöhten N_{min}-gehalten. Allerdings wird die Marke von 100 kg N_{min}/ha nur in der höchsten Ausbringungsmenge zum Termin Juli 1999 überschritten. Dabei verfügt dieser Dünger über gleiche N_{min}-Gehalte und sogar etwas höhere N_{ges}-Gehalte als der

Stallmist. Beim Grüngutkompost sind diese beiden Stickstoffformen bereits deutlich weniger enthalten.

Die mit Grüngutkompost gedüngten Varianten weisen dem entsprechend i.d.R. auch vergleichsweise geringe N_{\min} -Gehalte auf. Sowohl die einmal als auch die zweimal gedüngten Varianten setzen nicht soviel Stickstoff frei, dass sie sich von der Kontrolle signifikant unterscheiden.

Die oben erwähnten Unterschiede zwischen den Varianten bzgl. der N_{\min} -Gehalte im Verlauf der Vegetationsperiode 1999 treten auch bei den N_{\min} -Restgehalten im Oktober auf. Hier weisen v.a. die zweimal mit 400 und v.a. 800 dt Stallmist gedüngten Varianten mit 77 und 107 kg N_{\min} /ha sehr hohe Werte auf. Von einer erheblichen Auswaschung im folgenden Winter ist daher auszugehen.

Bei den Sickerwasserproben sind in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte teilweise extrem hohe Werte aufgetreten. Eine Abhängigkeit von der Behandlung ist aber nicht feststellbar. In Zeiten hoher Bodenfeuchte, in denen es auch zur Versickerung kommt wurden in den unteren Bodentiefen aber meist nur relativ niedrige Werte unterhalb von meist 100 und sehr oft auch 50 mg NO_3 /l gefunden. SCHINDLER et al. (1999) geben als häufige Zielvorgabe Nitratgehalte unterhalb von 50 mg NO_3 /l an, die sie aber als häufig nicht erreichbar betrachten. Sie sehen die absolute Nitratauswaschung als die eigentliche Zielvorgabe an.

Die Bewertung der N_{\min} -Gehalte kann nur vor dem Hintergrund des Bedarfs der Kulturen erfolgen. Daher soll hier auf den Entzug der Kulturen und die Düngungsempfehlungen der Literatur eingegangen werden.

Bei der Bemessung der Stickstoffdüngung spielen die angebaute Kultur und die Stickstoffnachlieferung des Bodens die größte Rolle. Unter Stickstoffnachlieferung des Bodens fällt dabei auch die Stickstoffmineralisation aus organischen Düngern. Im vorliegenden Fall wurden zusätzlich zur organischen Düngung im Februar des ersten Versuchsjahrs 40 kg N_{\min} /ha in mineralischer Form gedüngt. Dieser Düngezeitpunkt und die gerade zusammen mit der organischen Düngung erreichte N_{\min} -Menge im Boden sind keinesfalls auf baumschulische Kulturen abgestimmt. So gibt WITT (1997) einen späteren Termin für eine Frühjahrsdüngung und einen maximalen Anteil von

25 bis 50 % an der gesamten Jahresgabe an. DIEREND und SPETHMANN (1994a) fordern, dass auf Sandböden eine mineralische N-Düngung nicht vor der zweiten Aprilhälfte erfolgen sollte, für das erste Standjahr sei eine Mineral-N-Düngung nur selten vor Mai /Juni erforderlich. Auch WALTER (1999) befand v.a. die Bedeutung der 2. Jahreshälfte für sehr groß. Er sagt aus, dass ca. 50 % der gesamten N-Menge ab August aufgenommen werden. DIEREND und SPETHMANN (1994b) unterstreichen ebenfalls die Bedeutung der zweiten Jahreshälfte. Wie Abbildung 3 zeigt, kam es im vorliegenden Versuch vor der zweiten Jahreshälfte bereits zu einer deutlichen Abnahme der N_{\min} -Gehalte der Bodenschicht 0 – 90 cm. Dies kann, wie oben erläutert, primär auf Auswaschung zurückgeführt werden.

Selbst wenn man die geringen Entzüge im Versuch und hier besonders im 1. und 3. Versuchsjahr durch die Kultur für die Beurteilung der Höhe der N_{\min} -Gehalte nicht berücksichtigt, ergeben sich für viele Fälle zu hohe N_{\min} -Gehalte im Verlauf der Vegetationsperiode.

ALT et al. (1994) weisen besonders auf die große Streuung der Entzüge hin. So bewegt sich z.B. der Entzug von *Corylus avellana* L. in der Altersstufe 2xv. je nach Standort von 58 bis 344 kg N_{\min} /ha. Dieses und zahlreiche weitere Beispiele zeigen, dass die Entzüge von Baumschulkulturen erheblich schwanken, je nach Art und Standort sowie Standjahr. Auf diesen letzten Punkt weisen WALTER (1999) und DIEREND (1992) besonders hin. So sind die Entzüge im ersten Jahr meist sehr gering.

Für zahlreiche Kulturen liegen Bandbreiten vor, in denen sich die N-Entzüge bewegen. Da eine organische Düngung üblicherweise vor dem Aufschulen erfolgt, muss man die N_{\min} -Gehalte des ersten Versuchsjahrs vor dem Hintergrund möglicher Entzüge von Kulturen im ersten Standjahr betrachten, und dies auf einem Sandboden.

Es bleibt ferner zu beachten, dass frisch aufgeschulte Kulturen nur das N-Angebot der oberen Bodenschicht nutzen können.

DIEREND und SPETHMANN (1994a) fanden auf einem Sandboden für das erste Standjahr N-Aufnahmen der oberirdischen Pflanzenteile von unter 20 bis fast 240 kg N/ha.

Dies belegt, dass für manche Kulturen das N-Angebot im vorliegenden Versuch als zu hoch einzustufen ist. Für andere wäre eine Nachdüngung notwendig gewesen. Davon unberührt bleibt aber, dass die im Frühjahr / Sommer des ersten Versuchsjahres stattgefundene Auswaschung zu vermeiden gewesen wäre.

Hätte sie aufgrund geringerer Niederschläge nicht stattgefunden, wäre das N-Angebot wohl für viele Kulturen im ersten Standjahr zu groß gewesen. Was dann eine Auswaschung im folgenden Winter als Folge gehabt hätte.

WALTER (1999) fand bei niedersächsischen Baumschulen, dass 37 % der befragten Betriebe alle zwei Jahre zwischen 501 und 700 dt Stallmist je ha ausbringen. 45 % der befragten Betriebe gaben an, zwischen 201 und 500 dt Stallmist je ha auszubringen. Bei den N_{\min} -Restmengen untersuchter Betriebe im Oldenburger Baumschulgebiet traten starke Schwankungen auf. Im Herbst 1992 fand er in 63 % der Flächen N_{\min} -Restmengen größer 100 kg N/ha. Bei 40 % der Flächen waren es Gehalte über 150 kg N/ha. Im Herbst 1993 traten deutlich geringere N_{\min} -Restmengen auf.

ALT et al. (1989) fanden bei einer Erhebungsuntersuchung im Raum Pinneberg mittlere Stallmistgaben von 728 dt /ha alle zwei bis vier Jahre. Als durchschnittliche jährliche N-Zufuhr durch Stallmist gibt er eine Spanne von 86 bis 115 kg N/ha für Alleebäume und bis zu 203 kg N/ha für Sämlinge an. Dem stellt er einen N-Entzug in der Größenordnung von 50 kg N/ha gegenüber. Daraus resultieren große N_{\min} -Restmengen im Herbst von im Mittel 38 kg Nitrat-N/ha bei Koniferen bis 138 kg Nitrat-N/ha bei Sämlingen.

Bei BOHNE et al. (1996) führte eine Stallmistgabe von 535 dt im Ausbringungsjahr bei einem Lößboden zu N_{\min} -Gehalten von bis zu ca. 90 kg N_{\min} /ha. Dagegen wurden mit 758 dt Bioabfallkompost nur N_{\min} -Gehalte bis unter 70 kg N_{\min} /ha beobachtet, was den N_{\min} -Gehalten der Kontrolle entspricht. Eine Ausbringung von 3000 dt Bioabfallkompost führte im Ausbringungsjahr zu N_{\min} -Werten bis über 150 kg N_{\min} /ha. Im folgenden Jahr unterschied sich diese Variante mit knapp 100 kg N_{\min} /ha noch von den sonst einheitlichen N_{\min} -Werten der geringen Aufwandmengen Stallmist und Bioabfallkompost sowie der Kontrolle.

POPP (1997) fand nach jährlicher Ausbringung von zwei Bioabfallkomposten in der Menge von 170 und 510 kg N_{ges} /ha auf einem schluffigen Lehm im ersten Jahr N_{min} -Gehalte (0 – 90 cm) von ca. 100 bis 150 kg N_{min} /ha und im zweiten Jahr von bis zu ca. 110 kg N_{min} /ha (jeweils im August). Dabei sind jedoch höhere Entzüge der gemüsebaulichen Kulturen zu berücksichtigen.

Aufgrund der erreichten Maximalwerte der N_{min} -Gehalte im eigenen Versuch kann man also schließen, dass durch den Einsatz geeigneter Komposte (hier insbesondere Grüngutkompost) die Stickstoffversorgung im Vergleich zu den meist verwendeten frischen Stallmisten besser an den Bedarf vieler Baumschulkulturen angepasst werden kann. Dann ist durch eine N_{min} -Analyse im Juni – Juli die Notwendigkeit einer Nachdüngung zu untersuchen, da der Grüngutkompost evtl. den Stickstoffbedarf der Kulturen nicht zu decken vermag.

4.1.2.1.2 Stickstoffmineralisation

1. Versuchsjahr

Die von Februar bis Mai des ersten Versuchsjahres eingetretene Steigerung der N_{min} -Gehalte kann durch Mineralisation erklärt werden. Daneben wurde aufgrund von Auswaschungen aus der Bodenschicht 60 - 90 cm Mineralstickstoff unter die beprobte Zone verlagert. In Tabelle 23 wird versucht, die Mineralisation in diesem Zeitraum über die Veränderung der N_{min} -Gehalte abzuschätzen. Berücksichtigt wird Veränderung in den beiden oberen Bodenschichten. Die Veränderungen in der Bodenschicht 60 - 90 cm werden nicht berücksichtigt, da hier Auswaschungsverluste auftreten, die eine Mineralisation überlagern würden. Durch so entstehende negative Werte, käme es zu einer Unterschätzung der Mineralisation bei der Bildung eines Werts für alle drei beprobten Bodenschichten. Da eine Verlagerung unterhalb 60 cm Bodentiefe nicht berücksichtigt werden konnte, können die angegebenen Werte als tendenziell zu niedrig angesehen werden.

Tabelle 23: Veränderung der N_{\min} -Gehalte [kg N_{\min} /ha] in den Bodenschichten 0 - 30 und 30 - 60 cm von Februar bis Mai 1997

	Veränderung N_{\min}		
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	0 – 60 cm
0	24	3	27
BK2	18	5	23
BK4	18	12	30
BK8	0	14	14
GK2	12	-4	8
GK4	12	2	14
GK8	1	1	2
SM2	21	3	24
SM4	30	6	36
SM8	14	6	20

In der Kontrolle liegt die Mineralisation bei mindestens 27 kg N_{\min} /ha. Sie kann auch höher liegen, da sich die Auswaschungsverluste und die Aufnahme durch Pflanzen und hier besonders Unkrautbewuchs nicht quantifizieren lassen. Bei allen drei verwendeten organischen Düngerarten liegt die Mineralisation in der mittleren Aufwandmenge von 400 dt /ha am höchsten. Beim Bioabfallkompost und Stallmist liegt die Mineralisation in dieser Aufwandmenge über der der Kontrolle. Die Mineralisation in der 200 dt Variante kann bei diesen beiden Düngern mit der Kontrolle gleichgesetzt werden. Ein Unterschied von 3 bzw. 4 kg N_{\min} /ha liegt außerhalb der Genauigkeit der Bestimmung. Die Mineralisation könnte aber auch insgesamt deutlich höher liegen, da Auswaschungsverluste von Februar bis Mai höchst wahrscheinlich sind. Eine Messung der Niederschläge und Tensiometermessungen erfolgten erst ab Mai.

Beim Grüngutkompost ist die Mineralisation im Vergleich zur Kontrolle deutlich geringer. Bei der höchsten Aufwandmenge steigt der N_{\min} -Gehalt in 0 - 60 cm Bodentiefe nur um 2 kg N_{\min} /ha an. In 0 – 90 cm kommt es sogar zu einem absoluten Abfall um 12 kg N_{\min} /ha. Es tritt bei der Ausbringung des hier verwendeten Grüngutkomposts eine N-Sperre auf, die aber durch die hohe Mineralisation des

Bodens bei den Aufwandmengen von 200 und 400 dt /ha ausgeglichen werden kann. Nur bei einer Aufwandmenge von 800 dt /ha kommt es zu einem Abfall der N_{\min} -Gehalte des Bodens. Bei allen drei verwendeten Düngern kommt es bei der höchsten Aufwandmenge zu verminderter Mineralisation. Andere Faktoren können die im Vergleich zur Kontrolle niedrigeren N_{\min} -Gehalte des Bodens nicht erklären. Neben der Art der Dünger kommt hier also der Aufwandmenge eine Bedeutung zu.

Durch die im Verlauf der Vegetationsperiode häufig auftretende Auswaschung ist es nicht möglich die Mineralisation der organischen Dünger genauer zu erfassen. In der Bodenschicht 0 – 30 cm kommt es oft zu sinkenden N_{\min} -Gehalten. Nur von August bis September steigen sie durchweg an. In diesem Zeitraum treten wie Abbildung 14 zeigt hohe Wasserspannungen im Oberboden auf. Für diesen Zeitraum kann also wieder eine Mineralisation nachgewiesen werden. In der Kontrolle steigen die Mineralstickstoffgehalte der obersten Bodenschicht am geringsten an. Es handelt sich nur um 2 kg N_{\min} /ha. In den organisch gedüngten Parzellen liegt der Anstieg der Varianten mit der höchsten Aufwandmenge immer über dem der Varianten mit der geringsten Aufwandmenge. Die im Vergleich der Düngerarten geringste Mineralisation weist der Grüngutkompost auf. Im Mittel der Aufwandmengen folgen der Stallmist und mit der höchsten Mineralisation der Bioabfallkompost.

2. Versuchsjahr

Im zweiten Versuchsjahr läßt sich die Mineralisation für den Zeitraum von April bis August berechnen, da in dem Zeitraum wie dargestellt nur selten Auswaschung aufgetreten ist. Die N-Aufnahme der Pflanzen soll unberücksichtigt bleiben, da sie wie in Kapitel 4.3.2. dargestellt wird nur sehr gering ist und zwischen den Varianten kaum wesentliche Unterschiede bestehen. Das Absinken der N_{\min} -Gehalte von Juni zu Juli 1999 wird auf Auswaschung zurückgeführt, und diese Menge daher der Mineralisation zugerechnet. Wenn man davon ausgeht, dass die N-Sperre auch im zweiten Versuchsjahr noch besteht, müßte man dieses Absinken der N_{\min} -Werte von der Mineralisation abziehen.

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Mineralisation sind in Tabelle 24 dargestellt, wobei die Bodenschicht von 0 - 90 cm Berücksichtigung findet. Wenn keine Mineralisation festgestellt werden kann, so bedeutet dies, dass die Auswaschung

größer war als die Mineralisation. Da Auswaschungen quantitativ nicht erfaßt werden können, muss man von höherer Mineralisation als hier dargestellt ausgehen. Andererseits wird eine eventuelle Immobilisation zwischen zwei Terminen nicht berücksichtigt, dies könnte eventuell zu einer Überschätzung der Mineralisation führen, da diese sonst von der Mineralisationsleistung abzuziehen wäre.

Tabelle 24: Stickstoffmineralisation [kg N_{min}/ha in 0 – 90 cm] zwischen den Probenahmeterminen des zweiten Versuchsjahres

Variante	April bis Juni	Juni bis Juli	Juli bis August	Summe	Differenz zur Kontrolle
0	31	1	6	38	0
BK2	35	0	19	54	16
BK4	28	6	27	61	23
BK8	44	0	43	87	49
GK2	35	3	20	58	20
GK4	33	0	11	44	6
GK8	35	0	25	60	22
SM2	38	0	14	52	14
SM4	34	0	37	71	33
SM8	32	0	24	56	28

3. Versuchsjahr

Unter den gleichen Vorgaben wie für das zweite wurde die Mineralisation auch für das dritte Versuchsjahr berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Stickstoffmineralisation [kg N_{min}/ha in 0 – 90 cm] zwischen den Probenahmeterminen des dritten Versuchsjahres

Variante	März bis Mai	Mai bis Juni	Juni bis Juli	Juli bis Sept.	Sept. bis Oktober	Summe März bis Oktober	Differenz zur Kontrolle
0	10	20		1		31	0
BK2 1x	7	15		0		22	-9
BK2 2x	14	3	23			40	9
BK4 1x	7	19		4		30	-1
BK4 2x	12	18	12			42	11
BK8 1x	10	8		3		21	-10
BK8 2x	25		41			66	35
GK2 1x	13	2	0			15	-16
GK2 2x	14	6	4			24	-7
GK4 1x	2	5	2	7		16	-15
GK4 2x	9	20		1		30	-1
GK8 1x	14	4	17			35	4
GK8 2x	8	11	12	5		36	5
SM2 1x	9	6		8		23	-8
SM2 2x	12	21	1			34	3
SM4 1x		3	5	2		10	-21
SM4 2x	22		37		4	59	28
SM8 1x	3	11	1	15		30	-1
SM8 2x	12	34	10	26		82	51

Hier fällt besonders deutlich auf, dass für einige Varianten für bestimmte Zeiträume keine Mineralisation angegeben werden konnte, da die Auswaschungen in diesem Zeitraum größer waren als die Mineralisation. In diesen Zeiträumen hat es wahrscheinlich trotzdem Mineralisation gegeben. Zudem ist auch in den Varianten, für die Mineralisation angegeben wird, Auswaschung aufgetreten. Hier wird die Mineralisation also unterschätzt. Auch kann sie in den anderen Zeiträumen größer als angegeben gewesen sein, falls hier noch Auswaschungen aufgetreten sind. Aufgrund der hydraulischen Gradienten kann für keinen der Zeiträume zwischen den

Probenahmeterminen Auswaschung ausgeschlossen werden. Auch Immobilisation erscheint für bestimmte Zeiträume und Varianten möglich, kann aber aufgrund der großen Streuung der Werte nicht eindeutig nachgewiesen werden. Andere Faktoren wie die Aufnahme durch Pflanzen, nasse Deposition etc. bleiben unberücksichtigt.

Im dritten Versuchsjahr bestehen Unterschiede in der Mineralisation zwischen den verschiedenen organischen Düngern und zwischen den Anwendungshäufigkeiten. Alle zweimal gedüngten Varianten weisen eine höhere Mineralisation als entsprechende einmal gedüngte Varianten auf. Die Mineralisation ist besonders beim Bioabfallkompost und beim Stallmist bei erneuter Ausbringung sehr hoch. Beim Grüngutkompost kommt es zu keiner sehr hohen Mineralisation, sie liegt unabhängig von der Aufwandmenge meist sogar unter der Mineralisation der Kontrolle.

Für die Mineralisation aus organischen Düngern oder eine eventuelle Immobilisation wird von den meisten Autoren dem C/N-Verhältnis eine große Bedeutung beigemessen. So gibt DIEREND (1995) an, dass es ab einem C/N-Verhältnis von 25 bis 30 zu Immobilisation kommen kann. In diesem Bereich geben auch zahlreiche andere Autoren die Grenze zwischen möglicher Mineralisation und Immobilisation an. POPP (1997) fand bei Bioabfallkomposten bei einem C/N-Verhältnis von unter 13 eindeutig Mineralisation, bei einem C/N-Verhältnis von fast 18 geht er aber bereits von Immobilisation aus.

Im vorliegenden Versuch hatten die eingesetzten organischen Dünger die in Tabelle 26 angegebenen C/N-Verhältnisse.

Tabelle 26: C/N-Verhältnisse der organischen Düngemittel

	Stallmist	Bioabfallkompost	Grüngutkompost
1997	41	13	21
1999	12	11	18

Nach den Ergebnissen von POPP (1997) ist beim Grüngutkompost mit Immobilisation zu rechnen, v.a. im ersten Versuchsjahr. Dies wurde im vorliegenden Versuch nicht sicher bewiesen, da es zu Auswaschungen kam. Doch führte der Einsatz von Grüngutkompost zu verringerten N_{\min} -Gehalten im Vergleich zur Kontrolle. Die C/N-

Verhältnisse der beiden Bioabfallkomposte zeigen, dass bei diesen mit erheblicher Mineralisation zu rechnen ist. Von den je 200 dt Bioabfallkompost enthaltenen 163 kg N_{ges} /ha wurde im Ausbringungsjahr jedoch nur ein geringer Teil mineralisiert, die genaue Menge lässt sich aufgrund nicht quantifizierbarer Auswaschungsverluste nicht bestimmen. So fanden BOHNE et al. (1996) bei einem Bioabfallkompost im Jahr der Ausbringung eine Nettomineralisation von etwa 2%. Diese Größenordnung kann auch hier als wahrscheinlich angesehen werden. Von den in der 800 dt Variante mit dem Bioabfallkompost ausgebrachten 652 kg N_{ges} /ha wurden im Vergleich zur Literatur erhebliche Mengen im zweiten Jahr mineralisiert. Im vorliegenden Versuch liegt der Unterschied in der Mineralisation zwischen Kontrolle und BK8 Variante im zweiten Versuchsjahr bei 49 kg N_{min} /ha was bezogen auf den insgesamt ausgebrachten N-Gehalt des Bioabfallkomposts eine Nettomineralisation von fast 8% bedeutet. In der Variante BK4 wird der selbe prozentuale Wert erreicht, bei der Variante BK2 werden im zweiten Versuchsjahr sogar fast 10 % des ursprünglich zugeführten Stickstoffs mobilisiert. Dabei ist anzumerken, dass nur der Zeitraum April bis August gewertet wurde. Auf das gesamte Jahr gesehen dürfte die Nettomobilisation also noch höher liegen. Damit werden die von FROHNE (1991) angegebenen Werte von 10% für das Ausbringungsjahr erreicht.

Im dritten Versuchsjahr wurde in den zweimal mit Bioabfallkompost gedüngten Varianten höhere Mineralisation als in der Kontrolle festgestellt. Sie lag bei etwa 5 % der im dritten Versuchsjahr ausgebrachten Stickstoffmenge. Wenn man die Mineralisation aus dem Bioabfallkompost, der im ersten Versuchsjahr ausgebracht wurde, nicht berücksichtigt, liegt dies im unteren Bereich der Literaturangaben (BOHNE et al. 1996).

BOHNE et al. (1996) weisen darauf hin, dass die sehr unterschiedlichen Eigenschaften von Komposten es nicht zulassen, allein vom C/N-Verhältnis auf die Mineralisationsfähigkeit des zugeführten Stickstoffs zu schließen. Dies wird auch im vorliegenden Versuch bestätigt.

Beim Stallmist ist festzuhalten, dass sich die im ersten und im dritten Versuchsjahr verwendeten Rindermiste erheblich unterscheiden. Im ersten Versuchsjahr wurde ein über Jahre abgelagerter und damit stark kompostierter Mist eingesetzt. Das extreme C/N-Verhältnis von 41 dürfte sich in der Praxis kaum finden lassen. Im dritten Jahr

wurde dagegen ein frischer, nicht gelagerter und damit nicht kompostierter Mist verwendet. Dieser entspricht den häufig in Literaturzitate gemeinten Stallmisten. Ein stark kompostierter Mist, wie im ersten Versuchsjahr eingesetzt, wird dagegen in der Literatur selten erwähnt. Einen solchen verwendeten z.B. Bohne et al. (1996) und Walter (1999). Der Stallmist, der im ersten Versuchsjahr eingesetzt wurde, enthielt auf die TS bezogen weniger als ein Drittel des Stickstoffs wie der Stallmist im dritten Versuchsjahr. Obwohl mit dem Grüngutkompost in ersten Versuchsjahr im Vergleich zum Stallmist fast die doppelte Stickstoffmenge ausgebracht wurde, liegen die N_{\min} -Werte der Stallmistvarianten meist über denen der Grüngutkompostvarianten, was auch vor dem Hintergrund der C/N-Verhältnisse nicht zu erwarten gewesen wäre. Auch im zweiten Jahr wurden in den Varianten SM4 und SM8 höhere Stickstoffmengen mineralisiert als in den entsprechenden Grüngutkompostvarianten. Dies beweist, dass außer dem C/N-Verhältnis anderen stofflichen Eigenschaften eine hohe Bedeutung zukommt. Komposte können trotz hoher Stickstoffgehalte und niedrigem C/N-Verhältnis wenig umgesetzt werden. Dies gilt wohl auch im Vergleich zu stark kompostiertem Mist. Damit eignen sich einige Komposte besser zur Humusversorgung von Baumschulkulturen als Mist, weil sie dem geringen N-Bedarf der Kulturen entsprechen. Allerdings muss man auf die Eigenschaften des Komposts achten, wie der Vergleich mit dem Bioabfallkompost zeigt.

Im vorliegenden Versuch konnte keine lineare Beziehung zwischen der Aufwandmenge an organischem Dünger und der freigesetzten Stickstoffmenge festgestellt werden. Dies stellte auch WALTER (1999) bei Rinder- und Pferdemist fest. Er fand für die Aufwandmengen von 300, 600 und 900 dt Pferde- und Rindermist keinen Einfluss der Ausbringungsmenge auf das Mineral-N-Angebot des Bodens. POPP (1997) stellte ähnliches für zwei Bioabfallkomposte fest (siehe auch Kapitel 4.1.2.1.1).

Der N_{ges} -Gehalt des Bodens kann als Wert für den Vorrat des Bodens an Stickstoff betrachtet werden. Er ist zum Versuchsende nur bei wenigen Varianten von der Kontrolle abweichend. Ohne jede organische Düngung hat er in der Kontrolle mit einem der niedrigsten Werte erreicht. Nur durch hohe Aufwandmengen ist eine Steigerung möglich. Sie fällt beim Bioabfallkompost (Variante Bioabfallkompost 8 2x) bei zweimaliger Anwendung besonders deutlich auf. Auch für die mit 400 dt

Bioabfallkompost zweimal gedüngte Variante ist eine Steigerung im Vergleich zur einmal gedüngten entsprechenden Variante feststellbar. Dies ist eine Folge des engen C/N-Verhältnisses und damit der ausgebrachten N_{ges} -Menge des Bioabfallkomposts.

4.1.2.2 Nährstoffhaushalt für weitere Mineralstoffe

Die im ersten und dritten Versuchsjahr ausgebrachten Mengen Gesamtphosphor, Gesamtkalium und Gesamtmagnesium sind in Tabelle 27 im Vergleich zu den mittleren Entzügen von Baumschulkulturen nach ALT et al. (1994) und ALT (1990) dargestellt.

Tabelle 27: Im ersten und dritten Versuchsjahr ausgebrachte Gesamtmineralstoffmengen (200 dt Varianten) im Vergleich zu mittleren Entzügen von Baumschulkulturen nach ALT et al. (1994) und ALT (1990)

	ausgebrachte Mineralstoffmenge [kg /ha]		mittlerer Entzug [kg /ha]	
	1. Jahr	3 Jahr	Immergrüne Koniferen	Laubgehölze
P_{ges}	Stallmist 8 Bioabfallkompost 36 Grüngutkompost 14	Stallmist 46 Bioabfallkompost 34 Grüngutkompost 14	6,6	3,3
K_{ges}	Stallmist 27 Bioabfallkompost 109 Grüngutkompost 37	Stallmist 268 Bioabfallkompost 118 Grüngutkompost 36	25,7	21,2
Mg_{ges}	Stallmist 4 Bioabfallkompost 28 Grüngutkompost 14	Stallmist 29 Bioabfallkompost 30 Grüngutkompost 18	< 6	

Die ausgebrachten Mineralstoffmengen überschreiten bereits in den 200 dt Varianten die mittleren Entzüge von Baumschulkulturen, eine Ausnahme besteht nur manchmal für Magnesium bei der Anwendung von Stallmist in der niedrigsten Aufwandmenge.

Bis auf die 200 dt Stallmist Variante wird meist der Bedarf von mehreren Vegetationsperioden gedeckt. Dabei ist zu bedenken, dass die Entzüge von Baumschulkulturen extrem schwanken können. Es spielen dabei v.a. das Standjahr und die Art der Kultur eine große Rolle. Im ersten Standjahr dürften die angegeben in der Literatur angeführten Entzüge selten erreicht werden. Zudem ist noch die mit der Mineraldüngung zu Versuchsbeginn zugeführte Mineralstoffmenge zu berücksichtigen.

Zur Beurteilung der Mineralstoffversorgung von Baumschulkulturen werden meist die Mineralstoffgehalte des Bodens herangezogen. Nach der von ALT (1990) aufgestellten Einteilung in die Versorgungsstufen A bis E liegen die Phosphorgehalte des Bodens stets im oberen Bereich der Versorgungsstufe C oder im unteren Bereich der Versorgungsstufe D. Eine Erhöhung der Phosphorgehalte des Bodens läßt sich signifikant nur bei sehr großen Mengen ausgebrachter Dünger nachweisen. So im ersten Jahr in der Variante BK8.

Im Verlauf der drei Versuchsjahre ist es zu einer Verlagerung von Phosphor in tiefere Bodenschichten gekommen, was jedoch zu keinerlei signifikanten Unterschieden in der Bodenschicht 30 – 60 cm führte. Eine Verlagerung von Phosphor in tiefere Bodenschichten ist nach SCHACHTSCHABEL et al. (1998) auf Sandböden bei hohen Sickerwassermengen und einem hohen Anteil an organisch gebundenem Phosphat zu erwarten.

Da bei Bodenuntersuchungen auf Phosphat relativ hohe Schwankungen auftreten (SCHACHTSCHABEL et al. 1998) ist eine Aussage über Anreicherung oder Verarmung des Bodens an Phosphat aufgrund der vorliegenden Ergebnisse von 3 Jahren nur schwer möglich.

Aufgrund der teilweise sehr hohen Mengen an zugeführtem Phosphor kann hier eine Limitierung der möglichen Ausbringungsmenge an organischem Dünger gesehen werden. Eine langfristig wiederholte Ausbringung von Bioabfallkompost würde zu einer Anreicherung und damit langfristig zu einer Gefährdung der Umwelt führen, v.a. wenn erodiertes Material aus der Ackerkrume in Gewässer eingetragen werden

kann. Hier können nach BØCKMAN et al. (1990) bereits geringen Phosphatausträgen große Wirkungen in Bezug auf die Gewässerbelastung zukommen.

Auch beim Kalium liegt die ausgebrachte Menge bereist in der 200 dt Variante teils deutlich über den mittleren Entzügen von Baumschulkulturen. Hier ist allerdings zu beachten, dass auf Sandböden ein nicht zu vernachlässigender Kaliumverlust durch Auswaschung auftreten kann, der meist mit 20 bis 30 kg K/ha angegeben wird (ALT 1990).

Auffällig ist der extreme Unterschied in der ausgebrachten Kaliummenge bei den beiden Stallmisten des ersten und des dritten Versuchsjahres.

In der obersten untersuchten Bodenschicht liegen die Kaliumgehalte der Kontrolle zu Versuchsbeginn mit 7,5 mg K /100 g Boden im Bereich der Versorgungsstufe B. Im Versuchsverlauf sinken die Kaliumgehalte durch Auswaschung und geringem Umfang durch Aufnahme bedingt bis auf 3,4 mg K /100 g Boden ab. Sie liegen damit nur noch im Bereich der Versorgungsstufe A. Durch die organischen Dünger war es möglich die Kaliumgehalte des Bodens zu erhöhen. Dies erfolgte entsprechend der ausgebrachten Kaliummenge in Abhängigkeit von Düngerart und Düngermenge. Bei der höchsten Stallmistmenge im dritten Versuchsjahr stieg der Kaliumgehalt des Bodens bis in den oberen Bereich der Versorgungsstufe D an.

Doch wurden die zugeführten Kaliummengen schnell wieder ausgewaschen. Eine langfristige Steigerung der Kaliumgehalte des Bodens erscheint nicht möglich.

Die Magnesiumgehalte des Bodens sind zu Versuchsbeginn recht hoch. Alle Varianten liegen im Bereich der Gehaltsklasse D (sehr hoch). Nach einem Jahr sind sie in den beiden dann untersuchten oberen Bodenschichten deutlich abgesunken. Sie liegen in der obersten Bodenschicht aber immer noch im Bereich der Klasse D. Durch die organische Düngung sind die durch den Bioabfallkompost mit hohen Aufwandmengen zugeführten hohen Magnesiummengen wiederzufinden. Die nur niedrigen Magnesiummengen, die mit dem Grüngutkompost und v.a. dem Stallmist zugeführt wurden, lassen sich nicht wiederfinden. Beim Stallmist liegen sie mit 16 kg M /ha auch bei der höchsten Aufwandmenge noch unter der von ALT (1990) empfohlenen Magnesiumdüngung von 30 kg Mg /ha in der Klasse C. Hier ist auch

die mit dem Mineraldünger zu Versuchsbeginn zugeführte Magnesiummenge zu berücksichtigen. Auch ALT (1990) gibt an, dass bei einer Stallmistgabe von 200 dt alle zwei Jahre eine zusätzliche Mineraldüngung mit Magnesium notwendig ist.

Zu Beginn des dritten Jahres liegen die Magnesiumgehalte meist im Bereich der Klasse B (mittel) und im unteren Bereich der anzustrebenden Klasse C (hoch). Bis Oktober sinken sie deutlich ab, meist bis in den Bereich der Klasse A (niedrig). Somit muss von der Gefahr eines Magnesiummangels ausgegangen werden. Auch die Magnesiumgehalte der unteren Bodenschichten sind im Vergleich zu früheren Terminen deutlich niedriger. ALT (1990) gibt an, dass Magnesiummangel in Baumschulen weit verbreitet ist.

SANFTLEBEN (1989) untersuchte die Nährstoffgehalte in Böden (humose und lehmige Sande) von 32 Baumschulen im Kreis Pinneberg. Dabei wiesen 2 % der Flächen Magnesiumgehalte bis 2,5 mg Mg /100 g Boden auf, 35 % der Flächen 2,6 bis 5 mg Mg /100 g Boden und 55 % 6 – 10 mg Mg /100 g Boden. Nach der von ALT (1990) erfolgten Einteilung liegen also bei 37 % der Betriebe keine optimalen Magnesiumgehalte vor. Die Phosphorversorgung in den Böden dieser Betriebe ist dagegen meist sehr hoch, die Kaliumversorgung häufig auch nicht ausreichend. Es treten also die gleichen Ungleichgewichte wie im eigenen Versuch auf.

4.1.3 pH-Wert

Der pH-Wert der Kontrolle von pH 5.5 entspricht dem von SCHACHTSCHABEL et al. (1998) empfohlenen Wert für landwirtschaftlich genutzte Sandböden. Durch die Zufuhr organischer Dünger konnte keine signifikante Veränderung erreicht werden. Allerdings führte im ersten Versuchsjahr die Zufuhr der höchsten Aufwandmenge von Stallmist zu einer Verringerung des pH-Werts und die von Kompost, hier v.a. von Bioabfallkompost, zu beiden Ausbringungsterminen zu einer Erhöhung. Dadurch ergeben sich teilweise signifikante Unterschiede zwischen den mit Stallmist und den mit Komposten gedüngten Varianten im ersten Versuchsjahr.

Durch Komposte konnte der pH-Wert stets angehoben werden, durch den Einsatz von Stallmist nur im dritten Versuchsjahr. Letzteres ist auf die unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Stallmiste zurückzuführen.

Eine Zunahme des pH-Werts durch die Einarbeitung von Komposten und Stallmist fanden auch BOHNE et al. (1996). Nach BOHNE (1995) ist durch die hohen Ca-Gehalte in Komposten von einer Erhöhung des pH-Werts auszugehen. Wie die hier gefundenen pH-Werte zeigen, muss man bei langfristiger Kompostanwendung von einer Anhebung des pH-Werts über den Bereich optimaler pH-Werte hinaus ausgehen. Auch KEDZIA et al. (1997) fanden durch Stallmist und Kompost erhöhte pH-Werte.

4.1.4 Salzgehalt

Die Auswirkungen der organischen Düngung auf den Salzgehalt des Bodens unterscheiden sich zwischen den beiden Düngungsterminen deutlich. Während im ersten Jahr keine Veränderung der Salzgehalte festzustellen ist, kommt es durch die Anwendung von Bioabfallkompost und v.a. Stallmist im dritten Versuchsjahr zu deutlich erhöhten Salzgehalten. Ein Einfluss der Aufwandmenge ist ebenfalls feststellbar. Im Verlauf der Vegetationsperiode sinken die Salzgehalte der Varianten mit sehr hohen Werten allerdings wieder ab, dagegen steigen die Salzgehalte der Varianten mit niedrigen Werten trotz Auswaschung an. Dies kann auf Umsetzungsprozesse im Boden (Mineralisation) und Wirkungen der Pflanzen (Wurzelausscheidungen) zurückgeführt werden.

Durch die wiederholte organische Düngung im dritten Versuchsjahr wird der Pflanzen schädigende Grenzwert nach HOFFMANN (1991) von 200 mg KCl /100 g Boden teilweise deutlich überschritten. Besonders bei der Anwendung von Bioabfallkompost und Stallmist in Aufwandmengen von über 400 dt je ha können visuell festgestellte Schädigungen auf die Salzwirkung zurückgeführt werden. Es ist hier also durch die Einarbeitung in den Boden zu keiner ausreichenden Verdünnung gekommen. Die hohen Salzgehalte des Bioabfallkomposts sind aus Tabelle 1 ersichtlich. Für den Stallmist wurde der Salzgehalt zwar nicht bestimmt, aber die hohen Nährstoffgehalte lassen auf hohe Salzkonzentrationen schließen.

4.1.5 Kationenaustauschkapazität

Die organische Düngung führte zu deutlichen Wirkungen bei der Kationenaustauschkapazität. Sie wurde meist erhöht. Es sind sowohl Wirkungen der Düngerart als auch der Düngermenge feststellbar. Die einmalige organische Düngung zu Beginn des ersten Versuchsjahres bewirkte v.a. beim Bioabfallkompost eine Erhöhung der Kationenaustauschkapazität am Ende des dritten Versuchsjahres. Sie ist besonders bei der höchsten Aufwandmenge ausgeprägt. Auch die Anwendung von Grüngutkompost hatte diesen, allerdings weniger ausgeprägten, Effekt. Die Anwendung von Stallmist im ersten Versuchsjahr hatte diese Wirkung im dritten Jahr nicht mehr. Die im dritten Versuchsjahr ausgebrachten organischen Dünger bewirkten einen Anstieg der Kationenaustauschkapazität in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge. Die Wirkung des Stallmists war im dritten Jahr gut erkennbar, der Unterschied zwischen einmal und zweimal gedüngten Varianten ist hier am deutlichsten ausgeprägt. Dass die Wirkung von Bioabfallkompost auf die Kationenaustauschkapazität auch nach drei Jahren noch erkennbar ist, ist ein Indiz für den noch nicht erfolgten Abbau der ausgebrachten organischen Substanz.

Bei der Belegung der Austauschstellen mit Kalium zeigt die Ausbringung von Stallmist im dritten Versuchsjahr eine deutliche Wirkung. Die Komposte bewirken dagegen eine stärkere Belegung mit Magnesium und v.a. Kalzium.

Besonders deutlich zeigt sich der Unterschied zwischen dem Stallmist im ersten und dritten Versuchsjahr. Während der Stallmist des ersten Versuchsjahrs nach drei Vegetationsperioden keine Wirkung mehr zeigt, ist die Wirkung der Komposte auch nach diesem Zeitraum noch aufzeigbar.

Die niedrigen Kationenaustauschkapazitäten der Varianten SM2 1x und SM8 1x können durch die niedrigen pH-Werte dieser beiden Varianten erklärt werden.

Unter Berücksichtigung der relativ hohen Humusgehalte im Vergleich zu ackerbaulich genutzten Böden entsprechen die Kationenaustauschkapazitäten den von SCHACHTSCHABEL et al. (1998) beschriebenen Verhältnissen. KEDZIA et al. (1997)

fanden durch Stallmist und Kompost erhöhte Kationenaustauschkapazitäten für eine Parabraunerde.

4.2 Physikalische Bodeneigenschaften

4.2.1 Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung

Bei den Parametern Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung ergibt sich für die drei Versuchsjahre keine einheitliche eindeutige Wirkung der Behandlung. Es fällt dagegen der Einfluß der Lage der Versuchsparzelle auf. Dies entspricht auch den unterschiedlichen Humusgehalten in den Wiederholungen. In der ersten Wiederholung, wo die Humusgehalte im Vergleich zur vierten deutlich höher liegen, ist die Lagerungsdichte niedriger und das Porenvolumen höher.

Tendenziell bewirkt im ersten Versuchsjahr der Einsatz von Kompost einen Anstieg des Porenvolumens, dies ist beim Grüngutkompost im Vergleich zum Bioabfallkompost ausgeprägter. Dieser Effekt läßt sich aber nur bei niedrigen Ausgangswerten für das Porenvolumen feststellen. Der Einsatz von Stallmist hat zumindest teilweise und kurzfristig den gegenteiligen Effekt, sofern er bei vergleichsweise hohen Ausgangswerten aufgebracht wird. Der Einsatz von Stallmist führt neben der Abnahme des gesamten Porenvolumens zu einer Verschiebung von den groben zu den feinen Poren.

Der Aufwandmenge läßt sich im Gegensatz zur Düngerart kein Einfluss zuordnen. Schon die geringste Aufwandmenge von 200 dt /ha scheint eine nicht mehr deutlich steigerungsfähige Wirkung zu haben.

Im gesamten Versuchszeitraum gleichen sich die untersuchten physikalischen Eigenschaften zwischen den Wiederholungen und Behandlungen an. Es kommt insbesondere zu einer Abnahme der groben Poren.

Im dritten Versuchsjahr sind keine eindeutigen Wirkungen der organischen Düngung feststellbar.

WEIGEL et al. (1997) fanden bei einem Sandboden durch Stallmistzufuhr eine erhöhte Wasserkapazität, TENHOLTERN (1997) fand ein halbes Jahr nach der Einarbeitung von 360 t FM Kompost vermehrt Mittelporen bei einem schluffreichen Boden.

4.2.2 Wasserhaushalt des Bodens

Die in den drei Versuchsjahren gemessenen Tensiometerwerte weisen sehr große Streuungen auf, so dass es schwierig ist, eindeutige Wirkungen der Behandlungen auf den Wasserhaushalt des Bodens aufzuzeigen. Zudem unterscheidet sich der Pflanzenbewuchs, v.a. der von Unkraut, zwischen den Parzellen.

Unterschiede treten nur in den Zeiten hoher Wasserspannungen auf. Tendenziell liegen die Wasserspannungen der Kontrolle und teilweise der mit Stallmist gedüngten Varianten höher als die der mit Komposten, und hier v.a. als die der mit Grüngutkompost, gedüngten Varianten. Im zweiten Versuchsjahr sind kaum Unterschiede feststellbar. Dies beruht v.a. auf den langen Zeiten niedriger Wasserspannungen.

Im dritten Versuchsjahr weisen Varianten mit niedrigen Mengen ausgebrachten Düngers häufig niedrigere Wasserspannungen als Varianten mit hohen Aufwandmengen auf. Dies liegt im schwächeren Unkrautbewuchs dieser Varianten begründet.

Im dritten Versuchsjahr kann man feststellen, dass die Kontrolle schneller und insgesamt höhere Wasserspannungen erreicht als die gedüngten Varianten. Da hier der Unkrautbewuchs aber gering war, kann man von einer Wirkung der organischen Düngung ausgehen. Dazu kommt, dass es bei der Kontrolle häufiger zu Versickerung kommt, als bei den anderen Varianten. Dies liegt im schwächeren Unkrautbewuchs und der geringeren Wasserspeicherfähigkeit des Bodens begründet, hervorgerufen durch niedrigere Humusgehalte und, wie zumindest für das erste Versuchsjahr nachgewiesen, einem geringeren Anteil Feinporen.

Die positive Wirkung organischer Düngung wird von den meisten Autoren v.a. bei Sandböden und hier in den Auswirkungen auf die physikalischen Bodeneigenschaften gesehen (SANFTLEBEN 1991, LERCHE 1990, ASMUS et al. 1987,

ASMUS und GÖRLITZ 1981, SCHNIEDER 1981, RAUHE und HESSE 1959). Die hier vorliegenden Daten stützen diese These.

4.3 Pflanzen

4.3.1 Wachstum

Das Wachstum der *Ligustrum vulgare* L. ist in allen drei Versuchsjahren als sehr gering zu bezeichnen. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Bei Betrachtung der Einzelpflanzen liegt dies an einer nicht optimalen Einlagerung im Kühlhaus vor dem Aufschulen. Hierdurch sind teils große Schäden entstanden, auch wurden die *Ligustrum vulgare* L. vor dem Pflanzen nicht gewässert. Der Austrieb erfolgte sehr spät und in vergleichsweise geringem Umfang. Verstärkt wurde dies durch große Trockenheit zu Beginn des ersten und dritten Versuchsjahres. Im Juni sind die Wasserspannungen in 30 cm Bodentiefe jeweils stark angestiegen. Im ersten Versuchsjahr wurden die Pflanzen mit dem Keilspaten gesetzt. Es gelang den Pflanzen nur schwer, aus dem so entstandenen schmalen tiefen „Pflanzloch“ herauszuwurzeln.

Bei der Betrachtung der Flächenerträge muss man berücksichtigen, dass die Pflanzabstände für die erreichten Qualitäten zu groß gewählt wurden. Aus diesen Gründen werden nur die Erträge pro Pflanze und nicht die pro Flächeneinheit betrachtet.

Die im ersten und zweiten Versuchsjahr erzielten Erträge unterscheiden sich deutlich, dies ist darauf zurückzuführen, dass die oben beschriebenen ungünstigen Einflussfaktoren im zweiten Jahr keine so negativen Folgen mehr hatten.

Tendenziell konnte durch Grüngutkompostdüngung und hier mit steigenden Aufwandmengen ein positiver Einfluss auf das Wachstum festgestellt werden. Dies äußerte sich sowohl in den qualitativen als auch den quantitativen Erträgen. Als Ursache hierfür kommt ein Einfluss der ermittelten Nährstoffe nicht in Betracht.

Die im ersten Versuchsjahr gemessenen Wasserspannungen zeigten allerdings für die Grüngutkompostvarianten tendenziell geringere Wasserspannungen. Die Kontrolle und die Stallmistvarianten liegen in Zeiten hoher Wasserspannungen deutlich höher. Die hohen Wasserspannungen der Variante GK8 können in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode auch auf das vergleichsweise stärkere Pflanzenwachstum zurückgeführt werden. Mitte Juni wurden für die Varianten BK4 und GK8 geringere Wasserspannungen als in den anderen Varianten gemessen. Allerdings wurden die Wasserspannungen nur in der dritten Wiederholung gemessen. Die Variante BK4 zeigt in dieser Wiederholung ein ausgesprochen starkes Wachstum, das in den anderen Wiederholungen nicht erreicht wird.

Somit wäre eine positive Beeinflussung der physikalischen Bodeneigenschaften und damit des Wasserhaushalts als Folge der Grüngutkompostdüngung als Ursache für verbessertes Pflanzenwachstum zu sehen. Leider läßt sich dies aber nicht statistisch absichern.

Auch im dritten Versuchsjahr ergeben sich kaum Einflüsse der organischen Düngung auf das Pflanzenwachstum. Das vergleichsweise schlechte Wachstum der Variante SM8 2x kann auf verstärktes Unkrautwachstum zurückgeführt werden. Hier wurden auch im Juli / August extrem hohe Wasserspannungen gemessen. Dagegen traten in der besten Variante GK4 1x nur sehr geringe Wasserspannungen zu diesem Zeitpunkt auf.

Ein Einfluss durch die Nährstoffversorgung ist nicht nachweisbar. Weder die Bodenanalysen noch die Pflanzenanalysen lassen auf Mangel schließen.

Wenn man die Pflanzenerträge des zweiten Jahres auf die Fläche umrechnet ergibt sich ein mittlerer Frischsubstanzenertrag von knapp 2000 kg je ha bei rund 18000 Pflanzen je ha. Sowohl im ersten als auch im dritten Versuchsjahr war er deutlich geringer.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bereits leichte Sträucher zum Aufschulen kamen, fällt beim Vergleich mit Literaturangaben das schlechte Wachstum besonders auf. Bei allen Altersstufen von Gehölzen die untersucht wurden, wurden keine so

geringen Frischsubstanzerträge festgestellt wie hier im ersten und dritten Versuchsjahr. Selbst das zweite Versuchsjahr bewegt sich am untersten Bereich der z.B. für bestimmte Sämlinge festgestellten Frischsubstanzerträge (ALT et al. 1994, DIEREND und SPETHMANN 1994a, ALT et al. 1993, OBERMAYR und ALT 1992, ALT 1990)

DANNENBERG (1982) fand bei Gefäßversuchen durch hohe Kompostgaben ein deutlich verbessertes Wachstum gegenüber rein mineralischer Düngung. ASMUS und GÖRLITZ (1981) führten die positiven Wirkungen organischer Düngung, also die „Humuswirkung“ im Vergleich mit Mineraldüngung v.a. auf die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Bodens zurück. Diese positiven Wirkungen sind ihnen zur Folge nur auf sandigen und humusarmen Böden feststellbar. ASMUS et al. (1987) fanden bei Humusgehalten von 0,93 bis 1,38 % einen Mehrertrag bei landwirtschaftlichen Kulturen von 5 bis 10 %, der auch durch verstärkte mineralische Düngung nicht ausgeglichen werden konnte.

BOHNE et al. (1996) fanden durch zwei Aufwandmengen an Bioabfallkompost keine positiven Auswirkungen auf den Ertrag von *Acer pseudoplatanus* L. im Vergleich zur Kontrolle. Wohl aber führte die Ausbringung von Stallmist zu geringerem Wachstum als bei der Kontrolle, was auf negative Veränderungen beim Wasserhaushalt zurückgeführt wird.

4.3.2 Nährstoffgehalte

Bei den Stickstoffgehalten in den Trieben und Blättern der Versuchspflanzen ergeben sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede.

Im ersten und zweiten Versuchsjahr gab es auch keine tendenziellen Unterschiede. Die Entzüge sind aufgrund des geringen Wachstums als äußerst gering einzustufen, sie lagen im ersten Versuchsjahr zwischen 1,7 und 3,0 kg N /ha für die oberirdischen Pflanzenteile, einschließlich der Blätter. Im zweiten Versuchsjahr wurden entsprechend den höheren Pflanzenerträgen höhere Entzüge erreicht. Sie lagen aber meist unterhalb von 10 kg N/ha, wobei hier nur die Triebe berücksichtigt sind.

Die allgemein höheren Stickstoffgehalte der Blätter und Triebe am Ende des letzten Versuchsjahres können verschiedene Ursachen haben. Da es sich um andere Pflanzen handelt, können auch genetisch bedingte Unterschiede eine Rolle spielen. Die Varianten mit den geringen Frischsubstanzenerträge weisen die höchsten Stickstoffgehalten in den Trieben auf (Abbildung 35). Hier spielen also Verdünnungseffekte eine Rolle. Es treten auch hier keine signifikanten Unterschiede auf. Weitere Tendenzen sind ebenfalls nicht ersichtlich.

Die am Ende des ersten Versuchsjahres ermittelten Kaliumgehalte der Triebe entsprechen den Gehalten bei den Bodenuntersuchungen. Beim Kalium ist in den Pflanzen der gleiche Einfluss der Behandlung wie beim Boden feststellbar, auch die Signifikanzen entsprechen sich zum großen Teil. Beim Phosphor treten dagegen keine signifikanten Unterschiede auf. Auch die im Boden erhöhten Phosphorgehalte der Variante BK8 finden sich in den Trieben nicht wieder.

Wie auch bei den Bodengehalten sind die Kaliumgehalte am Ende des zweiten Versuchsjahres in den Pflanzen weniger deutlich durch die Behandlung beeinflusst. In den Trieben lassen sich gar keine Unterschiede durch die Behandlung mehr erkennen. In den Blättern ist noch ein Einfluss der Aufwandmenge feststellbar.

Die teilweise geringeren Magnesiumgehalte in den Trieben und v.a. den Blättern bei den Behandlungen im Vergleich mit der Kontrolle können durch den Kalium – Magnesium – Antagonismus bei der Aufnahme erklärt werden. Durch das hohe Angebot an Kalium im Boden wurde die Magnesiumaufnahme erschwert. Auch die in den Behandlungen im Vergleich mit der Kontrolle geringen Kalziumgehalte können teilweise so erklärt werden. Dazu verbrauchen Pflanzen mit einer sehr guten Kaliumversorgung weniger Wasser, was ebenfalls die Kalziumaufnahme und den Transport in der Pflanze erschwert.

Am Ende des dritten Versuchsjahres ergeben sich in den Trieben keine signifikanten Unterschiede in den Nährstoffgehalten. Dagegen treten sie für Phosphor, Kalium und Kalzium in den Blättern auf. Die Unterschiede beim Kalium entsprechen meist dem Angebot des Bodens. Einmal gedüngte Varianten weisen in den Blättern geringere Kaliumgehalte auf als zweimal gedüngte.

Auffallend ist am Ende des dritten Versuchsjahres, dass die Variante GK4 1x, die den höchsten Frischsubstanzenertrag aufweist, auch die höchsten Phosphor- und relativ hohe Kalium- und Magnesiumgehalte aufweist. Dies lässt sich nicht mit dem Angebot des Bodens erklären. Diese Variante wies aber bis September stets günstigere Wasserspannungen im Boden auf, als die meisten anderen Varianten. Die dann hohen Wasserspannungen können durch höheren Pflanzenbestand infolge Pflanzenwachstums erklärt werden. Somit sind die hohen Nährstoffgehalte in den Blättern auf bessere Nährstoffverfügbarkeit v.a. in Zeiten niedriger Bodenwassergehalte zurückzuführen.

Wie die Bodengehalte an Phosphor erwarten lassen, haben die Gehalte in Trieben und Blättern vom zweiten zum dritten Versuchsjahr etwas abgenommen. Dagegen sind sie bei Kalium, Kalzium und Magnesium gestiegen. Dies kann mit einer geringeren Verdünnung aufgrund reduzierten Wachstums erklärt werden, da die Pflanzen im dritten Versuchsjahr neu aufgeschult worden sind. Allerdings können auch genetische Unterschiede eine Rolle spielen.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Einfluss von Stallmist und Komposten muss sich messen lassen anhand der aus der Anwendung resultierenden ökonomischen und ökologischen Wirkungen. In beiden Bereichen kommt der langfristigen Erhaltung der „Bodenfruchtbarkeit“, also der Sicherung der Ertragsfunktion des Bodens eine große Bedeutung zu. Ökonomisch spielen v.a. der Einfluss auf den Ertrag und der Einfluss auf die Produktionskosten eine Rolle. Ökologisch sollen einerseits negative Wirkungen auf den Boden und mittelbar auf Gewässer minimiert werden und andererseits sollen Kreisläufe geschlossen werden und dadurch deponierbedürftige Abfälle reduziert werden.

Für die ökonomische Betrachtung kommt dem Pflanzenwachstum die größte Bedeutung zu. Im vorliegenden Versuch konnte nur durch den Einsatz von Grüngutkompost eine Ertragssteigerung erreicht werden, wobei diese jedoch nur geringfügig ist. Sowohl Bioabfallkompost als auch Stallmist waren nicht in der Lage die Erträge zu steigern. Dies stellt aus ökonomischer Sicht die Praxis der häufigen und hohen Stallmistgaben in Frage. Aus der Sichtweise der Produktionskosten werden durch die organischen Dünger zwar Nährstoffe zugeführt, doch ist die Ausbringung aufwendig.

Aus ökologischer Sicht ist die Schließung von Kreisläufen erklärtes Ziel. Jedoch werden insbesondere mit Bioabfallkompost Nährstoffmengen ausgebracht, die den Entzug der meisten Baumschulkulturen auch bei verhältnismäßig geringen Aufwandmengen um ein vielfaches überschreiten. Hier kommt neben der Stickstoffproblematik dem Phosphor erhebliche Bedeutung zu. Im eigenen Versuch wurde durch den Einsatz von Grüngutkompost eine vertretbare Nährstoffmenge ausgebracht. Somit ist nur dieser aus ökologischer Sicht empfehlenswert.

Die grundsätzliche Bedeutung der organischen Düngung ist auf einem Sandboden anerkannt. Allerdings sind die notwendigen Mengen umstritten. Im vorliegenden Versuch konnten das ökonomische und das ökologische Ziel durch den Einsatz von Grüngutkompost am besten erreicht werden. Allerdings ist dieser organische Dünger teuer, was seine Anwendung einschränken dürfte. Wenn man davon ausgeht, dass

eine organische Düngung von Baumschulflächen in größeren Abständen als bisher üblich erfolgen sollte, dann wird aber auch dieser Nachteil relativiert.

Es sollte in Zukunft der Frage der Notwendigkeit einer organischen Düngung von Baumschulflächen weiter nachgegangen werden. Hierbei sollten einerseits typische Baumschulböden untersucht werden, andererseits kann man auf humusarmen Sandböden Steigerungsversuche durchführen, die den Einfluss der Zufuhr organischer Substanz auf den Wasserhaushalts beschreiben können. Wenngleich aus bodenkundlichen Untersuchungen Ergebnisse vorliegen (KUNTZE 1994), so ist die Bedeutung für Baumschulen doch umstritten. Bei den Baumschulböden wäre zu klären, ab wann ein Verzicht auf organische Düngung zu Ertragseinbußen führt. Meist sind diese Böden so gut mit Humus versorgt, dass es Jahrzehnte dauert, bis sich die für landwirtschaftlich genutzte Flächen empfohlenen Gehalte einstellen. Die offenen Fragen lassen sich also nur in Langzeitversuchen klären.

6 Zusammenfassung

In einem dreifaktoriellen Versuch wurde der Einfluss von Stallmist und zwei verschiedenen Komposten auf die Eigenschaften eines mittelhumosen Sandbodens und auf das Wachstum von *Ligustrum vulgare* L. getestet. Neben den drei verwendeten organischen Düngern wurden die Aufwandmenge (200, 400 und 800 dt Stallmist und gemessen am C_{org} -Gehalt gleiche Mengen Grüngutkompost und Bioabfallkompost) und die Ausbringungshäufigkeit (1. nur einmal zu Versuchsbeginn und 2. einmal zusätzlich zu Beginn des dritten Versuchsjahres vor erneuter Aufschulung) variiert. Untersucht wurden chemische Bodeneigenschaften (Humusgehalte, Nährstoffgehalte, pH-Werte, Salzgehalte, Kationenaustauschkapazität), physikalische Bodeneigenschaften (Porengrößenverteilung, Wasserspannungen) und Pflanzenwachstum sowie Nährstoffgehalte in den Pflanzen.

Materialeigenschaften und Nährstofffrachten:

Die im ersten und dritten Versuchsjahr verwendeten Stallmiste unterscheiden sich deutlich. Der des ersten Jahres weist ein C/N Verhältnis von 41 auf. Der Stallmist des dritten Versuchsjahres dagegen verfügt nur über ein C/N-Verhältnis von 12. Im ersten Jahr wurden nur geringe Nährstofffrachten ausgebracht (in der 200 dt Variante 51 kg N_{ges} /ha, 8 kg P_{ges} /ha, 27kg K_{ges} /ha, 4 kg Mg_{ges} /ha). Dagegen wurden im dritten Versuchsjahr erhebliche Nährstoffmengen ausgebracht (in der 200 dt Variante 178 kg N_{ges} /ha, 46 kg P_{ges} /ha, 268kg K_{ges} /ha, 29 kg Mg_{ges} /ha).

Der Bioabfallkompost war zu beiden Ausbringungsterminen sehr nährstoffreich. Er enthielt in der 200 dt Variante 163 bzw. 184 kg N_{ges} /ha, 36 bzw. 34 kg P_{ges} /ha, 109 bzw. 118kg K_{ges} /ha und 28 bzw. 30 kg Mg_{ges} /ha. Der Grüngutkompost dagegen war in beiden Versuchsjahren vergleichsweise nährstoffarm. Er enthielt in der 200 dt Variante 98 bzw. 109 kg N_{ges} /ha, je 14 kg P_{ges} /ha, 37 bzw. 36 kg K_{ges} /ha und 14 bzw. 18 kg Mg_{ges} /ha. Damit liegen die Nährstofffrachten bei allen drei Materialien über dem mittleren durchschnittlichen jährlichen Entzug von Baumschulkulturen. Bei dem im dritten Jahr verwendeten Stallmist und bei den beiden Bioabfallkomposten sind Umweltbelastungen durch die hohen Nährstoffgehalte vor allem mit steigenden Aufwandmengen zu erwarten.

Chemische Bodeneigenschaften

Meist treten keine signifikanten Unterschiede bei den Humusgehalten in Abhängigkeit von der Behandlung auf. Tendenziell konnten alle drei organischen Dünger die Humusgehalte mit steigenden Aufwandmengen geringfügig erhöhen. Die Humuswirkung der Komposte ist etwas ausgeprägter als die des Stallmists.

Bei den Mineralstickstoffgehalten (0 – 90 cm) treten in Abhängigkeit von der Behandlung deutliche Unterschiede auf. Die höchsten N_{\min} -Gehalte ruft im ersten und zweiten Versuchsjahr die Anwendung von Bioabfallkompost hervor. Es folgen der Stallmist und dann der Grüngutkompost. Beim Bioabfallkompost werden unmittelbar nach der Ausbringung im Februar 112 kg N_{\min} /ha gefunden, bei der Kontrolle dagegen nur 51 kg N_{\min} /ha. Da es auch im Sommer meist zu Auswaschungen kommt, läßt sich die Mineralisation der organischen Dünger nur für geringe Zeiträume errechnen. Die höchste Mineralisationsrate weist der Bioabfallkompost gefolgt vom Stallmist auf. Die geringste Mineralisation geht vom Grüngutkompost aus, der zumindest zeitweise ein N-Sperre zur Folge hat. Die höchsten N_{\min} -Gehalte finden sich im ersten und zweiten Versuchsjahr bei der 800 dt Bioabfallkompost-Variante mit 127 kg N_{\min} /ha im Mai 1997 und 113 kg N_{\min} /ha im August 1998. Bis auf die 400 dt Bioabfallkompost-Variante bleiben alle anderen unterhalb von 100 kg N_{\min} /ha. Im dritten Versuchsjahr weisen die zweimal mit Bioabfallkompost und Stallmist gedüngten Varianten deutlich höhere N_{\min} -Werte auf als die Kontrolle und die nur einmal gedüngten Varianten. In den Monaten Juni bis September werden die höchsten N_{\min} -Gehalte im Boden gefunden. Sie liegen in den zweimal mit 400 dt Stallmist und 800 dt Bioabfallkompost gedüngten Varianten bei über 100 kg N_{\min} /ha (Juli 1999) und bei der zweimal mit 800 dt Bioabfallkompost gedüngten Variante bei 164 kg N_{\min} /ha (September 1999). Daraus resultieren aufgrund niedriger Entzüge erhebliche Mineralstickstoffeinträge ins Grundwasser.

Die Mengen der anderen Mineralstoffe im Boden unterscheiden sich oft signifikant in Abhängigkeit von der Behandlung, wenn sehr große Mineralstoffmengen ausgebracht wurden. Die Gehalte an Phosphor, Kalium und Magnesium nehmen im Versuchsverlauf durch Auswaschung bedingt ab. Eine Überversorgung ist langfristig nicht gegeben, auch wenn die zugeführten Mengen wie oben dargestellt oft auch über dem Entzug mehrerer Jahre liegen.

Die pH-Werte liegen im normalen Wertebereich von pH 5.5 und erfahren keine signifikante Änderung durch die Behandlungen. Im dritten Versuchsjahr werden

durch die wiederholte Düngung mit Bioabfallkompost und v.a. Stallmist sehr hohe Salzgehalte im Boden im Bereich von 300 mg KCl /100 g Boden bei den 800 dt Varianten gefunden. Hierdurch werden sichtbare Pflanzenschäden hervorgerufen. Auch bei der Kationenaustauschkapazität kommt es zu deutlich erhöhten Werten infolge der organischen Düngung. Bioabfallkompost ist hier besonders wirksam. Auch treten Unterschiede in der Belegung mit den untersuchten Kationen auf.

Physikalische Bodeneigenschaften

Weder das Porenvolumen, die Porengrößenverteilung noch die Lagerungsdichte haben sich behandlungsabhängig nachweisbar geändert.

In Zeiten hoher Bodenwasserspannungen sind diese tendenziell in den mit Grüngutkompost gedüngten Parzellen weniger hoch.

Pflanzen

Die Pflanzen zeigten kein signifikant unterschiedliches Wachstum in Abhängigkeit von der Behandlung, allerdings waren die mit Grüngutkompost gedüngten Varianten tendenziell besser im qualitativen wie auch quantitativen Ertrag. Nicht statistisch abgesichert wird dies auf den verbesserten Wasserhaushalt zurückgeführt. Ein Einfluss der Nährstoffversorgung ist nicht nachweisbar. Niemals ergeben sich signifikante Unterschiede in der Nährstoffgehalten der Blätter und Triebe.

Die dargestellten Ergebnisse werden insbesondere vor dem Hintergrund der Besonderheiten der baumschulischen Bodennutzung und der damit verbundenen Besonderheiten bei der Düngung diskutiert. Hervorgehoben werden die bislang nicht abschließend beantworteten Fragen der Notwendigkeit einer Humuszufuhr, wie sie derzeit in der Praxis üblich ist.

7 Literaturverzeichnis

- ALT, D. (1990): Düngen in der Baumschule – Freilandquartiere. Taspo-Praxis 17; Verlag B. Thalacker, Braunschweig.
- ALT, D., D. BLOEM, V. LANGELOH und H. KOHSTALL (1993): Stickstoff: Appetit unterschiedlich – Einheitslisten unmöglich. Deutsche Baumschule 45, 73-76.
- ALT, D., D. BLOEM, V. LANGELOH und H. KOHSTALL (1994): Erträge, Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumentzüge durch Baumschulgehölze auf verschiedenen Standorten. Baumschulpraxis 24, 344-346.
- ALT, D., H. KOHSTALL G. BIERRETH (1989): Stickstoffversorgung von Baumschulgehölzen. Gartenbauwissenschaft 54, 123-128.
- ANONYMUS (1977a): DIN 19684, Teil 2. Bestimmung des Humusgehalts in Böden. Hrsg. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth, Berlin.
- ANONYMUS (1977b): DIN 19684, Teil 1. Bestimmung des pH-Werts des Bodens und Ermittlung des Kalkbedarfs. Hrsg. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth, Berlin.
- ANONYMUS (1993): DIN 38405, Teil 28. Bestimmung von Nitrit- und Nitratstickstoff und von deren Summe mit der Fließanalyse. Hrsg. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth, Berlin.
- ASMUS, F. und H. GÖRLITZ (1981): Zur Wirkung der organischen Substanz auf den Pflanzenertrag. Arch. Acker- und Pflanzenbau, Bodenkd. **29**, 39-45.
- ASMUS, F., G. KITTELMANN und H. GÖRLITZ (1987): Einfluß langjähriger organischer Düngung auf physikalische Eigenschaften einer Tieflehm-Fahlerde. Arch. Acker- und Pflanzenbau, Bodenkd. **31**, 41-46.

- BACHMANN, J. (1988): Auswirkungen der organischen Substanz verschiedenen Zersetzungsgrades auf physikalische Bodeneigenschaften. Dissertation Universität Hannover.
- BÄRTELS, ANDREAS 1973: Das Große Buch der Gartengehölze. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BERGS, C. (1995): Schadstoffbelastungen weiter reduzieren. VDL Journal **6**, 4-9.
- BØCKMAN, O., O. KAARSTAD, O. LIE, I. RICHARDS (1990): Agriculture and Fertilizers, Norsk Hydro a.s. Oslo.
- BOHNE, H. (1995) in BÄRTELS, A. (Hrsg.): Der Baumschulbetrieb. 4. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- BOHNE, H., TH. DAUM und C. SCHUH (1996): Einfluß von Biokompost und Stallmist auf Bodeneigenschaften und Wachstum von *Acer pseudoplatanus*. Gartenbauwissenschaft **61(2)**, 53-59.
- DANNEBERG, O.H. (1982): Die Humusqualität von Traubentresterkomposten. Informationskolloquium „Tresterverwertung“ Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Wien.
- DIEREND, W. (1992): Der Mineralstoffgehalt in Böden von Baumschulen und N-Aufnahme von Gehölzen. Dissertation Universität Hannover.
- DIEREND, W. (1995) in Bärtels, A. (Hrsg.): Der Baumschulbetrieb. 4. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- DIEREND, W. und W. SPETHMANN (1990): Nitrat-Restmengen in Baumschulböden. Deutscher Gartenbau **44**, 3072-3077.

- DIEREND, W. und W. SPETHMANN (1994a): Ergebnisse eines bundesweiten N-Düngungsversuches. Gehölzforschung 1, Eigenverlag, Institut für Obstbau und Baumschule, Sarstedt.
- DIEREND, W. und W. SPETHMANN (1994b): N-Aufnahme von Gehölzen im Verlauf der Vegetationsperiode. Gartenbauwissenschaft **59**, 121-125.
- DÖHLER, H. (1994): Vorsicht mit Stickstoff. DLG-Mittlg. **12**, 22-23.
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze. Ulmer, Stuttgart.
- FACHVERBAND FELDBERECHNUNG HANNOVER E.V. (1997 – 1999): Hinweise für die Feldberechnung, Rundschreiben, Rundfaxe. Hannover.
- FRANKO, U. (1986): Die Mineralisierung der organischen Substanz im Boden außerhalb der Vegetationsperiode. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde **30**, 391-394.
- FROHNE, R. (1991): Einsatz von Komposten im Rahmen von Meliorationsmaßnahmen in: WIEMER, K. und M. KERN (HRSG): Abfallwirtschaft Bd. 6: Bioabfallkompost – flächendeckende Einführung. M.I.C. Baeza, Witzenhausen.
- GUCKERT, A. (1992): Bedeutung der Pflanzenwurzeln und ihrer Ausscheidungen als Quellen organischer Stoffe im Boden. Berichte über Landwirtschaft. 206. Sonderheft. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 4 Humushaushalt. Parey, Hamburg und Berlin.
- GUTSER, R. und N. CLAASEN (1994): Langzeitversuche zum N-Umsatz von Wirtschaftsdüngern und kommunalen Abfällen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **73**, 47-50.

- HARTGE, K. H. und R. HORN (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. 2. Aufl., Enke, Stuttgart.
- HOFFMANN, G. (1991): Methodenbuch Band I Die Untersuchung von Böden. 4. Aufl., VDLUFA, Darmstadt.
- HÜLSBERGEN, K.-J., S. BIERMANN und W.-D. KALK (1999): PC-gestützte Entscheidungshilfen zur Humusbilanzierung. Bericht des Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und des Intituts für Agrartechnik Bornim.
- KEDZIA, M., S. SIEBERT, I. LEIFELD und I. KÖGEL-KNABNER (1997): Einfluss unterschiedlicher Komposte auf die Bodenfruchtbarkeit einer Parabraunerde. Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell. **85 II**, 525-528.
- KEHRES, B. (1993): BDE-Situationsanalyse Kompostwirtschaft. Bundesverband der Deutschen Entsorgungswirtschaft BDE, Köln.
- KLAGES-HABERKERN, S., M. SCHWAB und H. DÖHLER (1994): Kompost: Was Sie jetzt wissen müssen. DLG-Mittlg. **12**, 18-21.
- KLIMANEK, E.-M. (1982): Mineralisierung unterschiedlicher organischer Substanzen in Abhängigkeit von der Bodenart. Arch. Acker- und Pflanzenbau u. Bodenkunde **26(8)**, 523-532.
- KLIMANEK, E.-M. und M. KÖRSCHENS (1982): Die Mineralisierungsleistung unterschiedlicher Böden und ihre Beziehung zum Gehalt an umsetzbaren Humus. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u Bodenk., **26**, 289-294.
- KÖRSCHENS, M. (1999): Gute fachliche Praxis bei der Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell. **91**, 63-66.

- KÖRSCHENS, M., A. WEIGEL und E. (1998): Turnover of Soil Organic Matter (SOM) and Long-Term Balances – Tools for Evaluating Productivity of Soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenk **161**, 409–424.
- KREYSZIG, E. (1991): Statistische Methoden und Ihre Anwendungen. 7. Aufl. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- KRÜSSMANN, GERD 1977: Handbuch der Laubgehölze. 2. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- KUNTZE, H., ROESCHMANN, G. und SCHWERDTFEGGER, G. 1994: Bodenkunde. 5. Aufl., Ulmer Stuttgart
- LEIFELD, I., S. SIEBERT und I. KÖGEL-KNABNER (1997): Veränderung in der chemischen Struktur organischer Substanz durch Kompostanwendung im Modellversuch. Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell. **85**, 545-549.
- LEINWEBER, P., P. KAHLE und H.R. SCHULTEN (1991): Einfluß der Qualität der organischen Substanz auf die Konsistenz landwirtschaftlicher Böden. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde **154**, 169-170.
- LEITHOLD, G. und K.-J. HÜLSBERGEN (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Ökologie und Landbau **26**, 32-35.
- LEITHOLD, G., K.-J. HÜLSBERGEN, D. MICHEL und H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Initiativen zum Umweltschutz **5**, 43-54, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Zeller, Osnabrück.
- LERCHE, K. (1990): Untersuchungen zur Reproduktion organischer Substanz in obstbaulich genutzten Böden. I. zur Dynamik des Gesamtkohlenstoffs und Gesamtstickstoffs. Archiv Gartenbau **38(3)**, 189-201.

- EURICH-MENEN, B, H.-R. WEGENER UND S. HACKENBERG (1996): Humuswirtschaft in Deutschland, Literaturstudie zur vergleichenden Darstellung des Kreislaufs organischer Substanz im Naturhaushalt unter Berücksichtigung des Umfelds in der Industrie-Gesellschaft Deutschlands. Institut für Bodenkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- NIEDER, R. und J. RICHTER (1991): Langfristige Stickstoff-Immobilisation in südostniedersächsischen Löß-Ackerböden: Entwicklung in den letzten 25 Jahren. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung **32**, 248-257.
- OBERMAYR, A. UND D. ALT (1992): Möglichkeiten und Schwierigkeiten bei der Ermittlung des Frischsubstanz-Ertrags von Baumschulgehölzen als Basis einer sachgerechten Stickstoff-Düngung. Gartenbauwissenschaft **57**, 11 – 14.
- OEHMICHEN, J., F.F. GRÖBLINGHOFF, A. REINDERS und A. DÖRENDAHL (1994): Bio-Kompost sinnvoll verwerten. DLG-Mittlg. **12**, 24-26.
- PLEYSIR, J. L. UND A.S.R. JUO (1980): A single-extraction method using silver-thiourea for measuring exchangeable cation and effective CEC in soils with variable charges. Soil Sci. **129**: 205-211.
- POPP, L. (1997): Reifekriterien und Einsatzmöglichkeiten für Komposte aus Bioabfall im Gartenbau und Garten- und Landschaftsbau. Shaker, Aachen.
- RAUHE, K. und M. HESSE (1959): Über die Wirkung verschieden gelagerten Stalldüngers auf leichten und schweren Böden. Z. f. Acker- und Pflanzenbau **110**, 135-152.
- REEUWIJK, VAN L.P. (1993): Procedures for soil analysis. **4.** Aufl. ISRIC Wageningen.
- RIEK, W. (1995): Standorteigenschaften, Wuchsleistungen und Schädigung von Kiefern und Eichenforsten im Berliner Raum. Dissertation TU Berlin.

- RÖSLER RUDOLF 1998 in BAYERISCHER FORSTVEREIN (Hrsg.): Sträucher in Wald und Flur. ecomed, Landberg.
- SANFTLEBEN, H. (1989): Untersuchung zur Nährstoffbilanz in Baumschulböden. Deutsche Baumschule **41**, 236-237.
- SANFTLEBEN, H. (1991): Der Humus im Boden. Humusgehalte in Baumschulböden und Auswirkungen auf die Nährstoffsituation. Deutsche Baumschule **43**, 522-523.
- SAUERBECK, D. (1991): Bedeutung der organischen Substanz für die Bodenfruchtbarkeit. Vortrag 4. Colloquium der Robert-Bosch-Stiftung am 14./15.2.1991 in Schwäbisch Hall.
- SAUERBECK, D. und K. HAIDER (1992): Schlußbetrachtung und Generaldiskussion. Berichte über Landwirtschaft. 206. Sonderheft. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 4 Humushaushalt. Parey Hamburg und Berlin.
- SCHACHTSCHABEL, P. (1956): Der Magnesiumversorgungsgard nordwestdeustcher Böden und seine Beziehung zum Auftreten von Mangelsymptomen an Kartoffeln. Z.PflErnähr.Bodenk. **74**, 202-209.
- SCHACHTSCHABEL, P. und C. G. HEINEMANN (1974): Beziehung zwischen den Kaliumgehalten in Böden und in jungen Haferpflanzen. Z.PflErnähr.Bodenk. **137**, 123-134.
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.P., BRÜMMER, G., HARTGE, K.H. und U. SCHWERTMANN (1998): Scheffer / Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Aufl., Enke Stuttgart
- SCHARPF, H.-C. (1977): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Dissertation Universität Hannover.

- SCHERER, P.A. (1993): Abfallrecycling mittels Kompostierung – ein kurzer Überblick. *Abfallwirtschaftsjournal* **5(12)**, 909-916.
- SCHINDLER, U., F. EULENSTEIN und L. MÜLLER (1999): Sind Nitratkonzentrationen von weniger als 50 mg NO₃ /l auf Ackerstandorten in Nordwestdeutschland realistisch? *Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell.* **91**, 1323-1326.
- SCHLICHTING, E., H. P. BLUME und K. STAHR (1995): *Bodenkundliches Praktikum*. 2. neubearb. Aufl. - Berlin; Oxford [u.a.]: Blackwell Wiss.-Verlag.
- SCHNIEDER, E. (1981): Einfluß der organischen und mineralischen Düngung auf den Humusgehalt des Bodens und den Pflanzenertrag in den Thyrower Dauerversuchen. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin.
- SCHNORR, K.E. und G. WIERSIG (1992): Bioabfallkompostierung als Entsorgungsmethode. *Abfallwirtschaftsjournal* **4(7)**, 569-575.
- SCHÖN, M. (1992): Zu Problemen bei der Kompostierung von Bio- und Grünabfällen. *Abfallwirtschaftsjournal* **4(7)**, 577-581.
- SIEWERT, C. (1997): Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten eines neuen Verfahrens zur Bestimmung der qualitativen Zusammensetzung der OBS. *Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell.* **85 II**, 603-606.
- TENHOLTERN, R. (1997): Kompostanwendung auf Kultursolen aus Löß. *Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell.* **84**, 65-68.
- VOGTMANN, H. und B. KEHRES (1990): Anwendung von Bioabfallkomposten in der Landwirtschaft und im Gartenbau. *Biologische Verfahren der Abfallbehandlung*. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 327-337.

- WALTER, B. (1999): Untersuchungen zur Stickstoffversorgung von Baumschulgehölzen. Dissertation Universität Hannover.
- WEICHERT, M. (1999): Persönliche Mitteilungen Januar – März 1999. Universität Hannover, Fachbereich Gartenbau, Lehrgebiet Biometrie
- WEIGEL, A., U. WALDSCHMIDT, E.M. KLIMANEK, M. KÖRSCHENS UND S. MERCIK (1997): Wechselwirkungen zwischen physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften in Abhängigkeit von der Düngung untersucht an 3 Dauerversuchen an 2 unterschiedlichen Standorten. Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell. **84**, 437-440.
- WEIß, M. R. (1996): Der Einfluss der Zufuhr von organischer Substanz auf physikalische Bodeneigenschaften, Humusgehalte und Humuseigenschaften von baumschulisch genutzten Böden. Diplomarbeit am Institut für Obstbau und Baumschule, Universität Hannover.
- WENNEMUTH, G. (1972): Vergleichende Untersuchungen zwischen Stallmist und Torf bei Baumschulkulturen. Torfnachrichten **22**, 1-22.
- WIERMANN, C. (2000): Vermeidung von Phosphorausträgen durch angepaßte Düngung – Ergebnisse eines Langzeitversuchs in Schleswig-Holstein. Mitt. d. Dtsch. Bdkdl. Gesell. **92**, 198-201.
- WITT (1997): Düngung im Freilandquartier in: KRÜSSMANN, G. (1997): Die Baumschule. Parey, Berlin.

Anhang 1: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Juni 1997

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	Mittelwert
O	3,26	3,37	2,77	2,11	2,88
BK2	3,44	3,17	3,03	2,70	3,09
BK4	3,59	3,04	2,69	2,68	3
BK8	3,62	3,48	3,26	2,87	3,31
GK2	3,38	3,38	3,02	2,48	3,07
GK4	3,51	3,15	4,02	2,70	3,35
GK8	3,42	3,40	2,70	3,08	3,15
SM2	3,40	3,22	2,62	2,27	2,88
SM4	3,22	3,17	2,96	2,57	2,98
SM8	3,46	2,96	2,88	2,39	2,92
Mittelwert	3,21	3,12	3	2,71	n.s.

Anhang 2: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Dezember 1997

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	Mittelwert
O	3,23	3,07	2,86	2,67	2,96 A
BK2	3,53	3,27	2,72	2,50	3,01 AB
BK4	3,33	3,21	2,81	2,60	2,99 AB
BK8	3,28	3,67	3,24	2,68	3,22 AB
GK2	3,43	3,10	2,80	2,64	2,99 AB
GK4	3,47	2,99	3,07	2,56	3,02 AB
GK8	3,55	3,36	3,24	2,78	3,23 AB
SM2	3,26	3,44	2,65	2,55	2,98 AB
SM4	3,21	3,35	2,86	2,64	3,02 AB
SM8	3,36	2,63	2,80	2,55	2,84 B
Mittelwert	3,15	3,1	2,91	2,74	

gleiche Buchstaben bei den Mittelwerten der Varianten bedeuten keine signifikante Unterschiede

Anhang 3: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Mai 1998

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	Mittelwert
O	3,05	3,09	2,32	1,84	2,58
BK2	3,26	2,70	2,45	2,16	2,64
BK4	3,10	2,68	2,65	2,25	2,67
BK8	3,30	3,39	2,86	2,20	2,94
GK2	3,17	2,68	2,60	2,30	2,69
GK4	3,30	2,95	2,85	2,43	2,88
GK8	2,60	2,85	2,72	2,22	2,6
SM2	3,07	2,68	2,50	2,31	2,64
SM4	2,90	2,86	2,66	2,29	2,68
SM8	2,82	2,79	2,76	2,38	2,69
Mittelwert	2,87	2,79	2,67	2,4	n.s.

Anhang 4: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin März 1999

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	Mittelwert
O	2,99	2,69	2,46	1,86	2,5
BK2 1x	2,74	2,39	2,62	2,31	2,52
BK2 2x	2,86	2,64	2,14	2,27	2,48
BK4 1x	3,01	2,50	2,64	2,34	2,62
BK4 2x	2,57	2,69	2,59	2,07	2,48
BK8 1x	2,89	3,59	3,22	2,21	2,98
BK8 2x	2,69	3,50	2,11	1,86	2,54
GK2 1x	2,74	2,76	2,65	2,01	2,54
GK2 2x	3,17	2,66	2,42	2,11	2,59
GK4 1x	2,84	2,48	2,55	2,01	2,47
GK4 2x	2,97	2,73	2,64	2,05	2,6
GK8 1x	3,49	2,76	2,43	2,03	2,68
GK8 2x	3,35	3,20	2,89	2,09	2,88
SM2 1x	2,95	2,79	2,29	1,78	2,45
SM2 2x	2,54	2,87	2,33	2,58	2,58
SM4 1x	2,95	2,54	2,63	2,46	2,65
SM4 2x	3,02	2,20	2,30	2,52	2,51
SM8 1x	3,14	2,81	2,48	1,91	2,59
SM8 2x	2,53	2,23	3,09	2,41	2,57
Mittelwert	2,82	2,7	2,57	2,24	n.s.

Anhang 5: Humusgehalte [% Glühverlust 550 °C] der Versuchspartellen zum Termin Oktober 1999

	1. Wdh.	2. Wdh.	3. Wdh.	4. Wdh.	Mittelwert
O	2,89	2,31	2,01	2,90	2,53
BK2 1x	2,81	2,77	2,69	3,64	2,98
BK2 2x	3,24	2,69	2,30	2,13	2,59
BK4 1x	3,09	2,63	2,35	2,45	2,63
BK4 2x	2,62	2,66	3,28	2,17	2,68
BK8 1x	3,15	3,29	2,92	2,54	2,98
BK8 2x	3,48	3,35	2,76	2,44	3,01
GK2 1x	2,97	2,93	2,90	2,06	2,72
GK2 2x	2,16	3,17	3,13	2,57	2,76
GK4 1x	2,64	2,99	2,99	1,93	2,64
GK4 2x	3,36	2,31	3,18	2,75	2,9
GK8 1x	2,79	2,58	2,35	2,60	2,58
GK8 2x	3,44	3,29	2,57	2,42	2,93
SM2 1x	2,53	2,13	1,87	3,21	2,44
SM2 2x	2,88	3,69	2,50	2,93	3
SM4 1x	2,53	2,97	2,87	2,40	2,69
SM4 2x	3,19	2,95	2,44	2,11	2,67
SM8 1x	2,86	2,53	1,94	2,72	2,51
SM8 2x	3,21	2,57	2,32	2,86	2,74
Mittelwert	2,84	2,79	2,62	2,64	n.s.

Anhang 6: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 – 90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Februar 1997

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	43	60	60	39	51	18	33	24	16	11
BK2	56	82	72	64	68	31	38	33	21	15
BK4	78	106	80	75	85	36	49	53	14	18
BK8	102	104	76	165	112	56	55	69	29	13
GK2	56	55	48	30	47	19	28	21	14	12
GK4	50	50	45	64	52	24	28	20	17	15
GK8	70	47	65	42	56	16	41	26	13	18
SM2	55	65	50	60	57	21	37	28	14	15
SM4	50	65	55	39	52	26	33	25	18	17
SM8	85	67	77	60	72	24	48	30	19	23
Mittel	64	70	63	64	65					
GD Tukey $\alpha=0,1$					36			22	n.s.	12

Anhang 7: N_{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Mai 1997

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	73	73	78	78	75	59	17	49	19	7
BK2	83	87	92	94	89	60	29	51	26	12
BK4	105	133	93	106	109	85	25	71	26	12
BK8	108	150	97	151	127	91	36	69	43	14
GK2	48	70	65	63	61	41	20	33	10	18
GK4	74	59	59	60	63	39	24	32	19	12
GK8	40	38	45	54	44	25	19	21	14	9
SM2	75	78	68	68	72	55	17	47	17	8
SM4	66	114	89	106	94	63	31	55	24	15
SM8	88	99	63	68	79	54	25	44	25	11
Mittel	76	90	75	82	81					
					29			19	17	n.s.

GD Tukey $\alpha=0,1$

Anhang 8: N_{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juni 1997

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	68	52	59	97	69	35	34	36	20	12
BK2	55	66	90	73	71	54	17	36	24	12
BK4	90	111	110	134	111	73	38	51	45	15
BK8	76	100	122	110	102	74	29	46	38	18
GK2	102	52	92	71	79	47	33	39	24	16
GK4	52	62	52	77	61	39	21	26	21	14
GK8	50	56	70	66	61	37	23	30	18	13
SM2	74	54	75	68	68	41	26	34	21	12
SM4	81	82	82	97	86	61	24	37	29	19
SM8	68	84	93	73	80	58	21	37	25	18
Mittel	72	72	85	87	79					
					30			18	18	n.s.

GD Tukey $\alpha=0,1$

Anhang 9: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: August 1997

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	60	80	58	65	66	35	31	21	18	26
BK2	42	76	52	44	54	28	26	16	17	20
BK4	56	119	98	64	84	53	31	22	23	39
BK8	38	54	95	54	60	41	19	16	13	31
GK2	51	28	67	63	52	31	21	16	13	22
GK4	76	31	63	66	59	31	28	17	18	24
GK8	58	55	52	53	55	25	29	20	14	20
SM2	58	51	75	56	60	36	24	20	16	25
SM4	80	48	62	50	60	40	20	17	17	26
SM8	67	58	74	76	69	37	32	19	19	30
Mittel	59	60	70	61	62					
					n.s.			n.s.	n.s.	n.s.

GD Tukey $\alpha=0,1$

Anhang 10: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere Nitrat – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: September 1997

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	71	44	88	57	65	50	15	23	21	21
BK2	51	55	60	56	55	41	14	27	15	14
BK4	67	96	84	75	81	69	12	30	22	29
BK8	40	73	98	78	72	62	10	31	14	27
GK2	60	39	65	62	57	41	16	21	16	20
GK4	43	37	53	60	48	35	13	21	10	17
GK8	45	43	54	85	57	39	17	30	12	16
SM2	63	43	69	86	65	45	20	21	21	23
SM4	81	72	60	71	71	59	12	32	17	22
SM8	69	65	69	83	72	57	15	33	16	23
Mittel	59	57	70	70	64					
					30			n.s.	n.s.	n.s.

GD Tukey $\alpha=0,1$

Anhang 11: N_{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: November 1997

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	75	57	67	54	63	49	15	23	19	21
BK2	50	54	67	53	56	40	16	21	15	20
BK4	59	72	77	69	69	52	17	23	21	26
BK8	66	75	97	60	75	56	19	23	20	31
GK2	66	45	64	62	59	44	15	23	15	21
GK4	70	40	105	50	66	39	27	28	19	19
GK8	53	67	63	75	65	45	19	27	16	21
SM2	69	43	59	61	58	43	14	24	18	16
SM4	64	62	68	64	64	47	17	24	18	23
SM8	87	88	64	65	76	55	21	27	25	24
Mittel	66	60	73	61	65					
GD Tukey $\alpha=0,1$					n.s.			n.s.	n.s.	13

Anhang 12: N_{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Februar 1998

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	60	50	53	51	54	25	29	23	14	16
BK2	40	47	31	49	42	19	23	18	10	13
BK4	46	51	44	33	44	20	23	17	12	15
BK8	46	36	39	34	39	17	22	18	12	9
GK2	36	41	30	53	40	19	21	18	11	11
GK4	65	37	35	50	47	21	25	22	12	13
GK8	66	63	56	43	57	24	33	23	20	14
SM2	35	41	50	43	42	22	20	18	12	13
SM4	60	39	33	36	42	18	24	17	14	10
SM8	50	27	46	60	46	24	22	17	12	16
Mittel	50	43	42	47	46					
GD Tukey $\alpha=0,1$					n.s.			n.s.	8	n.s.

Anhang 13: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: April 1998

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	26	33	25	27	28	17	11	11	8	8
BK2	27	26	22	23	24	12	13	10	8	6
BK4	32	29	39	26	31	17	15	12	10	10
BK8	40	36	28	22	31	18	13	15	9	8
GK2	33	24	24	22	26	15	10	12	7	7
GK4	40	34	27	29	32	18	15	16	9	9
GK8	39	32	27	21	30	15	15	13	10	8
SM2	34	34	24	23	29	16	12	13	9	7
SM4	36	32	30	18	29	17	12	12	9	7
SM8	44	28	29	30	33	19	14	15	10	8
Mittel	35	31	28	25	30					
GD Tukey $\alpha=0,1$					n.s.			4	n.s.	n.s.

Anhang 14: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juni 98

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	54	64	55	64	59	32	27	30	15	13
BK2	70	51	60	54	59	30	29	31	15	13
BK4	61	69	55	52	59	33	27	31	15	14
BK8	85	89	66	58	75	49	26	43	18	14
GK2	67	62	55	62	61	33	28	32	16	14
GK4	82	58	60	62	65	40	26	37	17	12
GK8	68	71	56	63	65	33	32	34	15	16
SM2	63	75	55	74	67	39	28	39	16	12
SM4	80	52	58	64	63	35	27	35	14	13
SM8	80	62	49	68	65	38	27	37	15	13
Mittel	71	65	57	62	64					
GD Tukey $\alpha=0,1$					n.s.			13	n.s.	4

Anhang 15: N_{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juli 98

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	66	66	45	62	60	35	25	30	18	12
BK2	70	54	61	46	58	35	23	28	18	12
BK4	91	59	55	56	65	42	23	32	20	13
BK8	80	68	69	62	70	51	19	34	23	13
GK2	82	55	68	49	64	43	21	29	21	14
GK4	61	55	69	49	58	35	23	27	19	12
GK8	66	54	56	54	57	32	25	26	16	15
SM2	82	59	53	70	66	43	23	30	21	16
SM4	63	52	58	62	59	38	20	25	21	12
SM8	69	62	54	66	62	40	23	31	19	13
Mittel	73	58	59	58	62					
					n.s.			n.s.	n.s.	n.s.

GD Tukey $\alpha=0,1$

Anhang 16: N_{min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: August 98

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	70	87	44	62	66	43	23	41	15	10
BK2	108	56	79	67	77	47	30	44	21	13
BK4	110	104	68	86	92	68	24	58	21	13
BK8	117	102	127	108	113	72	41	74	23	16
GK2	94	72	90	80	84	54	30	50	20	14
GK4	74	55	83	65	69	43	27	41	18	10
GK8	108	71	88	60	82	53	29	53	18	11
SM2	96	90	59	74	80	58	22	52	18	10
SM4	100	73	91	120	96	70	26	58	25	13
SM8	100	97	75	71	86	60	26	52	22	12
Mittel	98	81	80	73	83					
					34			26	n.s.	n.s.

GD Tukey $\alpha=0,1$

Anhang 17: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Oktober 1998

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
O	44	48	40	66	50	33	17	11	22	17
BK2	74	34	43	36	47	32	15	11	18	18
BK4	64	97	50	55	66	49	18	12	29	26
BK8	82	70	69	77	75	55	19	15	35	24
GK2	70	44	53	41	52	34	18	12	19	21
GK4	64	31	46	36	44	28	17	12	18	15
GK8	73	48	49	77	62	44	17	15	25	21
SM2	55	52	41	71	55	38	17	12	21	22
SM4	69	80	43	66	65	39	25	13	22	29
SM8	91	58	41	66	64	48	16	12	28	24
Mittel	69	56	47	59	58					
GD Tukey $\alpha=0,1$					30			n.s.	16	n.s.

Anhang 18: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: März 1999

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm -----
0	40	35	33	44	38	20	18	15	8	10
BK2 1x	41	24	61	42	42	23	19	20	12	10
BK2 2x	37	46	34	34	38	27	10	18	7	12
BK4 1x	52	31	35	40	39	22	17	19	10	11
BK4 2x	46	51	59	44	50	31	19	28	11	11
BK8 1x	53	53	58	74	59	37	22	35	12	13
BK8 2x	54	48	60	61	56	38	18	31	13	12
GK2 1x	56	47	59	33	49	27	21	26	11	11
GK2 2x	34	42	48	31	39	21	18	19	11	9
GK4 1x	44	49	60	35	47	23	24	24	12	11
GK4 2x	43	36	46	29	39	20	18	20	10	9
GK8 1x	37	31	30	39	34	19	15	13	12	9
GK8 2x	35	30	31	55	38	24	14	16	11	11
SM2 1x	35	35	39	37	37	15	21	15	11	10
SM2 2x	37	54	60	54	51	31	20	31	11	10
SM4 1x	40	68	63	39	53	30	25	30	12	13
SM4 2x	47	57	81	49	58	40	23	33	17	13
SM8 1x	37	52	33	37	40	20	21	20	10	10
SM8 2x	75	82	83	89	82	57	25	50	20	12
Mittel	44	46	51	46	47	28	19			
GD Tukey $\alpha=0,1$					22			18	11	n.s.

Anhang 19: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Mai 1999

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
0	57	42	43	50	48	29	19	23	12	8
BK2 1x	45	34	61	56	49	32	17	29	11	9
BK2 2x	59	49	51	52	52	34	18	29	13	10
BK4 1x	66	35	37	48	46	30	16	26	11	9
BK4 2x	54	59	84	52	62	42	21	33	14	15
BK8 1x	82	61	58	75	69	50	18	38	18	12
BK8 2x	70	79	92	83	81	69	11	52	18	11
GK2 1x	66	51	97	35	62	43	19	35	13	15
GK2 2x	58	51	48	57	53	33	20	27	15	12
GK4 1x	57	48	49	42	49	31	17	27	13	8
GK4 2x	57	54	44	39	48	31	18	28	12	8
GK8 1x	40	37	41	74	48	31	17	27	13	8
GK8 2x	53	42	38	49	46	29	17	24	12	10
SM2 1x	56	51	37	42	46	29	17	27	12	8
SM2 2x	87	61	55	48	63	45	18	40	14	8
SM4 1x	38	56	75	40	52	40	18	34	13	10
SM4 2x	96	75	88	61	80	64	17	52	20	9
SM8 1x	41	56	35	38	43	30	12	25	11	7
SM8 2x	106	90	99	80	94	79	15	62	22	10
Mittel	62	54	60	54	57	41	17			
GD Tukey $\alpha=0,1$					31			22	7	n.s.

Anhang 20: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juni 1999

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
0	71	51	80	69	68	50	18	37	16	13
BK2 1x	32	48	105	68	64	50	14	36	20	8
BK2 2x	71	64	41	43	55	40	14	37	9	9
BK4 1x	62	57	68	73	65	60	5	41	14	10
BK4 2x	96	74	81	70	80	69	12	49	19	12
BK8 1x	70	64	86	89	77	73	4	48	18	11
BK8 2x	86	55	58	54	63	50	13	45	12	7
GK2 1x	69	64	73	50	64	60	4	39	16	9
GK2 2x	66	68	49	54	59	47	12	36	13	10
GK4 1x	38	52	63	61	54	45	9	34	13	7
GK4 2x	100	69	44	58	68	54	14	40	19	9
GK8 1x	21	50	58	80	52	44	9	34	10	9
GK8 2x	60	63	59	45	57	45	12	40	11	6
SM2 1x	58	38	54	58	52	43	8	34	10	8
SM2 2x	91	65	80	100	84	75	9	63	14	7
SM4 1x	13	66	62	81	55	50	3	37	9	7
SM4 2x	86	49	80	57	68	63	8	50	14	7
SM8 1x	16	61	60	80	54	44	11	30	15	9
SM8 2x	116	89	151	154	128	119	9	88	24	15
Mittel	64	60	71	71	67	57	10			
GD Tukey $\alpha=0,1$					45			28	n.s.	n.s.

Anhang 21: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Juli 1999

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
0	65	54	52	51	55	49	6	37	12	8
BK2 1x	51	44	70	49	54	48	5	36	10	8
BK2 2x	75	49	113	77	78	72	6	51	19	9
BK4 1x	91	52	58	54	64	53	10	44	11	8
BK4 2x	94	87	84	103	92	86	6	62	17	13
BK8 1x	69	53	58	66	62	57	4	43	10	8
BK8 2x	111	59	130	117	104	92	12	66	24	14
GK2 1x	74	60	58	63	64	58	6	41	12	9
GK2 2x	55	60	74	62	63	57	6	41	13	8
GK4 1x	45	59	66	56	56	51	5	40	7	7
GK4 2x	59	61	66	38	56	49	7	36	11	8
GK8 1x	53	64	79	79	69	64	4	45	14	10
GK8 2x	70	62	58	87	69	63	6	47	15	9
SM2 1x	53	50	54	36	48	42	6	29	11	8
SM2 2x	96	99	78	67	85	78	7	58	16	11
SM4 1x	65	70	56	48	60	56	5	42	10	9
SM4 2x	102	83	183	53	105	110	6	78	27	11
SM8 1x	66	43	69	42	55	49	6	37	10	8
SM8 2x	175	133	138	104	138	130	8	94	30	14
Mittel	77	65	81	66	72	67	7			
GD Tukey $\alpha=0,1$					45			33	12	7

Anhang 22: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: September 1999

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
0	59	53	52	58	56	49	7	23	18	13
BK2 1x	56	60	54	44	54	51	3	25	16	13
BK2 2x	91	72	56	69	72	59	13	34	22	16
BK4 1x	65	52	105	51	68	67	1	34	22	13
BK4 2x	52	102	111	68	83	71	13	37	27	19
BK8 1x	72	51	81	56	65	60	5	31	22	12
BK8 2x	48	50	71	55	56	50	6	22	19	15
GK2 1x	65	40	66	73	61	56	5	30	19	12
GK2 2x	50	40	41	44	44	39	5	16	17	10
GK4 1x	74	64	60	53	63	58	5	30	21	11
GK4 2x	72	42	61	52	57	46	11	23	20	14
GK8 1x	67	36	83	73	65	61	3	33	19	12
GK8 2x	70	67	68	89	74	66	8	34	24	16
SM2 1x	51	43	71	58	56	52	4	26	18	12
SM2 2x	49	97	77	67	72	63	9	35	25	13
SM4 1x	73	63	64	48	62	63	4	34	21	12
SM4 2x	112	49	61	68	73	65	7	33	23	16
SM8 1x	60	70	84	67	70	65	5	35	22	13
SM8 2x	175	117	231	132	164	154	10	88	48	29
Mittel	72	62	79	65	69	63	6			
GD Tukey $\alpha=0,1$					47			33	14	10

Anhang 23: N_{\min} - Gehalte der Einzelparzellen, mittlere N_{\min} – Gehalte der Behandlungen und Aufteilung in Nitrat- und Ammoniumstickstoff für 0 –90 cm, sowie mittlere N_{\min} – Gehalte in den drei untersuchten Bodenschichten. Termin: Oktober 1999

Variante	1. Wdh	2. Wdh	3. Wdh	4. Wdh	Mittel	Nitrat-N	Ammonium-N	N_{\min} in		
	-----				alle Angaben in kg N /ha			0 - 30cm	30 - 60cm	60 - 90cm
0	43	48	35	44	43	30	13	13	21	14
BK2 1x	33	37	31	32	33	26	7	7	13	13
BK2 2x	41	46	45	63	49	43	5	19	18	13
BK4 1x	57	41	59	44	50	42	8	16	18	16
BK4 2x	44	54	62	66	56	48	8	18	22	16
BK8 1x	58	32	49	45	46	35	11	11	19	17
BK8 2x	41	47	79	59	56	48	9	18	22	16
GK2 1x	38	34	49	48	42	31	11	11	16	15
GK2 2x	43	28	60	40	43	29	13	9	20	14
GK4 1x	42	32	42	47	41	31	10	9	18	13
GK4 2x	37	26	38	32	33	26	7	9	11	12
GK8 1x	53	39	65	52	52	42	10	11	21	19
GK8 2x	41	40	37	49	42	32	9	14	14	14
SM2 1x	46	28	47	45	42	32	10	10	18	14
SM2 2x	48	40	57	51	49	42	7	14	20	16
SM4 1x	58	38	38	56	47	38	8	12	19	15
SM4 2x	106	53	62	33	77	67	10	22	28	26
SM8 1x	49	51	71	51	55	45	10	18	22	15
SM8 2x	80	104	159	85	107	98	9	30	47	31
Mittel	51	43	57	50	50	41	9			
GD Tukey $\alpha=0,1$					33			17	15	12

Anhang 24: Mittlere Phosphorgehalte der untersuchten Bodenschichten im ersten und zweiten Versuchsjahr

Termin Tiefe	1997			1998	
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm
Phosphorgehalt [mg P /100 g Boden]					
Variante					
O	10,6	5,1	1,4	10,8	3,8
BK2	11,1	6,1	1,4	12,1	4,6
BK4	11,6	6,1	1,3	11,4	3,3
BK8	14,0	6,8	1,0	14,1	4,5
GK2	11,9	5,9	0,9	12,0	3,8
GK4	11,8	6,1	1,1	12,3	4,7
GK8	11,7	5,8	1,3	11,7	3,8
SM2	10,5	5,4	1,0	10,9	3,6
SM4	11,6	6,5	1,3	12,4	4,6
SM8	11,0	5,3	2,2	11,0	3,0
Mittel	11,6	5,9	1,3	11,9	4,0
GD Tukey $\alpha=0,1$	2,2	n.s.	n.s.	2,1	n.s.

Anhang 25: Mittlere Phosphorgehalte der untersuchten Bodenschichten im dritten Versuchsjahr

Termin Tiefe	März			Oktober		
	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 – 90 cm	0 – 30 cm	30 – 60 cm	60 - 90 cm
Phosphorgehalt [mg P /100 g Boden]						
Variante						
0	9,5	3,0	0,9	9,3	3,6	1,0
BK2 1x	9,4	3,3	0,7	9,8	4,6	1,6
BK2 2x	10,6	3,6	1,5	9,5	4,5	1,3
BK4 1x	9,6	2,9	0,7	9,7	4,4	1,2
BK4 2x	10,2	3,5	1,4	9,5	4,4	1,2
BK8 1x	12,7	3,7	0,7	11,4	4,9	1,5
BK8 2x	12,5	4,0	1,4	11,5	4,2	1,2
GK2 1x	10,4	2,9	0,5	10,1	4,5	1,0
GK2 2x	10,6	2,9	1,3	9,8	3,6	1,1
GK4 1x	9,9	3,1	0,6	9,9	4,0	1,1
GK4 2x	10,4	3,4	1,4	9,9	3,9	1,2
GK8 1x	9,3	2,9	0,9	9,9	3,9	1,3
GK8 2x	10,4	4,3	1,5	9,9	3,9	1,0
SM2 1x	8,9	3,0	0,7	9,5	4,5	1,0
SM2 2x	10,0	3,7	1,2	9,2	4,1	1,1
SM4 1x	10,1	3,7	0,8	9,7	5,2	1,3
SM4 2x	11,3	4,1	1,5	10,4	4,2	1,4
SM8 1x	9,4	2,6	0,5	9,5	3,5	1,0
SM8 2x	11,3	3,3	1,1	10,4	3,7	0,9
Mittel	10,3	3,4	1,0	9,9	4,2	1,2
GD Tukey $\alpha=0,1$	2,9	1,7	0,8	2,3	n.s.	n.s.

Anhang 26: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte Termin: Juni 1997

	Mittel		1. Wdh.		4. Wdh.	
	Lagerungsdichte	Porenvolumen	Lagerungsdichte	Porenvolumen	Lagerungsdichte	Porenvolumen
	[g/cm ³]	[Vol. %]	[g/cm ³]	[Vol. %]	[g/cm ³]	[Vol. %]
O	1,30	52	1,23	55	1,36	50
BK2	1,28	53	1,24	55	1,31	52
BK4	1,28	53	1,28	54	1,28	53
BK8	1,23	55	1,25	54	1,20	56
GK2	1,23	55	1,16	58	1,30	52
GK4	1,22	55	1,19	57	1,25	54
GK8	1,26	54	1,23	55	1,29	53
SM2	1,39	49	1,41	48	1,34	51
SM4	1,38	49	1,35	51	1,41	48
SM8	1,41	48	1,50	45	1,32	51
Mittel	1,30	53	1,29	53	1,31	52

Anhang 27: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte Termin: Oktober 1998

	Mittel		1. Wdh.		4. Wdh.	
	Lagerungsdichte	Porenvolumen	Lagerungsdichte	Porenvolumen	Lagerungsdichte	Porenvolumen
	[g/cm ³]	[Vol. %]	[g/cm ³]	[Vol. %]	[g/cm ³]	[Vol. %]
O	1,37	48	1,43	45	1,30	50
BK2	1,32	46	1,26	51	1,38	47
BK4	1,49	43	1,55	40	1,42	46
BK8	1,42	46	1,43	45	1,41	46
GK2	1,40	44	1,39	46	1,40	46
GK4	1,41	44	1,50	42	1,32	49
GK8	1,35	47	1,40	46	1,31	50
SM2	1,40	46	1,44	48	1,36	45
SM4	1,33	47	1,33	49	1,34	49
SM8	1,41	48	1,43	45	1,38	47
Mittel	1,39	46	1,42	46	1,36	48

Anhang 28: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte Termin: Mai 1999

	Mittel		1. Wdh.		4. Wdh.	
	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [Vol. %]	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [Vol. %]	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [Vol. %]
0	1,44	44	1,42	45	1,47	44
BK2 1x	1,49	43	1,36	48	1,41	46
BK2 2x	1,47	44	1,38	47	1,45	44
BK4 1x	1,47	44	1,39	47	1,48	43
BK4 2x	1,46	44	1,43	45	1,49	43
BK8 1x	1,46	44	1,38	47	1,52	42
BK8 2x	1,45	44	1,35	48	1,60	39
GK2 1x	1,45	44	1,31	50	1,46	44
GK2 2x	1,44	45	1,33	49	1,41	46
GK4 1x	1,43	45	1,39	47	1,41	46
GK4 2x	1,42	45	1,40	46	1,43	45
GK8 1x	1,42	45	1,28	51	1,52	42
GK8 2x	1,41	46	1,33	49	1,52	42
SM2 1x	1,40	46	1,38	47	1,50	43
SM2 2x	1,40	46	1,44	45	1,66	36
SM4 1x	1,38	47	1,40	46	1,54	41
SM4 2X	1,38	47	1,50	42	1,48	43
SM8 1x	1,37	47	1,36	48	1,56	40
SM8 2x	1,37	47	1,35	48	1,39	47
Mittel	1,43	45	1,38	47	1,49	43

Anhang 29: Lagerungsdichte und Porenvolumen der untersuchten Einzelparzellen sowie Mittelwerte Termin: Oktober 1999

	Mittel		1. Wdh.		4. Wdh.	
	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [Vol. %]	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [Vol. %]	Lagerungsdichte [g/cm ³]	Porenvolumen [Vol. %]
0	1,40	46	1,40	46	1,40	46
BK2 1x	1,52	42	1,59	39	1,45	44
BK2 2x	1,40	46	1,36	47	1,44	45
BK4 1x	1,41	46	1,30	50	1,52	42
BK4 2x	1,40	46	1,29	50	1,51	42
BK8 1x	1,41	46	1,41	46	1,41	45
BK8 2x	1,47	44	1,41	46	1,52	42
GK2 1x	1,43	45	1,37	47	1,49	43
GK2 2x	1,44	45	1,41	46	1,46	44
GK4 1x	1,41	46	1,34	49	1,49	43
GK4 2x	1,38	47	1,42	45	1,34	48
GK8 1x	1,43	45	1,38	47	1,47	44
GK8 2x	1,47	44	1,35	48	1,59	39
SM2 1x	1,42	45	1,45	44	1,39	47
SM2 2x	1,40	46	1,45	44	1,35	48
SM4 1x	1,37	47	1,34	49	1,41	46
SM4 2X	1,40	46	1,36	48	1,43	45
SM8 1x	1,45	45	1,45	44	1,44	45
SM8 2x	1,45	44	1,38	47	1,51	42
Mittel	1,42	45	1,39	46	1,46	44

Anhang 30: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung
im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin Juni 1997

	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren
	Mittel				1. Wiederholung				4. Wiederholung			
	alle Angaben in Vol. %											
O	33	7	8	3	35	7	10	4	32	8	7	3
BK2	33	10	7	5	33	11	6	5	33	8	7	4
BK4	35	6	9	4	35	6	9	5	34	7	9	3
BK8	36	6	7	5	35	6	8	5	38	7	7	5
GK2	35	7	9	4	39	6	8	5	31	8	10	3
GK4	35	5	11	4	33	8	12	5	37	3	11	3
GK8	33	6	10	5	32	7	10	5	34	5	10	4
SM2	27	9	8	6	24	13	10	4	29	5	6	7
SM4	28	8	8	5	26	10	9	6	31	6	7	5
SM8	27	8	8	5	23	10	9	3	32	6	8	6
Mittel	32	7	9	4	31	8	9	5	33	6	8	4

Anhang 31: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung
im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin Oktober 1998

	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren
	Mittel				1. Wiederholung				4. Wiederholung			
	alle Angaben in Vol. %											
O	26	9	8	5	29	10	8	3	23	7	9	6
BK2	28	8	8	5	26	10	8	3	31	6	9	6
BK4	19	10	9	5	21	13	8	4	18	7	10	5
BK8	25	8	8	5	27	8	7	4	23	7	9	6
GK2	22	11	9	5	21	12	9	4	23	9	8	5
GK4	23	9	9	4	26	11	9	3	20	8	10	5
GK8	27	7	8	5	30	7	9	4	25	8	8	6
SM2	20	13	8	4	20	13	8	4	20	14	8	5
SM4	26	9	10	5	25	12	8	4	27	5	12	5
SM8	24	8	9	5	26	9	7	4	22	8	10	5
Mittel	24	9	9	5	25	11	8	4	23	8	9	5

Anhang 32: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung
im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin Mai 1999

	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren
	Mittel				1. Wiederholung				4. Wiederholung			
	alle Angaben in Vol. %											
0	21	9	9	5	20	9	10	6	22	9	8	4
BK2 1x	23	10	9	5	24	10	9	5	23	10	8	4
BK2 2x	23	9	8	5	23	8	10	6	23	11	6	4
BK4 1x	18	14	8	5	18	14	9	5	17	13	8	5
BK4 2x	21	9	9	5	22	8	10	5	21	10	8	4
BK8 1x	22	9	8	5	26	7	9	5	19	11	7	5
BK8 2x	21	9	8	5	25	8	10	6	18	11	5	4
GK2 1x	19	18	6	5	17	23	4	5	20	13	7	4
GK2 2x	20	15	8	5	19	15	9	5	20	14	7	5
GK4 1x	23	8	10	5	22	7	11	6	23	9	10	4
GK4 2x	22	10	8	5	21	8	11	6	23	11	6	5
GK8 1x	24	8	9	5	30	7	9	5	18	10	9	5
GK8 2x	22	8	10	5	24	8	10	6	20	8	9	5
SM2 1x	22	9	9	5	24	9	9	5	21	9	9	4
SM2 2x	14	12	9	5	18	14	6	6	10	10	11	5
SM4 1x	18	12	9	5	19	14	8	5	17	10	9	5
SM4 2x	15	12	10	6	7	18	12	6	23	7	9	5
SM8 1x	23	9	8	5	27	6	10	5	18	11	6	4
SM8 2x	23	11	8	5	20	12	11	6	26	10	6	4
Mittel	21	11	9	5	21	11	9	6	20	10	8	5

Anhang 33: Porengrößenverteilung in Abhängigkeit von der organischen Düngung
im Mittel und für die beiden untersuchten Wiederholungen zum Termin Oktober 1999

	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittel- poren	Fein- poren
	Mittel				1. Wiederholung				4. Wiederholung			
	alle Angaben in Vol. %											
0	22	9	9	6	21	9	10	6	23	10	8	5
BK2 1x	17	10	8	6	15	9	10	6	20	12	7	6
BK2 2x	24	11	6	5	25	11	5	5	23	11	6	5
BK4 1x	24	10	7	5	30	10	5	5	18	11	8	5
BK4 2x	22	11	8	5	26	11	8	5	18	12	8	5
BK8 1x	20	12	8	6	21	12	8	5	19	12	8	6
BK8 2x	18	11	9	6	19	12	8	6	17	10	9	5
GK2 1x	24	7	8	6	24	8	9	6	23	6	8	5
GK2 2x	24	8	8	5	24	8	9	5	23	8	8	5
GK4 1x	28	6	7	5	31	6	7	5	25	6	7	4
GK4 2x	29	6	7	5	27	6	7	5	30	6	7	5
GK8 1x	21	12	8	5	27	8	7	5	14	16	8	5
GK8 2x	14	16	8	5	18	17	8	5	10	15	8	5
SM2 1x	21	11	8	5	18	12	8	6	25	10	7	5
SM2 2x	23	11	7	4	22	10	7	4	24	12	8	5
SM4 1x	23	12	8	5	25	12	8	5	21	12	8	5
SM4 2x	18	15	8	5	19	16	8	5	17	15	8	5
SM8 1x	20	10	9	5	18	12	9	6	23	9	9	5
SM8 2x	21	10	8	5	24	10	8	5	18	10	8	5
Mittel	22	11	8	5	23	11	8	5	21	11	8	5

Lebenslauf

Geburtsdatum	15. Januar 1972
Geburtsort	Waldbröl
Bekenntnis	römisch-katholisch
Schulabschluss	1991 Allgemeine Hochschulreife, am Siegtal-Gymnasium Eitorf
Wehrdienst	1991 – 1992
Studium	1992 – 1997 Gartenbau an der Universität Hannover, Abschluss als Diplom-Agraringenieur
Praktikum	1991 Gartenbau Breuer, Hennef 1995 Baumschule Rohwer, Gnutz
Berufliche Tätigkeit	1997 – 2000 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Obstbau und Baumschule der Universität Hannover

Danksagung

Frau Prof. Dr. Heike Bohne danke ich für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats und die immer gewährte Unterstützung. Die Zusammenarbeit war ausgezeichnet und die Möglichkeit drei Jahre bei der Abteilung Baumschule der Universität Hannover zu arbeiten, hat mein Leben sehr bereichert.

Herrn PD Dr. B. Beßler danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Allen Mitarbeitern der Abteilung Baumschule danke ich für die große Unterstützung und die gute Zusammenarbeit. Mein besonderer Dank gilt Frau Buse, die die meisten Laboranalysen durchführte. Ohne Ihre hervorragende Unterstützung wäre die vorliegende Arbeit nicht in der zur Verfügung stehenden Zeit zu bewältigen gewesen. Auch Frau Schröder, Frau Schulze, Frau Siepker, Frau Grabbat-Jess, allen wissenschaftlichen Hilfskräften und den Mitarbeitern der Versuchsstation in Ruthe gilt mein Dank.

Frau Baldin danke ich für die gute und schöne Zusammenarbeit und die Unterstützung bei Probennahmen und Laborarbeiten. Herrn Wrede danke ich für viele hilfreiche Anregungen und die ebenfalls gute Zusammenarbeit.

Den Instituten für Pflanzenernährung (Prof. Schenk) und Bodenkunde (Prof. Fischer) danke ich für die Unterstützung bei Laboranalysen.

Herrn Weichert vom Lehrgebiet Bioinformatik für die Beratung bei der statistischen Auswertung der Daten.

Allen, die Anregungen zum Text lieferten und Rechtschreibfehler beseitigten, gilt mein Dank: Frau Metz, Frau Baldin und Herrn Hülster.

Immer in besonderer Erinnerung behalten werde ich die Menschen, die meine Zeit in Hannover zu einer glücklichen machten. Mein ganz besonderer Dank gilt aber meinen Eltern.